

ESTIMATIVA DO CONFORTO TÉRMICO EM AVIÁRIO DE FRANGO DE CORTE USANDO TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

HÉLIO ÁVALO

Bacharel em Administração

Orientador Prof. Dr RODRIGO COUTO SANTOS

Co-orientadora Prof Dr^a IBIARA CORREIA DE LIMA ALMEIDA PAZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados. Área de Concentração: Sistemas Agrícolas, como requisito a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Dourados
Mato Grosso do Sul
Março/2014

**ESTIMATIVA DO CONFORTO TÉRMICO EM AVIÁRIO DE FRANGO DE
CORTE USANDO TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA**

por

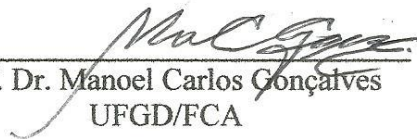
Hélio Ávalo

**Defesa apresentada como partes dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola**

Aprovado: 14 de Março de 2014



Prof. Dr. Rodrigo Couto Santos
UFGD/FCA



Prof. Dr. Manoel Carlos Gonçalves
UFGD/FCA



Prof.ª Dr.ª Irenilza A. Nääs
UNICAMP



Prof.ª Dr.ª Gláucia Almeida de Moraes
UEMS

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD

Ávalo, Hélio. Estimativa do conforto térmico em aviário de frango de corte usando termografia infravermelha

/ Hélio Ávalo 45 f

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Couto Santos.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados.

1 Ambiência, 2 Produtividade, 3 Bem-Estar, 4 Acuracidade, I, Título.

A Conquista do Sucesso Profissional

Sucesso... O que é sucesso?

O sucesso é algo que não se ganha, ele é conquistado quando a sinceridade, humildade e perseverança moram dentro de nós.

No dicionário, temos como significado conclusão, resultado bom, acontecimento de grande êxito ou artista de grande popularidade.

Mas sucesso é muito mais que isso.

Normalmente vemos a palavra sucesso ser muito associada à fama.

Então apenas os famosos têm sucesso?

O sucesso também não é uma herança genética.

Essa história de "filho de peixe, peixinho é" não é regra.

A interpretação de sucesso vai muito além de simples palavras e histórias.

Ninguém ganha sucesso. Ele é conquistado.

E essa conquista é fruto de uma busca constante.

A busca pelo sucesso deve vir de dentro da pessoa.

A conquista do sucesso é consequência de atos bem feitos.

Pode ser em várias áreas, como pessoal e profissional, que são áreas onde a busca pelo sucesso é maior.

Ao se decidir buscar o sucesso, a primeira etapa já está ganha, pois isso já faz seus atos serem mais corretos e melhores.

A pessoa que conquista o sucesso de forma natural, não faz sacrifícios.

E quanto mais natural a busca, mais longo será seu sucesso.

Para iniciar essa busca, primeiramente é preciso definir seus princípios e objetivos.

Então, se você quiser conquistar o sucesso, busque-o primeiro dentro de você, para depois mostrá-lo ao mundo!

Apreendi tudo isso e um pouco mais com o Orientador Rodrigo Couto Santos.

(Hélio Ávalo)

DEDICATÓRIA

Eu dedico,
Este trabalho a Deus, por ter me dado saúde, fé e esperança.
A minha esposa Ivete, pela paciência e confiança. Aos meus filhos Marlon e Enzo, pelas alegrias que me
proporcionam em seus sorrisos.
E minha mãe Hélia sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Existem três maneiras de agradecer.

A primeira maneira é procurar as coisas boas e agradecer por elas.

Uma segunda maneira de vivenciar o agradecimento é agradecer antes do tempo por qualquer bem que se deseja na vida.

Uma terceira maneira de vivenciar o agradecimento, talvez a mais difícil e a mais significativa, é agradecer pelos problemas e desafios de sua vida.

Agradecer por esse crescimento, antes do tempo, nos ajuda a evoluir através dos desafios...E não somente a superá-los. _____ Henrique Ávalo

Agradeço, a Deus por estar sempre presente em minha vida, me dando entusiasmo, saúde, ânimo e prosperidade a cada novo dia, sonhando um sonho novo.

Essa grande mulher que com sabedoria se aloja no meu coração, obrigado por tanto amor, pela boa convivência e por me fazer completa. Á quem merece o meu amor hoje e sempre.

A minha esposa Ivete, a quem tenho a agradecer a Deus e a você, responsável por tudo de bom que me acontece, te quero cada vez mais cheio de carinho e compreensão.

O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria, se aprende é com a vida e com os humildes. _____ Cora Coralina

Ao Professor Dr. Rodrigo Santos Couto - Obrigado professor, pela persistência, pela vontade de querer nos fazer pessoas melhores, pela transmissão do conhecimento, pela dedicação, pelo desempenho, pelo profissionalismo, pelo diferente, pela mudança, pelo puxões de orelha, pelo divertimento, pela educação, pelo respeito, pelo moderno, pela competência, pela capacidade, pela as tentativas incansáveis de nos fazer refletir, por nos fazer ouvir e entender estrelas, por tudo, por ter sido realmente PROFESSOR.

“Quando se ama não é preciso entender o que se passa lá fora, pois tudo passa a acontecer dentro de nós”. _____ Clarice Lispector

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Grande Dourados, em especial ao Coordenador Prof. Dr. Eder Pereira Gomes e a todos os professores pela oportunidade.

Mestre! Que estende a mão, tem o diálogo da nova caminhada para a aventura da vida. Faz germinar a missão de ensinar não só letras, Mas, paz, esperança, solidariedade e coragem, Para um novo amanhã que virá. Um exemplo para vencer na vida.

A Professora Dra. Ibiara Correia Lima de Almeida Paz, Co-orientadora, que muito contribuiu realização deste trabalho.

Ele divide o seu tempo, caminha, despertando sabedoria, é parceiro da alegria de tantos. Abre portas de um novo amanhã, Questiona a vida e desperta uma realidade. Nas fórmulas, de raciocínios e regras.

A Professora Dr^a. Irenilza de Alencar Nääs, que em vários momentos esteve ao meu lado mostrando um novo horizonte.

O mundo é um livro, e aqueles que não viajam lêem somente uma página.

_____ Santo Agostinho

Ao Professor Dr. Rodrigo Garófallo Garcia, que em muitas vezes conseguiu arrumar um tempo para me dar direcionamento.

"Se tu vens, por exemplo, às quatro da tarde, desde as três eu começarei a ser feliz. Quanto mais a hora for chegando, mais eu me sentirei feliz. Às quatro horas, então, estarei inquieto e agitado: descobrirei o preço da felicidade! _____ Antoine de Saint-Exupéry

Ao colegas do Mestrado, Arthur, Sivanilza, Adriana, Jackson, que em muitos momentos estivemos juntos, trocando idéias.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo.

A todos obrigado!

RESUMO

Esta pesquisa foi desenvolvida com objetivo de avaliar diferentes cores utilizadas em sistemas de vedação, para estimar a temperatura ideal em sistemas de criação comercial de frangos de corte, em relação ao bem-estar, ambiência. Foram estudados dois aviários na região de Rio Claro, SP, sendo um aviário de cortina cor azul e outro de cortina cor branca, ambos com pressão negativa. As temperaturas foram obtidas com auxílio de câmera termográfica, em quatro fases de criação dos frangos. As imagens obtidas foram avaliadas utilizando o *software* Testo IRSoft®. Para comparações entre os aviários, foi aplicado teste de t-Student aos dados de ambiente registrados, com grau de confiança de 95%, quando apresentavam distribuição normal. As maiores temperaturas registradas na primeira semana foram em média 32,5°C em Aviário com cortina azul e, 33,2 em aviário com cortina branca. A partir da segunda semana, a temperatura do ar variou entre 30,5 e 27,4°C. Houve diferença significativa nas temperaturas registradas em função da cor da cortina utilizada na vedação dos aviários, entre as fases de criação e na interação entre estes fatores. A cortina branca resultou em menor temperatura média e a fase inicial apresentou maior temperatura média, em ambos os aviários. As maiores temperaturas foram registradas no início da pesquisa, devido às temperaturas maiores no ambiente externo ou ao fato da fase inicial ser considerada metabolicamente a fase de aquecimento das aves. Concluiu-se que a aplicação da técnica de análise termográfica é adequada e recomendada para a determinação da temperatura em aviários, com vistas à avaliação do conforto térmico das aves, sem comprometer a rotina dos animais.

Palavras-chave: Ambiência, Produtividade, Bem-Estar, Acuracidade.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate different colors used in sealing systems, to estimate the optimal temperature in commercial breeding of broilers in relation to welfare, ambience systems. Two aviaries were studied in the region of Rio Claro, SP, and an aviary color blue curtain and other curtain white, both with negative pressure. Temperatures were obtained with the aid of thermal imager in four stages of the broilers. The images were evaluated using the Text IRSoft ® software. For comparisons between poultry was applied Student's t- test to the data of registered environment with confidence level of 95 %, when distribution was normal . The highest temperatures recorded in the first week were on average 32.5 ° C in Aviary with blue curtain and 33.2 in aviary with white curtain. From the second week, the air temperature ranged between 30.5 and 27.4 ° C. There was a significant difference in the temperatures recorded with the color of the curtain used in sealing the aviaries between the phases of creation and the interaction between these factors. The white curtain resulted in lower average temperature and the initial phase showed higher mean temperature in both aviaries. The highest temperatures were recorded at baseline, due to higher temperatures in the external environment or the fact that the initial phase is considered metabolically heating phase of the birds. It was concluded that the application of thermal analysis technique is suitable and recommended for determining the temperature in aviaries, in order to evaluate the thermal comfort of the birds without compromising routine animal.

Keywords: Ambience, Productivity, Welfare, Accuracy.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Determinação do pé-direito em função da largura do aviário.	08
Tabela 2. Temperatura média nos aviários	33
Tabela 3. Temperatura média externa no período de abril a setembro de 2012, em Rio Claro - SP.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Câmara Termográfica Testo	28
Figura 2. Esquema do posicionamento dos dois aviários utilizados no estudo (dimensões em m)	30
Figura 3. Vista externa dos aviários: cortina azul (esquerda), cortina branca (direita)	31
Figura 4. Vista interna aviário cortina azul, com imagem térmica e escala de temperatura	31
Figura 5. Vista interna aviário cortina branca, com imagem térmica e escala de temperatura	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Histórico da produção de frangos de corte	3
2.2	Ambiência na criação de frango de corte.....	4
2.3	O bem-estar animal.....	5
2.5	Sistema termodinâmico das aves em alojamento	11
2.6	Índices de Conforto Térmico	13
2.7	Termografia Infravermelho	15
2.7.1	Fenômenos de transferência de calor.....	15
2.7.2	Espectro Eletromagnético.....	17
2.7.3	Características da radiação infravermelha	17
2.7.4	Fatores de influencia na medição da radiação infravermelha.....	18
2.7.5	Influência atmosférica	19
2.7.6	Transmissão atmosférica	19
2.7.8	Fatores climáticos	19
2.7.9	Análise Qualitativa	20
2.7.10	Análise Quantitativa	20
2.8	Breve História da Termografia	21
2.8.1	Escala de temperatura e Termômetros	21
2.8.2	Radiação Infravermelha.....	23
2.8.3	Técnicas termográficas e suas aplicações.....	27
2.9	A termografia infravermelha no conforto animal	28
3	METODOLOGIA.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5	CONCLUSÃO.....	36
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

A avicultura brasileira é uma atividade agropecuária de destaque mundial, devido ao baixo custo de produção e adequada qualidade do produto final. O abate anual de frangos foi 5,6 bilhões de unidades de frango em 2013 um aumento de 6,8% em relação ao ano de 2012. Do volume total de frangos produzido pelo país, 68,4% foi destinado ao consumo interno e 31,6% para exportações. Com isto, o consumo *per capita* de carne frango atingiu 41,8 kg habitante/ano (UBABEF, 2014).

Esse desenvolvimento se deu em virtude dos avanços científicos e tecnológicos ocorridos nas áreas de nutrição, manejo, sanidade, genética, produtos veterinários e mais recentemente no condicionamento térmico das instalações, o que transformou o empreendimento em importante complexo agroindustrial, sendo responsável por 1,5% do PIB do Brasil (ZAMUDIO, 2011).

Na produção animal, o aumento na temperatura do ar pode provocar sérios problemas relacionados ao conforto térmico e bem-estar dos animais, pois o desempenho produtivo depende, dentre outros fatores, da redução dos efeitos climáticos sobre os animais. Com isso, o conforto térmico dentro das instalações está diretamente relacionado com o calor produzido pelos animais, o calor que é absorvido por meio da radiação solar, o calor trocado pelos materiais de cobertura, paredes, piso ou cama e às trocas térmicas provocadas pela ventilação, natural ou artificial (CASTRO, 2012; GRIFFITH, 1999). Estudando a transmissão de energia solar, He e Hoyano (2009) relatam ser um dos principais fatores a afetar o ambiente térmico.

Essas trocas de energia realizadas no sistema ave-galpão ocorrem, segundo Silva (2008) por meio de quatro componentes principais: radiação, condução, convecção (trocas sensíveis) e evaporação (troca latente), que nas aves ocorre pela taquipinéia, sendo esse último um importante mecanismo de trocas térmicas entre o animal e o ambiente de produção. Para Nascimento et al. (2011), o aumento na temperatura superficial pode servir como resposta fisiológica da ave a condições inadequadas de alojamento.

Para Broucek et al. (2009), as perdas de calor nas aves são controladas por meio da alteração do fluxo sanguíneo na superfície corporal, ou pela taxa de evaporação no trato respiratório. Nesse caso, uma mudança perceptiva no estado de conforto do animal é a sua temperatura superficial, cuja termografia infravermelha pode ser usada para avaliar essa variação. Embora, trabalhando com aplicação da termografia em frangos de corte, Tessier (2003) descreve que é um procedimento geralmente considerado difícil, porque as penas têm boas propriedades isolantes, enquanto que Montanholi et al. (2008), trabalhando com gado de corte, concluíram que termografia de infravermelha é bem sucedida para avaliar a produção de calor.

O uso da tecnologia de processamento de imagens termográficas infravermelho permite conhecer, de maneira direta e com acuracidade, a distribuição da temperatura superficial, seja no

ambiente ou nas aves. As imagens processadas no estudo de Nääs et al. (2010) indicaram que, as partes sem penas apresentaram maior temperatura devido à maior vascularização na presença de ambiente quente e que representam maior potencial de perda de calor sensível.

Assim, para Rainwater (2009), a termografia apresenta como aspectos positivos a rapidez e confiabilidade dos dados para grande número de animais, sem a necessidade de manuseamento ou restrição, o que permitiria um uso mais eficiente dos recursos. As câmaras termográficas não medem apenas, uma única medição de temperatura, mas sim dezenas de milhares de medições que são convertidas em cor para fornecer uma imagem visível do ambiente térmico no interior dos aviários (CZARICK, 2007). A análise termográfica pode ser realizada por meio de imagens térmicas obtidas a partir de um termovisor infravermelho, que é uma técnica, segura, não invasiva e não destrutiva e que, neste caso, não interfere na rotina do animal. Essa quantificação apresenta relevância na determinação do balanço térmico, assim como as perdas de calor durante o ciclo de produção. A análise termográfica é a técnica de inspeção não destrutiva realizada com a utilização de sistemas infravermelhos, para a medição de temperaturas ou observação de padrões diferenciais de distribuição de calor, com o objetivo de propiciar informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo (MEDEIROS, 2012).

A análise termográfica tem sido utilizada em estudos de diferentes áreas, combinadas ou não com outras técnicas de estudo, como em pesquisas sobre a fusão de imagens visíveis e térmicas para detecção de frutas (BULANON et al., 2009), para a caracterização fisiopatológica de tumores em humanos (KATEB et al., 2009) e em estudos de avaliação da temperatura ocular em resposta a aplicação de estressores em vacas leiteiras (STEWART, 2007).

Com base nessas considerações foi usada a termografia infravermelha para estimar a temperatura ambiental de alojamento de frangos de corte e verificou-se a diferença entre as médias das temperaturas superficiais em dois aviários similares, mas com fechamento lateral de cortinas com características diferentes.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o uso de imagens termográficas na estimativa do conforto ambiental em aviários para frangos de corte, avaliando por meio de imagens infravermelhas, as condições ambientais internas dos criatórios, os quais estão fechados com cortinas de cores diferentes. Além disso, comparando o conforto ambiental dos aviários, em função do uso de cortinas de fechamento lateral com diferentes características e, ainda, através de estatística avaliar as condições ambientais climáticas dos aviários com as condições locais externas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Histórico da produção de frangos de corte

No começo do século XX teve início no Brasil, a exploração econômica das aves. A partir de 1930 os avicultores iniciaram uma avicultura com bases comerciais e passaram a auferir lucro, tanto em relação à produção de ovos, como a de carne. Com isso, surgiu criação do primeiro instituto biológico o qual forneceu a preparação das vacinas contra bouba e cólera. Nessa época, as fábricas de ração começaram a atender a demanda crescente dos avicultores, disponibilizando misturas balanceadas para alimentação das aves. Com a ajuda do Governo Federal houve a importação de equipamentos avícolas, como as incubadoras automáticas, marco inicial das vendas de pintos de um dia em bases comerciais (MALAVAZZI, 1999).

O período do início das exportações de frangos ocorreu entre os anos de 1975 a 1988, em que o frango inteiro era o principal produto. Com as mudanças das exigências no mercado consumidor nacional e internacional, deu-se início ao período de processamento, com os mais variados tipos de corte que fizeram parte do mercado (FAO, 2010).

A União Brasileira de Avicultura (ABPA) anunciou os números finais da produção de carne de frango em 2013, que encerrou o ano com produção de 5,6 bilhões de unidades. Com este desempenho o Brasil, terceiro maior produtor mundial de carne de frango, encurtou ainda mais a distância que o separa da China, o segundo país no *ranking*, abaixo dos Estados Unidos. Em 2013, 68,4% da produção foram destinados ao mercado interno, contemplado com os mesmos elevados padrões de qualidade e sanidade conferidos ao produto destinado ao mercado internacional (UBABEF, 2014).

Para manter essa posição de destaque, o Brasil teve que atender os padrões internacionais de qualidade e bem-estar animal, por meio de constantes inovações voltadas aos sistemas intensivos de produção, incluindo os relacionados às instalações para o alojamento das aves (FERREIRA et al., 2011).

Com todos esses investimentos em pesquisa voltada para produção avícola, nota-se que ocorreram mudanças ao longo desses anos, como menciona (GUIMARÃES, 2009). O autor relata que o tempo de produção de um lote de frangos de corte diminuiu de 56 dias para 41 dias, com conversão alimentar que melhorou de 2,25 para 1,75 e peso final que aumentou de 1,6 kg para 2,25 kg, o que caracteriza a evolução da produção avícola industrial brasileira nos últimos 40 anos.

Entre estudos recentes, salienta-se o emprego de luz monocromática para iluminação na avicultura, pois a luz tem grande influência para manipular o comportamento e a produção de aves de corte. Segundo Nääs (2010), a intensidade luminosa, a distribuição, os programas de luz, o comprimento de onda e a duração da luz afetam o desempenho e o bem-estar do lote, pois o posicionamento adequado das fontes de luz e sua distribuição estimulam as aves a procurar alimento, água e calor durante a fase de recria. Outra ferramenta de aplicação recente é a utilização das câmaras termográficas para aferição da

temperatura superficial de frangos de corte, que pode ser utilizada para estimar condições de conforto térmico de frangos de corte em diferentes condições de alojamento (NASCIMENTO, 2011).

2.2 Ambiência na criação de frango de corte

O ambiente de produção é caracterizado por um conjunto de elementos físicos, químicos, sociais e climáticos, que atuam simultaneamente e exercem influências sobre os animais de maneira favorável ou desfavorável ao desenvolvimento biológico, ao desempenho produtivo e reprodutivo das aves (BAÊTA e SOUZA, 2010).

O conceito de ambiência é amplo e está diretamente relacionado com o microclima no interior das instalações, que é naturalmente influenciado pelas condições climáticas externas. A ação dos fatores meteorológicos varia de acordo com a posição geográfica da unidade de produção e época do ano, que por sua vez, condicionam as variáveis ambientais, com existência de variações no período de 24 horas (NAZARENO, 2012).

Nesse sentido, o sistema de criação intensivo influencia diretamente na condição de bem-estar das aves, promovendo o balanço de calor do sistema ave-galpão, na qualidade do ar e na expressão dos comportamentos naturais dos animais, afetando assim, o desenvolvimento e o desempenho de frangos de corte (PONCIANO et al., 2011).

As aves são animais homeotérmicos e possuem centro termorregulador no sistema nervoso central, o qual é capaz de regular a temperatura corporal. O hipotálamo é o órgão que funciona como termostato fisiológico que controla a produção e dissipação de calor por meio de diversos mecanismos, como o fluxo sanguíneo na pele, mudança na frequência cardíaca e respiratória e modificação na taxa metabólica (ABREU e ABREU, 2011).

Estudos indicam que 80%, da energia ingerida são utilizadas para manutenção da homeotermia e apenas 20% para produção. O mecanismo de homeostase, entretanto, é eficiente somente quando a temperatura ambiente está dentro de certos limites. Portanto, é importante que os aviários tenham temperaturas ambientais próximas às das condições de conforto (ABREU e ABREU, 2011).

Em ambientes adequados o frango de corte pode expressar seus potenciais de produção. Dessa forma, necessita de faixas de temperatura e umidade relativa do ar adequada para as fases de criação: inicial (1 a 21 dias de idade), crescimento (22 a 35 dias de idade) e final (36 a 42 dias de idade) Essas faixas, contudo, vem sofrendo ajustes no tempo e no espaço, em função da evolução genética, formas e manejo de criação, densidade de alojamento, intensidade de condicionamento térmico do ambiente (CASSUCE, 2011).

As variáveis termohigrométricas recomendadas para cada semana do ciclo de produção são não primeira semana de 32 a 35°C, na segunda semana de 29 a 32°C, na terceira semana, de 26 a 29°C, na

quarta semana de 23 a 26°C, na quinta semana de 20 a 23°C, e na sexta e sétima semana 20°C, e umidade do ar de 60 70% (ABREU e ABREU, 2011).

São altamente correlacionadas temperatura e a umidade relativa do ar, uma vez que, em temperaturas muito elevadas (acima de 35 °C), o principal meio de dissipação de calor das aves é a evaporação, que depende da umidade relativa do ar. Então, quanto maior a umidade relativa do ar, mais dificuldade a ave têm de dissipar calor interno pelas vias aéreas, o que leva ao aumento da frequência respiratória. Todo esse processo que a ave realiza no sentido de manutenção da homeotermia promove modificações fisiológicas que podem comprometer seu desempenho (NASCIMENTO et al., 2012).

De acordo com Esmay e Dixon (1986), quando as condições ambientais no interior da instalação não estão dentro de limites adequados (zona de termoneutralidade), o ambiente térmico torna-se desconfortável, porém, o organismo dos animais ajusta-se fisiologicamente para manter sua homeotermia, seja para conservar ou dissipar calor. Para isso, ocorre desperdício de energia, com redução da eficiência produtiva.

A qualidade do ar também é um fator extremamente importante, pois as trocas de ar inadequadas aumentam as concentrações de partículas de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e amônia (NH₃) no interior das instalações, diminuindo as concentrações de oxigênio (O₂) favorecendo, assim, a incidência de ascite em aves de corte (MENEGALI et al., 2009; MACHADO et al., 2012; VIGODERIS et al., 2010).

2.3 O bem-estar animal

De acordo com Nääs (2011) o conceito atual de ambiência para determinação do conforto térmico requer uma visão da instalação como um todo, que envolve temperatura, umidade, poeira, gases, ventilação, luminosidade, densidade de criação e principalmente, limpeza e desinfecção dos aviários que são mencionados como contribuintes na patogenia de doenças. O ambiente ao qual a ave está submetida influencia muito o seu comportamento (DAWKINS, 1999) e, adquirindo o conhecimento de como este ambiente atua sobre ela, é possível identificar, quantificar e caracterizar as condições de conforto térmico e bem-estar (FREEMAN, 1968).

A qualidade do ambiente tem se tornado cada vez mais relevante, e fatores como ventilação e umidade, que interferem diretamente na qualidade do ar e da cama, devem ser controlados durante todo o período de criação até a idade de abate (PANDORFI, 2012). Alguns estudos mostram que a temperatura, umidade relativa e a velocidade do ar atuam como veículos auxiliares na dissipação de calor das aves, ajudando estas a manterem sua zona de termoneutralidade (FREEMAN, 1968; TETTER et al., 1992; RUTZ, 1994).

A qualidade do ambiente aéreo está relacionada à presença de odores, altas concentrações de gases, poeira e patógenos (NÄÄS, 2010). A amônia (NH_3) é um gás altamente irritante para as aves, e, devido à sua ação, causa estresse, levando as mesmas terem perda de peso, podendo até provocar a morte (MOURA, 2010). O gás carbônico (CO_2) é um gás presente na atmosfera, sem cheiro e, quando a concentração é de 50.000 ppm, causa nos animais um aumento no ritmo respiratório e respirações mais profundas (SILVA, 2008). Como o CO_2 é mais denso que o ar e é oriundo principalmente da respiração dos animais e de aquecedores, sua tendência é permanecer no nível das aves, dificultando a atividade respiratória e causando abatimento (MOURA, 2011).

2.4 Definições de bem-estar

O bem-estar animal é considerado um diferencial para países que buscam ampliar seu mercado, sendo um fator decisivo para o consumidor moderno na hora de comprar produtos cárneos. É crescente a convicção dos consumidores de que os animais utilizados para fins comerciais devem ser tratados com ética (PANDORFI, 2012). Para Fraser (1999), o bem-estar animal compreende dois aspectos fundamentais, o bem-estar físico, que se manifesta através de um bom estado de saúde e o bem-estar psicológico, que reflete o comportamento, ou seja, a ausência de comportamentos anormais. Segundo Bracke et al. (2001), o bem-estar pode ser considerado baseado nas necessidades biológicas do animal. A falta de bem-estar gera estresse e este compromete a produtividade. Vinculados aos efeitos estressores do ambiente estão: luminosidade, nível sonoro, velocidade e temperatura do ar, concentrações de gases, entre outros. O microambiente para a produção e bem-estar dos animais nem sempre é compatível com as suas necessidades fisiológicas.

Segundo Broom (1991), alguns sinais de bem-estar precários podem ser mensurados através dos parâmetros fisiológicos (tais como aumento da frequência cardíaca, aumento dos níveis de alguns hormônios, entre outros), porém mensurações através do comportamento têm igual valor na estimativa do bem-estar (BROOM, 1991; DUNCAN, 1998).

Para a definição do bem-estar animal, estão determinadas as cinco liberdades que devem ser atendidas (FAWC, 1993): liberdade psicológica (de não sentir medo, ansiedade ou estresse); liberdade comportamental (de expressar seu comportamento normal); liberdade fisiológica (de não sentir fome ou sede); liberdade sanitária (de não estar exposto a doenças, injúrias ou dor) e, liberdade ambiental (de viver em ambientes adequados, com conforto).

Os conceitos estão se modificando, estão emergindo idéias novas e nota-se que há movimentos que agregam valores distintos a ações que, em outros tempos, não seriam nem notadas. Isto requer uma mudança de paradigma. Na produção animal a conceituação de bem-estar envolve as questões físicas e mentais e a maioria das preocupações estão centradas em como o animal “sente”, quando

exposto a determinado tipo de confinamento ou manejo, ou ainda determinadas práticas (por exemplo, corte de cauda, corte de dentes ou apara de bico). Entretanto, o conceito de que o animal está sentindo alguma coisa, não se traduz necessariamente em uma experiência similar entre humanos, onde estaria implícito o sentimento de frustração, medo, ou mesmo dor (NÄÄS et al., 2010).

Hoje já se conhecem alguns indicativos eficientes de bem-estar, entretanto muito dos conceitos preconizados em países desenvolvidos, ainda estão baseados em mitos. O caso específico da presença da amônia no ambiente de alojamento, por exemplo, estudando a aversão da amônia pelas aves (Baracho et al., 2012), comprovou que estes animais, embora tenham preferência por ambientes com menor concentração de amônia no ar, se animais menores tiverem de escolher entre ambiente com altas concentrações de amônia e calor, darão preferência ao calor (questão da sobrevivência), em detrimento da qualidade do ar.

O sucesso da produção avícola depende, entre outros fatores, da redução dos efeitos climáticos sobre os animais, sendo necessário, portanto, a caracterização do ambiente térmico (DAMASCENO et al., 2010).

O conhecimento da realidade climática da região permite o planejamento, a concepção arquitetônica e orientação dos avicultores quanto ao melhor manejo ambiental, tendo como consequência maior produtividade e redução dos custos de produção das aves, por meio da adequação dos sistemas naturais e artificiais de condicionamento térmico ambiental. Uma análise mais crítica de temperaturas máxima e mínima permite o conhecimento mais preciso das condições de alojamento no período diurno e noturno. (ABREU e ABREU, 2011).

O conceito de Zootecnia de Precisão está relacionado à redução otimizada das perdas, bem como ao incremento da aplicação e gestão da qualidade do produto, dentro de todo o processo gerenciado. Este texto expõe técnicas de Zootecnia de Precisão e procura mostrar, sem esgotar o assunto, a importância da aplicação destes conceitos na obtenção de alimentos com qualidade que, além de atender à demanda do mercado consumidor, prevê a agregação de valor ao produto (NÄÄS et al., 2011).

O microclima dentro das instalações avícolas é influenciado por inúmeras variáveis, destacando-se o número de aves alojadas por área, tipo de edificação, forma, paisagismo circundante e materiais de construção. O material de cobertura, por compor a única estrutura física do projeto responsável pelo controle térmico da radiação, apresenta grau de importância relevante, já que as instalações avícolas brasileiras são predominantemente abertas e as cortinas laterais são fracas e, na realidade, indesejáveis ao controle térmico de verão, uma vez que obstruem a ventilação natural (SARAZ et al., 2010).

As modificações como alteração na altura do pé-direito, aberturas laterais, arborização e ventilação natural ou artificial são alternativas para a melhoria do conforto térmico das instalações para produção animal (SARAZ et al., 2010).

Com relação ao eixo longitudinal do aviário em climas quentes deve ser orientado na direção leste-oeste, o qual propicia às aves melhor conforto térmico. Isso ocorre com o intuito de que a superfície exposta a oeste seja a menor possível, evitando-se sobreaquecimento pela forte insolação nas longas tardes de verão. Isso irá minimizar a incidência direta do sol sobre os animais através das laterais da instalação, já que o movimento aparente do sol se dará sobre a cumeeira durante todo o dia (SARAZ et al., 2010).

O afastamento entre aviários deve ser suficiente para que uns não atuem como barreira à ventilação natural dos outros e, esse afastamento deve ser 10 vezes a altura do pé-direito da construção ou, no mínimo, 30 m entre si, sendo que do segundo aviário em diante o afastamento deverá ser de 20 a 25 vezes essa altura. Nem sempre será possível atender a essa recomendação por razões relativas à área disponível, topografia ou fluxograma de trabalho, mas deve-se, ao máximo, tentar se aproximar dessa situação. Na pior das hipóteses, devem-se possibilitar afastamentos entre galpões de no mínimo 35 a 40m. (SARAZ et al., 2010).

Para Baêta e Souza (2010), a largura do aviário tem grande influência no condicionamento térmico interior e em seu custo, existindo tendência mundial de se projetarem galpões com 12 m de largura por 125 m de comprimento, com vistas a otimizar o uso de equipamentos modernos. O pé-direito promove a redução da carga térmica de radiação acumulada no abrigo e nesse caso varia em função da ventilação natural, recomenda-se altura mínima de 3 m de pé-direito.

Segundo Mendes et al. (2004), o pé-direito do aviário pode ser estabelecido em função da largura adotada, de forma que os dois parâmetros em conjunto favoreçam a ventilação natural no interior do aviário com condicionamento térmico natural. Quanto mais largo for o aviário, maior será a sua altura, como representado na (tabela 1) o pé direito é elemento importante para favorecer a ventilação e reduzir a quantidade de energia radiante vinda da cobertura sobre as aves. Estando as aves mais distantes da superfície inferior do material de cobertura, receberão menor quantidade de energia radiante, por unidade de superfície do corpo, sob condições normais de radiação. De acordo com Mendes (2004), quanto maior o pé-direito da instalação, menor é a carga térmica recebida pelas aves.

Tabela 1. Determinação do pé-direito em função da largura do aviário.

Largura do aviário (m)	Pé-direito mínimo em climas quentes (m)
Até 8	2,8
8 a 9	3,15
9 a 10	3,5
10 a 12	4,2
12 a 14	4,9

Fonte: Mendes (2004).

De uma maneira geral, recomenda-se a construção de aviários sem a presença de pilares intermediários, uma vez que este tipo de estrutura dificultará a circulação do ar dentro do aviário e atrapalhar no manejo diário das aves, além de dificultar o trânsito de veículos no interior do aviário (FURTADO et al., 2005).

Da mesma forma, podem ser utilizados os comedouros automáticos e mecanizados. O conjunto consiste, em um depósito metálico para a ração de onde saem os comedouros que são fabricados de calhas de chapas galvanizadas. A ração é transportada por meio de correntes ou espirais formando um circuito fechado. O comprimento da linha é variável conforme o número de aves e todo o conjunto é regulável, de modo a permitir sua plena utilização de acordo com a idade da criação (PEREIRA, 1986).

A mureta deve ter a menor altura possível, aproximadamente 0,2 m, permitindo a entrada do ar no nível das aves, evitando a entrada de água de chuva e que a cama seja arremessada para fora do aviário (MENDES et al., 2004). Entre a borda da mureta e o telhado, deve ser colocada tela à prova de pássaros e insetos, como também a instalação de cortinas para evitar penetração de sol e chuva e controlar a ventilação no interior do aviário (TEIXEIRA, 1997).

De acordo com a Instrução Normativa de Nº 56, de 6 de novembro de 2008, a legislação para telas em aviários recomenda uma malha da tela de proteção com medida não superior a 2 cm, à prova de entrada de pássaros, animais domésticos e silvestres (MAPA, 2008). Segundo Abreu (2003), as telas de PVC (plástico) tem tido boa aceitação por não enferrujarem, não provocarem rasgos nas cortinas, terem maior durabilidade e possibilidade de reaproveitamento, porém ainda são pouco utilizadas.

A cobertura de uma instalação atua como um coletor solar, recebendo toda a radiação do sol e emitindo-a tanto para o exterior como para o interior do aviário. Em regiões tropicais, a intensidade de radiação é alta em quase todo o ano, sendo comum, verificar desconforto devido ao calor mesmo durante épocas menos quentes do ano, devido à grande emissão de radiação dos telhados. A cobertura ideal para as condições brasileiras deve apresentar grande capacidade de reflexão, ter considerável capacidade de isolamento e retardo térmico (BAÊTA, 2010).

Em seus relatos Nääs et al. (2010) consideram o telhado como elemento construtivo mais importante em uma instalação avícola, quanto ao controle da radiação solar incidente. O material utilizado deverá ser o que emita menos radiação possível para o interior da instalação. A telha cerâmica é um exemplo de um isolante térmico por conta da sua baixa condutividade térmica, controlando o excesso de troca de calor entre os meios externo e interno.

As telhas de cerâmica são produtos de argila queimados a aproximadamente, 900 °C e podem ser encontradas no mercado, principalmente, nas formas plana (francesa ou marselha) e curva (canal, colonial ou paulista). As características de uma boa telha cerâmica são: impermeabilidade, superposição e encaixe perfeitos, uniformidade e boa resistência mecânica. As telhas metálicas podem ser de chapas de alumínio, zinco ou aço galvanizado. As telhas de alumínio têm resistência à corrosão superior a de aço

devido ao seu polimento, embora com menor resistência mecânica, e podem ser encontradas no mercado nos tipos onduladas e trapezoidais. Essas telhas são de baixo peso relativo, tem elevado poder de reflexão térmica, alta condutividade térmica e possui grande emissão de sons devido a impactos, fácil manuseio, pequena resistência mecânica sem deformação e grande dilatação térmica (GUIMARÃES, 2009).

A combinação de cores que proporciona melhor resultado, em termos de melhoria do conforto térmico é a cor branca, na face superior das telhas, e preta, na face inferior da cobertura. Embora a superfície negra possua efeitos indesejáveis tais como maior temperatura de superfície, maior emissividade e absorvidade, tem a vantagem de possuir baixa refletividade. Assim a carga térmica de radiação sobre os animais torna-se menor (DAMASCENO et al., 2010). A emissividade de uma superfície, em imagens capturadas por sensoriamento remoto, já podem ser calculadas por *softwares* específicos com grande precisão, conforme proposto por Guest (2005).

Além destas características apresentadas, outra forma de minimizar o efeito dos agentes estressores sobre o sistema de produção é por meio do condicionamento térmico do ambiente, através do uso de equipamento que atenda as necessidades das aves durante todo o ciclo de produção, seja essa por meio de aquecimento ou por resfriamento. Atingir o conforto térmico no interior dessas instalações avícolas, face às condições climáticas inadequadas, torna-se um desafio, principalmente em situações extremas de calor ou frio, que afetam consideravelmente a produção (DAMASCENO et al., 2010).

Na tentativa de resolver essas questões de ambiência, os aviários estão, atualmente, aparelhados com equipamentos de climatização, tais como: exaustores, nebulizadores, sistemas de aquecimento a lenha ou infravermelho a gás, painéis de controle, nos quais são programadas a temperatura e a umidade relativa do ar para cada idade dos frangos, além de cortinado, forração (BAÊTA e SOUZA, 2010). O controle interno de temperatura no aviário é feito principalmente pela retenção ou liberação do calor.

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, criando gradiente de pressão de fora para dentro da instalação. Esse sistema é o mais comum nos aviários de construção aberta, podendo ser de dois tipos: em modos túnel e lateral (SARAZ et al., 2010; BAÊTA e SOUZA, 2010).

O sistema tipo túnel associado ao resfriamento adiabático, geralmente envolve o uso de ventilação forçada (pressão positiva) e nebulização, ou ventilação forçada (pressão negativa) e painel evaporativo. No segundo caso, o princípio é que, o ar quente e seco ao atravessar a área molhada do painel, o ar se resfria e é movimentado ao longo da instalação, no sentido da exaustão. Já a ventilação com nebulização está associada a um manejo sincronizado do sistema. Nesse caso, a nebulização consiste

na pulverização da água em gotículas minúsculas, facilmente evaporadas em ambientes com temperatura do ar elevada. O uso do nebulizador em conjunto com o ventilador, evita a concentração de umidade no ambiente e na cama do aviário e ainda, dissipa grande quantidade de calor do ambiente. No entanto, o uso do nebulizador sem a ventilação forçada poderá provocar aumento da umidade local, o que é contra indicado por razões sanitárias (VIGODERIS, 2010).

O aquecimento a lenha é um dos primeiros métodos utilizados para aquecer o ambiente em que as aves se encontram e caracteriza-se por utilizar a madeira como combustível. O calor é transmitido às aves principalmente por meio da convecção e irradiação térmica. No entanto, essa fonte de calor numa campânula ou fornalha, nem sempre produz temperatura constante no interior de aviários; muitas vezes esta temperatura excede ao necessário, e a manutenção do sistema requer muita mão-de-obra (ABREU e ABREU, 2011).

Os sistemas de aquecimento elétrico, geralmente são constituídos por resistências elétricas ou lâmpadas infravermelhas, que são acopladas em campânula (refletor), a fim de projetar a energia irradiada pelas fontes de calor no nível das aves. Outra aplicação ainda pouco utilizada, mas muito eficiente, é a utilização de resistências elétricas embutidas no piso, a fim de promover a troca de energia pelo contato das aves com o piso aquecido. O sistema, em si, é o mais limpo e de fácil de manutenção, desde que se adéque a potência do elemento aquecedor ao número de aves a ser criado. É caracterizado por ser de fácil manuseio, possuir produção de calor constante e não produzir gases tóxicos (CO e CO₂). A grande desvantagem desse tipo de aquecedor é o custo com energia elétrica (ABREU e ABREU, 2011).

Os aquecedores a gás (campânulas) são os mais empregados e podem utilizar como combustível tanto o gás natural, quanto o gás liquefeito de petróleo (GLP). Existe grande variedade de modelos de campânulas a gás com placas aquecedoras metálicas ou de cerâmica, provido de campânula maior ou menor, conforme o modelo e manejo das aves. O princípio de aquecimento radiante é manter a ave aquecida e o piso seco, contudo os sistemas primeiro aquecem o ar que depois é repassado aos animais e à cama. Esses equipamentos produzem radiação concêntrica desde o eixo da campânula, perdendo eficiência com a distância do mesmo (VIGODERIS, 2010).

2.5 Sistema termodinâmico das aves em alojamento

A temperatura corporal de um animal refere-se à quantidade de energia térmica estocada por unidade de massa corporal. Essa energia pode ser aumentada ou diminuída pelos processos de termogênese e termólise, respectivamente. Nesses processos estão envolvidos mecanismos comportamentais, autônomos e adaptativos o aparelho termorregulador das aves é pouco desenvolvido, tornando-as sensíveis ao frio quando jovens e ao calor quando adultas (LUZ, 2012).

Por se tratar de um sistema termodinâmico vivo, as aves são capazes de trocar continuamente energia com o ambiente. Neste processo, os fatores exógenos tendem a produzir variações internas no

animal, influenciando na quantidade de energia transferida entre as aves e o ambiente, havendo então a necessidade de ajustes fisiológicos para a ocorrência do balanço de calor (LUZ, 2012).

Sendo assim, as aves mantêm os níveis de energia térmica corporal dentro de limites estreitos. O calor corporal é oriundo de processos metabólicos, envolvidos nas mais diversas funções orgânicas. Relacionado ao metabolismo, os animais ganham calor devido à energia de manutenção, bem como por meio da realização de trabalho da musculatura esquelética, pelo crescimento e pela alimentação (LUZ, 2012).

Em geral, as trocas térmicas com o ambiente são realizadas por quatro componentes principais: radiação, condução e convecção, denominadas trocas sensíveis e, por meio da evaporação, que constitui um dos mais importantes mecanismos latentes de troca térmica entre os animais e o ambiente de produção. As trocas latentes ocorrem devido a um diferencial de pressão de vapor. No caso das aves, a troca por evaporação ocorre pela ofegação (resfriamento evaporativo respiratório), uma vez que a ave não possui glândulas sudoríparas (BEZERRA et al., 2011).

As trocas sensíveis são caracterizadas por um diferencial de temperatura entre o animal e o ambiente. A condução é a transferência de energia de partículas mais energéticas de uma substância para as menos energéticas adjacentes, como resultado da interação entre as partículas. A convecção é caracterizada pela transferência de energia de uma superfície sólida e o líquido ou gás adjacente em movimento, envolvendo os efeitos combinados de condução e movimento do fluido. A radiação é a transferência de energia térmica sob a forma de ondas eletromagnéticas ou fótons (LUZ, 2012). As trocas por condução, de acordo com Matsukuma et al. (2010), são consideradas desprezíveis, por representarem uma porcentagem insignificante no sistema ave-galpão.

A instalação avícola é um dos pontos em que se exige maior cuidado, em se tratando do conforto térmico para frango de corte (ABREU, 2011). Neste caso, de acordo com Matsukuma et al. (2010), o calor sensível promove variação de temperatura do ar no interior do aviário pode ser determinado pelo somatório da energia irradiada pelos animais; fontes mecânicas, elétricas e outras, tais como os motores e luzes; interação da radiação solar com o material de cobertura; energia proveniente do sistema de aquecimento; fluxo de ar (entrada e saída); transferência de energia pela estrutura da construção, tal como paredes, portas e telhados, entre outros.

Entre as respostas fisiológicas compensatórias das aves, quando expostas ao calor, inclui-se a vasodilatação periférica, que resulta no aumento da perda de calor sensível. Então, 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. Outra resposta fisiológica é o aumento na taxa respiratória, que resulta em perdas excessivas de dióxido de carbono (CO_2). Assim, a pressão parcial de CO_2 diminui, levando à queda na concentração de ácido carbônico (H_2CO_3) e

hidrogênio (H⁺). Em resposta, os rins aumentam a excreção de HCO₃ e reduzem a excreção de H⁺ na tentativa de manter o equilíbrio ácido-básico da ave (OLIVEIRA e PESSA, 2013).

De maneira geral, as perdas de calor nas aves são controladas por meio da alteração do fluxo sanguíneo na superfície corporal, ou ainda, alterando a taxa de evaporação na pele e no trato respiratório (ABREU, 2011). A superfície corporal das aves é caracterizada pela presença de uma camada de penas, que têm maior importância quando as aves estão expostas a situação de frio. Portanto, a atividade vasomotora na pele coberta com penas é mínima e essas regiões podem ser caracterizadas como vasorregulatórias conservadoras (OLIVEIRA e PESSA, 2013). As áreas desprovidas de penas, tais como as pernas, cristas, barbela, são fundamentais no processo termorregulatório, por se tratar de regiões corporais altamente vascularizadas.

As aves realizam o balanço de energia corporal pela redução da produção de calor, aumentando a perda de calor por evaporação. Neste contexto, a ofegação é a principal via para a perda de calor sob elevadas temperaturas, ou aumentando a perda de calor sensível por convecção e radiação, e ainda pela combinação de ambos. Uma das principais dificuldades para a quantificação da perda de calor sensível é devido à incapacidade de se medir precisamente a distribuição da temperatura na superfície corporal da ave e para diferenciar as contribuições das diferentes regiões da superfície do corpo para a perda de calor (Oliveira e Pessa, 2013; ABREU e ABREU, 2011). Dessa forma, torna-se importante o desenvolvimento de pesquisas nesta área, pois ao contrário dos achados científicos anteriores, a temperatura hipotalâmica não é a única responsável pelos processos de termorregulação. A eficiência da homeostase também é função da temperatura do ambiente, da temperatura da epiderme e das temperaturas das diferentes partes do corpo (MATSUKUMA et al., 2010).

2.6 Índices de Conforto Térmico

O ambiente externo é o fator principal para a troca de calor no sistema ave-galpão, com isso, Rodrigues et al., (2011) mencionam que as condições microclimáticas das instalações são utilizadas como elementos decisivos para acionar sistemas de climatização e que alguns autores, como Vigoderis et al. (2010); Cordeiro et al (2010) consideram que uma análise conjunta do temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar nos ambientes zootécnicos, é importante para verificar a situação de conforto e estresse a que os animais estão submetidos. Essas variáveis são responsáveis pela quantificação do balanço de energia térmica no ambiente, representando as características psicrométricas do ar úmido, responsáveis pelas transferências de energia.

As comparações de desempenho entre diferentes modelos de instalações, em razão do grande número de variáveis envolvidas, são facilitadas pelos índices de conforto térmico (LIMA et al., 2009).

Os índices de conforto térmico foram classificados por Nääs et al (2010) em: biofísicos (troca de calor entre o corpo e o ambiente), fisiológicos (baseiam-se nas relações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura ambiente, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e velocidade do ar) e subjetivos (sensações subjetivas de conforto em face de variações dos elementos de conforto térmico).

São exemplos de índice de conforto térmico, segundo Lima et al (2009), o índice de temperatura ambiente e umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), temperatura efetiva (TE), Entalpia (h ; $\text{kJ kg de ar seco}^{-1}$) e Carga Térmica Radiante (CTR, W m^{-2}), sendo este último o mais adequado para representar as condições de conforto térmico em regiões quentes para a produção animal, em razão de incorporar a temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, velocidade do ar e a radiação na forma de temperatura de globo negro, em um único valor. Conforme, Nascimento et al. (2011), desses índices, o mais empregado até a década de 80 para avaliar o ambiente térmico animal foi o ITU e na década de 90, o ITGU.

Em um trabalho Sampaio (2011) verificou que o limite mínimo de ITGU para que os frangos de corte não sofram estresse por frio na primeira semana de vida é de 78,6, na segunda semana de vida é de 67,4 e para aves entre a terceira e sexta semana de vida é de 65. De acordo com Vitorasso e Pereira (2009), os valores de ITGU confortáveis para aves de corte são de $81,3 \pm 0,31$ (uma semana de vida); 77 (segunda semana de vida) e $74,9 \pm 1,65$ (terceira semana de vida).

Índices comumente utilizados para medir conforto térmico de frangos de corte, como índice de temperatura e umidade, que foram proposto há 50 anos, 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 na perda de calor (VITORASSO e PEREIRA 2009; NÄÄS et al 2010; NASCIMENTO et al., 2011).

Dentre os índices de avaliação de conforto térmico estudados, a entalpia tem sido proposta como o índice mais adequado para a avaliação do ambiente interno de aviários de frangos de corte, isso porque é um índice que depende basicamente da temperatura e da umidade relativa do ar. A entalpia expressa à quantidade de energia presente no ambiente e a facilidade de aquisição das variáveis necessárias para seu cálculo facilita o seu uso por parte dos produtores (SILVA et al., 2010).

Nos aviários a maior parte exposta à radiação é o telhado o qual absorve grande parte desta energia e a transfere para o interior das instalações, aumentando os ganhos térmicos e, conseqüentemente, elevando a temperatura interna (NASCIMENTO, 2011). A utilização de isolantes térmicos, como o forro sob o telhado, proporciona melhor conforto às aves, reduz a transmissão térmica e aumenta a inércia térmica, por isso é um dos tipos de isolamento mais utilizado. (SILVA et al, 2010).

2.7 Termografia Infravermelho

A termografia sem contato é uma técnica de detecção da distribuição de energia térmica emitida pela superfície de um ou vários corpos ou objetos, por radiação. É um método não invasivo, capaz de detectar, visualizar e gravar diferentes níveis de distribuição de temperatura através da superfície de um objeto. A termografia sem contato permite o estudo da temperatura dos corpos, através da radiação infravermelha emitida pelos mesmos usando uma câmara radiométrica (KNUPP, 2010). Na maioria dos processos e atividades industriais, o parâmetro temperatura é importante. Uma câmara radiométrica e uma câmara térmica com capacidade de medir temperaturas apresentando algumas vantagens em relação aos outros sistemas de medição de temperatura, nomeadamente aos que usam técnicas de contato (CORTIZO et al., 2013; LAHIRI et al. 2013): fácil medição da temperatura de objetos móveis e de difícil acesso; técnica sem contato, não interferindo com o funcionamento e com o comportamento do elemento a medir; facilidade e rapidez na medição de grandes superfícies; medição da temperatura de vários objetos de forma simultânea; tempo rápido de resposta, permitindo seguir fenômenos transitórios de temperatura; precisão elevada, alta repetibilidade e fiabilidade das medições.

A termografia é aplicável em qualquer situação onde o conhecimento do padrão térmico através de uma superfície forneça dados significativos de uma estrutura, processo ou sistema, nomeadamente (CORTIZO et al., 2013): sistemas elétricos; sistemas mecânicos; técnicas termográficas e seus fundamentos; sistemas de fluídos e vapor; indústria automóvel; indústria de processo; perdas de energia (edifícios, fornos e caldeiras); eletrônica; aeronáutica; vigilância e segurança. Aplicações médicas: medicina e medicina Veterinária. É uma ferramenta com forte implementação em manutenção preditiva, manutenção preventiva, manutenção condicionada, garantia da qualidade e forenses e pode ser usada, com vantagens, em fase de desenvolvimento de novos produtos onde a temperatura seja uma variável crítica.

2.7.1. Fenômenos de transferência de calor

A transferência de calor é quantificada pelo fluxo de calor ou fluxo térmico, que representa uma taxa de energia térmica (calor) transferida através de uma superfície, representa a quantidade de calor transferido por unidade de área, na unidade de tempo. Existem três modos de Transferência de Calor (CORTIZO et al., 2013): condução, a transferência de calor dá-se no interior ou entre corpos; convecção, a transferência de calor dá-se entre uma superfície sólida e um fluido; radiação, a transferência de calor dá-se através de ondas eletromagnéticas, podendo ocorrer através de meios transparentes ou do vácuo. É o único modo de transferência de calor detectado diretamente pelo equipamento de infravermelhos. Temperatura é diferente de calor e define-se como a medida da velocidade média das moléculas e átomos que formam a substância. A temperatura é um escalar e pode ser medida em °C (Celsius) ou K (Kelvin),

no Sistema Internacional de Unidades (CORTIZO et al., 2013). Num determinado espaço, pode-se definir um campo de temperaturas (campo térmico), que é um campo escalar.

O processo de condução é simples, estando associado à transferência de calor efetuada ao nível molecular. As partículas mais energéticas (maior temperatura), ao colidir com as partículas contíguas menos energéticas (menor temperatura), transferem parte da sua energia vibracional, rotacional e translacional. O movimento da energia térmica é transmitido ao longo de um átomo para outro. A transferência de calor ocorre em gases, líquidos ou sólidos (INCROPERA et al., 2011; LIU et al., 2011; DULSKI et al., 2010).

A transferência de calor por condução pode ser avaliada pela sua rapidez, sendo dependente da condutividade térmica do material. Os metais têm alta condutividade térmica, enquanto os isolantes têm baixa condutividade térmica. Outros fatores que afetam a transferência de calor por condução são a diferença de temperaturas, a área de superfície e a qualidade da superfície de contato. Estes fatores são diretamente proporcionais à rapidez da transferência de calor (CORTIZO et al., 2013; DULSKI et al., 2011).

O fluxo de calor por convecção ocorre quando, um gás ou um líquido flui ao passar numa superfície sólida, cuja temperatura é diferente da temperatura do fluido (LIU et al., 2011). O movimento pode ser provocado por agentes externos, como por exemplo, pela atuação de uma ventoinha, ou por diferenças de densidade resultantes do próprio aquecimento do fluido. No primeiro caso, diz-se que a transferência de calor se processa por convecção forçada, enquanto, no segundo, por convecção natural ou livre. Assim, mesmo que um fluido se encontre em repouso (do ponto de vista macroscópico), a diferença de temperaturas gera diferenças de densidade no seio do fluido que poderão ser suficientes para induzir um movimento ascendente do fluido mais quente (sob a ação da gravidade) (INCROPERA et al. 2011; NOGUEIRA et al., 2010).

A radiação térmica é a energia emitida de um dado material, dada a sua temperatura diferente de zero. A radiação térmica está relacionada com a energia libertada devido às oscilações ou transições dos elétrons que constituem os átomos, íons ou moléculas mantidos pela energia interna do material. Toda a forma de matéria com temperatura acima do zero absoluto emite energia por radiação (KNUPP, 2010; INCROPERA et al., 2011). A energia do campo de radiação é transportada por ondas eletromagnéticas através do espaço vazio. A transferência de energia por condução ou convecção exige a presença de um meio material, ao contrário da radiação, que ocorre de um modo mais eficiente no vácuo (INCROPERA et al., 2011; GUO et al. 2012).

Existem alguns fatores que afetam a transferência de calor por radiação. Enquanto uma maior diferença de temperaturas entre objetos implica maior rapidez de transferência de calor, a mesma pode ser diminuída por fatores atmosféricos (humidade, CO₂, e partículas). Uma menor distância ao corpo quente e

uma maior emissividade do objeto implicam maior rapidez de transferência de calor (KNUPP et al., 2010).

Para uma avaliação do poder emissivo de uma superfície, tem que se explicar o conceito do corpo negro. Um corpo negro é um corpo capaz de absorver toda a radiação incidente, independentemente do comprimento de onda e direção da radiação. Para uma determinada temperatura e comprimento de onda, não existe nenhuma superfície capaz de emitir mais energia que um corpo negro. Apesar da emissão de radiação ser em função da temperatura e comprimento de onda, e independente da sua direção, ou seja, é um emissor difuso. Pode-se assim introduzir as leis da radiação (CORTIZO et al., 2010): lei de Stephan-Boltzmann: relaciona temperatura e energia; lei de Planck: relaciona energia e comprimento de onda; lei do deslocamento de Wien: relaciona temperatura e comprimento de onda.

2.7.2 Espectro Eletromagnético

A energia de um objeto quente é irradiada em diferentes níveis, em todo o espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético divide-se em diferentes faixas espectrais, que vão desde comprimentos de onda mais curtos, incluindo raios gama e raio-X, até comprimentos de onda mais longos, incluindo micro-ondas e ondas de rádio transmissão (GOETZ e DUBAYAH, 2011). A luz que o olho humano pode detectar é a faixa visível do espectro eletromagnético, sendo uma mistura de comprimentos de onda, percebidos como diferentes cores. A termografia faz uso da faixa de infravermelho, através do uso de uma câmara radiométrica, usualmente denominadas como câmara termográfica.

2.7.3. Características da radiação infravermelha

Os corpos reais não são corpos negros, apesar de se poderem comportar aproximadamente como tal em determinados intervalos espectrais. Por isso, as leis enunciadas não podem ser aplicadas sem se ter em consideração determinadas correções. Existem três processos que impedem um objeto real de agir como um corpo negro: absorção, reflexão, transmissão. Todos estes fatores são dependentes do comprimento de onda (BANDEIRA et al., 2012).

A absorção espectral é a razão entre a radiancia absorvida pelo objeto e a radiancia total que incide no objeto (BANDEIRA et al., 2012). A reflexão espectral é a razão entre a radiancia refletida pelo objeto e a radiancia total que incide no objeto. A reflexão depende das propriedades da superfície, da temperatura e do tipo de material. O ângulo de reflexão da radiação infravermelha refletida é sempre igual ao ângulo de incidência (BANDEIRA et al., 2012).

A transmissão espectral é a razão entre a radiancia transmitida e a radiancia total que incide no objeto (BANDEIRA et al., 2012; BARBOSA et al., 2012). A transmissão depende do tipo e da

espessura do material, sendo que a maioria dos materiais são não transmissivos. A soma dos três fatores adimensionais deve ser igual à unidade, para qualquer comprimento de onda (BARBOSA et al., 2012). Um objeto também tem a capacidade de radiar ou emitir energia infravermelha em comparação com um corpo negro a mesma temperatura e comprimento de onda, definindo-se assim a emissividade (CORTIZO et al., 2013).

A emissividade varia com as propriedades da superfície, do material e, para alguns materiais, varia com a temperatura do objeto. Materiais não metálicos (PVC, cimento e substâncias orgânicas) tem alta emissividade para a faixa do infravermelho distante e esta não depende da temperatura. Metais com superfície brilhantes tem baixa emissividade, que varia com a temperatura (BANDEIRA et al., 2012). A maioria dos sólidos, superfícies pintadas ou orgânicas e metais oxidados são corpos cinzentos com emissividade elevada. Superfícies de metal polidas e brilhantes, e alguns materiais semicondutores, são corpos cinzentos com baixa emissividade e alta refletividade. Filme de plástico fino, vidro, gases e materiais óticos são corpos não cinzentos cuja emissividade varia com o comprimento de onda (LAHIRI et al., 2012). Uma câmara termográfica não mede apenas a radiação emitida a partir de um objeto, como também mede a radiação do ambiente refletida através da superfície de um objeto. Ambas as radiações esbatem-se no meio de transmissão, existindo também uma radiação da atmosfera (NOGUEIRA et al., 2010)

2.7.4. Fatores de influencia na medição da radiação infravermelha

A análise das medições termográficas pode ser complicada, podendo levar a conclusões erradas, sendo necessário tomar precauções antes e durante os ensaios termográficos (BARBOSA et al., 2012). A avaliação de erros de medição é importante para a precisão do serviço termográfico. Os erros podem ser classificados como erros de método, erros de calibração e erros eletrônicos. Em condições reais, os erros da medição podem ocorrer devido (SCHUETZ e WEILER, 2011): incorreta avaliação da emissividade do objeto, temperatura atmosférica, temperatura ambiente e da distancia entre o objeto e a câmara; influência da radiação (direta ou refletida pelo objeto) que chega ao detector da câmara; incorreta avaliação da transmissão e radiação atmosférica. A emissividade depende do comprimento de onda, da temperatura, do material, do estado da superfície e da direção da observação. A influência da radiação emitida pelo ambiente aumenta quando diminui a emissividade. A influência da radiação do Sol sobre a precisão da termografia é bastante difícil de avaliar, uma vez que a vizinhança do objeto pode abranger diferentes valores de emissividade (SCHUETZ e WEILER, 2011).

2.7.5. Influência atmosférica

Define-se atmosfera como o ambiente entre o objeto a medir e a câmara termográfica. A atmosfera atenua ou reduz o sinal de infravermelhos devido à existência de diversos componentes (CORTIZO et al., 2013). A transmissão atmosférica, a radiação emitida pelo sol, temperatura ambiente, vento, chuva e a humidade são fatores que podem afetar a distribuição térmica dos componentes a inspecionar, bem como a radiação infravermelha que chega à câmara termográfica (FERNANDES et al., 2012).

2.7.6. Transmissão atmosférica

A transmissão atmosférica varia em função da temperatura, humidade relativa do ar e da quantidade de partículas suspensas no ar (poeira, poluição, neblina e nevoeiro). A atmosfera pode influenciar a radiação emitida pelos objetos por meio dos seguintes fenômenos (DULSKI et al., 2010; FERNANDES et al., 2012): absorção, provoca a atenuação da radiação e pode ser de dois tipos, molecular ou por ação de aerossóis; dispersão, provoca uma redistribuição do fluxo incidente em todas as direções de propagação, diminuindo o fluxo incidente na direção original; turbulência, causado por movimentos irregulares do ar. Este movimento provoca a flutuação aleatória do índice de refração da atmosfera, resultando em imperfeições nas imagens geradas pela câmara termográfica. No entanto como a distância entre o objeto e a câmara não é significativa, este fenômeno é desprezável.

2.7.8. Fatores climáticos

A imagem térmica de um objeto depende das transferências de calor entre a superfície e a sua envolvente. Por exemplo, a radiação solar que incide sobre os componentes e equipamentos de uma subestação elétrica, que estejam ao ar livre, influencia a inspeção termográfica. Os objetos que aquecem ao sol, como resultado da absorção da luz solar, afetam consideravelmente a temperatura da sua superfície e o reflexo da luz solar pode levar a leituras erradas da radiação infravermelha emitida por um objeto. Um objeto com exposição prolongada à radiação solar aumenta sua temperatura e dificulta a distinção entre defeito e funcionamento normal (TAYLOR et al., 2012; FERNANDES et al., 2012). Outras fontes de calor são, por exemplo, radiadores, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas homogêneas, lâmpadas incandescentes, veículos automóveis e equipamentos em funcionamento.

A água pode afetar a radiação infravermelha emitida por um objeto de várias maneiras, devido ao fato de poder existir no estado líquido, sólido e gasoso. A humidade é a quantidade de vapor de água na atmosfera. Em ambientes com humidade muito alta e devido à precipitação, à alta condutividade térmica da água e ao processo de evaporação, ajuda a dissipar o calor produzido por um objeto. A

dissipação do calor produzido por um objeto resulta na redução da temperatura do objeto a inspecionar, dificultando a detecção, análise e diagnóstico de um defeito (DULSKI et al., 2010).

Em inspeções termográficas realizadas em ambientes abertos, o vento tem influência nos resultados obtidos. O vento é equivalente ao resfriamento por convecção forçada, ou seja, um arrefecimento forçado proporciona um maior arrefecimento do objeto, aumentando também o coeficiente de transferência de calor h (DULSKI et al., 2010). A interpretação de uma imagem termográfica é um aspecto fundamental nos ensaios termográficos. O objetivo do ensaio e a natureza do objeto em estudo determinam se a análise deve ser qualitativa ou quantitativa (BARBOSA et al., 2012).

2.7.9. Análise Qualitativa

A análise qualitativa deve ser utilizada sempre que se pretende uma abordagem superficial do problema, efetuando-se termogramas onde, apenas pela observação e sem grandes detalhes de medição, se pode avaliar termicamente o objeto em estudo (CAZZANIGA et al., 2012). Os termogramas, ou imagens termográficas, podem ser obtidos com emissividade constante, uma vez que se pretende visualizar as diferenças de temperatura superficiais. A interpretação pode ser feita no local do ensaio termográfico (BARBOSA et al., 2012). Apesar da simplificação inicial, os ensaios devem ser realizados por uma pessoa qualificada e capaz de interpretar os resultados, para saber qual o tipo de imagem esperada quando não existe nenhuma anomalia. Para evitar erros de interpretação, aconselha-se que, sempre que possível, sejam efetuados termogramas para referência de zonas não afetadas do objeto em estudo. Desde que as condições do ensaio e envolvente sejam idênticas, a avaliação do termograma do objeto defeituoso pode ser feita por comparação com o termograma de referência (CORTIZO et al., 2013; CAZZANIGA et al., 2012).

2.7.10. Análise Quantitativa

Na análise quantitativa, são calculadas as temperaturas superficiais através de uma imagem termográfica e parâmetros analíticos (CAZZANIGA et al., 2012). O ensaio termográfico requer mais detalhe e condições de ensaio mais rígidas, demorando mais tempo, mas é mais eficaz que a análise qualitativa, uma vez que permite medir temperaturas. Os resultados da análise quantitativa são gravados e anotam-se todos os parâmetros que se considerem essenciais para análise posterior. Toda a informação recolhida durante o ensaio é processado por software de análise (CORTIZO et al., 2013; BARBOSA, 2012). A câmara termográfica deve estar calibrada, uma vez que se pretendem valores reais da temperatura do objeto em estudo. Os procedimentos de calibração devem ser feitos em conformidade com o respetivo manual (TAYLOR et al., 2012).

2.8. Breve História da Termografia

A associação da ideia de temperatura de um objeto como quente ou frio é uma descrição qualitativa. Quando dois objetos a diferentes temperaturas estão em contato ocorrem trocas de calor entre eles até ser atingido o equilíbrio térmico, durante o qual o valor da temperatura é idêntica aos dois corpos. Um instrumento calibrado, como por exemplo, um termómetro é usado para medir a temperatura de forma quantitativa. Em todos os termômetros inventados até hoje foram utilizadas substâncias com uma determinada propriedade que varia linearmente com a temperatura, sendo designada como meio termométrico. O mercúrio é um elemento líquido que, para uma determinada gama de temperaturas, se expande a uma taxa linear quando aquece e é de fácil calibração (BARBOSA, 2012).

2.8.1. Escalas de temperatura e Termómetros

Nos tempos mais remotos da história antiga, os filósofos e médicos gregos Hipócrates e Galeno fascinaram-se com o reconhecimento da relação entre o calor e a vida. Hipócrates verificou que existiam variações de temperatura em diferentes zonas do corpo humano considerando o aumento do calor humano em certa zona como principal diagnóstico de doença localizada. Hipócrates percebia-se de zonas quentes pelo tato, obtendo a confirmação científica utilizando um método de cobertura de lama observando qual a zona onde a lama endurecia primeiro (GERSHON-COHEN, 1964).

Os antigos conceitos de calor corporal foram retomados pela descoberta e desenvolvimento do primeiro termómetro de ar, em 1592, pelo astrónomo Galileu Galilei. O termómetro de Galileu consiste numa coluna de vidro cheia de líquido onde se encontram imersos pequenos globos de vidro cheios do mesmo líquido. A densidade efetiva de cada globo é ajustada usando diferentes quantidades de líquido. Deste modo quando a temperatura ambiente é superior a um dado valor, apresentado numa pequena placa que pende do globo, este flutua para cima da coluna, caso contrário desce até ao fundo da coluna. Portanto, pode estimar-se a temperatura ambiente, verificando qual a temperatura máxima indicada pelos globos que flutuam junto a parte superior da coluna. Este instrumento rudimentar dava somente indicações grosseiras das mudanças de temperatura, não havia escalas de medidas e era influenciado pela pressão atmosférica (GERSHON-COHEN, 1964).

Em 1641, foi desenvolvido por Ferdinand II, Grão-duque da Toscana, o primeiro termómetro selado utilizando álcool, com 50 divisões marcadas no tubo, mas sem um ponto fixo que constituísse o zero da escala. Robert Hook, Curador da Royal Society, introduziu em 1644, um pigmento vermelho no álcool e definiu uma escala padrão onde cada divisão representa um incremento de volume equivalente a

cerca de 1/500 do volume do líquido do termômetro e o ponto fixo adotado correspondia ao ponto de congelação da água (BARBOSA et al., 2012).

Em 1724 Daniel Gabriel Fahrenheit, propôs, o grau Fahrenheit (°F) como escala de temperatura, usando o mercúrio como meio termométrico devido às suas vantagens: expansão térmica acentuada e uniforme, não aderência ao vidro, estado líquido para uma gama alargada de temperaturas e aparência prateada para uma fácil leitura. Para a calibração da escala, Fahrenheit considerou como zero a posição obtida após colocar o termômetro dentro de uma mistura de cloreto de sódio, gelo e água. O segundo ponto da escala (posição 30) é a temperatura de uma mistura de gelo e água e o terceiro ponto da escala (posição 96) é a temperatura de um homem saudável. O ponto de ebulição da água corresponde à posição 212. Mais tarde o ponto de congelação da água foi ajustado para a posição 32, de modo a que o intervalo entre os pontos de congelação e de ebulição fosse representado por um número mais racional (BARBOSA et al., 2012).

Em 1742, um astrônomo sueco, Anders Celsius apresentou uma escala de temperaturas à qual a posição 100 correspondia ao ponto de congelação da água e a posição zero ao ponto de ebulição da água, definindo 100 intervalos entre os dois pontos de referência. Em 1747, Carolus Linnaeus estabeleceu a escala centígrada (100 partes), inversa da anterior, ou seja, o ponto de congelação da água corresponde à posição zero e o ponto de ebulição da água corresponde à posição 100. Em 1948, o nome da escala centígrada foi substituída para escala Celsius com unidade de grau Celsius (°C), para eliminar conflitos de uso do prefixo centi do Sistema Internacional (SI), sendo mais tarde adotada como unidade SI. A escala Celsius define como valores de referência 0,01 °C para o ponto de congelação da água e 99,975 °C para o ponto de ebulição da água. Existe uma fórmula de conversão de graus Celsius em graus Fahrenheit: $T(^{\circ}\text{F})=1,8\times T(^{\circ}\text{C})+32$ (BARBOSA et al., 2012)

A escala proposta por Fahrenheit foi utilizada principalmente por países colonizados pelos britânicos, estando atualmente restringido a poucos países de língua inglesa, como os Estados Unidos. A escala Celsius ganhou grande aceitação na Europa e atualmente é usada em quase todo o mundo quotidianamente, principalmente em previsões do tempo (CORTIZO, 2007).

Em 1787, o físico francês Jacques Alexandre César Charles, estudou as variações de volume de amostras de alguns gases e de ar, causadas por variações de temperatura. Em 1802, o físico e químico francês Louis Joseph Gay-Lussac, definiu a lei de Charles que é uma lei dos gases perfeitos: à pressão constante, o volume de uma quantidade constante de gás aumenta proporcionalmente com a temperatura. Surgiu assim o termômetro de gás a volume constante, uma vez que a sua pressão varia linearmente com a temperatura (BARBOSA et al., 2012).

O físico responsável pela descoberta em 1821, Thomas Johann Seebeck, do efeito termoelétrico, ou seja, uma junção de metais distintos que produz uma tensão elétrica, cujo potencial depende dos materiais que a compõem e da temperatura a que se encontra. Conhecido como efeito

Seebeck, explica o funcionamento do termopar. Em 1871, Sir William Siemens, propôs um termômetro cujo meio termodinâmico era um condutor metálico, cuja resistência varia com a temperatura, como por exemplo, os termômetros termoelétricos. Atualmente para a medição de temperaturas tem vindo a ser utilizada a sensibilidade magnética de substâncias paramagnéticas, cuja variação é inversa à temperatura (BARBOSA et al., 2012)

2.8.2. Radiação Infravermelha

A descoberta da radiação infravermelha foi feita acidentalmente, durante testes a novos materiais óticos. Em 1800, Sir Frederick William Herschel, astrônomo real ao Rei George III da Inglaterra, e já famoso pela descoberta do planeta Urano, tentava descobrir materiais para um filtro ótico de forma a reduzir o brilho da imagem do sol durante as observações em telescópios solares. Embora o teste de diferentes amostras de vidros coloridos mostrarem reduções semelhantes no brilho, Herschel ficou intrigado ao descobrir que enquanto em algumas das amostras passou pouco calor do sol, noutras amostras passou tanto calor que arriscou danos oculares após a observação durante alguns segundos (BARBOSA et al., 2012).

Então, Herschel começou a repetir as experiências do prisma de Newton, mas com um interesse particular para o efeito de aquecimento. Para detector de radiação usou o bulbo de um termômetro de mercúrio enegrecido, começando a testar o efeito do aquecimento das várias cores do espectro projetadas num alvo ao passar a luz solar por um prisma de vidro. À medida que o termômetro enegrecido foi movido lentamente ao longo das cores do espectro, as leituras de temperatura mostraram um aumento constante desde o violeta ao vermelho. A temperatura medida no alvo imediatamente a seguir à cor vermelha do espectro, numa zona sem luz solar aparente, era ainda mais elevada. Após a observação dos resultados desta e outras experiências, Herschel concluiu que as radiações que se situam para além da luz vermelha, invisíveis ao olho humano, eram responsáveis pelo aquecimento dos objetos, referindo-se a esta nova porção do espectro eletromagnético como o espectro termométrico e à radiação como raios invisíveis. Foram renomeados posteriormente por raios infravermelhos (BANDEIRA et al., 2012; BARBOSA et al., 2012).

O uso de um prisma de vidro na experiência original levantou alguma controvérsia sobre a existência real do infravermelho. Outros investigadores, na tentativa de confirmar o trabalho de Herschel, utilizaram diferentes tipos de vidro com as suas respetivas transparências no infravermelho. Através das suas experiências posteriores, Herschel estava ciente da transparência limitada de vidro para a descoberta da radiação térmica e foi forçado a concluir que a ótica para infravermelhos estaria limitada exclusivamente à utilização de elementos reflexivos, ou seja, espelhos planos e curvos (BANDEIRA et al., 2012).

Em 1830, o investigador italiano Macedonio Melloni, descobriu que o sal ($NaCl$), estava disponível em grande quantidade em cristais naturais usados em lentes e prismas, sendo extremamente transparente para o infravermelho. O sal tornou-se o principal material ótico de infravermelhos, permanecendo assim durante os cem anos seguintes, até a arte de crescimento do cristal sintético ser dominado em 1930 (BANDEIRA et al., 2012).

Em 1829, o investigador italiano Leopoldo Nobili inventou o termopar. Melloni ligando em série vários termopares formou a termopilha. Este novo dispositivo era 40 vezes mais sensível que o melhor termómetro da altura para a detecção de radiação de calor (BANDEIRA et al., 2012; BARBOSA et al., 2012).

A primeira “imagem de calor” tornou-se possível em 1840 devido ao trabalho de Sir John Frederick William Herschel, filho de Sir Frederick William Herschel, um pioneiro no campo da fotografia. Com base na evaporação diferencial de uma fina película de óleo quando exposta a um padrão de calor, a imagem térmica pode ser vista por luz refletida onde os efeitos da interferência da película de óleo possibilitam que a imagem seja visível ao olho humano. John Herschel também conseguiu obter um registo primitivo da imagem térmica em papel, designando-a por termograma (DULSKI et al., 2010; BANDEIRA et al., 2012; CAZZANIGA et al., 2012).

As fontes de calor naturais e artificiais começavam a despertar algum interesse junto dos estudiosos, filósofos e investigadores. A termografia é uma técnica que surge bastante mais tarde, mas que tem em conta toda a investigação realizada. Em 1884, Boltzmann mostrou como a lei empírica do corpo negro de Josef Stefan, formulada em 1879, poderia ser derivada dos princípios físicos termodinâmicos a Lei de Stephan-Boltzmann. Consequentemente, Boltzmann foi chamado o pai da termografia infravermelha (KNUPP et al., 2010).

Em 1880, o físico norte-americano Samuel Pierpont Langley, inventou o bolómetro. O aparelho consiste numa tira fina de platina enegrecida ligada a um braço do circuito elétrico de uma ponte de Wheatstone sobre a qual a radiação infravermelha foi focalizada e para a qual um galvanómetro sensível responde, sendo capaz de detectar radiação de um corpo a uma distância superior a 400 metros (BANDEIRA et al., 2012; ROGALSKI, 2012).

Um cientista escocês, Sir James Dewar, introduziu pela primeira vez o uso de gases liquefeitos como agentes de refrigeração (nitrogénio líquido a uma temperatura de -196°C) em pesquisas de baixa temperatura. Em 1892 ele inventou um recipiente isolado a vácuo sendo possível armazenar gases liquefeitos por dias inteiros. Os termos usados para armazenar bebidas quentes e frias são baseados na sua invenção. Esta inovação seria usada anos mais tarde para a refrigeração de detectores presentes nas câmaras termográficas (BANDEIRA et al., 2012; FERNANDES et al., 2012).

Em 1900, Max Karl Ernst Ludwig Planck descobriu a lei da radiação térmica mais conhecida por Lei de Planck que descreve a distribuição espectral da radiação de um corpo negro. Em 1905, Albert

Einstein descreveu a luz como constituída por quantuns discretos, mais conhecidos por fótons, ao contrário de ondas contínuas. Baseado na Lei de Planck, a teoria de Einstein diz a energia de cada quantum de luz é igual à sua frequência multiplicada por uma constante, mais tarde chamada constante de Planck. Um fóton absorvido pela matéria, acima de um limiar de frequência tem a energia necessária para que um elétron seja emitido a partir da matéria, criando o efeito fotoelétrico. Esta descoberta levou à revolução na física quântica e Einstein ganhou o Prémio Nobel de Física em 1921 (ROGALSKI, 2012; VOLLMER et al., 2011; PALMER et al., 2010). Entre os anos de 1900 e 1920, muitas patentes foram emitidas para os dispositivos de detecção de pessoal, aeronaves, artilharia, navios e até mesmo os icebergs. A primeira patente de um pirômetro ótico surge em 1899, por parte de Morse. Holborn e Kurlbaum, aparentemente sem saber da sua existência, desenvolveram um aparelho similar dois anos mais tarde, em 1901. Em 1913, L. Bellingham apresentou um método para detectar a presença de icebergs e navios a vapor usando um espelho e uma termopilha. O seu termômetro de infravermelhos apresenta melhorias em relação ao pirômetro ótico sendo possível detectar objetos com temperatura inferior à temperatura ambiente (KNUPP, 2010; BANDEIRA et al., 2012)

O avanço da tecnologia nestas décadas alterou a natureza da detecção, com o detector de infravermelhos ou o sistema detector agindo como transdutor, ou seja, deixou de ser criado um sinal eletrônico devido ao efeito da radiação térmica e passou a ocorrer uma conversão direta da radiação em sinais elétricos. Os detectores de infravermelho podem ser separados em dois grupos: os detectores de fótons e detectores térmicos. Nos detectores de fótons, a transdução é uma etapa única que leva a mudanças de concentração ou da mobilidade dos portadores de carga livres no elemento detector após a absorção de fótons da radiação infravermelha. Se a radiação incidente gerar portadores de carga não equilibrados, a resistência elétrica do elemento detector é alterado (fotocondutores) ou é gerada uma fotocorrente adicional (fotodíodos). Os detectores térmicos a transdução engloba duas etapas. Primeiro, a radiação incidente é absorvida para mudar a temperatura de um material e em seguida a saída elétrica do sensor térmico é produzida pela mudança das propriedades físicas de um material (bolômetro) (BARBOSA et al., 2012; VOLLMER et al., 2011)

Os primeiros sistemas operacionais, no sentido moderno, começaram a ser desenvolvidos durante a 1ª Guerra Mundial (1914-18), quando ambos os lados tinham programas de investigação dedicados à exploração militar do infravermelho. Estes programas incluíam sistemas experimentais de detecção de intrusão do inimigo, detecção remota de temperatura, comunicações seguras e orientação de torpedos. Um sistema de infravermelho testado durante este período foi capaz de detectar um avião a uma distância de 1,5 km ou uma pessoa mais de 300 metros de distância (BANDEIRA et al., 2012; FERNANDES et al., 2012; DE SOUZA et al., 2013).

Os sistemas mais sensíveis da época eram baseados em variações do bolômetro, mas no período entre as duas Guerras Mundiais desenvolveram-se novos e revolucionários detectores de

infravermelhos: o conversor de imagem e o detector de fótons. Em 1917, Theodore Willard Case desenvolveu o primeiro fotodetector, dispositivo baseado na interação direta entre os fótons da radiação incidente com os elétrons do material (sulfureto de tálio) e cuja sensibilidade e tempo de resposta eram superiores às do bolômetro. O conversor de imagem permitia ao observador “ver no escuro”, mas tinha a desvantagem da sensibilidade do conversor de imagem ser limitada aos comprimentos de onda do infravermelho próximo, e os alvos militares mais interessantes terem que de ser iluminados por raios infravermelhos de busca envolvendo o risco de denúncia de posição (BANDEIRA et al., 2012; FERNANDES et al., 2012; ROGALSKI, 2012; DE SOUZA et al., 2013).

No período da 2ª Guerra Mundial (1939-1945), tanques alemães durante a invasão da Rússia foram equipados com Sistemas de Visão Noturna. A resposta dos aliados foi à elaboração e o desenvolvimento do sistema FLIR - Forward Looking Infra Red (visão dianteira por infravermelho), utilizada pelo exército americano para localização dos inimigos. O emprego do sistema não se limitou à localização de tropas, abrangendo também o desenvolvimento de armamento com detectores de calor (CORTIZO, 2007).

Entre 1930 e 1960, foram desenvolvidos diversos detectores de infravermelhos com diferentes comprimentos de onda conforme o material utilizado: Sulfureto de Chumbo (*PbS*) sensível na banda de 1,5 a 3 μm , Antimônio de Índio (*InSb*) sensível na banda de 3 a 5 μm e Mercúrio-Cádmio-Telúrio (*HgTeCd*) sensível na banda de 8 a 14 μm . Todos estes detectores funcionavam através de sistemas de varrimento ótico-mecânicos com necessidade de refrigeração criogênica (BARBOSA et al., 2012).

Em 1946, surgiu o primeiro scanner de linha, ou seja, um detector de infravermelho que mostrava o perfil de temperatura ao longo de uma linha com possibilidade de formar uma imagem bidimensional necessitando do movimento relativo do objeto sob inspeção. A imagem bidimensional demorava uma hora a ser produzida. Em 1954, com a inclusão de um sistema de sistema de varrimento ótico-mecânico ou eletrônico, o equipamento formava diretamente a imagem em 45 minutos. Os primeiros sistemas de imagem térmica eram pesados, lentos a adquirir dados e com pouca resolução, sendo usados, sobretudo em aplicações industriais (SCHUETZ e WEILER, 2011; GRAMMATIKOS et al., 2011; CORTIZO, 2007).

Na década de 1970, o desenvolvimento de aplicações militares, permitiu construir os primeiros sistemas de imagem térmica portáteis, usados, sobretudo nos diagnósticos de edifícios e em testes não destrutivos de materiais. Estes sistemas de imagem térmica eram resistentes e fiáveis, mas continuavam com fraca qualidade de imagem (GRAMMATIKOS et al., 2011; ROGALSKI, 2012).

A partir de 1980, a imagem térmica começou a ser largamente usada para fins médicos, nas principais indústrias e em inspeções de edifícios. O desenvolvimento de refrigeradores de imagem térmica fiáveis, para substituir, o gás comprimido ou liquefeito para arrefecer os sistemas térmicos permitiu o aparecimento da 2ª geração das câmaras termográficas. O desenvolvimento da piroeletricidade

e do tubo de raios catódicos levou ao aparecimento de sistemas térmicos mais leves, portáteis, sem necessidade de arrefecimento e de menor custo. Contudo continuavam a ser sistemas não radiométricos (GRAMMATIKOS et al., 2011; ROGALSKI, 2012; VOLLMER et al., 2011).

Foi com o aparecimento de um novo dispositivo, o focal-plane array (FPA), que foi possível o enorme desenvolvimento verificado nos sistemas de imagem térmica, aumentando a qualidade de imagem e a resolução espacial. O FPA é um dispositivo de sensoriamento de imagens que consiste num array (tipicamente retangular) de detectores de infravermelhos num plano focal de uma lente. Os arrays típicos podem ir de 16×16 pixels até 640×480 pixels (GRAMMATIKOS et al., 2011).

A partir do ano 2000, com o desenvolvimento de novos detectores e da tecnologia dos FPA, apareceram a 3ª geração das câmaras termográficas, podendo já operar para ondas largas e ondas médias. O preço de produção das câmaras termográficas foi descendo drasticamente com o aumento da qualidade, levando a um crescimento exponencial como indústria própria. O desenvolvimento da ciência computacional levou ao aparecimento de software para análise das imagens radiométrica e elaboração de relatórios (GRAMMATIKOS et al., 2011).

2.8.3. Técnicas termográficas e suas aplicações

O desenvolvimento tecnológico das últimas décadas levou ao aparecimento de vários equipamentos usados nas mais diversas áreas. Esses equipamentos fazem uso de todas as gamas espectrais do espectro eletromagnético, tais como equipamentos de esterilização (raios gama), raios X para auxílio de diagnóstico médico, lâmpadas de “luz negra” (radiação ultravioleta), forno de micro-ondas, redes sem fio bluetooth e WIFI (micro-ondas), estações de radiodifusão, serviços de comunicação aérea ou marítima (ondas rádio) (DE SOUZA et al., 2013; ZAYICEK, 2002).

Todos os objetos com uma temperatura superior ao zero absoluto podem ser vistos às escuras através de câmaras termográficas, uma vez que emitem radiações infravermelhas. Quanto maior for a temperatura do objeto, maior será a quantidade de radiação infravermelha por ele emitida. Os infravermelhos podem ser representados de forma visível através de termogramas, onde as diferentes temperaturas da superfície do objeto são apresentadas com diferentes cores, numa escala escolhida pelo utilizador (DE SOUZA et al., 2013).

Esta tecnologia, inicialmente usada para fins militares especializados, tem evoluído através do seu desenvolvimento e aperfeiçoamento. Na atualidade, o uso dos infravermelhos é feito na ciência, na tecnologia, na segurança e vigilância, na construção civil, em sistemas mecânicos, em sistemas de fluidos e vapor, instalações elétricas e energias renováveis. O comando da televisão, leitor de CD-ROM, o leitor de códigos de barras, sistemas de fecho e abertura dos automóveis e sistema de segurança de edifícios são exemplos onde esta tecnologia é usada por qualquer pessoa no seu dia a dia. (DE SOUZA et al., 2013).

2.9. A termografia infravermelha no conforto animal

Uma mudança perceptiva no estado de conforto animal é a sua temperatura superficial, cuja termografia infravermelha pode ser usada para avaliar essa variação. A termografia infravermelha é um método de diagnóstico por imagem, que por meio de sensor acoplado a um sistema computacional, mensura a radiação infravermelha emitida pela superfície cutânea, com sensibilidade de 0,05 °C, sem contato físico (BRIOSCHI, 2011).

A câmera de termografia infravermelha (figura 1) é uma técnica moderna, segura e não invasiva de visualização de perfil térmico (ALTOÉ, 2012). Cada objeto gera calor na forma de radiação infravermelha (onda longa) 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 preveem uma detalhada análise da temperatura da superfície alvo. Detetor com 160 x 120 pixels.

A temperatura crítica é diretamente identificada usando o reconhecimento automático do ponto Quente/Frio.



Figura 1. Câmara Termográfica Testo

A análise termográfica é um importante método para se medir a temperatura superficial das aves, sem interferência 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 do animal, causando estresse e alteração nas temperaturas superficiais (SILVA et al., 2011).

A aplicação da termografia em frangos de corte é considerada difícil, porque as penas têm uma boa propriedade isolante, bloqueando parte das emissões da pele. Mesmo assim, a técnica tem sido empregada no estudo do conforto térmico animal com sucesso, em que se registra a temperatura superficial das aves no ambiente de alojamento (SILVA et al., 2011; NÄÄS et al., 2010).

O nível de energia de uma onda eletromagnética está relacionado ao seu comprimento de onda onde comprimentos de onda mais curtos possuem mais energia. Na região da luz visível, a cor violeta possui mais energia e o vermelho menos energia. O espectro infravermelho localiza-se próximo do espectro da luz visível e ocupa frequência entre a luz visível e ondas de rádio (MANEA et al., 2009).

Com um objetivo de propor um índice de conforto térmico para frangos de corte, baseado em lógica *Fuzzy*, Nascimento et al., (2011) utilizaram 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. Com isso eles estimaram 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.

Em um trabalho Cassuce, (2011) avaliou as diferenças regionais na temperatura superficial através de imagens térmicas e o efeito do ambiente semiárido e do tamanho da partícula do milho no desempenho, qualidade do ovo e perda de calor sensível para poedeiras de pescoço pelado e concluíram que a transferência de calor sensível apresentou-se como um mecanismo de dissipação térmica, em que o aumento nos níveis de radiação e temperatura do ar causaram diminuição significativa na perda de calor por radiação, mas a convecção foi elevada em alta temperatura ambiente, devido ao aumento na movimentação do ar.

Todos os materiais conhecidos emitem energia infravermelha em temperatura acima de 273,15°C. Esta característica se deve ao fato de que os átomos estão em constante movimento e em diferentes estados de excitação (SGAVIOLI et al., 2013). Com isso, Nascimento et al., (2011) complementaram que ao consumir energia, o calor gerado estimula átomos a liberar fótons no espectro infravermelho térmico. Com o aumento da temperatura, o corpo também irá liberar fótons no espectro visível.

A técnica aliada aos conhecimentos de medidas de propriedades físicas de materiais de construção, microclima local e índices zootécnicos de produção agrega informações úteis para definição de um índice de eficiência térmica para as construções, que além da readequação do ambiente, auxilia no estudo da dinâmica de trocas térmicas pelos animais. Isso permite buscar correlações entre distribuição da temperatura corporal em condições de estresse e de conforto e, possíveis inferências como temperatura retal e de núcleo corpóreo (SGAVIOLI et al., 2013).

Dessa forma é possível atribuir às instalações um índice de eficiência térmica, baseado em variáveis que melhor retratem as condições estudadas, além de atribuir maiores detalhes quanto às informações sobre combinações de tipologia e materiais de construção que favoreçam as trocas térmicas no sistema ave-galpão (SGAVIOLI et al., 2013).

3. METODOLOGIA

Para a realização deste estudo foram utilizadas imagens coletadas em dois aviários comerciais 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 e classificação Koppen Cwa em aviários dispostos lado a lado distante 30 m entre si, com as mesmas dimensões e características construtivas e orientação leste-oeste (Figura 2). A coleta de dados deu-se de abril a agosto de 2012.

Os aviários possuíam sistemas de ventilação com pressão negativa, ou seja, o ar é succionado por exaustores de dentro para fora, criando um vácuo parcial no interior da construção.

Ambos os aviários possuíam 12 m de largura por 120 m de comprimento, com pé-direito de 3,0 m e pilares de concreto a cada 8 m, com tesouras de madeiras e telhado de fibrocimento. Nos aviários a entrada de ar é feita com resfriamento do ar com utilização de painel evaporativo.

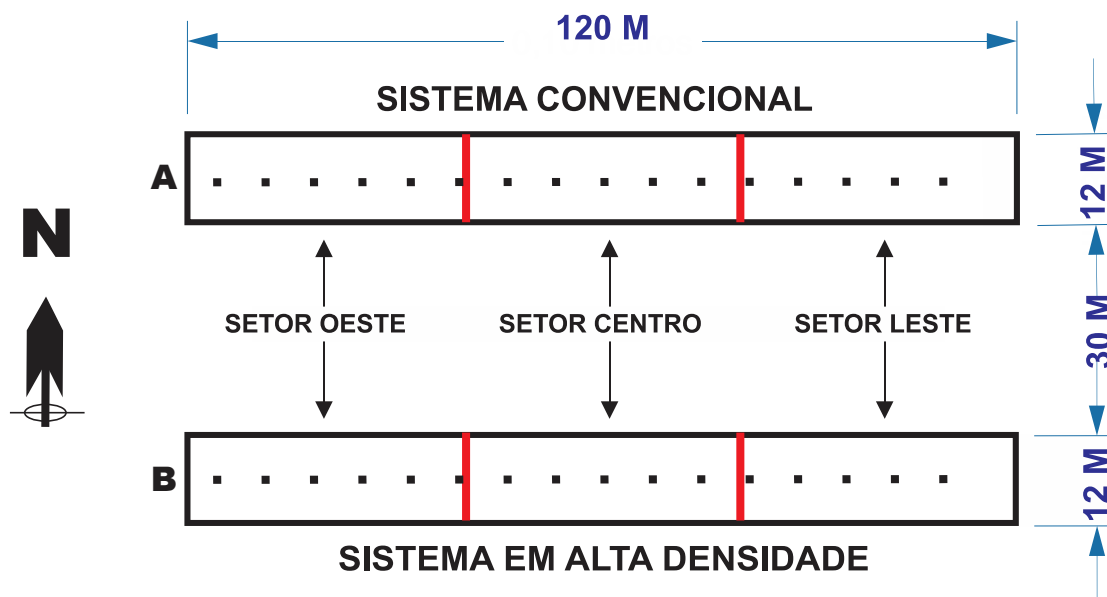


Figura 2. Esquema do posicionamento dos dois aviários utilizados no estudo (dimensões em m). Em A: Aviário A - cortina azul, em B: Aviário B - cortina branca.

A cortina lateral utilizada para vedar o aviário “A”, no sistema de ventilação por pressão negativa apresentava cor interna e externa azul e forro interno utilizado como isolante térmico, e no aviário “B”, no sistema de ventilação era de pressão negativa, com cor interna e externa branca, e forro interno utilizado como isolante térmico, ambos de material não laminado de polipropileno, espessura de 0,17 mm e emissividade 0,95 (Figura 3 A). A cortina lateral utilizada para vedar o aviário ”B” era de material não laminado de polipropileno, espessura de 0,18 mm, cor branca e emissividade 0,87 (Figura 3 B). A cama utilizada nos dois aviários era constituída de maravalha (50%), misturada com palha de arroz (50%).



A



B

Figura 3. Vista externa dos aviários, sendo um com cortina azul (A), e o outro com cortina branca (B).

Para coleta de dados de temperaturas superficiais foram registradas imagens termográficas panorâmicas dividi em quatro semanas alternadas nos dois aviários no horário de 15h00min. Este horário foi determinado por representar o período mais quente do dia. Nas (Figura 4 e Figura 5) imagem real, imagem térmica e escala de temperaturas, sendo a imagem térmica utilizada para marcar os pontos para análise de temperatura do ambiente.

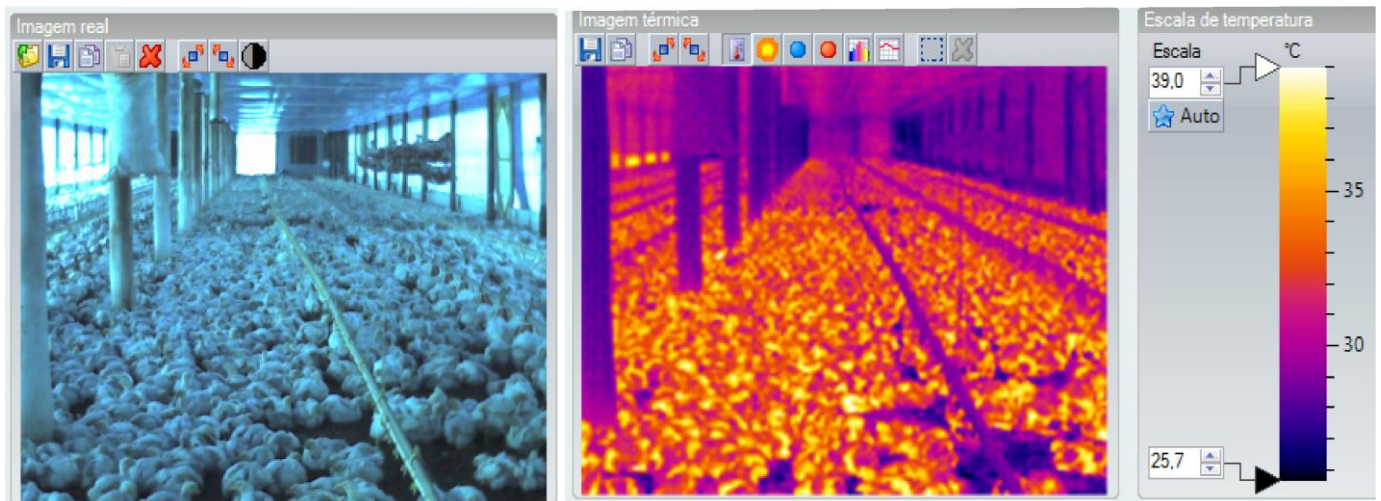


Figura 4. Vista interna aviário cortina azul, com imagem térmica e escala de temperatura

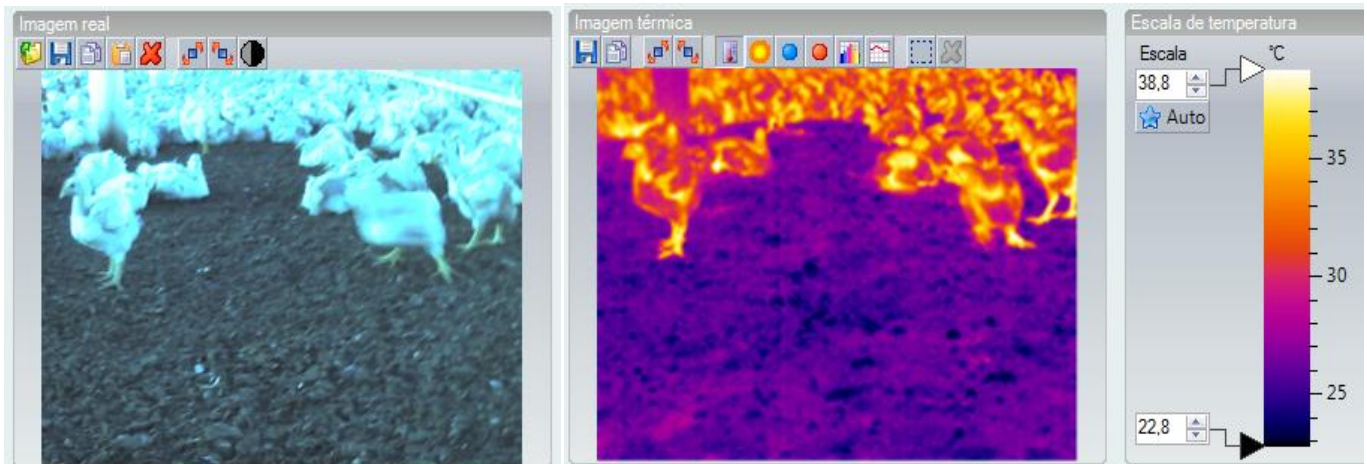


Figura 5. Vista interna aviário cortina branca, com imagem térmica e escala de temperatura

Com auxílio da câmera termográfica infravermelho TESTO[®], no centro do aviário, foram coletadas temperaturas superficiais do ambiente em quatro semanas nas fases de criação: Fase 1: (7-14 dias); Fase 2 (21-28 dias); Fase 3 (29-35 dias); Fase 4 (36-42 dias). Para a avaliação das imagens termográficas foram tomados 20 pontos ao acaso nas imagens coletada e, para o processamento das imagens foi utilizado o *software* Testo IRSoft[®], com a finalidade de extrair os valores de temperaturas superficiais, para conseqüente compor a temperatura média de cada imagem coletada. Foram selecionadas sete fotos de cada aviário ao qual foi denominado de período para tabular os dados.

Os dados coletados foram tabulados em planilhas compatíveis com o aplicativo Excel[®], com formato organizado, padronizado e apto para análises estatísticas. Os dados de Temperatura Média superficial (TSM), utilizando termografia infravermelho, foram comparados pelo teste de *t*, com 95% de confiança, com os resultados propostas por (SILVA et al., 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de aves em alta densidade passou a ser necessária e, dessa forma, a obrigatoriedade de estabelecer conforto térmico ambiental, tornou-se maior, como consequência da elevação da densidade de alojamento (NÄÄS et al. 2010). Assim, para se manter competitiva, a indústria avícola brasileira está tendo de evoluir, rapidamente, de uma situação de quase indiferença aos princípios do acondicionamento térmico ambiente, para uma situação em que cada empresa ou integração deve tomar decisões relativas à adoção de concepções arquitetônicas e manejos inovadores, associados a sistemas de acondicionamento térmico naturais e artificiais, compatíveis com a sua realidade. Essas decisões incluem a readequação dos aviários já existentes e a concepção de novas unidades.

Neste estudo, as temperaturas obtidas no interior dos aviários variaram entre as fases de observação e em função da cor da cortina de vedação, de forma que os testes estatísticos revelaram diferenças entre os tratamentos e entre as fases de criação pelo teste *t* a 5% de probabilidade. A temperatura média geral no aviário com cortina azul foi de 30,2°C e no aviário com cortina branca foi de 29,0°C. A temperatura média geral para a fase 1 (32,7°C) foi maior do que em todas as demais fases (fase 2 = 28,8°C; fase 3 = 27,8°C; fase 4 = 29,3°C).

A análise da interação entre cor da cortina x fase de criação também foi significativa. A temperatura ambiente média registrada na primeira semana foi de 32,2°C, no aviário com cortina azul e, de 33,2°C no aviário com cortina branca (Tabela 2), reflexos da fase de aquecimento. A partir da segunda semana, a temperatura registrada diminuiu, o que está em conformidade com os achados Cassuce (2010), que, trabalhando com avaliação da temperatura de aves encontrou resultados semelhantes. Considerando que a umidade relativa variou de 49,2% a 69,7% em todo período avaliado, pode-se constatar que não houve problema de estresse térmico para as aves na fase de crescimento em relação aos dois aviários, que pudesse comprometer o desempenho das aves, de acordo com o estudo de Nascimento et al. (2012).

Tabela 2. Temperatura média nos aviários

Fase	Cortina Azul	Cortina Branca
	Temperatura Média (°C) ± desvio padrão	
1	32,2 ± 2,49 aA	33,2 ± 2,76 aA
2	30,2 ± 2,78 aB	27,4 ± 2,43 bB
3	28,0 ± 3,02 aC	27,5 ± 2,88 aB
4	30,5 ± 1,84 aAB	28,0 ± 3,18 bB

* Fase 1: (7-14 dias); Fase 2 (21-28 dias); Fase 3 (29-35 dias); Fase 4 (36-42 dias)

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste *t* a 5%: as letras minúsculas comparam as médias na mesma fase (linha) e as letras maiúsculas comparam as médias no mesmo tratamento (coluna).

Embora Machado et al. (2012) não tenham se referido a cor da cortina de vedação utilizada em seu estudo, relataram que o modo túnel utilizado em aviários de criação de frango, como o modelo empregado neste estudo, propiciou condições de conforto térmico no interior dos aviários.

Já Cassuce (2011) relatou que a temperatura é influenciada por fatores ambientais. Em seu estudo, verificou que os valores médios da temperatura, durante o experimento, variaram de 18,7 a 25,6°C, sendo que os máximos foram atingidos entre os meses de abril a maio e os mínimos, entre os meses de junho e agosto, fato relacionado pelo autor às diferenças de temperatura entre as estações do ano, a insolação tende a ser menor no período de inverno e maior no verão, influenciando as temperaturas no interior dos aviários.

Neste estudo, que foi conduzido no período do outono ao inverno de 2012, a temperatura média mensal externa variou de 27,9°C em abril a 10,7°C em julho (Tabela 3). Pode-se perceber uma relação entre o mês com maior temperatura média e o maior valor de temperatura média interna nos aviários, o que poderia ser mais pronunciado se o estudo estivesse sido conduzido nos meses mais quente do ano.

Tabela 3. Temperatura média externa no período de abril a setembro de 2012, em Rio Claro – SP.

	Temperatura Mínima °C	Temperatura Máxima °C	Temperatura Média °C
Abril	15,4	27,9	21,6
Mai	12,7	26	19,3
Junho	11,2	24,9	18,1
Julho	10,7	25,1	17,9
Agosto	12,1	27,3	19,7

Por outro lado, muitos são os trabalhos que relatam o efeito da idade dos frangos influenciando na temperatura do aviário (RICHARDS, 1971, CASSUCE, 2011, BAÊTA, 2010, BRIOSCHI 2011). Para Nascimento e Silva (2012), o frango e suas fases influenciam diretamente na temperatura do ambiente interno. Segundo Cordeiro et al. (2010), a menor temperatura superficial média é observada em aves mais velhas e, provavelmente, é consequência do maior tamanho, existindo, portanto, diferenças de temperatura com relação as idades das aves.

Desta forma, os dados obtidos também podem ter sido influenciados pelo desenvolvimento das aves, corroborando os resultados de Cordeiro et al. (2010), e as recomendações apresentadas por Abreu e Abreu, (2011).

Em sua pesquisa, Cassuce, (2011) demonstrou que a cortina branca resultou em menores valores de temperatura superficial, confirmando os valores encontrados no presente estudo.

Ao final da criação, o que começa a influenciar não é mais o metabolismo, mas sim a competição por espaço, nos dois aviários a movimentação é prejudicada, ficando comprometidas algumas habilidades de dissipação de calor porque, segundo Nääs et al (2010), as aves tentam compensar sua reduzida habilidade de dissipar calor latente, em condições de estresse térmico, ativando os processos fisiológicos e comportamentais responsáveis pela dissipação de calor para o ambiente externo, mantendo as asas afastadas do corpo, aumentando sua área de superfície corporal, facilitando perdas por convecção. Ainda assim, a cortina branca teve a melhor atuação no final do ciclo dos frangos, propiciando temperaturas mais amenas no interior do aviário.

5. CONCLUSÃO

A análise de imagens termográficas possibilitou a avaliação da temperatura interna nos aviários, em diferentes fases de criação, sendo estas temperaturas adequadas para assegurar o conforto térmico das aves.

O ambiente externo pode ter influenciado neste resultado, visto que no início da pesquisa foram registradas as maiores temperaturas, embora a fase inicial também seja considerada metabolicamente a fase de aquecimento.

Considera-se, portanto, que a aplicação da técnica utilizada é adequada e recomendada para a determinação da temperatura em aviários, com vistas a avaliação do conforto térmico das aves, sem comprometer a rotina dos animais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, P, G. **Sistema de produção de frango de corte.** Embrapa, 2003 Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/Ave/ProducaodeFrangodeCorte>>. Acesso em 20 jan. 2013.
- ABREU, V. M. N.; A, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1-14, 2011.
- BAÊTA, F. C.; S, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal.** Universidade Federal de Viçosa. Viçosa –MG. 2010.
- BANDEIRA, F.; M, M. A. M. D.; S, M. A. D.; N, P.; N, E. B. Can thermography aid in the diagnosis of muscle injuries in soccer athletes. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 18, n. 4, p. 246-251, 2012.
- BARACHO, M S.; N, I A.; A, D. P.; G, A C. de S.; S, D. D.; M, D. J. Avaliação da incidência de fungos em incubação de frangos de corte. **Revista Educação Agrícola Superior**. v.27, n.2, p.113-118, 2012
- BARBOSA, L., C, M.; S, A.; G, J.; P, J. Evaluation of the masticatory muscles temperature by thermal imaging during mastication. **Thermology International**, v. 22, n. 3, p. 125, 2012.
- BEZERRA, W. M. A. X.; S, B. B.; S, W. H.; C, M. G. G.; B, T. M. A. Comportamento fisiológico de diferentes grupos genéticos de ovinos criados no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 1, 2011.
- BRACKE, M. B. M.; M, J. H. M.; D, A. A.; S, B. M. Development of a decision support system for assessing farm animal welfare in relation a husbandry system: strategy and prototype. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 14, p. 321-337, 2001.
- BRIOSCHI, M. S. **Metodologia de normalização de análise do campo de temperaturas em imagem infravermelha humana Curitiba.** Universidade Federal do Paraná. (tese doutorado), 110 p.2011.
- BROOM, D. M. **Animal Welfare: Concepts and measurement.** Journal of Animal Science, v. 69, p. 4167-4175, 1991.

BROUCEK, J.; K, P.; U, M. Effect of hot temperatures on the hematological parameters, health and performance of calves. **International journal of biometeorology**, v. 53, n. 2, p. 201-208, 2009.

CASSUCE, D. C. **Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil**. Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural de Viçosa, (título de Doutor) Viçosa - MG, 91 p. 2011.

CASTRO, A.C. **Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas**. (tese mestrado). Esalq, Piracicaba - SP, 2012.

CAZZANIGA, L.; G, M.; L, N. The use of infrared thermography to create a “bridge” connecting Physics in the lab to Physics of building. **Physics Alive**, v.1, p. 13, 2012.

CORDEIRO, M. B.; T, I. F. F.; S, J. N.; V, R. B. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 217-224, 2010.

CORTIZO, E. C. Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico. (tese doutorado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG. 2007.

CORTIZO, E, C.; B, M. P.; S, L. A. C. Estado da arte da termografia. **Fórum Patrimônio**, v. 2, n. 1, 2013.

CZARICK M. Thermal imaging in the poultry industry. Athens: The University of Georgia; 2007.

DAMASCENO, F.A.; S, L.; S, J. A. O.; G, R. C. C.; B, F. C. **Concepções arquitetônicas das instalações utilizadas para a produção avícola visando o conforto térmico em climas tropicais e subtropicais**. PUBVET, Londrina - PR, v. 4, n. 42, Ed. 147, Art. 991, 2010.

DAWKINS. M. S. **The role of behaviour in the assessment of poultry welfare**. World's Poultry Science Journal, v.55, v.3, p.295-303, 1999.

DE SOUZA, J.; S, J. F. R.; G., R.; F, A. A. N.; N, F. T.; R, G. H. S.; C, V. An integrity monitoring system for substation connections using ZigBee wireless sensor network. In: **Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On**. IEEE, p. 1-6. 2013.

ALTOÉ, L.; F, D. O. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA À INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS. **Acta Tecnológica**, v. 7, n. 1, p. 55-59, 2012.

DULSKI, R.; P, P.; K, M. Enhancing image quality produced by IR cameras. In: **Security Defence**. International Society for Optics and Photonics. p. 783415-783415-9. 2010.

DUNCAN, I. J .H. **Behavior and behavioral needs**. Poultry Science, v.77, n.12, p.1766- 1772, 1998.

ENGLERT, S. **Avicultura: tudo sobre raças, manejo, alimentação e sanidade**. 288p. Ed. 6°. Porto Alegre - RS. 1987.

ESMAY, M. L.; D, J. E. **Environmental control for agricultural buildings**. Westport: AVI, 287p. 1986.

FAO - Food and Agriculture Organization fo the United Nations. Agribusiness handbook: poultry meat & eggs. 2010: Disponível em <http://www.fao.org/investment/tci-pub/joint-publications/faoebrd/en/>. Acesso em 20/11/13

FAWC – Farm Animal Welfare Council. **Second report on priorities for research and development in farm animal welfare**. London/UK, MAFF, Tolworth, 1993.

FERNANDES, A. A.; A, P. R. S.; G, T. N. P.; Q, M. S.; C, I. F.; S, R. G.; M, J. C. B. Avaliação da temperatura da pele durante o exercício através da termografia infravermelha: uma revisão sistemática. **Revista Andaluza de Medicina del Deporte**, v. 5, n. 3, p. 113-117, 2012.

FERREIRA, V. M. O. S.; F, N. S.; A, G. M. Z.; B, M.; C, F. R.; N, I. A.; G, R. G.; A, P. I. C. L.; Polycarpo, G. V. Infrared thermography applied to the evaluation of metabolic heat loss of chicks fed with different energy densities. **Revista Brasileira Ciências Avícola**, V. 13, n. 2, p.: 113-118, 2011.

FOX, M.V. **Farm animals- husbandry, behavior and veterinary practice: view points of a critic**. Baltimore, MD: University Park Press, p.77. 1984

FRASER, D. **Animal ethics and animal welfare science: bridging the two cultures**. Applied Animal Behavior Science, v.65, p.71-189, 1999.

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

FURTADO, D.A.; T, I.F.F.; N, J.W.B.; L, A.F.; A, M.A. **Caracterização das instalações avícolas da mesorregião do agreste paraibano**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.3, p.831-840, 2005.

GERSHON-COHEN, J. A short history of medical thermography. Ann. N.Y. Acad. Sci., v.122, p.4- 11. 1964.

GOETZ, S.; D, R. Advances in remote sensing technology and implications for measuring and monitoring forest carbon stocks and change. **Carbon Management**, v. 2, n. 3, p. 231-244, 2011.

GRAMMATIKOS, S. A.; K, E. Z.; B, N. M.; M, T. E.; P, A. S.. Innovative non-destructive evaluation and damage characterisation of composite aerostructures using thermography. **Plastics, Rubber and Composites**, v. 40, n. 6/7, p. 342-348, 2011.

GRIFFITH, B. T.; A, D. Buildings research using infrared imaging radiometers with laboratory thermal chambers. In: **Proceedings of the SPIE**. 1999.

GUEST, B. T.; X, H. A Study of Emissivity Ratios and their Application In Determining Land Surface Temperature in IDL. 2005.

GUIMARÃES, M. C. C. **Inventário de características arquitetônico-ambiental associado a sistemas de condicionamento térmico de galpões avícolas**. (tese doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2009.

GUO, L.; H, S. L.; F, T. S.; Xu, X. Heat transfer across metal-dielectric interfaces during ultrafast-laser heating. **Journal of Heat Transfer**, v. 134, n. 4, p. 042402, 2012.

HE, J.; H, A. Measurement and simulation of the thermal environment in the built space under a membrane structure. **Building and Environment**, v. 44, n. 6, p. 1119-1127, 2009.

INCROPERA, F. P.; L, A. S.; D, D. P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. John Wiley & Sons, 2011.

KATEB, B.; Y, V.; Y, C.; G, W.; G, J. P. Infrared thermal imaging: a review of the literature and case report. **Neuroimage**, v. 47, p. T154-T162, 2009.

KNUPP, D. C. **Análise teórico-experimental de transferência de calor em nanocompósitos via transformação integral e termografia por infravermelho**. (tese doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro - RJ. 2010

LAHIRI, B. B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., Philip, J. Medical applications of infrared thermography: a review. **Infrared Physics & Technology**, v. 55, n. 4, p. 221-235, 2012.

LIMA, K. R. S.; A, J. A. K.; A, C. V.; J, M. L. C.; F, D. L.; T, F. Avaliação do ambiente térmico interno em galpões de frango de corte com diferentes materiais de coberturas na mesorregião metropolitana de Belém. **Revista de ciências agrária**, Belém, n. 51, p. 37-50, 2009.

LIU, W.; L, Z. C.; J, H.; F, A. W.; N, A. Entropy expression of the second law of thermodynamics and its application to optimization in heat transfer process. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 54, n. 13, p. 3049-3059, 2011.

LUZ, C. S. M.; J, C. P. B.; F, W. J. L.; S, G. G. T.; S, K. R.; J, S. C. S. D. **Parâmetros termorreguladores e variáveis ambientais de ovinos em diferentes épocas do ano no sul do estado do Piauí**. PUBVET, Londrina - PR, 2012.

MALAVAZZI, G. **Avicultura: manual prático**. p. 156, São Paulo: Nobel, 1999.

MANEA, S.; R, J. A. Termografia Infravermelha: aplicações em defesa. **Revista da Universidade da Força Aérea**, v. 21, n. 23, 2009.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução normativa nº 56, de 6 de novembro de 2008. Procedimentos para registro, fiscalização e controle de estabelecimentos avícolas de reprodução e comerciais. **Anexo I**. 2008.

MATSUKUMA B.H.; P, J.R.; F, F.L.F.; M, L.C.N. Fisiologia da termorregulação e estresse térmico em ovinos lanados. **Revista Conselho Federal de Medicina Veterinária**. v. 16, p. 26-30, 2010.

MENDES, A. A.; N. I. A.; Mi, . **Produção de Frango de Corte**. 1ª edição, FACTA: Campinas - SP, p.356. 2004,

MENEGALI, I.; T, I. F. F.; B, F. C.; C, P. R.; G, M. C. C.; C, M. B. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.984-990, 2009.

MONTANHOLI, Y. R.; O, N. E.; S, K. C.; S, F. S.; M, B. W.; M, S. P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (< i> Bos taurus</i>). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468-475, 2008.

MOURA, D. J.; B, L. G. de F.; L, K. A. O.; R, T. M.; C, A. P. A. M. M. Estratégias e instalações para melhorar o bem-estar animal. **Revista Brasileira de Zootecnia** . vol.39, p. 311-316, 2010.

NÄÄS, I. A., N, G. R.; B, M. S.; M, D.J. **Utilização de Imagens Termográficas na Produção de Frangos de Corte**. Artigo técnico Publicado o 19 de Maio de 2010. Disponível em: <http://pt.engormix.com/MA-avicultura/administracao/artigos/utilizacao-imagens-termograficasproducao-t268/124-p0.htm>. Acesso em 22 de dezembro de 2012.

PANDORFI, H.; A, G. L. P.; G, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 2, 2012.

NASCIMENTO, G. R.; P, D. F.; N, I. A.; R, L. A. Índice fuzzy de conforto térmico para frangos de corte. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal - SP. v. 31, n. 2, p. 219-229, 2011.

NASCIMENTO, S.T.; S, I.J.O.; M, G.B.; C, A.C. Bands of respiratory rate and cloacal temperature for different broiler chicken strains. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, p. 1318-1324, 2012.

NAZARENO, C.A. Ambiência pré-porteira: avaliação das condições bioclimáticas e das operações pré-eclosão na qualidade de pintos de corte. (tese doutorado) Esalq. 207 p. Piracicaba - SP, 2012.

- NOGUEIRA, J. C. B.; R, V. P. Emprego da termografia na inspeção preditiva. **Bolsista de Valor**, v. 1, n. 1, p. 29-36, 2010.
- OLIVEIRA. G.A., P, S.L.R. Revisão dos aspectos operacionais e os estressores relacionados à fase de pré-abate de frangos. **Revista Técnico Científica**, v. 1, n. 1, 2013.
- PALMER, J M.; G, B. G. **The art of radiometry**. Bellingham: SPIE Press, 384 p. 2010.
- PEREIRA, M.F. **Construções Rurais**. São Paulo: Ed. Nobel, 332p, 1986.
- PONCIANO, P. F.; L, M. A.; J, T. Y.; F, G. A. S. **Análise do ambiente para frangos por meio da lógica fuzzy: uma revisão**. **Archivos de Zootecnia. Córdoba. Espanha**, n. 60, p. p1-13, 2011.
- SILVA, I. J. O.; V, F. M. C. Ambiência animal e as perdas produtivas no manejo pré-abate: o caso da avicultura de corte brasileira. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, p. 113-131, 2010.
- RAINWATER, L. K.; P, J. M.; P, C.; R, L. L. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. **The Veterinary Journal**, v. 180, n. 3, p. 317-324, 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. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 216, p. 1-10, 1971.
- RODRIGUES, V. C.; S, I. J. O.; V, F. M. C.; N, S. T. **A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock**. **Int J Biometeorol**. 55, n. 3, p. 455-459, 2011.
- ROGALSKI, A. History of infrared detectors. **Opto-Electronics Review**, v. 20, n. 3, p. 279-308, 2012.
- RUTZ, F. **Aspectos fisiológicos que regulam o conforto térmico em aves**. In: CONFERÊNCIA APINCO 1994 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIAS AVÍCOLAS, FACTA, p. 99-136. São Paulo – SP. 1994.
- Machado, N. S.; T, I. D. F. F.; Z, S.; M, C. A., D, F. A.; Z, W. M. Resfriamento da cobertura de aviários e seus efeitos na mortalidade e nos índices de conforto térmico. **Nucleus**, v. 9, n. 2, 2012.

SARAZ, J. A. O. ; T, I. F. F.; P, M. O.; P, R. F.; G, R. Elaboración y evaluación de tejas de concreto em arcilla expandida para uso como coberturas de estructuras pecuárias. **Revista Faculdade Nacional de Agronomia**, v. 63, p. 5651-5660, 2010.

SCHUETZ, T.; W, M. Quantification of localized groundwater inflow into streams using ground-based infrared thermography. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 3, 2011.

MEDEIROS, R. C. M. Emprego da Termografia na inspeção preditiva. **Bolsista de Valor**, v. 2, n. 1, p. 293-300, 2012.

SILVA, G. A.; S, E. M. N.; S, B. B.; Z, C. A.; A, M. D. B.; M, B. A. **Aplicação da termografia na avaliação da resposta fisiológica e gradientes térmicos de cabras anglos nubianas criadas no semiárido paraibano**. V Congresso Brasileiro de Biometeorologia. Esalq/ USP, São Paulo - SP, 2011.

SILVA, R.G. **Biofísica ambiental – os animais e seu ambiente**. Funep, p. 386, Jaboticabal, 2008.

SILVA, W. T. Desenvolvimento de um sistema para estimativa de bem-estar a partir de dados de vocalização de suínos. (tese mestrado) Universidade Estadual de Campinas. 91p. Campinas - SP, 2008.

SGAVIOLI, S.; F, R.; P, M.; D, C.; B, I.;J, O. DIET MANAGEMENT ASSOCIATED WITH DIFFERENT TEMPERATURES FOR INDUCING MOLT IN LAYING HENS/Manipulação da dieta associada a diferentes temperaturas para aves de postura em muda forçada. **Ars Veterinaria**, v. 29, n. 2, p. 109-117, 2013.

STEWART, M.; W, J. R.; V, G. A.; S, A. L.; C, J. J.; S, K. J. Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. **Physiology & Behavior**, v. 92, n. 3, p. 520-525, 2007.

TAYLOR, T, J.; G, S.; G, A.; C, J.; H, J.; S, D. In-construction testing of the thermal performance of dwellings using thermography. In: **Sustainability in Energy and Buildings**. Springer Berlin Heidelberg, p. 307-318. 2012.

TEETER, R. G.; S, M. O.; W, C. J. **Broiler acclimation to heat distress and feed intake. Effects on body temperature in birds exposed to termoneutral and high ambient temperatures**. Poultry Science, v. 71, n. 6, p.1101-1104. 1992.

TEIXEIRA, V.H. **Construções e Ambiência - instalações para aves e suínos**. Lavras: UFLA/FAEPE, p. 181, 1997.

SAMPAIO, C. A. P.; C, C. O.; S, G. P. de. Superficial temperatures of tiles and the relation with thermal environment. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 230-236, 2011.

TESSIER, M.; M., T, D. D.; K, C.; B, G.; B, M. Abdominal skin temperature variation in healthy broiler chickens as determined by thermography. **Poultry science**, v. 82, n. 5, p. 846-849, 2003.

ABPA – **Associação Brasileira de Proteína Animal**. 2014. Relatório Anual 2014. Disponível em: <http://www.ubabef.com.br/#>. Acesso em marco de 2014.

VIGODERIS, R. B.; C, M. B.; T, I. de F. F.; M,I.; J, J. P. S.; H, M. C. R. Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.1381-1386, 2010.

VITORASSO, G.; P, D. F. Análise comparativa do ambiente de aviários de postura com diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** , v. 13, n. 6, p. 788-794, 2009.

VOLLMER, M.; M, K. P. **Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications**. John Wiley & Sons, 2011.

ZAMUDIO, L. H. B. **Caracterização e percepção de consumidores sobre a qualidade da carne de frango comercializada em Brasília- DF**. (tese mestrado) Universidade de Brasília. Brasilia - DF. 125 p. 2011.

ZAYICEK, P. Infrared Thermography Guide (Revision 3). **Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, USA**, p. 71-82, 2002.