

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**TERMOGRAFIA APLICADA À AVALIAÇÃO DO AMBIENTE
TÉRMICO DE ALOJAMENTO E DO CONFORTO TÉRMICO
DE FRANGOS DE CORTE**

GUILHERME RODRIGUES DO NASCIMENTO

CAMPINAS
MARÇO DE 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**TERMOGRAFIA APLICADA À AVALIAÇÃO DO AMBIENTE
TÉRMICO DE ALOJAMENTO E DO CONFORTO TÉRMICO
DE FRANGOS DE CORTE**

Dissertação de mestrado submetida à banca examinadora para a obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Construções Rurais e Ambiente.

GUILHERME RODRIGUES DO NASCIMENTO

Orientadora: Prof^a. Dra. Irenilza de Alencar Nääs

Co-Orientador: Prof. Dr Danilo Florentino Pereira

CAMPINAS
MARÇO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

N17t Nascimento, Guilherme Rodrigues do
Termografia aplicada à avaliação do ambiente
térmico de alojamento e do conforto térmico de frangos
de corte / Guilherme Rodrigues do Nascimento. --
Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientadores: Irenilza de Alencar Nääs, Danilo
Florentino Pereira.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Conforto térmico. 2. Frango de corte. 3. Lógica
Fuzzy. 4. Zootecnia. I. Nääs, Irenilza de Alencar. II.
Pereira, Danilo Florentino. III. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV.
Título.

Título em Inglês: Thermography applied to the evaluation of thermal
environment and thermal comfort accommodation in broiler
chicken

Palavras-chave em Inglês: Thermal comfort, Broiler chicken, Fuzzy logic,
Animal science

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: José Fernando Machado Menten, Daniella Jorge de
Moura

Data da defesa: 18/03/2011

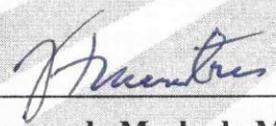
Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Guilherme Rodrigues do Nascimento**, aprovado pela Comissão Julgadora em 18 de março de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI



Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nääs – Presidente e Orientadora
Feagri/Unicamp



Prof. Dr. José Fernando Machado Menten – Membro Titular
Esalq/USP



Profa. Dra. Daniella Jorge de Moura - Membro Titular
Feagri/Unicamp

Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp

Este trabalho é dedicado aos meus pais José Ivanildo do Nascimento e
Maria de Lourdes Rodrigues Nascimento
Grandes incentivadores na minha vida, e os quais o passado é meu exemplo.

Dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus por esse momento de conclusão de uma etapa importante da minha vida, colocando boas pessoas no meu caminho, que colaboraram com meu crescimento profissional e pessoal. Obrigado por tudo senhor!

À Professora Irenilza de Alencar Nääs pelas suas orientações, conselhos e amizade.

Ao Professor Danilo Florentino Pereira pela co-orientação e incentivo no meu trabalho.

À Michelle Chaves de Oliveira Lima por me ajudar em tudo. Te amo e obrigado por fazer parte da minha vida.

À minha família, pelo incentivo dos meus pais e companheirismo das minhas irmãs Cléssia e Cristina.

Aos professores da FEAGRI (Faculdade de engenharia agrícola) Daniella Moura, Luiz Henrique Rodrigues, Raque Gonçalves, Barbara Medeiros, Mauro Tereso, José Texeira e Zigomar Souza pelas disciplinas que fiz e contribuíram para meu trabalho, e pela orientação no programa de estágio docência do professor Paulo Ademar Leal.

A granja São José pela colaboração na execução dos experimentos.

Aos amigos e companheiros de trabalho: Professora Marta Baracho, Diego Neves, Raquel Baracat, Alexandra Cordeiro, Fabiana Lima, Erika pereira, Flávia Jacob, Rimena Vercelino, Thayla Carvalho, Rafael Silva, Ana Paula, Brenda, Wesley Esdras, Rodolpho Tinini e Daniel Honório.

Aos amigos da UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco) Professores Wilson Dutra e Carlos Boa-viagem, Almir Ferreira, Rodrigo Barros, Rafael de Paula, Rafael Aquino e Aleksandre Adan pela amizade mantida mesmo longe.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	GERAL	2
1.1.2	ESPECÍFICOS	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Produção de frangos de corte	3
2.1.1	Ambiente para frangos de corte.....	5
2.2	Transferência de calor.....	6
2.2.1	Processos de termorregulação em frangos de corte.....	7
2.2.2	Temperatura corporal de frangos de corte	7
2.2.3	Análise de imagem termográfica infravermelho	8
2.3	Impacto do estresse térmico na produção de frangos de corte.....	9
2.3.1	Formas de mitigação.....	10
2.4	Bem-estar animal.....	10
2.5	Revisão das metodologias	11
2.5.1	Análise termográfica.....	11
2.5.2	Análise de componentes principais	11
2.5.3	Aplicação da teoria de conjuntos <i>Fuzzy</i>	12
	CAPÍTULO I.....	14
	VARIAÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE FRANGOS DE CORTE EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR UTILIZANDO TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO.....	14
	INTRODUÇÃO	17
	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
	CONCLUSÃO	24
	REFERÊNCIAS.....	24
	CAPÍTULO II.....	26
	ANÁLISE TERMOGRÁFICA EM AVIÁRIOS COM DIFERENTE SISTEMA DE VENTILAÇÃO.....	26
	INTRODUÇÃO	29
	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32

CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS.....	40
CAPÍTULO III	42
ÍNDICE FUZZY DE CONFORTO TÉRMICO PARA FRANGOS DE CORTE	42
INTRODUÇÃO	45
MATERIAL E MÉTODOS.....	46
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS.....	56
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
4 CONCLUSÕES GERAIS.....	61
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- Figura 1.** Consumo *per capita* de carne no Brasil. **03**

CAPITULO 1

- Figura 1.** Exemplo de seleção da área selecionada de um frango de corte para estimar a temperatura superficial média. **18**
- Figura 2** Variação da estimativa de temperatura superficial por imagem termográfica infravermelha (IT), Dalhke et al. (2005) e Richards (1971), em relação à idade das aves. **20**
- Figura 3** *Bloxplot* do efeito da idade na diferença entre temperatura superficial média dos frangos de corte e a temperatura do ar ΔT em ($^{\circ}C$). **22**
- Figura 4** Variação da temperatura superficial das partes da ave em relação a temperatura do ar (T_{ar}). **23**

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Representação dos quadrantes nos dois aviários. **30**
- Figura 2.** Fotos da imagem termográfica interna dos aviários e histograma do perfil térmico das aves selecionadas na reta (A). **31**
- Figura 3.** Temperatura, umidade e velocidade do ar no momento da coleta das imagens termográficas por semana. **34**
- Figura 4.** Gráfico *BloxPlot* dos dados de temperatura superficial média das aves (TSMA), do forro e da cama de frango entre os aviários 1 e 2, comparados pelo teste de Kruskal-Wallis. **35**
- Figura 5.** *BloxPlot* das temperaturas superficiais das aves nas fotos panorâmicas (TSAP) por idade. **37**
- Figura 6.** Gráfico de componentes principais das temperaturas superficiais, temperatura do ar (T_a), Umidade Relativa (UR) e velocidade do ar (V_a). **38**
- Figura 7.** Velocidade do ar nos dois aviários durante o período experimental. **39**

CAPÍTULO 3

- Figura 1.** Imagem termográfica de uma ave com área da coleta das temperaturas superficiais de penas (CP) e de pele (SP). 47
- Figura 2.** Funções de pertinência das variáveis independentes temperaturas de penas (CP) e de pele (SP) e escore de empenamento (EE), e da variável dependente (matriz demanda) Índice *Fuzzy* de Conforto Térmico (IFCT). 51
- Figura 3.** Gráficos de intervalos de confiança a 95% para as variáveis de temperatura superficial da pele (SP, a) e temperatura superficial das penas (CP, b). 52
- Figura 4.** Gráfico de superfície das temperaturas superficiais das áreas cobertas com penas (CP) e não cobertas com penas (SP), em relação ao grau de empenamento. 53
- Figura 5.** Curva ROC do Índice *Fuzzy* de Conforto Térmico para frangos de corte, onde *Comfort*, *Alert* e *Danger* correspondem às classes de conforto térmico a que as aves estão submetidas e *High*, *Middle* e *Low* correspondem à classe de empenamento das aves. 55

LISTA DE TABELAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1.	Receita das exportações brasileira de carne em 2009.	04
------------------	--	-----------

CAPÍTULO 1

Tabela 1.	Teste de <i>t-Student</i> e correlação de Pearson entre a medida de TSM obtida nas imagens termográficas e as estimativas de TSM de frangos de corte, calculadas a partir das Eq. 1 e Eq. 2.	19
Tabela 2.	Variação da temperatura superficial média (TSM) das aves medida com termografia infravermelha por idades das aves e por temperatura do ar.	21
Tabela 3.	Variação da temperatura superficial das partes da ave por idades.	24

CAPÍTULO 2

Tabela 1.	Média da Temperatura (T_a) e Umidade Relativa (UR) do ar nos dois aviários das quatro semanas.	33
Tabela 2.	Variação da temperatura (T_a) e da Umidade Relativa (UR) por quadrante nos aviários 1 e 2.	34
Tabela 3.	Variação da temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$) por quadrante nos aviários 1 e 2.	36
Tabela 4.	Estimativa da perda de calor por convecção (Q_c), radiação (Q_r) e total (Q_t) por semana, utilizando dados da termografia.	39

CAPÍTULO 3

Tabela 1.	Estatística descritiva das temperaturas superficial de penas e de pele e das variáveis ambientais.	50
Tabela 2.	Classificação de conforto térmico em função das variáveis preditoras.	52
Tabela 3.	Sensibilidade, especificidade e valor preditivo positivo (VPP) do IFCT (Índice Fuzzy de Conforto Térmico) em relação ao ITU (Índice de Temperatura e Umidade) nas três classes de empenamento.	54

RESUMO

A produção de frangos de corte tem grande destaque na economia brasileira, sendo o país o terceiro maior produtor mundial e o principal exportador de carne de frangos. Um dos entraves da atividade é o estresse térmico ambiental, que impacta negativamente a produção. A pesquisa sugere que as temperaturas superficiais medidas com termografia em frangos de corte podem servir como base para inferir condições inadequadas de alojamento no ambiente de produção. O objetivo deste trabalho foi quantificar as temperaturas superficiais de frangos de corte em diferentes condições de alojamento, em ambiente controlado e no campo, e associar com condições do ambiente térmico. O experimento foi dividido em três etapas, na primeira foi analisada a variação da temperatura superficial média das aves em diferentes temperaturas do ar em câmara climática para diferentes idades. A segunda etapa foi realizada a campo em dois aviários, os quais foram registrados semanalmente os parâmetros ambientais internos e externos dos aviários e imagens termográficas da cama de frango, do forro e das membranas laterais (cortinas) associando com a temperatura superficial das aves. A eficiência térmica do alojamento foi feita comparando a perda de calor das aves nos dois aviários. Na terceira etapa foi proposto um índice *Fuzzy* de conforto térmico de frangos de corte com base na sua temperatura superficial. Com o auxílio da termografia foi possível calcular a temperatura superficial média de frangos de corte através da análise das imagens termográficas. Na análise termográfica a campo, concluiu-se que a temperatura superficial média de frangos de corte está mais associada à temperatura superficial do entorno de produção (cortinas laterais, forro e a cama de frango). Com base na variação da temperatura superficial média das aves utilizadas na pesquisa foi gerado o índice *Fuzzy* de conforto térmico (IFCT) que permite estimar condições de conforto térmico em condições tropicais, específico na estimativa da condição de perigo térmico. A utilização das câmeras termográficas para aferição da temperatura superficial de frangos de corte pode ser utilizada para estimar condições de conforto térmico de frangos de corte em diferentes condições de alojamento.

Palavras-chave: Conforto térmico, frango de corte, lógica *Fuzzy*, zootecnia.

ABSTRACT

The production of broiler chickens is of great importance in the Brazilian economy and the country is the third largest world producer and leading exporter of broiler meat. One problem in the activity is the environmental heat stress, which impacts negatively on production. This research suggests that the surface temperatures measured with thermography in broiler chickens may serve as a basis for inferring improper housing conditions in the production environment. The objective is to measure the surface temperatures of broilers in different housing conditions and associate with the weather. The experiment was divided into three stages: first, we analyzed the variation of mean surface temperature of the birds at different air temperatures and climate in the camera at different ages. The second stage was conducted in the field in two poultry houses in two different periods of accommodation, which were followed weekly by recording the climatic and environmental variables and the infrared thermographic images of poultry litter, and the membranes used in the sides, correlating it with the surface temperature of the birds, and the thermal efficiency of housing was done by comparing the heat loss of birds in two houses. In the third step it was proposed a fuzzy index of thermal comfort for broilers based on its surface temperature. With the aid of infrared thermal imaging it was possible to calculate the mean surface temperature of broilers by image analysis, without the need of using equations to estimate this. Using the infrared thermal image analysis conducted in the field, we conclude that the mean surface temperature of broiler chickens is more correlated to the surface temperature of the production environment (side curtains/ membranes, litter and chicken). Based on the variation of mean surface temperature of the birds used was generated Fuzzy index of thermal comfort (FITC) that allows estimating the thermal comfort in tropical conditions, to predict the specific condition of thermal hazard. The use of infrared technology to calculate the surface temperature of broilers, with the aid of thermographic cameras, gives out a basis for estimating the thermal comfort of broiler chickens in different housing conditions.

Key words: Thermal comfort, Broiler chicken, Fuzzy logic, Animal science

1 INTRODUÇÃO GERAL

O bem-estar animal é o estado pleno de saúde física e mental, em que o animal está em harmonia com o ambiente onde vive. Uma mudança perceptiva ao estado de conforto do animal é a sua temperatura superficial, cuja termografia infravermelha pode ser usada para avaliar essa variação.

Os riscos no alojamento de frangos de corte estão relacionados às altas temperaturas do ar associada à alta umidade relativa que dificultam a perda de calor da ave para o ambiente, aumentando sua temperatura corporal e superficial.

A análise termográfica é um importante método para se medir a temperatura superficial das aves por ser um método não invasivo e, portanto, não interferindo na rotina do animal. Outras ferramentas para medição de temperatura superficial, por exemplo, o termômetro a laser, interfere no comportamento da ave pela proximidade que se deve ter com o animal, causando estresse e alteração nas temperaturas superficiais.

Índices comumente utilizados para medir conforto térmico de frangos de corte, como índice de temperatura e umidade, que foi proposto há 50 anos, não leva em consideração a evolução genética ocorrida na avicultura de corte. Com isso, um aumento na temperatura superficial pode servir como uma resposta fisiológica da ave a condições inadequadas de alojamento.

A presente pesquisa usará a termografia infravermelho para estimar a temperatura corporal de frangos de corte e verificará associações dessa variável com variáveis do ambiente do alojamento. Devido ao grau de correlação entre a temperatura superficial das aves com ambiente de alojamento, a hipótese sugerida é que as temperaturas superficiais, medidas com termografia infravermelho em frangos de corte, podem servir como medida para inferir condições de conforto térmico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

Quantificar as temperaturas superficiais de frangos de corte em diferentes condições de alojamento e associar com as condições térmicas do aviário.

1.1.2 ESPECÍFICOS

- Analisar a variação da temperatura superficial de frangos de corte em diferentes condições de alojamento em ambiente controlado.
- Registrar as condições de alojamento de frangos de corte em dois aviários distintos, na mesma região geográfica, associando as temperaturas superficiais com as condições climáticas de alojamento;
- Propor um controlador *Fuzzy* para estimar o conforto térmico de aves com base nas temperaturas superficiais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção de frangos de corte

Avicultura é a atividade mais dinâmica, quando relacionada à produção de carne. Ela desenvolveu-se a partir do final da década de 1950, na Região Sudeste, principalmente, em São Paulo. Na década de 70, período em que houve profunda reorganização do complexo de carnes no Brasil, a atividade se deslocou para a Região Sul (SARCINELI et al., 2007), recentemente a região Centro-oeste do Brasil é destaque no crescimento devido a necessidade de expansão no setor para atender a demanda nacional e internacional (GARCIA & FILHO, 2005). No mercado consumidor interno, o brasileiro tem mudado o hábito de consumo de carnes, passando de um país preponderantemente consumidor de carne bovina para consumidor da carne de frango (FIGURA 1).

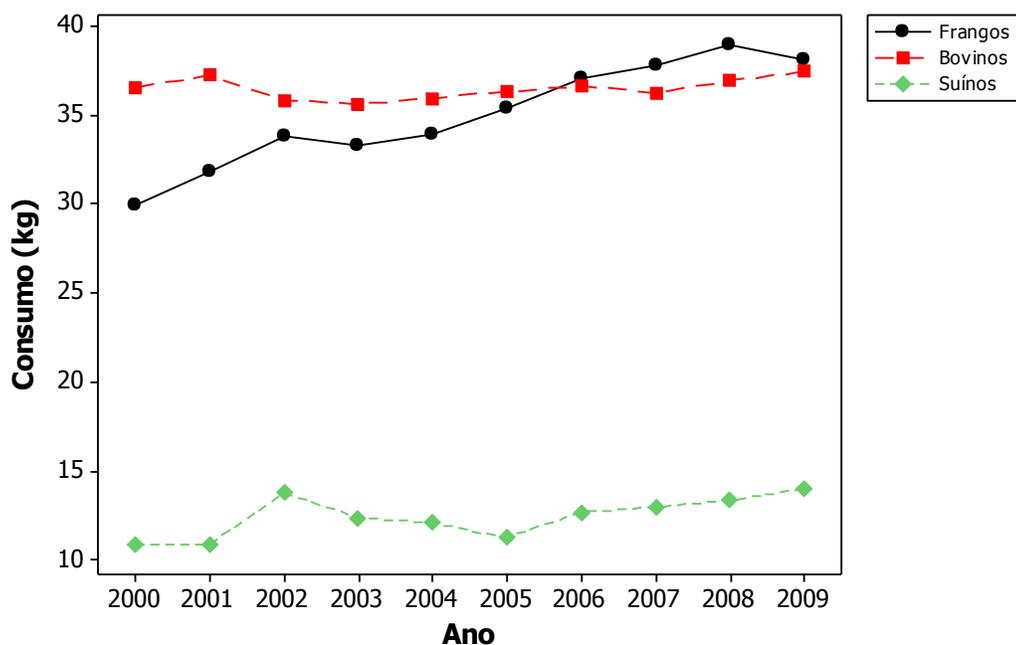


Figura 1. Consumo *per capita* de carne no Brasil, Adaptado da UBA/ABIEC/ABIPECS (2010).

Este aumento no consumo de carne de frango é atribuído a dois principais fatores, um por ser boa fonte de suprimento protéico na dieta, e outro se localiza no baixo custo de

aquisição, que proporcionou o acesso das camadas sociais de menor poder aquisitivo (SILVA, 2008).

A produção de frangos de corte se dá, principalmente, no sistema de integração vertical e de cooperativas. Embora não haja dados precisos, estima-se que a produção integrada e cooperada supera, atualmente, 90% do total de carne de aves produzidas no Brasil (MENDES et al., 2004).

O sistema de criação integrado representado pelas agroindústrias é o sistema que detém todo o processo produtivo, desde a produção de ovos fértil até o abate, no qual a comercialização ocorre apenas uma vez. No sistema cooperado a maioria das cooperativas trabalha no sistema de integração, ou seja, o integrado entra com as instalações, a cama e a mão-de-obra e recebe os demais insumos da cooperativa (MENDES et al., 2004).

Segundo UBABEF (2010) o Brasil é o terceiro maior produtor de frangos de corte do mundo com 11 milhões de toneladas, ficando atrás dos EUA e da China com 16 e 12 milhões de toneladas, respectivamente. Quanto à exportação de carne de frangos o Brasil ocupa a primeira posição, em 2009 a exportações de carne de frango fechou em cerca de quatro milhões de toneladas, com queda de -0,3% impactada pela crise financeira internacional e valorização do real frente ao dólar (ABEF/UBA, 2009).

A importância econômica do setor avícola brasileiro é observada na Tabela 1, em que a participação em receita oriunda das exportações de carne de frango em 2009 foi de 50,38%.

Tabela 1. Receita das exportações brasileira de carne em 2009.

Exportação de carne	ReceitaUS\$ mil	Participação (%)
Frango	5.814.101	50,38
Bovina	4.118.482	35,69
Suína	1.226.446	10,63
Peru	381.778	3,31
Total	11.540.808	100

FONTE: UBABEF (2010).

2.1.1 Ambiente para frangos de corte

A indústria avícola brasileira passou a buscar nas instalações e no ambiente as possibilidades de melhoria no desempenho das aves e na redução de custos de produção, como forma de manter a competitividade (TINÔCO 2001).

Dentre os fatores do ambiente, os térmicos são os que afetam mais diretamente a ave, pois comprometem sua função vital mais significativa, que é a manutenção de sua homeotermia (MENEGALI et al., 2009).

O emprego de materiais de construção adequados, de cobertura, cortinas, sistemas de ventilação e arrefecimento, além de cuidados com o entorno do ambiente de produção, são necessários no sistema moderno de criação de frangos de corte devido à maior produtividade (VALLE, 2008).

A cobertura dos aviários exerce grande influência sobre a produtividade dos aviários. SILVA et al. (2006) constataram uma condição de ambiente pior e de peso corporal (-9 %) ao abate para frangos criados em aviários construídos com cobertura de cimento-amianto quando comparado à cobertura de telhas de cerâmica.

Materiais de revestimento para isolamento da cobertura dos aviários também podem interferir em sua produtividade. Uma das alternativas no isolamento térmico de aviários é a utilização de forros de polietileno, isolando termicamente o ambiente interno do aviário e possibilitando melhor condições de conforto térmico (ABREU et al., 2007).

Existem basicamente duas formas de promover artificialmente a movimentação do ar no interior dos aviários, por pressão negativa e pressão positiva. No sistema de ventilação por pressão negativa o ar é succionado por exaustores de dentro para fora, criando um vácuo parcial no interior da construção; desse modo, succionando o ar externo. No sistema de ventilação com pressão positiva o ar externo é forçado, por meio de ventiladores, a entrar na construção, criando um gradiente de pressão de fora para dentro da instalação. Podendo ser de dois tipos: em modos túnel e lateral (BAÊTA e SOUZA, 1997; ABREU e ABREU, 2000; TINÔCO, 2004). Esse sistema de ventilação positiva é o mais comum nos aviários de construção aberta.

Os diversos sistemas de ventilação disponíveis apresentam resultados distintos sobre a produtividade das aves. Em trabalho com modelos em escala para produção de frangos de corte, simulando um sistema parcialmente fechado com ventilação forçada, NÄÄS et al.

(1998), concluíram que este sistema é muito eficiente, principalmente para temperaturas superiores à 30°C.

O ITU (Índice de Temperatura e Umidade) foi o primeiro índice de conforto utilizado na caracterização do ambiente de produção animal. A aplicação do ITU para aves foi adaptada por GATES et al. (1995).

Devido à interferência das perdas de calor por ventilação, TAO e XIN (2003) adaptaram o ITU para frangos de corte em idade de abate, ponderando temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido e, posteriormente, informações sobre ventilação incorporadas ao ITU. Os autores desenvolveram o índice denominado ITUV (Índice de temperatura, umidade e velocidade do ar).

Utilizam-se também para caracterizar o ambiente térmico o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), a qual reúne os efeitos combinados de temperatura, umidade, radiação e velocidade do ar. MEDEIROS et al. (2005) verificaram que o ITGU entre 69 e 77 apresenta maior produtividade e melhores parâmetros zootécnicos. Os autores também observaram bons resultados com os elementos ambientais, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar, para produção de frangos de corte nas fases de crescimento e final, em torno de 26 °C, 55% e 1,5 m.s-1, respectivamente.

2.2 Transferência de calor

É de grande interesse o desenvolvimento de modelos que contribuem para o entendimento da troca de calor entre o animal e o meio ambiente (MCGOVERN e BRUCE, 2000). Tais modelos tentam explicar a transferência de calor e massa que ocorre via radiação de ondas longas, convecção, condução e evaporação com objetivo de avaliar o equilíbrio térmico dos animais com o meio.

A diferença de temperatura entre a superfície das aves e o ambiente, determina a transferência de calor sensível que, por sua vez, serve como uma variável no dimensionamento de sistemas de climatização (YAHAV et al., 2004).

Segundo SILVA et al. (2009) a determinação da área superficial de frangos de corte é de extrema importância para o cálculo das transferências de calor e de massa entre as aves e o ambiente ao seu redor, permitindo, assim, o dimensionamento de sistemas de ventilação e

resfriamento evaporativo, bem como inferir sobre o manejo das aves por meio da predição, por exemplo, da quantidade de calor e/ou umidade produzida pelas aves.

2.2.1 Processos de termorregulação em frangos de corte

Os produtores de frangos de corte das regiões tropicais e subtropicais enfrentam problemas causados pelo calor durante os meses quentes do ano. À medida que a ave se desenvolve diminui sua resistência ao calor (MACARI et al., 2002).

Para determinada faixa de temperatura efetiva ambiental, a ave mantém constante a temperatura corporal, com mínimo esforço dos mecanismos termorregulatórios. É a chamada Zona de Conforto Térmico (ZCT) ou de termoneutralidade, em que não há sensação de frio ou de calor e o desempenho animal em qualquer atividade é otimizado (ABREU, 2003; MOURA, 2001). A temperatura efetiva não se refere unicamente à temperatura ambiental, mas sim a combinação dos efeitos da temperatura de bulbo seco, da umidade relativa, da radiação solar e da velocidade do vento.

A característica mais utilizada na determinação da zona de termoneutralidade das aves de corte é a idade das mesmas. Com o desenvolvimento do sistema termorregulador e o aumento de sua reserva energética, a ave modifica sua exigência de temperatura crítica superior de 35 °C para 24 °C em quatro semanas, chegando a 21 °C na sexta semana de vida, período próximo ao abate (PEREIRA, 2006).

Entre as respostas fisiológicas compensatórias das aves, quando expostas ao calor, inclui-se a vasodilatação periférica, resultando em aumento na perda de calor não evaporativo. Assim, na tentativa de aumentar a dissipação do calor, a ave consegue aumentar a área superficial, mantendo as asas afastadas do corpo, eriçando as penas e intensificando a circulação periférica. A perda de calor não evaporativo pode também ocorrer com o aumento da produção de urina, se esta perda de água for compensada pelo maior consumo de água fria (BORGES et al., 2003).

2.2.2 Temperatura corporal de frangos de corte

Os animais têm vários sistemas funcionais, os quais controlam a temperatura corporal (SILVA, 2000). Em conjunto, estes sistemas funcionais permitem que o indivíduo controle suas interações com o seu meio ambiente e, desta forma, mantenham esse aspecto de seu estado dentro de uma variação tolerável.

As aves mantêm a temperatura corporal constante quando a temperatura ambiente é termoneutra. Em condições de alta temperatura, os animais precisam de mecanismos físicos, como o resfriamento evaporativo e a redução do consumo de alimentos. Segundo BROWN-BRANDL et al. (1997), o aumento na temperatura corporal das aves é resultado de um desbalanceamento entre a perda de calor por meios evaporativos e sensíveis e a produção de calor.

Durante períodos de estresse térmico, as extremidades das aves que não possuem penas, como a crista e a barbela ou os pés, normalmente são vasodilatadas (RICHARDS, 1971; HILLMAN et al., 1982). DAHLKE et. al (2005) calcularam que a área total de superfície da crista e barbela e pernas das aves corresponde a 16% da superfície total do corpo, o que reflete a importância dessas regiões corporais na dissipação de calor pelas aves.

Segundo TESSIER et al. (2003) a menor temperatura superficial média é observada em aves mais velhas e provavelmente consequência do maior tamanho. A temperatura corporal é normalmente constante em aves (41 ° C), mas diminui sobre a zona periférica. As aves mais jovens provavelmente perdem mais calor através da pele do que as mais velhas. Alterações significativas na temperatura associados com idade sugerem que este fator deve ser levado em conta quando se compara a temperatura da pele entre aves.

2.2.3 Análise de imagem termográfica infravermelho

A câmera termografia infravermelho é uma moderna, segura e não invasiva técnica de visualização de perfil térmico. Cada objeto na terra gera calor na forma de radiação infravermelho¹ que depende da propriedade da sua camada superficial. Esse equipamento é capaz de detectar esse tipo de radiação. Os dados obtidos por escaneamento de computador são processados e apresentados na forma de mapas de temperatura que prevêm uma detalhada análise da temperatura do campo.

O fato de a radiação ser uma função da temperatura superficial do objeto torna possível que a câmera possa calcular e exibir esta temperatura. No entanto, a radiação medida

¹**Radiação infravermelho:** É uma radiação na porção invisível do espectro eletromagnético que está adjacente aos comprimentos de onda longos. Ainda que não seja percebida pelo homem na forma de luz, a radiação pode ser percebida como calor.

pela câmara não depende apenas da temperatura do objeto, mas é também uma função da emissividade² (DENOIX, 1994).

Aplicação da termografia em frangos de corte é considerada difícil, porque as penas têm uma boa propriedade isolante, bloqueando parte das emissões da pele (TESSIER et al., 2003). Mesmo assim a técnica tem sido empregada no estudo de conforto térmico animal com sucesso, medindo a resposta da temperatura superficial das aves ao ambiente em que está alojada (TESSIER et al., 2003; YAHAV et al., 2004; NÄÄS et al., 2010).

2.3 Impacto do estresse térmico na produção de frangos de corte

Várias alterações metabólicas e fisiológicas são desencadeadas em frangos de corte submetidos a altas temperaturas ambientais, o que pode acarretar em grandes perdas no desempenho e na imunocompetência destas aves (BORGES et al., 2003).

A evolução da avicultura resultou em um frango de corte precoce e com grande eficiência para converter diferentes alimentos em proteína animal. Apesar disso, uma série de problemas metabólicos e de manejo tem surgido, destacando-se entre eles o estresse calórico. A susceptibilidade das aves ao estresse calórico aumenta à medida que o binômio umidade relativa e temperatura ambiente ultrapassam a zona de conforto térmico, dificultando assim a dissipação de calor, incrementando conseqüentemente a temperatura corporal da ave, com efeito negativo sobre o desempenho.

Quando as aves são submetidas a estresse térmico, dependendo da magnitude e duração do estresse, verificam-se altos índices de prostração e mortalidade (MOURA, 2001). Em situações de estresse térmico, além do aumento da temperatura retal das aves, ocorre também aumento da frequência respiratória, com conseqüente efeito no metabolismo, para estimular a perda evaporativa de calor (ofegação) e para manter o equilíbrio térmico corporal (MACARI et al., 2004).

²**Emissividade (ϵ):** É a relação entre o poder emissivo de um corpo qualquer e a de um corpo negro. Pode ter um máximo igual a 1, que é correspondente à de um corpo negro, e um mínimo igual a zero.

2.3.1 Formas de mitigação

Algumas medidas podem ser tomadas para minimizar as perdas decorrentes do estresse calórico, podendo-se citar, entre outras, a utilização de ventiladores e do resfriamento evaporativo.

Aumentando a movimentação do ar sobre a superfície corporal das aves, a perda de calor para o ambiente por processos convectivos é facilitada. A ventilação do ar reduz a temperatura retal e a taxa respiratória das aves, amenizando o estresse térmico a que estão sendo submetidas (RIVERO, 1985).

Uma técnica de modificação ambiental artificial bastante difundida é o resfriamento evaporativo do ar, que consiste em incorporar vapor d'água diretamente no ar, causando mudança no seu ponto de estado (aumento da umidade e reduzindo a temperatura). Esta técnica deve preferencialmente ser associada a sistemas de ventilação o que, além de facilitar o controle da umidade no interior da instalação, proporciona uma melhor renovação do ar no interior da mesma.

2.4 Bem-estar animal

A visão da sociedade com relação ao bem-estar animal está mudando. Isso tem ocorrido, principalmente, devido à acelerada urbanização durante o último meio século, que, combinada com o aumento do poder aquisitivo, demanda ações específicas com relação ao ambiente e às condições dos criatórios dos animais alojados para consumo humano; dentre essas, destaca-se o bem-estar animal (NÄÄS, 2005; MOURA et al., 2006).

Para BROOM e MOLENTO (2004) os profissionais que trabalham com animais enfrentam hoje três desafios com o bem-estar animal: (1) reconhecer que a evolução social alterou as relações entre o ser humano e os animais; (2) manter-se informado sobre as explicações que a ciência vem propondo para determinadas respostas dos animais a alguns problemas que os mesmos enfrentam; e (3) refinar as formas de se medir o grau de bem-estar dos animais, para que estas avaliações possam ser utilizadas no sentido de se aprimorar as relações entre seres humanos e animais, até que se atinja um nível considerado apropriado por uma sociedade informada e justa.

Os aspectos sociais, principalmente aqueles baseados no comportamento das aves, tornam-se cada vez mais evidentes na exploração avícola moderna, face à importância do

ambiente em que as aves estão sujeitas. CAMPOS (2000) considera fundamental a identificação de fatores responsáveis pelo bem-estar das aves, uma vez que a avicultura, atualmente, é baseada na mudança de comportamento das aves.

MANNING et al. (2007) estudaram indicadores chaves de saúde e bem-estar para frangos de corte, identificando indicadores capazes de avaliar o bem-estar de aves no final do ciclo de produção (mortalidade final, densidade, nível de dermatite de contato, porcentagem de refugos e de saúde de patas).

2.5 Revisão das metodologias

2.5.1 Análise termográfica

A camera termográfica infravermelha utilizada na pesquisa, testo[®] 880, apresenta precisão de $\pm 0,1$ ° C e intervalo de espectro entre 7.5 - 13 μ m. Para todas as imagens foi utilizada escala de cor de azul/vermelha. A câmera termográfica foi colocada aproximadamente 1 m das superfícies que foram avaliadas e as imagens foram registrada com um ângulo de 90° a partir da superfície (NÄÄS et al., 2010).

2.5.2 Análise de componentes principais

A técnica de Componentes Principais é empregada com o objetivo de dar visibilidade a um conjunto de dados, reduzindo-se o número de variáveis. Dessa forma, um grande número de variáveis correlatas diretamente observáveis, dá lugar a novas variáveis não correlatas, não observáveis e, portanto, mais complexas. Essas novas variáveis são definidas como Componentes Principais.

As correlações ou associações são observadas no gráfico primeiramente observando a magnitude dos vetores. Vetores com pequena magnitude são pouco explicados pelas componentes principais e, portanto, não devem ser considerados nas análises. Vetores com direção e sentido semelhantes, estão fortemente associados positivamente, ou seja, o aumento do tempo ou frequência de uma variável está associado ao aumento da outra variável. Em situações onde se observam vetores com direções semelhantes, mas sentidos contrários implicam em associações fortes negativas e vetores que formam ângulos próximos a 90° não são correlatos.

2.5.3 Aplicação da teoria de conjuntos *Fuzzy*

A teoria dos conjuntos *Fuzzy* foi formulada por ZADEH (1965) como uma ferramenta para modelar imprecisões (ZADEH, 1965). A palavra *Fuzzy*, de origem inglesa, aparece na matemática brasileira como nebuloso. Um conjunto *nebuloso* em um universo X é definido por uma função α de um conjunto X para o intervalo $[0,1]$. A função α é denominada função de pertinência e o valor $\alpha(x)$ representa o grau de pertinência de x no conjunto *Fuzzy*.

O sistema de lógica nebulosa pode ser expresso matematicamente como uma combinação linear de funções de base *Fuzzy*, sendo um aproximador como uma função universal não linear. Os quatro componentes que constituem o sistema são à base de regras, a interface de fuzzificação, o sistema de inferência e a interface de defuzzificação (JUNIOR, 1999).

Uma base de regras *Fuzzy* é muito poderosa por poder ser proveniente de ambos os tipo de dados: numéricos ou conhecimentos lingüísticos. Uma variável lingüística é expressa por meio de rótulos dos conjuntos. Por exemplo, a temperatura do ar pode ser uma variável lingüística assumindo os rótulos: baixa, media e alta. Tais rótulos podem ser descritos matematicamente por conjuntos *Fuzzy*. A fuzzificação é um mapeamento do domínio de números reais (em geral discretos) para o domínio do conjunto nebuloso. Isso representa a atribuição de valores lingüísticos, descrições vagas ou qualitativas, definidas por função de pertinência as variáveis de entrada (SHAW e SIMÕES, 1999).

Entre os mecanismos de inferência possíveis, pode-se citar o método utilizado por Mamdani. As respostas do controlador *Fuzzy* são calculadas em função das entradas, de acordo com o conjunto de regras na base de conhecimento. Para cada regra são avaliados os graus de pertinência entre as variáveis de entrada e os conjuntos *Fuzzy* correspondentes.

O método mais utilizado de conversão *Fuzzy* para transformar as informações qualitativas em quantitativas, chamado de defuzzificação, é o centro de massa que calcula para um dado conjunto de saída proveniente de uma base de conhecimento processada, a abscissa (no universo definido para a variável em questão) do ponto de centro de massa correspondente e a utiliza como valor escalar de saída (REZENDE, 2005).

A classificação do ambiente térmico de produção animal por meio de índices de conforto e índices de bem-estar animal são parâmetros avaliados qualitativamente e classificados por variáveis lingüísticas. Dessa forma é recomendada a aplicação da teoria de

conjuntos *Fuzzy*, com grande potencial na aplicação a campo. A metodologia vem sendo aplicada na área de ambiência e produção animal (OWADA et al., 2007; PANDORFI et al., 2007; PEREIRA et al., 2008).

CAPÍTULO I

VARIAÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE FRANGOS DE CORTE EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR UTILIZANDO TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO

RESUMO: A pesquisa foi conduzida para determinar o efeito da variação da temperatura do ar na temperatura média da superfície (TSM) de frangos de corte 7-35 dias de idade utilizando a termografia infravermelho para estimar a TSM; bem como estudar a variação da temperatura da superfície das asas, cabeça, pernas, dorso e crista, em relação à temperatura do ar e da idade de corte. Cem aves da linhagem genética Cobb® foram criados durante o experimento e, semanalmente, a partir de dia 7, 10 aves foram selecionadas aleatoriamente e colocadas dentro de uma câmara climática e foram alojadas em três temperaturas distintas (18, 25 e 32 ° C) para o registro do perfil térmico usando a câmera termográfica infravermelho. A TSM estimada pelas imagens de infravermelho não diferiram estatisticamente (P-Valor > 0,05) a partir desses valores, quando utilizando as equações. Os valores de TSM aumentam significativamente (P-Valor < 0,05) quando aumenta a temperatura do ar. As temperaturas superficiais das aves não diferiram estatisticamente entre si em relação à idade, enquanto a diferença entre as temperaturas da superfície e do ar foram significativas, sendo maior aos 14 e 28 dias de idade (8.8 ± 2.5 °C e 7.3 ± 2.9 °C, respectivamente). A técnica de análise de imagem térmica infravermelha foi útil para estimar a temperatura média da superfície de frangos de corte.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de imagens, avicultura, conforto térmico.

ABSTRACT: The research was conducted to determine the effect of the variation in air temperature in the mean surface temperature (MST) of broilers 7-35 days of age using infrared thermography to estimate the MST, as well as to study the variation of surface temperature wings, head, legs, back and crest, in relation to air temperature to the age of slaughter. One hundred birds of Cobb ® genetic strain were reared during the experiment, and from day 7, 10 birds were randomly selected weekly and placed inside a climate chamber. They were housed in three different temperatures (18, 25 and 32 °C) to record the thermal profile using infrared thermographic camera. The MST values estimated by the infrared images did not differ statistically (P-value > 0.05) from these values when using the equations. The MST values increased significantly (P-value < 0.05) when the air temperature increased. The surface temperatures of the birds did not differ significantly regarding age, whereas the difference between surface temperature and air temperature was significant, being higher at 14 and 28 days of age (8.8 ± 2.5 °C and 7.3 ± 2.9 °C, respectively). The technique of infrared thermal image analysis was useful for estimating the mean surface temperature of broilers.

KEY WORDS: Image analysis, poultry industry, thermal comfort.

INTRODUÇÃO

A produção de frangos de corte em países tropicais como o Brasil confronta-se com um grande desafio o estresse calórico, principalmente nos períodos mais quentes do ano. Há o comprometimento do desempenho produtivo quando as aves são submetidas a temperaturas acima da zona de conforto, devido a diminuição do consumo de ração e também devido ao maior gasto de energia para manutenção da temperatura corporal, que seria usada para formação de carne (FUKAYAMA et al., 2005; LAGANÁ et al., 2007).

ZHOU & YAMAMOTO (1997) verificaram aumento de 3 °C (41 a 44 °C) na temperatura corporal, enquanto a temperatura da pele aumentou 6 °C (37 a 43 °C) em frangos submetidos ao estresse calórico (36 °C durante 3 horas. A diferença entre a temperatura superficial e a temperatura ambiente é o principal parâmetro para a perda de calor sensível (YAHAV et al., 2008). A perda de calor varia nas partes distintas do corpo durante o período de crescimento, e isso está relacionado à temperatura do ar do ambiente e o empenamento da ave (NÄÄS et al., 2010).

As câmeras de infravermelho medem a quantidade invisível de energia emitida por superfícies e as convertem em temperatura superficial, produzindo imagens termográficas. Esses instrumentos de medição têm sido usados para medir a temperatura superficial de frangos de corte em estudos de perda de calor sensível (CZARICK et al., 2007; CANGAR et al., 2008; YAHAV et al., 2008).

Este trabalho teve o objetivo de estudar o efeito de diferentes temperaturas do ar na temperatura superficial média (TSM) e das partes corporais de frangos de corte de 7 a 35 dias de idade, validando a utilização da termografia infravermelha como instrumento de medição de precisão de TSM de frangos de corte.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de conforto térmico da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Um grupo de 100 frangos de corte da linhagem Cobb[®] foram criados no aviário em escala reduzida, de 1 a 35 dias de idade, sendo fornecidas água e ração à vontade.

Semanalmente 10 aves eram selecionadas aleatoriamente neste aviário e encaminhadas para a câmara climática. Foram testadas três temperaturas do ar (18, 25 e 32 °C)

por um período mínimo de 15 minutos em cada temperatura, para cada grupo de 10 aves, antes de iniciar o registro das imagens termográficas. As imagens termográficas foram obtidas por meio da câmera TESTO® 880, mostrado na Figura 1. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, distribuído segundo um esquema fatorial 5x3 (cinco idades e três temperaturas do ar), com 10 repetições, totalizando 150 parcelas.

A termografia foi utilizada para medir a TSM dos frangos de corte, selecionando toda a área da ave na foto, utilizando o programa computacional da Testo IIRSoft®, obtendo assim a temperatura média da área selecionada, conforme mostra a Figura 1. A emissividade utilizada para frango de corte, representando a pele e a cobertura de penas é de 0,95 de acordo com CANGAR et al. (2008) e NÄÄS et al. (2010).

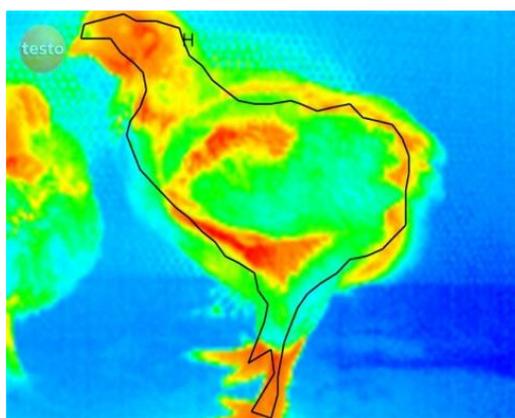


Figura 1. Exemplo de seleção da área selecionada de um frango de corte para estimar a temperatura superficial média.

Os resultados de TSM obtidos por meio das imagens térmicas foram comparados com as equações propostas por RICHARDS (1971) na (Eq. 1) e por DAHLKE et al. (2005) segundo a (Eq. 2) para estimar a TSM de frangos de corte. As temperaturas superficiais de cada parte do corpo das aves foram medidas nas próprias imagens termográficas, conforme método proposto por Nääs et al. (2010).

$$\text{TSM} = (0,12 \text{ TA}) + (0,03 \text{ TCA}) + (0,15 \text{ TP}) + (0,70 \text{ TD}) \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{TSM} = (0,03 \text{ TC}) + (0,70 \text{ TD}) + (0,12 \text{ TA}) + (0,06 \text{ TCA}) + (0,09 \text{ TP}) \quad \text{Eq. 2}$$

Em que: TSM = Temperatura superficial média (°C); TA = Temperatura da asa (°C); TCA = Temperatura da cabeça (°C); TP = Temperatura das pernas (°C); TD = Temperatura do dorso (°C); TC = Temperatura da crista (°C). As equações apresentam pesos diferentes para cada parte do corpo da ave, com excessão do dorso (0,70) e asa (0,12).

Utilizando o registro da temperatura superficial média das aves, foi calculada a diferença entre a TSM e a temperatura do ar (ΔT) em °C, e esta diferença foi analisada para cada idade avaliada. Os dados de TSM, utilizando termografia infravermelho, foram comparados pelo teste de *t-Student*, com 95% de confiança, com os resultados obtidos nas equações propostas por RICHARDS (1971) e DAHLKE et al. (2005). A variação da TSM e da temperatura superficial das partes dos frangos de corte por idade e por temperatura do ar foram analisadas pelo teste ANOVA, com grau de confiança de 95%. Na evidência de diferença estatística significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, utilizando o programa estatístico MINITAB® 15.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média superficial, obtida pela imagem termográfica infravermelha, não diferiu estatisticamente (P-Valor > 0.05) pelo teste de *t-Student*, quando comparado com as estimativas propostas por RICHARDS (1971) e DALHKE et al. (2005), apresentando também, nas duas comparações, alta correlação positiva de 0.985 e 0.986, respectivamente (TABELA 1).

Tabela 1. Teste de *t-Student* e correlação de Pearson entre a medida de TSM obtida nas imagens termográficas e as estimativas de TSM de frangos de corte, calculadas a partir das Eq. 1 e Eq. 2.

	N	Média	P-valor	Correlação de Pearson
Imagem termográfica (IT)	150	32.2 ± 4.0	0.744	0.985
DALHKE (2005)	150	32.0 ± 5.0		
Imagem termográfica (IT)	150	32.2 ± 4.0	0.975	0.986
RICHARDS (1971)	150	32.2 ± 4.8		

Segundo CANGAR et al. (2008), para ter eficiência no controle climático, mais eficiência no uso de energia, e melhor projeto de alojamento de frangos de corte, é importante o estudo da temperatura superficial das aves, para o entendimento da transferência de calor para o ambiente.

Não houve diferença estatística ($P\text{-Valor} > 0.05$) entre as equações utilizadas para estimar a TSM (DAHLKE et al., 2005; RICHARDS, 1971) e a medida de TSM obtida com imagem termográfica (IT), em relação à idade das aves (FIGURA 2).

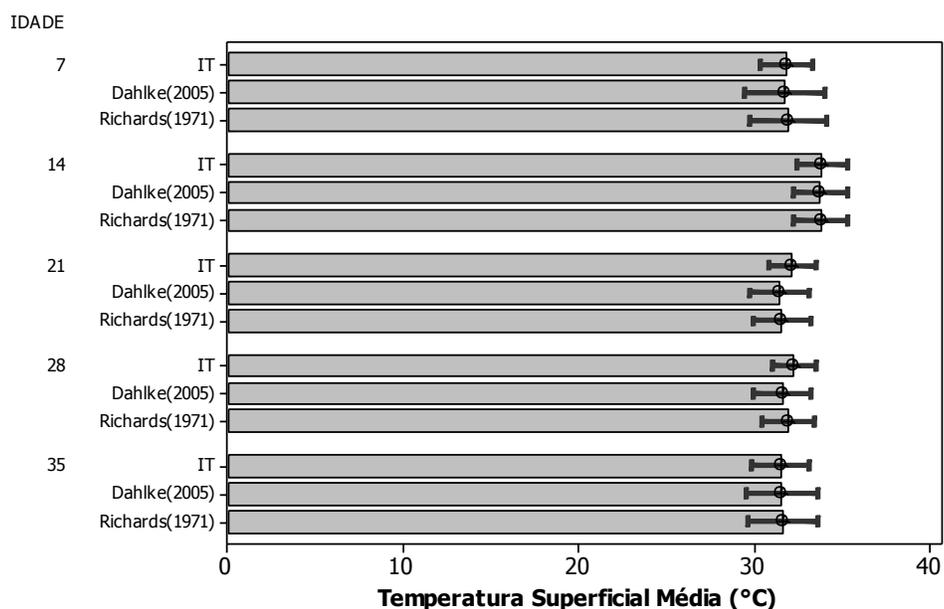


Figura 2. Variação da estimativa de temperatura superficial por imagem termográfica infravermelha (IT), DALHKE et al. (2005) e RICHARDS (1971), em relação à idade das aves.

As médias de temperatura superficial das aves por idade não apresentam diferenças significativas ($P\text{-Valor} = 0.17$). A menor TSM, para aves com 35 dias de idade, (TABELA 2), está de acordo com TESSIER et al. (2003) que observaram a menor temperatura superficial média em aves mais velhas, aos 35 dias de idade, provavelmente consequência do maior cobertura de penas. Os autores citam que a temperatura do núcleo é normalmente constante ($41\text{ }^{\circ}\text{C}$), mas diminui sobre a zona periférica. Porém, as diferenças entre as médias de temperatura superficial por idade, não foram significativas, sendo observada a maior média nas aves com 14 dias de idade. Já as médias da temperatura superficial das aves em diferentes ambientes, apresentam diferenças significativas ($P\text{-Valor} = 0,01$), em que a TSM aumenta

significativamente, à medida que a temperatura do ar aumenta. Segundo CANGAR et al. (2008) a vascularização superficial está diretamente relacionada ao acréscimo da temperatura superficial em aves, que é diretamente afetado pela temperatura do ar (TABELA 2).

Tabela 2. Variação da temperatura superficial média (TSM) das aves medida com termografia infravermelha por idades das aves e por temperatura do ar.

Idade(dias)	Temperatura do ar			Média ¹	P-Valor
	18 °C	25 °C	32 °C		
7	27.3 ^{abC} ± 1.0	31.5 ^{bB} ± 0.6	36.8 ^{abA} ± 0.5	31.9 ± 4.0	
14	28.7 ^{aC} ± 1.0	35.4 ^{aB} ± 0.8	37.5 ^{aA} ± 1.0	33.9 ± 4.0	
21	28.6 ^{aC} ± 1.5	31.1 ^{bB} ± 1.5	36.8 ^{abA} ± 0.4	32.2 ± 3.7	
28	28.6 ^{aC} ± 1.6	31.9 ^{bB} ± 1.1	36.3 ^{bcA} ± 0.7	32.3 ± 3.4	
35	26.4 ^{bC} ± 0.8	31.3 ^{bB} ± 0.5	36.8 ^{abA} ± 0.3	31.5 ± 4.4	
Média ²	27.9 ^C ± 1.5	32.2 ^B ± 1.9	36.8 ^A ± 0.7		0.01
P-Valor				0.17	

¹Diferença não significativa (P-Valor > 0.05), ²Diferença significativa (P-Valor < 0.05) pelo teste de F. Letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa entre as linhas pelo teste de Tukey a 5%; letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas entre as colunas pelo teste de Tukey a 5%.

Pela análise de regressão, os dados de TSM por idade apresentaram-se uma equação quadrática (Eq. 3), em que a maior temperatura superficial foi aos 14 dias, provavelmente pela menor cobertura de pena das aves. E, pela temperatura do ar, uma equação linear (Eq. 4).

$$\hat{Y} = 31.18 + 1.39\text{idade} - 0.27 \text{ idade}^2, (R^2 = 0.80), \quad \text{Eq. 3}$$

$$\hat{Y} = 16.4 + 0.635 \text{ Tar}, (R^2 = 0.84) \quad \text{Eq. 4}$$

Representando o aumento da temperatura superficial da ave em relação à temperatura do ar (Tar). A Equação 5, obtida pela regressão multivariada apresenta, indício de maior influência da temperatura do ar na determinação da temperatura superficial média (TSM).

$$\hat{Y} = 17.1 + 0.635 \text{ Tar} - 0.0326 \text{ idade}, (R^2 = 0.87) \quad \text{Eq. 5}$$

A tendência da diminuição da temperatura superficial das aves com a idade ocorre devido ao aumento do empenamento em diferentes locais, que age como uma camada isolante (GARCIA et al., 2002).

A velocidade do ar é o parâmetro que mais influência a perda de calor sensível e contribui para a capacidade de aclimatação dos frangos de corte, pois, aumenta a capacidade de regular a temperatura corporal em condições de calor (YAHAV et al., 2005). Nesta pesquisa, a velocidade do ar foi mantida nula para testar a variação de temperatura superficial da ave, sem influência desta variável. A umidade relativa variou de $76 \pm 3 \%$ aos 18°C , $68 \pm 2 \%$ aos 25°C e $65 \pm 3 \%$, aos 32°C de temperatura do ar, dentro da câmara climática.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 3, o ΔT (diferença da TSM e da temperatura do ar) apresentou diferença significativa em relação à idade das aves (P-valor = 0.03), pela ANOVA. A maior diferença ocorreu nas aves com 14 dias de idade ($8.8 \pm 2.5^\circ\text{C}$) e não foi diferente estatisticamente do ΔT aos 28 dias ($7.3 \pm 2.9^\circ\text{C}$). Aos 7, 21 e 35 dias, foram observados ΔT de $6.9 \pm 2.0^\circ\text{C}$, $7.2 \pm 2.8^\circ\text{C}$ e $6.5 \pm 1.6^\circ\text{C}$, respectivamente, e estes valores não diferiram estatisticamente do ΔT aos 28 dias. A diferença significativa do ΔT de frangos de corte, em relação à idade das aves, foi reportado por CANGAR et al. (2008), que encontraram a maior diferença aos 28 dias em razão da muda de penas ocorrida nessa idade.

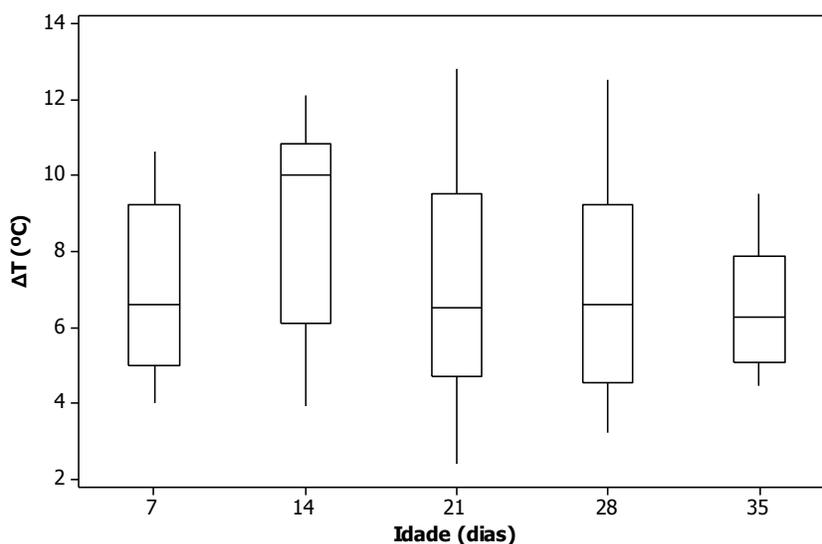


Figura 3. *Bloxplot* do efeito da idade na diferença entre temperatura superficial média dos frangos de corte e a temperatura do ar ΔT em ($^\circ\text{C}$).

Apesar dos resultados indicarem que, a diferença em temperatura superficial média e a temperatura do ar com 14 e 28 dias não serem diferentes estatisticamente, a maior média aos 14 dias frente às outras idades decorre da menor cobertura de penas, com maior área da pele exposta maior a temperatura média superficial e maior a diferença com temperatura do ar.

As temperaturas superficiais das asas, cabeça, pernas, dorso e crista das aves aumentaram significativamente ($P\text{-Valor} < 0,05$), com o aumento da temperatura do ar. A maior diferença entre as temperaturas superficiais ocorreu nas pernas ($14,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) entre as temperaturas do ar de 18 e $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ (FIGURA 4). Esse resultado está de acordo com NÄÄS et al. (2010) que afirmaram que a região sem penas fornecem maior gradiente de temperatura superficial, quando há variação de temperatura do ar.

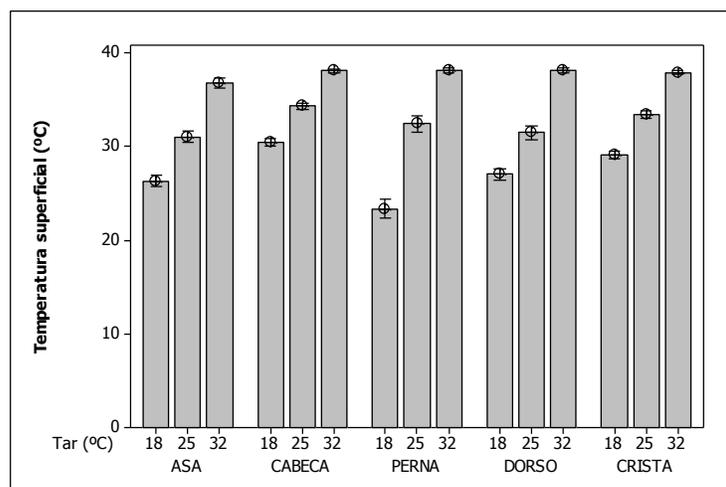


Figura 4. Variação da temperatura superficial das partes da ave em relação a temperatura do ar (Tar).

As menores temperaturas superficiais na temperatura do ar de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ é resultado da vasoconstrição periférica, onde a ave mantém mínima a circulação do sangue para não perder calor. Essa vasoconstrição foi mais acentuada nas pernas que na crista, que é outra área que não tem cobertura de penas, por sua área ser maior. Somente a temperatura superficial das pernas teve efeito significativo ($P\text{-Valor} < 0,05$), em relação à idade do frango de corte, provavelmente pelo mecanismo de vasoconstrição, que diminui o fluxo de sangue nas áreas não cobertas por penas (TABELA 3). Esse efeito da idade na temperatura superficial das partes foi observado por CANGAR et al. (2008) nas asas e no dorso de frangos de corte de 3 a 37 dias de idade.

Tabela 3. Variação da temperatura superficial das partes da ave por idades.

Idade	Temperatura superficial				
	Asa	Cabeça	Perna	Dorso	Crista
7	32.2 ± 5.9	33.7 ± 4.3	30.0 ^{ab} ± 7.7	31.9 ± 5.8	32.9 ± 4.4
14	32.3 ± 3.9	34.4 ± 3.6	33.6 ^a ± 4.5	34.0 ± 4.2	33.8 ± 3.8
21	31.1 ± 4.2	33.6 ± 3.2	31.1 ^{ab} ± 6.6	31.5 ± 4.5	32.7 ± 3.8
28	30.7 ± 3.6	35.0 ± 2.5	28.6 ^b ± 7.6	32.2 ± 4.0	34.1 ± 3.1
35	30.4 ± 5.6	34.6 ± 3.0	33.0 ^a ± 5.6	31.3 ± 5.7	33.7 ± 3.8
<i>P-Valor</i>	0.401	0.392	0.019*	0.225	0.511

*Diferença significativa pelo teste de F. Letras diferentes na coluna representam diferenças significativa pelo teste de Tukey com 95% de confiança.

CONCLUSÃO

As imagens termográficas constituem uma ferramenta de precisão na estimativa de temperaturas superficiais médias (TSM) e pode ser usada para medir a TSM de frangos de corte.

A temperatura superficial média de frangos de corte aumenta com o aumento da temperatura do ar e não difere estatisticamente em relação à idade dos 7 aos 35 dias em ambiente controlado.

REFERÊNCIAS

CANGAR, O. et al. Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers. **Poultry Science**, v.87: p. 2493–2499., 2008.

CZARICK, M. **Thermal imaging in the poultry industry**. 8 p. The University of Georgia, 2007.

DAHLKE, F. et al. Empenamento, níveis hormonais de triiodotironina e tiroxina e temperatura corporal de frangos de corte de diferentes genótipos criados em diferentes condições de temperatura. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 664-670, mai./jun. 2005.

FUKAYAMA, E. H. et al. Efeito da temperatura ambiente e do empenamento sobre o desempenho de frangas leves e semipesadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1272-1280, nov./dez., 2005.

GARCIA R.G. et al. Efeito da Densidade de Criação e do Sexo Sobre o Empenamento, Incidência de Lesões na Carcaça e Qualidade da Carne de Peito de Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 4, n. 1, jan./apr., 2002.

LAGANÁ, C. et al. Effects of the reduction of dietary heat increment on the performance, carcass yield, and diet digestibility of broilers submitted to heat stress. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 45-51, jan./mar., 2007.

NÄÄS, I. A. et al. Broilers surface temperature distribution of 42 day old chickens. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 497-502, sep./oct., 2010.

RICHARDS, S.A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. **Journal of Physiology**, v. 216, n. 1, p. 1-10, jul. 1971.

TESSIER, M. et al. Abdominal Skin Temperature Variation in Healthy Broiler Chickens as Determined by Thermography. **Poultry Science**, v. 82, n. 5, p. 846-849, May. 2003.

WELKER, J. S. et al. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 8, p. 1463-1467, fev., 2008.

YAHAV, S. et al. Sensible heat loss: the broiler's paradox. **World's Poultry Science Journal**, v. 61, p. 419-434, 2005.

YAHAV, S. et al. The Effect of Ventilation on Performance Body and Surface Temperature of Young Turkeys. **World's Poultry Science Journal**, v. 61, p. 419-434, 2008.

ZHOU, W.T.; YAMAMOTO, S. Effects of environmental temperature and heat production due to food intake on abdominal temperature, shank skin temperature and respiration rate of broilers. **British Poultry Science**, v. 38., p. 107-114., 1997.

CAPÍTULO II

ANÁLISE TERMOGRÁFICA EM AVIÁRIOS COM DIFERENTE SISTEMA DE VENTILAÇÃO

RESUMO: As instalações avícolas devem assegurar a manutenção da homeotermia para os frangos de corte, mantendo o conforto térmico animal e garantindo o bem-estar na produção. Diante disso a pesquisa propõe o registro das condições de alojamento das aves em dois aviários com sistema de ventilação distinto localizado na mesma região geográfica, e associar as temperaturas superficiais das aves e do entorno de produção com as condições climáticas ambientais. Também é objetivo deste trabalho estimar da perda de calor sensível nos dois aviários. Os dois aviários avaliados possuem orientação leste-oeste e as mesmas dimensões: 12 m de largura, 120 m de comprimento e pé-direito de 3,0 m. Os pilares são de concretos com espaçamento de 8 m. As tesouras são de madeiras e a cobertura de telhas de cerâmica no aviário 2 e fibrocimento no aviário 1. No aviário 1, que possui ventilação tipo túnel com pressão negativa, existe na entrada de ar o resfriamento por painel evaporativo. No aviário 2 a ventilação é natural associada a ventiladores. Os aviários foram divididos em seis quadrantes para a coleta das temperaturas superficiais com auxílio da câmera termográfica infravermelho e das variáveis do ambiente térmico. As coletas foram feitas semanalmente com as aves de idade 7, 14, 21 e 28 dias. Os dois aviários propiciaram um ambiente de conforto durante o período avaliado, não diferindo temperatura e umidade do ar registrado diariamente nos dois sistemas de ventilação. Verificou-se que as temperaturas superficiais das aves são mais associadas com a temperatura superficial do entorno de produção. Durante o período experimental o aviário 1 apresentou maior velocidade do ar, conseqüentemente foi o sistema de ventilação que proporcionou a maior perda de calor sensível.

PALAVRAS-CHAVE: Avicultura, sistema de ventilação, termografia, termorregulação.

ABSTRACT: The poultry houses must maintain the homeothermy for broilers, while maintaining the thermal comfort and ensuring the well-being in production. Given this the research proposes the registration of housing conditions of birds in two broiler houses with distinct ventilation system located in the same geographic region, and to correlate the surface temperatures of birds and the surrounding production environment with the climatic conditions, as well as to estimated sensible heat loss in the two houses. The two houses had the same dimensions (12 m wide and 120 m in length) and east-west orientation. Both with ceiling height of 3.0 m concrete poles every 8 m, with wood shears and clay tiles roof in house 1 and fiber cement tiles in house 2. In house 1 the air intake was made using air painel evaporativo and pads. The houses were divided into six quadrants for the registration of surface temperatures using infrared thermographic camera and climatic variables. The recordings were made weekly with the birds from age 7, 14, 21 and 28 days. The two houses provided environmental comfort during the evaluation period (1 to 28 days of age), not differing temperature and humidity recorded daily in the two ventilation systems. The surface temperatures of birds are most closely correlated with the surface temperature in the production environment. During the experimental period the aviary 1 showed the highest rate of air, therefore it was the ventilation system that provided the greatest loss of sensible heat.

KEYWORDS: Poultry, ventilation system, thermography, thermoregulation.

INTRODUÇÃO

Para manter a competitividade da produção avícola brasileira é necessário aperfeiçoar os abrigos e o manejo, para superar os efeitos prejudiciais dos fatores ambientais críticos, como: altas temperaturas e umidade relativa do ar. As instalações devem assegurar a manutenção da homeotermia, para manter o conforto térmico animal e garantir o bem-estar na produção.

Há basicamente dois tipos de sistemas de ventilação utilizados na avicultura brasileira: Sistemas de ventilação de pressão negativa é aquele em que o ar é succionado por exaustores acarretando em vácuo parcial no interior do aviário, e o sistema de ventilação de pressão positiva o ar é forçado para dentro da instalação, ocasionando em aumento da pressão do ar, o gradiente de pressão interno-externo gerado acarretará no deslocamento do ar interno para fora do aviário.

Uma definição adequada da zona de conforto térmico pode ser indicada como sendo a faixa de temperatura ambiente em que a taxa metabólica é mínima e a homeotermia é mantida com menor gasto energético. A capacidade das aves de dissipar calor diminui a medida que a temperatura ambiente e a umidade relativa se elevam acima da zona termoneutra; como resultado, a temperatura corporal da ave sobe e logo aparecem os sintomas do estresse calórico (CURTO et al., 2007).

Análise termográfica surgiu como técnica de mapeamento da temperatura superficial das aves, principalmente por ser uma forma de medição não invasiva, propiciando também a estimativa de perda de calor. É de extrema importância o cálculo das transferências de calor e de massa entre as aves e o ambiente ao seu redor, para o dimensionamento de sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo, bem como a inferência sobre o manejo das aves (AERTS et al., 2003; YAHAV et al., 2005).

O objetivo da presente pesquisa foi registrar as condições de alojamento de frangos de corte em dois aviários distintos, na mesma região geográfica, correlacionando as temperaturas superficiais com as condições climáticas de alojamento e a estimativa de perda de calor nos dois tipos de aviários.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma granja comercial de frangos de corte no município de Rio Claro, localizado no Centro-Leste do estado de São Paulo, nas coordenadas 22° 05' e 22° 40' S, 47° 30' e 47° 55' W com ventos predominantes SE. Foram utilizados dois aviários com sistemas de ventilação diferentes dispostos lado a lado à distância de 30 m entre si. O aviário 1 de pressão negativa ou ventilação forçada com utilização exaustores, o aviário 2, é do tipo convencional com ventilação natural associada a ventiladores. Acompanhados em um ciclo de produção de frangos de corte de 1 a 28 dias de idade. Os aviários foram divididos em seis partes: três partes ao longo do comprimento, divididas ao meio, classificadas como quadrantes (FIGURA 1).



Figura 1. Representação dos quadrantes nos dois aviários.

Os dois aviários com as mesmas dimensões 12 m de largura por 120 m de comprimento e orientação leste-oeste. Ambos os com pé-direito de 3,0 m e pilares de concreto a cada 8 m, com tesouras de madeiras e telhado com telhas de cerâmica no aviário 2 e fibrocimento no aviário 1, no aviário 1 a entrada de ar é feita com resfriamento do ar com utilização de painel evaporativo.

A cortina lateral utilizada para vedar o aviário 1 no sistema de ventilação por pressão negativa apresenta cor interna e externa azul e o forro interno utilizado como isolante térmico nos dois aviários com cor interna e externa amarela, ambos de material não laminado de polipropileno, espessura de 0,17 mm e emissividade 0,97. A cama de frango era constituída de maravalha misturada com palha de arroz.

Para o monitoramento das variáveis climáticas foi utilizado o equipamento Hobo H8 Pro na fabricante Onset® para coleta de dados diários referentes à Temperatura do ar (Ta),

Umidade Relativa (UR) alocados no centro geométrico de cada quadrante no aviário. O equipamento anemômetro HTA 4200 Kestrel[®] para os dados referentes à Velocidade do Ar (VA) por quadrante no momento das análises termográficas.

Para coleta de dados de temperaturas superficiais foram tiradas fotos termográficas semanalmente nos dois aviários no horário de 12h00min, com auxílio da câmera termográfica infravermelho TESTO[®], em cada quadrante foram coletadas temperaturas superficiais da cama de frango, forro, cortina lateral e a temperatura superficial média das aves (TSMA) com idade de 7, 14, 21 e 28 dias. A TSMA foi coletada selecionando a imagem de cada ave na foto termográfica e coletando a temperatura média da área selecionada (NASCIMENTO et al., 2011).

Para comparar as condições térmicas internas nos aviários foram utilizadas as fotos termográficas panorâmicas (FIGURA 2). As fotos foram tiradas semanalmente no mesmo momento em cada aviário aproveitando as mesmas condições ambientais externas. Com auxílio do software IRSOFT[®] da câmera termográfica foi gerado o histograma da temperatura superficial das aves nas fotos panorâmicas (TSAP) e selecionado as médias de 10 fotos por aviário por dia.

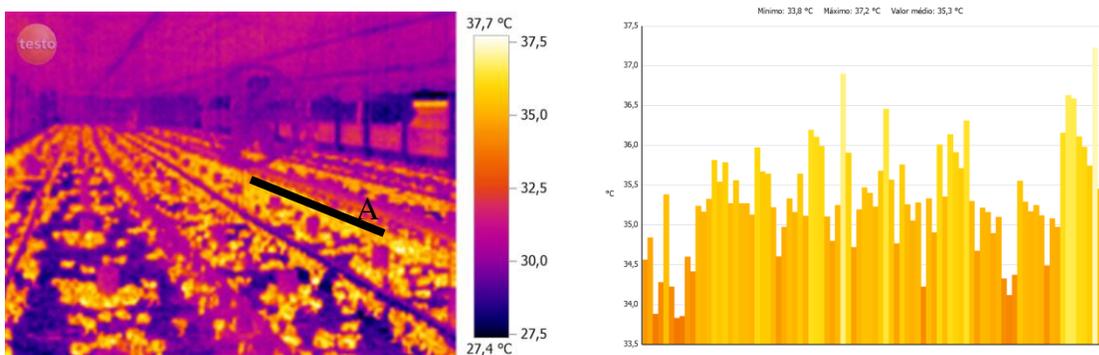


Figura 2. Fotos da imagem termográfica interna dos aviários e histograma do perfil térmico das aves selecionadas na reta (A).

As perdas de calor sensível por radiação (Q_R) e por convecção (Q_C) nos dois aviários, foram calculadas no momento da coleta da foto termográfica, de acordo com o proposto por YAHAV et al. (2004) e VAN BRECHT et al. (2005), respectivamente, mostradas nas equações (1) e (2).

$$Q_R = e \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{ar}^4) \quad \text{Eq. 1}$$

$$Q_C = h \cdot A \cdot (T_s - T_{ar}) \quad \text{Eq. 2}$$

$$Q = Q_R + Q_C \quad \text{Eq. 3}$$

$$h = 0,336 \cdot 4,184 \cdot (1,46 + \sqrt{V_{AR} \cdot 100}) \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: Q = calor total ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) equação (3), e = emissividade (0,95), σ = constante de Stefan-Boltzman ($5,6691 \times 10^{-8}$), A = área da superfície da ave h = coeficiente de transferência de calor, dada pela fórmula (4).

A área superficial da ave (A_s) será calculada utilizando equação (5) determinada por Silva et al., (2009):

$$A_s = 3,86 Mc^{0,74} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde, Mc corresponde à massa corporal em gramas e área é obtida em cm^2 . Semanalmente foram pesadas 10 aves por quadrante para obtenção do peso médio, totalizando 60 aves por aviário.

Foram utilizadas análises de variância (ANOVA) e teste de F a 95% de grau de confiança, seguidos de testes de médias Tukey a 5%. Também foram aplicados teste de t-Student para comparações entre os dois aviários com grau de confiança de 95%, quando apresentavam distribuição normal dos dados. O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a 95% foi utilizado nos dados de temperatura superficial que não apresentaram distribuição normal. A análise multivariada de componentes principais foi utilizada para gerar gráficos de associação das temperaturas superficiais com variáveis ambientais nos aviários com sistemas de ventilação distintos, utilizando programa computacional estatístico MINITAB® 15.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de temperatura (T_a) e umidade do ar (UR) em função da semana de produção, para cada sistema de ventilação, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Média da Temperatura (Ta) e Umidade Relativa (UR) do ar nos dois aviários das quatro semanas.

Semana	Ta (°C)		UR (%)	
	Aviário 1	Aviário 2	Aviário 1	Aviário 2
1	27.7 ± 2.0	28.2 ± 1.5	53.4 ± 9.1	49.2 ± 6.2
2	26.1 ± 1.6	25.9 ± 1.6	62.2 ± 6.9	61.0 ± 5.3
3	26.4 ± 1.5	26.1 ± 1.3	63.7 ± 9.4	63.2 ± 6.8
4	25.6 ± 1.5	25.5 ± 1.2	69.7 ± 6.5	68.2 ± 3.6
Média	26.4 ± 1.8	26.3 ± 1.7	62.4 ± 9.5	60.9 ± 8.3

*Teste de t-Student a 5%.

Observa-se na Tabela 1 que não houve diferenças entre os sistemas ventilação tipo túnel (pressão negativa) no aviário 1 e ventilação convencional (pressão positiva) no aviário 2 pelo teste de *t-Student* com 95% de confiança (TABELA 1). As maiores temperaturas na primeira semana são reflexos da fase de aquecimento, a partir da segunda semana a temperatura do ar variou de 25.5 a 26,1 °C não havendo problema de estresse térmico para as aves na fase de crescimento nos dois aviários (TINOCO, 2004). A umidade relativa variou entre a faixa ideal de 50 a 70% nos dois sistemas de ventilação, de acordo com (FURTADO et al., 2003).

Os resultados estão de acordo com SANTOS et al. (2009) onde concluíram que os dois sistemas de ventilação estudados, o de modo túnel e o de ventilação lateral, mostraram-se eficientes para manter as aves em condições de conforto térmico no interior dos aviários.

A tabela 2 representa a variação da temperatura (Ta) e da Umidade Relativa (UR) do ar por quadrante nos dois tipos de aviários. Observa-se que houve diferença estatística (P-Valor < 0.05) das duas variáveis entre os quadrantes nos dois sistemas de ventilação.

A região oeste representada pelos quadrantes 5 e 6 em ambos os aviários apresentaram as maiores temperaturas do ar, no aviário 1 foram iguais estatisticamente ao quadrante 4. Os quadrantes 1 e 2 que representam a parte leste dos aviários apresentam a menor temperatura do ar, sendo menor no aviário 1 provavelmente pela entrada de ar com sistema de resfriamento painel evaporativo. A parte central dos aviários apresenta temperatura intermediária entre as extremidades (TABELA 2).

Tabela 2. Variação da temperatura (Ta) e da Umidade Relativa (UR) por quadrante nos aviários 1 e 2.

Quadrante	Aviário 1		Aviário 2	
	Ta (°C)	UR (%)	Ta (°C)	UR (%)
1	24.8 ^c ± 0.7	73.1 ^a ± 6.1	25.0 ^c ± 1.3	63.4 ^a ± 8.6
2	24.6 ^c ± 0.7	64.6 ^b ± 7.0	25.1 ^c ± 1.3	63.1 ^a ± 8.5
3	26.6 ^b ± 1.5	62.4 ^b ± 9.8	26.5 ^b ± 1.0	59.7 ^{ab} ± 5.4
4	26.9 ^{ab} ± 1.5	61.4 ^{bc} ± 9.5	26.1 ^b ± 1.3	62.0 ^{ab} ± 8.8
5	27.7 ^a ± 1.2	56.9 ^c ± 6.7	27.9 ^a ± 1.1	56.1 ^b ± 6.6
6	27.9 ^a ± 1.1	56.0 ^c ± 6.6	27.1 ^{ab} ± 1.7	60.9 ^{ab} ± 9.7
P – Valor	0.01*	0.01*	0.01*	0.04*
CV (%)	6.6	15.2	6.3	13.6

*Diferença significativa (P-Valor < 0.05) pelo teste de Tukey a 5%.

A Figura 3 representa as variáveis climáticas (temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar) no momento das coletas das temperaturas superficiais com termografia infravermelho por semana em cada aviário.

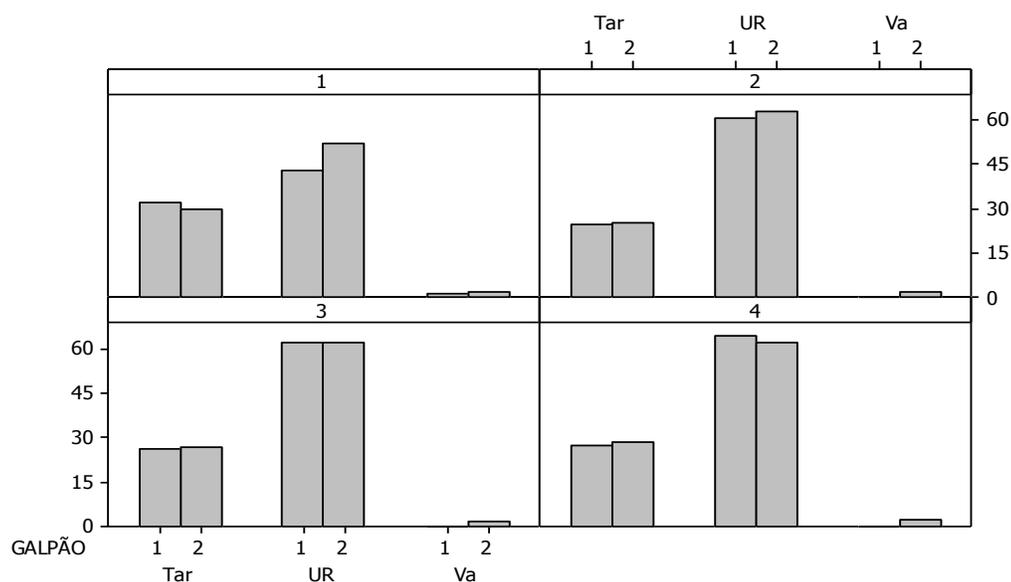


Figura 3. Temperatura, umidade e velocidade do ar no momento da coleta das imagens termográficas por semana.

Os dados de temperaturas superficiais média das aves (TSMA), forro e da cama de frango foram comparados entre os dois aviários pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (FIGURA 4). A temperatura superficial da cortina lateral foi coletada apenas no aviário 1, pois, a cortina lateral no aviário convencional é exposta dependendo do manejo diário e não fixa com os aviários tipo túnel. Nos dias de coletas de temperatura superficiais, quando as aves tinham idade de 7, 14, 21 e 28 a cortina lateral no aviário 2 não foi exposta.

A temperatura superficial média das aves (TSMA) não apresentou diferença significativa (P-Valor = 0.210) pelo teste de Kruskal-Wallis entre os aviários com diferentes tipos de ventilação, tipo túnel e convencional as medianas foram de 32,3 e 30,2 °C respectivamente.

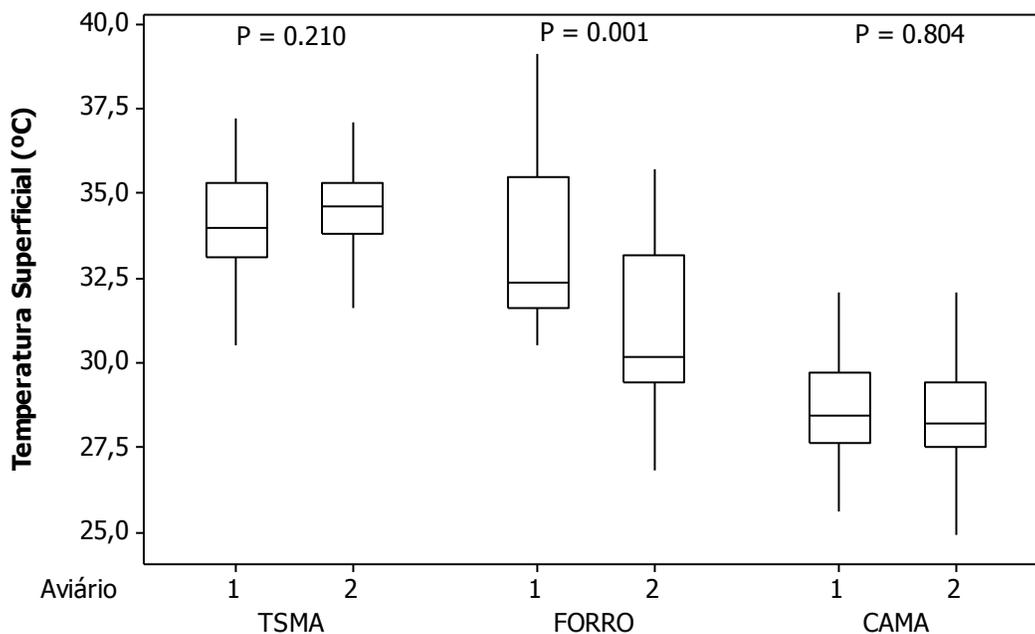


Figura 4. Gráfico *BloxPlot* dos dados de temperatura superficial média das aves (TSMA), do forro e da cama de frango entre os aviários 1 e 2, comparados pelo teste de Kruskal-Wallis.

A temperatura superficial do forro de isolamento interno foi maior significativamente (P-Valor = 0.001) no aviário 1 em relação ao aviário 2 (35.5 e 32.9 °C, respectivamente), Enquanto que a temperatura superficial da cama de frango não apresentou diferença significativa (P-Valor = 0.804) entre os aviários (FIGURA 4). ABREU et al. (2007) concluíram que o uso de forro resulta em melhores condições de conforto térmico para frangos

de corte, a maior temperatura superficial no aviário 1 pode ser justificado pelo tipo de telhado fibrocimento, em relação a telha de cerâmica no aviário 2.

Em relação aos quadrantes houve diferença significativa (P-Valor < 0.05) nas temperaturas superficiais do forro e da cortina lateral no aviário 1, segundo a Tabela 3. Os quadrantes (1, 3 e 5) com maiores temperaturas superficiais de forro e de cortina no aviário 1, estão localizados na face norte, com excessão do quadrante 6 na temperatura superficial do forro e do quadrante 4 na temperatura superficial da cortina lateral, ambos localizado na face sul dos aviários.

Tabela 3. Variação da temperatura superficial (°C) por quadrante nos aviários 1 e 2.

Temperatura superficial	Aviário	Quadrantes						P-Valor	CV(%)
		1	2	3	4	5	6		
TSM	1	34.5	34.6	34.4	34.7	35.0	34.7	0.48	4.2
	2	34.8	34.7	35.0	34.8	35.0	35.1	0.61	3.4
Cama de frango	1	29.4	28.9	29.7	28.8	29.6	29.4	0.07	5.5
	2	29.5	28.6	29.7	29.3	29.0	29.0	0.08	6.2
Forro	1	34.6 ^{ab}	34.2 ^b	34.6 ^{ab}	34.0 ^b	35.9 ^a	34.9 ^{ab}	0.03*	8.0
	2	32.4	32.0	32.5	32.2	33.0	33.0	0.54	9.0
Cortina lateral	1	30.8 ^a	29.5 ^b	31.5 ^a	30.7 ^{ab}	32.0 ^a	29.6 ^b	0.01*	6.9
	2	-	-	-	-	-	-	-	-

*Diferença significativa (P-Valor < 0.05) pelo teste de Tukey a 5%.

De acordo com a análise das imagens termográficas panorâmicas a temperatura superficial das aves (TSAP) diminui com o aumento da idade, em ambos os aviários, sendo diferente (P-Valor = 0.03) pelo teste de *t-student* aos 14 dias entre os dois sistemas de ventilação, onde a maior temperatura superficial foi no aviário 2 de 35.2 °C enquanto que no aviário 1 foi de 34.1 °C (FIGURA 5).

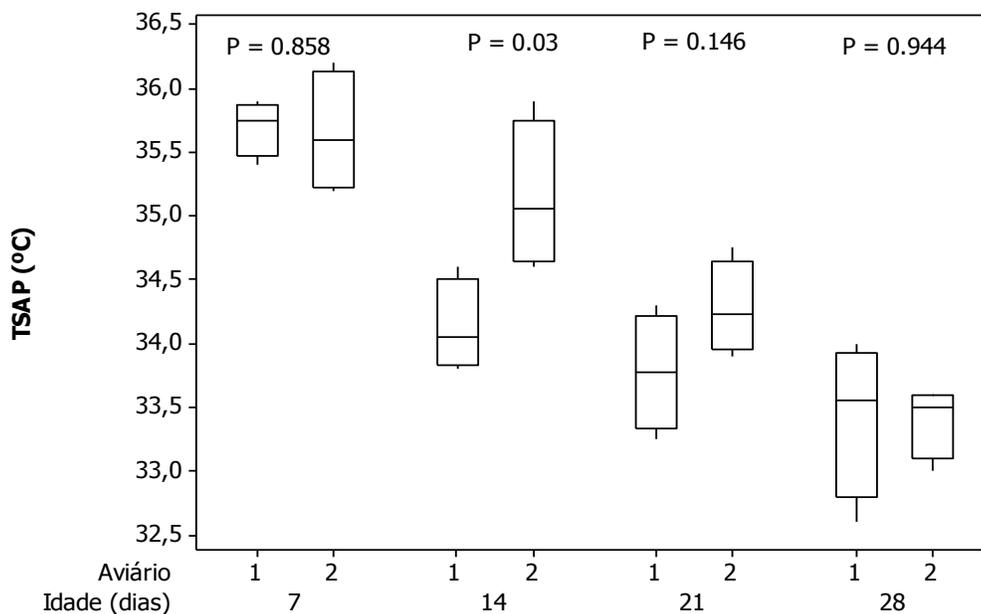


Figura 5. *BloxPlot* das temperaturas superficiais das aves nas fotos panorâmicas (TSAP) por idade.

TESSIER et al. (2003) estudando a variação da temperatura da pele de frangos de corte determinados por termografia, encontraram que a menor temperatura de pele média observada em aves mais velhas, provavelmente consequência do tamanho maior. A temperatura basal normalmente é constante em aves (41 ° C), mas diminui sobre a zona periférica

Os dados de termografia foram correlacionados na Figura 6, os gráficos de componentes principais indicam que a temperatura superficial média das aves (TSMA) está mais correlacionada com as temperaturas superficiais do entorno de produção: cortina lateral, forro e temperatura superficial da cama nos dois sistemas de ventilação.

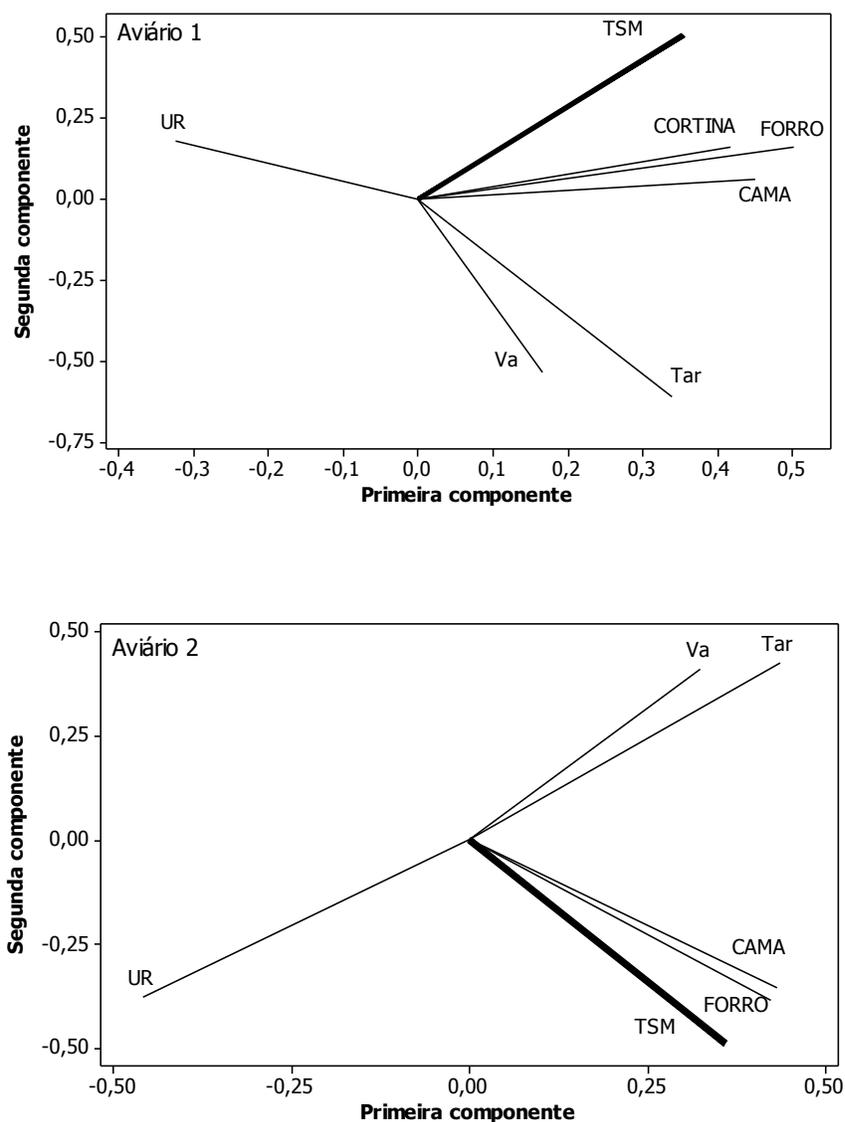


Figura 6. Gráfico de componentes principais das temperaturas superficiais, temperatura do ar (Ta), Umidade Relativa (UR) e velocidade do ar (Va).

Em ambos os aviários a umidade relativa do ar foi menos correlata com a TSMA, pelo sentido diferente da reta. Enquanto que a temperatura e a velocidade do ar estão correlacionadas positivamente com a TSMA, porém, menos que as temperaturas superficiais do entorno (FIGURA 6).

A correlação da temperatura do ar com a temperatura superficial das aves é citada por (YAHAV et al., 2005; DAHLKE et al., 2005; WELKER et al., 2008), no entanto o trabalho demonstra que essa correlação é maior com a temperatura superficial da instalação.

Confirmando a necessidade da utilização de materiais alternativos de baixa condutividade térmica para auxiliar no conforto térmico animal.

A estimativa de perda de calor sensível representada pelo calor de convecção (Qc) e radiação (Qr) e o calor total (Qt) em cada aviário por semana, estão apresentados na Tabela 4. A perda de calor por condução é mínima nas aves, por isso foi desprezada.

Tabela 4. Estimativa da perda de calor por convecção (Qc), radiação (Qr) e total (Qt) por semana, utilizando dados da termografia.

Semana	Aviário	Perda de calor (w.m ⁻²)		
		Qc	Qr	Qt
1	1	2.2 ^A ± 0.4	8.10 ⁻⁴ ± 1.10 ⁻⁴	2.2 ^A ± 0.4
	2	0.86 ^B ± 0.6	5.10 ⁻⁴ ± 8.10 ⁻⁵	0.86 ^B ± 0.6
2	1	6.4 ^A ± 1.1	2.10 ⁻³ ± 3.10 ⁻⁴	6.4 ^A ± 1.1
	2	2.1 ^B ± 2.0	2.10 ⁻³ ± 3.10 ⁻⁴	2.1 ^B ± 2.0
3	1	10.1 ^A ± 1.1	3.10 ⁻³ ± 3.10 ⁻⁴	10.1 ^A ± 1.1
	2	4.6 ^B ± 1.3	3,5.10 ⁻³ ± 2.10 ⁻⁴	4.6 ^B ± 1.3
4	1	6.7 ^A ± 1.7	2.10 ⁻³ ± 5.10 ⁻⁴	6.7 ^A ± 1.7
	2	4.4 ^B ± 1.0	2,8.10 ⁻³ ± 5.10 ⁻⁴	4.4 ^B ± 1.0

*Teste t-Student a 5%.

Observa-se que a perda de calor sensível foi maior (P-Valor < 0.05) no aviário 1 em relação ao aviário 2, pelo teste *t-Student* a 5%. Podemos observar que a no momento da coleta da temperatura superficial a velocidade do ar foi maior (P-Valor = 0,01) no aviário 1 (FIGURA 7), isso contribui com a maior perda de calor por convecção. A velocidade do ar é o parâmetro que mais influência a perda de calor sensível (YAHAV et al., 2005).

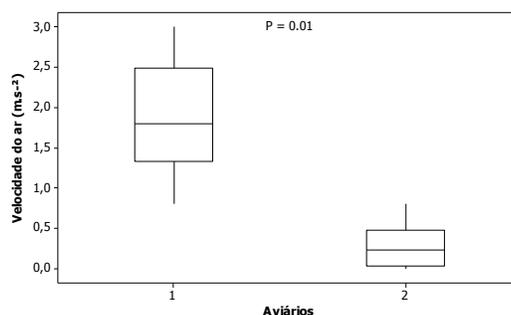


Figura 7. Velocidade do ar nos dois aviários durante o período experimental.

É importante maximizar as perdas de calor sensível através da diferença entre a temperatura superficial das aves e a temperatura do ar, quando essa diferença é mínima as aves aumentam a perda de calor por evaporação com auxílio da ofegação que tem custo energético elevado e queda da produção (BORGES et al., 2003).

CONCLUSÃO

Em condições de conforto térmico, as temperaturas superficiais das aves são mais associadas com a temperatura superficial do entorno de produção: cortina lateral, forro e cama de frango.

Nas condições experimentais deste trabalho, o aviário com ventilação tipo túnel proporcionou a maior perda de calor sensível.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. G. et al. condições térmicas ambientais e desempenho das aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 4, p. 1014-1020, 2007.

AERTS, M.; WATHES, C.M.; BERCKMANS, D. Dynamic data-based modelling of heat production and growth of broiler chickens: development of an integrated management system. **Biosystems Engineering**, v.84, n.3, p.257-66, 2003.

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

CURTO, F. P. F. et al. Estimativa do padrão de preferência térmica de matrizes pesadas (frangos de corte). **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 11, n. 2, p. 211-216, 2007.

DAHLKE, F. et al. Feathering, triiodothyronine and thyroxine plasma levels and body temperature of two broiler lines raised under different temperatures. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 664-670, 2005.

FURTADO, D. A.; DE AZEVEDO, P. V.; TINÔCO, I. F. F. Análise de conforto térmico em galpões avícolas com diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 7, n. 3, p. 559-564, 2003.

SANTOS, P. A. et al. Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. **Revista CERES**, Viçosa, v. 56, n. 2, p. 172-180, 2009.

SILVA, E. et al. Desenvolvimento e validação de um modelo matemático para o cálculo da área superficial de frangos de corte. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 1-7, Jan./Mar. 2009.

TESSIER, M. et al. Abdominal skin temperature variation in healthy broiler chickens as determined by thermography. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 5, p. 846-849, 2003.

TINÔCO, I. F. F. A granja de frangos de corte. In: MENDES, Ariel Antonio; NÄÄS, Irenilza de Alencar; MACARI, Marcos. **Produção de frangos de corte**, Campinas: FACTA. 2004. p. 55-82.

VAN BRECHT, A. et al. Quantification of the heat exchange of chicken eggs, **Poultry Science**, v. 84, n. 3, p. 353-361, Mar. 2005.

WELKER, J. S. et al. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. **Brazilian Journal of Animal Science**, Viçosa, v.37, n.8, p.1463-1467, 2008.

YAHAV, S. et al. Sensible heat loss: the broiler's paradox. **World's Poultry Science Journal**, Beekbergen, v.61, n.3, p.419-434, 2005

YAHAV, S. et al. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, Champaign, v. 83, n. 2, 253–258, 2004.

CAPÍTULO III

ÍNDICE FUZZY DE CONFORTO TÉRMICO PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO: A estimativa de conforto térmico na avicultura moderna é importante para que sistemas de climatização possam ser acionados no tempo correto, diminuindo perdas e aumentando rendimentos. Embora literatura corrente apresente alguns índices de conforto térmico, que são aplicados para essa estimativa, estes são baseados apenas em condições do ambiente térmico e não consideram fatores importantes inerentes aos animais, tais como genética e capacidade de aclimação, provendo, geralmente, uma estimativa inadequada do conforto térmico das aves. Este trabalho desenvolveu o Índice *Fuzzy* de Conforto Térmico (IFCT), com o intuito de estimar o conforto térmico de frangos de corte, considerando que o mecanismo usado pelas aves para perda de calor em ambientes fora da zona termoneutra é a vasodilatação periférica, que aumenta a temperatura superficial, e que pode ser usado como indicador do estado de conforto. O IFCT foi desenvolvido a partir de dois experimentos, os quais proporcionaram 108 cenários ambientais diferentes. Foram usadas imagens termográficas infravermelhas, para o registro dos dados de temperaturas superficiais das penas e da pele, e o grau de empenamento das aves. Para os mesmos cenários de ambiente térmico observados nos experimentos, foram comparados os resultados obtidos usando o IFCT e o Índice de Temperatura e Umidade (ITU). Os resultados validaram o IFCT para estimativa do conforto térmico de frangos de corte, sendo específico na estimativa de condições de perigo térmico, usual em alojamentos em países de clima tropical. Essa característica é desejável em modelos que estimem o bem-estar térmico de frangos de corte, pois situações classificadas como perigo acarretam no dispêndio de recursos para evitar perdas produtivas.

PALAVRAS-CHAVE: índice de conforto térmico, lógica *Fuzzy*, termografia infravermelho, zootecnia de precisão.

ABSTRACT: Estimating thermal comfort in modern poultry production is important for acclimatization systems can be triggered at appropriate time reducing losses and increasing yield. Although current literature presents some thermal comfort indexes which are applied for this estimation those are based just on ambient thermal conditions and do not consider important factors inherent to the animals such as genetics and capability of adaptation, generally providing inadequate estimation of the birds' thermal comfort. This research developed the Fuzzy thermal comfort index (FTCI) aiming to estimate broilers' thermal comfort considering that the mechanism used by the birds for losing heat in environments outside the thermoneutral zone is the peripheral vasodilatation, which increases the surface temperature. Measurements of surface feathers and skin temperature of birds were used. The FTCI was developed using the data of two experiments which provided 108 distinct environmental scenarios. Infrared thermal images were used for registering surface temperature of feathers and skin, as well as the birds' feathering degree. For the same scenarios of thermal environment both FTCI and the temperature and humidity index (THI) were compared. Results validated the FTCI for estimating broilers' thermal comfort, being specific for the estimation of danger conditions usually found in housing in tropical climate countries. This characteristic is advantageous in models which estimate broiler thermal welfare, as occurrence classified as danger may lead to economical downward in avoiding productive losses.

KEY WORDS: thermal comfort index, fuzzy logic, infrared thermograph, precision livestock production.

INTRODUÇÃO

A evolução da avicultura resultou em um frango de corte precoce e com grande eficiência para converter diferentes alimentos em proteína animal. Apesar disso, uma série de problemas metabólicos e de manejo tem surgido, destacando-se entre eles o estresse calórico. A susceptibilidade das aves ao estresse calórico aumenta à medida que a umidade relativa e a temperatura ambiente ultrapassam a zona de conforto térmico, dificultando assim a dissipação de calor, incrementando conseqüentemente a temperatura corporal da ave, com efeito negativo sobre o desempenho (BORGES et al., 2003). Com a evolução da produção avícola no país, muitas instalações sofreram adaptações físicas para alcançar os índices de produtividade almejados pelos padrões das genéticas. Os avanços são múltiplos e caminham sempre em direção da melhora do conforto das aves. Segundo MOURA et al. (2006) e SANTOS et al. (2009), o conforto térmico no interior de instalações avícolas é fator de alta importância, pois condições inadequadas afetam consideravelmente a produção de frangos de corte.

Índices comumente utilizados para medir conforto térmico de frangos de corte, como índice de temperatura e umidade, não levam em consideração a evolução genética ocorrida na avicultura de corte. Com isso, o aumento na temperatura superficial pode servir como resposta fisiológica da ave a condições inadequadas de alojamento, como também o empenamento, que é uma resposta adaptativa ao ambiente e que influencia a perda de calor. A câmera de termografia infravermelha é uma técnica moderna, segura e não invasiva que permite a visualização do perfil de temperatura superficial de um objeto ou uma cena. Os dados obtidos por escaneamento de computador são processados e apresentados na forma de mapas de temperatura, que permitem uma detalhada análise da temperatura do campo (DENOIX, 1994; TESSIER et al., 2003).

A perda de calor para o ambiente está relacionada com a temperatura superficial da ave, que consiste em um somatório das contribuições ponderadas pela área de cada parte do corpo. RICHARDS (1971) considera a temperatura superficial (TS) de frangos de corte, com base na contribuição de cada parte da ave de acordo com os pesos $TS = 0,03T_{crista} + 0,70T_{dorso} + 0,12T_{asa} + 0,06T_{cabeça} + 0,09T_{perna}$. (Eq.1). Para DAHLKE et. al (2005), a temperatura superficial média (TSM) da ave é representado pelos seguintes pesos $TSM = 0,12T_{asa} + 0,03T_{cabeça} + 0,15T_{perna} + 0,70T_{dorso}$ (Eq. 2). Entretanto, ambos os trabalhos evidenciam que as partes cobertas com penas contribuem de maneira diferente à perda de calor que as

partes de pele exposta. FUKAYAMA et al. (2005) relataram o efeito do empenamento e da temperatura ambiente no desempenho zootécnico de aves e concluíram que a diminuição na cobertura de penas modifica a faixa de conforto térmico das aves, tornando-as mais adaptadas à altas temperaturas. CAHANER et al. (1995) demonstraram que o aumento de temperatura interna é maior em frangos de empenamento normal do que em frangos portadores do gene *Na* (pescoço pelado), devido ao seu menor empenamento.

A teoria dos conjuntos *Fuzzy* é uma ferramenta para tratar de incertezas, em casos nos quais há falta de informações. Tem sido aplicada em produção animal, gestão e controle ambiente de instalações zootécnicas (GATES et al., 2001; VRANKEN et al., 2005) e na estimativa de conforto e bem-estar de animais criados em sistemas intensivos (OLIVEIRA et al., 2005; OWADA et al., 2007; PEREIRA et al., 2008; PERISSINOTTO et al., 2009).

Diante dos desafios da avicultura industrial contemporânea, que precisa reduzir perdas produtivas decorrentes do ambiente térmico do ambiente de criação, este trabalho propõe um índice de conforto térmico para frangos de corte, baseado em lógica *Fuzzy*, que utiliza duas medidas de temperatura superficial das aves (temperatura das penas e temperatura da pele) e um escore de empenamento das aves, atribuído por um especialista.

MATERIAL E MÉTODOS

O Índice *Fuzzy* de Conforto Térmico (IFCT) para frangos de corte foi desenvolvido a luz de teorias e experimentações referentes às perdas de calor da ave para o ambiente (YAHAV et al. 2004, 2005; TESSIER et al., 2003; SHINDER et al., 2007; CANGAR et al., 2008). Essas teorias e experimentações foram agrupadas neste trabalho em torno de três considerações: 1) a perda de calor para o ambiente está relacionada à temperatura superficial da ave, que consiste em um somatório das contribuições de cada parte do corpo, determinadas pela área de cada parte do corpo; 2) as áreas cobertas com penas dificultam a transferência de calor das aves para o ambiente e a sua temperatura superficial mantém forte correlação com a temperatura do ar e; 3) o grau de empenamento das aves, quando associado com a idade e a linhagem da ave, é um importante indicador de desempenho zootécnico.

Experimentos

Neste trabalho foram reunidos dados de dois experimentos. O primeiro foi realizado a campo e o outro, em ambiente controlado em câmara climática, no Laboratório de Conforto Ambiental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas-SP. Em ambos os experimentos foram registrados a temperatura e umidade relativa do ar com o Termohigrômetro Tri-Sense® e a temperatura superficial das aves da linhagem Cobb 500® usando a câmera termográfica infravermelho TESTO 800®. As temperaturas superficiais foram registradas em duas regiões das aves: temperatura das penas (CP) e temperatura da pele (SP), conforme exemplo ilustrado na Figura 1.

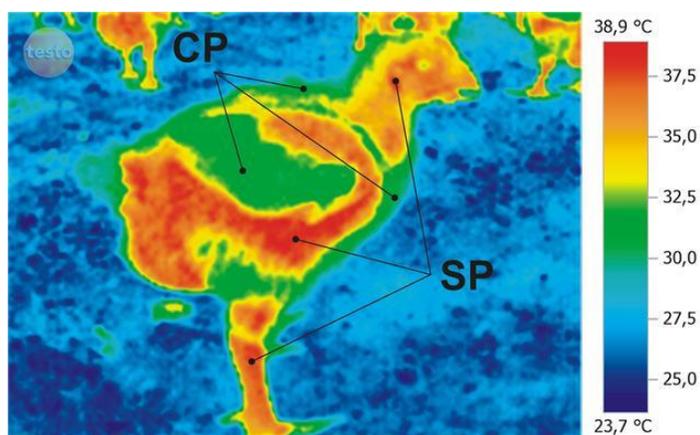


Figura 1. Imagem termográfica de uma ave com área da coleta das temperaturas superficiais de penas (CP) e de pele (SP).

Experimento 1

Os dados deste experimento foram registrados em uma granja comercial localizada no município de Rio Claro, nas coordenadas 22° 05' e 22° 40' S, 47° 30' e 47° 55' W, no Estado de São Paulo, Brasil, no qual foram acompanhados dois lotes de produção de frangos de corte em dois aviários próximos, sendo o primeiro lote no período de outubro e novembro de 2009 e o segundo no período de fevereiro e março de 2010.

Cada aviário foi dividido em seis partes iguais ao longo do comprimento, em que se procedeu ao registro semanal da temperatura superficial das aves e da temperatura e umidade relativa do ar, caracterizando seis micro ambientes. Foram observadas 10 aves em cada uma das seis partes do aviário com 14, 21, 28 e 35 dias de idade.

Experimento 2

O segundo experimento foi realizado em laboratório. Cinquenta aves foram criadas em aviário em escala reduzida e distorcida e, a cada semana, 10 aves eram selecionadas aleatoriamente e acondicionadas na câmara climática. Após 30 minutos de exposição às temperaturas do ar de 18, 25 e 32 °C foram capturadas as imagens termográficas das aves, com idades de 14, 21, 28 e 35 dias.

Procedimento Experimental

Considerando-se os dois experimentos, foram analisados 108 cenários ambientais diferentes, sendo 96 provenientes do Experimento 1 (Fatorial $2 \times 2 \times 6 \times 4 = 96$; dois lotes, dois aviários, seis ambientes por aviário e quatro idades) e 12 cenários provenientes do Experimento 2 ($3 \times 4 = 12$, três ambientes em quatro idades).

Para cada imagem termográfica de uma ave foram registrados 10 pontos de temperatura das penas (CP) e 10 pontos de temperatura da pele (SP), utilizando o *software* TESTO[®] (2009).

O grau de empenamento atribuído para cada imagem termográfica consistiu em um escore categórico, atribuído por um técnico especializado, no momento da estimativa do conforto térmico, considerando-se o empenamento esperado para a linhagem e a idade da ave. Este escore é fundamentado na experiência do tratador, e carrega informações referentes ao histórico de criação das aves, inferindo o grau de adaptação dessas aves ao ambiente térmico de criação. Desta forma, foram estabelecidas três variáveis de entrada para o IFCT: temperatura superficial das penas, temperatura superficial da pele e grau de empenamento.

O Índice *Fuzzy* de Conforto Térmico foi desenvolvido em ambiente MATLAB[®] 6.1, usando o *toolbox Fuzzy*. Foi utilizado o método de Mamdani, e as transformações dos resultados *Fuzzy* em valor numérico foram obtidas pela defuzzificação, pelo método do centro de área (COA), em que o centro da área de saída é o centro de gravidade da função de distribuição de possibilidade da ação de controle (AMENDOLA et al., 2004; BARROS & BASSANEZI, 2006).

Realizou-se uma análise de correlação linear de Pearson entre as variáveis de ambiente e as temperaturas das regiões de penas e de pele, para quantificar a dependência entre as

variáveis. A partir dos dados de temperaturas superficiais coletadas nas imagens termográficas, foi realizada uma análise estatística descritiva, verificando-se a normalidade das distribuições desses dados e as medidas de posição (quartis), que foram utilizados para descrever as funções de pertinência destas variáveis de entrada, divididas em três conjuntos *Fuzzy*: baixo, médio e alto, utilizando funções trapezoidais e triangulares.

A escala de escore para o empenamento variou de 0 a 5, divididos em três conjuntos *Fuzzy*: baixo, médio e alto, utilizando funções trapezoidais e triangulares. Para a função de pertinência da variável resposta ‘conforto térmico’ foram definidos três conjuntos *Fuzzy*, distribuídos simetricamente no domínio: conforto, alerta e perigo, utilizando apenas funções triangulares. Os resultados obtidos com o Índice *Fuzzy* de Conforto Térmico (IFCT) foram verificados utilizando os valores do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), por meio da Equação 1 proposta por Thom (1959) e citada por Carvalho et al. (2009), calculados para os 108 cenários observados nos experimentos. O ITU foi classificado em Conforto (entre 64 e 74), Alerta (entre 74 e 78) e Perigo (78 e 84).

$$ITU = Tbs + 0,36 Tpo + 41,5 \quad \text{Eq. 1}$$

Em que, ITU = Índice de temperatura e umidade; Tbs = Temperatura de bulbo seco (°C); e Tpo = Temperatura de ponto de orvalho (°C).

A avaliação do modelo foi feita com as medidas de sensibilidade (Eq. 2), especificidade (eq. 3), valor preditivo positivo (VPP) e valor preditivo negativo (VPN) para cada condição (Eq. 4). Posteriormente, esses valores foram usados para construir a curva *ROC* (*Receiver Operating Characteristics*) do IFCT.

Em que,

$$\text{Sensibilidade} = \text{Prob} \left(\frac{IFCT_{positivo}}{ITU_{positivo}} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{Especificidade} = \text{Prob} \left(\frac{IFCT_{negativo}}{ITU_{negativo}} \right) \quad \text{Eq. 3}$$

$$\text{VPP} = \text{Prob} \left(\frac{ITU_{positivo}}{IFCT_{positivo}} \right) \quad \text{Eq. 4}$$

A sensibilidade é a medida do percentual de ITU para cada uma das condições positivas de conforto, alerta e perigo que foram também detectados positivamente pelo IFCT ($ITU_{positivo}$ e $IFCT_{positivo}$). Também pode ser interpretado como verdadeiro positivo (TP , *true positive*). A especificidade é a medida do ITU para cada uma das condições negativas de conforto, alerta e perigo que também foram detectados negativamente pelo IFCT ($ITU_{negativo}$ e $IFCT_{negativo}$). O complemento dessa medida também é interpretado como falso positivo (FP , *false positive*). O valor preditivo mede a probabilidade IFCT classificar positivamente (VPP) a ocorrência de conforto, alerta ou perigo, e o resultado coincidir com o classificado pelo ITU.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de correlação linear de Pearson, aplicado nos dados obtidos nos experimentos, mostrou que a temperatura superficial das penas (CP) apresentou alta correlação linear com a temperatura do ar (P-Valor < 0,01; $r = 0,814$) e com o ITU (P-Valor < 0,01; $r = 0,819$). A temperatura do ar ambiente, monitorada nos experimentos, foi superior a 27° C em 75% dos casos (TABELA 1), o que corrobora com CAHANER et al. (1995), que encontraram que a temperatura das penas se correlaciona com a temperatura corporal de frangos corte em altas temperaturas ambientais.

Tabela 1. Estatística descritiva das temperaturas superficial de penas e de pele e das variáveis ambientais.

	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Média	σ
CP (° C)	16,6	30,1	31,4	32,5	39,2	30,84	2,78
SP (° C)	29,0	36,5	37,6	38,3	40,6	37,28	1,54
Tar (° C)	18,0	27,0	28,6	30,3	34,3	27,96	3,89
UR (%)	46,0	61,0	65,0	68,0	76,0	64,44	6,56
ITU	64,4	75,6	77,7	79,8	83,4	76,84	4,79

Onde: CP = temperatura superficial das aves em regiões coberta com penas; SP = temperatura superficial das aves em regiões não cobertas com penas; Tar = temperatura do ar; UR = umidade relativa do ar; ITU = índice de temperatura de umidade relativa do ar (autor); Q1 = valor do primeiro quartil; Q3 = valor do terceiro quartil; σ = desvio padrão da distribuição.

Devido às altas temperaturas e as altas umidades relativas observadas dentro dos aviários no Brasil, o organismos das aves têm dificuldades em transferir calor para o ambiente, expressam isto no seu comportamento cujo resultado final é a redução da produção. As dificuldades em perder calor para o ambiente pode ser medida na pequena variação de

temperatura entre a superfície da ave e o ar que a envolve (YAHAV et al. 2005). Portanto, a temperatura superficial elevada da ave pode indicar que esta ave está com dificuldade de perder calor e, provavelmente, indicando estresse por calor. Pesquisas comprovam que o aumento da temperatura corporal das aves está relacionado à elevação da temperatura ambiente (WELKER et al., 2008). Segundo DAHLKE et al. (2005) frangos de linhagens comerciais de rápido crescimento apresentam menor tolerância ao calor, devido a um aumento da temperatura corporal interna, quando criados em ambiente quente.

Pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, as variáveis temperatura superficial das penas (CP) e temperatura superficial da pele (SP), não apresentaram distribuição normal (P-Valor < 0,001). Verificaram-se através da estatística descritiva das variáveis ambientais os domínios de valores de cada variável (TABELA 1) válidos para o IFCT.

As funções de pertinência das variáveis de temperatura superficial das penas e temperatura e da pele das aves foram elaboradas a partir das medidas de posição das funções de distribuição dessas variáveis obtidas nos dados experimentais (FIGURA 2).

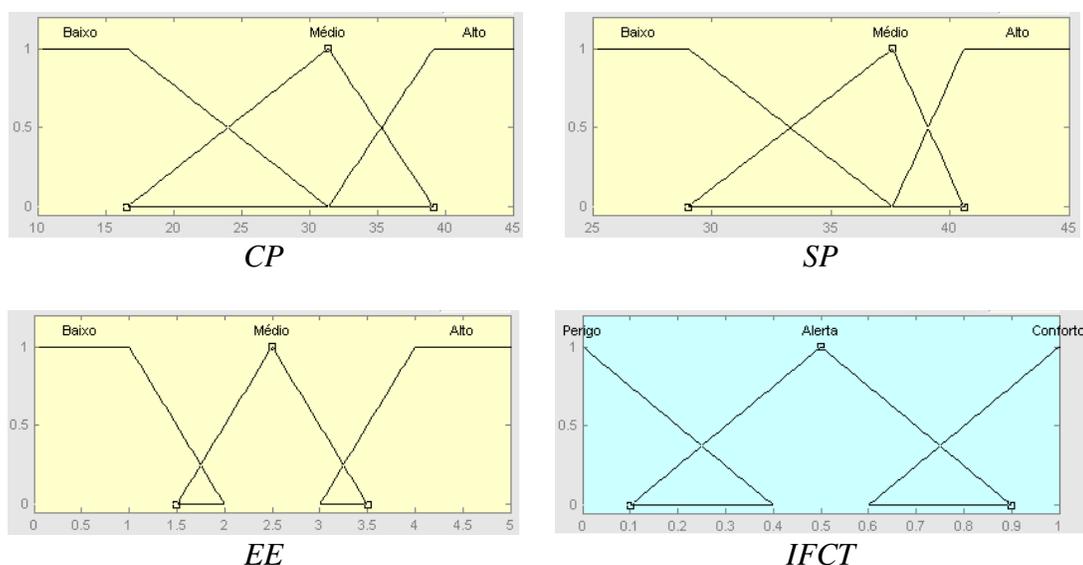


Figura 2. Funções de pertinência das variáveis independentes temperaturas de penas (CP) e de pele (SP) e escore de empenamento (EE), e da variável dependente (matriz demanda) Índice *Fuzzy* de Conforto Térmico (IFCT).

A partir das classificações feitas nas funções de pertinência das temperaturas superficiais de penas e de pele, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, para verificar diferenças significativas de temperatura superficial, entre essas classes. Os resultados mostraram que, tanto para a temperatura superficial coberta com penas (CP), como para a temperatura superficial da pele (SP), houve diferenças significativas entre todas as classes (P-Valor < 0,01), conforme indica a Figura 3. A construção das regras do sistema *Fuzzy* (TABELA 2) corresponde à metodologia tradicional de construção de modelos *Fuzzy* (AMENDOLA et al., 2004; AMENDOLA & SOUZA, 2004).

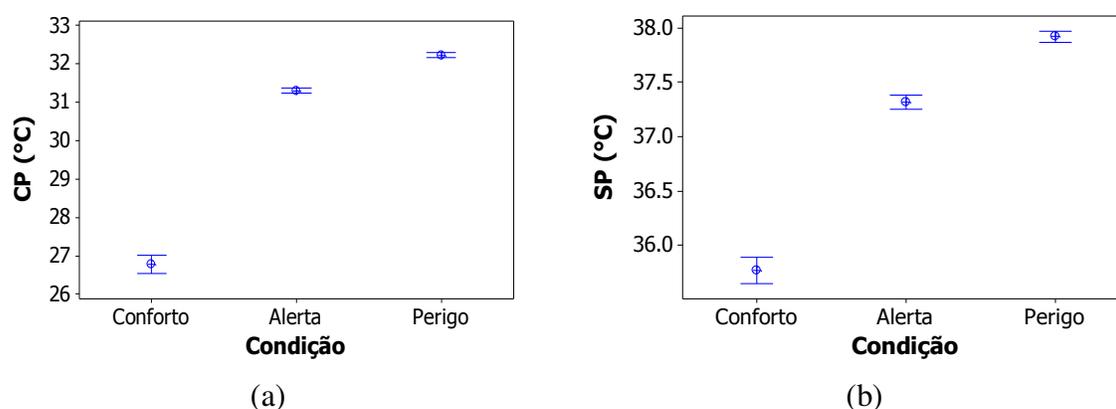


Figura 3. Gráficos de intervalos de confiança a 95% para as variáveis de temperatura superficial da pele (SP, a) e temperatura superficial das penas (CP, b).

Tabela 2. Classificação de conforto térmico em função das variáveis predictoras.

Regra	Temp. Superficial da penas	Temp. superficial da Pele	Empenamento	Conforto térmico (peso)
1	Alta	Alta	Alta	Perigo (1.0)
2	Alta	Alta	Média	Perigo (0.75)
3	Alta	Alta	Baixa	Perigo (0.5)
4	Alta	Média	Alta	Perigo (0.5)
5	Alta	Média	Média	Alerta (1.0)
6	Alta	Média	Baixa	Alerta (0.75)
7	Alta	Baixa	Alta	Alerta (0.75)
8	Alta	Baixa	Média	Alerta (0.5)
9	Alta	Baixa	Baixa	Conforto (0.5)
10	Média	Alta	Alta	Perigo (1.0)
11	Média	Alta	Média	Perigo (0.5)
12	Média	Alta	Baixa	Alerta (1.0)
13	Média	Média	Alta	Alerta (0.75)
14	Média	Média	Média	Conforto (0.5)

15	Média	Média	Baixa	Conforto (0.75)
16	Média	Baixa	Alta	Alerta (0.5)
17	Média	Baixa	Média	Conforto (0.75)
18	Média	Baixa	Baixa	Conforto (1.0)
19	Baixa	Alta	Alta	Alerta (1.0)
20	Baixa	Alta	Média	Alerta (0.75)
21	Baixa	Alta	Baixa	Alerta (0.5)
22	Baixa	Média	Alta	Conforto (0.75)
23	Baixa	Média	Média	Conforto (1.0)
24	Baixa	Média	Baixa	Conforto (0.75)
25	Baixa	Baixa	Alta	Conforto (1.0)
26	Baixa	Baixa	Média	Conforto (0.75)
27	Baixa	Baixa	Baixa	Conforto (0.5)

Os pesos estabelecidos para cada regra foram inferidos por um especialista que identificava o grau de verdade inerente a cada regra. Esse tipo de atribuições de pesos é possível fazer em modelos matemáticos *Fuzzy* uma vez que, teoricamente esses modelos trabalham com graus de pertinência, ou grau de verdade, ao analisar se um determinado dado pertence a um conjunto *Fuzzy* (BARROS & BASSANEZI, 2006).

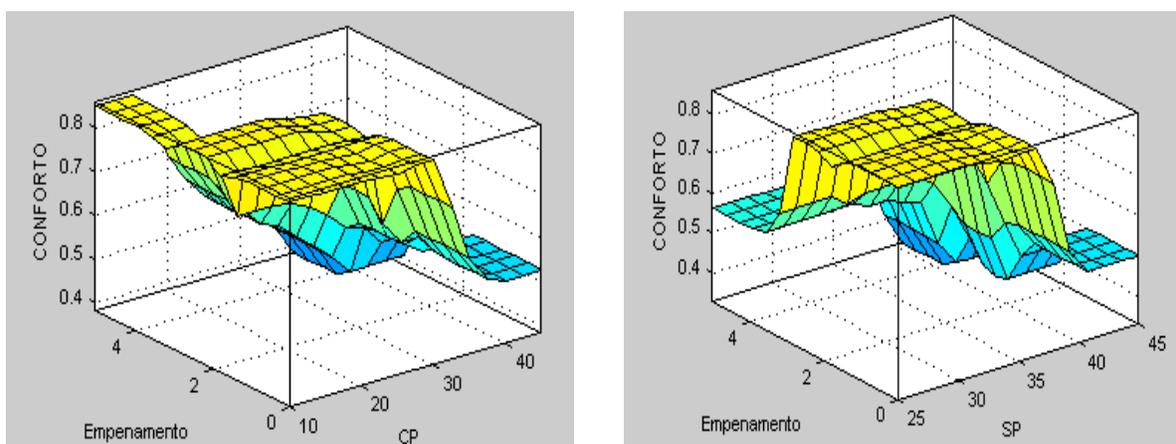


Figura 4. Gráfico de superfície das temperaturas superficiais das áreas cobertas com penas (CP) e não cobertas com penas (SP), em relação ao grau de empenamento.

As medidas para validação do IFCT estão representadas na Tabela 3, para os graus de empenamento categóricos baixo, médio e alto, definidos na função de pertinência (FIGURA 2).

Tabela 3. Sensibilidade, especificidade e valor preditivo positivo (VPP) do IFCT (Índice Fuzzy de Conforto Térmico) em relação ao ITU (Índice de Temperatura e Umidade) nas três classes de empenamento.

IFCT	Empenamento	Sensibilidade	Especificidade	VPP
Conforto	Baixo	0,98	0,87	0,65
	Médio	0,96	0,75	0,48
	Alto	0,98	0,93	0,77
Alerta	Baixo	0,97	0,80	0,74
	Médio	0,96	0,97	0,95
	Alto	0,96	0,84	0,78
Perigo	Baixo	0,50	0,98	0,98
	Médio	0,52	0,97	0,99
	Alto	0,65	0,97	0,98

A medida de sensibilidade, que mede a probabilidade de acertos do IFCT em relação à condição real definida pelo ITU, variou de 96 a 98% para as condições de conforto e de alerta, e de 56% em média para a condição de perigo nas três classes de empenamento. A menor sensibilidade para a condição de perigo indica que a ave está mais adaptada ao ambiente mais próximo ao extremo de calor, que é classificado como perigo pelo ITU, pela variação na temperatura superficial determinado pelo IFCT (LIN et al., 2006). A partir dos valores de sensibilidade e especificidade (TABELA 3), construiu-se a curva ROC do IFCT (FIGURA 5).

Na curva ROC (FIGURA 5), valores de *FP Rate* próximos a zero correspondem à alta especificidade (próximo de 100%), ou seja, o modelo avaliado tem alto índice de acertos quando classifica os dados nessa região. Valores de *TP Rate* próximos a 100% significam alta sensibilidade do modelo, que tende a posicionar os valores com maior frequência nessas classes.

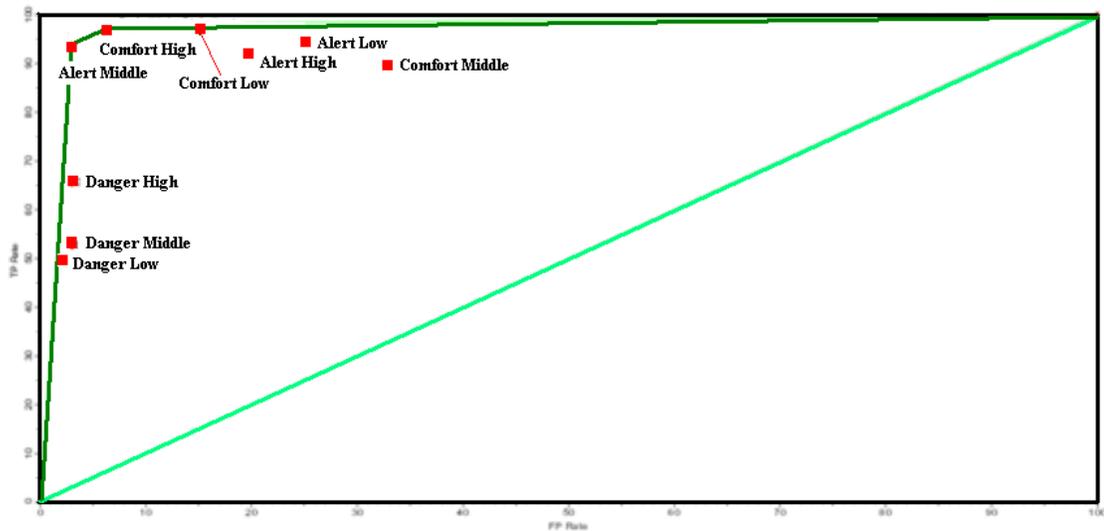


Figura 5. Curva ROC do Índice *Fuzzy* de Conforto Térmico para frangos de corte, onde *Comfort*, *Alert* e *Danger* correspondem às classes de conforto térmico a que as aves estão submetidas e *High*, *Middle* e *Low* correspondem à classe de empenamento das aves.

As classes de perigo para todos os graus de empenamento definidos ficaram posicionados na curva ROC em região com alta especificidade e baixa sensibilidade. Isso significa que o IFCT não classifica com frequência os valores nessas classes (baixa sensibilidade), mas quando o faz tem alto índice de acerto (alta especificidade). Essa característica é muito interessante, pois se espera que o modelo acerte nessas condições, uma vez que serão determinantes para as ações corretivas no aviário e, portanto, com dispêndio de recursos econômicos (BORGES et al., 2003; MOURA et al., 2006; SANTOS et al., 2009). As demais condições estão posicionadas na curva ROC em região com alta sensibilidade e alta especificidade, validando o modelo IFCT. A maior sensibilidade para as condições de conforto e alerta indicam que o IFCT tende a classificar as aves como mais tolerantes ao calor que o ITU, corroborando com PEREIRA & NÄÄS (2008), YAHAV et al. (2004) e YAHAV et al. (2005). Essa característica do modelo pode ser justificada por considerar o empenamento, que é uma medida de adaptação das aves (CAHANER et al., 1995; FUKAYAMA et al., 2005).

As temperaturas superficiais de penas e pele podem ser obtidas a partir de sensores de infravermelho, que hoje são comumente encontradas nas granjas de produção, possibilitando o uso do IFCT em granjas comerciais para estimar o conforto térmico de frangos de corte em tempo real.

CONCLUSÃO

O Índice *Fuzzy* de Conforto Térmico (IFCT) permitiu estimar as condições de conforto, alerta e perigo do conforto térmico de frangos de corte alojados em condições tropicais, sendo específico na estimativa de condições de perigo térmico. Essa característica é desejável em modelos que estimem o bem-estar térmico de frangos de corte, pois, situações classificadas como perigo, acarretam no dispêndio de recursos econômicos para evitar perdas produtivas.

REFERÊNCIAS

AMENDOLA, M. et al. Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. **Biomatemática**, Campinas, v.14, p.87-92, 2004.

AMENDOLA, M.; SOUZA, A. Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5. Campinas: CPG/FEAGRI/UNICAMP, 2004. 30p.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática**, 1ª.ed., Campinas: IMECC-UNICAMP, 2006. 354 p.

BORGES, S. A.; MAIORKA, A.; SILVA, A. V. F. Heat stress physiology and electrolytes for broilers. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n. 5, p. 975-981, 2003.

CAHANER, A.; PINCHASOV, Y.; NIR, I. Effect of dietary protein under high ambient temperature on body weight, breast meat yield and abdominal fat deposition, of broiler stock differing in growth rate and fatness. **Poultry Science**, Champaign, v.74, n.6, p.968-975, 1995.

CANGAR, O. et al. Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, n. 12, 2493–2499, 2008.

CARVALHO, V. F. et al. Mapping of potential use of evaporative cooling systems in Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v. 13, n. 3, p.358-366, 2009;

DAHLKE, F. et al. Feathering, triiodothyronine and thyroxine plasma levels and body temperature of two broiler lines raised under different temperatures. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 664-670, 2005.

DENOIX, J.M. Diagnostic techniques for identification and documentation of tendon and ligament injuries. **Veterinary Clinics of North America: Equine Practice**, Maryland Heights, v. 10, n. 2, p. 365-407, 1994.

FUKAYAMA, E. H. et al. Effect of environmental temperature and feather coverage on the performance of two laying-type pullets lines. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1272-1280, 2005.

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

LIN, H. et al. Strategies for preventing heat stress in poultry. **World's Poultry Science Journal**, Beekbergen, v.62, n.1, p. 71-86, 2006

MOURA, D. J. et al. Animal welfare concepts and strategy for poultry production: a review. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 137-148, 2006.

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

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

PEREIRA, D.F. et al. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.624-633. 2008.

PEREIRA, D.F.; NÄÄS, I.A. Estimating the thermoneutral zone for broiler breeders using behavioral analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, Davis, v.62, n.1, p. 2-7, 2008.

PERISSINOTO, M. et al. Thermal comfort on Subtropical and Mediterranean climate analyzing some physiological data through fuzzy theory. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.5, p.1492-1498, 2009.

RICHARDS, S.A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. **The Journal of Physiology**, Londres, v. 216, n. 1, p. 1-10, 1971.

SANTOS, P. A. et al. Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. **Revista CERES**, Viçosa, v. 56, n. 2, p. 172-180, 2009.

SHINDER, D. et al. Thermoregulatory responses of chicks (*Gallus Domesticus*) to low ambient temperatures at an early age. **Poultry science**, Champaign, v. 86, n. 10, 2200–2209, 2007.

TESSIER, M. et al. Abdominal skin temperature variation in healthy broiler chickens as determined by thermography. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 5, p. 846-849, 2003.

THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, Omaha, v. 12, n.1, p.57–60, 1959.

VRANKEN, E. et al. Performance of model-based predictive control of the ventilation rate with axial fans. **Biosystems Engineering**, Maryland Heights, v.91, n.1, p.81-98. 2005.

WELKER, J. S. et al. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. **Brazilian Journal of Animal Science**, Viçosa, v.37, n.8, p.1463-1467, 2008.

YAHAV, S. et al. Sensible heat loss: the broiler's paradox. **World's Poultry Science Journal**, Beekbergen, v.61, n.3, p.419-434, 2005

YAHAV, S. et al. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, Champaign, v. 83, n. 2, 253–258, 2004.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados encontrados foi possível traçar as seguintes considerações gerais:

- A temperatura média superficial (TSM) de frangos de corte, obtida pela imagem termográfica infravermelho, não diferiu das estimativas propostas na literatura por RICHARDS (1971) e DALHKE et al. (2005);
- Não houve diferença estatística entre as equações utilizadas na literatura para estimar a TSM em relação as obtida com imagem termográfica (IT), em frangos de corte de 7 a 33 dias de idade;
- As médias das temperaturas superficiais das aves por idade (7 a 35 dias) são semelhantes, e aumentam linearmente em relação à temperatura do ar de 18 a 35 °C;
- A temperatura superficial das pernas teve efeito significativo em relação à idade do frango de corte, sendo maior aos 14 dias;
- Não houve diferenças significativas de temperatura e umidade do ar entre os sistemas ventilação tipo túnel (pressão negativa) no aviário 1 e ventilação convencional (pressão positiva) no aviário 2;
- Comparando as temperaturas superficiais entre os aviários com diferentes tipos de ventilação, as temperaturas superficiais das aves e da cama de frango foram iguais. A temperatura superficial do forro foi diferente entre os aviários sendo maior no aviário 1, devido a cobertura de telha em fibrocimento, em relação ao aviário 2 de cobertura de telhas de cerâmica;
- De acordo com a análise das imagens termográficas panorâmicas a temperatura superficial das aves (TSAP) diminui com o aumento da idade (7 a 28 dias), em ambos os aviários, sendo diferente estatisticamente aos 14 dias entre os dois sistemas de ventilação;
- A temperatura superficial média das aves é mais associada com as temperaturas superficiais do entorno de produção em relação às variáveis ambientais (temperatura e umidade relativa do ar);
- Nas condições experimentais o aviário tipo túnel proporcionou maior perda de calor sensível nas aves, em relação ao tipo convencional;

- As temperaturas superficiais das partes com penas (CP) de frangos de corte são altamente correlacionadas com a temperatura do ar;
- Os resultados mostraram que, tanto para a temperatura superficial coberta com penas (CP), como para a temperatura superficial da pele (SP), houve diferenças significativas entre todas as classes de ITU que o ambiente foi classificado (conforto, alerta e perigo);
- As classes de perigo para todos os graus de empenamento definidos ficaram posicionados na curva ROC em região com alta especificidade e baixa sensibilidade. Indicando que o IFCT não classifica com frequência os valores nessas classes (baixa sensibilidade), mas quando o faz tem alto índice de acerto (alta especificidade);
- As demais condições estão posicionadas na curva ROC em região com alta sensibilidade e alta especificidade, validando o modelo IFCT. A maior sensibilidade para as condições de conforto e alerta indicam que o IFCT tende a classificar as aves como mais tolerantes ao calor que o ITU.

4 CONCLUSÕES GERAIS

A utilização da tecnologia de imagens infravermelhas para cálculo da temperatura superficial de frangos de corte, com auxílio de câmeras termográficas, serve como base para estimar condições de conforto térmico de frangos de corte em diferentes condições de alojamento.

Com o auxílio da termografia foi possível calcular a temperatura superficial média de frangos de corte, através da análise de imagem, sem a necessidade de utilização de equações para essa estimativa.

Na análise termográfica no campo, concluiu-se que, a temperatura superficial média de frangos de corte, está mais associada à temperatura superficial do entorno de produção (cortinas laterais, forro e a cama de frango). Nas condições experimentais deste trabalho, o aviário com ventilação tipo túnel proporcionou a maior perda de calor sensível.

Com base na variação da temperatura superficial média das aves utilizadas na pesquisa foi gerado o índice *Fuzzy* de conforto térmico (IFCT), que permite estimar condições de conforto térmico em condições tropicais, específico na estimativa da condição de exposição ao perigo térmico.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEF - Associação brasileira dos exportadores de frango de corte. **Relatório anual**, 2008. 126 p.

UBABEF - Associação brasileira dos exportadores de frangos de corte e União brasileira dos avicultores. **Relatório anual**, 2009. 158 p.

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. **Ventilação na avicultura de corte**, Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. 2000. 50 p.

ABREU, P. G. et al. condições térmicas ambientais e desempenho das aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 4, p. 1014-1020, 2007.

ABREU, P. G. Modelos de Aquecimento. In: Simpósio Brasil sul de avicultura, 2003, Chapecó. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA, 2003. 12 p.

BAÊTA, Fernando da Costa; SOUZA, Cecília de Fátima. **Ambiência em edificações Rurais: conforto térmico animal**, Viçosa: UFV, 1997. 246 p.

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

BROOM, D.M; MOLENTO, C.F.M. Animal welfare: concept and related issues – Review Abstract. **Archives of veterinary science**, v. 9, n. 2, p. 1-11, Apr. 2004.

BROWN-BRANDL, T.M. et al. Physiological responses of tom turkeys to temperature and humidity change with age. **Journal of thermal biology**, v. 22, n. 1, p. 43-52, Feb. 1997.

CAMPOS, E. J. O comportamento das aves. **Revista brasileira de ciência avícola**, Campinas, v.2, n. 2, p. 93-113, May./Aug. 2000.

DAHLKE, F. et al. Empenamento, níveis hormonais de triiodotironina e tiroxina e temperatura corporal de frangos de corte de diferentes genótipos criados em diferentes condições de temperatura. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 664-670, Mai./Jun. 2005.

DENOIX, J.M. Diagnostic techniques for identification and documentation of tendon and ligament injuries. **Veterinary clinics of north america: Equine pract**, v. 10, n. 2, p. 365-407, Aug. 1994.

GARCIA, L.A. F.; FILHO, J. B. S. Economias de escala na produção de frangos de corte no Brasil. **Revista de economia rural**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 465-483, Jul./Ago. 2005.

GATES, R. S. et al. Regional variation temperature humidity index for poultry housing. **Transaction of the ASAE**. Vol. 38, n. 1, p. 197-205. 1995.

HILLMAN, P.E.; SCOTT, N.R.; Van THIENHOVEN, A. Vasomotion in chicken foot: dual innervation of arteriovenous anastomoses. **Animal journal physiology**, v. 242, n. 5, p. 582-590, May. 1982.

JUNIOR, Hime Aguiar Oliveira. **Lógica difusa: Aspectos práticos e aplicações**, Rio de Janeiro: Ed. Interciencia, 1999. 192 p.

MACARI, Marcos; FURLAN, Renato Luís; GONZALES, Elizabeth. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**, 2nd ed. Campinas: Ed. FACTA, 2002. 296 p.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; MAIORKA, A. **Aspectos fisiológicos e e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas**. In: MENDES, A. A.; NÃÃS, I. A.; MACARI, M. (ed.) Produção de frangos de corte. Campinas: FACTA, 2004. Cap. 9, 18p.

MANNING, L.; CHADD, S.A; BAINES, R. N. Key health and welfare indicators for broiler production. **World's poultry science journal**, v. 63, n. 1, p. 46-62, Mar. 2007.

McGOVERN, R. R.; BRUCE, J. M. A model of the thermal balance for cattle in hot conditions, **Journal agricultural engineer research**, v. 77, n. 1, p. 81-92, Sep. 2000.

MEDEIROS, C. M. et al. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 9, n. 4, p. 660-665, Mai. 2005.

MENDES, Ariel Antonio; NÄÄS, Irenilza de Alencar; MACARI, Marcos. **Produção de frangos de corte**, Campinas: FACTA, 2004. 356 p.

MENEGALI, I. **Avaliação de diferentes sistemas de ventilação mínima sobre a qualidade do ar e o desempenho de frangos de corte**. 2009. 109 f. Tese, (Área de construções rurais e ambiência). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MOURA, Daniella Jorge. Ambiência na Produção de Aves de Corte. In: SILVA, Iran José Oliveira. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**, Piracicaba: SBEA, v. 2, 2001. p. 75-148.

MOURA, D. J. et al. Animal welfare concepts and strategy for poultry production: a review. **Revista brasileira de ciência avícola**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 137-148, Jul./Sep. 2006.

NÄÄS, I. A. Bem-estar na avicultura: fatos e mitos. **Revista AveWorld**, Campinas, v.10, p. 4-8, Ago./Set. 2005.

NÄÄS, I. A. et al. Broilers surface temperature distribution of 42 day old chickens. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 497-502, sep./oct., 2010.

NÄÄS, I. A.; MAGALHÃES, E.; CORREIA, M. E. A. Environmental Thermohygro-metric Characteristics of Poultry Housed Under High Birds Density. In: EURO AGENG, 1998, Oslo. **Proceedings...** Oslo: [s.n], 1998. 1 CDRom.

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

PANDORFI, H. et al. Uso da lógica Fuzzy na caracterização do ambiente produtivo Para matrizes gestantes. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 83-92, Jan./Abr. 2007.

PEREIRA, Alexandre Kluge. **Fatores térmicos ambientais e qualidade do ar no desempenho produtivo de frangos de corte criados em alta densidade sob sistema de ventilação positiva**. 2006. 97 f. Dissertação (Área de construções rurais e ambiência). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PEREIRA, D. F. et al. Sistema Fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 624-634, Out./Dez. 2008.

REZENDE, Solange Oliveira. **Sistemas inteligentes: Fundamentos e aplicações**, Barueri: Manole, 2005. 525 p.

RICHARDS, S.A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. **Journal of physiology**, v. 216, n. 1, p. 1-10, Jul. 1971.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**, 2.ed. Porto Alegre: DCLuzatto, 1985. 240 p.

SARCINELLI, Miryelle Freire; VENTURINI, Katiani Silva; SILVA, Luís César. **Produção de frangos de corte**. Boletim Técnico - Universidade Federal do Espírito Santo, 2007. 9 p.

SHAW, I. S.; SIMOES, Marcelo Godoi. **Controle e modelagem Fuzzy**. Sao Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1999. 164 p.

SILVA, C. J. M. et al. Efeito do tipo de telha de cobertura do galpão na condição ambiental e desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, sup. 8, p. 157, 2006.

SILVA, E. et al. Desenvolvimento e validação de um modelo matemático para o cálculo da área superficial de frangos de corte. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 1-7, Jan./Mar. 2009.

SILVA, Roberto Gomes. **Introdução à bioclimatologia animal**. 2nd ed. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

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

TESSIER, M. et al. Abdominal Skin Temperature Variation in Healthy Broiler Chickens as Determined by Thermography. **Poultry science**, v. 82, n. 5, p. 846-849, May. 2003.

TINÔCO, I. F. F. et al. A granja de frangos de corte. In: MENDES, Ariel Antonio; NÄÄS, Irenilza de Alencar; MACARI, Marcos. **Produção de frangos de corte**, Campinas: FACTA. 2004. 27p.

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

VALLE, M. M. **Caracterização e previsão de ondas de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte**. 2008, 122 f. Tese (Área de construções rurais e ambiência). Universidade Estadual de campinas, Campinas.

YAHAV, S. et al. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry science**, v. 83, n. 2, 253–258, Sep. 2004.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.