



**LUCAS HENRIQUE PEDROZO ABREU**

**MODELAGEM FUZZY DO DESEMPENHO DE  
FRANGOS DE CORTE, CRIADOS DE 1 A 21  
DIAS, SUBMETIDOS A ESTRESSE TÉRMICO**

**LAVRAS - MG**

**2014**

**LUCAS HENRIQUE PEDROZO ABREU**

**MODELAGEM FUZZY DO DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE,  
CRIADOS DE 1 A 21 DIAS, SUBMETIDOS A ESTRESSE TÉRMICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

Dr. Alessandro Torres Campos

Dr. Édison José Fassani

**LAVRAS - MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Abreu, Lucas Henrique Pedrozo.

Modelagem *fuzzy* do desempenho de frangos de corte, criados de  
1 a 21 dias, submetidos a estresse térmico / Lucas Henrique Pedrozo  
Abreu. – Lavras : UFLA, 2014.

59 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.

Bibliografia.

1. Lógica *fuzzy*. 2. Ambiência animal. 3. Túneis climatizados. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.513

**LUCAS HENRIQUE PEDROZO ABREU**

**MODELAGEM FUZZY DO DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE,  
CRIADOS DE 1 A 21 DIAS, SUBMETIDOS A ESTRESSE TÉRMICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 20 de Março de 2014.

Dr. Édison José Fassani UFLA

Dr. Sérgio Martins de Souza UFLA

Dr. Paulo César Hardoim UFLA

Dr. Tadayuki Yanagi Junior  
Orientador

Dr. Alessandro Torres Campos  
Coorientador

**LAVRAS - MG**

**2014**

*A DEUS.*

*Aos meus pais, Pedro Pereira e Tânia Aparecida, pela confiança, amor,  
dedicação e, acima de tudo, pelos ensinamentos de vida.*

**OFEREÇO.**



## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

Ao professor e orientador, Tadayuki Yanagi Junior, pela amizade, confiança e sábios ensinamentos.

Aos funcionários e professores do Departamento de Engenharia, pelo trabalho realizado e pelos ensinamentos transmitidos.

À minha irmã Milena, pelo carinho, amizade, confiança e constante apoio.

À Maria Camila, pelo amor, compreensão, confiança e apoio em todos os momentos.

A toda a minha família, meus avós, tios, tias, primos e primas, pela amizade, motivação e ensinamentos.

Aos professores Édison, Alessandro e Francisco pelos conhecimentos transmitidos e correções que levaram à conclusão deste trabalho.

À secretária Helem pela eficiência e dedicação no trabalho realizado.

Aos amigos Leonardo, Dian, Danúbia, Tony, Gabriel e Talita, pela grande contribuição na fase experimental deste trabalho e análise dos dados.

Aos colegas da pós-graduação, Rodrigo Allan, Gregory, Ebersson, Jaqueline, Gleice, Alessandro, Mariana e Priscila, pelas trocas de experiência.

Ao amigo Rodrigo César, pela força dada pelo companheirismo.

A todos os meus amigos e colegas que sempre me apoiaram e confiaram no meu trabalho.

Os autores agradecem a CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio financeiro dado ao projeto.

*“Como maçãs de ouro em  
escultura de prata é a palavra falada  
no tempo certo para ela.”*

***Provérbios 25:11***

## **BIOGRAFIA**

Lucas Henrique Pedrozo Abreu, filho de Pedro Pereira de Abreu e Tânia Aparecida Evangelista Pedrozo Abreu, nasceu na cidade de Lavras, MG, em 08 de novembro de 1988. Estudou na Escola Estadual Firmino Costa e no Colégio Tiradentes da Polícia Militar de Minas Gerais. Formou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), MG, em junho de 2013. Em Maio de 2013, iniciou o Mestrado em Engenharia Agrícola, realizando seus estudos na área de modelagem.

## RESUMO GERAL

Diante da complexidade com que se relacionam os parâmetros do ambiente de produção de frangos de corte, a inteligência artificial pode ser uma ferramenta utilizada para auxiliar a tomada de decisão, durante a criação das aves, visando a um aumento de produtividade e qualidade do produto. Dessa forma, a pesquisa foi realizada com o objetivo de verificar o desempenho de frangos de cortes de 1 a 21 dias de idade, submetidos a estresse térmico na segunda semana de vida, com durações e intensidades variadas, em túneis de vento climatizado e os resultados foram utilizados para a validação da lógica *fuzzy*. O desempenho dos animais foi analisado no Laboratório de Ambiência da Universidade Federal de Lavras, no qual todas as variáveis térmicas foram controladas, variando apenas a temperatura de bulbo seco durante a segunda semana experimental. Assim, foi possível avaliar o consumo de ração (g), ganho de peso (g) e conversão alimentar ( $g\ g^{-1}$ ) das aves, quando submetidas a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, por baixas e altas temperaturas. Dessa forma, um modelo matemático foi desenvolvido, utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*, para prever o desempenho das aves, em função da temperatura de estresse ( $^{\circ}C$ ) e duração do estresse (dias). A validação do modelo proposto foi realizado comparando os dados experimentais com os resultados obtidos pela modelagem. Portanto, diante dos resultados obtidos, a modelagem *fuzzy* apresentada pode ser utilizada para predição do desempenho de frangos de corte quando submetidos a estresse térmico na segunda semana de vida.

Palavras-chave: lógica *fuzzy*. Ambiência animal. Avicultura.

## GENERAL ABSTRACT

Faced with the complexity with which the parameters of broiler production environment relate, artificial intelligence may be used to aid in the decision making of broiler farming, seeking an increase in productivity and product quality. Thus, the objective of this study was to verify the performance of 1-21 days broilers submitted to thermal stress in the second week of life, with varying intensities and durations in conditioned wind tunnels, and using the results to validate the fuzzy logic model. The performance was analyzed at the Animal Environment Laboratory of the Universidade Federal de Lavras, in which all thermal variables were controlled, varying only the dry bulb temperature during the second experimental week. Thus, it was possible to evaluate feed intake (g), weight gain (g) and feed conversion ( $\text{g g}^{-1}$ ) of the broilers when subjected to different intensities and durations of thermal stress by low and high temperatures. A mathematical model was developed using the fuzzy set theory to predict the performance of broilers regarding stress temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and duration of the stress (days). The validation of the proposed model was performed comparing the experimental data with the results obtained by the modeling. Therefore, with the results obtained, the fuzzy modeling may be used to predict the performance of broilers when subjected to thermal stress in the second week of life.

Keywords: fuzzy logic. Animal environment. Aviculture.

## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

Figura 1 Desenvolvimento computacional *fuzzy* ..... 23

### SEGUNDA PARTE - ARTIGO 1

FIGURA 1 - a) Túneis de vento climatizado. b) Vista superior das gaiolas para alojamento dos frangos de corte no interior dos túneis de vento climatizados. **a) Conditioned wind tunnel. b) Superior view of the cages for housing broilers in the interior of the conditioned wind tunnels..... 37**

FIGURA 2 - Funções de pertinência para as variáveis de entrada: a) Duração do estresse térmico (dias), b) Temperatura de estresse térmico (°C). **Relevant functions for the input variables: a) Duration of the thermal stress (days), b) thermal stress temperature (°C). ..... 42**

FIGURA 3 - Funções de pertinência para as variáveis de saída: a) consumo de ração (g), b) ganho de peso (g) e c) conversão alimentar ( $g\ g^{-1}$ ). **Relevant functions for the output variables: a) feed intake (g), b) weight gain (g) and c) feed conversion rate ( $g\ g^{-1}$ ). ..... 44**

FIGURA 4 - Regressões lineares das respostas produtivas medidas experimentalmente e em virtude da modelagem : a) consumo de ração (CR); b) ganho de peso (GP) e c) conversão alimentar (CA) para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Linear regressions of the productive responses experimentally measured and due to the modeling: a) feed intake (FI); b) weight gain (WG) and c) feed conversion (FC) for broilers from 1 to 21 days of age.....** 49

FIGURA 5 - Conversão alimentar (CA) simulada em função da temperatura de estresse térmico e duração do estresse térmico para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Feed conversion (FC) simulated in function of thermal stress temperature and duration of thermal stress for broilers from 1 to 21 days of age. ....** 51

## LISTA DE TABELAS

### PRIMEIRA PARTE

Tabela 1	Limites inferiores e superiores das temperaturas ideais de criação de frangos de corte em diferentes semanas .....	19
Tabela 2	Metas de desempenho para frangos de corte da linhagem <i>Cobb</i> , criados em condições de conforto para aves mistas.....	21

### SEGUNDA PARTE - ARTIGO 1

TABELA 1 - Temperatura do ar e dias de manutenção da condição de estresse, aplicados a frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, mantidos em túneis de vento climatizados. <b>Air temperature and stress condition maintenance days applied to broilers of 1 to 21 days of age, maintained in conditioned wind tunnels.</b> .....	40
TABELA 2 - Conjuntos para as variáveis de entrada. <b>Sets for the input variables.</b> .....	41
TABELA 3 - Comparação dos valores de consumo de ração (CR, g), ganho de peso (GP, g) e conversão alimentar (CA, g g <sup>-1</sup> ), para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo. <b>Comparison of the feed intake (FI, g), weight gain (WG, g) and feed conversion rate (FC, g) values for broilers from 1 to 21 days of age, experimentally obtained and simulated by the model.</b> .....	48

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

CR	Consumo de ração (g)
GP	Ganho de peso (g)
CA	Conversão alimentas ( $\text{g g}^{-1}$ )

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> ..... 15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> ..... 18
<b>2.1</b>	<b>Ambiente térmico</b> ..... 18
<b>2.2</b>	<b>Desempenho animal</b> ..... 20
<b>2.3</b>	<b>Lógica <i>Fuzzy</i></b> ..... 22
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO</b> ..... 25
	<b>REFERÊNCIAS</b> ..... 26
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGO</b> ..... 31	
	<b>ARTIGO 1 Modelagem <i>fuzzy</i> do desempenho de frangos de corte, criados de 1 a 21 dias, submetidos a estresse térmico</b> ..... 31
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> ..... 33
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> ..... 36
<b>2.1</b>	<b>Experimento</b> ..... 36
<b>2.2</b>	<b>Modelagem</b> ..... 41
<b>2.3</b>	<b>Simulações</b> ..... 45
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> ..... 46
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> ..... 53
	<b>REFERÊNCIAS</b> ..... 55

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

A produção de frangos de corte no Brasil e a busca por maior produtividade e qualidade do produto fornecido têm crescido nas últimas décadas, aumentando a competitividade do setor diante das novas exigências do mercado consumidor.

A evolução da avicultura, nos últimos anos, propiciou a atividade alcançar posição privilegiada no setor econômico brasileiro, ocupando atualmente o primeiro lugar no ranking de países exportadores de carne de frango e o terceiro lugar como produtor mundial, com produção total de 12.645 milhões de toneladas (UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBABEF, 2013).

Do total de frangos produzidos pelo país, 31,0% foram exportados em 2013 e 69,0% foram destinados ao consumo interno, no qual se atingiu um novo recorde para o consumo per capita de carne de frango para o setor, que era de 29,91 kg hab<sup>-1</sup> no ano de 2000, atingindo, aproximadamente, 45 kg hab<sup>-1</sup> em 2013 (UBABEF, 2013).

Com o crescimento na demanda de carne de frango, buscaram-se, cada vez mais, melhorias na produtividade, assim, dever-se-á associar a utilização de aves melhoradas, geneticamente, a uma nutrição balanceada, com um ambiente adaptado às características das aves. Neste contexto, a utilização de um ambiente de produção adequado, é indiscutível na avicultura moderna, tendo em vista que esta tem por objetivo alcançar alta produtividade, em um espaço físico e um tempo relativamente reduzido.

Por serem animais homeotérmicos, os frangos de corte são capazes de manter a sua temperatura corporal por meio de mecanismos fisiológicos e

comportamentais. No entanto, o sistema termorregulador destas aves não está completamente desenvolvido nas primeiras semanas de vida (FURLAN, 2006; NÃÃS, 2000) e, se forem submetidas a condições de estresse térmico, o seu bem-estar poderá ser afetado, em consequência, o seu desempenho.

Assim, quando as condições ambientais não estão dentro do limite considerado adequado, que é caracterizado pela zona de termoneutralidade, o ambiente torna-se desconfortável. Usualmente, esses limites são fixados em medidas indiretas, como a temperatura do ar, umidade relativa, ventilação, dentre outras variáveis ambientais.

Analisando em um âmbito mais amplo a interação entre idade e temperatura do ar no bem-estar de frangos de corte, pode-se perceber que a inteligência artificial pode ser aplicada nos processos produtivos, utilizando diferentes técnicas de modelagem computacional. Tais procedimentos, denominados inteligência artificial, são capazes de executar tarefas ou resolver problemas considerando uma base de conhecimento, no qual os sistemas mais aplicados e testados são as redes neurais artificiais e lógica *fuzzy* (SCHIASSI, 2011).

Dentre as diversas metodologias aplicadas, para auxílio à tomada de decisão, tanto no manejo, quanto no controle do ambiente de produção, a modelagem dos conjuntos *fuzzy* constitui-se de técnicas que permitem o manuseio rigoroso de informações qualitativas, pois utilizam da transformação de valores numéricos em variáveis linguísticas, determinadas por funções de pertinência.

Dessa forma, a estimativa de bem-estar animal, levando em consideração as diversas possibilidades de associações críticas tanto do ambiente térmico como do aéreo, constitui-se em um problema no qual a aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* pode apresentar-se promissora (OWADA et al., 2007).

Em suma, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver um modelo matemático *fuzzy*, para prever o desempenho de frangos de corte, submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, na segunda semana de vida.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial bibliográfico, será realizada uma abordagem sobre o ambiente térmico de frangos de corte, demonstrando como os efeitos do ambiente térmico interferem no desempenho animal e na produtividade de frangos de corte, quando submetidos a estresse, durante a segunda semana de vida. Também será realizado um estudo da metodologia *fuzzy* bem como a sua utilização na predição de parâmetros zootécnicos.

### 2.1 Ambiente térmico

No ambiente de produção das aves, estão presentes fatores climáticos que determinam o ambiente térmico para produção, no qual a temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e a radiação são incluídas por desempenhar ações imediatas e, praticamente, diretas sobre as respostas comportamentais, produtivas e reprodutivas dos animais (BAÊTA; SOUZA, 2010).

Na avicultura moderna, os sistemas de criação exercem papel fundamental, visto que têm por objetivo alcançar alta produtividade, em um espaço físico e um tempo relativamente reduzido. De acordo com Baracho et al. (2013), as respostas produtivas das aves são afetadas pelas condições do ambiente na qual se encontram alojadas. Os galpões, o manejo e o ambiente térmico são fatores que afetam diretamente o desempenho animal (MENEGALI et al., 2010).

Segundo Piasentini (1984), é necessário realizar o monitoramento das instalações para o controle do ambiente térmico, no qual pelas pesquisas comprova-se a importância dos fatores climáticos na produção avícola. Propiciar um ambiente de criação adequado às necessidades das aves faz com que

aumente o seu bem-estar, melhorando, assim, sua produtividade (TINÔCO; FIGUEIREDO; SANTOS, 2004).

Neste contexto, diante dos desafios que são abordados na avicultura de corte, é necessário ter um maior destaque para o ambiente de criação. No sistema de criação intensivo, ocorre uma influência direta no bem-estar do animal, alterando o seu comportamento e conforto, dificultando a manutenção do ambiente térmico, alterando, assim, o desempenho das aves (CORDEIRO et al., 2010; MOURA et al., 2006; NAZERENO et al., 2009; SALGADO et al., 2007; TEIXEIRA et al., 2009).

Os frangos de corte são classificados como animais homeotérmicos, ou seja, são capazes de manter a sua temperatura corporal dentro de limites relativamente estreitos, por meio de mecanismos fisiológicos e comportamentais. Entretanto, quando o ambiente térmico extrapola os limites de conforto, a energia usada para a produção de carne é dispendida no processo termorregulatório, ocasionando perdas produtivas (MENEGALI et al., 2009).

Para um maior desempenho das aves, vários autores procuram estabelecer temperaturas ideais para o ambiente de criação. Essas temperaturas são divididas em limites inferiores e superiores caracterizadas por diferentes idades das aves (Tabela 1).

Tabela 1 Limites inferiores e superiores das temperaturas ideais de criação de frangos de corte em diferentes semanas

Semana	Limites de Temperatura (°C)
Primeira	34 - 32
Segunda	32 - 28
Terceira	28 - 26

Fonte: Adaptado de Cassuce (2011), Clark (1981), Freeman (1968), May e Lot (2000), Medeiros et al. (2005) e Yousef (1985).

De acordo com Brossi et al. (2009), o estresse térmico no ambiente de produção leva as aves a diminuir a capacidade em dissipar o calor e, conseqüentemente, ao desequilíbrio de ácido-base

Dessa forma, para atingir seu máximo desempenho, a ave depende das condições térmicas do ambiente de produção, ou seja, dos efeitos combinados da temperatura do ar, umidade relativa, radiação e da velocidade do ar (GARCIA et al., 2012).

O pintainho recém-nascido possui dificuldades na produção do calor corporal, pelo fato de sua capacidade de termorregulação não estar bem desenvolvida (MENEGALI et al., 2013). Para manter a sua temperatura corporal em níveis adequados, as aves, nas primeiras semanas de vidas, devem estar inseridas em ambientes com temperaturas adequadas ao seu desenvolvimento.

## **2.2 Desempenho animal**

Para avaliar o desempenho produtivo das aves, são utilizados índices zootécnicos, como: consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar, frequência respiratória, taxa de mortalidade, temperatura cloacal e temperatura da superfície do animal recomendados por Abreu, Baeta e Abreu (2000), Albino (1998) e Englert (1987). Esses índices, também, são empregados para verificar a interferência das condições ambientais na produtividade, pela qual se torna possível determinar ganhos ou perdas produtivas, quando os animais estão submetidos a estresse por baixas ou altas temperaturas.

Para verificar possíveis perdas de produção, os índices zootécnicos devem ser mensurados e comparados com valores medidos com as aves criadas em condições de conforto. Metas de desempenho e rendimento para as aves são apresentados, de acordo com a linhagem, ou seja, o potencial genético está

associado aos parâmetros de desempenho. A linhagem *Cobb* fornece uma tabela internacional demonstrando as metas para as aves da respectiva linhagem.

Tabela 2 Metas de desempenho para frangos de corte da linhagem *Cobb*, criados em condições de conforto para aves mistas

Semana de vida	Ganho de peso acumulado médio (g)	Conversão Alimentar Acumulada ( $\text{g g}^{-1}$ )	Consumo de ração acumulado diário (g)
Primeira	22,5	0,842	-
Segunda	30,7	1,053	62
Terceira	41,1	1,247	110

Fonte: Cobb-Vantress (2008)

Oliveira et al. (2006) submeteram frangos de cortes a diferentes temperaturas e umidades relativas do ar e observaram que as altas temperaturas afetam o desempenho das aves e o aumento da umidade relativa intensifica a redução da produtividade.

A redução no desempenho de frangos de corte, quando submetidos a estresse térmico em altas temperaturas, está associada ao menor consumo de ração, pois facilita o controle da homeotermia (TINÔCO, 2001).

Por sua vez, quando submetidos a estresse em baixas temperaturas, as aves adultas ou em crescimento, modificam o seu comportamento, o qual afeta suas funções fisiológicas e metabólicas, prejudicando o desempenho e, conseqüentemente, a produtividade (CASSUCE, 2011).

### 2.3 Lógica *Fuzzy*

Com a necessidade da aproximação dos sistemas computacionais ao raciocínio lógico humano, na década de 1990 começaram desenvolver sistemas especialistas inteligentes, capazes de desempenhar tarefas ou resolver problemas, considerando-se uma base de conhecimento. Dessa forma, importantes métodos surgiram, como exemplo, a lógica *fuzzy* e as redes neurais, fazendo parte do desenvolvimento da inteligência artificial.

A teoria *fuzzy* ou a teoria dos conjuntos nebulosos foi apresentada por Lofti A. Zadeh, professor do departamento de engenharia da Universidade de California, com base na qual se iniciaram as pesquisas, para desenvolvimento da inteligência computacional, introduzindo os graus de incerteza. Desta forma, um elemento pode pertencer parcialmente a um conjunto, modificando, assim, a teoria dos conjuntos clássicos (CRISP) que caracteriza os elementos como pertencentes ou não pertencentes a um conjunto. Os elementos são determinados por uma função de pertinência, que está associada diretamente ao grau de estimativa do número, ou seja, ao grau de confiança sobre o número.

A teoria dos conjuntos *fuzzy* permite a programação de conceitos não exatos, tornando possível a realização dos cálculos com informações imprecisas, a exemplo dos conceitos imprecisos dos seres humanos (BARROS, 2002).

A lógica *fuzzy* é formada por variáveis de entrada e saída. Os conjuntos *fuzzy* e as funções de pertinência são determinados para cada variável de entrada e saída. Para o funcionamento do sistema, ocorre a transformação dos valores reais de entrada em valores *fuzzy* e, em seguida, é realizada a ativação e combinação de acordo com o conjunto fornecido para o sistema. O sistema de regras pode ser elaborado, de acordo com dados numéricos e opiniões de especialistas. Após a combinação, os conjuntos *fuzzy* de saída se transformam em uma saída precisa do sistema.

De acordo com Mendel (1995), para a composição de uma modelagem *fuzzy*, o sistema pode ser programado ou utilizar um *software* que tenha o modelo matemático como ferramenta. O processo de construção do modelo se baseia nas etapas de fuzzificação (converte os valores de entrada em valores *fuzzy*), inferência (determina os valores de saída com base nos sistemas de regras pré-estabelecidos) e defuzzificação (converte os valores *fuzzy* em valores numéricos), de acordo com a Figura 1.

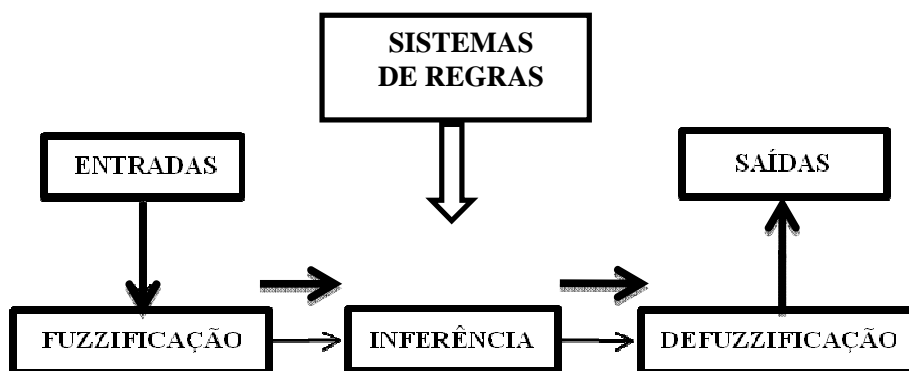


Figura 1 Desenvolvimento computacional *fuzzy*

Dentre as diversas metodologias aplicadas, para auxílio à tomada de decisão seja no manejo ou no controle do ambiente de produção, o modelo matemático *fuzzy* permite a utilização de variáveis qualitativas. Esse sistema permite a utilização de variáveis linguísticas, interpretadas como números *fuzzy* e manipuladas pelo raciocínio *fuzzy*. Diversas aplicações de modelos *fuzzy*, para ambiência e produção animal, têm sido reportados pela literatura (BRUNASSI, 2008; CADENAS et al., 2004; FERREIRA et al., 2007; NÄÄS et al., 2008; OLIVEIRA; AMENDOLA; NÄÄS, 2005; OWADA et al., 2007; PANDORFI et al., 2007; PEREIRA et al., 2008; PERISSINOTTO et al., 2009; SANTOS et al., 2009; SCHIASSI et al., 2008; TOLON et al., 2010).

De acordo com Ferreira et al. (2012), pode-se utilizar o sistema *fuzzy* para prever, satisfatoriamente, a temperatura cloacal com base nas variáveis climáticas, podendo ser utilizado como suporte à decisão em sistemas de criação de frangos de corte. Nascimento et al. (2011) demonstraram que a lógica *fuzzy* pode ser aplicada para estimar o conforto térmico de frangos de corte em função da temperatura superficial, da temperatura da pele e do empenamento.

### 3 CONCLUSÃO

Diante da necessidade de aumentar a competitividade do setor avícola, abordando as novas exigências do mercado consumidor, em busca por maior produtividade e qualidade do produto fornecido, o ambiente térmico deve ser controlado para que as aves consigam atingir o seu máximo desempenho.

Neste contexto, a utilização da lógica *fuzzy* no estudo do desempenho de frangos de corte, submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, durante a segunda semana de vida, fornecerá informações primordiais para o adequado manejo das aves, visando ao aumento de produtividade.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G.; BAETA, F. C.; ABREU, V. M. N. Desempenho produtivo e bioeconômico de frangos de corte criados em diferentes sistemas de aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 159-167, 2000.
- ALBINO, L. F. T. **Frango de corte: manual prático de manejo e produção**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 1998. 72 p.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2010. 269 p.
- BARACHO, M. et al. Ambiente interno em galpões de frango de corte com cama nova e reutilizada. **Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 473-478, 2013.
- BARROS, L. C. de. **Teoria fuzzy x biomatemática**. Campinas: IMECC-UNICAMP, 2002. 52 p.
- BROSSI, C. et al. Estresse térmico durante o pré-abate em frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1296-1305, jul. 2009.
- BRUNASSI, L. A. **Desenvolvimento de um sistema fuzzy para detecção de estro em rebanhos leiteiros**. 2008. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- CADENAS, J. M. et al. Application of Fuzzy optimization to diet problems in Argentinean farms. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 158, n. 1, p. 218-228, Oct. 2004.
- CASSUCE, D. C. **Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil**. 2011. 103 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.
- CLARK, J. A. **Environment aspects of housing for animal production**. Nothingam: University of Nothingam, 1981. 510 p.
- COBB-VANTRESS. **Broiler management guide**. Arkansas, 2008. 65 p.

CORDEIRO, M. B. et al. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 1, p. 217-224, jan. 2010.

ENGLERT, S. L. **Avicultura**: tudo sobre raças, manejo, alimentação e sanidade. 6. ed. Porto Alegre: Agropecuária, 1987. 288 p.

FERREIRA, L. et al. Development of algorithm using fuzzy logic to predict estrus in dairy cows: part I. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**, Beijing, v. 9, n. 1, p. 1-16, 2007.

FERREIRA, L. et al. A fuzzy system for cloacal temperature prediction of broiler chickens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 1, p. 166-171, jan. 2012.

FREEMAN, B. M. The fowl and its physical environment. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 25, p. 99-111, 1968.

FURLAN, R. L. Influência da temperatura na produção de frangos de corte. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 7., 2006, Chapecó. **Anais...** Chapecó: SBA, 2006. p. 104-135.

GARCIA, R. G. et al. Selecting the most adequate bedding material for broiler production in Brazil. **International Journal of Poultry Sciences**, Faisalabad, v. 14, n. 2, p. 71-158, 2012.

MAY, J. D.; LOTT, B. D. The effect of environmental temperature on growth and feed conversion of broilers to 21 days of age. **Poultry Science**, Champaign, v. 79, n. 5, p. 669-671, May 2000.

MEDEIROS, C. M. et al. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 277-286, 2005.

MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. **IEEE**, New York, v. 83, n. 3, p. 345-377, 1995.

MENEGALI, I. et al. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 10, p. 984-990, nov./dez. 2009.

MENEGALI, I. et al. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, jan. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662013000100015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000100015&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 7 jan. 2014.

MENEGALI, I. et al. Desempenho produtivo de frangos de corte em diferentes sistemas de instalações semiclimatizadas no sul do Brasil. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 18, n. 6, p. 461-471, nov./dez. 2010.

MOURA, D. J. et al. Animal welfare concepts and strategy for poultry production: a review. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 8, n. 3, p. 137-148, jul./set. 2006.

NÄÄS, I. A. Avaliação dos sistemas de acondicionamento térmico para frangos de corte. In: SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 4., 2000, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2000. p. 133-144.

NÄÄS, I. A. et al. Estimativa de estro em vacas leiteiras utilizando métodos quantitativos preditivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2383-2387, nov. 2008.

NASCIMENTO, G. R. do et al. Índice fuzzy de conforto térmico para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 219-229, mar./abr. 2011.

NAZARENO, A. C. et al. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 802-808, nov./dez. 2009.

OLIVEIRA, H. L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I. A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 300-307, maio/ago. 2005.

OLIVEIRA, R. F. M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 797-803, 2006.

OWADA, A. N. et al. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 611-618, set./dez. 2007.

PANDORFI, H. et al. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 83-92, jan./abr. 2007.

PEREIRA, D. F. et al. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 624-634, out./dez. 2008.

PERISSINOTTO, M. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1492-1498, ago. 2009.

PIASSENTINI, J. A. **Conforto medido pelo índice de temperatura do globo e umidade na produção de frangos de corte para dois tipos de pisos em Viçosa, MG**. 1984. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1984.

SALGADO, D. D. et al. Modelos estatísticos indicadores de comportamentos associados a bem-estar térmico para matrizes pesadas. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 619-629, dez. 2007.

SANTOS, R. C. et al. Aplicação da lógica nebulosa na simulação de estro de vacas leiteiras. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 5, n. 8, p. 1-6, ago. 2009.

SCHIASSI, L. **Modelagem fuzzy e geoestatística na avaliação da salubridade de trabalhadores**. 2011. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SCHIASSI, L. et al. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p. 180-191, abr./jun. 2008.

TEIXEIRA, E. N. M. et al. Efeito do tempo de jejum pós-eclosão, valores energéticos e inclusão do ovo desidratado em dietas pré-iniciais e iniciais de pintos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 314-322, fev. 2009.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001.

TINÔCO, I. F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A.; SANTOS, R. C. Placas porosas utilizadas em sistemas de resfriamento evaporativo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 12, n. 1, p. 17-23, 2004.

TOLON, Y. B. et al. Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 1-13, jan./fev. 2010.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Relatório anual**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.ubabef.com.br/files/publicacoes/732e67e684103de4a2117dda9ddd280a.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2013.

YOUSEF, M. K. **Stress physiology in Livestock**. Las Vegas: CRC, 1985. 159 p. (Basic Principle, 3).

**SEGUNDA PARTE – ARTIGO**

**ARTIGO 1 Modelagem *fuzzy* do desempenho de frangos de corte, criados de 1 a 21 dias, submetidos a estresse térmico**

LUCAS HENRIQUE PEDROZO ABREU \*

Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003)

---

\* Engenheiro Agrícola, Mestrando, Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia, lhpabreu@gmail.com.

## RESUMO

Diante da necessidade de se obter sistemas, para melhor controlar o ambiente de produção de frangos de corte, foi realizado um experimento com frangos de corte de 1 a 21 dias, os quais foram submetidos a diferentes intensidades e durações de temperaturas do ar em túneis de vento climatizados e os resultados foram utilizados para a validação de um modelo *fuzzy*. O modelo foi desenvolvido, utilizando como variáveis de entrada: duração do estresse térmico (dias), temperatura de bulbo seco do ar (°C) e, como variável de saída: consumo de ração (g), ganho de peso (g) e conversão alimentar ( $g\ g^{-1}$ ). O método de inferência utilizado foi o de Mamdani, tendo sido elaboradas 20 regras e a técnica de defuzzificação usada foi a do Centro de Gravidade. Nos resultados, obtidos na simulação do modelo, quando comparados com os dados experimentais, evidencia-se uma eficiência satisfatória na determinação das respostas produtivas, nas quais os valores de  $R^2$  calculados, para consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar foram de 0,998; 0,981 e 0,980, respectivamente.

Palavras-chave: Lógica *fuzzy*. Ambiência animal. Avicultura.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil a avicultura destaca sua importância e relevância no cenário nacional, no qual ocupa, atualmente, o primeiro lugar no ranking de países exportadores de carne de frango e o terceiro lugar como produtor mundial (UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBABEF, 2013).

Para o setor continuar em destaque no comércio mundial, é importante atender tanto a demanda para o consumo interno no país como a exportação. Dessa forma para maximizar a produtividade, é fundamental aliar um elevado potencial genético do plantel, a uma alimentação com nível nutricional adequado, em ambiente asséptico e ajustado às necessidades das aves (YANAGI JUNIOR et al., 2011).

Segundo Pereira, Oliveira e Penha (2011), o ambiente de produção para frangos de corte é diferenciado em físico, aéreo, térmico, biológico, acústico e social. No sistema de criação, os fatores térmicos influenciam diretamente os frangos de corte, em virtude da alteração na manutenção da homeotermia (BARBOSA FILHO; VIEIRA; SILVA, 2009; MENEGALI et al., 2009).

De acordo com Abreu et al. (2012), para que as aves possam controlar a sua temperatura corporal, é importante que elas estejam inseridas em um ambiente que determine um conforto térmico preservando a sua temperatura corporal. Porém, o sistema termorregulador das aves não está devidamente formado nas primeiras semanas de vida (SILVA et al., 2009) e, se submetidas a estresse térmico,

durante esse período, poderá o seu bem-estar ser afetado, em consequência, o seu desempenho.

Pode-se considerar que a fase mais crítica para as aves são as duas primeiras semanas de vida, pois erros ocorridos, durante esse período, não podem ser corrigidos no futuro, ocasionando perdas produtivas (BUTCHER; NILIPOUR, 2002; MILLER, 1996). Dessa forma, a temperatura adequada para a criação de pintainhos é de 32 a 34 °C, 28 a 32 °C e de 26 a 28 °C na primeira, segunda e terceira semanas de vida, respectivamente (OLIVEIRA et al., 2006).

Neste contexto, a manutenção do ambiente térmico, dentro de intervalos de conforto para os frangos de corte, é imperativa para que todo o potencial genético da linhagem seja explorado. Para tanto, o desenvolvimento de algoritmos (modelos matemáticos) de controle, que possam ser embarcados em microcontroladores, torna-se necessário. Dentre os possíveis modelos a serem desenvolvidos, aqueles baseados em inteligência artificial, especificamente, a metodologia *fuzzy* tem se mostrado mais adequada.

A lógica, de acordo com Simões (1999), é considerada uma técnica que associa a natureza humana de pensar quando utilizada para controlar um sistema. Um modelador particular pode ser elaborado para proceder-se análogo ao raciocínio dedutivo, ou seja, a maneira com que pessoas utilizam para afirmar suas decisões fundamentadas em informações já conhecidas.

Estudos demonstram boa eficiência na utilização da metodologia *fuzzy*, quando aplicada para auxiliar na tomada de decisões, que se especificam pela presença de incerteza nas afirmações de “sim” e “não”

(FERREIRA et al., 2010). Dessa forma, pode-se utilizar o sistema *fuzzy* para prever o desempenho de frangos de corte, submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, durante a segunda semana de vida.

Neste contexto, objetivou-se com a presente pesquisa, desenvolver um modelo *fuzzy* capaz de prever o consumo de ração, ganho de peso e a conversão alimentar de frangos de corte, criados de 1 a 21 dias, submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, durante a segunda semana de vida, possibilitando, assim, fornecer informações primordiais para o adequado manejo das aves, visando ao aumento de produtividade por meio do controle do ambiente térmico.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Para a realização da modelagem, esta pesquisa foi dividida em duas fases; na primeira, realizou-se o experimento com frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, durante a segunda semana e, na outra fase da pesquisa, os dados coletados no experimento foram usados para desenvolver o modelo capaz de prever o consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar das aves.

### **2.1 Experimento**

A coleta de dados foi realizada em quatro túneis de vento climatizados, alojados dentro de um laboratório com área de 31,92 m<sup>2</sup> (5,6 m x 5,7 m), cujo pé-direito é de 3,5 m, equipada com dois sistemas de ar condicionado com potência de 5,275 kW (18.000 BTUs) cada, utilizado para a manutenção da temperatura no interior da sala experimental. Cada túnel climatizado (Figura 1a) possui uma gaiola com dimensões de 0,40 x 0,60 m, divididas em 3 partes iguais com dimensões de 0,08 m<sup>2</sup> (Figura 1b).



FIGURA 1 - a) Túneis de vento climatizado. b) Vista superior das gaiolas para alojamento dos frangos de corte no interior dos túneis de vento climatizados. **a) Conditioned wind tunnel. b) Superior view of the cages for housing broilers in the interior of the conditioned wind tunnels.**

Foram utilizados 240 frangos de corte da linhagem *Cobb*, com idade variando entre 1 e 21 dias, as aves foram obtidas com 1 dia de vida de um mesmo incubatório comercial. Em cada bateria foram utilizadas 60 aves, sendo 15 aves em cada túnel de vento, divididas em 5 aves para cada repartição, com comedouros e bebedouros independentes.

Semanalmente uma ave de cada divisória foi retirada e foi levada para um ambiente de produção, assim, na terceira semana de vida, apenas três aves permaneceram em cada divisória, mantendo a densidade de criação recomendada.

Durante o período experimental foi fornecida às aves ração balanceada, formulada à base de milho e farelo de soja seguindo as

recomendações nutricionais de Rostagno et al. (2011). Diariamente avaliava-se o peso das aves e o consumo de água e da ração, que estavam disponíveis *ad libitum*. A higienização dos túneis de ventos e das gaiolas, também, foi realizada, diariamente, para evitar a formação de gases propiciando um ambiente adequado para o desempenho dos frangos de corte.

O experimento foi realizado em quatro baterias, em 13 diferentes tratamentos e, para cada tratamento, foi analisado o desempenho diário das aves por 21 dias, considerando três repetições para cada tratamento. Durante a primeira e terceira semana de vida das aves, as temperaturas foram mantidas na zona de termoneutralidade das aves, cujos valores são de 33 °C e 27 °C, respectivamente. Em cada bateria foram avaliadas quatro temperaturas do ar na segunda semana de vida das aves (33 °C, 30 °C, 27 °C e 24 °C), a partir do oitavo dia de vida. Os níveis das temperaturas foram selecionados, considerando os intervalos de temperaturas ótimas recomendadas pela literatura para a segunda semana de vida das aves (ABREU; BAETA; ABREU, 2000; CURTIS, 1983; DEATON; REECE, 1970; MILLIGAN; WINN, 1964), tendo os seus limites inferior e superior extrapolados para se gerar condições de desconforto por baixas temperaturas (27 °C e 24 °C) e altas temperaturas (33 °C).

Quatro níveis de duração do estresse térmico foram avaliados: 1, 2, 3 e 4 dias e, logo após, as temperaturas retornaram novamente às condições consideradas de conforto. Durante todos os testes, a umidade relativa foi mantida em  $60 \pm 1\%$  e a velocidade do ar em  $0,2 \pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$ , caracterizadas como de conforto para os animais. A intensidade da

luminosidade, também, foi controlada de acordo com o manual Cobb-Vantress (2008); para a primeira, segunda e terceira semana, os valores foram fixados em 25 lux, 10 lux e 5 lux, respectivamente. A Tabela 1 lista os tratamentos avaliados.

TABELA 1 - Temperatura do ar e dias de manutenção da condição de estresse, aplicados a frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, mantidos em túneis de vento climatizados. **Air temperature and stress condition maintenance days applied to broilers of 1 to 21 days of age, maintained in conditioned wind tunnels.**

Bateria	Túnel	Dias de vida								
		1 a 7	8	9	10	11	12	13	14	15 a 21
1	A	33°C	33°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	27°C
	B		33°C	33°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	C		33°C	33°C	33°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	D		33°C	33°C	33°C	33°C	30°C	30°C	30°C	
2	A	33°C	27°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	27°C
	B		27°C	27°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	C		27°C	27°C	27°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	D		27°C	27°C	27°C	27°C	30°C	30°C	30°C	
3	A	33°C	24°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	27°C
	B		24°C	24°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	C		24°C	24°C	24°C	30°C	30°C	30°C	30°C	
	D		24°C	24°C	24°C	24°C	30°C	30°C	30°C	
4	A, B, C e D	33°C				30°C				27°C

## 2.2 Modelagem

Posteriormente à coleta experimental, os dados para cada tratamento foram tabelados e usados para a determinação dos valores acumulados de consumo de ração(g), ganho de peso(g), e conversão alimentar ( $\text{g g}^{-1}$ ) os quais, foram utilizados, também, na validação do modelo matemático proposto.

Os conjuntos foram elaborados para caracterizar cada variável e foi determinada uma função de pertinência para cada conjunto. Buscando quantificar a importância da variação da temperatura na segunda semana de vida, nesta pesquisa, foram atribuídas como variáveis de entrada, duração do estresse térmico (dias) e a temperatura de estresse térmico ( $^{\circ}\text{C}$ ). Assim, foram determinados os intervalos para cada variável de entrada, conforme a Tabela 2 e suas respectivas curvas de pertinência (Figura 2), que foram representadas em formato triangular por melhor representar a divisão dos dados de entrada, conforme utilizado por diversos autores como Ponciano et al. (2012) e Tolon et al. (2010).

TABELA 2 - Conjuntos para as variáveis de entrada. **Sets for the input variables.**

Duração do estresse térmico (dias)					Temperatura de estresse térmico ( $^{\circ}\text{C}$ )			
D0	D1	D2	D3	D4	T1	T2	T3	T4
[0;1]	[0;2]	[1;3]	[2;4]	[3;4]	[24;27]	[24;30]	[27;33]	[30;33]

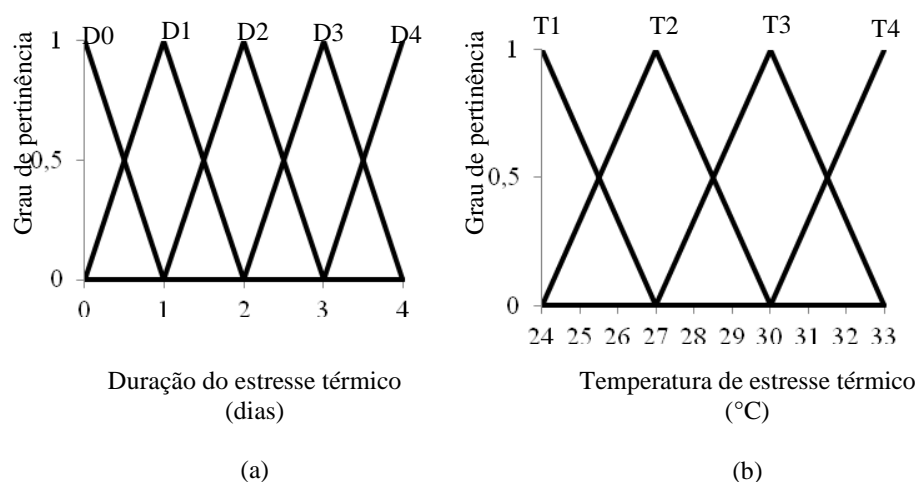


FIGURA 2 - Funções de pertinência para as variáveis de entrada: a) Duração do estresse térmico (dias), b) Temperatura de estresse térmico (°C).  
**Relevant functions for the input variables: a) Duration of the thermal stress (days), b) thermal stress temperature (°C).**

Para a elaboração do sistema é necessário determinar as saídas que o modelo irá prever, no qual foram definidas como: consumo de ração (CR, g), ganho de peso (GP, g) e conversão alimentar (CA,  $g\ g^{-1}$ ). Esses parâmetros, que determinam o desempenho dos frangos de cortes, foram analisados, durante 21 dias e, para o desenvolvimento do modelo, foram utilizados os valores acumulados durante esse período.

Para as variáveis de saída, as curvas de pertinência ficaram caracterizadas como triangular (Figura 3), por reproduzirem melhores respostas com os valores de desvio-padrão menores, sendo assim, utilizada por diversos autores (PEREIRA et al., 2008; PONCIANO et al., 2012; SANTOS et al., 2009). Para realizar todo o raciocínio *fuzzy*, foi aplicado o método de inferência de Mamdani, que fornece as respostas de um conjunto, de acordo com as combinações dos valores de entrada com

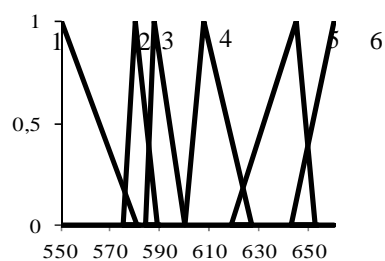
seus relativos graus de pertinência, por meio de um operador mínimo e, em seguida, pelas definições das regras por meio do operador máximo. O método de Centro de Gravidade (Centroide ou Centro de Área) foi utilizado na defuzzificação, no qual admite todas as alternativas de saída, convertendo os conjuntos em valores numéricos (LEITE; FILETI; SILVA, 2010).

As regras foram definidas em sentenças linguísticas, com base nos dados coletados na primeira fase desse experimento e com auxílio de três especialistas, e se integram uma característica substancial no desempenho de um sistema de inferência *fuzzy*, que terá um bom desempenho somente quando as regras forem consistentes. De acordo com Silva e Costa (2004), um especialista é aquele profissional que possui um conhecimento profundo e específico em determinada área. Dessa forma, para o desenvolvimento da lógica *fuzzy* é necessário que o profissional seja qualificado para evitar possibilidades de contradições nas interações entre as regras (CHERRI; ALEM JUNIOR; SILVA, 2011).

Foi utilizada a metodologia proposta por Cornelissen et al. (2002), para a escolha do especialista, conforme empregado por Yanagi Junior et al. (2012). Dessa forma, três especialistas auxiliaram na montagem das regras e possuem experiência em ambiência animal e modelagem *fuzzy* por mais de dez anos.

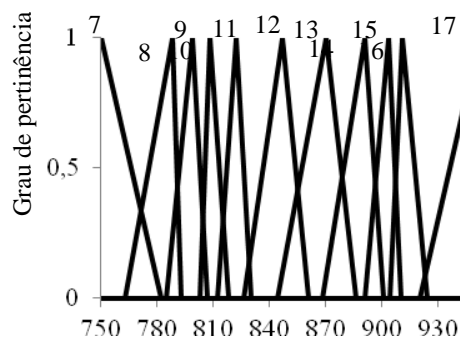
De acordo com as combinações da duração do estresse térmico e temperatura de estresse térmico, foram definidas 20 regras e, para cada regra, foi atribuído um fator de ponderação igual a 1, conforme adotado por Ponciano et al. (2012) e Yanagi Junior et al. (2012).

Grau de pertinência



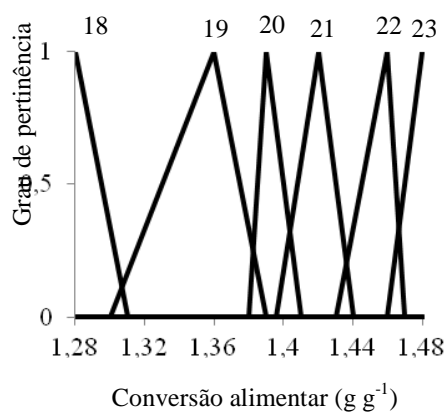
Consumo de ração (g)

(a)



Ganho de peso (g)

(b)

Conversão alimentar (g g<sup>-1</sup>)

(c)

Legenda

1 a 6	Curvas de Pertinência do CR
7 a 17	Curvas de Pertinência do GP
18 a 23	Curvas de Pertinência do CA

FIGURA 3 - Funções de pertinência para as variáveis de saída: a) consumo de ração (g), b) ganho de peso (g) e c) conversão alimentar (g g<sup>-1</sup>).  
**Relevant functions for the output variables: a) feed intake (g), b) weight gain (g) and c) feed conversion rate (g g<sup>-1</sup>).**

### 2.3 Simulações

Para realizar a validação da modelagem matemática, foram utilizados os dados coletados na primeira fase desta pesquisa, na qual frangos de corte da linhagem *Cobb* foram submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse, durante a segunda semana de vida e seu desempenho analisado durante 21 dias.

As simulações foram empregadas com o auxílio do *Fuzzy Toolbox*® do *Matlab*®, *software* onde toda a modelagem foi elaborada. Na avaliação do modelo proposto, as respostas produtivas das aves foram simuladas e como variáveis de saída os resultados foram equiparados com os dados adquiridos pelo experimento.

Em um âmbito mais amplo, objetiva-se com esses testes é avaliar a capacidade de como a modelagem pode prever o CR, GP e CA, abordando todas as prováveis combinações de variáveis iniciais. Dessa forma, o desempenho dos frangos de corte, fornecido como respostas do sistema, pode ser utilizado como ferramenta para tomadas de decisões no controle do ambiente produtivo em casos de estresse térmico.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Se as aves forem submetidas a condições de desconforto térmico, nas primeiras semanas de vida, o seu bem-estar poderá ser afetado, impactando, negativamente, o seu desempenho produtivo. Ressalta-se que as condições térmicas, as quais as aves estão submetidas nas primeiras semanas de vida, são relevantes para o desenvolvimento do animal no futuro (MARCHINI et al., 2009).

De acordo com Abreu, Baeta e Abreu (2000), as aves que são submetidas a estresse térmico por baixas temperaturas, aumentam o seu CR, apesar disso não ocorre uma melhoria no desempenho das aves, isso se dá porque parte da energia ingerida é empregada na produção de calor. Percebe-se, claramente, esse efeito no experimento realizado (Tabela 3), no qual as aves submetidas a estresse térmico, em uma temperatura de 24 °C, com intensidade de 4 dias, durante a segunda semana de vida, apresentaram um CR, GP e CA de 867,9 g; 592,9 g e 1,46g g<sup>-1</sup>, respectivamente, porém no tratamento controle no qual as aves foram submetidas a uma temperatura de 30 °C durante a segunda semana, considerada de conforto (SILVA et al., 2009), apresentaram CR, GP e CA de 762,68 g; 592,67 g e 1,29 g g<sup>-1</sup>, ou seja, com o estresse térmico as aves consumiram, aproximadamente, 100 g a mais, enquanto que o GP foi praticamente o mesmo.

Os valores da temperatura de estresse térmico e a duração do estresse térmico, na segunda semana de vida, foram utilizados para prever o CR, GP e CA e foram comparados com os dados observados no experimento realizado nos túneis de vento climatizados (Tabela 3). Foram

calculadas as médias dos desvios-padrão de 1,19 g; 2,09 g e 0,01g g<sup>-1</sup> para CR, GP e CA, respectivamente.

TABELA 3 - Comparação dos valores de consumo de ração (CR, g), ganho de peso (GP, g) e conversão alimentar (CA, g g<sup>-1</sup>), para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo.  
**Comparison of the feed intake (FI, g), weight gain (WG, g) and feed conversion rate (FC, g) values for broilers from 1 to 21 days of age, experimentally obtained and simulated by the model.**

Temperatura do estresse térmico (°C)	Duração do estresse térmico (dias)	Dados Experimentais			Simulação <i>Fuzzy</i>			Desvio Padrão			Erro (%)		
		CR	GP	CA	CR	GP	CA	CR	GP	CA	CR	GP	CA
33	1	911,87	654,87	1,39	913,00	655,00	1,39	0,80	0,09	0,00	0,12	0,02	0,18
	2	826,84	582,74	1,42	823,00	581,00	1,42	2,72	1,23	0,00	0,47	0,30	0,08
	3	783,68	563,35	1,39	781,00	560,00	1,39	1,90	2,37	0,00	0,34	0,60	0,08
	4	808,05	559,62	1,44	809,00	560,00	1,46	0,68	0,27	0,02	0,12	0,07	1,10
27	1	821,75	588,35	1,40	822,00	591,00	1,39	0,18	1,87	0,01	0,03	0,45	0,48
	2	777,46	599,02	1,30	781,00	591,00	1,29	2,50	5,67	0,01	0,45	1,36	0,61
	3	888,55	628,90	1,41	887,00	637,00	1,39	1,10	5,73	0,02	0,17	1,27	1,64
	4	847,10	580,80	1,46	845,00	581,00	1,46	1,48	0,14	0,00	0,25	0,03	0,10
24	1	941,33	639,75	1,47	941,00	639,00	1,48	0,23	0,53	0,01	0,04	0,12	0,58
	2	901,93	606,43	1,49	901,00	612,00	1,48	0,66	3,94	0,01	0,10	0,91	0,49
	3	902,00	616,00	1,46	901,00	612,00	1,46	0,71	2,83	0,00	0,11	0,65	0,29
	4	867,90	592,90	1,46	867,00	591,00	1,46	0,64	1,34	0,00	0,10	0,32	0,26
30	-	762,68	592,67	1,29	760	591	1,29	1,90	1,18	0,00	0,35	0,28	0,24
		<b>Média</b>						<b>1,19</b>	<b>2,09</b>	<b>0,01</b>	<b>0,20</b>	<b>0,49</b>	<b>0,47</b>

Na pesquisa realizada por Ponciano et al. (2012), para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, utilizando o modelo matemático, obtiveram valores médios de desvios-padrão de 4,31 g; 4,76 g e 0,02 g g<sup>-1</sup>, respectivamente e erros percentuais de 2,38; 2,94 e 2,16%, demonstrando, assim, eficiência do modelo *fuzzy* proposto em simular as respostas produtivas.

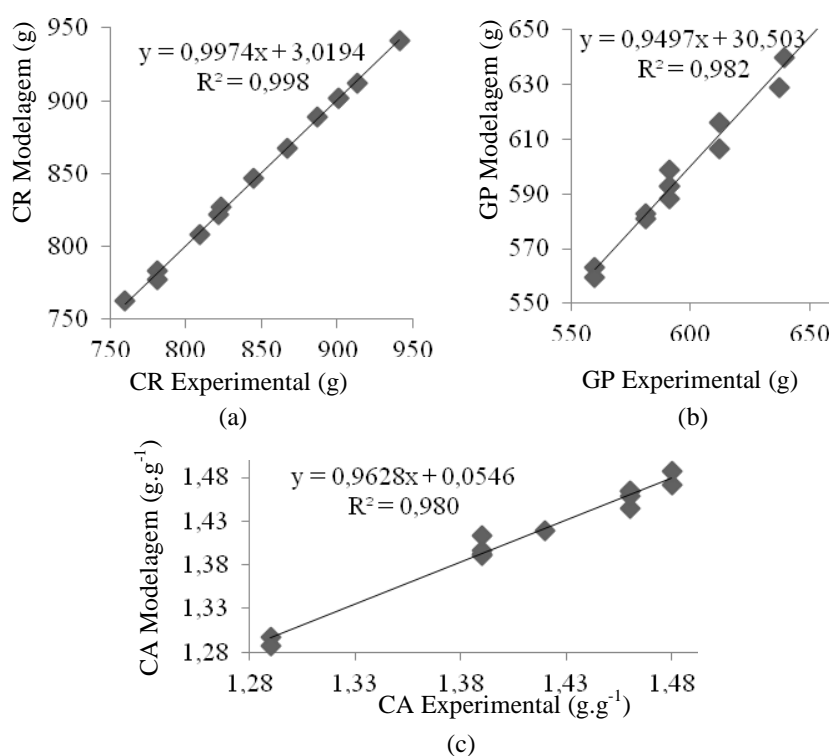


FIGURA 4 - Regressões lineares das respostas produtivas medidas experimentalmente e em virtude da modelagem : a) consumo de ração (CR); b) ganho de peso (GP) e c) conversão alimentar (CA) para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Linear regressions of the productive responses experimentally measured and due to the modeling: a) feed intake (FI); b) weight gain (WG) and c) feed conversion (FC) for broilers from 1 to 21 days of age.**

Na Figura 4, foram ajustadas regressões lineares simples dos valores obtidos, experimentalmente e por modelagem *fuzzy*, nos quais os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) apresentado para CR, GP e CA foi de 0,998; 0,982 e 0,980, respectivamente. Para avaliar o desempenho de frangos de corte adultos em função da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, Medeiros et al. (2005) desenvolveram um modelo matemático para prever o CR, GP e CA e encontraram valores dos coeficientes de determinação de 0,91; 0,89 e 0,72, respectivamente .

De acordo com o manual Cobb-Vantress (2008), a conversão alimentar acumulada para frangos de corte, criados em condições de conforto para aves mistas na terceira semana é de  $1,247 \text{ g g}^{-1}$ . No experimento realizado, o valor da conversão alimentar encontrado, quando as aves não foram submetidas ao estresse foi de  $1,290 \text{ g g}^{-1}$ , determinando, assim, um desvio padrão de  $0,02 \text{ g g}^{-1}$  e um erro percentual de 3,44 %.

As aves submetidas a uma temperatura de  $30^\circ\text{C}$ , na segunda semana de vida, obtiveram uma melhor conversão alimentar dentre as outras temperaturas. Assim, pode-se afirmar que a temperatura ideal para frangos de corte, na segunda semana de vida, é de  $30^\circ\text{C}$ , confirmando a temperatura de conforto, durante a segunda semana, de acordo com May e Lot (2000), Medeiros et al. (2005) e Yousef (1985).

A superfície apresentada na Figura 5 ilustra a interação entre a temperatura de estresse térmico e a duração de estresse térmico, em função da CA. As depressões na faixa de temperatura entre 29 e 31 ( $^\circ\text{C}$ ) indicam onde ocorreu a melhor conversão alimentar. A análise pode ser feita em relação aos dias de estresse térmico e da temperatura adotada.

Podemos observar que, quando a duração de estresse foi de 4 dias, obtiveram-se os piores valores de conversão alimentar, da mesma forma ocorreu com as diferentes temperaturas, ou seja, quanto mais fora da faixa de conforto 28 a 32 °C, segundo Ferreira (2005), Macari, Furlan e Maiorka (2004) e Medeiros et al. (2005), pior é a conversão alimentar. Dessa forma, pode-se afirmar que, para avaliar o desempenho de frangos de corte submetidos ao estresse, deve-se utilizar a interação da temperatura do estresse térmico juntamente com a duração dessa mesma temperatura.

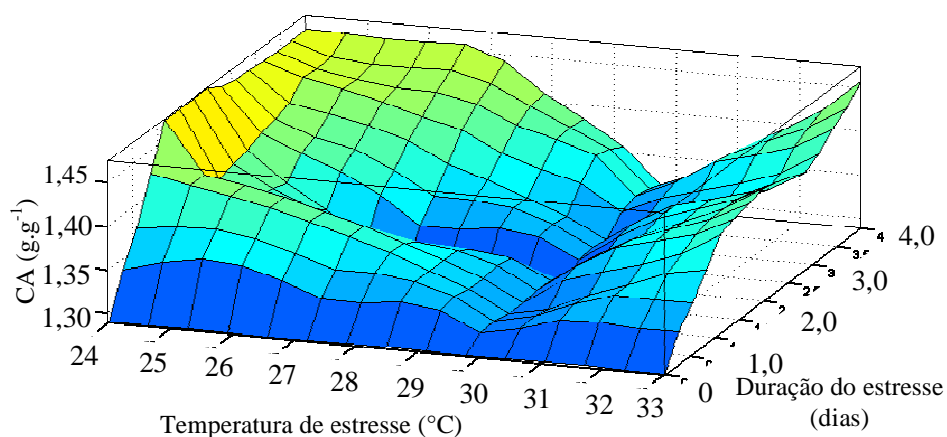


FIGURA 5 - Conversão alimentar (CA) simulada em função da temperatura de estresse térmico e duração do estresse térmico para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Feed conversion (FC) simulated in function of thermal stress temperature and duration of thermal stress for broilers from 1 to 21 days of age.**

Quando as aves foram submetidas ao estresse em baixas temperaturas, podemos verificar que, à medida que a temperatura abaixa, a conversão alimentar piora, assim para a duração de 1 e 3 dias de estresse, a conversão alimentar teve uma piora de  $0,031 \text{ g g}^{-1}$  e  $0,028 \text{ g g}^{-1}$ , respectivamente, para cada grau de estresse. Para a duração de 2 dias de estresse, a superfície demonstra que até a temperatura de  $27^\circ\text{C}$ , as aves, mesmo sofrendo um estresse térmico, ainda permaneceram com desempenho igual às aves submetidas a condições de conforto. Isso pode ter acontecido em razão do fato das aves modificarem seu comportamento, aglomerando-se e diminuindo, assim, o consumo de ração, porém, a partir do terceiro dia de estresse ocorreu um ganho compensatório, aumentando o consumo de ração, conforme demonstrado na Tabela 3. Para 4 dias de duração de estresse, em baixas temperaturas, ocorreu uma piora na conversão alimentar de  $0,056 \text{ g g}^{-1}$  para cada grau de estresse até a temperatura de  $27^\circ\text{C}$ , mantendo-se, praticamente, constante até a temperatura de  $24^\circ\text{C}$ . Para o estresse térmico em altas temperaturas, a superfície demonstra que, para todas as durações, a conversão alimentar aumenta em média  $0,041 \text{ g g}^{-1}$  para cada grau de estresse que a ave foi submetida.

Portanto, de acordo com os resultados encontrados nesta pesquisa objetiva-se que o modelo *fuzzy* proposto pode ser utilizado para prever o CR, GP e CA, em função da temperatura de estresse térmico e duração do estresse térmico. A análise conjunta entre o ambiente térmico e respostas produtivas das aves proporcionam uma avaliação mais detalhada do processo de produção, permitindo, assim, uma melhor eficiência nos sistemas de aquecimento e resfriamento.

#### **4 CONCLUSÕES**

O experimento, realizado em túneis de vento climatizados, propiciou a avaliação da influência da temperatura do ar no desempenho das aves durante os 21 dias.

A modelagem *fuzzy* pode ser utilizada para prever com eficiência as respostas produtivas dos frangos de corte com idade entre 1 e 21 dias, quando submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, podendo, assim, ser adaptado em sistemas de condicionamento térmico para dar suporte a decisões.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam os seus agradecimentos a CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo suporte financeiro à esta pesquisa.

**FUZZY MODELING OF THE PERFORMANCE OF BROILERS,  
GROWN FROM 1 TO 21 DAYS, SUBJECTED TO THERMAL  
STRESS**

**ABSTRACT**

With the need to obtain better systems to control broiler production environment, we performed an experiment with 1-21 day broilers, which were submitted to different intensities and durations of air temperatures in conditioned wind tunnels, and used the results to validate a fuzzy model. The model was developed using input variables: duration of heat stress (days), air dry bulb temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and, as output variables: feed intake (g), weight gain (g) and feed conversion ( $\text{g g}^{-1}$ ). Mandani inference method elaborated with 20 rules and Center of Gravity defuzzification technique were used. The results obtained in the model simulation, when compared to the experimental data, shows a satisfactory efficiency in predicting productive responses, in which the  $R^2$  values calculated for feed intake, weight gain and feed conversion were 0.998 , 0.981 and 0.980 , respectively.

Keywords: Fuzzy logic. Animal environment. Poultry.

## REFERÊNCIAS

ABREU, P. G. de; BAETA, F. C.; ABREU, V. M. N. Desempenho produtivo e bioeconômico de frangos de corte criados em diferentes sistemas de aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 159-167, jan./fev. 2000.

ABREU, P. G. de et al. Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, jul. 2012.

Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662012000700014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000700014&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 dez. 2013.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O. Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 12, p. 2442-2446, 2009.

BUTCHER, G. D.; NILIPOUR, A. H. **Broiler management: the first 24 hours**. Gainesville: University of Florida, 2002. 4 p.

CHERRI, A. C.; ALEM JUNIOR, D. J.; SILVA, I. N. da. Inferência fuzzy para o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis de material. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 173-195, jan./abr. 2011.

COBB-VANTRESS. **Broiler management guide**. Arkansas, 2008. 65 p.

CORNELISSEN, A. M. G. et al. **Eliciting expert knowledge for Fuzzy evaluation of agricultural production systems**. Rotterdam: Erasmus

Research Institute of Management, 2002. Disponível em:  
<[http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=371055](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=371055)>. Acesso em: 20 dez. 2011.

CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University, 1983. 410 p.

DEATON, J. W.; REECE, F. N. Special world's poultry issue: implications of environmental control for broilers. **Feedstuffs**, Minnetonka, v. 42, p. 34-36, 1970.

FERREIRA, L. et al. Desenvolvimento de uma rede neuro- para predição da temperatura retal de frangos de corte. **RITA**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 221-233, 2010.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. 371 p.

LEITE, M. S.; FILETI, A. M. F.; SILVA, F. V. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocessos. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 147-158, mar./abr. 2010.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; MAIORKA, A. Aspectos fisiológicos e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas. In: MENDES, A. A.; NÃÃS, I. A.; MACARI, M. (Ed.). **Produção de frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2004. p. 137-155.

MARCHINI, C. F. P. et al. Intestinal morphometry of the duodenal mucosa in broiler chickens underwent to high cyclic environment temperature. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 2, p. 491-497, 2009.

MAY, J. D.; LOTT, B. D. The effect of environmental temperature on growth and feed conversion of broilers to 21 days of age. **Poultry Science**, Champaign, v. 79, n. 5, p. 669-671, May 2000.

MEDEIROS, C. M. et al. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 277-286, 2005.

MENEGALI, I. et al. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 984-990, nov./dez. 2009. Suplemento.

MILLER, G. The first two weeks: a critical time. **Quarterly Publication of Cobb-Vantress**, Arkansas, v. 4, n. 2, p. 1-4, 1996.

MILLIGAN, J. L.; WINN, P. N. The influence of temperature and humidity on broiler performance in environmental chambers. **Poultry Science**, Champaign, v. 24, n. 1, p. 33-40, 2011.

OLIVEIRA, R. F. M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 797-803, 2006.

PEREIRA, D. F. et al. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 624-634, out./dez. 2008.

PEREIRA, D. F.; OLIVEIRA, S. C.; PENHA, N. L. J. Logistic regression to estimate the welf are of broiler breeders in relation to environment al

and behavioral variables. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 33-40, jan./fev. 2011.

PONCIANO, P. F. et al. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 446-458, jun. 2012.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 252 p.

SANTOS, R. C. et al. Aplicação da lógica nebulosa na simulação de estro de vacas leiteiras. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 5, n. 8, p. 1-6, ago. 2009.

SILVA, S. C. M.; COSTA, W. S. Aquisição de conhecimento: o grande desafio na concepção de sistemas especialistas. **Sinergia**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 135-141, jul./dez. 2004.

SILVA, V. K. et al. Desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade alimentados com rações contendo extrato de leveduras e prebiótico e criados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 4, p. 690-696, 2009.

SIMÕES, M. G. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo: E. Blücher, 1999. 165 p.

TOLON, Y. B. et al. Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2010.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Relatório anual**. Disponível em:

<<http://www.ubabef.com.br/files/publicacoes/732e67e684103de4a2117dda9ddd280a.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, 2011. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162011000100001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000100001&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 dez. 2013.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 432-434, 2012.

YOUSEF, M. K. **Stress physiology in Livestock**. Las Vegas: CRC, 1985. 159 p. (Basic Principle, 3).