



**LUCAS HENRIQUE PEDROZO ABREU**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AVALIAÇÃO  
DE RESPOSTAS PRODUTIVAS E  
FISIOLÓGICAS DE FRANGOS DE CORTE  
SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES  
E DURAÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO**

**LAVRAS - MG**

**2015**

**LUCAS HENRIQUE PEDROZO ABREU**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AVALIAÇÃO DE RESPOSTAS  
PRODUTIVAS E FISIOLÓGICAS DE FRANGOS DE CORTE  
SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES E DURAÇÕES DE  
ESTRESSE TÉRMICO**

Tese 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 Doutor.

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

Dr. Alessandro Torres Campos

Dr. Renato Ribeiro Lima

Dr. Édison José Fassani

**LAVRAS - MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da  
Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo próprio autor.**

Abreu, Lucas Henrique Pedrozo.

Inteligência artificial na avaliação de respostas produtivas e fisiológicas de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico / Lucas Henrique Pedrozo Abreu. – Lavras : UFLA, 2015.

163 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Tadayuki Yanagi Junior.

Bibliografia.

1. Desempenho. 2. Temperatura cloacal. 3. Temperatura superficial. 4. Avicultura. 5. Ambiência. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**LUCAS HENRIQUE PEDROZO ABREU**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AVALIAÇÃO DE RESPOSTAS  
PRODUTIVAS E FISIOLÓGICAS DE FRANGOS DE CORTE  
SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES E DURAÇÕES DE  
ESTRESSE TÉRMICO**

Tese 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 Doutor.

APROVADA em 06 de novembro de 2015.

Dr. Alessandro Torres Campos (DEG/UFLA)

Dr. Édison José Fassani (DZO/UFLA)

Dr. Flávio Alves Damasceno (DEG/UFLA)

Dra. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco (DEA/UFV)

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

Dr. Alessandro Torres Campos

Dr. Renato Ribeiro Lima

Dr. Édison José Fassani

**LAVRAS - MG**

**2015**

*A DEUS.*

*Aos meus pais, Pedro Pereira e Tânia Aparecida, e minha  
irmã Milena, pelo amor, confiança, 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 doutorado.

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

Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos e ou apoio financeiro ao projeto.

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

Aos professores Alessandro Campos, Renato Ribeiro, Édison Fassani, Leonardo Schiassi, Flávio Damasceno, Jaqueline e Patrícia, pelos conhecimentos transmitidos.

À Maria Camila, pela compreensão, paciência, confiança e apoio em todos os momentos.

A toda a minha família, pela motivação, amizade e ensinamentos.

À secretária Helem, pela dedicação no trabalho realizado.

Aos colegas Marcelo Bauti, Yamid Fábian, Dian Lorençoni, Rodrigo Allan, Danúbia, Gabriel e Talita, pela grande contribuição na fase experimental deste trabalho e análise dos dados.

Aos colegas da Pós-Graduação, pelas trocas de experiência.

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

*“A persistência é o caminho do êxito”*

*Charles Chaplin*

## RESUMO GERAL

Na avicultura, o ambiente térmico é responsável pelo processo homeotérmico das aves, sendo que, quando submetidas a algum tipo de estresse térmico seu conforto é afetado, comprometendo assim o desempenho produtivo. Desse modo, a presente pesquisa foi conduzida com o objetivo de analisar as respostas produtivas, a temperatura cloacal ( $t_{clo}$ , °C) e temperatura superficial ( $t_{sup}$ , °C) de frangos de corte, submetidos a diferentes intensidades e durações de temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ , °C), na segunda semana de vida. Para isto, foi conduzido um experimento no Laboratório de Ambiência Animal da Universidade Federal de Lavras, equipado com quatro túneis de vento climatizados que possuem recirculação e renovação parcial do ar. Foram utilizados 240 frangos de corte, divididos em quatro etapas, sendo que, na segunda semana, para cada etapa foram utilizadas diferentes  $t_{bs}$  (24, 27, 30 e 33 °C) e durações (1, 2, 3 e 4 dias). A umidade relativa do ar e a velocidade do ar foram fixadas em 60 % e 0,2 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. Na primeira e terceira semanas experimentais, as aves foram submetidas a condições de conforto térmico, caracterizados por valores de  $t_{bs}$  de 33 °C e 27 °C, respectivamente. Para analisar o efeito das variações térmicas e suas durações, foi utilizada a análise de variância. Modelos matemáticos foram desenvolvidos utilizando lógica *fuzzy* e redes neurais artificiais (RNA), em que, foi possível prever a  $t_{clo}$ , conversão alimentar (CA, g) e o consumo de água ( $C_{água}$ , ml) em função das intensidades e durações de  $t_{bs}$ . Com os resultados obtidos por meio das respostas produtivas, verificou-se que, para a  $t_{bs}$  de 24 °C (estresse por baixa temperatura) as aves consumiram mais ração, porém, obtiveram a pior CA. As aves que demonstraram a melhor CA foram submetidas a  $t_{bs}$  de 30 °C. Verificou-se que para a  $t_{bs}$  de 24 e 27 °C houve diminuição da  $t_{clo}$  e  $t_{sup}$ , sendo que a aclimação das aves ao estresse térmico ocorreu a partir do segundo dia de estresse. Os valores de  $t_{clo}$  simulados pelo modelo *fuzzy* apresentaram desvios padrão e erros percentuais menores que 0,02 e 0,08 %, respectivamente, quando comparados aos obtidos experimentalmente. Para a RNA desenvolvida, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para a  $t_{clo}$ , CA e  $C_{água}$  foram de 0,87; 0,79 e 0,97, respectivamente. Estes resultados indicam que os modelos possuem alta capacidade preditiva e podem ser utilizados como suporte à tomada de decisão em sistemas de controle do ambiente térmico.

Palavras-chave: Desempenho. Temperatura cloacal. Temperatura superficial. Lógica *fuzzy*. Redes neurais artificiais. Avicultura. Ambiência.

## GENERAL ABSTRACT

In aviculture, the thermal environment is responsible for homeothermic process of poultry, and, when subjected to some kind of heat stress their comfort is affected thus compromising the productive performance. Thus, this research aimed to analyze the productive responses, cloacal temperature ( $t_{clo}$ , °C) and surface temperature ( $t_{sup}$ , °C) of broilers submitted to different intensities and durations of air dry-bulb temperature ( $t_{db}$ , °C) throughout their second week of life. An experiment was conducted in the Animal Ambience Laboratory of the Federal University of Lavras, equipped with four air-conditioned wind tunnels that have recirculation and partial air renewal. It was used 240 broilers divided into four stages, where in the second week, for each step there was a different  $t_{bs}$  (24, 27, 30 and 33 °C) with a different duration (1, 2, 3 and 4 days). The relative humidity and air velocity were fixed at 60% and  $0.2 \text{ m s}^{-1}$ , respectively. In the first and third experimental week, the birds were subjected to thermal comfort conditions, characterized in  $t_{db}$  values of 33 °C and 27 °C respectively. Variance analysis was used to analyze the effect of temperature fluctuations and its duration. Mathematical models have been developed using the fuzzy logic and artificial neural networks (ANN) in which it was possible to predict the  $t_{clo}$ , feed conversion (FC, g) and water consumption ( $C_{water}$ , ml) depending on the intensities and durations. The results obtained with productive responses showed that in a  $t_{db}$  of 24 °C (low temperature stress) poultry had more feed intake but obtained a worst feed conversion. Best feed conversion was obtained in poultry submitted to a  $t_{db}$  of 30 °C. It was seen that with  $t_{db}$  of 24 and 27 °C there was a reduction in  $t_{clo}$  and  $t_{sup}$ , where poultry acclimatization to heat stress occurred from the second day of stress. The  $t_{clo}$  values simulated by the fuzzy model had standard deviations and smaller percentage errors of 0.02 and 0.08%, respectively, than those obtained experimentally. For the ANN developed, the coefficients of determination ( $R^2$ ) for  $t_{clo}$ , FC and  $C_{water}$  were 0.87; 0.79 and 0.97, respectively. These results demonstrated that the templates had high predictive power and could be used to support decision making in control of thermal environment systems.

Keywords: Performance. Cloacal temperature. Surface temperature. Fuzzy logic. Artificial neural networks. Aviculture. Ambience.

## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

- Figura 1. Desenvolvimento computacional *fuzzy* ..... 30
- Figura 2. Neurônio artificial ( $m$  é o número de entradas e  $k$  identifica o neurônio) Fonte: Martins-Filho, Mol e Rocha (2005). ..... 33
- Figura 3. Representação operacional de uma rede neural. Fonte: Adaptado de Cerqueira, Andrade e Poppi (2001). ..... 34
- Figura 4. Rede *multilayer perceptron* (MLP) com duas camadas escondidas. Fonte: Fiorin et al. (2011). ..... 36

### SEGUNDA PARTE

#### ARTIGO 1

- Figura 1. a) Vista geral dos túneis de vento climatizados. b) Vista superior das gaiolas aloçadas no interior dos túneis ..... 55
- Figura 2. Análise do consumo de ração (CR, g) em função das temperaturas de bulbo seco do ar e duração do estresse térmico avaliado. .... 64
- Figura 3. Conversão alimentar (CA,  $g\ g^{-1}$ ) de frangos de corte submetidos a diferentes temperaturas de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ), comparadas com o desempenho de frangos de corte mantidos em conforto térmico de acordo com o manual da linhagem. .... 68

#### ARTIGO 2

- Figura 1. Imagem termográfica de frangos de corte, submetidos a determinada condição térmica, no interior dos túneis de vento climatizados ..... 87

Figura 2.	Análise em dendograma da temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ) em função da temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ) de frangos de cortes submetidos a diferentes intensidades de estresse na segunda semana de vida. ....	91
-----------	--	----

### ARTIGO 3

Figura 1.	Funções de pertinência para as variáveis de entrada: a) duração do estresse térmico (dias), b) temperatura de bulbo seco do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e c) dias após o estresse térmico (dias).....	115
-----------	---	-----

Figura 2.	Funções de pertinência para a variável de saída temperatura cloacal ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	116
-----------	---	-----

Figura 3.	Regressões lineares das temperaturas cloacais obtidas experimentalmente e simuladas pelo modelo <i>fuzzy</i> , variando a duração do estresse térmico: a) um dia de estresse térmico ( $\text{CT}^1$ ); b) dois dias de estresse térmico ( $\text{CT}^2$ ); c) três dias de estresse térmico ( $\text{CT}^3$ ) e d) quatro dias de estresse térmico ( $\text{CT}^4$ ) na segunda semana de vida. ....	122
-----------	---	-----

Figura 4.	Temperatura cloacal ( $^{\circ}\text{C}$ ) simulada em função da temperatura de bulbo seco do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e duração do estresse térmico (dias) para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. ....	123
-----------	--	-----

### ARTIGO 4

Figura 1.	Curva de treinamento da RNA para a renovação dos pesos sinápticos.....	148
-----------	--	-----

Figura 2.	Regressões lineares da temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ), consumo de água ( $C_{\text{água}}$ ) e conversão alimentar (CA) obtidas experimentalmente e simuladas pelo modelo RNA, na segunda semana de vida. ....	153
-----------	---	-----

## LISTA DE TABELAS

### PRIMEIRA PARTE

- Tabela 1 Faixa de conforto da temperatura de bulbo seco do ar para frangos de corte em diferentes semanas. .... 21
- Tabela 2 Respostas produtivas de frangos de corte da linhagem *Cobb* 500<sup>®</sup> (misto), em diferentes semanas de criação. .... 22

### SEGUNDA PARTE

#### ARTIGO 1

- Tabela 1. Temperatura de bulbo seco do ar e duração do estresse térmico (em negrito), aplicados a frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, mantidos em túneis de vento climatizados. .... 58
- Tabela 2. Valores de temperatura de bulbo seco do ar desejada ( $t_{bs,desejada}$ , °C), médias observadas ( $t_{bs,obs}$  (°C) e  $UR_{obs}$  (%)) no interior dos túneis de vento climatizados. .... 61
- Tabela 3. Média do consumo de ração (CR, g) acumulado de frangos de corte aos 21 dias de idade, submetidos a diferentes durações de estresse térmico. .... 62
- Tabela 4. Ganho de peso (GP) acumulado na terceira semana de vida de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico. .... 65
- Tabela 5. Médias e desvios padrão (entre parênteses) da conversão alimentar (CA) acumulada na terceira semana de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico. .... 67

## ARTIGO 2

- Tabela 1. Temperatura de bulbo seco do ar e dias de manutenção da condição de estresse térmico (em negrito), aplicados a frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, mantidos em túneis de vento climatizados..... 85
- Tabela 2. Valores de temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs,desejada}$ ) e umidade relativa ( $UR_{desejada}$ ) do ar desejadas, médias observadas ( $t_{bs,obs}$  e  $UR_{obs}$ ) e desvios padrão (entre parênteses) no interior dos túneis de vento climatizados. .... 89
- Tabela 3. Médias e desvios padrão (entre parênteses) da temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ) de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico durante a segunda semana de vida. .... 90
- Tabela 4. Médias e desvios padrão das temperaturas superficiais ( $t_{sup}$ ) de frangos de corte submetidos a diferentes durações de estresse térmico durante a segunda semana de vida. .... 92

## ARTIGO 3

- Tabela 1. Temperatura de bulbo seco 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. .... 114
- Tabela 2. Comparação dos valores de temperatura cloacal ( $^{\circ}C$ ) com duração de estresse para um dia ( $TC^1$ ), dois dias ( $TC^2$ ), três dias ( $TC^3$ ) e quatro dias ( $TC^4$ ), para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo..... 121

#### **ARTIGO 4**

- Tabela 1. Estatística descritiva comparando os valores obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo para a temperatura cloacal, conversão alimentar e consumo de água de frangos de corte. .... 150
- Tabela 2. Erro padrão, raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), coeficiente de regressão e intercepto para os valores de temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ), conversão alimentar (CA) e consumo de água ( $C_{água}$ ) obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo..... 152

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

CR	Consumo de ração (g)
GP	Ganho de peso (g)
CA	Conversão alimentar ( $\text{g g}^{-1}$ )
$C_{\text{água}}$	Consumo de água (ml)
$t_{\text{bs}}$	Temperatura de bulbo seco do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )
UR	Umidade relativa do ar (%)
V	Velocidade do ar ( $\text{m s}^{-1}$ )
$t_{\text{clo}}$	Temperatura cloacal ( $^{\circ}\text{C}$ )
$t_{\text{sup}}$	Temperatura superficial ( $^{\circ}\text{C}$ )
RNA	Rede neural artificial

## SUMÁRIO

### PRIMEIRA PARTE

1	INTRODUÇÃO .....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Ambiente térmico.....	19
2.2	Desempenho animal .....	21
2.2.1	Respostas fisiológicas .....	23
2.2.2	Temperatura cloacal.....	25
2.2.3	Temperatura superficial.....	26
2.3	Inteligência artificial .....	27
2.3.1	Lógica <i>fuzzy</i> .....	28
2.3.2	Redes neurais artificiais .....	31
2.3.2.1	O neurônio artificial .....	32
2.3.2.2	<i>Multilayer perceptron</i> .....	35
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	38
	REFERÊNCIAS .....	39

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Desempenho de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico.....	49
---	----

#### ARTIGO 2

Temperaturas cloacais e superficiais de frangos de corte submetidos a estresse térmico.....	78
---	----

#### ARTIGO 3

Modelo <i>fuzzy</i> para predição da temperatura cloacal de frangos de corte submetidos a estresse térmico.....	106
---	-----

#### ARTIGO 4

Redes neurais artificiais para predição de variáveis fisiológicas e produtivas de pintinhos .....	134
---	-----

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

A produção de frangos de corte é um importante segmento da economia brasileira. Sua evolução nas últimas décadas assegurou à atividade alcançar posição privilegiada no cenário mundial, no qual, atualmente, ocupa a terceira posição no *ranking* de produtores e a primeira posição como exportador de carne de frango, com exportação total de 3,918 milhões de toneladas em 2013 (UBABEF, 2014).

Da produção total de carne de frango em 2013 no Brasil, 31,6 % foram destinadas para exportações e 68,4 % foram designadas ao mercado interno. O consumo *per capita* de carne de frango para o setor brasileiro foi de 41,80 kg hab<sup>-1</sup> em 2013, atingindo um aumento de aproximadamente 39,75 % em relação ao ano de 2000 (UBABEF, 2014).

Diante do elevado crescimento no consumo *per capita* e nas exportações de carne de frango, busca-se, cada vez mais, aumentar a produção concomitante com o aumento na produtividade. Dessa forma, dever-se-á conciliar a utilização de aves geneticamente melhoradas, a dietas balanceadas nutricionalmente, com um ambiente de produção ajustado às necessidades das aves. Nesse contexto, o ambiente de criação dos frangos de corte é imprescindível na avicultura atual, que tem como propósito fornecer condição térmica adequada às aves e trabalhadores, aumentando o bem-estar.

Quando as condições térmicas não estão dentro dos limites considerados adequados, os quais são caracterizados pela zona de termoneutralidade, o ambiente torna-se desconfortável. Com as condições térmicas não apropriadas ao seu desenvolvimento, as aves procuram controlar sua temperatura corporal

através de mecanismos comportamentais e fisiológicos. Entretanto, o sistema termorregulador dessas aves não está completamente desenvolvido nas primeiras semanas de vida (ABREU et al., 2012; FURLAN, 2006). Dessa forma, se forem inseridas em ambientes com condições de estresse térmico, o seu bem-estar poderá ser afetado e, conseqüentemente, o seu desempenho.

Para determinar a condição de conforto das aves é necessário avaliar as respostas produtivas, fisiológicas ou comportamentais. Os frangos de corte podem variar seu desempenho quando são submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse, podendo modificar o consumo de ração e de água, ganho de peso, e conseqüentemente, a conversão alimentar.

Dentre os parâmetros fisiológicos pode-se destacar a utilização das temperaturas cloacal ( $t_{clo}$ ) e superficial ( $t_{sup}$ ), sendo que, qualquer variação destas indica que o ambiente não está confortável para o animal. Ocorrendo variação de  $t_{clo}$  e  $t_{sup}$ , as aves dissipam ou retêm calor, assim, parte da energia que deveria ser utilizada para o ganho de peso, deverá ser aplicada no processo termorregulatório, diminuindo as respostas produtivas.

Diante da quantidade de fatores que envolvem o conforto térmico, diferentes metodologias devem ser aplicadas para auxiliar na tomada de decisão do processo produtivo das aves. Técnicas de modelagem computacional podem ser utilizadas para prever o conforto das aves quando submetidas a diferentes intensidades e durações de estresse térmico. Dentre os modelos mais utilizados e testados, as redes neurais artificiais (RNA) e a lógica *fuzzy*, designados como inteligência artificial, são adequadas para efetuar tarefas ou solucionar problemas a partir de uma base de conhecimento (SCHIASI et al., 2014). Portanto, a simulação do conforto animal constitui-se em um problema no qual a teoria dos conjuntos *fuzzy* e RNA podem ser aplicadas.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar as respostas produtivas e fisiológicas de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, na segunda semana de vida, bem como o desenvolvimento de modelos baseados na teoria dos conjuntos *fuzzy* e em RNA para predição de variáveis importantes no processo produtivo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Será realizada uma revisão de literatura sobre o ambiente térmico das aves, abordando como os fatores climáticos interferem nas respostas produtivas e fisiológicas dos animais. Também será realizada uma revisão sobre a inteligência artificial, bem como a aplicação da metodologia *fuzzy* e redes neurais artificiais na predição de parâmetros zootécnicos.

### 2.1 Ambiente térmico

Na avicultura, os sistemas de criação são primordiais para se alcançar elevada produtividade. Conforme Menegali et al. (2010), as instalações devem ser associadas ao ambiente térmico e ao manejo adequado para o desenvolvimento animal, pois são elementos que podem afetar as respostas produtivas, principalmente, quando não estão ajustados às exigências térmicas das aves.

Representado pela temperatura de bulbo seco do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação, o ambiente térmico é responsável por ocasionar modificações diretas e praticamente instantâneas no desempenho, respostas produtivas e fisiológicas das aves (BAÊTA; SOUZA, 2010).

De acordo com Cassuce (2011), os frangos de corte alojados em um ambiente de criação onde a temperatura do bulbo seco do ar encontra-se fora da faixa de conforto precisam redirecionar energia da produção para o processo termorregulatório.

O estresse por altas e baixas temperaturas influenciam a manutenção da temperatura corporal (CORDEIRO et al., 2010), sendo que, o animal modifica seu comportamento alterando seus parâmetros fisiológicos para adaptar-se ao

estresse (SCHIASI et al., 2015). Porém, o gasto energético que deveria ser aplicado para o ganho de peso será destinado ao processo de termorregulação corporal (NAZARENO et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2009). Assim, o desempenho das aves é afetado quando ocorre variação térmica no ambiente de produção (BARACHO et al., 2013).

As aves devem ser inseridas, nas primeiras semanas de vida, em sistemas de criação capazes de fornecer temperatura de bulbo seco do ar adequada ao conforto, pois, de acordo com Menegali et al. (2013), nos primeiros dias de vida, o sistema de termorregulação das aves não está completamente desenvolvido, no qual, tem-se dificuldade para produzir calor corporal. Assim, o sistema imunológico pode ser comprometido, propiciando a ocorrência de doenças e a redução do rendimento produtivo esperado (CORDEIRO et al., 2011).

Nascimento et al. (2014) afirmam que a temperatura superficial média das aves diminuiu com o aumento da idade, quando submetido à temperatura de bulbo seco do ar constante. Contudo, verifica-se que a temperatura de bulbo seco do ar de conforto para os frangos de corte varia em função da idade. Para desempenhar uma máxima resposta produtiva, muitos autores buscam estabelecer as temperaturas ambientais ideais de bem-estar em função da semana de criação, que são divididas em faixas de conforto (Tabela 1).

Para o adequado controle do regime térmico a umidade relativa do ar é fundamental, pois a dissipação de calor por evaporação depende do gradiente de umidade entre o animal e o ambiente. Quando o sistema de produção apresenta umidade relativa do ar elevada, ocorre a dificuldade de realizar esse processo (OLIVEIRA et al., 2006). Medeiros (2001) relatou que aves mantidas em umidade relativa do ar de 50 a 70%, demonstraram melhores respostas

produtivas. Segundo Macari e Furlan (2001), a umidade relativa do ar ideal para a criação de frangos de corte é de 60%.

Tabela 1 Faixa de conforto da temperatura de bulbo seco do ar para frangos de corte em diferentes semanas.

Semana	Faixa de conforto (°C)
Primeira	32 - 34
Segunda	28 - 32
Terceira	26 - 28

Fonte: Adaptado de Cassuce 2011; Macari et al. (2004); Cony e Zocche, (2004); Schiassi et al. (2015).

Neste contexto, verifica-se a importância do ambiente de criação para a avicultura de corte, sendo que, para conseguir a máxima produtividade, os frangos de corte precisam ser criados em ambiente térmico apropriado, com o adequado controle da temperatura de bulbo seco do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação (GARCIA et al., 2012).

## 2.2 Desempenho animal

A avaliação das respostas produtivas das aves é realizada através de alguns parâmetros zootécnicos, sendo os mais utilizados: consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar (ABREU; BAETA; ABREU, 2000; MEDEIROS et al., 2001).

Para determinar se o ambiente de produção está relacionado com a diminuição do desempenho, os índices zootécnicos devem ser comparados com observações realizadas em aves na condição de conforto. O potencial genético está diretamente associado aos parâmetros de desempenho dos animais. A

Tabela 2 ilustra o desempenho dos frangos de corte (aves mistas) da linhagem *Cobb500*<sup>®</sup>, criados em condições de conforto, em diferentes semanas de criação.

Tabela 2 Respostas produtivas de frangos de corte da linhagem *Cobb 500*<sup>®</sup> (misto), em diferentes semanas de criação.

Semana	GP (g)	CA (g g <sup>-1</sup> )	CR (g)
Primeira	25,30	0,847	150
Segunda	32,80	1,013	465
Terceira	42,40	1,182	1053

GP: Ganho médio de peso diário; CA: Conversão alimentar acumulada; CR: Consumo de ração acumulado diário. Fonte: Cobb-Vantress (2012).

Quando são submetidos à situação de desconforto térmico por temperaturas de bulbo seco do ar elevadas, os frangos de corte reduzem o consumo de alimento para facilitar o controle da homeotermia (FARIA FILHO, 2003). Nessas condições verifica-se também, o aumento do consumo de água (CASTRO, 2014), por se constituir em uma forma de dissipar calor por meio da condução, além de repor a água evaporada no trato respiratório. No entanto, quando a temperatura da água está elevada, ocorre a diminuição do consumo (BROSSI et al., 2009).

Por sua vez, a exposição a baixas temperaturas afeta as funções metabólicas e fisiológicas, que prejudica o máximo desempenho (CASSUCE, 2011). Essas alterações nos níveis nutricionais das aves podem gerar respostas imunes indesejáveis, tornando-as mais susceptíveis a doenças (SILVA et al., 2014).

Faria Filho (2003), ao submeter frangos de corte em regimes de termoneutralidade e estresse, tanto por baixas quanto altas temperaturas, quantificou o consumo de ração, o ganho de peso e a conversão alimentar. Entre

o período de 7 a 21 dias de vida, verificou-se, em baixas temperaturas, aumento de 1,5% no consumo de ração, entretanto, ganho de peso e conversão alimentar apresentaram pioras de 7,3 e 9,4%, respectivamente, pois possivelmente a ave aumentou a produção de calor a partir da energia destinada à taxa metabólica. Quando alocadas sobre altas temperaturas apresentaram redução no consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de 20,4, 25 e 5,7%, respectivamente, devido ao alto custo energético para a dissipação do calor através da evaporação.

Ao comparar os piores resultados de conversão alimentar nota-se que o rendimento no regime com baixas temperaturas foi inferior às altas temperaturas, indicando que o animal gasta mais energia para produzir calor do que dissipá-lo entre o 7º e 21º dias de vida.

### **2.2.1 Respostas fisiológicas**

Os mecanismos fisiológicos são importantes para a determinação do conforto térmico das aves. Associadas às mudanças do ambiente térmico, as alterações hemodinâmicas são um indicativo das respostas fisiológicas da ave aos agentes estressores (BORGES; MAIORKA; SILVA, 2003).

Quando as aves são submetidas ao estresse por baixas temperaturas verifica-se o processo de vasoconstrição periférica (FURLAN, 2006), constatando-se também a diminuição da frequência respiratória. Os frangos de corte tendem a se aglomerar quando submetidos a estresse por frio, conduta que suaviza a dissipação do calor por meio da radiação, convecção e condução (trocas de calor sensível), na busca por manter o estado de termoneutralidade.

Quando os frangos de corte são submetidos a altas temperaturas do ar, as respostas fisiológicas das aves são ativadas, nas quais, inclui-se a vasodilatação periférica, que resulta no aumento da dissipação de calor (BORGES;

MAIORKA; SILVA, 2003). Em temperaturas de bulbo seco do ar elevadas, o fluxo sanguíneo, antes destinado aos órgãos, é direcionado para as regiões limítrofes do corpo que não possuem penas (barbela, crista e patas) incrementando a troca de calor (ABREU et al., 2012; BROSSI et al., 2009).

Outro mecanismo fisiológico para a realização da dissipação do calor é a evaporação (perda de calor latente), que se realiza por meio do aumento da frequência respiratória (BROSSI et al., 2009). No entanto, por solicitar esforços de grande parte da musculatura corporal da ave, a respiração proporciona gasto de energia, que consequentemente gera calor (BUTCHER; MILES, 1996).

Nestas condições, o comportamento tende a ser de dispersão, possibilitando assim melhor aeração da superfície corporal e melhor desempenho na perda de calor (CORDEIRO et al., 2011). Para aumentar as trocas de calor com o ambiente, as aves tendem a permanecer deitadas (AMARAL et al., 2011) e manter as asas estendidas e as penas levantadas, a fim de proporcionar aumento da área superficial e também possibilitar o resfriamento corporal.

Diversos autores utilizam a avaliação da temperatura cloacal (BUENO et al., 2014; COSTA; SARAIVA; SANTOS, 2012) e temperatura superficial (MAYES et al., 2014, NASCIMENTO et al., 2013; SOUZA JUNIOR et al., 2013) para a avaliação do ambiente estressor. Assim, dentre as respostas fisiológicas mais usadas para avaliação do conforto ou desconforto térmico aos quais os frangos de corte estão submetidos destacam-se as temperaturas cloacal e superficial.

### 2.2.2 Temperatura cloacal

A temperatura cloacal indica, com maior precisão, a temperatura corporal das aves (COSTA; SARAIVA; SANTOS, 2012), sendo dessa forma, considerada como um parâmetro fisiológico importante para a caracterização de conforto das aves (DIONELLO et al., 2002; GUIMARÃES et al., 2014). A oscilação da temperatura cloacal das aves indica que estão sob alterações fisiológicas, que busca reter ou dissipar calor para a superfície corporal.

A faixa de conforto para a temperatura cloacal varia em função da idade da ave (COSTA; SARAIVA; SANTOS, 2012; MARCHINI et al., 2007). De acordo com Bueno et al. (2014), as alternâncias na temperatura cloacal são decorrentes com a semana de vida em que se encontra a ave.

De acordo com Oliveira et al. (2006), a temperatura de núcleo corporal confortável para frangos de corte, na segunda semana de vida, varia entre 41 a 42 °C, sendo que esta faixa condiz com os valores encontrados por Bueno et al. (2014).

A mensuração da temperatura cloacal de frangos de corte pode ser feita por meio da inserção do elemento sensor de um termômetro digital na cloaca da ave, após o seu apanhamento com as mãos. Esse procedimento pode causar estresse à ave, e conseqüentemente, pode alterar a sua temperatura cloacal (NASCIMENTO, 2010).

Dessa forma, alternativas não invasivas para a mensuração da temperatura interna devem ser usadas quando possível. Ressalta-se ainda, a importância de se aplicar análises estatísticas para ajuste de equações de regressão da temperatura cloacal em função da temperatura superficial das aves (NASCIMENTO, 2010).

### 2.2.3 Temperatura superficial

Visto a importância dos parâmetros fisiológicos para a manutenção do bem-estar animal, observa-se que a temperatura ambiente cíclica elevada tem relevante interferência na temperatura superficial do frango de corte, sendo a alteração desse parâmetro um indicativo em que há menor tolerância de calor pela ave (MARCHINI et al., 2007). A temperatura superficial considerada como conforto é de aproximadamente 34,6 °C e 32,8 °C aos 20 e 41 dias, respectivamente (FARIA FILHO, 2003).

Em frangos de corte, a temperatura superficial está sujeita a variações mais rapidamente, pois ocorre a dissipação do fluxo sanguíneo por meio da convecção, permitindo assim, a verificação do ambiente estressor de forma instantânea (CARVALHO; OLIVEIRA; TURCO, 2004). Em um estudo realizado por Cangar et al. (2008), uma variação próxima a 10 °C na superfície corporal da ave foi observada, sendo que em regiões na qual há presença de penas, a temperatura encontrada foi menor que nas áreas desprovidas de penugem.

Apesar das penas obstruírem a emissão infravermelha da pele, diversos autores utilizam a termografia para o mapeamento térmico do corpo (CASTILHO et al., 2015; SOUZA JUNIOR et al., 2013), sendo utilizado em diversos estudos para obtenção das respostas térmicas (BARNABÉ et al., 2015; MAYES et al., 2014; ROBERTO; SOUZA, 2014), pois a oscilação da temperatura superficial ocorre diante das condições térmicas do ambiente de criação.

A câmera infravermelha é uma alternativa para realizar a análise quantitativa da temperatura superficial, pois captura a energia de calor invisível emitida por toda superfície e converte em temperatura, resultando em imagens

termográficas para reconhecimento de um parâmetro fisiológico, sem proporcionar estresse para o animal. Essa tecnologia tem sido empregada em diversas espécies de aves como frangos de corte (FERREIRA et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2014; SCHIASSI et al., 2015), galinhas poedeiras (CASTILHO et al., 2015), perus (CASE; WOOD; MILLER, 2012) e codornas (CASTRO et al., 2012; SOUZA JUNIOR et al., 2013).

Com relação aos ajustes para a utilização da câmera e posterior análise de imagens, a emissividade é um fator importante na determinação da temperatura da pele e está associada à radiação de um corpo comparada à de um corpo negro. Sua escolha adequada é essencial para realizar a análise termográfica de forma consistente, portanto, verifica-se em pesquisas o uso da emissividade adotada de 0,95 (AMARAL et al., 2011; CANGAR et al., 2008; FERREIRA et al., 2011; NÄÄS et al., 2014).

### **2.3 Inteligência artificial**

Na década de 1990 verificou-se a necessidade de aproximar os processos computacionais ao raciocínio lógico humano, dessa forma, importantes sistemas inteligentes começaram a ser desenvolvidos, com o objetivo de realizar atividades e solucionar problemas a partir de um banco de dados. Desde então, vários métodos foram reproduzidos, sendo que, as redes neurais artificiais e a lógica *fuzzy* são as mais utilizadas.

A inteligência computacional é uma metodologia atrativa, pois possibilita a solução de sistemas complexos (LIMA, 2012), sendo verificada suas aplicações em diversas áreas, como, em ciências dos solos (SOARES et al., 2014), engenharia elétrica (SANTOS; SILVA; SUETAKE, 2012), medicina (NASCIMENTO; STEPHAN; NUNES, 2015) e agricultura (SILVA et al.,

2014). Em construções rurais, observa-se na literatura, trabalhos utilizando a inteligência artificial para simular a mortalidade de frangos de corte (VIEIRA et al., 2011), simular índices zootécnicos (PANDORFI et al., 2011), predição da massa corporal de pintinhos (FERRAZ et al., 2014) e caracterização de leite bovino (NAZÁRIO et al., 2009).

O ambiente térmico dos frangos de corte deve ser controlado de acordo com suas faixas de conforto, assim todo o potencial genético do animal será explorado. Porém, devido à dificuldade de controle direto das variáveis fisiológicas ou produtivas, modelos matemáticos podem ser desenvolvidos, permitindo assim a associação a microcontroladores, auxiliando então nas tomadas de decisões.

### 2.3.1 Lógica *fuzzy*

A teoria *fuzzy* ou a teoria dos conjuntos nebulosos foi discutida inicialmente em 1965 pelo professor Lotfi A. Zadeh, na Universidade da Califórnia em Berkeley, por meio da publicação de um artigo referente à teoria dos conjuntos *fuzzy* (ZADEH, 1965). Sua principal proposição foi de que os elementos podiam pertencer parcialmente a dois conjuntos diferentes, o que foi tomado naquela época pela comunidade acadêmica como um pensamento impreciso e contra as leis matemáticas.

Fundamentada na teoria dos conjuntos *fuzzy*, essa metodologia se distingue dos sistemas lógicos convencionais em suas características e particularidades. Na lógica *fuzzy*, uma resposta pode pertencer a um conjunto intermediário ou a subconjuntos de um conjunto inicialmente determinado. Esse sistema difere da lógica binária, em que todos os valores são transformados em 1 - verdadeiro ou 0 - falso (GOMIDE; GUDWIN, 1994). Dessa forma, com o

modelo *fuzzy* 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.

A teoria dos conjuntos *fuzzy* permite a análise de valores inexatos, possibilitando o cômputo desses valores e adquirindo uma resposta. Isso se torna essencial levando em consideração que o julgamento dos seres humanos acerca de uma questão também pode ser inconsistente (BARROS, 2002).

A modelagem *fuzzy* é formada por variáveis de entrada e saída. Os conjuntos *fuzzy* e as funções de pertinência são determinadas para cada uma destas variáveis. O funcionamento do sistema ocorre com 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.

Segundo Mendel (1995), para a composição de uma modelagem *fuzzy*, o sistema pode ser programado ou pode-se utilizar um *software* que tenha o modelo matemático como algoritmo pré-programado. 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) (Figura 1).

O modelo *fuzzy* é amplamente utilizado nos sistemas computacionais, sendo, no âmbito industrial, aplicado no controle dos processos de fabricação e ainda auxiliando na tomada de decisões (CHENCI; RIGNEL; LUCAS, 2011) em sistemas para controle de aeronaves e até mesmo em biomedicina (ORTEGA, 2001; RIBACIONKA, 1999; WEBER; KLEIN, 2003).

Pesquisas associadas ao conforto de aves em ambiente confinado demonstram que a lógica *fuzzy* tem grande potencial de aplicação na área de construções e ambiência (AMENDOLA; NETO; CRUZ, 2005; GATES; CHAO; SIGRIMIS, 2001; YANAGI JUNIOR et al., 2006), assim na suinocultura (QUEIROZ; NÄÄS; SAMPAIO, 2005) e bovinocultura (FERREIRA et al., 2006; FIRK et al., 2003).

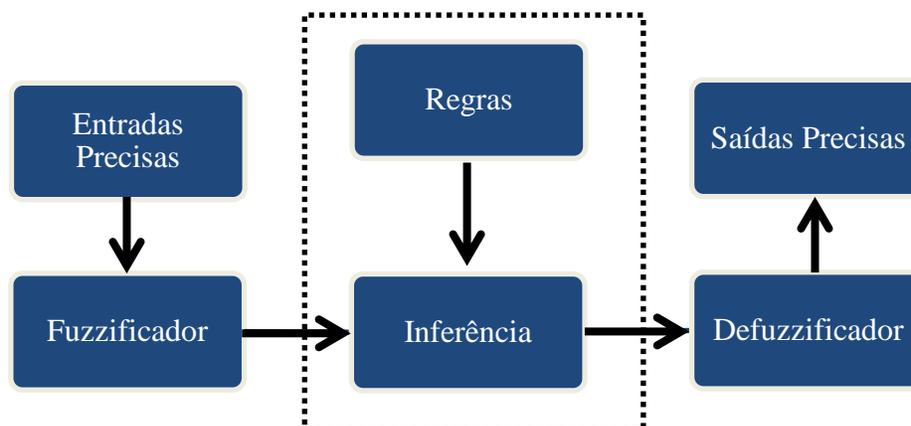


Figura 1. Desenvolvimento computacional *fuzzy*

A metodologia *fuzzy* demonstra eficiência em situações onde respostas como “sim” e “não” são insuficientes ou imprecisas, auxiliando desta forma na tomada de decisões (FERREIRA et al., 2010). Assim sendo torna-se notório o potencial de emprego do 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.

### 2.3.2 Redes neurais artificiais

As redes neurais artificiais (RNA) são sistemas computacionais inteligentes, que são baseados em sistemas, princípios e métodos encontrados na natureza para a formulação de metodologias e regras artificiais (BRUMATTI, 2005). Uma rede neural artificial inspira-se na atividade de um neurônio natural e sua composição é dada por vários elementos (neurônios) que se interagem entre si de forma consonante (TSOUKALAS; UHRIG, 1997). Matematicamente, RNA são aproximadores universais, que realizam o mapeamento entre dois espaços de variáveis (HORNIK; STINCHCOMBE; WHITE, 1989).

O uso de redes neurais está vinculado à busca de padrões e técnicas de previsões temporais para tomada de decisão. De acordo com Brumatti (2005), as RNA suprem a demanda de ferramentas em situações em que as informações existentes são inexatas e a padronização ou formulação de regras é de difícil elaboração.

Redes neurais artificiais têm sido utilizadas em diferentes áreas do conhecimento. As redes neurais podem ainda ser empregadas na análise e processamento de sinais, robótica, análises de voz e imagens, classificação de dados, controle de processos, entre outros. Na medicina as RNA foram utilizadas no desenvolvimento de um sistema de previsão de soroprevalência da Hepatite A (SANTOS et al., 2005).

De acordo com Osório e Bittencourt (2000), as RNA podem ser utilizadas no processamento de imagens destacando-se a sua aplicação na criação de filtros inteligentes e classificação automática de padrões. Na agricultura, um sistema de RNA foi elaborado para estimar a evapotranspiração

de referência utilizando apenas as coordenadas de posição geográfica e da temperatura de bulbo seco do ar (ZANETTI et al., 2008).

As redes neurais artificiais podem ser consideradas ainda como ferramenta de estimativa de resistência do concreto, por meio de análise da velocidade de propagação de pulso ultrassônico (LORENZI, 2009), comprovando assim sua aplicabilidade na área da engenharia civil. Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos na área de avicultura, sendo alguns relacionados com ascite (ROUSH et al., 1996), com a síndrome da hipertensão pulmonar (ROUSH et al., 2001), com a curva de postura em galinhas poedeiras (FIALHO; LEDUR; ÁVILA, 2001), com o monitoramento do processo de incubação (PIAIA, 2005), entre outros.

Há alguns anos são desenvolvidos trabalhos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul em redes neurais artificiais, para explicar, simular e prever os resultados nos diferentes segmentos da avicultura. Os primeiros trabalhos enfocaram as reprodutoras (SALLE et al., 2001; SALLE et al., 2003) e posteriormente outros voltados à produção de frangos de corte (REALI, 2004), no incubatório (SALLE, 2005) e no abatedouro (PINTO, 2006).

### **2.3.2.1 O neurônio artificial**

O neurônio é uma das estruturas elementares ao funcionamento do cérebro humano. A partir de análise minuciosa do funcionamento dessa estrutura, foi possível a formulação de algoritmos computacionais que se baseiam na função exercida pelo neurônio e passíveis de aplicação em sistema artificiais (CERQUEIRA; ANDRADE; POPPI, 2001).

A RNA é uma ferramenta que calcula o somatório de  $m$  entradas ponderadas, cujo resultado passa através de uma função não linear

(LIPPMANN, 1987). A operação de um neurônio artificial (Figura 2) pode ser resumida da seguinte forma: sinais são apresentados à entrada ( $x_1$  à  $x_m$ ); cada sinal é multiplicado por um peso que indica sua influência na unidade ( $w_k$ ); é feita a soma ponderada dos sinais que produz um nível de atividade ( $v_k$ ); a função de ativação  $f(v_k)$  tem por objetivo limitar a saída e introduzir não linearidade ao modelo; o bias (polarização) ( $b_k$ ) tem o papel de aumentar ou diminuir a influência do valor das entradas; é possível considerar o bias como uma entrada de valor constante 1, multiplicado por um peso igual a  $b_k$ .

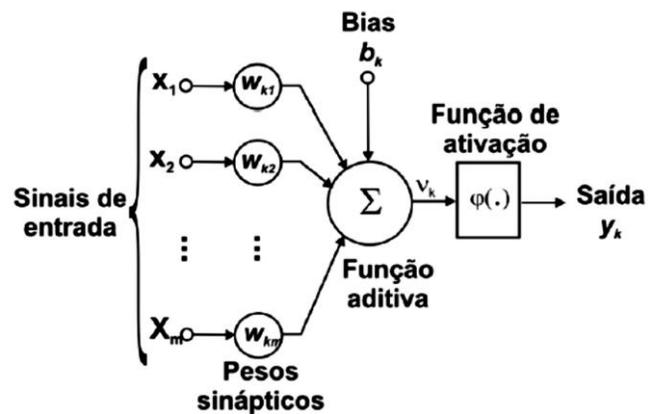


Figura 2. Neurônio artificial ( $m$  é o número de entradas e  $k$  identifica o neurônio) Fonte: Martins-Filho, Mol e Rocha (2005).

De acordo com Cerqueira, Andrade e Poppi (2001), de maneira simplificada uma RNA pode ser tratada como uma central de processamento previamente instruída, que é abastecida com dados de entrada, também chamados de *inputs*, e geram a partir de processos um ou mais dados de saída ou *outputs*, conforme ilustrado na Figura 3.

A partir de métodos de iteração e ajustamento, as RNA têm capacidade de, a partir de um conjunto de dados, assimilar um padrão de regras e apurar seu desempenho. Assim torna-se possível alcançar uma resposta para um certo tipo de problema. O treinamento ou acondicionamento das RNA acontece por meio de processo indutivo de aprendizado e podem ocorrer de duas maneiras: supervisionada e não supervisionada.

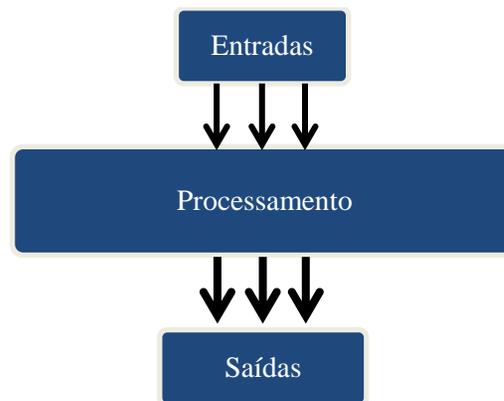


Figura 3. Representação operacional de uma rede neural. Fonte: Adaptado de Cerqueira, Andrade e Poppi (2001).

Na aprendizagem com professor ou supervisionada nota-se que o professor é aquele que tem o conhecimento das regras que devem ser impostas e as apresenta na forma de exemplos de *inputs-outputs*. A partir deste ponto, as RNA formulam uma adequação dos pesos dos elementos até que o erro encontrado na resposta gerada seja mínimo (BEALE; JACKSON, 1990; FREEMAN; SKAPURA, 1991; HECHT-NIELSEN, 1990; KASABOV, 1996). Diferentemente da aprendizagem supervisionada, o aprendizado por reforço fornece valores relativos à resposta gerada, dizendo se está correta ou errada, ao

invés de fornecer respostas ou saídas corretas para a rede como exemplo (BEALE; JACKSON, 1990; FREEMAN; SKAPURA, 1991; HECHT-NIELSEN, 1990; KASABOV, 1996).

Na aprendizagem não supervisionada, a rede utiliza padrões, regularidades e correlações para agrupar os conjuntos de dados em classes. Nesse tipo de aprendizagem não existem modelos rotulados da função que deve ser aprendida pela rede, mas são dadas condições para realizar uma medida da representação que a rede deve aprender, e os parâmetros livres são otimizados em relação a essa medida. (BEALE; JACKSON, 1990; FREEMAN; SKAPURA, 1991; HECHT-NIELSEN, 1990; KASABOV, 1996).

### **2.3.2.2 *Multilayer perceptron***

O modelo de RNA mais utilizado é o *Multilayer perceptron* (MLP) (HAYKIN, 1999; LAROUCHE et al., 2000), que é uma rede *feedforward* de múltiplas camadas. A grande diferença entre as redes de camadas simples e as redes de múltiplas camadas está no número de camadas intermediárias, aquelas entre a camada de entrada e a de saída (AFFONSO et al., 2010). Essa configuração possui uma ou mais camadas ocultas, que são compostas por neurônios computacionais, também chamados de neurônios ocultos.

Uma rede MLP, como ilustra a Figura 4, é composta por uma camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas e uma camada de saída. As unidades da camada de entrada têm a função de receber os dados externos, sem realizar nenhum tipo de processamento. As camadas ocultas, através das conexões ponderadas, são destinadas à maior parte do processamento, obtendo dessa forma as características dos elementos. Por sua vez, a camada de saída é apenas

aquela que apresenta ao usuário os dados obtidos após o término do processamento (BISHOP, 1995; KASABOV, 1996).

Geralmente, a rede MLP é treinada com o algoritmo *backpropagation* (HAYKIN, 1999) e seu principal objetivo é minimizar o erro médio quadrático, ou seja, média dos quadrados da diferença entre resultado esperado e obtido. O procedimento de treinamento supervisionado aplicado à rede pode ser considerado como um problema de otimização não linear, no qual os pesos são atualizados iterativamente através da retropropagação do erro. A regra do gradiente descendente é utilizada para encontrar o valor dos pesos que minimizem o erro global (BISHOP, 1995; KASABOV, 1996).

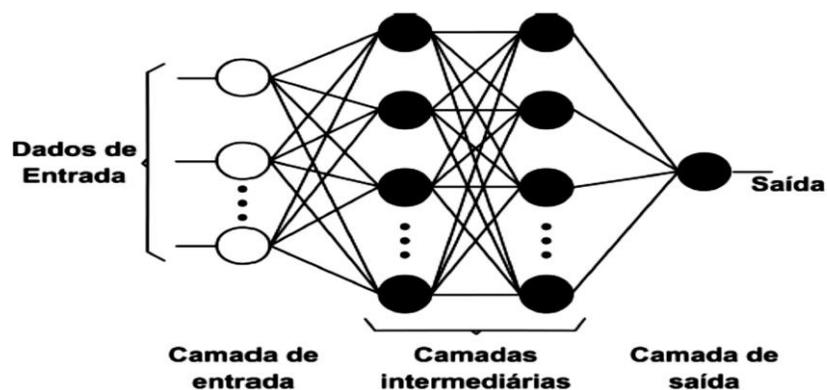


Figura 4. Rede *multilayer perceptron* (MLP) com duas camadas escondidas.  
Fonte: Fiorin et al. (2011).

De acordo com Ferrari et al. (2006), o algoritmo de *Backpropagation* funciona *a priori* apresentando um padrão à camada de entrada da rede. Posteriormente ocorre o processamento de cada camada até que a resposta seja gerada pela camada de saída. Esse valor resposta é então comparado ao valor de

resposta almejado. Em caso de resposta incoerente, o erro é então calculado e os valores de saída são retropropagados até a camada de entrada. Assim ocorrem ajustes e reconsideração dos pesos. Logo, o processo é reiniciado com os novos parâmetros reajustados até que a resposta desejada seja obtida.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da importância da avicultura para a economia brasileira e do aumento de consumo *per capita* e das exportações de carne de frango, faz-se necessário o aumento da produtividade. Assim, conjuntos de fatores devem ser relacionados para se obter o máximo desempenho das aves, destacando-se o ambiente térmico no interior das instalações.

Com a variação da temperatura de bulbo seco do ar no ambiente de criação, as aves buscam a manutenção da sua temperatura corporal. Porém, a energia gasta no processo de regulação térmica é obtida por meio da variação do consumo de ração, que afeta o ganho de peso e conseqüentemente a conversão alimentar. As respostas fisiológicas também são importantes parâmetros para avaliar se o ambiente estressor está atuando significativamente sobre os frangos de corte.

Contudo, nas primeiras semanas de vida ocorrem incertezas da influência da variação e duração da intensidade do estresse térmico no desempenho das aves. Dessa forma, análises de desempenho e respostas fisiológicas, por meio de modelos matemáticos desenvolvidos, podem auxiliar no controle do ambiente térmico das instalações avícolas, buscando o conforto dos frangos de corte e diminuindo as perdas produtivas.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G. 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, p.795–801, 2012.
- ABREU, P. G.; BAÊTA, 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.
- AFFONSO, E. T. F. et al. **Uso Redes Neurais Multilayer Perceptron (MLP) em Sistema de Bloqueio de Websites Baseado em Conteúdo**. Mecânica Computacional, 2010.
- AMARAL, A. G. et al. Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.3, p.649-658, 2011.
- AMENDOLA, M.; NETO, M. M.; CRUZ, V. F. Using fuzzy sets to analyze environmental condition in order to improve animal productivity. **Biomatemática**, Campinas, v.15, p.29-40, 2005.
- 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.
- BARNABÉ, J. M. C. et al. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.5, p.481-488, maio, 2015.
- BARROS, L. C. **Teoria fuzzy x biomatemática**. Campinas: IMECC-UNICAMP, 2002. 52p.
- BEALE, R.; JACKSON, T. **Neural Computing: An Introduction**. London: CRC Press, 1990. 256 p.

BISHOP, C. M. **Neural Networks for Pattern Recognition**. Oxford: Clarendon Press, 1995. 504 p.

BORGES, S. A.; MAIORKA, A.; SILVA, A. D. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência rural**, v.33, n.5, p.975-981, 2003.

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.

BRUMATTI, M. **Redes Neurais Artificiais**. Vitória, Espírito Santo, ca, 2005.

BUENO, J. P. R. et al. Características de termorregulação em frangos de corte, machos e fêmeas, criados em condições naturais de temperatura e umidade. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.19, p.437-447, 2014

BUTCHER, G. D.; MILES, R. **Heat stress management in broilers**. Institute of Food and Agricultural Sciences, VM 65, University of Florida, 1996.

CANGAR, Ö. et al. Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers. **Poultry Science Association**, v.87, n.12 p.2493-2499, dez. 2008.

CARVALHO, L. E.; OLIVEIRA, S. M. P.; TURCO, S. H. N. Utilização da nebulização e ventilação forçada sobre o desempenho e a temperatura da pele de suínos em fase de terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n. 6, p.1486-1491, 2004.

CASE, L. A.; WOOD, B. J.; MILLER, S. P. Investigation of body surface temperature measured with infrared imaging and its correlation with feed efficiency in the turkey (*Meleagris gallopavo*). **Journal of Thermal Biology**, v.37, n.5, p.397-401, ago. 2012.

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.

CASTILHO, V. A. R. et al. Bem-estar de galinhas poedeiras em diferentes densidades de alojamento. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.9, n.2, p.122-131, 2015.

CASTRO, J. O. **Avaliação e modelagem do desempenho de codornas japonesas em postura submetidas a diferentes ambientes térmicos**. 2014. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CASTRO, J. D. O. et al. Estimate of the weight of japanese quail eggs through fuzzy sets theory. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.36, n.1, p.108-116, jan./fev. 2012.

CERQUEIRA, E. O.; ANDRADE, J. C.; POPPI, R. J. Redes neurais e suas aplicações em calibração multivariada. **Química Nova**, v.24, n.6, p.864-873, 2001.

CHENCI, G. P.; RIGNEL, D. G. S; LUCAS, C. A. Uma Introdução á Lógica Fuzzy. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e de Gestão Tecnológica**, v.1, n.1, 2011.

COBB-VANTRESS. **Broiler management guide**. Arkansas, 2012. 14 p.

CONY, A.V.; ZOCHE, A.T. **Manejo de frangos de corte**. In: MENDES, A.; NÄÄS, I. de A.; MACARI, M. (Ed.). Produção de frangos de corte. Campinas: Facta, 2004. p.118-136.

CORDEIRO, M. B. et al. Análise de imagens digitais para a avaliação do comportamento de pintainhos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.3, p.418-426, maio/jun. 2011.

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.

COSTA, J. H. S.; SARAIVA, E. P.; SANTOS, L. D. Efeito do ambiente sobre indicadores fisiológicos na produção de frangos de corte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.7, n.4, p.54-58, jan./dez. 2012.

DIONELLO, N. J. L. et al. Respostas fisiológicas associadas à termotolerância em pintos de corte de duas linhagens por exposição a altas temperaturas. **Revista brasileira de zootecnia**, v.31, n.1, p.79-85, 2002.

FARIA FILHO, D. E. **Efeito de dietas com baixo teor protéico, formuladas usando o conceito de proteína ideal, para frangos de corte criados em temperaturas fria, termoneutra e quente**. 2003. 85 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

FERRARI, H. V. et al. Uma comparação entre Redes Neurais Wavelet, LMS, MLP e RBF para classificação de DPOC. In: **Proceedings of Foz 2006- Congresso de Matemática e suas Aplicações**. 2006.

FERRAZ, P. F. P. et al. Predicting chick body mass by artificial intelligence-based models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.49, n.7, p.559-568, jul. 2014.

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.

FERREIRA, V. M. O. S. et al. Infrared thermography applied to the evaluation of metabolic heat loss of chicks fed with different energy densities. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.13, n.2, p.113-118, abr./jun. 2011.

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

FERREIRA, L. et al. Predição de cio em vacas leiteiras utilizando lógica fuzzy. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006.

FIALHO, F. B.; LEDUR, M. C.; ÁVILA, V. S. Modelo Matemático para Comparar Curvas de Produção de Ovos. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.3, n.3, p.211-217, set./dez. 2001.

FIORIN, D. V. et al. Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.33, n.1, p.1309-1320, mar. 2011.

FIRK, R. et al. Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. **Livestock Production Science**, v.82,n.1, p.97-103, 2003.

FREEMAN, J. A.; SKAPURA, D. M.. **Neural Network: Algorithms, Applications and Programming Techniques**. New York: Addison Wesley, 1991. 360 p..

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.

GATES, R. S.; CHAO, K.; SIGRIMIS, N. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.31, p.61-74, 2001.

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.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **Revista SBA controle & Automação**, v.4, n.3, p.97-115, 1994.

GUIMARÃES, M. C. C. et al. Efeito da estação do ano sobre o desempenho produtivo de codornas no semiárido paraibano. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.18, p.231-237, 2014.

HAYKIN, S. **Neural Networks: A comprehensive foundation**. 2. ed., New York: Prentice Hall, 1999. 396 p.

HECHT-NIELSEN, R. **Neurocomputing**. San Diego: Addison Wesley, 1990. 433p.

HORNIK, K.; STINCHCOMBE, M.; WHITE, H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. **Elsevier Science Ltd.**, Oxford, v 2, n.5, p.359-366, jul. 1989.

KASABOV, N. K. **Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems and Knowledge Engineering**. Cambridge: The MIT Press, 1996. 568 p.

LAROUCHE, E. et al. Exploration of static and time dependent neural network techniques for the prediction of ice accretion on overhead line conductors. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ATMOSPHERIC ICING OF STRUCTURES, 9. 2000, Chester, **Anais...** Quebec: NSERC/Hydro-Québec/UQAC, 2000. 8 p.

LIMA, I. R. **Sistemas inteligentes para auxiliar na tomada de decisões em mercado de capitais**. 2012. 193 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

LIPPMANN, R. P. An Introduction to computing with neural nets. **IEEE-ASSP Magazine**, v.2, n.4, p.4–22, Apr. 1987.

LORENZI, A. **Aplicação de redes neurais artificiais para estimativa da resistência à compressão do concreto a partir da velocidade de propagação do pulso ultra-sônico**. 2009. 196 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MACARI, M.; FURLAN, R. L. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. In: SILVA, I. J. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap.2, p.31-87.

MARCHINI, C. F. P. et al. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Archives of Veterinary Science**, v.12, n.1, p.41-46, 2007.

MARTINS-FILHO, L. S.; MOL, A. A.; ROCHA, R. Desenvolvimento de ferramenta computacional para auxílio ao projeto de gemas lapidadas. **Revista Escola de Minas, Ouro Preto**, v.58, n.4, p.367-373, out./dez. 2005.

MAYES, S. L. et al. Cloacal and surface temperatures of tom turkeys exposed to different rearing temperature regimes during the first 12 weeks of growth. **Poultry Science Association**, v.94, n.6, p.1105–1114, jun. 2014.

MEDEIROS, C. M. Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. 2001. 115 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

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

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.

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.

NÄÄS, I. A.; GARCIA, R. G.; CALDARA, F. R. Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. **Journal of Animal Behavior and Biometeorology**, v.2, n.3, p.66-72, jul. 2014.

NASCIMENTO, J. L.; STEPHAN, C.; NUNES, E. D. Cientistas sociais da saúde coletiva: uma abordagem pela óptica *fuzzy*. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.20, n.5, p.1583-1593, 2015.

NASCIMENTO, G. R. et al. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.6, p.658–663, 2014.

NASCIMENTO, S. T. **Determinação do balanço de calor em frangos de corte por meio das temperaturas corporais**. 2010, 147p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

NASCIMENTO, S. T. et al. Mean surface temperature prediction models for broiler chickens—a study of sensible heat flow. **International Journal of Biometeorology**, v.58, n.2, p.195-201, 2013.

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.

NAZÁRIO, S. L. S. et al. Caracterização de leite bovino utilizando ultra-som e redes neurais artificiais. **Revista Controle & Automação**, v.20, n.4, out./dez. 2009.

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.

ORTEGA, N. R. S. **Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da biomedicina**. 2001. 152 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

OSÓRIO, F. S.; BITTENCOURT, J. R. Sistemas Inteligentes baseados em redes neurais artificiais aplicados ao processamento de imagens. In: **Workshop de Inteligência Artificial**. 2000.

PANDORFI, H. et al. Uso de redes neurais artificiais para predição de índices zootécnicos nas fases de gestão e maternidade na suinocultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3, p.676-681, 2011.

PIAIA, J. C. Z. **Aplicação da Inteligência Artificial no Monitoramento do Processo de Incubação**. 2005. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PINTO, P. R. **Uso de redes neurais artificiais no gerenciamento de matadouros-frigoríficos de aves e suínos no sul do Brasil**. 2006. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

QUEIROZ, M. P. G.; NÄÄS, I. A.; SAMPAIO, C. A. P. Estimating thermal comfort of piglets considering ammonia concentration. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**, v.3, 2005.

REALI E. H. **Utilização de inteligência artificial (redes neurais artificiais) no gerenciamento da produção de frangos de corte**. 2004. 127 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RIBACIONKA, F. **Sistemas computacionais baseados em lógica fuzzy**. 1999. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 1999.

ROBERTO, J. V. B.; SOUZA, B. B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. **Journal of Animal Behavior and Biometeorology**, v.2, n.3, p.73-84, jul. 2014.

ROUSH, W. B. et al. Artificial Neural Network Prediction of Ascites in Broilers. **Poultry Science**, Champaign, v.75, n.12, p.1479–1487, dez. 1996.

ROUSH, W. B. et al. Minimal Number of Chicken Daily Growth Velocities for Artificial Neural Network Detection of Pulmonary Hypertension Syndrome (PHS). **Poultry Science**, Champaign, v.80, n.3, p.254–259, mar. 2001.

SALLE, C. T. P. et al. Uso de Redes Neurais Artificiais para Estimar Parâmetros de Produção de Galinhas Reprodutoras Pesadas em Recria. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.3, n.3, p.257–264, set./dez. 2001.

SALLE, C. T. P. et al. Use of artificial neural networks to estimate production variables of broilers breeders in the production phase. **British Poultry Science**, Abingdon, v.44, n.2, p.211–217, maio, 2003.

SALLE, F. O. **Utilização de inteligência artificial (redes neurais artificiais) no gerenciamento do incubatório de uma empresa avícola do sul do Brasil**. 2005. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SANTOS, F. M. C.; SILVA, I. N.; SUETAKE, M. Sobre a aplicação de sistemas inteligentes para diagnóstico de falhas em máquinas de indução – uma visão geral. **Revista Controle & Automação**, v.23, n.5, set./out. 2012.

SANTOS, A. M. et al. Usando redes neurais artificiais e regressão logística na predição da hepatite A. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 8, n. 2, p. 117-26, 2005.

SCHIASSI, L. et al. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.140-146, fev. 2015.

SCHIASSI, L. et al. Thermal-Acoustic Comfort Index for Workers of Poultry Houses Using Fuzzy Modeling. **International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)**, v.4, n.9, p.60-64, set. 2014.

SILVA, S. R. G. et al. Desempenho e resposta imune de frangos de corte alimentados com dietas suplementadas com cromo na forma orgânica. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v.21, n.3, p.199-203, jul./set. 2014.

SOARES, F. C. et al. Redes neurais na estimativa da retenção de água do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.2, p.293-300, fev. 2014.

SOUZA JUNIOR, J. B. F. et al. Avaliação termográfica de codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). **Journal of Animal Behavior and Biometeorology**, v.1, n.2, p.61-64, out. 2013.

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.

TSOUKALAS, L. H.; UHRIG, R. E. **Fuzzy and Neural Approaches in Engineering**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 600 p.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Relatório anual**. São Paulo, 2014. Disponível em:  
<<http://www.ubabef.com.br/files/publicacoes/732e67e684103de4a2117dda9ddd280a.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

VIEIRA, F. M. C. et al. Simulação da mortalidade pré-abate de frangos de corte por meio das redes neurais artificiais. **Thesis**, São Paulo, n.16, p.56-64, 2011.

WEBER, L.; KLEIN, P. A. T. **Aplicações de lógica fuzzy em software e hardware**. Canoas: Editora ULBRA, 2003. 112p.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Fuzzy logic model to predict laying hen body temperature rise during acute heat stress. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006.

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets, Information and Control**. New York, 1965. V.8, p.338-353.

ZANETTI, S.S. et al. Estimação da evapotranspiração de referência no Estado do Rio de Janeiro usando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.174-180, 2008.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

**ARTIGO 1**

**Desempenho de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico**

**Artigo redigido conforme norma da Revista Engenharia Agrícola**

## DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES E DURAÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO

**RESUMO:** O ambiente térmico é fundamental para o melhor desenvolvimento das aves, principalmente nos primeiros dias de vida, pois o sistema termorregulador não está completamente desenvolvido. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho, analisar os efeitos de diferentes temperaturas de bulbo seco do ar (24, 27, 30 e 33 °C) e durações de estresse (1, 2, 3 e 4 dias) em frangos de corte, na segunda semana de vida. Foram avaliados duzentos e quarenta frangos de corte, consistindo de dezesseis tratamentos, três repetições e sessenta aves por etapa. O experimento foi conduzido em túneis de vento climatizados, sendo que, a umidade relativa e velocidade do ar foram fixadas em 60% e 0,2 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. O consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) foram avaliadas no final da terceira semana. Os dados coletados foram submetidos a análise de variância e posteriormente aplicado o teste de médias de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. O estresse térmico por baixa temperatura (24 °C) ocasionou aumento do CR (p<0,05, teste Scott-Knott) e quando submetidas a estresse térmico por alta temperatura (33 °C) verificou-se a diminuição do CR em função da duração do estresse térmico. Não verificou-se diferença significativa (p>0,05, teste Scott-Knott) para o GP entre os tratamentos avaliados. A melhor CA ocorreu quando as aves foram submetidas à temperatura de bulbo seco do ar de 30 °C, caracterizando assim como a temperatura de conforto para a segunda semana de vida.

**Palavras-chave:** ambiência animal, avicultura, conforto térmico, respostas produtivas.

## **BROILER PERFORMANCE SUBJECT TO DIFFERENT INTENSITIES AND DURATIONS OF THERMAL STRESS**

**ABSTRACT:** The thermal environment is fundamental to the better performance of broilers, especially in the first days of life, as the thermoregulatory system is not fully developed. Thus, the aim of this present research was to analyze the effects of different air dry-bulb temperature (24, 27, 30 and 33 °C) and stress durations (1, 2, 3 and 4 days) on broilers in the second week of life. Two hundred forty broiler chickens were evaluated, consisting of sixteen treatments, three replicates and sixty poultry per stage. The experiment was conducted in air-conditioned wind tunnels, and the relative humidity and air velocity were set at 60% and 0.2 m s<sup>-1</sup>, respectively. Feed intake (FI), weight gain (WG) and feed conversion (FC) were evaluated at the end of the third week. Analysis of variance and the mean of Scott-Knott mean test at 5% probability were applied to the data collected. The thermal stress by low temperature (24 °C) leads to an increased of FI (p<0.05, Scott-Knott test), and when subjected to high temperature thermal stress (33 °C) there was a decrease in FI depending on duration of thermal stress. There was no significant difference (p>0.05, Scott-Knott test) to the WG among the treatments. The best FC occurred when the poultry were subjected to air dry-bulb temperature of 30 °C, characterized as the comfort temperature for the second week of life.

**Keywords:** animal environment, poultry, thermal comfort, productive responses.

## INTRODUÇÃO

Para obtenção da máxima produtividade, os frangos de corte precisam ser criados em um ambiente térmico apropriado, com o adequado controle da temperatura de bulbo seco do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação (GARCIA et al., 2012).

O controle térmico no ambiente de criação faz-se necessário (NASCIMENTO et al., 2014), principalmente, nos primeiros dias de vida (MENEGALI et al., 2013), pois o sistema de termorregulação das aves não está completamente desenvolvido, possuindo dificuldades para produzir calor.

Quando submetidas a condições térmicas desfavoráveis, as aves estão sujeitas ao estresse térmico (SOUZA et al., 2010), sendo assim, modificam seu comportamento alimentar, diminuindo ou aumentando o consumo de ração (CORDEIRO et al., 2014). Essa modificação no comportamento alimentar auxilia nas alterações fisiológicas para adaptar-se ao estresse (SCHIASSI et al., 2015). Porém, o gasto energético que deveria ser usado para proporcionar ganho de peso adequado será

destinado ao processo de termorregulação corporal (NAZARENO et al., 2009; CASSUCE, 2011), prejudicando o desempenho produtivo (BARACHO et al., 2013).

A avaliação das respostas produtivas dos frangos de corte em função das condições térmicas das instalações é realizada por meio da análise de parâmetros zootécnicos, como o consumo de ração (CR), o ganho de peso (GP) e a conversão alimentar (CA) (ROCHA et al., 2010).

Diversos trabalhos têm demonstrado que as respostas produtivas dos frangos de corte estão intimamente relacionadas às condições térmicas das instalações (CORDEIRO et al., 2010). Porém, a maioria das pesquisas apenas variaram a intensidade do estresse térmico, não variando a duração do mesmo.

Diante da importância do ambiente térmico e de sua influência sobre as respostas produtivas de frangos de corte nas fases iniciais, objetivou-se, avaliar o desempenho de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico na segunda semana de vida.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Ambiência Animal no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Os procedimentos realizados durante este experimento foram aprovados pela Comissão de Ética para Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Lavras – (UFLA), Minas Gerias, protocolo N° 008/12.

Foram utilizados quatro túneis de vento climatizados (0,8 x 5,0 m), que foram construídos em chapas de aço e tubos de PVC (Figura 1a), sendo cada túnel, equipado com dois aquecedores elétricos e dois umidificadores, com funcionamento em dois estágios.

A ventilação no interior de cada túnel foi realizada por meio de um exaustor, com 40 cm de diâmetro, e a velocidade ajustada por meio de potenciômetro. No interior dos túneis foram alocadas gaiolas de 0,24 m<sup>2</sup> (0,40 x 0,60 m), no qual, foram divididas em três partes iguais e equipadas com comedouros e bebedouros independentes em cada repartição, caracterizando assim três repetições (Figura 1b). Para

condicionar a temperatura no interior da sala, foram utilizados dois sistemas de ar condicionado com 18.000 BTUs de potência cada.



(a) (b)  
FIGURA 1. a) Vista geral dos túneis de vento climatizados. b) Vista superior das gaiolas alocadas no interior dos túneis.

O controle do ambiente térmico dentro dos túneis de vento climatizados foi realizado por meio de um *datalogger* (CR1000, *Campbell Scientific*), um controlador de relés (SDM-CD16AC, *Campbell Scientific*), um multiplexador de canais (AM16/32B, *Campbell Scientific*), e sensores de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar (HMP45c, Vaisala, acurácia de  $\pm 0,3$  °C para  $t_{bs}$  e  $\pm 2$  % para UR).

Utilizaram-se, durante todo o período experimental, 240 pintinhos da linhagem *COBB 500*<sup>®</sup> machos e fêmeas, oriundos de um mesmo

incubatório, onde foram vacinados contra as doenças de Marek, Gumboro e Bouda Aviária. As aves chegaram ao experimento logo após o nascimento e permaneceram até completarem vinte e dois dias de vida. Durante esse período, foi fornecido às aves água e ração *ad libitum* de forma a atender as suas exigências nutricionais segundo ROSTAGNO et al. (2011). A ração utilizada foi a mesma para todos os pintinhos durante todo o período experimental não havendo variação de sua formulação.

A umidade relativa do ar foi mantida em  $60 \pm 1\%$  e a velocidade do ar em  $0,2 \pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$ , caracterizada como de conforto para frangos de corte (MEDEIROS et al., 2005). A luminosidade foi ajustada, por meio de um luxímetro (LDR-380, precisão de  $\pm 3\%$ ), com intensidades de 25 e 10 lux para a primeira e segunda semana de vida, respectivamente (COBB, 2008).

O experimento foi realizado em quatro fases de 21 dias cada uma, utilizando sessenta aves em cada etapa. Em cada repartição da gaiola foram alocadas cinco aves, caracterizando quinze aves por túnel de vento climatizado na primeira semana de vida. Para manter a densidade ideal de conforto, na segunda e terceira semana de vida, foram mantidas em cada

repetição, quatro e três aves, respectivamente, conforme o manual COBB (2008). A higienização do ambiente de criação foi realizada diariamente para evitar a formação de gases e propiciar um ambiente adequado para o desenvolvimento dos frangos de corte.

As aves foram submetidas ao estresse térmico somente na segunda semana de vida, a partir do 8º dia de vida. Durante a primeira e terceira semanas de vida, as temperaturas de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ) foram mantidas na zona de termoneutralidade, ou seja, 33°C e 27°C, respectivamente (CONY & ZOCCHÉ, 2004). Na segunda semana, as diferenças entre os tratamentos foram estabelecidas entre as intensidades e durações do estresse térmico, sendo que, as intensidades do estresse foram de 24, 27 e 33°C para cada etapa, além da  $t_{bs}$  de 30°C, considerada como de conforto para a segunda semana de vida (CONY & ZOCCHÉ, 2004).

Na Tabela 1 pode-se observar que o estresse térmico foi aplicado em quatro níveis de duração (1, 2, 3 e 4 dias) nos quatro primeiros dias que compõem a segunda semana (8º, 9º, 10º e 11º dias de vida). Logo após esse período as  $t_{bs}$  retornaram ao valor preconizado como característico da zona de conforto térmico (30°C).

TABELA 1. Temperatura de bulbo seco do ar e duração do estresse térmico (em negrito), aplicados a frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, mantidos em túneis de vento climatizados.

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

Et.= etapa

A etapa experimental submetida à  $t_{bs}$  de 30°C é considerado como controle (conforto), e os demais, foram mantidos a fim de proporcionar estresse térmico tanto por baixas (24 e 27°C) quanto alta (33°C) temperaturas (CURTIS, 1983; CONY & ZOCHE, 2004).

Para a análise das variáveis foi utilizado o CR, GP e CA acumulado em 21 dias, adotando-se o delineamento inteiramente casualizado (D.I.C.) em um esquema de parcelas subdivididas no tempo. As parcelas foram montadas segundo o arranjo fatorial 4x4, ou seja, quatro  $t_{bs}$  na segunda

semana de vida das aves (33 °C, 30 °C, 27 °C e 24 °C) e quatro durações de estresse (1, 2, 3 e 4 dias), conforme o modelo especificado na equação 1. As variáveis foram tratadas pelo programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2010) submetidas à análise de variância e de médias comparadas por meio do teste Scott-Knott e regressão ao nível de 5% de probabilidade.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

em que,  $Y_{ijk}$  é a observação da repetição  $k$  da  $i$ -ésima temperatura, na  $j$ -ésima duração, com  $i, j=1,2,3,4$  e  $k=1,2,3$ ;  $\mu$  é a constante associada a cada observação;  $\alpha_i$  é o efeito da  $i$ -ésima temperatura;  $\beta_j$  é o efeito da  $j$ -ésima duração;  $\alpha\beta_{ij}$  interação entre a temperatura de bulbo seco do ar e a duração;  $e_{ijk}$  erro aleatório associado a cada observação, sendo  $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2)$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ambiente térmico no interior dos túneis de vento climatizados foram monitorados durante o período experimental para a verificação dos valores da  $t_{bs}$  e UR aos quais as aves foram submetidas. As médias e os desvios padrões (em parênteses) dos valores observados estão listados na Tabela 2.

Na primeira semana de vida a  $t_{bs}$  e UR desejadas eram de 33 °C e 60%, respectivamente, sendo que o valor observado (Tabela 2) está muito próximo em todas as etapas, sendo que os maiores desvios padrão para a  $t_{bs}$  foi de  $\pm 0,3$  °C e UR de  $\pm 1,4$  %. Durante a segunda semana de vida, período no qual as aves foram submetidas a diferentes intensidades de  $t_{bs}$ , os maiores desvios padrão encontrados foram de  $\pm 0,3$  °C para a  $t_{bs}$  e de  $\pm 1,7$  % para a UR. Para a terceira semana de vida, nos quais as aves foram submetidas à  $t_{bs}$  de 27 °C, considerada de conforto (CONY & ZOCHE, 2004), observa-se que a médias da  $t_{bs,obs}$  estão próximas da desejada. As pequenas variações demonstram a eficiência dos túneis de vento

climatizados para a manutenção das variáveis térmicas desejadas, corroborando com SCHIASSI et al. (2014).

TABELA 2. Valores de temperatura de bulbo seco do ar desejada ( $t_{bs,desejada}$ , °C), médias observadas ( $t_{bs,obs}$  (°C) e  $UR_{obs}$  (%)) no interior dos túneis de vento climatizados.

Et.	Variáveis Térmicas	Semana 1		Semana 2		Semana 3	
		1 dia	2 dias	3 dias	4 dias		
1	$t_{bs,desejada}$	33,0		24,0		27,0	
	$t_{bs,obs}$	33,1 (0,3)	24,3 (0,3)	24,3 (0,3)	24,3 (0,3)	24,3 (0,3)	27,2 (0,3)
	$UR_{obs}$	60,3 (0,6)	60,4 (0,7)	60,4 (0,8)	59,9 (1,0)	60,8 (0,6)	60,4 (1,2)
2	$t_{bs,desejada}$	33,0		27,0		27,0	
	$t_{bs,obs}$	33,1 (0,3)	27,2 (0,3)	27,2 (0,2)	27,1 (0,2)	27,2 (0,3)	27,2 (0,3)
	$UR_{obs}$	60,3 (0,9)	60,0 (1,6)	60,3 (1,0)	60,0 (0,9)	60,4 (0,9)	59,9 (1,4)
3	$t_{bs,desejada}$	33,0		33,0		27,0	
	$t_{bs,obs}$	33,1 (0,3)	33,0 (0,3)	33,0 (0,3)	33,0 (0,3)	33,0 (0,3)	27,2 (0,3)
	$UR_{obs}$	60,2 (1,4)	60,0 (1,7)	60,1 (1,3)	59,9 (1,4)	60,5 (1,3)	60,3 (0,8)
4	$t_{bs,desejada}$	33,0		30,0		27,0	
	$t_{bs,obs}$	33,2 (0,3)		30,2 (0,2)		27,2 (0,2)	
	$UR_{obs}$	60,1 (1,1)		60,3 (0,7)		60,3 (0,8)	

Et.= Etapa;  $t_{bs,desejada}$  = Temperatura de bulbo seco desejada;  $t_{bs,obs}$  = Temperatura de bulbo seco observada;  $UR_{obs}$  = Umidade relativa do ar observada.

A interação entre a  $t_{bs}$  e a duração do estresse térmico foi significativa ( $p < 0,05$ , teste F) para a variável CR (Tabela 3). Ao se analisar as  $t_{bs}$  dentro de cada duração do estresse (Tabela 3), observou-se, no geral, que as maiores médias de CR ocorreram na  $t_{bs}$  de 24°C ( $p < 0,05$ , teste Scott-Knott), exceto para a duração de 4 dias que não foi verificado

diferença significativa ( $p > 0,05$ , teste Scott-Knott). O aumento do CR em condições de estresse por baixas temperaturas deve-se à necessidade da ave em obter mais energia oriunda da sua dieta (SILVA et al., 2009). Para a  $t_{bs}$  de 30 °C (conforto) não foi verificado diferença significativa ( $p > 0,05$ , teste Scott-Knott) nas quatro repetições analisadas.

TABELA 3. Média do consumo de ração (CR, g) acumulado de frangos de corte aos 21 dias de idade, submetidos a diferentes durações de estresse térmico.

$t_{bs}$ (°C)	Duração do estresse térmico (dias)			
	1	2	3	4
24	941,33 (80,89) c A	901,93 (47,78) b A	902,00 (75,49) b A	867,86 (75,98) a A
27	824,43 (31,30) b A	811,36 (59,47) a A	888,53 (68,68) b A	830,03 (36,55) a A
30	717,86 (37,45) a A	758,96 (16,04) a A	776,26 (28,09) a A	797,63 (50,27) a A
33	911,86 (28,16) c A	826,83 (46,76) a B	783,70 (36,34) a B	808,00 (26,17) a B
CV (%)	6,05			

Médias com letras diferentes (maiúsculas na linha e minúsculas na coluna) indicam diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Scott Knott.

Por sua vez, o menor CR para as diversas durações estudadas foi verificado para a  $t_{bs}$  de 30°C ( $p < 0,05$ , teste Scott-Knott), exceto para a duração de 4 dias de estresse, na qual não observou diferença estatística entre as diversas  $t_{bs}$  avaliadas ( $p < 0,05$ , teste Scott-Knott).

À medida que se aumenta a duração do estresse térmico verifica-se a redução do efeito da  $t_{bs}$  no CR aos 21 dias de idade da ave, indicando a

ocorrência de adaptação dos frangos de corte ao ambiente estressor. Verifica-se ainda, que a  $t_{bs}$  de 33°C aplicada às durações do estresse térmico de 2, 3 e 4 dias, ainda não representa condição de desconforto significativa ( $p > 0,05$ , teste Scott-Knott) para os frangos de corte quando comparado à condição preconizada pela literatura como de conforto ( $t_{bs} = 30^\circ\text{C}$ ) (CONY & ZOCHE, 2004; SCHIASSI et al., 2015).

Entretanto, considerando a duração de 1 dia de estresse, verificou-se diferença estatística entre as  $t_{bs}$  de 33°C e 30°C. Em condições de  $t_{bs}$  elevada, espera-se a redução do CR para diminuição do incremento metabólico (OBA et al., 2012), facilitando assim, o controle da homeotermia (FARIA FILHO, 2003). Neste trabalho, verificou-se que o CR no primeiro dia de estresse, também foi maior a 33°C, isto provavelmente ocorreu devido esta  $t_{bs}$  não caracterizar plenamente desconforto por alta temperatura. Na Figura 2, é ilustrada a análise exploratória, em formato radar, dos dias de estresse térmico (1, 2, 3 e 4 dias), para o CR associado a cada  $t_{bs}$ .

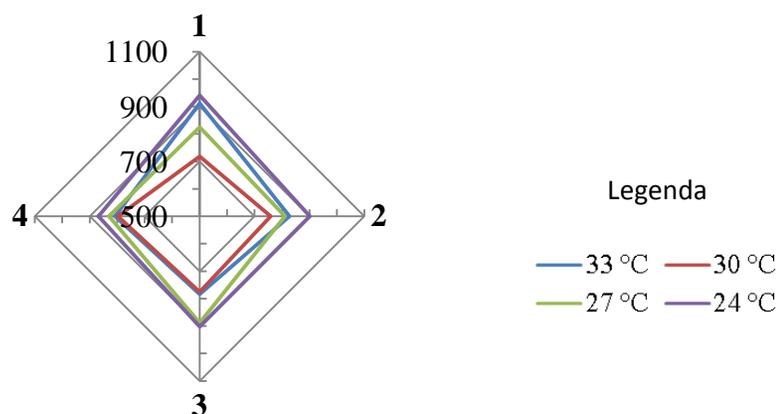


FIGURA 2. Análise do consumo de ração (CR, g) em função das temperaturas de bulbo seco do ar e duração do estresse térmico avaliado.

A interação da  $t_{bs}$  e da duração do estresse térmico não foi significativa ( $p > 0,05$ , teste F) para o GP. Analisando o efeito separado das diferentes  $t_{bs}$  e durações do estresse térmico (Tabela 4), verificou-se a não existência de diferença significativa ( $p > 0,05$ , teste F). Dessa forma, verifica-se que mesmo com a variação do CR, o GP foi igual em todos os tratamentos testados, caracterizando-se assim, como ganho compensatório reportado em diversos estudos (KOIYAMA et al., 2014; MATIAS et al., 2015; MENDES et al., 2012). Isso ocorre quando os frangos de corte são alojados em um sistema de criação na qual a  $t_{bs}$  encontra-se fora da faixa

de conforto, pois, as aves precisam redirecionar a energia destinada à produção para o processo termorregulatório (NAZARENO et al., 2009; CASSUCE, 2011). Assim, as aves possivelmente utilizaram a energia fornecida pela ração para a manutenção da temperatura corporal (BOIAGO et al., 2013).

TABELA 4. Ganho de peso (GP) acumulado na terceira semana de vida de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico.

$t_{bs}$ (°C)	GP (g)	Duração do estresse (dias)	GP (g)
<b>24</b>	613,77 (19,74) a	<b>1</b>	605,33 (28,80) a
<b>27</b>	599,22 (21,08) a	<b>2</b>	598,88 (11,41) a
<b>30</b>	592,68 (21,29) a	<b>3</b>	612,73 (41,25) a
<b>33</b>	590,13 (44,33) a	<b>4</b>	578,87 (13,92) a
<b>CV (%)</b>		5,96	

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $p < 0,05$ ).

De acordo com as análises apresentadas, observa-se que os maiores valores de CR estão associados ao estresse térmico de (24 e 33 °C) sendo a média 926,60 g e para o conforto térmico a média foi de 717,86 g, demonstrando assim que as aves consumiram em média 208,73 g a mais para obter o mesmo GP aos 21 dias. Como a ração representa cerca de 60 % nos custos totais para a criação de frangos de corte (INNOCENTINI,

2009), qualquer consumo extra, representa riscos financeiros para o segmento, aumentando o custo de produção, diminuindo assim a margem de lucro. Na avicultura moderna, para manter a atividade ainda mais atrativa e competitiva no cenário mundial, deve-se obter menores custos de produção (FERNANDES et al., 2012), dessa forma, verifica-se a importância de controlar as variáveis térmicas dentro das instalações.

Não foi observada a interação ( $p > 0,05$ , teste F) entre os fatores avaliados ( $t_{bs}$  e duração do estresse térmico) para a CA (Tabela 5). O melhor (1,28) e pior (1,47) valor de CA foram observados para as  $t_{bs}$  de 30°C e 24°C, respectivamente, que são estaticamente diferentes ( $p < 0,05$ , teste Scott-Knott). Por sua vez, as  $t_{bs}$  de 27°C e 33°C apresentaram valores de CA intermediários, sendo semelhantes ( $p > 0,05$ , teste Scott-Knott).

O menor valor de CA associado à  $t_{bs}$  de 30°C está em consonância com literatura, tendo em vista que esta temperatura é considerada como de conforto térmico para frangos de corte na segunda semana de vida (CONY & ZOCHE, 2004; SCHIASSI et al., 2015).

TABELA 5. Médias e desvios padrão (entre parênteses) da conversão alimentar (CA) acumulada na terceira semana de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico.

$t_{bs}$ (°C)	CA (g g <sup>-1</sup> )	Duração do estresse (dias)	CA (g g <sup>-1</sup> )
<b>24</b>	1,47 (0,01) c	<b>1</b>	1,38 (0,08) a
<b>27</b>	1,39 (0,03) b	<b>2</b>	1,37 (0,10) a
<b>30</b>	1,28 (0,06) a	<b>3</b>	1,38 (0,08) a
<b>33</b>	1,41 (0,02) b	<b>4</b>	1,42 (0,04) a
<b>CV (%)</b>		5,16	

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Por sua vez, o pior desempenho dos frangos de corte está associado ao estresse por baixas temperaturas (24 °C), pois, quando submetidos a estresse por frio, as aves em crescimento modificam o seu comportamento, no qual afeta suas funções fisiológicas e metabólicas, diminuindo a sua produtividade (CASSUCE, 2011). Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ , teste F) entre os valores de CA para as diversas durações de estresse térmico. Na Figura 3, observa-se um gráfico de barras contendo as  $t_{bs}$  em função da CA, comparando-as com o desempenho de frangos de corte, criados em condições de conforto, na segunda semana de vida, de acordo com o manual COBB (2008), sendo o valor de referência de 1,182 g g<sup>-1</sup>.

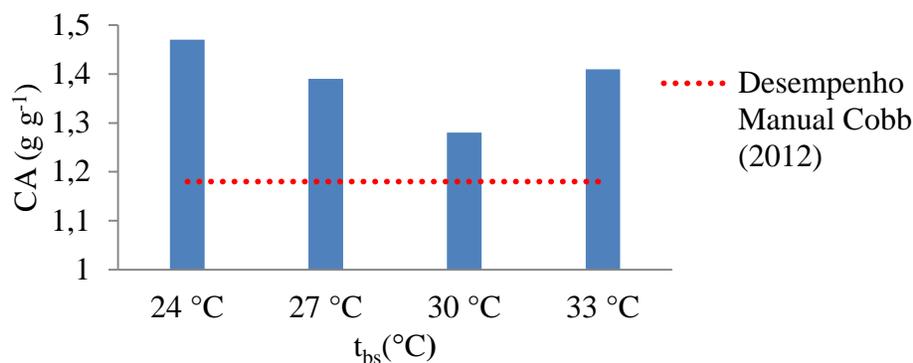


FIGURA 3. Conversão alimentar (CA, g g<sup>-1</sup>) de frangos de corte submetidos a diferentes temperaturas de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ), comparadas com o desempenho de frangos de corte mantidos em conforto térmico de acordo com o manual da linhagem.

Quando submetidas à  $t_{bs}$  de 24, 27 e 33 °C ocorreu uma piora do desempenho das aves em 14,8, 8,6 e 10,1 %, respectivamente, quando comparadas com a  $t_{bs}$  de conforto (30 °C). FARIA FILHO et al. (2003) observaram redução dessa variável em 9,4 e 5,7 % quando submetidos ao estresse por baixas (21 °C) e altas temperaturas (33 °C) respectivamente, na segunda semana de vida. O efeito do estresse térmico promove queda do desempenho final do lote, prejudicando a produtividade e a rentabilidade da atividade (CARVALHO, 2012).

## **CONCLUSÕES**

O desempenho dos frangos de corte foi afetado em função das intensidades do estresse térmico, sendo que, o melhor desempenho foi observado para a temperatura de bulbo seco do ar de 30 °C, confirmada como de conforto térmico para segunda semana de vida das aves. A redução da conversão alimentar para as temperaturas de bulbo seco do ar de 24, 27 e 33 °C foram de 14,8, 8,6 e 10,1%, respectivamente.

## **AGRADECIMENTOS**

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

## REFERÊNCIAS

BARACHO, M.S.; CASSIANO, J.A.; NÄÄS, I.A; TONON, G.S.;

GARCIA, R.G.; ROYER, A.F.B.; MOURA, D.J.; SANTANA, M.R.

Ambiente interno em galpões de frango de corte com cama nova e reutilizada. **Revista Agrarian**, v.6, n.22, p.473-478, 2013. Disponível em:

<<http://www.periodicos.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1974/1596>>. Acesso em: 14 out. 2015.

BOIAGO, M.M.; BARBA, H.; SOUZA, P.A.; SCATOLINI, A.M.;

FERRARI, F.B.; GIAMPIETRO-GANECO, A. Desempenho de frangos de corte, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. **Arquivo**

**Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.1, p.241-247, 2013. Disponível em:

<<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/3998/S0102-09352013000100034.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 out. 2015.

CARVALHO, L.S.S. Nutrição de poedeiras em clima quente. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v.18, p.1-15, 2012.

CASSUCE, D.C. **Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil**. 2011. 91f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

COBB. **Broiler Management Guide**. Arkansas: Cobb-Vantress USA, 14p. 2012. Disponível em: <[http://www.cobb-vantress.com/docs/default-source/cobb-500-guides/cobb500-broiler-performance-nutrition-supplement-\(english\)8ACAC5E6EA12EBEE36DDEAC9.pdf](http://www.cobb-vantress.com/docs/default-source/cobb-500-guides/cobb500-broiler-performance-nutrition-supplement-(english)8ACAC5E6EA12EBEE36DDEAC9.pdf)>. Acesso em: 10 Out. 2015.

CONY, A.V.; ZOCHE, A.T. **Manejo de frangos de corte**. In: MENDES, A.; NÄÄS, I. de A.; MACARI, M. (Ed.). **Produção de frangos de corte**. Campinas: Facta, 2004. p.118-136.

CORDEIRO, M.B.; FREITAS, H.J.; AQUINO, E.O.; SOUSA, E.M.; Avaliação do estresse térmico em frangos caipiras criados em condições climáticas do estado do Acre. **Revista Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v.10, n.19, p.358-365, dez. 2014. Disponível em:

<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/avaliacao%20do%20estresse.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I.F.F.; SILVA, J.N.; VIGODERIS, R.B.; PINTO, F.A.C.; CECON, P.R. 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. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v39n1/29.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

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

FARIA FILHO, D.E. **Efeito de dietas com baixo teor protéico, formuladas usando o conceito de proteína ideal, para frangos de corte criados em temperaturas fria, termoneutra e quente**. 2003. 85f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2003.

FERNANDES, R. T. V.; VASCONCELOS, N. V. B.; DE FRANÇA LOPES, F.; DE ARRUDA, A. M. V.; PINTO, A. R. M. Aspectos gerais sobre alimentos alternativos na nutrição de aves. **Revista Verde de**

**Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 67-72, dez.

2012. Disponível em: <

file:///C:/Users/Lucas%20Henrique/Downloads/1843-10434-1-PB.pdf>.

Acesso em: 16 out. 2015.

FERREIRA, D.F. **Programa de análises estatísticas (*Statistical Analysis Software*) e planejamento de Experimentos-SISVAR 5.3.**

Universidade Federal de Lavras, 2010.

GARCIA, R.G.; ALMEIDA PAZ, I.C.L.; CALDARA, F.R.; NÄÄS, I.A.;

PEREIRA, D.F.; FERREIRA, V.M.O.S. Selecting the most adequate

bedding material for broiler production in Brazil. **Brazilian Journal of**

**Poultry Sciences**, v.14, n.2, p.71-158, abr./jun. 2012. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbca/v14n2/v14n2a6.pdf>>. doi:

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2012000200006>

INNOCENTINI, R.C.P. Análise dos custos de produção de frangos de

corte nos sistemas integrado e independente-comunicação. **Veterinária**

**Notícias**, v. 15, n. 2, p.9-18, jul./dez. 2009. Disponível em: <

<http://www.seer.ufu.br/index.php/vetnot/article/view/18922/10203> >.

Acesso em: 16 out. 2015.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. D. C.; OLIVEIRA, R. D.; TINÔCO, I. D. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. 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.<<http://www.ufv.br/dea/reveng/arquivos/vol13/v13n4p277-286.pdf> >. 23 Maio 2014.

MENEGALI, I.; TINOCO, I.F.F.; CARVALHO, C.C.S.; SOUZA, C.F.; MARTINS, J.H. 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/pdf/rbeaa/v17n1/v17n01a15.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

NASCIMENTO, G.R.; NÄÄS, I.A.; BARACHO, M.S.; PEREIRA, D.F.; NEVES, D.P. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.6, p.658–663, 2014. Disponível

em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n6/v18n6a14.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

NAZARENO, A.C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.; GIONGO, P.R.; PEDROSA, E.M.R.; GUISELINI, C. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, n.6, p.802-808, nov./dez. 2009. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n6/v13n6a20.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

OBA, A.; LOPES, P.C.F.; BOIAGO, M.M.; SILVA, A.M.S.;

MONTASSIER, H.J.; SOUZA, P.A. Características produtivas e imunológicas de frangos de corte submetidos a dietas suplementadas com cromo, criados sob diferentes condições de ambiente. **Revista Brasileira de Zootecina**, v.41, p.1186-1192, 2012. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v41n5/16.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

ROCHA, H.P.; FURTADO, D.A.; NASCIMENTO, J.W.B.; SILVA, J.H.V. Índices bioclimáticos e produtivos em diferentes galpões avícolas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**

**Ambiental**, v.14, n.12, p.1330–1336, 2010. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n12/12.pdf>>. Acesso em: 14 out.

2015.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.;

OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.;

EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição**

**de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade

Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, F.A.; SARAZ,

J.A.O.; AMARAL, A.G. Thermal-Acoustic Comfort Index for Workers

of Poultry Houses Using Fuzzy Modeling. **International Journal of**

**Engineering Research and Applications (IJERA)**, v.4, n.9, p.60-64,

set. 2014. Disponível em: <<http://www.ijera.com/pages/v4no9.html>>.

Acesso em: 22 set. 2015.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; REIS, G.M.; ABREU, L.H.P.;

CAMPOS, A.T.; CASTRO, J.O. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação

do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia**

**Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.140-146, fev. 2015. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n2/1415-4366-rbeaa-19-02-0140.pdf>>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p140-146>

SILVA, V.K.; SILVA, J.D.T.; GRAVENA, R.A.; MARQUES, R.H.; HADA, F.H.; MORAES, V.M.B. 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**, v.38, n.4, p.690-696, 2009. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v38n4/15.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

SOUZA, V.L.F.; BURANELO, G.S.; GASPARINO, E.; CARDOZO, R.M.; BARBOSA, M.J.B. Efeito da automatização nas diferentes estações do ano sobre os parâmetros de desempenho, rendimento e qualidade da carne de frangos de corte. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v.32, n.2, p.175-181, 2010. Disponível em: <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/7241/7241>>. doi: 10.4025/actascianimsci.v32i2.7241

ARTIGO 2

**Temperaturas cloacais e superficiais de frangos de corte submetidos a estresse térmico**

**Artigo redigido conforme norma da Revista Engenharia Agrícola**

## TEMPERATURAS CLOACAL E SUPERFICIAL DE FRANGOS DE CORTE SUBMETIDOS A ESTRESSE TÉRMICO

**RESUMO:** As temperaturas cloacais e superficiais são importantes parâmetros fisiológicos para quantificar o conforto térmico de animais, sendo que, suas variações podem ocorrer em função das variáveis térmicas. Neste contexto, objetivou-se com a presente pesquisa, avaliar a temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ) e superficial ( $t_{sup}$ ) de frangos de corte *Cobb 500*<sup>®</sup>, na segunda semana de vida, submetidos a diferentes temperaturas de bulbo seco do ar (24, 27, 30 e 33 °C) e durações de estresse (1, 2, 3 e 4 dias). O experimento foi conduzido em túneis de vento climatizados, sendo que, a umidade relativa e velocidade do ar foram fixadas em 60% e 0,2 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. A  $t_{clo}$  e a  $t_{sup}$  foram mensuradas diariamente por meio de termômetro digital e câmera termográfica, respectivamente. Análise de variância e o teste de médias de Scott Knott ao nível de 5% probabilidade foram aplicados aos dados. Os resultados indicam que o estresse por baixas temperaturas (24 e 27 °C), ocasionaram diminuição da  $t_{clo}$  e  $t_{sup}$  ( $p < 0,05$ , teste Skott-Knott). Quando submetidas a estresse por alta temperatura (33 °C), não verificou-se diferença significativa ( $p > 0,05$ , teste Skott-Knott) em relação ao tratamento controle (30 °C). A aclimação das aves ao estresse térmico ocorreu a partir do segundo dia de estresse.

**Palavras-chave:** ambiência animal, avicultura, conforto térmico, imagem termográfica, parâmetros fisiológicos

## **CLOACAL AND SURFACE TEMPERATURES OF BROILERS SUBJECT TO THERMAL STRESS**

**ABSTRACT:** The cloacal and surface temperatures are important physiological parameters to quantify the thermal comfort of animals, its variations may occur as a function of thermal variables. In this context, the goal of the present work was to evaluate the cloacal ( $t_{clo}$ ) and surface ( $t_{sup}$ ) temperatures of Cobb 500<sup>®</sup> broiler chickens, in the second week of life, subjected to different air dry-bulb temperature (24, 27, 30 and 33 °C) and stress durations (1, 2, 3 and 4 days). The experiment was carried out in four acclimatized wind tunnels. Air relative humidity and air velocity were set at 60% and 0.2 m s<sup>-1</sup>, respectively. The  $t_{clo}$  and  $t_{sup}$  were measured daily through digital thermometer and thermographic camera, respectively. Analysis of variance and the Scott Knott mean test at 5% probability were applied to the data. The results indicate that stress by low temperature (24 to 27 °C) resulted decreased of  $t_{clo}$  and  $t_{sup}$  ( $p < 0.05$ , Scott-Knott test). When subjected to high temperature stress (33 °C), there was no significant difference ( $p > 0.05$ , Scott-Knott test) compared to the control treatment (30 °C). Acclimation of broilers to thermal stress occurred from the second day of stress.

**Keywords:** animal environment, aviculture, thermal comfort, thermographic image, physiologic parameters

## INTRODUÇÃO

O Brasil por ser um país de vasta extensão territorial, apresenta grande diversidade climática com amplitudes de temperaturas durante o ano, no qual, promove complicações na criação de frangos de corte devido às variações que acontecem no ambiente de produção (NÄÄS et al., 2010).

Dessa forma, no atual cenário de desenvolvimento da avicultura brasileira, faz-se necessário que as aves sejam criadas em ambientes adequados para que se possa obter elevado desempenho, propiciando o máximo do seu potencial genético. Nestas condições, caracterizadas como de conforto térmico, obtém-se baixo gasto energético para o controle da homeotermia, aumentando desta forma o desempenho (NASCIMENTO et al., 2014).

As temperaturas cloacais ( $t_{clo}$ ) e a superficial ( $t_{sup}$ ) estão entre os principais indicadores fisiológicos de conforto térmico de frangos de corte, pois se alteram com a variação da temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ), umidade relativa do ar (UR) e luminosidade (COSTA et al., 2012; FERREIRA et al., 2012). Ocorrendo variação de  $t_{sup}$  e  $t_{clo}$ , as aves dissipam ou retêm calor, assim, parte da energia que deveria ser utilizada para o ganho de peso, deverá ser aplicada no processo termoregulatório, diminuindo as respostas produtivas.

Qualquer variação da temperatura corporal de frangos de corte indica que as trocas realizadas na sua superfície não foram suficientes

para a manutenção do equilíbrio térmico (NASCIMENTO et al., 2013), indicando, assim, alterações fisiológicas.

O aumento da  $t_{clo}$  é proporcional à idade (MARCHINI et al., 2007), sendo que, o estresse causado pela alta  $t_{clo}$  resulta na diminuição do ganho de peso (COSTA et al., 2012). Segundo OLIVEIRA et al. (2006), a temperatura de núcleo corporal para a segunda semana de vida varia entre 41 a 42 °C, faixa esta, condizente com o valores encontrados por BUENO et al. (2014).

De acordo com NÄÄS et al. (2014), por meio da análise da temperatura da pele é possível determinar o estado físico saudável do animal. Uma forma de avaliação da  $t_{sup}$  de frangos de corte é por meio da termografia infravermelha, que é um procedimento que não causa interferência no nicho ecológico do animal avaliado (NASCIMENTO et al., 2011a).

Apesar das penas obstruírem a emissão infravermelha da pele, a termografia possibilita o mapeamento térmico do corpo (SOUZA JUNIOR et al., 2013; CASTILHO et al., 2015), sendo utilizado em diversos estudos para obtenção das respostas térmicas (MAYES et al., 2014; ROBERTO & SOUZA, 2014; BARNABÉ et al., 2015;), visto que, a variação da  $t_{sup}$  é modificada instantaneamente quando ocorre mudanças térmicas do ambiente térmico de criação.

Diante desse contexto, objetivou-se com este trabalho, avaliar a temperatura média superficial e cloacal de frangos de corte na segunda

semana de vida, submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, ajustando equações de correlação entre essas variáveis.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Esta pesquisa foi realizada em um laboratório de ambiência animal equipado com dois sistemas de ar condicionado com potência de 18.000 BTUs cada, destinados ao controle e manutenção da temperatura da sala. A mesma contém quatro túneis de vento climatizados. No interior de cada túnel de vento está locada uma gaiola com dimensões de 0,40 x 0,60 m, divididas em três sub-repartições equivalente a 0,08 m<sup>2</sup> cada, que por sua vez são equipadas com comedouros e bebedouros.

Foram utilizados duzentos e quarenta frangos de corte da linhagem *Cobb 500*<sup>®</sup> machos e fêmeas, obtidas com 1 dia de vida de um mesmo incubatório comercial. Para cada etapa foram utilizadas sessenta aves, com uma distribuição de cinco aves por divisória nos primeiros sete dias de vida, ou seja, quinze aves por túnel. Posteriormente, na segunda semana de vida, apenas quatro pintainhos foram mantidos em cada repetição mantendo a densidade de criação recomendada pelo manual (COBB, 2008).

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). A ração e a

água estavam disponíveis *ad libitum*. A higienização dos túneis de vento e das gaiolas foi realizada todos os dias, para evitar a formação de gases, propiciando um ambiente adequado para o desempenho dos frangos de corte. A  $t_{clo}$  e a  $t_{sup}$  das aves também foram avaliadas diariamente.

O experimento foi realizado em diferentes etapas, variando a intensidade da  $t_{bs}$  aplicada sobre os frangos de corte na segunda semana de vida. Nos primeiros sete dias, as aves foram mantidas em conforto térmico sobre  $33^{\circ}\text{C}$  (CONY & ZOCCHÉ, 2004). Por sua vez, a partir do oitavo dia, os níveis de  $t_{bs}$  em cada etapa foram de 24, 27 e  $33^{\circ}\text{C}$ , a fim de proporcionar estresse térmico tanto por baixas quanto altas temperaturas (CURTIS, 1983; CONY & ZOCCHÉ, 2004).

O estresse térmico foi aplicado em quatro níveis de duração e efetuado nos dias 8, 9, 10 e 11 do período experimental de cada etapa, posteriormente, no decorrer da segunda semana, as temperaturas retornaram a zona de termoneutralidade. A Tabela 1 ilustra como foi realizada a divisão dos tratamentos.

TABELA 1. Temperatura de bulbo seco do ar e dias de manutenção da condição de estresse térmico (em negrito), aplicados a frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, mantidos em túneis de vento climatizados.

		Temperatura de bulbo seco do ar (°C)							
Etapa	Túnel	Dias de Vida							
		1 a 7	8	9	10	11	12	13	14
1	A	33°C	<b>33°C</b>	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C
	B		<b>33°C</b>	<b>33°C</b>	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C
	C		<b>33°C</b>	<b>33°C</b>	<b>33°C</b>	30°C	30°C	30°C	30°C
	D		<b>33°C</b>	<b>33°C</b>	<b>33°C</b>	<b>33°C</b>	30°C	30°C	30°C
2	A	33°C	<b>27°C</b>	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C
	B		<b>27°C</b>	<b>27°C</b>	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C
	C		<b>27°C</b>	<b>27°C</b>	<b>27°C</b>	30°C	30°C	30°C	30°C
	D		<b>27°C</b>	<b>27°C</b>	<b>27°C</b>	<b>27°C</b>	30°C	30°C	30°C
3	A	33°C	<b>24°C</b>	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C
	B		<b>24°C</b>	<b>24°C</b>	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C
	C		<b>24°C</b>	<b>24°C</b>	<b>24°C</b>	30°C	30°C	30°C	30°C
	D		<b>24°C</b>	<b>24°C</b>	<b>24°C</b>	<b>24°C</b>	30°C	30°C	30°C
4	A, B, C e D	33°C				30°C			

Para a realização do experimento a umidade relativa do ar foi mantida em  $60 \pm 1\%$  e a velocidade do ar em  $0,2 \pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$ , caracterizada como de conforto para frangos de corte (MEDEIROS et al., 2005). A luminosidade foi ajustada, por meio de um luxímetro (LDR-380,

precisão de  $\pm 3\%$ ), com intensidades de 25 e 10 lux para a primeira e segunda semana de vida, respectivamente (COBB, 2008).

Imagens termográficas foram usadas para obtenção das temperaturas superficiais. As imagens foram adquiridas por meio de uma câmera termográfica Fluke (modelo TI55FT20/54/7.5), posicionada a 1 metro de altura da gaiola, de modo a possibilitar ampla visão e abrangência de todos os animais.

A avaliação termográfica foi elaborada com a utilização do *software* Fluke *SmartView* 3.0.126.0, na qual a emissividade adotada foi de 0,95 (CANGAR et al., 2008; FERREIRA et al., 2011; NÄÄS et al., 2014). Para cada repetição da gaiola foi selecionada aleatoriamente uma ave (Figura 1), sendo que, a  $t_{sup}$  média foi obtida em função das áreas superficiais de três aves (NASCIMENTO et al., 2011b; CASE et al., 2012).

No que se refere à  $t_{clo}$ , uma ave de cada repartição da gaiola foi capturada aleatoriamente para ter sua  $t_{clo}$  mensurada, ou seja, doze aves por dia, totalizando quarenta e oito verificações por etapa. A medição da  $t_{clo}$  foi realizada por meio do termômetro digital (INSTRUTHERM® São Paulo, Brasil; Modelo THR-080; precisão  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ ), sendo que, antes de cada utilização, foi realizada a esterilização do sensor, que por sua vez foi introduzido na cloaca das aves obtendo o valor da  $t_{clo}$  até que a leitura ficasse estabilizada (COSTA et al., 2012).

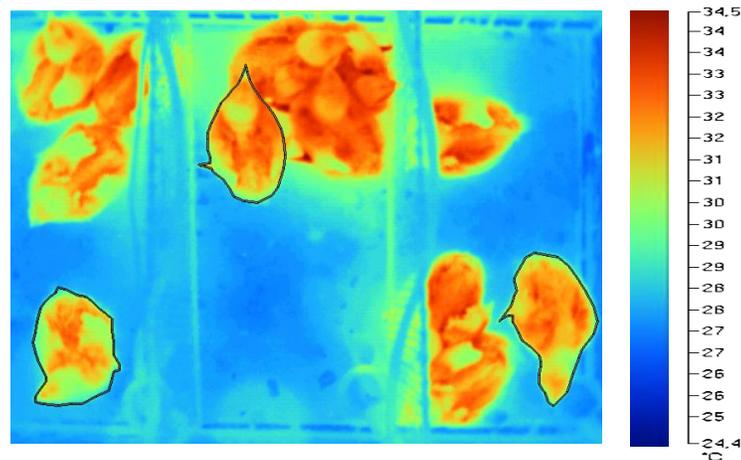


FIGURA 1. Imagem termográfica de frangos de corte, submetidos a determinada condição térmica, no interior dos túneis de vento climatizados.

Para a análise estatística das variáveis, adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (D.I.C.) com três repetições, montado segundo o arranjo fatorial 4x4, ou seja, quatro  $t_{bs}$  na segunda semana de vida das aves (33 °C, 30 °C, 27 °C e 24 °C) e quatro durações de estresse (1, 2, 3 e 4 dias), de acordo com a equação 1. As variáveis foram tratadas pelo programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2010) submetidas à análise de variância e de médias comparadas por meio do teste Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. Os dados foram submetidos à análise de *clustering* (R Core Team, 2012), para a construção do dendograma da  $t_{clo}$  das aves, sendo que foi utilizado o método de Ward, que calcula a menor soma de quadrados dentro dos grupos (BIAGIOTTI et al., 2015).

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

em que,  $Y_{ijk}$  é a observação da repetição  $k$  da  $i$ -ésima temperatura, na  $j$ -ésima duração, com  $i, j=1, 2, 3, 4$  e  $k=1, 2, 3$ ;  $\mu$  é a constante associada a cada observação;  $\alpha_i$  é o efeito da  $i$ -ésima temperatura;  $\beta_j$  é o efeito da  $j$ -ésima duração;  $\alpha\beta_{ij}$  interação entre a temperatura de bulbo seco do ar e a duração;  $e_{ijk}$  erro associado a cada observação, sendo  $e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a verificação da  $t_{bs}$  e UR aos quais os frangos de corte foram submetidos, o ambiente térmico no interior dos túneis de vento climatizados foi monitorado durante o período experimental. Os valores médios e os desvios padrão observados durante a segunda semana de vida das aves são listados na Tabela 2.

As temperaturas de bulbo seco do ar observadas obtiveram baixos desvios padrões, ficando próximas das temperaturas desejadas (Tabela 2). Os maiores desvios padrão encontrados foram de 0,3 °C para a  $t_{bs}$  e de 1,7 % para a UR. Essas variações indicam a eficiência dos túneis de vento climatizados na manutenção do ambiente térmico desejado, corroborando com SCHIASSI et al. (2014).

TABELA 2. Valores de temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs,desejada}$ ) e umidade relativa ( $UR_{desejada}$ ) do ar desejadas, médias observadas ( $t_{bs,obs}$  e  $UR_{obs}$ ) e desvios padrão (entre parênteses) no interior dos túneis de vento climatizados.

Etapa	Variáveis Térmicas	Duração do Estresse			
		1 dia	2 dias	3 dias	4 dias
1	$t_{bs,desejada}$ (°C)	24,0			
	$t_{bs,obs}$ (°C)	24,3 (0,3)	24,3 (0,3)	24,3 (0,3)	24,3 (0,3)
	$UR_{obs}$ (%)	60,4 (0,7)	60,4 (0,8)	59,9 (1,0)	60,8 (0,6)
2	$t_{bs,desejada}$ (°C)	27,0			
	$t_{bs,obs}$ (°C)	27,2 (0,3)	27,2 (0,2)	27,1 (0,2)	27,2 (0,3)
	$UR_{obs}$ (%)	60,0 (1,6)	60,3 (1,0)	60,0 (0,9)	60,4 (0,9)
3	$t_{bs,desejada}$ (°C)	33,0			
	$t_{bs,obs}$ (°C)	33,0 (0,3)	33,0 (0,3)	33,0 (0,3)	33,0 (0,3)
	$UR_{obs}$ (%)	60,0 (1,7)	60,1 (1,3)	59,9 (1,4)	60,5 (1,3)
4	$t_{bs,desejada}$ (°C)	30,0			
	$t_{bs,obs}$ (°C)	30,2 (0,2)			
	$UR_{obs}$ (%)	60,3 (0,7)			

$t_{bs,desejada}$  = temperatura de bulbo seco do ar desejada;  $t_{bs,obs}$  = temperatura de bulbo seco do ar observada;  $UR_{obs}$  = umidade relativa do ar observada.

A interação entre a  $t_{bs}$  e a duração do estresse térmico para as médias das  $t_{clo}$  não foi significativa ( $p>0,05$ , teste F), porém, as diferentes  $t_{bs}$  e durações do estresse térmico apresentam diferença significativa ( $p<0,01$ , teste F), sendo o teste de médias listado na Tabela 3. A menor  $t_{clo}$  (40,5 °C) ocorreu quando as aves foram submetidas à  $t_{bs}$  de estresse térmico mais baixa (24 °C), sendo que, a  $t_{clo}$  observada está abaixo do limite inferior para o intervalo considerado como conforto, que varia de 41 a 42 °C (OLIVEIRA et al., 2006). Dessa forma, observa-se que a  $t_{bs}$  de

24 °C proporcionou diminuição significativa na  $t_{clo}$  das aves ( $p < 0,05$ , teste Scott-Knott), caracterizando assim, condição de estresse por frio (CASTILHO et al., 2015).

TABELA 3. Médias e desvios padrão (entre parênteses) da temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ) de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico durante a segunda semana de vida.

$t_{bs}$ (°C)	$t_{clo}$ (°C)	Duração do estresse (dias)	$t_{clo}$ (°C)
24	40,5 (0,33) a	1	41,0 (0,71) a
27	41,3 (0,39) b	2	41,3 (0,63) b
30	41,8 (0,08) c	3	41,4 (0,55) b
33	41,6 (0,36) c	4	41,5 (0,47) b

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $p < 0,05$ ).

Para a  $t_{bs}$  de 27 °C observa-se que a  $t_{clo}$  situa-se dentro da faixa de conforto, porém, ocorre uma diferença significativa ( $p < 0,05$ , teste Scott-Knott) em relação às outras temperaturas de estresse térmico. No tratamento controle ( $t_{bs} = 30^{\circ}\text{C}$ ) que caracteriza condição de conforto térmico (CONY & ZOCHE, 2004; SCHIASSI et al., 2015), observa-se que o valor da  $t_{clo}$  encontra-se dentro da faixa de conforto. Porém, quando as aves foram submetidas à  $t_{bs}$  de 33 °C, foi constatado que não ocorreu diferença significativa ( $p < 0,05$ , teste Scott-Knott) em relação ao tratamento controle. Isto ocorre devido ao fato de que as aves conseguiram dissipar o calor produzido pelo metabolismo para o meio (ABREU & ABREU 2011), bem como, por este valor de  $t_{bs}$  ainda não ser suficiente para proporcionar aumento significativo da  $t_{clo}$ .

Com relação à duração do estresse térmico, ocorreu diferença significativa ( $p < 0,05$ , teste Scott-Knott) entre o primeiro dia em relação aos demais (2º, 3º e 4º dia), que são estatisticamente iguais ( $p > 0,05$ , teste Scott-Knott). Evidencia-se, desta forma, a capacidade de aclimatação das aves, conforme reportado em diversos trabalhos (ALVES et al., 2010; BAÊTA & SOUZA, 2010; SILVA & VIEIRA, 2010; SCHIASSI et al., 2015).

Ao se aplicar a metodologia de análise de grupamento da  $t_{bs}$  em função da  $t_{clo}$ , observa-se que as classificações das  $t_{bs}$  associadas à escala de distância no dendograma (Figura 2), apresentaram resultados similares aos obtidos pela análise de variância e pelo teste de média de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

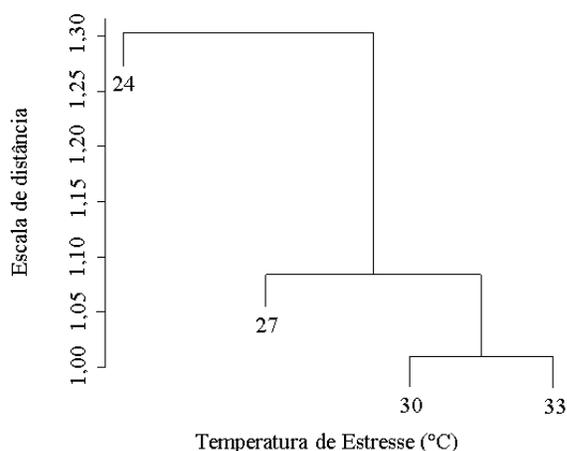


FIGURA 2. Análise em dendograma da temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ) em função da temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ) de frangos de cortes submetidos a diferentes intensidades de estresse na segunda semana de vida.

Por meio das imagens termográficas verificou-se que a  $t_{sup}$  média das aves reduziu e aumentou quando foram submetidas a baixas e altas temperaturas de estresse, respectivamente, corroborando, assim, com os resultados obtidos por diversos autores (DAHLKE et al., 2005; YAHAV et al., 2005; WELKER et al., 2008).

A interação entre a  $t_{bs}$  e a duração do estresse térmico para as médias das  $t_{sup}$  foi significativa ( $p < 0,05$ , teste F) (Tabela 4). Para um dia de duração do estresse, verifica-se que ocorreu diferença significativa ( $p < 0,05$ , teste de Scott-Knott) para todas as temperaturas utilizadas, sendo que a variação média da  $t_{sup}$  foi de 5,0 °C.

TABELA 4. Médias e desvios padrão das temperaturas superficiais ( $t_{sup}$ ) de frangos de corte submetidos a diferentes durações de estresse térmico durante a segunda semana de vida.

$t_{bs}$ (°C)	Duração do estresse térmico (dias)			
	1	2	3	4
<b>24</b>	30,0 (0,43) a A	31,6 (0,60) a B	31,6 (0,32) a B	30,7 (1,80) a A
<b>27</b>	32,0 (0,37) b A	31,0 (0,37) a A	31,2 (0,46) a A	31,4 (0,28) a A
<b>30</b>	34,2 (0,10) c A	33,6 (0,17) b A	33,2 (0,40) b A	33,6 (0,32) b A
<b>33</b>	35,0 (0,40) d A	34,1 (0,23) b B	34,0 (0,25) b B	33,6 (0,40) b B

Médias com letras diferentes (maiúsculas na linha e minúsculas na coluna) indicam diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Scott Knott.

Para as durações do estresse térmico de dois, três e quatro dias de duração não ocorreram diferença significativa ( $p > 0,05$ , teste de Scott-Knott) da  $t_{sup}$  entre as  $t_{bs}$  de 24 e 27 °C (estresse por baixas temperaturas) e também entre as  $t_{bs}$  de 30 °C (conforto) e 33 °C (estresse com temperatura alta). Entretanto, verificou-se diferença estatística ( $p < 0,05$ ,

teste de Scott-Knott) das  $t_{sup}$  entre os dois grupos de  $t_{bs}$  (24°C/27°C e 30°C/33°C).

Diante dos resultados obtidos, pode-se verificar que quando as aves foram expostas ao estresse térmico por baixa temperatura (27 °C), em relação à  $t_{bs}$  de conforto (30 °C), foi encontrada diferença significativa ( $p < 0,05$ , teste de Scott-Knott) para a  $t_{sup}$  nas quatro durações de estresse térmico. Segundo CASSUCE et al. (2013), a temperatura de 27 °C é confortável na segunda semana de vida para frangos de corte, porém o valor preconizados de conforto pela literatura para a segunda semana é de 30 °C (CONY & ZOCHE, 2004; SCHIASSI et al., 2015), e pode ser confirmado através das  $t_{clo}$  e  $t_{sup}$  observadas neste estudo. Porém, deve-se ressaltar que esta análise representa apenas a variação de dois parâmetros fisiológicos, sem considerar as respostas zootécnicas.

Equações para estimativa da de  $t_{clo}$  e  $t_{sup}$  foram ajustadas em função da  $t_{bs}$  (equações 2 e 3, respectivamente). As equações ajustadas foram significativas ( $p < 0,05$ , teste F) e apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram de 0,75 e 0,76, respectivamente. Os coeficientes ajustados para a equação 2 e 3 foram significativos ( $p < 0,01$ , teste t), sendo que, os erros padrões da constante  $b_0$  foram de 0,39 e 0,87 e para  $b_1$  de 0,13 e 0,03, respectivamente.

$$t_{clo} = 37,53 + 0,13 \cdot t_{bs} \quad (2)$$

$$t_{sup} = 22,30 + 0,36 \cdot t_{bs} \quad (3)$$

De acordo com as equações 2 e 3, para cada grau de variação na  $t_{bs}$  ocorre a modificação de  $0,13^{\circ}\text{C}$  e  $0,36^{\circ}\text{C}$  para a  $t_{clo}$  e  $t_{sup}$ , respectivamente. Segundo CARVALHO et al. (2004), a temperatura superficial de frangos de corte está sujeita a alteração mais rápida, pois ocorre a dissipação do fluxo sanguíneo por meio da convecção. Este comportamento pode ser verificado através das equações 2 e 3, no qual, para cada grau de variação, a  $t_{sup}$  varia 2,77 vezes mais que a  $t_{clo}$ .

Assim, quando submetidas ao estresse por baixas intensidades ( $24^{\circ}\text{C}$ ), ocorre a redução de  $0,78$  e  $2,16^{\circ}\text{C}$  para  $t_{clo}$  e  $t_{sup}$ , respectivamente, e quando o estresse ocorre com alta intensidade ( $33^{\circ}\text{C}$ ) o aumento é de  $0,39$  e  $1,08^{\circ}\text{C}$  para  $t_{clo}$  e  $t_{sup}$ , respectivamente, se comparadas com as temperaturas de conforto ( $30^{\circ}\text{C}$ ).

Diante da importância de análises estatísticas para formulação de equações de correlação entre  $t_{clo}$  em função da  $t_{sup}$  (NASCIMENTO, 2010), foi ajustada a equação 4, no qual o  $R^2$  foi de  $0,75$ .

$$t_{clo} = 37,93 + 0,32 \cdot t_{sup} \quad (4)$$

Por meio da equação 4 é possível determinar a  $t_{clo}$  de uma forma não invasiva, por meio do uso de sensores infravermelho para a mensuração da  $t_{sup}$ . Assim, torna-se possível estimar a  $t_{clo}$  com o mínimo de estresse para os frangos de corte, sendo que, na metodologia usual para a determinação da  $t_{clo}$  é necessário o contato direto do termômetro com a cloaca das aves, ocorrendo, assim, um fator de estresse. Desta forma, a

equação 4 pode ser usada em um algoritmo a ser embarcado em microcontroladores para auxílio à tomada de decisão referente ao acionamento de sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo.

## **CONCLUSÕES**

Com base nos valores de temperatura superficial ( $t_{sup}$ ) e temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ), verificou-se que a temperatura de conforto térmico para frangos de corte na segunda semana de vida é de 30 °C. A aclimação das aves ao estresse térmico ocorreu a partir do segundo dia de estresse. A maior variação da  $t_{clo}$  ocorreu quando as aves foram submetidas a baixas temperaturas de estresse, sendo que, a  $t_{sup}$  variou em função das intensidades de estresse aplicado. As equações de correlação desenvolvidas podem ser utilizadas para auxílio à tomada de decisão.

## **AGRADECIMENTOS**

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

## REFERÊNCIAS

- ABREU, V.M.N.; ABREU, P.G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.1-14, 2011. Disponível em: <<http://www.revista.sbz.org.br/artigo/visualizar.php?artigo=66253>>. Acesso em: 22 set. 2015.
- ALVES, A.G.C.; PIRES, D.A.F.; RIBEIRO, M.N. Conhecimento local e produção animal: Uma perspectiva baseada na Etnozootecnia. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.59, n.1, p.45-56, mar. 2010. Disponível em: <[http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/02\\_18\\_58\\_1588REVISIONConhecimentoAlves.pdf](http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/02_18_58_1588REVISIONConhecimentoAlves.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2015.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2010. 269 p.
- BARNABÉ, J.M.C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.; GUISELINI, C.; JACOB, A.L. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.5, p.481-488, maio 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n5/1415-4366-rbeaa-19-05-0481.pdf>>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p481-488>
- BIAGIOTTI, D.; SARMENTO, J. L. R.; REGO NETO, A. A.; SANTOS, N. P. S.; FIGUEIREDO FILHO, L. A. S.; SANTOS, G. V.; SENA, L. S. Diferenciação de populações ovinas encontradas no estado do Piauí.

**Archivos de Zootecnia**, v. 64, n. 245, p. 5-12, mar. 2015. Disponível em: <[http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/18\\_10\\_02\\_01\\_16\\_3206\\_4\\_17\\_bisCAMBIAR.pdf](http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/18_10_02_01_16_3206_4_17_bisCAMBIAR.pdf)>. Acesso em: 04 out. 2015.

BUENO, J.P.R.; NASCIMENTO, M.R.B.M.; CARVALHO, M.C.; SILVA, M.C.A.; SILVA, P.L.A.P.A. Características de termorregulação em frangos de corte, machos e fêmeas, criados em condições naturais de temperatura e umidade. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.19, p.437-447, 2014. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/Caracteristicas%20de%20termorregulacao.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

CANGAR, Ö.; AERTS, J.-M.; BUYSE, J.; BERCKMAND, D. Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers. **Poultry Science Association**, v.87, n.12 p.2493-2499, dez. 2008. Disponível em: <<http://ps.oxfordjournals.org/content/87/12/2493.full.pdf+html>>. doi: 10.3382/ps.2007-00326

CARVALHO, L.E; OLIVEIRA, S.M.P.; TURCO, S.H.N. Utilização da nebulização e ventilação forçada sobre o desempenho e a temperatura da pele de suínos em fase de terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.6, p.1486-1491, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v33n6/a15v33n6.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2015.

CASE, L.A.; WOOD, B.J.; MILLER, S.P. Investigation of body surface temperature measured with infrared imaging and its correlation with feed

efficiency in the turkey (Meleagrisgallopavo). **Journal of Thermal Biology**, v.37, n.5, p.397-401, ago. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456512000265>>.

doi: oi:10.1016/j.jtherbio.2012.02.007

CASSUCE, D.C.; TINÔCO, I.F.F.; BAÊTA, F.C.; ZOLNIER, S.; CECON, P.R.; VIEIRA, M.F.A Thermal comfort temperature update of broiler chickens up to 21 days of age. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.1, p.28-36, jan./fev. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v33n1/v33n1a04.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2015.

CASTILHO, V.A.R.; GARCIA, R.G.; LIMA, N.D.S.; NUNES, K.C.; CALDARA, F.R.; NÄÄS, I.A.; BARRETO, B.; JACOB, F.G. Bem-estar de galinhas poedeiras em diferentes densidades de alojamento. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.9, n.2, p.122-131, 2015.

Disponível em: <<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/258/229>>. doi: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2015v9n2>

COBB. Broiler Management Guide. Arkansas: Cobb-Vantress USA, 65p. 2008. Disponível em: <<http://67.43.0.82/docs/default-source/guides/cobb-broiler-management-guide---english.pdf?sfvrsn=8>>. Acesso em: 02 jan. 2015.

CONY, A.V.; ZOCHE, A.T. **Manejo de frangos de corte**. In: MENDES, A.; NÄÄS, I. de A.; MACARI, M. (Ed.). Produção de frangos de corte. Campinas: Facta, 2004. p.118-136.

COSTA, J.H.S.; SARAIVA, E.P.; SANTOS, L.D. Efeito do ambiente sobre indicadores fisiológicos na produção de frangos de corte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.7, n.4, p.54–58, jan./dez. 2012. Disponível em: <[http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1395/pdf\\_620](http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1395/pdf_620)>. Acesso em: 20 set. 2015.

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

DAHLKE, F.; GONZALES, E.; GADELHA, A. C.; MAIORKA, A.; BORGES, S.A.; ROSA, P.S.; FARIA FILHO, D.E.; FURLAN, R.L. Feathering, triiodothyronine and thyroxineplasma levels and body temperature of two broiler lines raised under different temperatures. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.664-670, maio/jun. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v35n3/a29v35n3.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2015.

FERREIRA, L.; YANAGI JUNIOR, T.; LACERDA, W.S.; RABELO, G.F. A fuzzy system for cloacal temperature prediction of broiler chickens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.1, p.166-171, jan. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v42n1/a1912cr4377.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

FERREIRA, V.M.O.S.; FRANCISCO, N.S.; BELLONI, M.; AGUIRRE, G.M.Z.; CALDARA, F.R.; NÄÄS, I.A.; GARCIA, R.G.; ALMEIDA PAZ, I.C.L.; POLYCARPO, G.V. Infrared thermography applied to the evaluation of metabolic heat loss of chicks fed with different energy

densities. **Brazilian Journal of Poultry Science** [Online], v.13, n.2, p.113-118, abr./jun. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbca/v13n2/a05v13n2.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

FERREIRA, D. F. Programa de análises estatísticas (*Statistical Analysis Software*) e planejamento de Experimentos-SISVAR 5.3. Universidade Federal de Lavras, 2010.

KOYAMA, N.T.G.; ROSA, A.P.; PADILHA, M.T.S.; BOEMO, L.S.; SCHER, A.; MELO, A.M.S.; FERNANDES, M.O. Desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte alimentados com mistura de aditivos fitogênicos na dieta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.3, p.225-231, mar. 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v49n3/0100-204X-pab-49-03-00225.pdf>>. doi: 10.1590/S0100-204X2014000300009

MATIAS, C.F.Q.; ROCHA, J.S.R.; POMPEU, M.A.; BAIÃO, R.C.; BAIÃO, N.C.; LARA, L.J.C.; CLÍMACO, W.L.S.; PEREIRA, L.F.P.; CALDAS, E.O.; TEIXEIRA, M.P.F.; CARDEAL, P.C. Efeito da protease sobre o coeficiente de metabolizabilidade dos nutrientes em frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.2, p.492-498, mar./abr. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v67n2/0102-0935-abmvz-67-02-00492.pdf>>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-7883>

MARCHINI, C.F.P.; SILVA, P.L.; NASCIMENTO, M.R.B.M.; TAVARES, M. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos

de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Archives of Veterinary Science**, v.12, n.1, p.41-46, 2007. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/veterinary/article/view/9227/6453>>.

doi: <http://dx.doi.org/10.5380/avs.v12i1>

MAYES, S.L.; STRAWFORD, M.L.; NOBLE, S.D.; CLASSEN, H.L.; CROWE, T.G. Cloacal and surface temperatures of tom turkeys exposed to different rearing temperature regimes during the first 12 weeks of growth. **Poultry Science Association**, v.94, n.6, p.1105–1114, jun. 2014.

Disponível em:

<<http://ps.oxfordjournals.org/content/94/6/1105.full.pdf+html>>. doi:

<http://dx.doi.org/10.3382/ps/peu058>

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. D. C.; OLIVEIRA, R. D.; TINÔCO, I. D. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. 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.<<http://www.ufv.br/dea/reveng/arquivos/vol13/v13n4p277-286.pdf>>. 23 Maio 2015.

MENDES, A.S.; PAIXÃO, S.J.; MAROSTEGA, J.; RESTELATTO, R.; OLIVEIRA, P.A.V.; POSSENTI, J.C. Mensuração de problemas locomotores e de lesões no coxim plantar em frangos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v.61, n.234, p.217-228. 2012. Disponível em: <<http://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v61n234/art6.pdf>>. doi:

<http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922012000200006>

NÄÄS, I.A.; GARCIA, R.G.; CALDARA, F.R. Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. **Journal of Animal Behavior and Biometeorology**, v.2, n.3, p.66-72, jul. 2014. Disponível em: <<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/jabb/article/view/3730/5477>>. doi: <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v2n3p66-72>

NÄÄS, I.A.; ROMANINI, C.E.B.; NEVES, D.P.; NASCIMENTO, G.R.; VERCELLINO, R.A. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.5, p.497-502, set./out. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v67n5/v67n5a01.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

NASCIMENTO, G.R.; NÄÄS, I.A.; BARACHO, M.S.; PEREIRA, D.F.; NEVES, D.P. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.6, p.658–663, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n6/v18n6a14.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

NASCIMENTO, S. T.; DA SILVA, I. J. O.; MAIA, A. S. C.; DE CASTRO, A. C.; VIEIRA, F. M. C. Mean surface temperature prediction models for broiler chickens a study of sensible heat flow. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 2, p. 195-201, jul. 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00484-013-0702-7>>. doi: 10.1007/s00484-013-0702-7

NASCIMENTO, G.R.; PEREIRA, D.F.; NÄÄS, I.A.; RODRIGUES, L.H.A. Índice fuzzy de conforto térmico para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.219-229, mar./abr. 2011a. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v31n2/a02v31n2.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

NASCIMENTO, G.R.; NÄÄS, I.A.; PEREIRA, D.F.; BARACHO, M.S.; GARCIA, R. Assessment of Broilers Surface Temperature Variation When Exposed to Different Air Temperature. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.13, n.4, p.259-263, out./dez. 2011b. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbca/v13n4/v13n4a07.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

NASCIMENTO, S. T. **Determinação do balanço de calor em frangos de corte por meio das temperaturas corporais**. 2010, 147p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELLE, J.L.; ABREU, M.L.T.; FERREIRA, R.A.; VAZ, R.G.M.V.; CELLA, P.S. 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**, v.35, n.3, p.797-803, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v35n3/30072.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2012.

ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. **Journal of Animal Behavior and Biometeorology**, v.2, n.3, p.73-84, jul. 2014.

Disponível em:

<<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/jabb/article/view/3763/5478>>. doi: <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v2n3p73-84>

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; REIS, G.M.; ABREU, L.H.P.; CAMPOS, A.T.; CASTRO, J.O. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.140-146, fev. 2015. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n2/1415-4366-rbeaa-19-02-0140.pdf>>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p140-146>

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, F.A.; SARAZ, J.A.O.; AMARAL, A.G. Thermal-Acoustic Comfort Index for Workers of Poultry Houses Using Fuzzy Modeling. **International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)**, v.4, n.9, p.60-64, set. 2014. Disponível em: <<http://www.ijera.com/pages/v4no9.html>>. Acesso em: 22 set. 2015.

SILVA, I.J.O.; VIEIRA, F.M.C. Ambiência animal e as perdas produtivas no manejo pré-abate: o caso da avicultura de corte brasileira. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.59, n.1, p.113-31, set. 2010. Disponível em: <[http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/08\\_11\\_34\\_1869REVISIONAmbienciamSilva.pdf](http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/08_11_34_1869REVISIONAmbienciamSilva.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2015.

SOUZA JUNIOR, J.B.F.; DOMINGOS, H.G.T.; TORQUATO, J.L.; SÁ FILHO, G.F.; COSTA, L.L.M. Avaliação termográfica de codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). **Journal of Animal Behavior and Biometeorology**, v.1, n.2, p.61-64, out. 2013. Disponível em: <<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/jabb/article/view/3563/5243>>. doi: <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265.v01n02a05>

WELKER, J.S.; ROSA, A.P.; MOURA, D.J.; MACHADO, L.P.; CATELAN, F.; UTPATEL, R. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.8, p.1463-1467, ago. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v37n8/v37n8a18.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2015.

YAHAV, S.; SHINDER, D.; TANNY, J.; COHEN, S. Sensible heat loss: the broiler's paradox. **World's Poultry Science Journal**, v.61, n.3, p.419-434, dez. 2005. Disponível em: <[http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FWPS%2FWPS61\\_03%2FS0043933905000309a.pdf&code=15e576795b21384c3395fd739ff44a29](http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FWPS%2FWPS61_03%2FS0043933905000309a.pdf&code=15e576795b21384c3395fd739ff44a29)>. doi: 10.1079/WPS200453

ARTIGO 3

**Modelo *fuzzy* para predição da temperatura cloacal de frangos de corte submetidos a estresse térmico**

**Artigo redigido conforme norma da Revista Engenharia Agrícola**

### **Modelo *fuzzy* para predição da temperatura cloacal de frangos de corte submetidos a estresse térmico**

**RESUMO:** Frangos de cortes submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico estão sujeitos à variação na temperatura cloacal e, conseqüentemente, à diminuição de desempenho. Diante da complexidade destas interações, a inteligência artificial constitui metodologia útil na tomada de decisão. Dessa forma, objetivou-se avaliar e prever, por meio de um modelo *fuzzy*, a temperatura cloacal de frangos de corte submetidos a estresse térmico na segunda semana de vida, com durações e intensidades variadas, em túneis de vento climatizados. Os métodos de inferência de Mandani e de defuzzificação por meio do centro de gravidade foram usados. Cento e vinte regras foram elaboradas. O modelo *fuzzy* desenvolvido foi utilizado para prever a temperatura cloacal de frangos de corte no dia do estresse térmico, em função da temperatura de bulbo seco do ar (°C), da duração do estresse (dias) e do número de dias após o estresse térmico. Os valores de temperatura cloacal simulados pelo modelo *fuzzy* apresentaram desvios padrão e erros percentuais menores que 0,02 e 0,08%, respectivamente, quando comparados aos obtidos experimentalmente.

**Palavras-chave:** resposta fisiológica, ambiente térmico, modelagem matemática, lógica *fuzzy*.

**Fuzzy model for prediction of cloacal temperature of broiler chickens subjected to thermal stress**

**ABSTRACT:** Broiler chickens submitted to different thermal stress intensities and durations are subject to cloacal temperature variation and, consequently, performance decrease. Given these interaction complexity, the artificial intelligence is a useful methodology for the decision making. In this way, the aim of this study was to evaluate and predict through a fuzzy model, the cloacal temperature of broiler chickens subjected to thermal stress on the second week of life, with a variety of durations and intensities into acclimatized wind tunnels. The Mamdani's fuzzy inference method and center of gravity defuzzification method were used to develop the fuzzy model. Hundred twenty rules were drawn up. The developed fuzzy model was used to predict the cloacal temperature of broiler chickens in the day they were subjected to thermal stress as a function of the air dry-bulb temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), the stress duration (days) and the number of days after the thermal stress. The cloacal temperature values simulated by the fuzzy model presented standard deviations and perceptual errors smaller than 0.02 and 0.08%, respectively, when compared to those obtained experimentally.

**Keywords:** physiological response, thermal environment, mathematical modeling, fuzzy logic

## 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.

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

Por serem animais homeotérmicos, os frangos de corte são capazes de manter a sua temperatura corporal, em um intervalo relativamente estreito, 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) e, se forem submetidas a condições de estresse térmico, o seu bem-estar poderá ser afetado, e conseqüentemente, o seu desempenho.

Assim, quando as condições ambientais não estão dentro do intervalo considerado adequado, que é caracterizado pela zona de termoneutralidade, o ambiente torna-se desconfortável. Para determinar a condição de conforto das aves, um importante parâmetro para avaliação é

a temperatura cloacal (FERREIRA et al., 2012). A variação da temperatura cloacal é uma resposta fisiológica às condições de temperatura e umidade relativa do ar que resulta do armazenamento ou dissipação do calor metabólico (SILVA et al., 2003).

Frangos de cortes submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico estão sujeitos à variação na temperatura cloacal, visando aumentar ou diminuir a dissipação de calor (ALTAN et al., 2003).

Diante do exposto, a predição da temperatura cloacal pode ser usada no auxílio à tomada de decisão, em granjas comerciais, para o acionamento de sistemas de climatização. Esta predição propicia o uso de uma das principais respostas fisiológicas relacionadas à avaliação do estresse térmico (SILVA & VIEIRA, 2010; COSTA et al., 2012) de forma indireta e não invasiva.

Dentre as diversas metodologias aplicadas, 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 (PANDORFI et al., 2012; CAMPOS et al., 2013; SCHIASSI et al., 2015).

Dessa forma, a estimativa da temperatura cloacal, 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 lógica *fuzzy* pode apresentar-se promissora (OWADA et al.,

2007).

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho, desenvolver um modelo matemático *fuzzy*, para prever a temperatura cloacal frangos de corte, submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, na segunda semana de vida.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para a realização da modelagem, conduziu-se um experimento com frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, durante a segunda semana de vida e, os dados obtidos no experimento foram usados para desenvolver o modelo capaz de prever a temperatura cloacal das aves.

### **Experimento**

A coleta de dados foi realizada em quatro túneis de vento climatizados, instalados em um laboratório equipado com dois sistemas de ar condicionado com potência de 5,275 kW (18.000 BTUs) cada, utilizados para a manutenção da temperatura no interior da sala experimental. Cada túnel climatizado possui gaiola com dimensões de 0,40 x 0,60 m, dividida em 3 repartições de dimensões idênticas e com áreas de 0,08 m<sup>2</sup> cada.

Foram utilizados 240 frangos de corte da linhagem *Cobb 500*<sup>®</sup> machos e fêmeas, com idade variando entre 1 e 21 dias, sendo que, as aves foram obtidas com 1 dia de vida de um mesmo incubatório comercial. Em cada etapa 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). A ração e a água estavam disponíveis *ad libitum*, e a higienização dos túneis de ventos e das gaiolas, foi realizada, diariamente, para evitar a formação de gases propiciando um ambiente adequado para o desempenho dos frangos de corte.

A temperatura cloacal foi mensurada diariamente utilizando um termômetro da marca instrutherm<sup>®</sup>, modelo TP-100, escala entre -50 °C a 450 °C e precisão de  $\pm 0,15$  °C. Antes de cada utilização era realizada a esterilização do termômetro e introduzido na cloaca das aves até obter um valor estável (SILVA et al., 2001).

O experimento foi realizado em quatro etapas, em 13 diferentes tratamentos e com três repetições para cada tratamento. Durante a

primeira e a 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 (ABREU et al., 2000; SCHIASSI et al., 2015). Em cada etapa 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 (CURTIS, 1983; ABREU et al., 2000), 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 do ar 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 (MEDEIROS et al., 2005). 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 de bulbo seco 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.

Et.	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

Et.= Etapa

### Modelagem

Os conjuntos *fuzzy* foram elaborados para caracterizar cada variável e uma função de pertinência foi determinada 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), a temperatura de bulbo seco do ar (°C) e os dias após o estresse térmico (dias). Assim, foram determinados os intervalos para cada variável de entrada, conforme as

curvas de pertinência triangulares (Figura 1), que melhor representam os dados de entrada, conforme utilizado por diversos autores (SANTOS et al., 2009; GANGA et al., 2011; PONCIANO et al., 2012; CAMPOS et al., 2013).

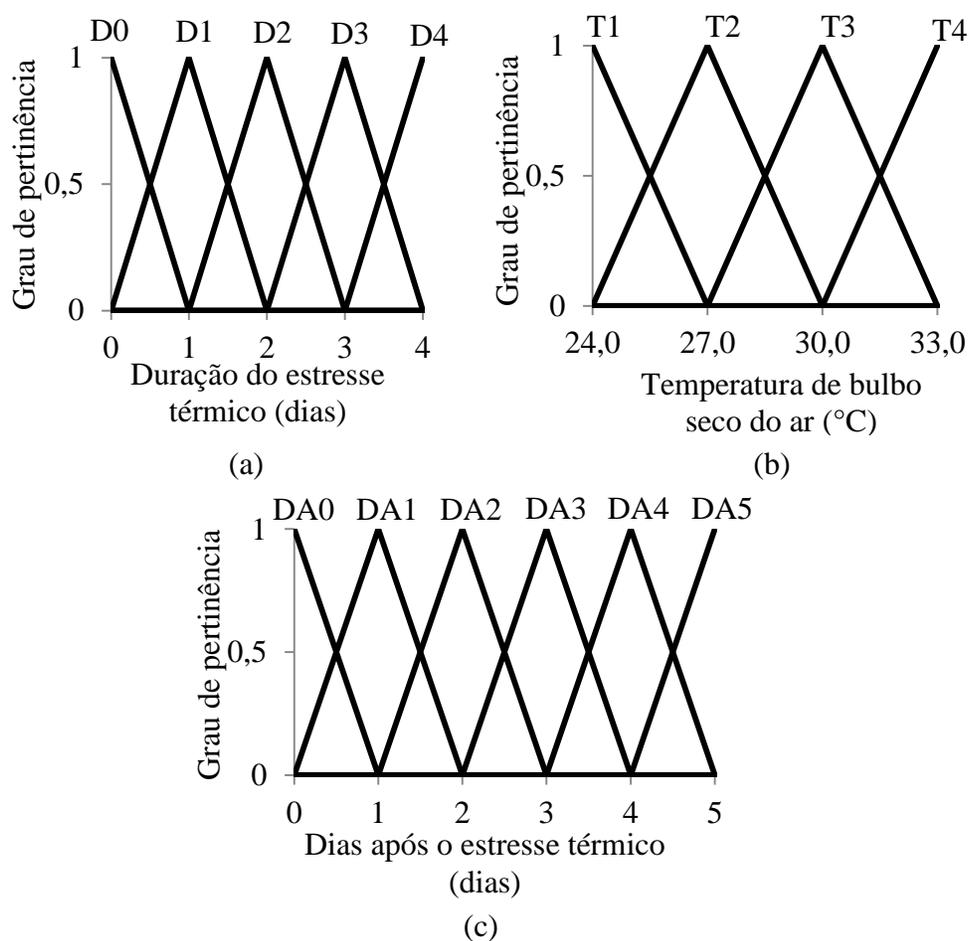


FIGURA 1. Funções de pertinência para as variáveis de entrada: a) duração do estresse térmico (dias), b) temperatura de bulbo seco do ar (°C) e c) dias após o estresse térmico (dias).

A temperatura cloacal ( $^{\circ}\text{C}$ ) foi definida como variável de saída do modelo. Essa variável foi analisada durante os dias de estresse térmico na segunda semana até cinco dias após o período de estresse térmico estabelecido.

Para a variável de saída, após teste preliminar de ajuste, as curvas de pertinência foram caracterizadas como triangulares (Figura 2), por reproduzirem melhores respostas com os valores de desvio-padrão menores, corroborando com o observado por diversos autores (PEREIRA et al., 2008; SANTOS et al., 2009; PONCIANO et al., 2012).

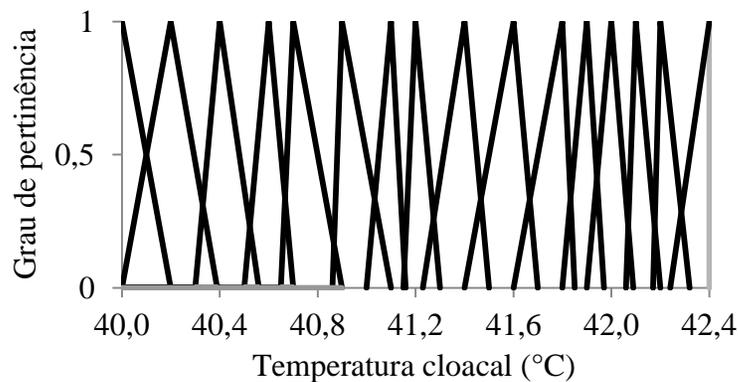


FIGURA 2. Funções de pertinência para a variável de saída temperatura cloacal ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Para realizar todo o raciocínio *fuzzy*, foi aplicado o método de inferência de Mamdani (MANDANI, 1976), 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 (PERISSINOTTO et al., 2009; LEITE et al., 2010; CASTRO et al., 2012).

As regras foram definidas por meio de sentenças linguísticas, com base nos dados coletados na primeira fase desse experimento e com auxílio de três especialistas. De acordo com SILVA & 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 et al., 2011).

Para a escolha do especialista foi utilizada a metodologia conforme empregado por YANAGI JUNIOR et al. (2012). Dessa forma, três especialistas auxiliaram na montagem das regras, sendo que, estes possuem experiência na área de ambiência animal e modelagem *fuzzy* por mais de dez anos.

De acordo com as combinações da duração do estresse térmico, temperatura de bulbo seco do ar e dias após o estresse térmico, foram definidas 120 regras e, para cada regra, foi atribuído um fator de ponderação igual a 1, conforme adotado por diversos autores (CREMASCO et al., 2010; PONCIANO et al., 2012; YANAGI JUNIOR et al., 2012; SCHIASSI et al., 2013).

### **Simulações**

A validação do modelo *fuzzy* desenvolvido foi realizada por meio dos dados de temperatura cloacal obtidas experimentalmente, sendo que os 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*<sup>®</sup> do Matlab<sup>®</sup>, *version 7,13,0,564 (R2011b)*, *software* onde toda a modelagem foi elaborada. Na avaliação do modelo proposto, a temperatura cloacal (°C) foi simulada e os resultados foram comparados com os dados adquiridos pelo experimento.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Aves submetidas a condições de desconforto térmico, nas primeiras semanas de vida podem ter o seu bem-estar 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).

ABREU et al. (2012) estudaram as medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens e verificaram que os frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada

apresentam aumento na temperatura cloacal. Observa-se, claramente, esse efeito nos dados experimentais, no qual as aves submetidas a estresse térmico (0 dia), conforme especificado na Tabela 2, em uma temperatura de 33 °C variando apenas a duração do estresse térmico, durante a segunda semana de vida, apresentaram valores de temperatura cloacal com duração de um dia (TC<sup>1</sup>), dois dias (TC<sup>2</sup>), três dias (TC<sup>3</sup>) e quatro dias (TC<sup>4</sup>), de 41,2 °C; 41,6 °C; 41,9 °C e 41,9 °C, respectivamente.

No tratamento controle, no qual as aves foram submetidas à temperatura de bulbo seco do ar de 30 °C durante a segunda semana, o valor médio da temperatura cloacal foi de 41,8 °C, confirmando a faixa entre 41,2 a 42,2 °C, considerada como de conforto para frangos de corte, conforme citado por TAO & XIN (2003). A mesma faixa de valores de temperatura cloacal foi encontrada por NAZARENO et al. (2009) para aves criadas em sistemas de piquete e confinadas. Desta forma, a temperatura de bulbo seco do ar de 30 °C pode ser confirmada como a de conforto para frangos de corte na segunda semana de vida, corroborando com os resultados obtidos por outros autores (MAY & LOT, 2000; MEDEIROS et al., 2005).

Os valores de temperatura cloacal simulados pelo modelo *fuzzy* em função da temperatura de estresse térmico, duração do estresse térmico e dias após o estresse térmico, na segunda semana de vida, foram comparados aos dados experimentais obtidos em túneis de vento climatizados (Tabela 2). Foram calculados os desvios-padrão médios de

0,01 °C; 0,01°C; 0,02 °C e 0,01 °C e os correspondentes erros percentuais de 0,05; 0,04; 0,08 e 0,04% para TC<sup>1</sup>; TC<sup>2</sup>; TC<sup>3</sup> e TC<sup>4</sup>, respectivamente.

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 a modelagem matemática *fuzzy*, os autores obtiveram valores médios de desvios-padrão para consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) 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%, respectivamente, demonstrando, assim, eficiência do modelo *fuzzy* proposto em simular parâmetros envolvendo a produção avícola.

Regressões lineares simples dos valores obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo *fuzzy* são ilustrados na Figura 3, nos quais os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) apresentados para TC<sup>1</sup>; TC<sup>2</sup>; TC<sup>3</sup> e TC<sup>4</sup> foram de 0,998, 0,992, 0,977 e 0,981, 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.

TABELA 2. Comparação dos valores de temperatura cloacal (°C) com duração de estresse para um dia (TC<sup>1</sup>), dois dias (TC<sup>2</sup>), três dias (TC<sup>3</sup>) e quatro dias (TC<sup>4</sup>), para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo.

Temperatura de estresse térmico (°C)	Dias após estresse	Dados Experimentais				Simulação <i>Fuzzy</i>				Desvio Padrão				Erro (%)			
		TC <sup>1</sup>	TC <sup>2</sup>	TC <sup>3</sup>	TC <sup>4</sup>	TC <sup>1</sup>	TC <sup>2</sup>	TC <sup>3</sup>	TC <sup>4</sup>	TC <sup>1</sup>	TC <sup>2</sup>	TC <sup>3</sup>	TC <sup>4</sup>	TC <sup>1</sup>	TC <sup>2</sup>	TC <sup>3</sup>	TC <sup>4</sup>
33	0	41,2	41,6	41,9	41,9	41,2	41,6	41,9	41,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	42,1	42,2	41,7	41,7	42,1	42,2	41,6	41,6	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,24	0,24
	2	42,2	41,8	42,3	42,2	42,2	41,8	42,4	42,2	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00
	3	41,4	42,1	42,3	42,0	41,4	42,1	42,4	42,0	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00
	4	42,0	42,0	41,7	41,8	42,0	42,0	41,6	41,8	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00
	5	41,7	41,9	41,8	41,9	41,6	41,9	41,8	41,9	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
27	0	40,9	41,2	41,6	41,6	41,0	41,2	41,6	41,6	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
	1	41,3	42,1	42,0	42,0	41,4	42,1	42,0	42,0	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
	2	41,8	42,3	42,1	42,1	41,8	42,4	42,1	42,1	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00
	3	42,2	40,9	42,2	41,1	42,2	41,0	42,2	41,1	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00
	4	42,0	42,2	41,5	41,8	42,0	42,2	41,6	41,8	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00
	5	42,1	41,8	41,8	41,8	42,1	41,8	41,8	41,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0	40,2	40,4	40,6	40,8	40,2	40,4	40,6	40,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	40,4	41,2	41,4	41,2	40,4	41,2	41,4	41,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2	41,2	42,0	41,8	41,6	41,2	42,0	41,8	41,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	41,6	40,9	42,1	41,6	41,6	41,0	42,1	41,6	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00
	4	41,7	41,8	41,5	41,3	41,6	41,8	41,6	41,4	0,05	0,00	0,05	0,05	0,24	0,00	0,24	0,24
	5	41,6	41,6	41,6	41,5	41,6	41,6	41,6	41,6	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,24
30	0	41,8				41,8				0,00				0,00			
		<b>Média</b>								<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,04</b>

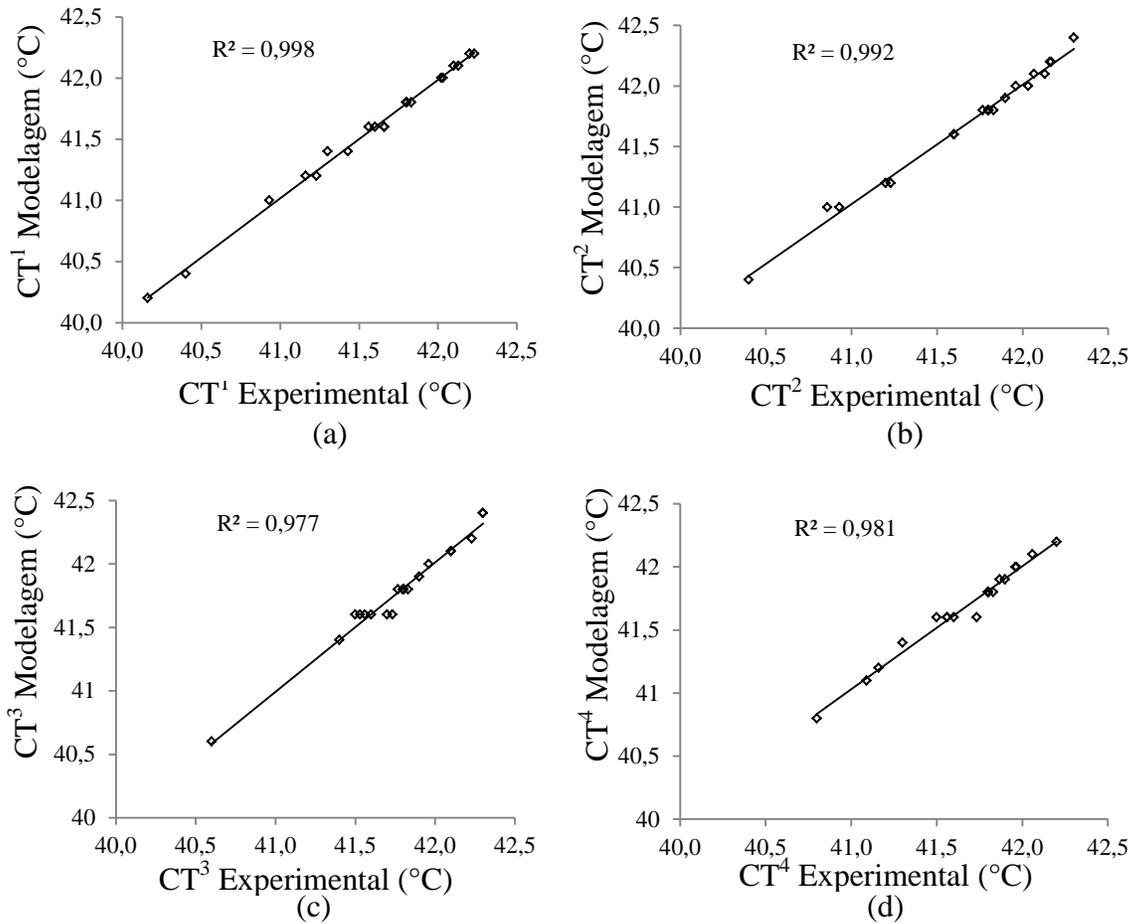


FIGURA 3. Regressões lineares das temperaturas cloacais obtidas experimentalmente e simuladas pelo modelo *fuzzy*, variando a duração do estresse térmico: a) um dia de estresse térmico ( $CT^1$ ); b) dois dias de estresse térmico ( $CT^2$ ); c) três dias de estresse térmico ( $CT^3$ ) e d) quatro dias de estresse térmico ( $CT^4$ ) na segunda semana de vida.

A superfície de resposta (Figura 4) ilustra o comportamento da temperatura cloacal em função da temperatura de bulbo seco do ar e da duração do estresse térmico, durante o período de estresse. A depressão na faixa de temperatura entre 29 a 24 (°C) indica a ocorrência de diminuição da temperatura cloacal, demonstrando assim que frangos de corte submetidos a estresse por frio diminuem a sua temperatura cloacal, bem como a intensidade da redução.

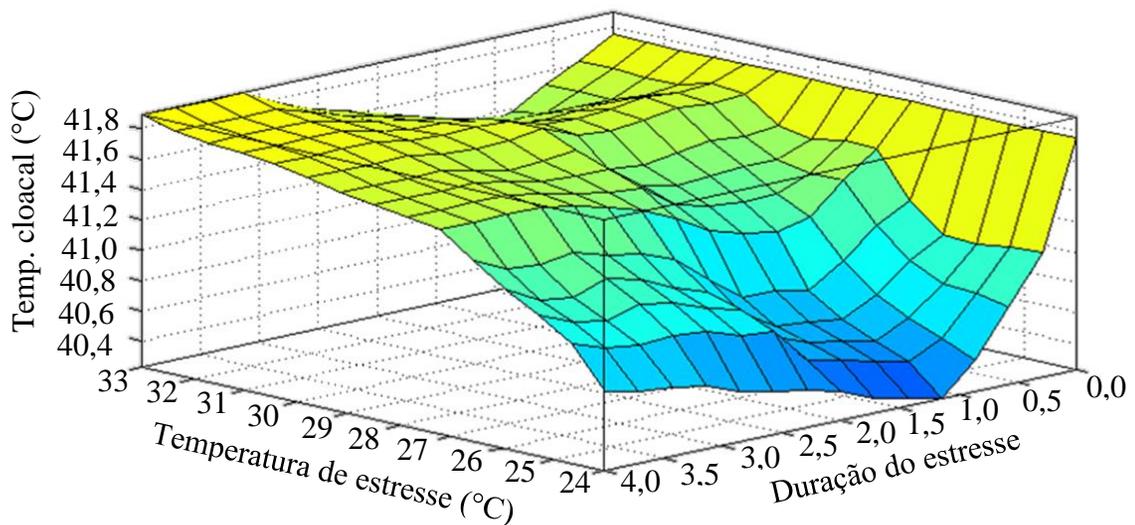


FIGURA 4. Temperatura cloacal (°C) simulada em função da temperatura de bulbo seco do ar (°C) e duração do estresse térmico (dias) para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade.

Verifica-se também que a duração de 1 dia pode ser considerada como referência em relação à adaptação das aves a condição de estresse térmico, pois a temperatura cloacal das aves reduziram a um valor

mínimo quando submetidas a determinada temperatura e a partir deste período, (1 dia) a temperatura cloacal aumentou, ou seja, apresentou menor redução em relação ao valor de referência em condições de conforto (41,8 °C). Este comportamento da temperatura cloacal deve-se ao fato das aves modificarem seu comportamento (aglomerando-se), além de possíveis ajustes fisiológicos (FURTADO et al., 2010).

## **CONCLUSÕES**

O modelo *fuzzy* desenvolvido para prever a temperatura cloacal dos frangos de corte na segunda semana de vida, quando submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico mostrou-se adequado para dar suporte à decisão, propiciando a obtenção de valores de desvios padrão e erros percentuais inferiores a 0,05 e 0,24%, respectivamente.

As simulações realizadas indicam que, a partir do segundo dia de estresse, as aves foram capazes de se adaptar às condições térmicas às quais foram submetidas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem CAPES, CNPq e a FAPEMIG pelo suporte financeiro ao projeto.

## REFERÊNCIAS

- ALTAN, O.; PABUÇCUOĞLU, A.; ALTAN, A.; KONYALIOĞLU, S.; BAYRAKTAR, H. Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. **British Poultry Science**, v.44, n.4, p.545-550, 2003.
- ABREU, P.G.; BAÊTA, 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. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982000000100022&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982000000100022&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 out. 2015.
- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.; COLDEBELLA, A.; HASSEMER, M.J.; TOMAZELLI, I.L. Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.7, p.795-801, 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: 14 out. 2015.
- CAMPOS, A.T.; CASTRO, J.D.O.; SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; PIRES, M.D.F.Á.; MATTIOLI, C.C. Prediction of free-stall occupancy rate in dairycattle barns through fuzzy sets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.6, p.1079-1089, dez. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162013000600001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162013000600001&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 out. 2015.

CASTRO, J.D.O.; VELOSO, A.V.; YANAGI JUNIOR, T.; FASSANI, E.J.; SCHIASSI, L.; CAMPOS, A.T. Estimate of the weight of japanese quail eggs through fuzzy sets theory. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.36, n.1, p.108-116, jan./fev. 2012. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542012000100014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542012000100014&lng=en&nrm=iso)>. doi:

<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542012000100014>

CHERRI, A.C.; ALEM JUNIOR, D. J.; SILVA, I.N. 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. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-74382011000100011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382011000100011&lng=en&nrm=iso)>. doi:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382011000100011>

Cobb-Vantress. **Broiler management guide**. Arkansas, 2008. 65 p.

COSTA, J.H.S.; SARAIVA, E.P.; SANTOS, L.D. Efeito do ambiente sobre indicadores fisiológicos na produção de frangos de corte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.7, n.4, p.54–58, jan./dez. 2012. Disponível em:

<[http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1395/pdf\\_620](http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1395/pdf_620)>. Acesso em: 20 set. 2015.

CREMASCO, C.P.; GABRIEL FILHO, L.R.A.; CATANEO, A.

Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores *Fuzzy* para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura.

**Engenharia na Agricultura**, v.25, n.1, p.21-39, 2010. Disponível em: <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/43/25>>. Acesso em: 14 out. 2015.

CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**.

Ames: The Iowa State University, 1983. 410 p.

FERREIRA, L.; YANAGI JUNIOR, T.; LACERDA, W.S.; RABELO, G.F. A fuzzy system for cloacal temperature prediction of broiler chickens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.1, p.166-171, jan. 2012.

Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782012000100027&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012000100027&lng=en&nrm=iso)>. doi:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000100027>

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.

FURTADO, D.A.; ROCHA, H.P.; NASCIMENTO, J.W.B.; SILVA, J.H.V. Índices de conforto térmico e concentração de gases em galpões avícolas no semiárido Paraibano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.993-1002. dez. 2010. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n6/a01v30n6.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

GANGA, G.M.D.; CARPINETTI, L.C.R.; POLITANO, P.R. A fuzzy logic approach to supply chain performance management. **Gestão & Produção**, v.18, n.4, p.755-774, 2011. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/gp/v18n4/a06v18n4.pdf>>. doi:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2011000400006>

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

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-17592010000200004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592010000200004&lng=en&nrm=iso)>. doi:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-17592010000200004>

MANDANI, E.H. Advances in the linguistic syntesis of fuzzy controllers. **International Journal of Man-Machine Studies**, v.8, n.6, p.669-678, 1976. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020737376800284#>>. doi: 10.1016/S0020-7373(76)80028-4

MARCHINI, C.F.P.; SILVA, P.L.; NASCIMENTO, M.R.B.M.; BELETTI, M.E.; GUIMARÃES, E.C.; SOARES, H.L. 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.

Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-09352009000200029&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352009000200029&lng=en&nrm=iso)>. doi:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352009000200029>

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**, v.79, n.5, p.669-671, maio, 2000. Disponível em:

<<http://ps.oxfordjournals.org/content/79/5/669.full.pdf+html>>. doi: 10.1093/ps/79.5.669

MEDEIROS, C.M.; BAÊTA, F.D.C.; OLIVEIRA, R.D.; TINÔCO, I.D.F.F.; ALBINO, L.F.T.; CECON, P.R. 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, out./dez. 2005.

Disponível em:

<<https://bioclimatologia.files.wordpress.com/2012/11/efeitos-da-temperatura-aves-de-corte.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

NAZARENO, A.C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.; GIONGO, P.R.; PEDROSA, E.M.R.; GUISELINI, C. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.6. 2009. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662009000600020&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662009000600020&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 out. 2015.

OWADA, A.N.; NÄÄS, I.D.A.; MOURA, D.D.; BARACHO, M.D.S.

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. Disponível

em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162007000400003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000400003&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 out. 2015.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n.2, p.558-568 abr./jun. 2012. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbspa/v13n2/a23v13n2.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2015.

PERISSINOTTO, M.M.; DANIELLA J.C., VASCO F.S.; SILVIA R.L.; LIMA, K.A.O.; MENDES, A.S. 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, ago. 2009. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782009000500029&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782009000500029&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 out. 2015.

PEREIRA, D.F.; BIGHI, C.A.; GABRIEL, L.R.A.; GABRIEL, C.P. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas.

**Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.624-634, out./dez. 2008.

Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162008000400002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162008000400002&script=sci_arttext)>. Acesso em: 14 out. 2015.

PONCIANO, P.F.; YANAGI JUNIOR, T.; SCHIASSI, L.; CAMPOS, A.T.; NASCIMENTO, J.D. 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. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162012000300004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162012000300004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 out. 2015.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 252 p.

SANTOS, R.C.; NÄÄS, I.A.; MOREIRA, F.R.; GOMES FILHO, R. Aplicação da lógica nebulosa na simulação de estro de vacas leiteiras. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.5, n.8, p.1-6, ago. 2009. Disponível em:

<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2009B/estro%20de%20vacas.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

SILVA, M.A.N.; HELLMEISTER FILHO, P.; ROSÁRIO, M.F.; COELHO, A.A.D.; SAVINO, V.J.M.; GARCIA, A.A.F.; SILVA, I.J.O.; MENTEN, J.F.M. Influência do sistema de criação sobre o desempenho, condição fisiológica e o comportamento de linhagens de frango de corte.

**Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.1, p.208-213, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982003000100026&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982003000100026&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 out. 2015.

SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O.; PIEDADE, S.M.S.; MARTINS, E.; COELHO, A.A.D.; SAVINO, V.J.M. Resistência ao Estresse Calórico em Frangos de Corte de Pescoço Pelado. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.3, n.1, jan. 2001. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2001000100002&lng=en&nrm=iso)

635X2001000100002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 out. 2015.

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. Disponível em:

<<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/71/77>>.

Acesso em: 14 out. 2015.

SILVA, I.J.O.; VIEIRA, F.M.C. Ambiência animal e as perdas produtivas no manejo pré-abate: o caso da avicultura de corte brasileira. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.59, n.1, p.113-31, set. 2010. Disponível em:

<[http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/08\\_11\\_34\\_1869REVISIONAmbienciamSilva.pdf](http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/08_11_34_1869REVISIONAmbienciamSilva.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2015.

SCHIASSI, L.; MELO, N.S.M.; TAVARES, G.F.; SOUZA, Í.P.;

ARAÚJO, H.B.; DELLA GIUSTINA, C. Modelagem Fuzzy Em

Parâmetros De Bem-Estar Humano. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 8-12, 2013.

Disponível em:

<<http://periodicoscientificos.ufmt.br/index.php/nativa/article/view/1329/pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; REIS, G.M.; ABREU, L.H.P.;

CAMPOS, A.T.; CASTRO, J.O. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.140-146, fev. 2015. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n2/1415-4366-rbeaa-19-02->

0140.pdf>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p140-146>

TAO, X.; XIN, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. **Transactions of the ASAE**, v.46, n.2, p.491-497, 2003. Disponível em:

<[http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1144&context=abe\\_eng\\_pubs](http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1144&context=abe_eng_pubs)>. Acesso em: 14 out. 2015.

YANAGI JÚNIOR, T.; SCHIASSI, L.; ABREU, L.H.P.; BARBOSA, J.A.; CAMPOS, A.T. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.432-434, 2012. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162012000300002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162012000300002&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 out. 2015.

ARTIGO 4

**Redes neurais artificiais para predição de variáveis fisiológicas e produtivas  
de pintinhos**

**Artigo redigido conforme norma da Revista Engenharia Agrícola**

## REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA PREDIÇÃO DE VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E PRODUTIVAS DE PINTINHOS

**RESUMO:** Devido à quantidade de fatores que envolvem o ambiente térmico de uma instalação de frangos de corte e a sua interação com as respostas fisiológicas e produtivas das aves, a inteligência artificial mostra-se como metodologia interessante para auxiliar na tomada de decisões. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho desenvolver uma rede neural artificial (RNA) para prever a conversão alimentar (CA), o consumo de água ( $C_{\text{água}}$ ) e a temperatura cloacal ( $t_{\text{clo}}$ ) de frangos de corte submetidos a diferentes temperaturas de bulbo seco do ar (24, 27, 30 e 33 ° C) e durações (1, 2, 3 e 4 dias) de estresse térmico na segunda semana de vida. A umidade relativa e a velocidade do ar foram fixadas em 60% e 0,2 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. Após a coleta dos dados, uma RNA foi desenvolvida com treinamento supervisionado por meio do algoritmo Levenberg-Marquardt *backpropagation*. A RNA foi composta por três camadas de entrada, uma oculta e três camadas de saída com funções de transferência tangente sigmoideal com valores entre -1 e 1. Observou-se, a partir das simulações, que o modelo desenvolvido possui adequada capacidade preditiva, sendo os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para a  $t_{\text{clo}}$ , CA e  $C_{\text{água}}$  de 0,79, 0,87 e 0,97, respectivamente. Estes resultados demonstram que a RNA proposta pode ser usada como suporte à tomada de decisão em sistemas de controle do ambiente térmico para granjas de frangos de corte.

**Palavras-chave:** Inteligência artificial, avicultura, estresse térmico

## **ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PREDICTION OF PHYSIOLOGICAL AND PRODUCTION VARIABLES OF CHICKS**

**ABSTRACT:** Due to the amount of factors that involves the thermal environment of a broiler facility and its interaction with the physiological and productive responses of birds the artificial intelligence shows up as interesting methodology to assist in decision making. Thus, the aim of this research was to develop an artificial neural network (ANN) to predict the feed conversion (FC), water consumption ( $C_{\text{water}}$ ) and cloacal temperature ( $t_{\text{clo}}$ ) of broilers submitted to different dry bulb temperature of air (24, 27, 30 and 33 °C) and durations (1, 2, 3 and 4 days) of thermal stress in the second week of life. The relative humidity and air velocity were set at 60% and  $0.2 \text{ m s}^{-1}$ , respectively. After collecting the data, an ANN was developed with supervised training through Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm. The ANN was composed of three input layers, a hidden layer and three output layers with tangent sigmoid transfer function with values between -1 and 1. It was observed from the simulations, the developed model has adequate predictive capacity, and the coefficients of determination ( $R^2$ ) for  $C_{\text{water}}$ , FC and  $t_{\text{clo}}$  are 0.79, 0.87 and 0.97, respectively. These results demonstrate that the proposed ANN can be used to support the decision making on thermal environment control systems for broiler farms.

**Keywords:** Artificial intelligence, poultry, thermal stress

## INTRODUÇÃO

No atual cenário da avicultura, modificações das técnicas de manejo mostram-se necessárias. Desta forma, o uso de sistemas inteligentes para a tomada de decisão, a fim de se obter índices de máximo desempenho e competitividade de mercado são necessários (PANDORFI et al., 2012), além de amenizar os efeitos prejudiciais de um ambiente térmico não adequado às necessidades das aves (NASCIMENTO et al., 2014), ou mesmo, eliminá-los. Assim, o controle das variáveis ambientais torna-se importante para o processo de criação de frangos de corte (OLIVEIRA et al., 2006).

A avaliação do conforto térmico das aves pode ser mensurada mediante a temperatura cloacal, que é alterada quando a ave é submetida a estresse térmico (YANAGI JUNIOR et al., 2012). Por sua vez, o desconforto influencia o consumo de água (BROSSI et al., 2009; LOPES et al., 2015), o consumo de ração e o ganho de peso, afetando a conversão alimentar (BOIAGO et al., 2013).

Verifica-se, portanto, a importância de se monitorar o estresse térmico de frangos de corte e a influência nos parâmetros comportamentais, respostas fisiológicas e desempenho. Assim, por meio das informações geradas por sistemas inteligentes, o produtor poderá controlar mais adequadamente o seu empreendimento (PANDORFI et al., 2012).

Entre esses sistemas encontram-se as Redes Neurais Artificiais (RNA), que consistem em modelos computacionais, formados por unidades de processamento simples baseados na estrutura do cérebro humano, chamadas assim de neurônios artificiais (BINOTI et al., 2013). Essas unidades permitem ao sistema simular comportamentos, tais como aprendizagem, capacidade de associação, generalização e abstração, que se formam apoiados na lógica de parâmetros (FERREIRA et al., 2011).

A aplicabilidade das RNA está associada a situações em que as informações de entrada e saída estão interligadas por uma relação não linear de variáveis dependentes e independentes. Assim, as RNA podem ser usadas para prever e representar parâmetros não quantificados a partir de dados avaliados por padrões de comportamento, permitindo assim o

desenvolvimento de técnicas para a solução de problemas complexos (PANDORFI et al., 2011; MARTIN et al., 2012).

Neste sentido, a modelagem matemática por meio das RNA constitui-se em metodologia importante para análise de sistemas complexos, como a predição do conforto térmico de frangos de corte. As RNA proporcionam a predição de diferentes respostas que quantificam o conforto animal, como as respostas produtivas e fisiológicas em uma mesma rede.

Com base no exposto, objetivou-se com o presente trabalho, desenvolver uma RNA para predizer a temperatura cloacal, o consumo de água e a conversão alimentar de frangos de corte, submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico, durante a segunda semana de vida.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Ambiência Animal no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Todos

os procedimentos realizados durante este experimento foram aprovados pela Comitê de Ética para Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Lavras – (UFLA), Minas Gerias, protocolo N° 008/12.

Foram utilizados quatro túneis de vento climatizados (0,8 x 5,0 m), que foram construídos em chapas de aço e tubos de PVC, sendo cada túnel, equipado por dois aquecedores elétricos e dois umidificadores, com funcionamento em dois estágios de acionamento.

A ventilação no interior de cada túnel foi realizada por meio de um exaustor, com 40 cm de diâmetro, e a velocidade ajustada por meio de potenciômetro. No interior dos túneis foram alocadas gaiolas de 0,24 m<sup>2</sup> (0,40 x 0,60 m), as quais, foram divididas em três partes iguais e equipadas com comedouros e bebedouros independentes em cada repartição, caracterizando assim três repetições. Para condicionar a temperatura no interior da sala, foram utilizados dois sistemas de ar condicionado com 18.000 BTUs de potência cada.

O controle do ambiente térmico dentro dos túneis de vento climatizados foi realizado por meio da composição de um *datalogger* (CR1000, *Campbell Scientific*), por um controlador de relés (SDM-

CD16AC, *Campbell Scientific*), um multiplexador de canais (AM16/32B, *Campbell Scientific*), e sensores de temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ) e umidade relativa do ar (UR) (HMP45c, Vaisala, acurácia de  $\pm 0,3$  °C para  $t_{bs}$  e  $\pm 2$  % para UR).

Utilizou-se durante todo o período experimental duzentos e quarenta pintinhos da linhagem *COBB 500*<sup>®</sup> machos e fêmeas, oriundos de um mesmo incubatório, onde foram vacinados contra as doenças de Marek, Gumboro e Bouda Aviária. As aves chegaram ao experimento logo após o nascimento e permaneceram até completarem vinte e dois dias de vida. Durante esse período, foi fornecido às aves água e ração *ad libitum* de forma a atender as suas exigências nutricionais segundo ROSTAGNO et al. (2011). A ração utilizada foi a mesma para todos os pintinhos durante todo o período experimental não havendo variação de sua formulação.

Sessenta aves foram avaliadas em cada etapa. Em cada repartição da gaiola foram alocadas cinco aves, caracterizando quinze aves por túnel de vento climatizado na primeira semana de vida. Para manter a densidade ideal de conforto, na segunda e terceira semana de vida, foram

mantidas, em cada repetição, quatro e três aves, respectivamente, conforme o manual *Cobb* (2008). A higienização do ambiente de criação foi realizada diariamente para evitar a formação de gases e propiciar ambiente agradável para o desenvolvimento dos frangos de corte.

O experimento foi realizado durante vinte e um dias, no qual, as aves foram submetidas ao estresse térmico somente na segunda semana de vida, a partir do 8º dia de vida. Durante a primeira e terceira semana de vida, as temperaturas foram mantidas na zona de termoneutralidade, cujas temperaturas de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ) são de 33°C e 27°C, respectivamente (CONY & ZOCCHÉ, 2004). Na segunda semana, a diferença entre os tratamentos foi estabelecida entre a intensidade e duração do estresse térmico, sendo que, a intensidade do estresse foi de 24, 27 e 33°C para cada etapa, além da  $t_{bs}$  de 30°C, considerada como de conforto para a segunda semana de vida (CONY & ZOCCHÉ, 2004).

O estresse térmico foi aplicado em quatro níveis de duração (1, 2, 3 e 4 dias) nos quatro primeiros dias que compõem a segunda semana (8º, 9º, 10º e 11º dias de vida), logo após esse período as temperaturas retornaram a zona de conforto térmico (30°C). A etapa experimental

submetida à temperatura de 30°C é considerado como controle (conforto), e os demais, foram mantidos a fim de proporcionar estresse térmico tanto por baixas (24 e 27°C) quanto alta (33°C) temperatura (CURTIS, 1983; CONY & ZOCCHÉ, 2004).

A luminosidade foi fixada dentro de cada túnel com o auxílio de um *dimmer* analógico e mensurada utilizando de um luxímetro (LDR-380, precisão de  $\pm 3\%$ ). O valor estabelecido foi de 25, 10 e 5 lux, para a primeira, segunda e terceira semana, respectivamente (COBB, 2008). Por sua vez, a umidade relativa do ar (UR) foi fixada em 60% e a velocidade do ar (V) a  $0,2 \pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$ , com recirculação parcial do ar.

Após a realização do experimento foi gerado um banco de dados contendo as informações principais de  $t_{bs}$ , duração do estresse (DE), Dias após o estresse ( $D_{AE}$ ), temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ), conversão alimentar (CA), e consumo de água ( $C_{\text{água}}$ ).

O conjunto de dados foi formado por 3 variáveis de entrada:  $t_{bs}$  (24, 27, 30 e 33 ° C), DE (1, 2, 3, 4 dias) e  $D_{AE}$  (0, 1, 2, 3, 4 e 5 dias). Como variável de saída utilizou-se a  $t_{clo}$  (°C), a CA ( $\text{g g}^{-1}$ ) e  $C_{\text{água}}$  (ml/dia).

Para treinar, validar e testar os modelos baseados em RNA foi usado o conjunto de dados baseado em 360 pares de dados, sendo que, 70% (252 dados) dos dados foram usados para treinamento, 15% (54 dados) para validação e 15% (54 dados) para a realização dos testes. Estas percentagens dos subconjuntos foram escolhidas, pois são as mais comuns para a modelagem matemática de sistemas (BROWN-BRANDL et al., 2005; HERNÁNDEZ-JULIO et al., 2014). Desenvolveram-se 61 modelos baseados em RNA com 10 repetições cada, para prever a  $t_{clo}$ , CA e  $C_{\text{água}}$ , e selecionou-se a arquitetura que apresentou o maior coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e o menor erro quadrado médio (EQM).

De acordo com KIRAN & RAJPUT (2011), a camada formação é transmitida para o modelo de RNA com o auxílio de um conjunto conhecido como padrões de dados, fazendo com que a rede continuamente "aprenda", adaptando seus pesos e desvios por meio de uma função de ativação chamada A. Dessa forma, a rede calcula a saída de acordo com a equação 1.

$$A(m) = A \left[ \sum_{k=1}^n w_k x_k + \beta \right] \quad (1)$$

em que,  $A$  é a função de ativação;  $n$  é o número de neurônios na camada posterior;  $W_k$  é a ponderação das respectivas ligações (peso sináptico);  $X_k$  representa a entrada de variáveis em um neurônio  $k$ ; e  $\beta$  é o *bias* (polarização ou sesgo) para o neurônio (FERRAZ et al., 2014).

Estas funções de ativação podem ser dos tipos sigmóides, tangentes-sigmóides, lineares ou outros. Assim, a rede é formada até que o erro seja reduzido o suficiente para fornecer uma saída precisa para o conjunto de dados de entrada. Os parâmetros do modelo incluem o número de camadas ocultas, as funções de transferência em cada camada escondida, o número de neurônios na camada escondida, a taxa de aprendizagem, a taxa de momento e os pesos dos neurônios.

Para desenvolver os modelos baseados em RNA foi utilizado o *software* Matlab<sup>®</sup>, *version* 7,13,0,564 (R2011b), com a aplicação da ferramenta de ajuste neural (MATHWORKS, 2013). Estes modelos foram treinados utilizando 70% dos dados experimentais divididos aleatoriamente, com diferentes números de neurônios ocultos (de 1 a 20,

contando de 1 em 1 , de 25 a 200, contando de 5 em 5 e de 210 a 300 contando de 10 em 10) para o teste.

No presente estudo, a arquitetura testada que apresentou o melhor desempenho para predição da  $t_{clo}$ , CA, e  $C_{\text{água}}$  foi a rede de multicamadas (*Multi-Layer perceptron*, MLP), que têm sido amplamente utilizada para o desenvolvimento de RNA (NAZÁRIO et al., 2009; SAVEGNAGO et al., 2010; KAEWTAPEE et al., 2011).

Duas camadas *feedforward* e treinamento supervisionado foram empregados com o algoritmo de treinamento Levenberg-Marquardt *backpropagation*, que é considerado o método mais rápido para a formação das redes (BARBOSA et al., 2005). O EQM foi utilizado para a função de desempenho do modelo, no qual, para a saída do neurônio selecionou-se a função de ativação tangente sigmoidal (FERRAZ et al., 2014).

Os parâmetros de rede iniciais foram configurados como segue: camada oculta (1, valor padrão), o número de épocas (1000), a tolerância de erro ( $<0,099$ ), taxa de aprendizagem (0,7), e taxa de momento ( $1 \times 10^{-3}$ ) (HERNÁNDEZ-JULIO et al., 2014). Estes valores, assim como os pesos

dos neurônios são utilizados como configuração padrão pelo *software* para o treinamento da rede. O *software* otimizou estes valores automaticamente. Este modelo foi desenvolvido para permitir que o usuário pudesse treinar e testar a RNA de forma independente. Por sua vez, para a análise de significância dos coeficientes da RNA utilizou-se os testes F e t ( $p < 0,05$ ).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para as variáveis  $t_{clo}$ , CA e  $C_{\text{água}}$  a arquitetura com o melhor desempenho foi escolhida utilizando o critério do menor erro quadrático médio de predição, sendo que, estes erros foram de 59,16; 102,27 e 67,23, no processo de treinamento, validação e teste, respectivamente. As variáveis escolhidas contribuíram com o aprendizado da rede, aumentando a acurácia no reconhecimento de padrões (PANDORFI et al., 2011).

A retropropagação dos erros na RNA utilizando o algoritmo Levenberg-Marquardt *backpropagation* (HERNÁNDEZ-JULIO et al., 2014) está ilustrada na Figura 1, no qual o sistema efetuou alterações nos pesos sinápticos até atingir o menor erro. O modelo com o menor erro foi obtido com a camada oculta constituída por 50 neurônios com o menor EQM na décima época (Figura 1). A camada de saída foi composta por três neurônios, ou seja,  $t_{clo}$ , CA e  $C_{água}$ .

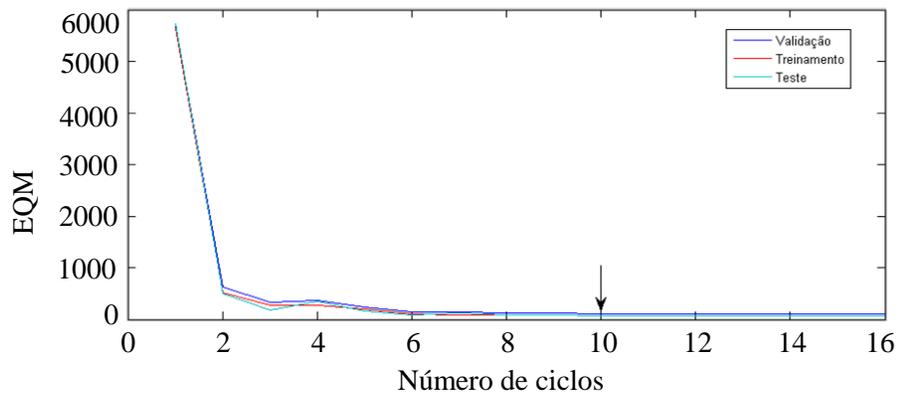


FIGURA 1. Curva de treinamento da RNA para a renovação dos pesos sinápticos.

A eficiência do modelo apresentado neste estudo corrobora com os estudos realizados por KLASSEN et al. (2009), que utilizaram a RNA para modelar o processo de resfriamento de carcaças de frango em

tanques de imersão, no qual, as redes neurais mostraram-se adequadas para a modelagem do sistema pesquisado.

Neste trabalho, a simulação do modelo foi realizada em função da combinação das variáveis de entrada  $t_{bs}$ , DE e  $D_{AE}$ , para prever a  $t_{clo}$ , CA e  $C_{\text{água}}$ . Os valores simulados foram comparados com os dados experimentais obtidos nos túneis de vento climatizados, sendo determinadas as médias, as medianas, os valores mínimos e máximos para o desvio médio, desvio padrão e erro percentual (Tabela 1).

A RNA treinada neste trabalho para predição da  $t_{clo}$  apresentou desvio médio de  $0,13^{\circ}\text{C}$  (Tabela 1), ou seja, próximo do valor obtido por Ferreira et al. (2010). Neste trabalho, os autores desenvolveram um modelo neuro-*fuzzy* para prever a  $t_{clo}$  de frangos de corte em função da UR,  $t_{bs}$  e V, sendo que, os resultados comparados entre a rede neuro-*fuzzy* e medidos experimentalmente obtiveram um desvio médio de  $0,11^{\circ}\text{C}$ .

Neste trabalho o erro percentual encontrado entre os valores simulados e observados de CA foi de 4,85%. Por sua vez, SCHIASSI et al. (2015) obtiveram erro percentual médio de 1,94% para CA. Destaca-se que, enquanto neste trabalho os dados foram avaliados diariamente, no

trabalho desenvolvido por SCHIASSI et al. (2015) as análises foram semanais, que se caracterizam pela menor variação que resultam em menores valores de erro.

TABELA 1. Estatística descritiva comparando os valores obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo para a temperatura cloacal, conversão alimentar e consumo de água de frangos de corte.

Índices	Temperatura cloacal				Conversão alimentar				Consumo de água			
	Mín.	Med.	Medi.	Máx.	Mín.	Med.	Medi.	Máx.	Mín.	Med.	Medi.	Máx.
<b>Desvio médio</b>	0,00	0,13	0,07	0,81	0,00	0,07	0,05	0,34	0,00	2,24	1,20	11,52
<b>Desvio Padrão</b>	0,00	0,09	0,05	0,57	0,00	0,05	0,04	0,24	0,00	1,59	0,85	8,14
<b>Erro (%)</b>	0,00	0,30	0,18	1,95	0,10	4,85	3,43	21,7	0,00	2,05	1,10	9,98

Mín.= Mínimo; Med.= Media; Medi.= Mediana; Máx.= Máximo.

Ao utilizar a RNA para predizer a massa corporal de frangos de corte, FERRAZ et al. (2014) encontraram os valores médios para o desvio absoluto, desvio padrão e erro percentual de 3,3; 2,3 e 1,2%, respectivamente. Para a RNA desenvolvida, considerando as mesmas análises estatísticas, verifica-se que os valores modificam conforme a variável de saída, porém, os valores médios foram encontrados próximos dos encontrados pelos autores citados.

VIEIRA et al. (2011) desenvolveram uma RNA para prever as perdas pré-abate através da mortalidade de frangos de corte, e os resultados não foram satisfatórios. Os autores argumentaram que a acurácia foi baixa devido à ausência de informações para realizar a aprendizagem da rede. Observa-se na Tabela 2, que os EQM<sub>s</sub> possuem variação entre os neurônios de saída, no qual, essa reflete o real comportamento da variável ( $t_{clo}$ , CA e  $C_{água}$ ) ao invés da ausência de informações. Além disso, ao fazer o modelo de regressão linear para conferir a acurácia do modelo da rede neural desenvolvida com os valores observados, pode-se observar que os valores de declive mais próximo de 1 indicam uma melhor precisão no modelo (TEDESCHI, 2006).

Os valores (Tabela 2) do erro padrão e erro quadrático médio associados ao  $C_{água}$  são de 3,29 e 3,40%, respectivamente. Estes valores, apesar de maiores que os das demais variáveis estudadas, são influenciados pela oscilação no consumo diário que sofre influência de fatores, como idade, elevação da temperatura ambiente e consumo de ração (GAMA et al., 2008). Ademais, desperdícios eventuais foram difíceis de serem quantificados.

TABELA 2. Erro padrão, raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), coeficiente de regressão e intercepto para os valores de temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ), conversão alimentar (CA) e consumo de água ( $C_{\text{água}}$ ) obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo.

Variável	Erro padrão	RMSE	Coefficientes de regressão
Temperatura cloacal	0,17	0,19	$0,8431 \pm 0,0379^{(1)}$
Conversão alimentar	0,09	0,10	$0,8683 \pm 0,0517^{(1)}$
Consumo de água	3,29	3,40	$0,9648 \pm 0,0176^{(1)}$

<sup>(1)</sup> Os coeficientes são significativos pelo teste t, ( $p < 0,05$ ). Todas as regressões foram significativas pelo teste F ( $p < 0,05$ );

Regressões lineares simples dos valores obtidos experimentalmente e simuladas pelo modelo RNA são ilustrados na Figura 2, nos quais os valores de  $R^2$  para  $t_{clo}$ , CA e  $C_{\text{água}}$  foram de 0,87; 0,79 e 0,97, respectivamente. AZEVEDO et al. (2005) usaram modelagem para prever as variáveis fisiológicas temperatura retal, frequência respiratória e temperatura superficial para vacas leiteiras e obtiveram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,43, 0,62, e 0,31, respectivamente.

MEDEIROS et al. (2001) desenvolveram um modelo matemático para prever a CA e encontraram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,72, sendo que, para a mesma variável em estudo, o  $R^2$  para o modelo ajustado neste trabalho foi de 0,79.

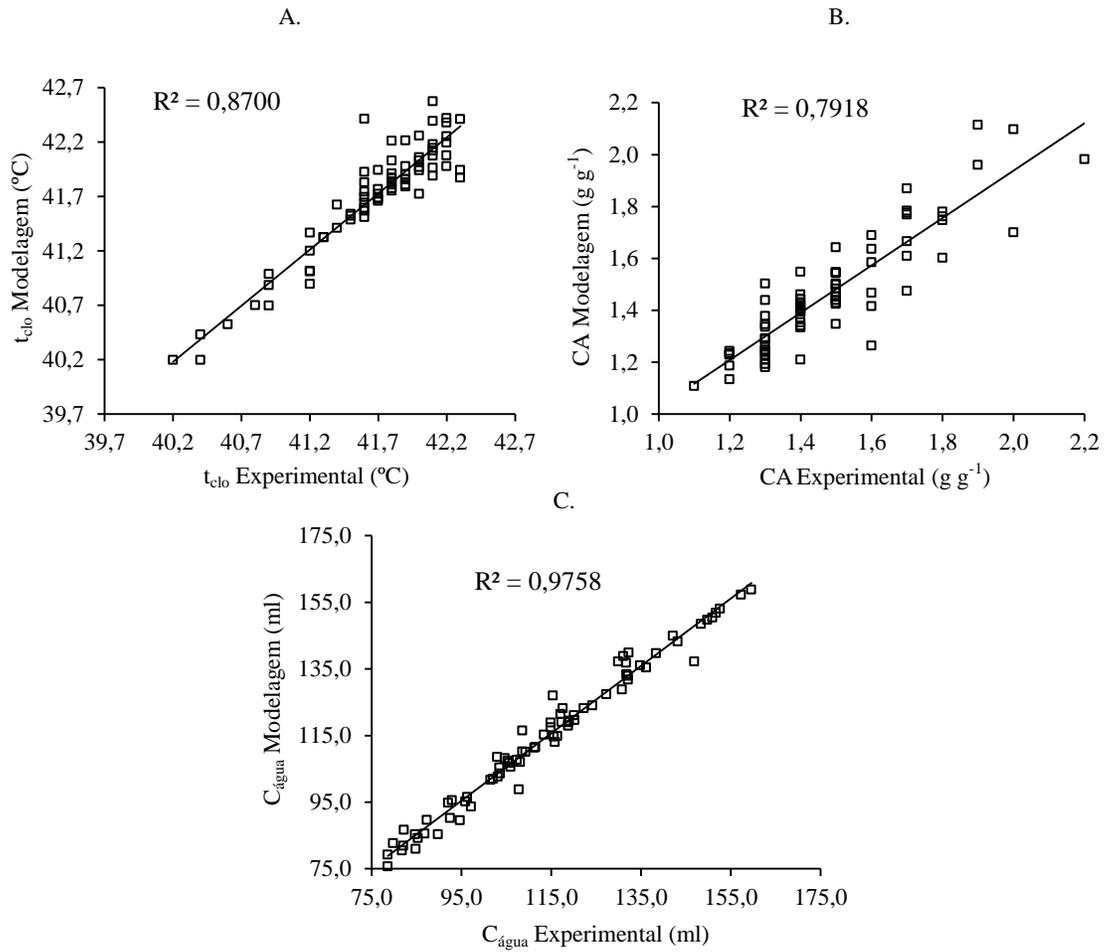


FIGURA 2. Regressões lineares da temperatura cloacal ( $t_{clo}$ ), consumo de água ( $C_{\acute{a}gua}$ ) e conversão alimentar (CA) obtidas experimentalmente e simuladas pelo modelo RNA, na segunda semana de vida.

## **CONCLUSÕES**

Os resultados indicam que a modelagem proposta, pode ser utilizada para prever a  $t_{clo}$ , CA e  $C_{\text{água}}$  de frangos de corte submetidos ao estresse térmico na segunda semana de vida. O modelo proposto poderá ser embarcado em microcontroladores para auxiliar no controle do ambiente térmico dentro das instalações, tomando a decisão referente ao acionamento de sistemas de aquecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

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

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, M; PIRES, M. F. A; SATURNINO, H. M; LANA, A. M. Q; SAMPAIO, I. B. M. S; MORATO, L. E. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4, 7/8 Holandês-Zebu em lactação. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa , v. 34, n. 6, p. 2000-2008, dez. 2005.

BARBOSA, A.H.; FREITAS M.S.R.; NEVES, F.A. Confiabilidade estrutural utilizando o método de Monte Carlo e redes neurais. **REM: Revista Escola de Minas**, v.58, p.247-255, 2005. DOI: 10.1590/S0370-44672005000300011.

BINOTI, D. H. B.; DA SILVA BINOTI, M. L. M.; LEITE, H. G. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 8, n. 1, p. 125-129, 2013. DOI:10.5039/agraria.v8i1a2209.

BOIAGO, M. M.; BORBA, H.; SOUZA, P. A.; SCATOLINI, A. M.; FERRARI, F. B.; GIAMPIETRO-GANECO, A. Desempenho de frangos

de corte alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n.1, p. 241-247, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v65n1/a34v65n1.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

BROSSI, C.; CONTRERAS-CASTILHO, C.J.; AMAZONAS, E.A.; MENTEN, J.F.M. Estresse térmico durante o pré-abate em frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, p.1296-1305, jul. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782009000400052&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782009000400052&script=sci_arttext)>. Acesso em: 20 out. 2015.

BROWN-BRANDL, T.M.; JONES, D.D.; WOLDT, W.E. Evaluating modelling techniques for cattle heat stress prediction. **Biosystems Engineering**, v.91, n.4, p.513-524, 2005.

COBB. Broiler Management Guide. Arkansas: Cobb-Vantress USA, 65p. 2008. Disponível em: <<http://67.43.0.82/docs/default-source/guides/cobb-broiler-management-guide---english.pdf?sfvrsn=8>>. Acesso em: 02 jan. 2015.

CONY, A.V.; ZOCHE, A.T. **Manejo de frangos de corte**. In: MENDES, A.; NÄÄS, I. de A.; MACARI, M. (Ed.). Produção de frangos de corte. Campinas: Facta, p.118-136. 2004.

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

FERRAZ, P.F.P.; YANAGI JUNIOR, T.; JULIO, Y.F.H.; CASTRO, J.O.; GATES, R.S.; REIS, G.M.; CAMPOS, A.T. Predicting chick body mass by artificial intelligence-based models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.7, p.559-568, jul. 2014.

FERREIRA, R.P.; SASSI, R.J.; AFFONSO, C.O. Aplicação de uma rede neuro Fuzzy para a previsão do comportamento do tráfego veicular urbano na região metropolitana da cidade de São Paulo. **Exacta**, v.9, p.363-375, 2011.

FERREIRA, L.; JUNIOR, T. Y.; LOPES, A. Z.; LACERDA, W. S. Desenvolvimento de uma rede neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, v. 17, n. 2, p. 221-233, 2010. Disponível em: <  
[http://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/rita\\_v17\\_n2\\_p221/11211](http://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/rita_v17_n2_p221/11211)>.

Acesso em: 20 out. 2015. GAMA, N.M.S.Q.; TOGASHI, C.K.; FERREIRA, N.T.; BUIM, M.R.; GUASTALLI, E.L.; FIAGÁ, D.A.M. Conhecendo a água utilizada para as aves de produção. **Biológico**, São Paulo, v.70, n.1, p.43-49, jan./jun., 2008.

HERNÁNDEZ-JULIO, Y. F.; YANAGI JR, T.; DE FÁTIMA ÁVILA PIRES, M.; AURÉLIO LOPES, M.; RIBEIRO DE LIMA, R. Models for Prediction of Physiological Responses of Holstein Dairy Cows. **Applied Artificial Intelligence**, v. 28, n. 8, p. 766-792, 2014.

KAEWTAPEE, C.; KHETCHATURAT, C.; BUNCHASAK, C. Comparison of growth models between artificial neural networks and nonlinear regression analysis in Cherry Valley ducks. **Journal of Applied Poultry Research**, v.20, p.421 - 428, 2011. DOI: 10.3382/japr.2010-00223.

KIRAN, T.R.; RAIPUT, S.P.S. An effectiveness model for an indirect evaporative cooling (IEC) system: comparison of artificial neural networks (ANN), adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and fuzzy inference system (FIS) approach. **Applied Soft Computing**, v.11, p.3525-3533, 2011. DOI: 10.1016/j.asoc.2011.01.025.

KLASSEN, T.; MARTINS, T.D.; FILHO, L.C; SILVA, E.A. Modelagem do sistema de resfriamento por imersão de carcaças de frangos utilizando redes neurais artificiais. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.31, n.2, p.201-205, 2009.

LOPES, J. C. O.; FIGUEIRÊDO, A. V. D.; LOPES, J. B.; LIMA, D. C. P.; RIBEIRO, M. N.; LIMA, V. B. D. S. Zinc and vitamin E in diets for broilers reared under heat stress. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 16, n. 2, p. 350-364, abr./jun. 2015. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbspa/v16n2/1519-9940-rbspa-16-2-0350.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

MathWorks I. 2013. **Levenberg–Marquardt backpropagation**. The MathWorks, Inc., 2013. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/help/nnet/ref/trainlm.html>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

MATIN, H.; SAKI, A.; ALIARABI, H.; SHADMANI, M.; ABYANE, H.Z. Intestinal broiler microflora estimation by artificial neural network. **Neural Computing and Applications**, v.21, p.1043-1047, 2012.

MEDEIROS, C.M. Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. 2001. 115 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

NASCIMENTO, G.R.; NÄÄS, I.A.; BARACHO, M.S.; PEREIRA, D.F.; NEVES, D.P. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.6, p.658–663, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n6/v18n6a14.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

NAZÁRIO, S.L.S.; ISEPON, J.S.; BUIOCHI, F.; ADAMOWSKI, J. C.; KITANO, C.; HIGUTI, R.T. Caracterização de leite bovino utilizando ultra-som e redes neurais artificiais. **Revista Controle & Automação**, v.20, n.4, out./dez. 2009.

OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELLE, J.L.; ABREU, M.L.T.; FERREIRA, R.A.; VAZ, R.G.M.V.; CELLA, P.S. 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**, v.35,

n.3, p.797-803, 2006. Disponível em:  
<<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v35n3/30072.pdf>>. Acesso em: 21 set.  
2015.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.13, n.2, p.558-568 abr./jun. 2012.

PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O.; SARNIGHAUSEN, V.C.R.; VIEIRA, F.M.C.; NASCIMENTO, S.T.; GUISELINI, C. Uso de redes neurais artificiais para predição de índices zootécnicos nas fases de gestão e maternidade na suinocultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3, p.676-681, 2011.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SAVEGNAGO, P.R.; NUNES, B.N.; CAETANO, S.L.; FERRAUDO, A.S.; SCHMIDT, G.S.; LEDUR, M.C.; MUNARI, D.P. Comparison of logistic and neural network models to fit to the egg production curve of White Leghorn hens. **Poultry Science**, v.90, p.705 - 711, 2010. DOI: 10.3382/ps.2010-00723.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; REIS, G.M.; ABREU, L.H.P.; CAMPOS, A.T.; CASTRO, J.O. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.140-146, fev. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n2/1415-4366-rbeaa-19-02-0140.pdf>>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p140-146>

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, v.89, p.225 - 247, 2006. DOI: 10.1016/j.agsy.2005.11.004.

VIEIRA, F.M.C.; RODRIGUES, V.C.; SILVA, I.J.O.; LOMBARDI, L.O.; BARBOSA FILHO, J.A.D. Simulação da mortalidade pré-abate de

frangos de corte por meio das redes neurais artificiais. **Thesis**, São Paulo, n.16, p.56-64, 2011.

YANAGI JUNIOR, T.; SCHIASSI, L.; ABREU, L. H. P.; BARBOSA, J. A.; CAMPOS, A. T. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, maio/jun. 2012.