



**REGINA BATISTA VILAS BÔAS**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E  
COMPORTAMENTAIS DE FRANGOS DE  
CORTE EM AVIÁRIOS COM DIFERENTES  
SISTEMAS DE AQUECIMENTO: AVALIAÇÃO E  
MODELAGEM CFD**

**LAVRAS-MG  
2019**

**REGINA BATISTA VILAS BÔAS**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS DE FRANGOS  
DE CORTE EM AVIÁRIOS COM DIFERENTES SISTEMAS DE  
AQUECIMENTO: AVALIAÇÃO E MODELAGEM CFD**

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

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade  
Orientador

Prof. Dr. Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz  
Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2019**

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

Vilas Bôas, Regina Batista.

Respostas fisiológicas e comportamentais de frangos de corte em aviários com diferentes sistemas de aquecimento: avaliação e modelagem CFD / Regina Batista Vilas Bôas. – 2019.

101 p. : il.

Orientador: Ednilton Tavares de Andrade.

Coorientadora: Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Ambiente térmico. 2. Fluidodinâmica computacional. 3. Análise de agrupamento. I. Andrade, Ednilton Tavares de. II. Ferraz, Patrícia Ferreira Ponciano. III. Título.

**REGINA BATISTA VILAS BÔAS**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS DE FRANGOS  
DE CORTE EM AVIÁRIOS COM DIFERENTES SISTEMAS DE  
AQUECIMENTO: AVALIAÇÃO E MODELAGEM CFD**

**PHYSIOLOGICAL AND BEHAVIORAL RESPONSES OF BROILER  
CHICKENS GROWN ON DIFFERENT HEATING SYSTEMS: CFD  
EVALUATION AND MODELING**

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

APROVADA em 08 de fevereiro de 2019.

Prof. Dr. <sup>a</sup> Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz	UFLA
Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato	UFLA
Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior	UFLA
Prof. Dr. Erlon Lopes Pereira	UFC

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2019**

## DEDICO

A Deus por nunca me deixar abalar e desistir dos meus sonhos e por sempre estar presente em todos os momentos de turbulências e de felicidades.  
GRATIDÃO!!

Ao meu querido e amado anjo da guarda, meu zeloso e protetor,  
obrigada por nunca me deixar desamparada.

Á minha querida Mãe Hélia pelo carinho, apoio e presença em mais essa etapa. GRATIDÃO por nunca deixar desistir e sempre lutar junto. Você é o meu maior exemplo.

Ao meu amado namorado Fernando Campanholli por não medir esforço e não me deixar desistir e por sempre apoiar em todos os momentos e por ser o melhor parceiro.

Á minha amada e querida filha de quatro patas Amora por ficar ao meu lado dia e noite na construção desse trabalho. Sem você ao meu lado seria muito mais difícil. Obrigada minha bolinha de pêlo por mostrar o que de fato tem valor na vida.

Amora, é com você e com a vovó Hélia com quem divido a conquista deste título!!!!

Ao meu Pai Sebastião Batista, que sempre transmitiu a honestidade, a força e a importância de se aprender a trabalhar. Elementos fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos meus avôs Nita e João José que mesmo como anjos sempre estiveram presentes em meu coração.

Aos meus queridos irmãos Regiane, Regilane, Reginaldo e Renata pelo apoio, em mais esta etapa.

Aos meus queridos e amados sobrinhos vocês são a minha alegria.

## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração de um trabalho só é possível com a existência de uma equipe. Deixo aqui registrado o meu mais sincero agradecimento a todos aqueles que participaram. **MUITO OBRIGADA!**

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Professor Rafael Pio pelo acolhimento e profissionalismo sempre que solicitado;

Ao Professor Ednilton Tavares de Andrade e a Professora Patrícia F. Ponciano Ferraz, pelo esforço dedicado na condução e conclusão desse estudo. Obrigada pela orientação e confiança depositada. Sem vocês eu não teria chegado até aqui. Os meus mais sinceros agradecimentos;

Ao Professor Tadayuki Yanagi Junior, pelas sugestões e contribuições valiosas neste trabalho;

Ao Professor Gabriel Ferraz pelas contribuições nas correções e nas observações que possibilitaram deixar o trabalho mais conciso e dentro das normas;

Ao Professor Maurício Francisco Caliri, pelo modelo de professor, agradeço pelos atendimentos sempre solícitos;

Ao Professor Jackson Antônio Barbosa por ter sempre se colocado à disposição em ajudar desde o meu mestrado.

Ao meu grande amigo e parceiro de trabalho Erlon Lopes Pereira pela grande amizade e por estar sempre ao meu lado sempre que precisei. Obrigada por dividir comigo o seu conhecimento e por estar disponível sempre que

precisei. Você é o exemplo de professor e pesquisador que eu quero seguir.  
OBRIGADA!

À amiga Jacqueline Cardoso Ferreira por nunca me deixar na mão sempre disposta e disponível desde o mestrado. Obrigada por ser a melhor amiga nessa trajetória;

Ao colega estatístico Victor Ferreira da Silva, em toda a consolidação dos dados estatísticos bem como sua disponibilidade em certos momentos de próprio descanso. OBRIGADA!

Ao colega Renan pela contribuição na modelagem em CFD;

As minhas amigas e alunas queridas Fábiana, Edilaine, Claudine, Renata, Marisa, Mariana, Júlia, Renata, Graziela, Mirella, Betinha, Alcilene obrigada por tudo;

Aos funcionários da Engenharia Agrícola, em especial à secretária da pós-graduação Helem pela amizade e por ter ajudado em todos os momentos em que foi solicitada, MUITO OBRIGADA!

Agradeço a todos que, de alguma forma, ajudaram direta ou indiretamente na elaboração e execução desse trabalho, com certeza, foram fundamentais na minha formação como pessoa e como profissional.

## RESUMO GERAL

Manter as condições térmicas dentro da faixa de termoneutralidade no ambiente de criação para frango de corte é de suma importância para que os animais não sofram estresse térmico por baixas ou altas temperaturas. É sabido que, condição ambiental desfavorável ocasiona uma diminuição ao bem-estar comprometendo o crescimento e o desempenho das aves. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo geral avaliar dois sistemas de aquecimento distintos quanto às variáveis ambientais, fisiológicas e comportamentais nas três primeiras semanas de vida de frango de corte em um aviário comercial para frango de corte e avaliar um sistema de aquecimento industrial por meio de uma simulação em CFD na primeira semana de vida. O presente estudo foi conduzido em uma granja avícola comercial localizada na mesorregião Oeste de Minas Gerais, durante a estação da primavera de 2010, utilizando dois galpões com distintos sistemas de aquecimento (galpão A - fornalha artesanal com queima de biomassa, galpão B - fornalha industrial com queima de biomassa), os quais foram utilizados para a criação de 28.000 frangos machos da linhagem Cobb por galpão. Para a avaliação das variáveis ambientais, foram coletados dados de temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa (%) e, posteriormente, calculou-se o índice de temperatura e umidade relativa (ITU) e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU). Para avaliar as variáveis fisiológicas foi avaliado a frequência respiratória ( $F_R$ ), temperatura cloacal ( $T_{\text{cloacal}}$ ), temperatura de pele ( $T_{\text{pele}}$ ) e temperatura de pena ( $T_{\text{pena}}$ ). No entanto, a variável  $F_R$  apresentou valores acima do limite de conforto que é  $40 \text{ mov. min}^{-1}$  e as demais variáveis apresentaram valores considerados dentro do conforto. Para o comportamento podemos dizer que, na maior parte do tempo, as aves apresentaram um comportamento tranquilo, alimentando-se e com sonolência. Por meio da simulação em CFD, podemos prever que a instalação não proporcionou um sistema de aquecimento homogêneo por toda a extensão do aviário e, conseqüentemente, o ambiente apresentou condições desfavoráveis durante quase todo o período de avaliação.

**Palavras-chave:** Ambiente térmico. Fluidodinâmica computacional. Análise de agrupamento.



## GENERAL ABSTRACT

Maintaining the thermal conditions within the thermo-neutral range in the breeding environment for broiler chicken is of great importance so that the animals do not suffer thermal stress from low or high temperatures. It is known that unfavorable environmental conditions can cause a decrease in wellbeing, compromising the growth and performance of birds. In view of the above, this work had as general objective to evaluate two different heating systems regarding the environmental, physiological and behavioral variables in the first three weeks of life of broiler chicken in a commercial poultry for broilers and to evaluate an industrial heating system by CFD simulation in the first week of life. The present study was conducted at a commercial poultry farm located in the western mesoregion of Minas Gerais during the spring season of 2010, using two sheds with different heating systems (shed A - artisanal furnace with biomass burning and shed B - industrial furnace with biomass burning), which were used to create 28,000 male chickens of the Cobb lineage per shed. For the evaluation of the environmental variables, data of air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), black globe temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), relative humidity (%) and temperature and relative humidity index (UI) were calculated black globe temperature (ITGU). As for the physiological variables, respiratory rate (FR), cloacal temperature ( $T_{\text{cloacal}}$ ), skin temperature ( $T_{\text{pele}}$ ) and temperature of feather ( $T_{\text{pena}}$ ) were evaluated. The FR variable presented values above the comfort limit, which is  $40 \text{ mov. min}^{-1}$  and the other variables presented values considered within comfort. Regarding behavior, most of the time the birds were calm, feeding themselves and with drowsiness. Through the CFD simulation it was possible to predict that the installation did not provide a homogeneous heating system throughout the extension of the aviary and, consequently, the environment presented unfavorable conditions during almost all the evaluation period.

**Keywords:** Thermal environment. Computational fluid dynamics. Cluster analysis.

## LISTA DE FIGURAS

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 1

- Figura 1 - Esquema de posicionamento dos sensores/registradores de temperatura e umidade relativa nos galpões de frango. ....57
- Figura 2 - Análise de agrupamento das variáveis comportamental analisado em relação aos períodos manhã, tarde e noite da: a) primeira semana de vida, b) segunda semana de vida e c) terceira semana de vida. ....71
- Figura 3 - Análise de agrupamento das variáveis comportamental analisados: a) primeira semana de vida, b) segunda semana de vida e c) terceira semana de vida. ....72

#### ARTIGO 2

- Figura 1 - Esquema de posicionamento dos sensores/registradores de temperatura e umidade relativa nos galpões de frango. ....86
- Figura 2 - Representação estrutural da malha tetraédrica..... 87
- Figura 3 - Distribuição da temperatura do ar presente no interior do galpão na altura de 0,10 m e distribuição do fluxo e das linhas do ar dentro do galpão. ....90
- Figura 4 - Saída de ar quente de cada lado do aquecedor e distribuição da temperatura do ar a 0,10 m presente no interior do aviário e distribuição do fluxo de ar e das linhas de velocidade para cada lado do sistema de aquecimento presente no interior do aviário. ....91
- Figura 5 - Distribuição da Tar presente no interior do galpão visto do meio do aviário. .... 92

Figura 6 - Perspectiva da distribuição da tar presente no interior do galpão do aviário e do fluxo de ar e das linhas de velocidade presente no interior do galpão do aviário. .... 94

## LISTA DE TABELAS

### PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 - Limites inferiores e superiores das temperaturas ideais para frangos de corte em diferentes idades.....	19
--	----

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Tabela 1 - Valores médios e desvio padrão do índice de temperatura de globo negro (ITGU) na primeira, segunda e terceira semana de vida em dois galpões para frango de corte submetido a dois sistemas de aquecimento distintos. ....	62
Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão das variáveis ambientais Tar, ITU e ITGU nos períodos 8:00; 14:00 e 18:00 horas em dois galpões para frango de corte submetido a dois sistemas de aquecimento distintos. ....	63
Tabela 3 - Valores médios e desvio padrão das variáveis ambientais Tar, ITU para os níveis de interação semana x galpão do fator semana dentro de cada nível do fator galpão. ....	64
Tabela 4 - Valores médios do teste de comparação múltipla da variável UR para o desdobramento da interação do fator semana e Período.....	65
Tabela 5 - Valores médios e desvio padrão das variáveis fisiológicas FR, tcloacal, tpena e tpele na primeira, segunda e terceira semana de vida em dois galpões para frango de corte submetido a dois sistemas de aquecimento distintos.....	67
Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão do teste de comparação múltipla das variáveis FR e Tcloacal para o fator período.....	68

Tabela 7 - Valores médios do teste de comparação múltipla das variáveis $T_{pele}$ e $T_{pena}$ para o desdobramento da interação do fator período dentro do galpão. ....	69
Tabela 8 - Valores médios das variáveis comportamentais dos frangos de corte ao longo do dia nas três primeiras semanas de vida. ....	69

## **ARTIGO 2**

Tabela 1 - Comparação dos valores da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) no interior do galpão para frango de corte obtido experimentalmente e simulados pelo modelo. ....	95
---	----

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	15
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Produção de frango no Brasil e no mundo</b> .....	17
<b>2.2</b>	<b>Ambiente térmico</b> .....	18
<b>2.2.1</b>	<b>Índice de temperatura e umidade (ITU)</b> .....	21
<b>2.2.2</b>	<b>Índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU)</b> .....	22
<b>2.3</b>	<b>Sistema de aquecimento em aviários</b> .....	23
<b>2.4</b>	<b>Respostas fisiológicas</b> .....	24
<b>2.5</b>	<b>Efeitos do ambiente térmico sobre as respostas fisiológicas de animais</b> .....	26
<b>2.5.1</b>	<b>Temperatura cloacal</b> .....	27
<b>2.5.2</b>	<b>Temperatura superficial</b> .....	27
<b>2.5.3</b>	<b>Frequência respiratória</b> .....	28
<b>2.6</b>	<b>Análise de comportamento</b> .....	29
<b>2.7</b>	<b>Agrupamento hierárquico aglomerativo</b> .....	30
<b>2.8</b>	<b>Fluidodinâmica computacional (CFC)</b> .....	30
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35
	<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....	47
	<b>ARTIGO 1 - AVALIAÇÃO DE DUAS INSTALAÇÕES PARA FRANGO DE CORTE POR MEIO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS, FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS NAS TRÊS PRIMEIRAS SEMANAS DE VIDA</b> .....	47
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	51
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	55
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	61
<b>3.1</b>	<b>Caracterização do ambiente térmico</b> .....	61
<b>3.2</b>	<b>Caracterização das variáveis fisiológicas</b> .....	65
<b>3.3</b>	<b>Fatores comportamentais</b> .....	69
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	73
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	75
	<b>ARTIGO 2 - SIMULAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM UM AVIÁRIO COMERCIAL</b> .....	79
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	83
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	85
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	89
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	97
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	99

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de avicultura é hoje um dos mais competitivos do agronegócio. Portanto, investir em novas tecnologias que possam favorecer a produtividade e qualidade desse setor é primordial. Diante desse cenário, é de suma importância o conhecimento dos parâmetros que afetam essa atividade para que se obtenha a máxima produtividade de carne com o menor custo.

Para que o mercado avícola brasileiro continue competitivo e intensivo, é necessário melhorar e aprimorar o ambiente onde as aves são alojadas, e até mesmo, em algumas situações, modificar o manejo, evitando, assim, prejuízos ocorridos devido a fatores ambientais como temperatura, umidade do ar, velocidade do vento entre outros (VITORASSO; PEREIRA, 2009).

Sabe-se que esses fatores ambientais podem ocasionar dificuldades na manutenção do balanço térmico e na expressão dos comportamentos naturais das aves, afetando o desempenho produtivo, as respostas fisiológicas e até o comportamento das aves em sistemas de criação intensivo (VIGODERIS et al., 2010). Entretanto, as aves atingem a sua produtividade ótima quando são mantidas em ambiente termoneutro, ou seja, quando a energia do alimento não é desviada para compensar desvios térmicos em relação ao intervalo de termoneutralidade, para eliminar ou manter o seu calor.

Assim, a temperatura de conforto térmico dos pintinhos na primeira semana de vida varia entre 32°C a 34°C, na segunda varia de 28°C a 32°C e na terceira varia de 26°C a 28°C enquanto, a umidade relativa do ar varia de 50 a 70% (CASSUCE et al., 2013; MENEGALI et al., 2009). De acordo com Lopes, Ribeiro e Lima (2015) aves criadas fora de sua zona de termoneutralidade, ou seja, com condições de estresse térmico seja por calor, seja por frio, podem

sofrer desconforto, e pode, conseqüentemente, afetar o desempenho zootécnico e a produtividade do animal.

No entanto, a fase inicial de criação é a fase mais delicada, pois o pintinho, nos primeiros dias após a eclosão, é considerado um animal pecilotérmico, ou seja, sua temperatura corporal sofre variações de acordo com a temperatura ambiente. Isso ocorre porque essas aves ainda não têm seus sistemas termorregulatórios amadurecidos, nem reserva energética suficiente para serem capazes de se adaptarem às condições adversas do ambiente. Assim, é nesse período que os cuidados com o ambiente térmico deverão ser redobrados, pois, os problemas ocorridos nessa fase poderão influenciar e comprometer, absolutamente, todas as fases posteriores do desenvolvimento animal. Além disso, o ambiente térmico em que os pintinhos são submetidos durante sua fase inicial de vida será crucial para se tentar garantir o conforto e bem-estar animal com o objetivo de se atingir a máxima produtividade, pois é durante seu desenvolvimento inicial que mecanismos fisiológicos de controle térmico são desenvolvidos (VIEIRA et al., 2016). Nesse contexto o aquecimento do ambiente é primordial caso o ambiente encontra-se à temperatura abaixo do desejável ao conforto térmico das aves nesta fase (BAËTA; SOUZA, 2010).

Assim o conhecimento da influência do ambiente térmico nas respostas produtivas, fisiológicas e comportamentais dos animais para o planejamento e ou readequação de instalações e equipamentos é de vital importância para que os frangos de corte atinjam todo o seu potencial produtivo e crescimento máximo.

Dessa forma, esse trabalho propõe avaliar dois sistemas de aquecimento distintos por meio das variáveis relacionadas ao ambiente térmico bem como as variáveis fisiológicas e comportamentais de frango de corte nas três primeiras semanas de vida. Por via, do estudo em fluidodinâmica computacional (CFD) prever as condições térmicas de um sistema de aquecimento industrial presente em um galpão para frango de corte na primeira semana de vida.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Produção de frango no Brasil e no mundo**

Ao longo dos anos, o Brasil tem se consagrado na produção avícola tanto no mercado interno quanto no mercado externo como uma das atividades econômicas mais importante do setor agropecuário do país.

Segundo Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA (2018), a produção de carne de frango atingiu, em 2016, 86 milhões de toneladas, e o país ficou no terceiro lugar entre os maiores produtores mundiais com 12,9 milhões de toneladas junto a China com 13 milhões de toneladas e Estados Unidos com 17,5 milhões de toneladas. Na exportação, o Brasil é o maior exportador de carne de frango com 40% da carne exportada, ficando Estados Unidos em segundo lugar e União Européia em terceiro. No Brasil, a produção é concentrada na região Sul com 75% de toda a produção nacional seguida da região Sudeste com 11,32%. Esse avanço é decorrente ao aumento da tecnologia que tem sido empregada no país, possibilitando melhor qualidade do produto final (SANTOS et al., 2010). No entanto, essa cadeia produtiva é muito competitiva e, cada vez mais, é necessária a criação de técnicas para adaptação de animais em diferentes regiões, principalmente em locais de altas temperaturas, até mesmo com relação às oscilações térmicas registradas ao longo do ano (MENZEL et al., 2017).

Dessa forma, o mercado avícola tem dado cada vez mais atenção a estudos, inovações e tecnologias que busquem aumentar a produtividade, sem, contudo, aumentar os custos da produção (PONCIANO, 2014).

## 2.2 Ambiente térmico

O ambiente de produção é representado por uma soma de elementos físicos, químicos, sociais e climáticos, que atuam simultaneamente e exercem influências sobre os animais de maneira positiva ou negativa ao desenvolvimento biológico, ao desempenho produtivo e reprodutivo das aves (BAÊTA; SOUZA, 2010).

Na avicultura, os fatores ambientais que mais afetam a produção de frango de corte são os elementos climáticos que exercem ação direta e imediata sobre a resposta comportamental, produtiva e reprodutiva dos animais como a temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e radiação (BAÊTA; SOUZA, 2010). Nesse sentido, o sistema de criação intensivo influencia diretamente na condição de bem-estar das aves, promovendo o balanço de calor do sistema avegalpão, na qualidade do ar e na expressão dos comportamentos naturais dos animais, afetando, assim, o desenvolvimento e o desempenho de frangos de corte (PONCIANO, 2011).

Diante disso, esses animais precisam ser criados em ambientes térmicos apropriados (GARCÍA et al., 2012). De acordo com Amaral et al. (2011), esses elementos afetam os animais, comprometendo a função vital mais importante das aves que é a homeotermia, ou seja, a capacidade natural de manter a temperatura interna constante. No entanto, as aves estão em troca contínua de calor com o meio e, é de extrema importância que a temperatura ambiente esteja dentro do limite de conforto térmico (ABREU; ABREU, 2011). Dessa forma, temperaturas fora da faixa de conforto proporcionam danos aos animais que precisam redirecionar energia da produção para o processo termorregulatório (CASSUCE, 2011). Portanto, para que as aves possam apresentar suas melhores características produtivas, é de suma importância que o ambiente térmico

proporcione condições dentro da zona de termoneutralidade ideal (NAZARENO et al., 2009).

Diante desse contexto, vários autores tentam estabelecer parâmetros ideais para o ambiente de criação de frangos de corte objetivando maior desempenho produtivo. Essas faixas de temperatura têm norteado a forma de criação e empregos de sistemas de acondicionamento térmico para frio e calor no Brasil. Essas faixas para varias idades de frangos de corte, encontram-se listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Limites inferiores e superiores das temperaturas ideais para frangos de corte em diferentes idades.

<b>Período (semana)</b>	<b>Limites de temperatura do ar (°C)</b>
Primeira	32-34
Segunda	28-32
Terceira	26-28

Fonte: Adaptado de Cândido et al. (2016), Cassuce (2011), Lourençoni (2017) e Medeiros, Baêta e Oliveira (2005).

No entanto, a capacidade das aves em suportar altas temperaturas é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar. Quanto maior o teor de umidade relativa, maior a dificuldade que a ave terá de remover calor interno pelas vias aéreas, ocasionando o aumento da frequência respiratória. Todo esse mecanismo de manutenção da homeotermia promove modificações fisiológicas que podem afetar seu desempenho (OLIVEIRA et al., 2006).

Dados de conforto térmico para pintinhos mostram que tanto o estresse por calor quanto o por frio durante as primeiras três semanas de vida podem causar perda de peso corporal além de outros prejuízos para a saúde do animal (MOURA et al., 2008). Após a eclosão, o desenvolvimento nas primeiras semanas de vida do pintinho é fundamental para o melhor desempenho do frango de corte até o final da fase de produção (TEIXEIRA et al., 2009).

Nos primeiros dias de vida, o pintinho é considerado um animal pecilotérmico, ou seja, sua temperatura corporal sofre variações de acordo com a temperatura ambiente. Isso ocorre porque essas aves ainda não têm seus sistemas termorregulatórios amadurecidos, nem reserva energética suficiente para serem capazes de se adaptarem às condições adversas do ambiente (PONCIANO, 2014).

De acordo com Cordeiro et al. (2010), as primeiras semanas de vida da ave são as mais críticas e erros cometidos nessa fase não poderão ser corrigidos a contento no futuro, e isso fará com que o desempenho final das aves seja afetado.

Diante do contexto, o desconforto térmico em frangos de corte acarreta uma série de danos como diminuição no consumo de ração, aumento do consumo de água, queda na taxa de crescimento e aceleração do ritmo cardíaco e modificação da conversão alimentar (JÁCOME et al., 2007).

Para Baracho et al. (2013), o crescimento das aves pode ser afetado pelas condições internas e externas do ambiente no qual se encontram alojados. Em climas tropicais e subtropicais, os índices de temperatura e umidade relativa do ar são restritivos ao desenvolvimento, a produção e a reprodução dos animais.

Para Ponciano (2011) e Salgado et al. (2007), o excesso de frio nas primeiras semanas de vida, resulta em menor produtividade, afetando não só o crescimento e a saúde das aves, mas pode ocasionar o crescimento da mortalidade dos lotes.

A ventilação presente dentro das instalações apresenta função relevante, pois proporciona a renovação do ar para evitar concentrações indesejáveis de gases dentro do aviário que em altas concentrações proporcionam danos às aves e aos trabalhadores ali presentes (NÄÄS et al., 2007; TINÔCO, 2001).

Deve-se conhecer a velocidade e principalmente a direção dos ventos nos galpões avícolas, levando-se em conta a orientação dos volumes para

favorecer a ventilação nos períodos quentes ou controlá-la nos períodos frios e na fase inicial da vida do animal (TINÔCO, 2001).

O ambiente térmico no interior dos galpões de produção deve ser controlado de maneira a deixar as aves, ao máximo possível, dentro da sua zona de conforto térmico, evitando-se efeitos térmicos negativos sobre a produtividade animal (CÂNDIDO, 2014; FURTADO; AZEVEDO; TINÔCO, 2003; MACARI; FURLAN; GONZALES, 2002; MENEGALI et al., 2009; MORAES et al., 1999; TINÔCO; OSORIO, 2008).

Dessa forma, têm-se proposto a utilização de índices térmicos ambientais ou grandezas físicas para caracterizar o ambiente térmico no interior dos aviários, e assim, atuar de forma favorável para manter a melhor qualidade ambiental no interior dos aviários.

### 2.2.1 Índice de temperatura e umidade (ITU)

O índice de temperatura e umidade – ITU é o índice de conforto mais aplicado em ambientes agrícolas. Esse índice procura indicar os efeitos combinados da temperatura e umidade do ar no conforto e desempenho do animal (CURI, 2014; MATTOS, 2007; NASCIMENTO et al., 2011).

É determinada pela equação 1 proposta por Thom (1959).

$$ITU = t_{ar} + 0,36 \cdot t_{po} + 41,5 \quad (1)$$

em que:

$t_{ar}$  = temperatura do ar (°C),

$t_{po}$  = temperatura do ponto de orvalho (°C)

No entanto, ambientes com índice de temperatura e umidade (ITU) com variações entre 75 a 78 significa alerta para evitar perdas, 79 a 84 significa perigo e maior ou igual a 85 significa emergência (OLIVEIRA et al., 2006).

### 2.2.2 Índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU)

O índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) é considerado mais adequado na avaliação do ambiente térmico em condições de climas tropicais. Esse índice considera, em um único valor, os efeitos da temperatura de bulbo seco, da umidade relativa, da radiação e da velocidade do ar. Valores altos do ITGU incidem diretamente na inibição do desenvolvimento produtivo das aves (LIMA, 2005). Atingindo o máximo entre às 12h e 14h devido à elevação da temperatura próxima ao globo negro, isso se deve, principalmente, à temperatura do solo aquecido e à superfície interna da cobertura do galpão, que se elevam com o aumento da irradiação solar global (ROSA, 1984). Teixeira (1983) verificou que o limite mínimo do índice de temperatura de globo negro e umidade 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 o limite mínimo é de 67,4 e para aves entre a terceira e a sexta semana de vida o limite mínimo é de 65.

É determinada pela equação 2 proposta por Buffington et al. (1981):

$$ITGU = t_{gn} + 0,36 \cdot t_{po} - 330,08 \quad (2)$$

em que:

$t_{gn}$  é a temperatura de globo negro, K,

$t_{po}$  é a temperatura de ponto de orvalho, K.

### 2.3 Sistema de aquecimento em aviários

Na tentativa de proporcionar um ambiente dentro da zona de neutralidade do conforto ao animal, os aviários estão atualmente aparelhados com equipamentos de climatização. Um deles é o sistema de aquecimento.

O sistema de aquecimento é de suma importância nos primeiros dias de vida dos pintinhos, pois se sofrerem com a baixa temperatura o seu desenvolvimento será afetado sucedendo uma redução na taxa de ganho de peso e uma piora na conversão alimentar (CONTO, 2003; PONCIANO, 2011). Dessa forma, para proporcionar um conforto térmico ao animal, o sistema de aquecimento é crucial no início da vida para que, assim, as aves possam ter um bom desenvolvimento (TINÔCO, 2001). No inverno, os cuidados devem ser redobrados, pois é maior a necessidade energética para suprir a diferença entre a temperatura ideal para os pintos e a temperatura ambiente externa (CORDEIRO et al., 2010). Assim, a escolha do melhor método para aquecimento de aviário considera-se a eficiência energética, o custo da energia, o custo do equipamento e os impactos ambientais. Dessa forma, decisões relacionadas ao investimento podem afetar diretamente a rentabilidade (COLLATTO et al., 2015). Existem vários tipos de sistemas de aquecimento tais como, turbo aquecedores a gás, campânulas tipo infravermelho, campânula de alta pressão, campânula de baixa pressão, fornalhas de biomassa com ar atmosférico previamente aquecido, campânula a carvão e aquecedores de biomassa sem renovação do ar (RONCHI, 2004). E sistema auxiliar de aquecimento baseado em energia solar também tem sido estudado (CAMPOS et al., 2013).

## 2.4 Respostas fisiológicas

As aves são animais identificados como homeotermos, logo apresentam a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de uma faixa estreita. Isso significa que esses animais estão em troca térmica contínua com o ambiente a sua volta (MEDEIROS, 2001; RUTZ, 1994; SCHIASSI, 2013).

A temperatura do ar é um dos principais fatores ambientais responsáveis por desencadear alterações fisiológicas comprometendo a manutenção da homeotermia (OLIVEIRA et al., 2006). Assim, o sistema nervoso central, hipotálamo, que é um órgão que funciona como termostato fisiológico 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 (MORO, 1995). Em condições de temperatura ambiente acima da zona de conforto térmico os pintinhos são submetidos a uma condição de estresse em que o organismo agirá de maneira compensatória na tentativa de aumentar a dissipação de calor e manter o equilíbrio térmico corporal havendo gastos de energia e acarretando na redução da eficiência produtiva da ave devido ao mecanismo de compensação (BORBA et al., 2011). Entretanto, o mecanismo é eficiente somente quando a temperatura ambiente se encontra dentro de certos limites. Assim, é importante que o alojamento permita a esses animais o balanço térmico (RUTZ, 1994; MEDEIROS, 2001; SCHIASSI, 2013). Se esses mecanismos não são suficientes para manter a homeotermia, a temperatura interna aumenta, podendo até matar os animais pelo estresse térmico (MOURA et al., 2010).

Nas aves o aparelho termorregulador é limitado, tornando-as frágil ao frio quando jovens e ao calor quando adultas (FUNCK; FONSECA, 2008). Para manter a temperatura relativamente constante para os órgãos vitais, o calor



corporal deve ser conservado ou liberado (FUNCK; FONSECA, 2008; PONCIANO, 2011). Assim, as aves utilizam processos para manter a homeotermia, como a vasodilatação periférica, que aumenta o fluxo sanguíneo para a superfície corporal, aumentando a temperatura da superfície animal (CHIMINEAU, 1993). Segundo Habeeb, Murray e Kamal (1992), essa vasodilatação facilita a troca de calor do animal com o meio ambiente por processos não evaporativos (condução, convecção e radiação), mas esse processo, para se tornar eficaz, depende do gradiente térmico entre o corpo do animal e a temperatura ambiente. No entanto, dissipação de calor por convecção e por radiação ocorre com mais ênfase quando os animais se encontram em condições termoneutras, comparado a ambientes de temperatura ambiente elevada (NASCIMENTO et al., 2014). Em condições estressantes, a maior perda de calor se dá pela evaporação respiratória, mediante o aumento na sua frequência respiratória (NASCIMENTO; STEPHAN; NUNES, 2015). Em ambientes com temperatura de até 21°C as perdas sensíveis de calor se dão por meio da radiação, condução e convecção, já em altas temperaturas a via de dissipação do calor é a evaporação respiratória (BROSSI et al., 2009; HILLMAN et al., 1985). Assim, a respiração promove o consumo de energia, que conseqüentemente gera calor (ABREU, 2015; BUTCHER; MILES, 1996). Durante o estresse calórico, as aves aumentam sua frequência respiratória para proporcionar maior perda evaporativa e manter o equilíbrio térmico corporal. Esse aumento constitui a principal e mais eficiente forma de dissipar calor em aves submetidas a altas temperaturas e pode resultar em alcalose respiratória, provocando piora de desempenho zootécnico. A mudança das condições ambientais como, por exemplo, o aumento da temperatura do ar e a umidade relativa, provoca o aumento da temperatura cloacal das aves, ou seja, uma rápida resposta fisiológica das aves (MARCHINI et al., 2007). Portanto, para minimizar ou aumentar as trocas de calor com o ambiente, as aves tendem a

permanecer deitadas e manter as asas estendidas e as penas levantadas, a fim de proporcionar aumento da área superficial e também possibilitar o resfriamento corporal (AMARAL et al., 2011).

## **2.5 Efeitos do ambiente térmico sobre as respostas fisiológicas de animais**

As condições de conforto térmico características de países tropicais como o Brasil, dificilmente são obtidas, visto que, durante quase todo o ano, fatores como temperatura ambiente, a intensidade de radiação solar e a umidade do ar são muito elevadas (SILVA et al., 2007). Portanto, esses fatores físicos interferem negativamente na produtividade e na qualidade da criação de frangos de corte (RIBEIRO et al., 2008). Isso por exercerem ação direta e imediata sobre as respostas comportamentais (BAÊTA; SOUZA, 2010). À medida que os efeitos da temperatura ambiente elevada sobre as aves se intensificam, diversas respostas fisiológicas são alteradas com o objetivo de aumentar a dissipação de calor por elas (ALTAN et al., 2003).

Sabe-se que a transferência de calor para o ambiente com temperatura acima do conforto térmico acarreta problemas aos animais por prejudicar o seu desempenho. Assim, compreender-se que as alterações no metabolismo, nos parâmetros fisiológicos, diante da elevação de temperatura é crucial. Desse modo, o produtor conseguirá prever essas questões e evitar os efeitos deletérios que o ambiente pode provocar (NASCIMENTO; STEPHAN; NUNES, 2015).

Para Nascimento et al. (2012), muitos estudos definem as variações fisiológicas dos animais frente ao estresse, assim, estabelecer uma relação entre exposição de calor e mudanças nas condições dos animais é necessário.

### **2.5.1 Temperatura cloacal**

A temperatura cloacal representa a temperatura do núcleo corporal (interna), e pode ser utilizada como uma boa referência da condição de conforto ou estresse dos animais (BROWN-BRANDT et al., 2003; BUENO et al., 2014), indicando com maior precisão, a temperatura corporal das aves (COSTAS; SARAIVA; SANTOS, 2012). A oscilação da temperatura cloacal das aves aponta que estão sob alterações fisiológicas, que busca reter ou dissipar calor para a superfície corporal (ABREU, 2015).

O aumento da temperatura cloacal é uma resposta fisiológica às condições de temperatura do ar e da umidade relativa elevadas, o que resulta do armazenamento do calor metabólico (ABREU, 2015; SILVA et al., 2003). Para equilibrar a temperatura corporal dentro da termoneutralidade para os órgãos vitais, o calor corporal deve ser conservado ou liberado, como resposta às mudanças do meio ambiente (FUNCK; FONSECA, 2008).

A faixa de conforto para a temperatura cloacal varia em função da idade da ave (COSTA; SARAIVA; SANTOS, 2012; MARCHINI et al., 2007). Para frangos de corte com 14 dias de vida, varia entre 41 a 42° C (BUENO et al., 2014).

Assim, para avaliar a temperatura cloacal de frangos de corte pode-se fazer por meio da inserção de um termômetro digital na cloaca da ave. No entanto, esse procedimento pode causar estresse à ave, e consequentemente, pode alterar a sua temperatura cloacal (ABREU, 2015; NASCIMENTO, 2010).

### **2.5.2 Temperatura superficial**

A temperatura superficial dos animais possibilita mensurar a resposta fisiológica de forma não invasiva, não gerando estresse e proporcionando ao

aviário um melhor controle do sistema de aquecimento. A temperatura superficial, em dada condição térmica ao qual o animal está submetido, consiste no resultado do balanço de calor entre o animal e ambiente térmico ao seu redor (CARVALHO, 2017).

As medidas de temperaturas superficiais dos animais são parâmetros que mudam de maneira rápida de acordo com as condições ambientais e permite avaliar a condição térmica da ave no ambiente em que ela se encontra. Podem ser usadas para mensurar o fluxo sanguíneo periférico e a troca de calor que o animal faz com o ambiente (NASCIMENTO et al., 2012). No entanto, o aumento da temperatura ambiente acarreta o aumento das temperaturas fisiológicas das aves (GILOH; SHINDER; YAHAV, 2012). Entretanto, as partes do corpo que não possuem penas variam mais quando a temperatura ambiente muda, em relação às partes com penas (NASCIMENTO et al., 2011). Animais mais velhos possuem mais penas e devido a isso a temperatura superficial tende a ser mais alta. Além disso, quanto maior o peso vivo das aves, mais sensíveis são a elevadas temperaturas (NASCIMENTO et al., 2014), elucidando a preocupação com a ambiência quando estas estão próximo ao abate.

Desse modo, a conduta utilizada para prever a temperatura superficial das aves deve considerar as diferenças entre áreas com e sem penas e idade durante todo o período de criação dos animais (CARVALHO, 2017).

### **2.5.3 Frequência respiratória**

O efeito do aumento da temperatura ambiente sobre as aves acarreta diversas respostas fisiológicas que são desencadeadas com o intuito de aumentar a dissipação de calor por elas (ALTAN et al., 2003). Assim, a frequência respiratória aumenta durante o estresse por calor (BORGES; MAIORKA; SILVA, 2003).

O aumento da frequência respiratória é o mecanismo termorregulatório mais eficiente para dissipar calor, já que as aves não possuem glândulas sudoríparas, e, por envolver grande esforço da musculatura, resulta num maior gasto de energia e gera mais calor, com conseqüente redução da eficiência produtiva da ave. Nesses casos, a morte pode ocorrer rapidamente por exaustão, principalmente em aves mais pesadas (SANTOS; LUCAS JÚNIOR; SILVA, 2007).

As aves possuem a capacidade de aumentar o nível da frequência respiratória de 25 até 250 mov. min<sup>-1</sup> para aumentar a perda de calor corporal pelo trato respiratório sob condições de estresse térmico (LINSLEY; BERGER, 1964).

## **2.6 Análise de comportamento**

A avaliação do estudo do comportamento animal é uma tarefa importante para entender as interações complexas entre indivíduo e o meio em que vivem (CORDEIRO et al., 2010).

Em ambientes em condições de desconforto térmico por calor, as aves reduzem o consumo de ração, afetando o desempenho produtivo (CORDEIRO et al., 2011). O consumo médio da água geralmente corresponde a duas vezes o consumo alimentar. Entretanto, essa relação aumenta em condições de temperaturas extremamente altas (PONCIANO, 2014).

Dessa forma, a análise de comportamento das aves propicia a análise mais detalhada dos processos envolvidos, permitindo a busca de soluções para amenizar ou eliminar o problema (SCHIASI, 2013).

## 2.7 Agrupamento hierárquico aglomerativo

Análise de agrupamento ou *Clustering* é o conjunto de técnicas computacionais, que tem a finalidade de separar em um mesmo grupo objetos que sejam similares de acordo com algum critério pré-determinado (LINDEN, 2009). Dentro de cada cluster, os objetos são semelhantes entre si, enquanto os objetos localizados em outros clusters são diferentes uns dos outros (DOMINICK et al., 2012; PIRES et al., 2008).

Todavia, a análise de agrupamento é uma ferramenta útil para a análise de dados em muitas situações diferentes. Essa técnica tem sido usada em várias áreas de estudos e contribui muito para apresentação de dados (LINDEN, 2009).

Apesar desse ser um método ainda pouco utilizado, essa técnica tem a vantagem de possibilitar a visualização e a classificação do resultado por meio de dendogramas, que ilustram de forma hierárquica o grau de semelhança entre os agrupamentos (GONÇALVES et al., 2008).

Assim, essa metodologia foi utilizada para separar os tratamentos em que as aves apresentaram comportamentos semelhantes, mesmo em condições ambientais diferentes.

## 2.8 Fluidodinâmica computacional (CFC)

A dinâmica dos fluidos computacional, na literatura inglesa denominada “Computational Fluid Dynamics” (CFD) é uma poderosa ferramenta na análise de escoamentos. Essa ferramenta pode ser designada como o conjunto das técnicas de simulação computacional utilizadas para prever os fenômenos físicos ou físico-químicos que ocorrem em escoamento relacionados com a ação e a interação de fatores como dissipação, difusão, convecção, ondas de choque,

superfície escorregadias, condições de contorno e tubulações (MALISKA, 2004).

Os modelos CFD, por sua vez, utilizam técnicas numéricas para resolver as equações que governam o escoamento, aumento da versatilidade e generalidade dos métodos numéricos para simular os problemas de engenharia e relativa simplificação para aplicações das técnicas computacionais (MALISKA, 2004).

O método CFD foi, a princípio, usado no setor industrial aeroespacial, automotivo, naval e nuclear. No entanto, devido a sua simplicidade de aplicação e disponibilidade de computadores de alto desempenho e baixo custo, tem sido aplicado também na engenharia agrícola (DAMASCENO, 2012).

Para Joshi e Ranade (2003), a CFD é uma tecnologia essencial à engenharia para antecipar os processos a fim de reduzir custos de construção e operação por meio de um menor consumo energético e de matéria-prima. Dessa feita, hoje a técnica CFD é utilizada como uma metodologia efetiva para muitos pesquisadores (ORSZAG; STAROSELKY, 2000).

Kittas e Bartzanas (2007) reconhecem essa técnica como uma metodologia para modelar aspectos micro meteorológicos no interior de ambiente protegido bem como na distribuição de temperatura e da umidade relativa do ar.

Para Noriler (2007), as principais vantagens da aplicação das técnicas de CFD são:

- a) A disponibilidade de mudança das configurações do problema sem grandes aquisições. Consequentemente, o investimento é menor quando comparado com experimentos laboratoriais, dando maior flexibilidade a engenheiros e cientistas no estudo dos fenômenos associados ao problema;

- b) Maior agilidade na obtenção de dados, possibilitando uma maior quantidade de análises;
- c) A possibilidade da análise dos campos espaciais-temporais de fluxo são metodologias importantes de orientação dos pesquisadores para solução dos problemas;
- d) Aquisição de dados em regiões de difícil obtenção de dados a partir de experimentos.

Assim, todos esses fenômenos físicos ou físico-químicos são representados pela equação de Navier-Stokes, ou seja, equações da conservação da massa, momento e energia, que são convertidas para a forma algébrica em uma malha que define a geometria e o domínio do fluxo de interesse. Dessa forma, inicialmente as condições de contorno serão utilizadas para a malha e as propriedades e quantidades (temperatura, concentrações, velocidade, pressão e turbulência) são determinadas iterativamente em cada ponto do espaço e do tempo dentro do domínio. Assim, para que a simulação em CFD seja processada, três etapas básicas (pré-processamento, processamento e pós-processamento) devem ser seguidas (XIA; SUN, 2002).

### **Pré- processamento**

Segundo Rocha (2012), o pré-processamento consiste na entrada dos dados a serem analisados no programa computacional implementado em CFD por meio de uma interface de fácil utilização e subsequentes transformações desses dados em uma forma adequada para uso do processamento. As tarefas do usuário na fase pré-processamento envolvem os seguintes comandos.

- a) Determinar a geometria da região de interesse no domínio computacional;



- b) Gerar a malha com as divisões em subdomínios menores do domínio que não sejam sobrepostos;
- c) Definir o fenômeno físico ou químico que deverá ser modelado;
- d) Especificar as propriedades dos fluidos;
- e) •Definir adequadamente as condições de contorno no domínio.

Na técnica de CFD mais da metade do tempo é gasto na definição da geometria e na geração da malha. No entanto, a geometria e a malha podem ser desenvolvidas utilizando-se qualquer ferramenta de projetos auxiliado por computador com plataforma para elaboração de geometria (Auto Cad®, FreeCad, Rhinoceros®, Solodworks® e Blender 3D) e exportado para o pré-processador (ROCHA, 2012).

### **Processamento**

O processamento é empregado para obter o resultado numérico do modelo e pode ser descrito e previsto pelos processos de controle, monitoramento da solução, cálculo em CFD e checagem de convergência (ROCHA, 2012).

### **Pós-processamento**

Segundo Rocha (2012), na etapa do pós-processamento, uma quantidade de tarefas deve ser desenvolvida no pós-processamento, devido à geração de imagens gráficas na apresentação dos resultados, incluindo:

- a) Apresentação da malha com o domínio da geometria;
- b) Traçar os vetores;
- c) Linhas de contorno e sombreamento;
- d) Superfícies bidimensionais e tridimensionais;

- e) Rastreamento de partículas;
- f) Manipulação na visualização (rotação, translação e escala);
- g) Geração de tabelas e gráficos;
- h) Criação de animação dinâmica dos resultados.

Assim, para que uma análise em CFD seja completa necessariamente terá que ser composta por pré-processamento, processamento, pós-processamento e englobando os procedimentos e fenômenos de forma adequada à configuração do problema a ser analisado, com sua solução, seu monitoramento e análise dos resultados do final da simulação (ROCHA, 2012).

## REFERÊNCIAS

ABREU, L. H. P. **Inteligência artificial na avaliação de respostas produtivas e fisiológicas de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico**. 2015. 164 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, p. 1-14, 2011. Suplemento.

ALTAN, O. et al. Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 44, n. 4, p. 545-550, Sept. 2003.

AMARAL, A. G. et al. Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, n. 3, p. 649-658, 2011.

ANSYS ENGINEERING SIMULATION AND 3D DESIGN SOFTWARE. **Ansys fluente user's guide: realise 13.0**. Canonsburg: SAS IP, 2011. 2334 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA. **Relatórios anuais**. São Paulo: ABPA, 2016. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais/2018>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

AVIAGEN. **Ross Broiler** management manual. Scotland: Aviagen, 2009. 112 p.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2010. 269 p.

BAKKER, W. **Minimum ventilation to maximize broiler farm performance**. Saint Augustine: Caribbean Poultry Association Poultry & Egg School, 2005. 61 slides.

BARACHO, M. S. et al. Ambiente interno em galpões de frango de corte com cama nova e reutilizada. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 473-478, 2013.

BORBA, H. et al. Influência do estresse térmico sobre a condição fisiológica de frango de corte aos 21 e 35 dias de idade. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE AVICULTURA, 22., 2011, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: ALA, 2011.

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

BROSSI, C. et al. Estresse térmico durante o pré-abate em frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1296-1305, jul. 2009.

BROWN-BRANDT, T. M. et al. A new telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 19, n. 5, p. 583-589, 2003.

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

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the American Society of Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 14, n. 3, p. 711-714, 1981.

BUTCHER, G. D.; MILES, R. **Heat stress management in broilers**. Flórida: Institute of Food and Agricultural Sciences, 1996.

CAMPOS, A. T. et al. Prediction of free-stall occupancy rate in dairycattle barns through *fuzzy* sets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1079-1089, nov./dez. 2013.

CÂNDIDO, M. G. et al. Determination of thermal comfort zone for early-stage broilers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 760-767, set./out. 2016.

CÂNDIDO, M. G. L. **Determinação da faixa de conforto térmico com base nos resultados de desempenho produtivo e respostas fisiológicas de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos durante a fase inicial de criação**. 2014. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

CARVALHO, K. A. **Inteligência artificial aplicada a predição da temperatura superficial de frangos de corte.** 2017. 47 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

CASSUCE, D. C. **Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil.** 2011. 103 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CASSUCE, D. C. et al. Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 28-36, jan./fev. 2013.

CHIMINEAU, P. Médio ambiente y reproducción animal. **World Animal Review**, Roma, v. 77, n. 1, p. 2-14, 1993.

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

COLLATTO, D. C. et al. Avaliação de fontes de energia para o aquecimento de ambientes na produção de frango de corte no sul do Brasil: uma análise multicritério. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 47., 2015, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: Sobrapo, 2015. p. 1-12.

CONTO, L. A. Novos sistemas de aquecimento inicial de pintos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1., 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: FACTA, 2003. p. 132-136.

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

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

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

CURI, T. M. R. C. **Avaliação do sistema de ventilação em instalações para frangos de corte através de diferentes modelagens.** 2014. 263 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

DAMASCENO, F. A. **Compost bedded pack barns system and computational simulations of airflow through naturally ventilated reduced model.** 2012. 404 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

DOMINICK, D. et al. Spatial assessment of air quality patterns in Malaysia using multivariate analysis. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 60, p. 172–181, Dec. 2012.

FUNCK, S. R.; FONSECA, R. A. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 91-97, fev. 2008.

FURLAN, R. L.; MACARI, M. Termorregulação. In: MACARI, M.; FURLAN R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte.** 2. ed. Jaboticabal: Funesp, 2008. p. 209-230.

FURTADO, D. A.; AZEVEDO, P. V.; TINÔCO, I. F. F. Análise do conforto térmico em galpões avícolas com diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 559-564, set./dez. 2003.

GARCÍA, R. G. et al. Selecting the most adequate bedding material for broiler production in Brazil. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 71-158, abr./jun. 2012.

GILOH, M.; SHINDER, D.; YAHAV, S. Skin surface temperature of broiler chickens is correlated to body core temperature and is indicative of their thermoregulatory status. **Poultry Science**, Champaign, v. 91, n. 1, p. 175-188, Jan. 2012.

GONÇALVES, M. L. et al. Classificação não supervisionada de imagens de sensores remotos utilizando redes neurais auto-organizáveis e métodos de agrupamentos hierárquicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 60, n. 1, p. 17-29, abr. 2008.

HABEEB, A. L. M.; MURRAY, L. F. M.; KAMAL, T. H. **Farm animals and the environment**. Oxford: Oxford University Press, 1992. 428 p.

HILLMAN, P. E. et al. Physiological responses and adaptations to hot and cold environments. In: YOUSEF, M. K. **Stress physiology in livestock**. Boca Raton: CRC, 1985. v. 3, p. 1-71.

JÁCOME, I. M. T. D. et al. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 527-531, set./out. 2007.

JOSHI, J. B.; RANADE, V. V. Computational fluid dynamics for designing process equipment: expectations, currents status, and path forward. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 42, n. 6, p. 1115–1128, Feb. 2003.

KITTAS, C.; BARTZANAS, T. Greenhouse microclimate and dehumidification effectiveness under different ventilator configurations. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 10, p. 3774-3784, Oct. 2007.

LIMA, A. M. C. **Avaliação de dois sistemas de produção de frango de corte: uma visão multidisciplinar**. 2005. 122 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, Macaé, n. 4, p. 18-36, 2009.

LINSLEY, J. G.; BERGER, R. R. Respiratory and cardiovascular responses in the hyperthermic domestic fowl. **Poultry Science**, Champaign, v. 43, n. 1, p. 291-305, Mar. 1964.

LOPES, J. C. O.; RIBEIRO, M. N.; LIMA, V. B. S. Estresse por calor em frangos de corte. **Nutritime**, Viçosa, v. 12, n. 6, p. 4478-4487, nov./dez. 2015.

LOURENÇONI, J. **Modelagem fuzzy e efeito das mudanças climáticas nas respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção**. 2017. 120 p. Tese (Doutorado em engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Campinas: Facta, 2002. 375 p.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; MAIORKA, A. Aspectos fisiológicos e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas. In: MENDES, A. A.; NÄÄS, I. A.; MACARI, M. (Ed.). **Produção de frangos de corte**. Campinas: Fundação Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2008. p. 137-155.

MALISKA, C. R. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 460 p.

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

MATTOS, J. M. **Avaliação das instalações em aviários de postura conforme aspectos de conforto térmico na região de Bastos**. 2007. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

MEDEIROS, C. M. **Ajustes de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte**. 2001. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 1, p. 277-286, 2005.

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

MENZEL, R. R. et al. Respostas fisiológicas de duas linhagens de frango de corte industrial criados sob condições de inverno Amazônico. **Enciclopédia Biosfera: centro científico conhecer**, Goiânia, v. 14, n. 26, p. 651-657, 2017.

MORAES, S. R. P. et al. Conforto térmico em galpões avícolas sob cobertura de cimento-amianto e suas diferentes associações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 89-92, jan./abr. 1999.



MORO, D. Sistemas de aquecimento em instalações avícolas na fase inicial. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÃO NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1., 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: Apinco, 1995. p. 139-144.

MOURA, D. J. et al. Análise de ruído para a avaliação do conforto térmico de pintinhos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p.438-443, jul./ago. 2008.

\_\_\_\_\_. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 311-316, July 2010. Supplement.

MULLER, P. B. **Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos**. Porto Alegre: Sulina, 1989. 262 p.

NÄÄS, I. A. et al. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 326-335, maio/ago. 2007.

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

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

NASCIMENTO, S. T. **Determinação do balanço de calor em frangos de corte por meio das temperaturas corporais**. 2010. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NASCIMENTO, S. T. et al. Bands of respiratory rate and cloacal temperature for different broiler chicken strains. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 5, p. 1318-1324, maio 2012.

NASCIMENTO, S. T. et al. Mean surface temperature prediction models for broiler chickens - a study of sensible heat flow. **International Journal of Biometeorology**, Leiden, v. 58, n. 2, p. 195-201, Mar. 2014.

NATIONAL WEATHER SERVICE - NWS. **Livestock hot weather stress: regional operations manual letter C-31-76**. Washington, DC: National Academy Press, 1976. 45 p.

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

NORILER, D. **Modelagem matemática multifásica e simulação tridimensional e transiente para sistemas gás-líquido**: o caso do escoamento líquido-vapor em colunas de destilação. 2007. 210 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

OLIVEIRA, R. F. M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias 43 de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 797-803, maio/jun. 2006.

OSRZAG, S. A.; STAROSELSKY, I. CFD: progress and problems. **Computer Physics Communications**, Amsterdam, v. 127, n. 1, p. 165–171, May 2000.

PIRES, J. C. M. et al. Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis – Part II: CO, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 42, n. 6, p. 1261-1274, Feb. 2008.

PONCIANO, P. F. **Assessing and modeling responses of broiler chicks in the first three weeks of line subjected to thermal challenge of different intensities and durations**. 2014. 118 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

\_\_\_\_\_. **Predição do desempenho produtivo e temperatura retal de frangos de corte durante os primeiros 21 dias de vida**. 2011. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

RIBEIRO, A. M. L. et al. Suplementação de vitaminas e minerais orgânicos e sua ação sobre a imonocompetência de frangos de corte submetidos a estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 636-644, 2008.

ROCHA, S. M. S. et al. Applications of CFD Techniques in the Design of Fabric Filters. **Chemical Engineering Transactions**, Milano, v. 39, p. 1369-1374, Aug. 2012.

RONCHI, C. Principais práticas de manejo para aves recém nascidas. **Revista Aveworld**, Campinas, v. 1, n. 6, p. 26-30, dez./jan. 2004.

ROSA, Y. B. C. J. **Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico em condições de verão, para Viçosa - MG.** 1984. 77 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

RUTZ, F. Aspectos fisiológicos que regulam o conforto térmico das aves. In: CONFERÊNCIA APINCO 1994 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Facta, 1994. p. 99-136.

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

SANTOS, M. J. B. dos et al. Comportamento bioclimático de frangos de corte caipira em piquetes enriquecidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 554-560, maio 2010.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J.; SILVA, F. M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 658-664, set./dez. 2007.

SCHIASSI, L. **Desempenho e comportamento de frangos de corte em túneis de vento climatizados.** 2013. 79 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SILVA, J. H. V. et al. Efeito do bebedouro e da densidade de alojamento no desempenho de frangos de corte em alta temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 636-641, 2005.

SILVA, M. A. N. da et al. Avaliação do estresse térmico em condição simulada de transporte de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1126-1130, jul./ago. 2007. Suplemento.

\_\_\_\_\_. Influência do sistema de criação sobre o desempenho, a condição fisiológica e o comportamento de linhagens de frango de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 208-213, jan./fev. 2003.

TEIXEIRA, E. N. M. et al. Efeito do tempo de jejum pós-eclosão, valores energéticos e inclusão do ovo desidratado em dietas pré-iniciais e iniciais de

pintos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 314-322, fev. 2009.

TEIXEIRA, V. H. **Estudos dos índices de conforto em duas instalações de frangos de corte para as regiões de Viçosa e Visconde do Rio Branco, MG.** 1983. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

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

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

TINÔCO, I. F. F.; OSORIO, J. A. Control ambiental y la agroindustria de producción animal en el Brasil y América Latina. In: CONGRESSO NACIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 2008, Medellín. **Anais...** Medellín: [s.n.], 2008.

VIEIRA, F. M. C. et al. Termorregulação de pintos de um dia submetidos a ambiente térmico simulado de transporte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 68, n. 1, p. 208-214, jan./fev. 2016.

VIGODERIS, R. B. et al. 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**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 381-1386, jun. 2010.

VIGODERIS, R. B. **Sistemas de aquecimento de aviário e seus efeitos no conforto térmico ambiental, qualidade do ar e performance animal, em condições de inverno, na região sul do Brasil.** 2006. 104 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

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

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

XIA, B.; SUN, D-W. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 34, n. 1/3, p. 5-24, May 2002.



**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**

**ARTIGO 1 - AVALIAÇÃO DE DUAS INSTALAÇÕES PARA FRANGO  
DE CORTE POR MEIO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS,  
FISIOLÓGICAS E COMPORTAMENTAIS NAS TRÊS PRIMEIRAS  
SEMANAS DE VIDA**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo  
com o Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

## RESUMO

Para que o setor avícola apresente bons resultados, é primordial que as condições ambientais presentes dentro dos galpões proporcionem bem-estar aos animais. Diante desse contexto, este trabalho objetivou-se avaliar as condições internas de um aviário para frango de corte nas três primeiras semanas de vida, localizado na mesorregião Oeste de Minas Gerais, durante a estação da primavera. Esse aviário é composto por dois sistemas de aquecimento distintos em cada galpão. As condições ambientais foram avaliadas por meio das variáveis ambientais, fisiológicas e comportamentais de frango de corte. De posse dos dados coletados observou-se que, os dois sistemas de aquecimento não foram significativos entre si, todavia, na primeira e terceira semana de vida o ambiente interno foi caracterizado em condições desfavoráveis ao desenvolvimento dos animais uma vez que, na primeira semana de vida, a média da temperatura do ar foi de 30,8°C, ou seja, esteve abaixo da faixa recomenda proporcionando estresse por frio e na terceira semana, e sofreram por estresse por calor com uma média de 29,3°C. As instalações apresentaram ao longo do experimento uma média de umidade relativa de 51% a 67% ao longo do experimento e as variáveis ITU e ITGU apresentaram valores acima do recomendado com 79,5 e 80 respectivamente caracterizando condições de estresse térmico para os animais. A temperatura cloacal apresentou valores dentro da faixa de neutralidade 42°C junto às demais variáveis temperatura de pena e temperatura de pele e a frequência respiratória apresentaram valores acima de 40 mov min<sup>-1</sup>. Quanto às variáveis comportamentais, as aves, na maior parte do tempo, apresentaram comportamento tranquilo se alimentando e sonolentas, e o comportamento ofegante foi observado na menor variação de tempo por todo o período.

**Palavras-chave:** Parâmetros fisiológicos. Conforto térmico. Parâmetros comportamentais.



**EVALUATION OF AN INSTALLATION FOR BROILER BY  
ENVIRONMENTAL, PHYSIOLOGICAL AND BEHAVIORAL VARIABLES IN  
THE THREE FIRST WEEKS OF LIFE**

**ABSTRACT**

For the poultry sector to present good results it is essential that the environmental conditions present inside the sheds provide welfare to the animals. In this context, the objective of this work was to evaluate the environmental conditions inside two sheds with different heating systems during the first three weeks of life through the environmental, physiological and behavioral variables of broiler chicken. With the data collected, it was observed that the two heating systems were not significant among them, however, in the first and third week of life the internal environment was characterized in conditions unfavorable to the development of the animals and in the first week of life The mean air temperature was 30.8 °C, ie it was below the recommended range providing cold stress and in the third week the same suffered from heat stress with a mean of 29.3 °C. The facilities presented to the A mean relative humidity of 51% to 67% was observed throughout the experiment and the ITU and ITGU variables presented values above the recommended values of 79.5 and 80, respectively, characterizing thermal stress conditions for the animals. The cloacal temperature presented values within the neutrality range 42 ° C along with the other variations in temperature of feather and skin temperature and the respiratory rate presented values above 40 mov min<sup>-1</sup>. Regarding the behavioral variables, the birds most of the time presented a calm behavior feeding and sleepy and the panting behavior was observed in the smaller variation of time throughout the period.

**Key words:** Physiological parameters. Thermal comfort. Behavioral parameters.



## 1 INTRODUÇÃO

A avicultura é uma das atividades econômicas mais importantes do setor agropecuário do Brasil. Porém as variáveis ambientais, representada pela temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e radiação, são alguns dos fatores que mais podem afetar o conforto, bem-estar e conseqüentemente a produtividade dos animais.

Dessa forma, as condições oferecidas pelo ambiente térmico em que os frangos de corte são submetidos durante a sua vida inicial serão primordiais para garantir o conforto e o bem-estar animal, a fim de alcançar o máximo rendimento, uma vez, que os mecanismos fisiológicos de controle térmico são desenvolvidos durante seu desenvolvimento inicial (VIEIRA et al., 2016). Assim, caracterizar o ambiente térmico de criação garantirá o sucesso da produção avícola para que continue competitiva e intensiva (DAMASCENO et al., 2010).

De acordo com Silva et al. (2015), as aves apresentam baixa tolerância ao estresse térmico, o que pode resultar em perdas de desempenho produtivo e reprodutivo.

Portanto, após a eclosão, o desenvolvimento inicial do pintinho é fundamental (TEIXEIRA et al., 2009). Nos primeiros dias de vida, o pintinho é considerado um animal pecilotérmico, ou seja, sua temperatura corporal sofre variações de acordo com a temperatura ambiente. Isto ocorre porque estas aves ainda não têm seus sistemas termorregulatório amadurecidos, nem reserva energética suficiente para serem capazes de se adaptarem às condições adversas do ambiente. Desta forma, as primeiras semanas de vida das aves são as mais críticas e erros cometidos nesta fase não poderão ser corrigidos, resultando em decréscimo do desempenho final (CORDEIRO et al., 2010).

Assim, pode-se verificar a importância de se adaptar o ambiente às condições ideais de bem-estar para as aves mais jovens. Muitos estudos têm sido citados na literatura e indicam que tanto o estresse por calor, quanto pelo frio, durante as três primeiras semanas de vida, podem alterar os comportamentos desses animais que irão afetar e causar perda de peso corporal, redução no consumo de ração e prejudicar a conversão alimentar, além de outros prejuízos para a saúde das aves (ABREU, 2015; MOURA et al., 2008; PONCIANO, 2014., SCHIASSI et al., 2015). A temperatura do ar considerada como adequada para a criação de pintinhos é de 32 a 34°C, 28 a 32°C e de 26 a 28°C na primeira, segunda e terceira semana de vida, respectivamente (CASSUCE et al., 2013; MENEGALI et al., 2009). E para a umidade relativa o valor não deve ultrapassar os 70% na primeira semana de vida mantendo-se entre 50 a 60% para as demais semanas de vida (JÁCOME et al., 2007).

De acordo com Ponciano et al. (2011) por esta razão é fundamental o controle do clima no ambiente de produção, para que as aves mantenham suas funções fisiológicas em estado normal e atinjam sua máxima produtividade.

Para Lopes, Ribeiro e Lima (2015) o principal efeito que a temperatura do ar fora da faixa de conforto pode causar é desconforto térmico que pode afetar o desempenho zootécnico e até mesmo as respostas fisiológicas dos animais resultando em resultados insatisfatórios na produção animal. Dentre as respostas fisiológicas que podem ser afetadas pelo estresse térmico, pode-se destacar a temperatura cloacal e a frequência respiratória (FERREIRA et al., 2012), bem como a temperatura de pele e pena. Altas temperaturas por longo período provocam aumento da frequência respiratória, seguido de estresse (VIEIRA et al., 2016).

Em situações de estresse agudo por calor um dos comportamentos mais eficientes que visa à redução da temperatura interna é o ofego que representa 75% da perda de calor latente das aves (SILVA, 2008).

Desta forma, o objetivou-se com o presente estudo, analisar dois galpões com diferentes sistemas de aquecimento com base nas variáveis ambientais, fisiológicas e comportamentais durante as primeiras semanas de vida das aves.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em dois galpões comerciais para criação de frangos de cortes localizados na mesorregião Oeste de Minas Gerais, durante a estação da primavera. Cada galpão possui uma distância um do outro de cerca de 100 m e a orientação para ambos é nordeste-sudeste. As coordenadas geográficas médias do galpão A são 20°12'02" de latitude sul e 45°02'08" de longitude oeste de Greenwich. As coordenadas geográficas médias do galpão B são 20°11'58" de latitude sul e 45°02'08" de longitude oeste de Greenwich. Os dois galpões possuem dimensões de 13 m de largura, 160 m de comprimento e 3 metros de pé-direito, inclinação do telhado 30°, cobertura de telhas de cimento amianto de 6 mm de espessura, piso de concreto, cama de casca de arroz, cortinas laterais e forro de lona plástica amarela, posicionado a 2,45 m de altura. Em cada galpão foram utilizadas cortinas duplas nas laterais (uma interna e outra externa). As cortinas internas foram retiradas no quinto dia de vida das aves e as externas foram manejadas de acordo com as condições climáticas, durante todo o período experimental.

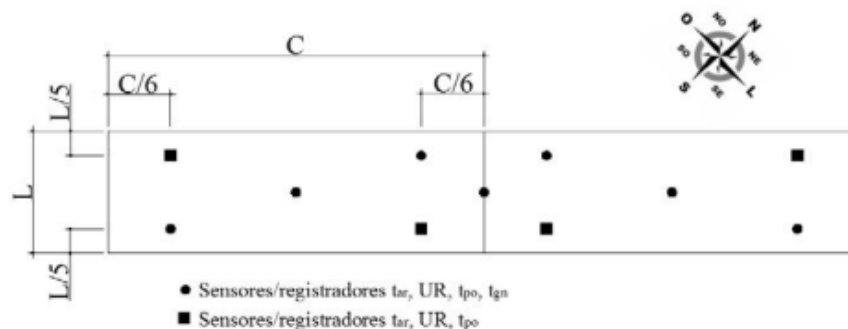
A área interna do galpão foi limitada por meio de chapas de compensado para que os pintinhos ficassem o mais próximo possível dos sistemas de aquecimento. Essas chapas eram movidas para que a área disponível para os animais fosse aumentada a medida que os animais cresciam. No início do experimento, no primeiro dia de vida, as aves do galpão A foram distribuídas na densidade de 54 aves m<sup>2</sup>. Posteriormente, a área útil do galpão aumentou de modo a reduzir a densidade de alojamento, até a densidade final de criação, que foi de 13 aves m<sup>2</sup> no final da fase de aquecimento. Por sua vez, no galpão B, na primeira semana, a densidade foi de 52 aves m<sup>-2</sup>, passando para 13 aves m<sup>2</sup>. Esta diferença na área disponível para os animais entre os galpões A e B se deu devido a pequenas variações no posicionamento nas chapas de compensado.

Para o galpão A o sistema de aquecimento do ambiente adotado constituía se de duas fornalhas com queima de biomassa de forma indireta, construídas artesanalmente com tijolos, barro e esterco sobre estrutura de ferro, localizadas a 80 m de distância uma da outra. Cada fornalha possuía 1,88 m de comprimento, 1,27 m de largura e 1,58 m de altura. Para seu funcionamento, utilizava um motor trifásico, potência 2206 W, 1725 RPM, que insuflava o ar aquecido para o galpão por um tubo de 0,10 m de diâmetro. No galpão B, o sistema de aquecimento consistia de uma fornalha industrial de material metálico com queima indireta de biomassa, comprimento de 2,23 m, largura de 1,23 m e 1,85 m de altura. O ar aquecido era insuflado por um motor trifásico, potência 2206 W, 1725 R 77 aproximadamente 28,6 m de tubulação metálica de aço galvanizado do lado nordeste e 22,45 m do lado sudoeste instalada na parte interna central do galpão. A tubulação possuía 0,23 m de diâmetro e orifícios de 0,05 m de diâmetro a cada 1,0 m locados alternadamente em cada lado, para a saída do ar aquecido.

Para a realização desse trabalho foram utilizados um total de 28.000 pintinhos machos de 1 a 21 dias de idade, da linhagem Cobb em cada galpão. Os dados do oitavo dia de experimento foram desconsiderados devido a uma impossibilidade causada pelo manejo adotado pela granja neste dia. As dietas fornecidas aos animais foram formuladas para suprir as exigências de nutrientes para as diferentes fases de crescimento das aves e foram iguais para ambos os sistemas. Para caracterizar o ambiente térmico, foram tomadas as medidas diárias de  $t_{ar}$ , temperatura de ponto de orvalho ( $t_{po}$ ), UR e temperatura de globo negro ( $t_{gn}$ ). A posição dos sensores era alterada quando mudava o posicionamento das chapas de compensado, para que os sensores registrassem sempre a condição em que o pintinho estava submetido, conforme ilustrado na Figura 1. L é a largura da área disponível para aves e C é o comprimento.



Figura 1 - Esquema de posicionamento dos sensores/registradores de temperatura e umidade relativa nos galpões de frango.



Fonte: Ponciano (2011)

As medições foram realizadas a uma altura compatível com a zona de ocupação dos pintinhos, a 0,10 m da cama em intervalos de cinco minutos, durante todo o período experimental (CORDEIRO et al., 2010). Foram utilizados sensores/registradores de  $t_{ar}$ ,  $t_{gn}$ , UR (precisão de  $\pm 3\%$  da leitura), mantidos em gaiolas de malha de arame a fim de que os animais não os danificassem.

O ambiente térmico no interior dos galpões foi caracterizado por meio do índice de temperatura e umidade (ITU) e do índice de temperatura do globo e umidade (ITGU). Por envolver um menor número de variáveis, o ITU é considerado um dos índices mais simples e tem se destacado por englobar os efeitos da  $t_{ar}$  e da UR. Este índice pode ser calculado pela Equação 1 desenvolvida por Thom (1959).

$$ITU = t_{ar} + 0,36 \cdot t_{po} + 41,5 \quad (1)$$

em que:

$t_{ar}$  = temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$t_{po}$  = temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ )

Desenvolvido por Buffington et al. (1981), o ITGU é atualmente o índice mais difundido para predizer as condições de conforto térmico em regiões quentes pelo fato de incorporar a temperatura do bulbo seco (T), a umidade relativa (UR), a velocidade do vento (V) e a radiação na forma de temperatura de globo negro em um único valor, é calculado pela Equação 2.

$$\text{ITGU} = T_{\text{gn}} + 0,36 \cdot T_{\text{po}} - 330,08$$

em que:

$T_{\text{gn}}$  é a temperatura de globo negro, K,

$T_{\text{po}}$  é a temperatura de ponto de orvalho, K.

Para as variáveis fisiológicas foi avaliada a temperatura cloacal ( $t_{\text{cloacal}}$ ) por meio de um termômetro digital (precisão de  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ ) três vezes ao dia, nos períodos P1, de 8:00 às 11:00 h; P2, de 13:40 às 15:20 h e P3, de 16:30 às 18:20 h. Em cada período, quatro aves em cada galpão eram avaliadas aleatoriamente, totalizando 12 aves galpão<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

A frequência respiratória,  $t_{\text{cloacal}}$  temperatura da pena ( $t_{\text{pena}}$ ) e temperatura da pele ( $t_{\text{pele}}$ ) dos frangos foram avaliados três vezes ao dia (8h, 14h e 18h) em quatro aves escolhidas aleatoriamente. A  $t_{\text{cloacal}}$ , foi medida por meio de um termômetro digital (precisão de  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ ). A  $t_{\text{pena}}$  e a  $t_{\text{pele}}$  foram mensuradas por meio de um termômetro infravermelho (precisão de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ) com controle de emissividade, configurado para 0,95, e mira laser. A FR foi determinada por observação visual direta durante 15s, e, posteriormente, esse valor extrapolado para um minuto.

Os padrões comportamentais foram realizados por meio de observações em intervalos de tempo de 2 minutos para cada comportamento e avaliados nos períodos das 8:00, 14:00 e 18:00h das três primeiras semanas de vida. A

avaliação dos comportamentos analisados foi adaptada de Sevegnani et al. (2005) e obteve-se: comportamento tranquilo, disperso, prostrado, ofegante, alimentação, bebendo água e sonolência. E as análises dos dendogramas foram baseados no estudo de Ferraz et al. (2014).

### **Delineamento Estatístico**

#### **Variáveis ambientais e fisiológicas**

Para a análise das variáveis ambientais e fisiológicas, foi utilizado o delineamento fatorial 2x3x3, composto dos fatores: galpão (S1 e S2), semana (1, 2 e 3) e período (8:00, 14:00 e 18:00 horas), utilizando o *software* estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2010), onde foram submetidos a análise de variância e as médias das interações significativas foram comparadas utilizando o teste de Skott-Knott ao nível de significância de 5%.

#### **Variáveis comportamentais**

Os comportamentos das aves foram analisados por meio da metodologia de agrupamento hierárquico aglomerativo, ou *análise de agrupamento* e apresentados por meio de dendogramas (LAU; HUNG; CHEUNG, 2009).



### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Caracterização do ambiente térmico**

Na Tabela 1, verifica-se, que em relação ao sistema de aquecimento os valores médios bem como os respectivos desvios-padrão do ITGU em função das três semanas de vida das aves diferiram entre si significativamente ( $p < 0,05$ ), apresentando valores acima do recomendado nas três semanas. De acordo com a literatura (OLIVEIRA et al., 2006), os valores adequados de ITGU para a primeira, segunda e terceira semana de vida é de 78,6; 67,4 e 65 respectivamente. Para Menegali et al. (2010), os animais estão em conforto térmico quando o ITGU se encontram entre 74 e 77, abaixo de 74 os frangos de corte estão expostos a baixas temperaturas e os valores acima de 77, o desempenho dos animais ficam prejudicados em razão das altas temperaturas. Assim, na primeira, segunda e terceira semana de vida o ITGU apresentou valores bem acima da faixa limite, uma vez que as condições de conforto não foram alcançadas.

Conforme Menegali et al. (2013), ITGU acima de 80 representa emergência, necessitando de maiores cuidados. Em estudo com conforto térmico em galpão de frango de corte no semiárido mineiro Carvalho et al. (2014) também encontrou valores em torno de 80 para ITGU em galpões nas primeiras semanas de vida de pintinhos, semelhantes ao presente estudo.

Tabela 1 - Valores médios e desvio padrão do índice de temperatura de globo negro (ITGU) na primeira, segunda e terceira semana de vida em dois galpões para frango de corte submetido a dois sistemas de aquecimento distintos.

Semana	Variável
	ITGU
1	80,5 ( $\pm$ 2,1) a
2	78,9 ( $\pm$ 1,0) b
3	78,3 ( $\pm$ 1,1) c

Fonte: Dados da autora (2019)

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

Em compensação, na Tabela 2 pode-se estabelecer que, as variáveis Tar, ITU e ITGU foram significativas ( $p < 0,05$ ) em todos os períodos de estudo. No entanto, o período das 14:00 horas apresentaram sua maior média para todas as variáveis. O período da tarde é o horário de maior incidência de raios solares agravando as condições internas dos galpões muitas vezes pela alta temperatura. Diante deste contexto, fica evidente que o funcionamento do sistema de aquecimento no período das 14:00 horas poderá ser suspenso por apresentar valores acima da faixa de conforto não havendo necessidade do uso contínuo do aquecimento. De acordo com Cassuce et al. (2013) e Menegali et al. (2009) a faixa de  $T_{ar}$  ideal na primeira, segunda e terceira semana de vida para frango de corte situa-se entre 32 e 34°C; 28 e 32°C e 26 e 28°C respectivamente.

Para Abreu e Abreu (2001) os valores de ITU para frango de corte é de 72,4 a 80; de 68,4 a 76 e de 64,8 a 72,0 na primeira, segunda e terceira semana de vida, respectivamente. E os valores adequados de ITGU para frango de corte na primeira, segunda e terceira semana de vida é de 78,6; 67,4 e 65,0 respectivamente (OLIVEIRA et al., 2006).

Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão das variáveis ambientais Tar, ITU e ITGU nos períodos 8:00; 14:00 e 18:00 horas em dois galpões para frango de corte submetido a dois sistemas de aquecimento distintos.

Período	Variável		
	tar (°C)	ITU	ITGU
8:00h	28,4 (± 1,3) c	77,5 (± 1,9) c	78,0 (± 1,9) c
14:00h	31,1 (± 0,3) a	79,7 (±0,4) a	80,1 (± 0,02) a
18:00h	30,3 (±1,4) b	79,0 (± 1,4) b	79,5 (± 1,4) b

Fonte: Dados da autora (2019).

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

Conforme apresentado na Tabela 3, a média da tar na primeira semana de vida mesmo com a presença do aquecimento nos dois galpões apresentou valores abaixo do recomendado. Está tar abaixo pode ter sido decorrente a falhas de manutenção ou de manejo dos sistemas de aquecimento e conseqüentemente não permitindo que alcançassem a eficiência necessária para a criação de pintinhos. Na segunda semana de vida a tar manteve-se dentro da faixa recomendada proporcionando um ambiente com condições térmicas favorável ao desenvolvimento dos pintinhos.

Para Cordeiro et al. (2010), a primeira e segunda semana de vida dos pintinhos são as que requer maiores cuidados, erros cometidos nesse período não poderão ser reparados no futuro.

Na terceira semana de vida, a tar já apresentou valor superior a 28°C para ambas as instalações, ou seja, a tar esteve com valores acima do recomendado para a criação de frango de corte. Nesse período, o controle da tar no interior do galpão apresentou falhas. Foi necessária a utilização de um sistema de refrigeração para manter as condições internas das instalações para que, assim, o ambiente proporcionasse condições ideais para o desenvolvimento das aves.

Na Tabela 3, verificam-se os valores de ITU observados durante os horários de coletas experimental que apresentaram diferença estatística

significativa ( $p < 0,05$ ) em relação aos horários de coletas de estudo. É sabido que, na primeira, segunda e terceira semana de vida de frango de corte os valores de ITU são de 72,4 a 80; 68,4 a 76 e 64,8 a 72, respectivamente conforme Abreu e Abreu (2001). Assim, na primeira semana, os valores para ITU apresentaram-se dentro da faixa de conforto, mas na segunda e terceira semana os valores estiveram acima do preconizado pela literatura exigindo atenção, uma vez que, o ITU é um valor considerado adimensional, em que valores acima de 78 exigem alerta e valores acima de 84 são perigosos (OLIVEIRA et al., 2006).

Para o horário das 14h, de acordo com a literatura, o intervalo considerado confortável para a criação de frango de corte na primeira semana de vida situa-se entre 32 a 34 °C. Na segunda semana de vida, é de 28 a 32°C e na terceira semana, entre 26 a 28° C (CASSUCE et al., 2013; MENEGALI et al., 2009).

Tabela 3 - Valores médios e desvio padrão das variáveis ambientais Tar, ITU para os níveis de interação semana x galpão do fator semana dentro de cada nível do fator galpão.

	Semana					
	1	2	3	1	2	3
Sistema	tar (°C)			ITU		
S1	30,5aA	30,0 bA	29,5 bA	78,6 bA	78,6 bA	78,3 bA
S2	31,0 aA	29,4 bA	29,1 bA	78,0 bA	78,0 bA	77,8 bA

Fonte: Dados da autora (2019).

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

No desdobramento da interação entre semana e período do fator semana dentro de cada período apresentado na Tabela 4, evidencia-se que o período das 8h foi o que apresentou as maiores médias de UR uma vez que os maiores valores foram apresentados na terceira semana de vida. Isso se dá devido ao horário em que a tar apresenta valores mais baixos por incidência dos raios



solares ainda serem fracos. No entanto, os valores apresentados, no período da manhã, todos estiveram abaixo de 70% que é o valor recomendado pela literatura para frango de corte nas primeiras semanas de vida e 50 a 60 % na segunda e terceira semana de vida para que a desidratação seja minimizada (JACÓME et al., 2007). No entanto, o período das 14h foi o que apresentou os menores valores com uma diferença não significativa entre as semanas. Assim, nas demais semanas, os valores estiveram dentro da faixa que é recomendada entre 50 e 60% caracterizando o ambiente em condições favoráveis quanto à umidade relativa presente.

Tabela 4 - Valores médios do teste de comparação múltipla da variável UR para o desdobramento da interação do fator semana e Período.

Período	UR (%)		
	Semana		
	1	2	3
8:00h	63 bA	64 bA	67 aA
14:00h	52 aB	51 aB	51 aC
18:00h	55 bB	52 bB	57 aB

Fonte: Dados da autora (2019).

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

### 3.2 Caracterização das variáveis fisiológicas

Ao observar a Tabela 5, pode-se perceber que as médias das variáveis fisiológicas para FR apresentou maior variação ( $p < 0,05$ ) na segunda e terceira semana de vida das aves. As médias da FR variaram de 56,1 a 68,5 mov.  $\text{min}^{-1}$ , uma vez que, a segunda semana de vida foi a que obteve a maior faixa de FR. Conforme apresentado na Tabela 2, a segunda semana de vida das aves o ambiente interno dos galpões apresentaram condições favoráveis dentro da faixa de neutralidade para a variável tar. No entanto, os valores médios de FR foi de

56,1 mov. min<sup>-1</sup> na primeira semana, 68,5 mov. min<sup>-1</sup> na segunda semana e 67,7 mov. min<sup>-1</sup> na terceira semana de vida, valores bem acima da faixa de conforto que é de 40 mov. min<sup>-1</sup> (COSTA; SARAIVA; SANTOS, 2012).

Para a  $t_{\text{cloacal}}$  listadas na Tabela 5, encontra-se dentro do limite do intervalo considerado como conforto que é 42°C para as três primeiras semanas de vida de frango de corte (OLIVEIRA et al., 2006). Em relação às médias apresentadas na Tabela 5, pode-se dizer que as três semanas de estudo apresentaram diferença significativa entre si ( $p < 0,05$ ). Isso mostra que as aves conseguiram dissipar o calor produzido do metabolismo para o meio e a temperatura se manteve dentro da faixa de neutralidade nas três semanas.

Com relação a  $t_{\text{pena}}$ , houve diferença significativa entre as três semanas de vida ( $p < 0,05$ ), uma vez que a  $t_{\text{pena}}$  depende fortemente da velocidade do ar, devido às trocas de calor que ocorrem por convecção (AMARAL et al., 2011).

Para a  $t_{\text{pele}}$ , conforme apresentado na Tabela 7, houve significância somente na segunda semana de vida com a terceira semana de vida ( $P < 0,05$ ). Os maiores valores encontrados nessas semanas. Conforme apresentado na Tabela 3, a segunda semana de vida manteve a tar dentro da faixa de conforto, entretanto, a terceira semana de vida apresentou valores acima do limite de conforto. Portanto, a  $t_{\text{pele}}$  elevada pode indicar que as aves estão com dificuldade de perder calor e, provavelmente, indicando estresse por calor (NASCIMENTO et al., 2011).

Tabela 5 - Valores médios e desvio padrão das variáveis fisiológicas FR,  $t_{cloacal}$ ,  $t_{pena}$  e  $t_{pele}$  na primeira, segunda e terceira semana de vida em dois galpões para frango de corte submetido a dois sistemas de aquecimento distintos.

Semana	Variável			
	FR (mov.min <sup>-1</sup> )	$t_{cloacal}$ (°C)	$t_{pena}$ (°C)	$t_{pele}$ (°C)
1	56,1 b	40,0 c	34,6 c	36,4 b
2	68,5 a	41,0 b	35,5 b	37,4 a
3	67,7 a	41,4 a	36,2 a	37,6 a

Fonte: Dados da autora (2019).

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

A variável fisiológica FR apresentada na Tabela 6, diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) entre o horário das 8h em relação aos horários das 14 e 18h. Os menores valores de FR observados foram durante o horário das 8h, com mediana de 62,3 mov. min<sup>-1</sup>, e os maiores, observados no horário das 14h, com mediana de 65,4 mov. min<sup>-1</sup> horário em que a incidência de raios solares é mais acentuada. Para Cordeiro et al. (2014), para que as aves possam expressar o seu máximo em produtividade a FR precisa estar em torno de 47 mov. min<sup>-1</sup>. A FR é influenciada com a idade da ave, ou seja, quanto maior a idade maior o número de vezes que a ave inspira o ar por minuto (CORDEIRO et al., 2014; SILVA et al., 2003).

Em relação a  $t_{cloacal}$ , houve significância estatística ( $p < 0,05$ ) em todos os períodos manhã, tarde e noite. Observou-se que, no período da manhã as aves apresentaram menor  $t_{cloacal}$  em relação aos períodos da tarde e da noite, o que já era esperado, pois o período da tarde à tar está mais elevada. Pois, é sabido que o aumento da  $t_{cloacal}$  é proporcional às condições de tar e UR elevadas, e é resultante do armazenamento do calor metabólico; o aumento da  $t_{cloacal}$  proporcional ao aumento da tar (OLIVEIRA, 2015). Pode-se, então, dizer que, em todos os períodos, as medianas mantiveram-se próximo da faixa de conforto que é de 41°C (OLIVEIRA et al., 2006). Quanto maior a UR, associada com

altas tar, maior será a dificuldade que as aves terão para remover calor interno pelas vias aéreas, o que leva o aumento da FR e da  $T_{cloacal}$  (CASSUCE et al., 2013).

Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão do teste de comparação múltipla das variáveis FR e  $T_{cloacal}$  para o fator período.

Período	Variável	
	FR (mov. $\text{min}^{-1}$ )	$t_{cloacal}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
8:00h	62,3 ( $\pm 4,0$ ) c	40,7 ( $\pm 0,2$ ) b
14:00h	65,4 ( $\pm 11,3$ ) a	40,9 ( $\pm 0,5$ ) a
18:00h	64,0 ( $\pm 4,54$ ) b	40,8 ( $\pm 0,2$ ) a

Fonte: Dados da autora (2019).

Médias seguidas com letras diferentes indicam diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Scott Knott.

Para a variável  $t_{pele}$ , na Tabela 7, a interação não foi significativa para o período da tarde versus sistema de aquecimento ( $p < 0,05$ ) já que o desdobramento do sistema de aquecimento mostrou que a  $t_{pele}$  apresentou mesmos valores para os sistemas de aquecimento A e B no período da tarde com mediana de  $37,5^{\circ}\text{C}$  para ambos os sistemas de aquecimento. Apresentando significância ( $p < 0,05$ ) somente para os períodos da manhã e da noite.

Quanto a  $T_{pena}$  o sistema de aquecimento A e B não apresentaram significância ( $p < 0,05$ ) para o período da manhã e da tarde para ambos os sistemas de aquecimento A e B apresentando significância somente para o período da noite.

Tabela 7 - Valores médios do teste de comparação múltipla das variáveis  $T_{pele}$  e  $T_{pena}$  para o desdobramento da interação do fator período dentro do galpão.

Sistema de aquecimento				
Período	$t_{pele}$ (°C)		$t_{pena}$ (°C)	
	S1	S2	S1	S2
<b>8:00 h</b>	34,6 Ab	35,0 Ac	36,8Bb	36,5Bb
<b>14:00 h</b>	35,9 Aa	35,9 Aa	37,5 Aa	37,4 Aa
<b>18:00 h</b>	35,7 Aa	35,4 Ab	37,5 Aa	37,1 Ab

Fonte: Dados da autora (2019).

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

### 3.3 Fatores comportamentais

Além das variáveis ambientais, a avaliação comportamental serve de indicador de problemas no sistema produtivo, que deve ser detectado em um período inicial a fim de evitar prejuízos ao bem-estar e na produtividade dos animais (KASHIHA et al., 2014).

Conforme Apresentado na Tabela 8, pode-se dizer que ao longo das 3 semanas de vida as aves apresentaram comportamento de conforto mesmo apresentando valores de ITGU e ITU acima da faixa de conforto térmico.

Tabela 8 - Valores médios das variáveis comportamentais dos frangos de corte ao longo do dia nas três primeiras semanas de vida.

Valores apresentados em %			
Variáveis	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Tranquila	22,6	20,5	21,8
Disperso	8,5	10,5	14,4
Ofegante	4,2	5,5	4,6
Prostrado	14,2	17,5	19,9
Alimentando	16,0	17,6	19,0
Bebendo água	14,2	9,8	6,0
Sonolência	20,3	18,6	14,3

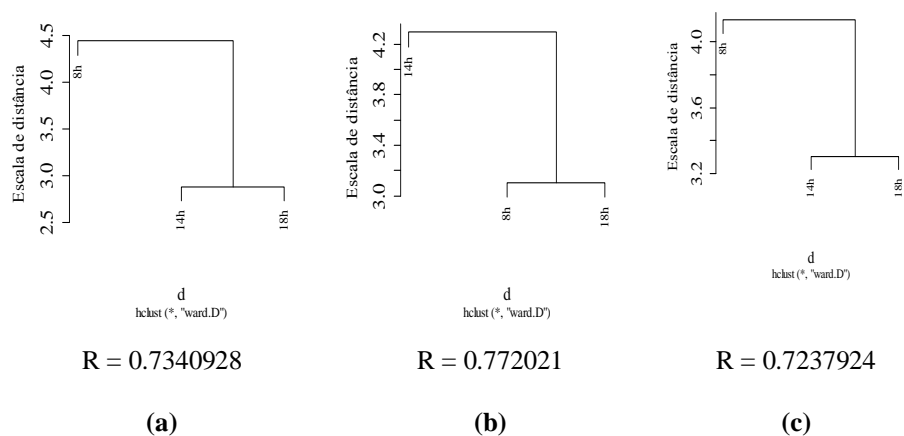
Fonte: Dados da autora (2019).

A Figura 2 apresenta uma análise de agrupamento em que os padrões comportamentais foram agrupados e os horários de coleta (8, 14 e 18h) foram comparados e analisados segundo a escala de distância. Nesses resultados, pode-se observar, para a primeira semana de vida, que o comportamento das aves apresentou características de desconforto por frio em que o período da manhã diferencia-se na escala de distância dos demais períodos avaliados. Nos períodos da tarde e da noite não houve variação na escala de distância. Esse comportamento se deu pelo fato de que na primeira semana de vida o sistema de aquecimento foi falho apresentando  $t_{ar}$  na faixa de 30,5°C valores esse abaixo da zona de conforto para a primeira semana de vida que é de 32 a 34°C (CASSUCE et al., 2013; MENEGALI et al., 2009). No entanto, conforme apresentando na Tabela 3, no período, das 8h a tar foi de 28,4°C, foi o horário com a menor tar em relação aos períodos das da tarde e da noite que apresentaram média de 31,1°C e 30,3°C respectivamente.

Para a segunda semana de vida, a tar esteve dentro da faixa de conforto térmico que é de 28 a 32°C conforme Cassuce et al. (2013) e Menegali et al. (2009), no entanto, o período da tarde foi o que diferencio-se na escala de distância não havendo variação na escala de distância para os períodos manhã e tarde. Esse distanciamento no período da tarde se dá pelo fato de esse período receber a maior incidência de raios solares. Assim, conforme ilustrado na Tabela 2 o período da tarde foi o que apresentou a maior média para as variáveis ambientais tar, ITU e ITGU.

Na terceira semana de vida. o comportamento foi semelhante à primeira semana de vida, no entanto a condição térmica apresentou tar na faixa de 29,5°C valor acima da faixa de conforto que vai de 26 a 28°C (CASSUCE et al., 2013; MENEGALI et al., 2009) ou seja, o ambiente estava com estresse por calor. E no período da manhã. as condições térmicas são amenas e por isso se distanciou quanto aos demais períodos.

Figura 2 - Análise de agrupamento das variáveis comportamental analisado em relação aos períodos manhã, tarde e noite da: a) primeira semana de vida, b) segunda semana de vida e c) terceira semana de vida.



Fonte: Dados da autora (2019).

De acordo com o dendrograma da primeira semana apresentado na Figura 3 observa-se que as características se separam em dois grupos. O comportamento disperso e ofegante se assemelha em relação ao tempo gasto para essas funções em 8,41% e 4,15% respectivamente. O nível de dispersão baixo na primeira semana está relacionado as baixas tar encontradas no ambiente listados na Tabela 2 encontrado no ambiente que por sua vez resulta em baixa taxa de ofegação pelas aves. Isso se assemelha ao encontrado por Schiassi et al. (2015) em seu estudo com comportamento de frango de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos em que apresentam características semelhantes para o presente estudo.

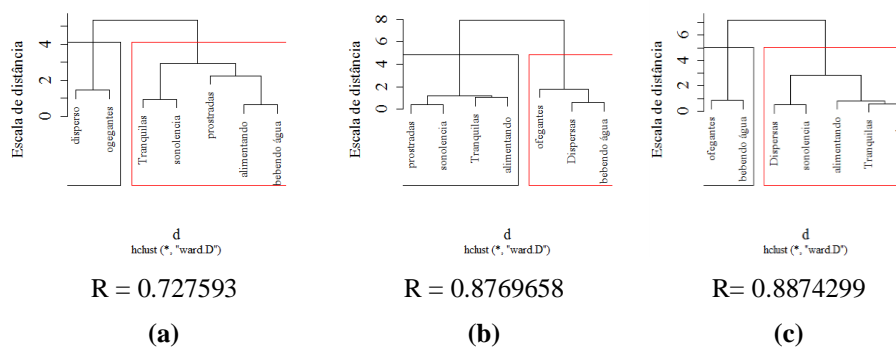
No outro grupo da primeira semana de vida ocorre sub-agrupamentos em relação as características tranqüila, sonolência e prostrado que juntos ocorrem em 87,4% do tempo.

Para a segunda semana de vida conforme apresentado na Figura 3, observa-se baixas características de estresse térmico (prostração e sonolência),

em que as aves encontram-se tranquilas e alimentando-se em 38,7% do tempo por estarem em ambiente térmico dentro da faixa de conforto que foi de 30°C conforme apresentado na Tabela 2 evidenciando condições de conforto em que se apresentaram dispersas e com acesso a água. Condições semelhantes com o estudo de Ferraz et al. (2014) com estudo do comportamento de pintinhos submetidos a desafios térmicos.

Na terceira semana de vida apesar das condições térmicas do ambiente estar acima da faixa de conforto apresentando valores de 30°C conforme ilustrado na Tabela 2 caracterizando o ambiente com estresse por calor, as aves apresentaram baixo consumo de água e pouca ofegação em relação ao tempo gasto (5,9 e 4,5%), respectivamente.

Figura 3 - Análise de agrupamento das variáveis comportamental analisados: a) primeira semana de vida, b) segunda semana de vida e c) terceira semana de vida.



Fonte: Dados da autora (2019).



#### **4 CONCLUSÕES**

Com base nos resultados apresentados conclui-se que os sistemas de aquecimento S1 e S2 não apresentaram diferenças significativas entre si ao longo das três semanas de estudo.

Quanto às variáveis ambientais pode-se concluir que somente na segunda semana de vida a temperatura do ar apresentou valores dentro da faixa de conforto considerada ideal. O índice de temperatura e umidade esteve acima da faixa de conforto em todas as semanas juntamente ao índice de temperatura de globo negro e a umidade relativa esteve dentro da faixa de conforto em todas as três semanas.

As variáveis fisiológicas  $t_{\text{cloacal}}$ ,  $t_{\text{pena}}$ ,  $t_{\text{pele}}$  apresentaram dentro da faixa de conforto. No entanto, a frequência respiratória esteve acima do conforto que é  $40 \text{ mov. min}^{-1}$ .

Para o comportamento durante todas as semanas as aves apresentaram comportamento tranquilo, alimentando e sonolento na maior parte do tempo.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Capes, CNPq e FAPEMIG pelo apoio a esta pesquisa.



## REFERÊNCIAS

ABREU, L. H. P. **Inteligência artificial na avaliação de respostas produtivas e fisiológicas de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico**. 2015. 164 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Diagnóstico bioclimático: qual sua importância na produção de aves? **Avicultura Industrial**, São Paulo, n. 91, p. 16-20, 2001.

AMARAL, A. G. et al. Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, n. 3, p. 649-658, 2011.

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the American Society of Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 14, n. 3, p. 711-714, 1981.

CARVALHO, C. da C. S. et al. Conforto térmico animal e humano em galpões de frangos de corte no semiárido mineiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 769-773, jul. 2014.

CASSUCE, D. C. et al. Thermal comfort temperature update for broiler chickens upto 21days of age. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 28-36, jan./fev. 2013.

CORDEIRO, M. B. et al. Avaliação do estresse térmico em frangos de caipiras criados em condições climáticas do estado do Acre. **Enciclopédia Biosfera: centro científico conhecer**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 358-365, 2014.

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

COSTA, J. H. S.; SARAIVA, E. P.; SANTOS, L. F. D. Efeito do ambiente sobre indicadores fisiológicos na produção de frangos de corte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 5, p. 54-58, jan./dez. 2012.

DAMASCENO, F. A. et al. Concepções arquitetônicas das instalações utilizadas para a produção avícola visando o conforto térmico em climas tropicais e subtropicais. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Londrina, v. 4, n. 42, p. 1-17, 2010.

FERRAZ, P. F. P. et al. Comportamento de pintinhos submetidos a estresse térmico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1039-1049, nov./dez. 2014.

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

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

JÁCOME, I. M. T. D. et al. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 527-531, set./out. 2007.

KASHIHA, M. A. et al. Monitoring system to detect problems in broiler houses based on image processing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2014, Zurich. **Proceedings...** Zurich: ICASE, 2014. p. 1-7.

LAU, J.; HUNG, W. T.; CHEUNG, C. S. Interpretation of air quality in relation to monitoring station's surroundings. **Atmospheric Environmetric**, Oxford, v. 43, n. 4, p. 769-777, Feb. 2009.

LOPES, J. C. O.; RIBEIRO, M. N.; LIMA, V. B. S. Estresse por calor em frangos de corte. **Nutritime**, Viçosa, v. 12, n. 6, p. 4478-4487, nov./dez. 2015.

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

\_\_\_\_\_. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 106-113, jan. 2013.

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

MOURA, D. J. et al. Análise de ruído para a avaliação do conforto térmico de pintinhos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p.438-443, jul./ago. 2008.

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

OLIVEIRA, K. F. **Influência de diferentes temperaturas e níveis de energia metabolizável no desempenho de frangos de corte na fase final de criação**. 2015. 48 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

OLIVEIRA, R. F. M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias 43 de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 797-803, maio/jun. 2006.

PAULA, M. O. et al. Análise do conforto térmico e do desempenho animal em galpão para frangos de corte na fase inicial de vida. **Enciclopédia Biosfera: centro científico conhecer**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 236-250, 2014.

PONCIANO, P. F. **Assessing and modeling responses of broiler chicks in the first three weeks of line subjected to thermal challenge of different intensities and durations**. 2014. 118 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

PONCIANO, P. F. et al. Análise do ambiente para frangos por meio da lógica *fuzzy*: uma revisão. **Archivos Zootecnia**, Córdoba, v. 60, n. 1, p. 1-13, 2011.

SCHIASSI, L. et al. Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 390-396, maio/jun. 2015.

SEVEGNANI, K. B. et al. Zootecnia de precisão: análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 115-119, 2005.

SILVA, M. A. N. et al. Influência do sistema de criação sobre o desempenho, a condição fisiológica e o comportamento de linhagens de frango de corte.

**Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 208-213, jan./fev. 2003.

SILVA, R. C. et al. Análises do efeito do estresse térmico sobre produção, fisiologia e dieta de aves. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 22-26, abr./jun. 2015.

SILVA, R. G. **Biofísica ambiental**: os animais e seu ambiente. Jaboticabal: Funep, 2008. 393 p.

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

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

VIEIRA, F. M. C. et al. Termorregulação de pintos de um dia submetidos a ambiente térmico simulado de transporte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 68, n. 1, p. 208-214, jan./fev. 2016.

**ARTIGO 2 - SIMULAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE  
TEMPERATURA EM UM AVIÁRIO COMERCIAL**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo  
com o Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar através da fluidodinâmica computacional (CFD) um sistema de aquecimento presente em uma instalação comercial de frango de corte durante a primeira semana de vida. Para isso, a coleta de dados foi realizada em um aviário de frango de corte localizado na mesorregião Oeste de Minas, durante a estação da primavera. O galpão é composto por isolamento lateral por cortinas duplas nas laterais (uma interna e outra externa). Para a simulação, os dados utilizados foram os da coleta de temperatura do horário das 10h coletado no sétimo dia de sua execução. A técnica CFD aplicada resultou em um ajuste satisfatório da variável temperatura ao longo do galpão em função dos dados de entrada. E por meios das imagens obtidas, observa-se que as condições padrão do funcionamento do sistema de aquecimento proporcionaram condições favoráveis às condições de termoneutralidade das aves para a primeira semana de vida, somente ao redor do aquecedor com faixa de temperatura de ( $T = 32^{\circ}\text{C}$ ), com temperaturas nas extremidades da instalação muito abaixo do recomendado ( $T < 28^{\circ}\text{C}$ )

**Palavras-chave:** Avicultura. Conforto térmico. Dinâmica dos fluidos computacional e ambiência de precisão.



## **THREE-DIMENSIONAL SIMULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A COMMERCIAL AVIARY**

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to analyze the computational fluidodynamic (CFD) system of carbon present in one in the commercial shop of cutting chicken during the first week of life. For this, a data collection was performed in a broiler chicken aviary located in the western mesoregion of Minas during a spring season. The sheds were composed of lateral sides by double bands on the sides (one internal and one external). The 10h collected on the seventh day of execution of the same. A CFD technique is used to adjust the performance of the temperature variable throughout the shed at the input of the input data. And by means of the convenient observant images as the standard conditions of the operation of the heat system provide favorable conditions like the temperature conditions of the birds for the first week of life, only with the ventilation equipment with peak temperature ( $T = 32 \text{ }^\circ \text{C}$ ), with plant temperatures well below the recommended temperature ( $T < 28 \text{ }^\circ \text{C}$ )

**Keywords:** Poultry, thermal comfort, computational fluid dynamics and precision ambience



## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a produção mundial de carne de frango atingiu 86 milhões de toneladas, ficando o Brasil em terceiro lugar com 12,9 milhões de toneladas, China com 13,0 milhões de toneladas e Estados Unidos com 17,5 milhões de toneladas. No entanto, na exportação de carne de frango o Brasil é o maior exportador de carne de frango (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA, 2016).

Diante desse cenário para que a avicultura de corte brasileira possa permanecer na liderança de maior produtor é preciso buscar técnicas que permita favorecer positivamente a caracterização do ambiente que aloja esses animais para que assim permaneçam em condições favoráveis ao desenvolvimento do mesmo.

Sabe-se que nos primeiros dias de vida os frangos de corte são muito sensíveis a diferentes condições de conforto (FERRAZ et al., 2014). Assim, a temperatura do ar é considerada como um fator ambiental de maior impacto no desenvolvimento desses animais por afetar a homeotermia responsável por garantir o bem-estar e as respostas produtivas (AMARAL et al., 2011). Uma vez que, os sistemas de aquecimento utilizados nas instalações brasileiras geralmente não produzem temperaturas constantes e, muitas vezes, excedem o exigido (VIGODERIS et al., 2010), o que pode causar prejuízos no desenvolvimento das aves e até levar à morte em casos extremos (FERRAZ et al., 2014).

É sabido que os frangos de corte necessitam de um ambiente dentro do intervalo de termoneutralidade a fim de que possam atingir a sua ótima produtividade e assim sejam capazes de eliminar ou absorver o seu calor (CURI, 2014). De acordo com Salgado et al. (2007) o excesso de frio ou calor afetam na produtividade final, afetando também o crescimento e saúde o que pode levar a situações extrema, como acréscimo da mortalidade dos lotes.

Diante desse contexto, a engenharia tem utilizado técnicas avançadas para a realização de projetos que sejam capazes de contribuir com a melhoria dessas instalações. Assim, a técnica de fluidodinâmica computacional(CFD) permitem por meio de simulações modelar aspectos micrometeorológicos no interior do ambiente protegido e, assim, caracterizar o ambiente num todo e proporcionar melhorias aos animais confinados por meio da aplicação dos resultados simulados.

O uso dessa técnica permite visualizar o fluxo de ar e a distribuição da temperatura dentro do ambiente protegido bem como a otimizar o uso dos espaços podendo assim alocar os animais em regiões de maior conforto e produtividade (SILVA et al., 2015).

Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar um sistema de aquecimento em uma instalação para frango de corte na primeira semana de vida por meio do uso da técnica CFD para caracterizar os perfis de temperatura dentro da instalação como um todo e assim otimizar e melhorar o bem-estar térmico em instalações existentes.

## 2 METODOLOGIA

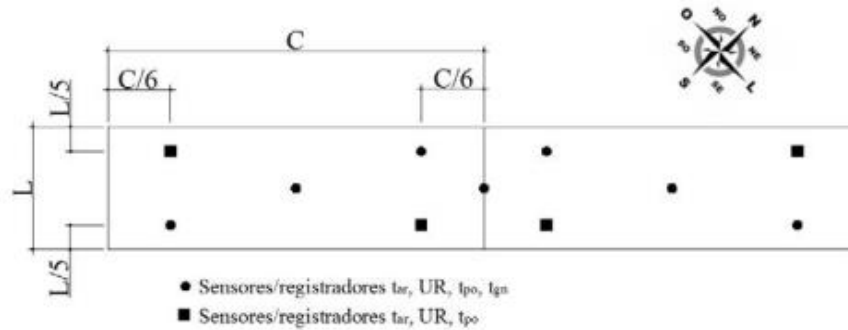
O experimento foi realizado em uma instalação comercial para criação de frango de corte localizado na mesorregião Oeste de Minas Gerais, durante a estação da primavera com coordenadas geográficas médias 20°11'58" de latitude sul e 45°02'08" de longitude oeste de Greenwich. As dimensões do galpão são de 13 m de largura, 160 m de comprimento e três metros de pé-direito, cobertura de telhas de cimento amianto de 6 mm de espessura com inclinação de 30°, piso de concreto, cama de casca de arroz com altura de 0,10 m, cortinas laterais e forro de lona plástica amarela, posicionado a 2,45 m de altura e cortinas duplas nas laterais (uma interna e outra externa).

A área interna do galpão foi limitada por meio de chapas de compensado com profundidade de 54,3 m, largura 8 m e altura 0,6 m para que os pintinhos ficassem o mais próximo possível dos sistemas de aquecimento.

O sistema de aquecimento do ambiente adotado constituía se de uma fornalha industrial de material metálico com queima indireta de biomassa, comprimento de 2,23 m, largura de 1,23 m e 1,85 m de altura. O ar aquecido era insuflado por um motor trifásico, potência 2206 W, 1725 R 77, aproximadamente, 28,6 m de tubulação metálica do lado nordeste e 22,45 m do lado sudoeste instalada na parte interna central do galpão. A tubulação possuía 0,23 m de diâmetro e orifícios de 0,05 m de diâmetro a cada 1,0 m locados alternadamente em cada lado, para a saída do ar aquecido.

Para a realização deste trabalho, foi utilizado um total de 28.000 pintinhos machos de 7 dias de idade da linhagem Cobb. Para caracterizar o ambiente térmico, foram tomadas as medidas diárias de Tar presentes no ambiente interno da instalação a qual era coletada pelos sensores conforme ilustrado na Figura 1. L é a largura da área disponível para aves e C é o comprimento.

Figura 1 - Esquema de posicionamento dos sensores/registradores de temperatura e umidade relativa nos galpões de frango.

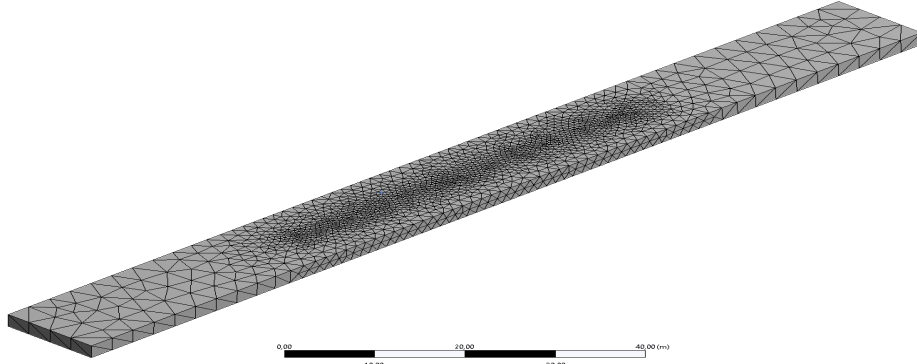


Fonte: Ponciano (2011).

As medições foram realizadas a uma altura compatível com a zona de ocupação dos pintinhos, a 0,10 m da cama conforme recomendado por Cordeiro et al. (2010), em intervalos de cinco minutos, durante todo o período experimental. Foram utilizados sensores/registradores de temperatura do ar, (precisão de  $\pm 3\%$  da leitura), mantidos em gaiolas de malha de arame a fim de que os animais não os danificassem.

Para a criação da geometria 3D do interior da instalação para frango de corte foi criado um domínio computacional utilizando o AutoCad e em seguida transportado para o *software* ANSYS FLUENT (versão 14.2) para o desenvolvimento de uma malha. Depois do teste de malha computacional foi definido o uso de uma malha tetraédrica com 485.691 nós conforme ilustrado na Figura 2, que segundo Saraz et al. (2013) essa malha apresenta resultados mais favoráveis em relação ao objeto de estudo.

Figura 2 - Representação estrutural da malha tetraédrica.



Fonte: Da autora (2019).

### Equações de Conservação

As equações usadas para a realização da simulação foi com base nas equações de Navier-Stokes ou seja, massa, momento e energia (equações de conservação). A equação 1 é conhecida como “equação momentum”; representa o princípio de conservação em massa. Enquanto a equação 2 representa a característica geral das equações de massa, ou seja, a variação temporal do fluido é igual à força resultante atuando sobre ele.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \tau_{ij} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

em que:

$\rho$  : densidade do fluido ( $\text{kg m}^{-3}$ );

T : tempo (s);

$x, x_i, x_j$  : comprimento dos componentes (m);

$u_i, u_j$  : velocidade dos componentes ( $\text{m s}^{-1}$ );

$p$  : pressão (AP);

$\tau$  : tensão (AP);

$g_i$  : aceleração da gravidade ( $m\ s^{-2}$ ), e

$F_i$  : direção das forças externas ( $N\ m^{-3}$ )

Para os cálculos do calor dos pintinhos envolvidos usados para a simulação CFD foi;

Equação de meeh

$$A = 8.2 w^{0.71}$$

em que,

A – área aproximada do animal(  $m^2$ )

Equação do calor produzido (PERDERSEN; THOMSEN, 2000)

$$Q_t = 8,09m^{0.75}$$

em que,

$Q_t$  – Calor produzido (w)



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

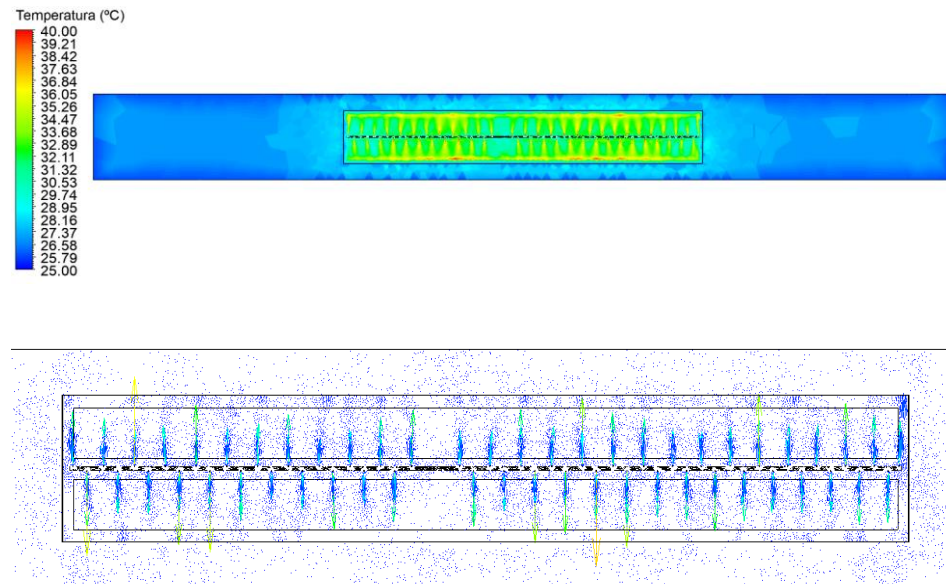
Conforme ilustrado nas Figuras de 3 a 6, o estudo da simulação em CFD viabilizou o conhecimento da distribuição da temperatura do ar no interior da instalação para frango de corte aquecido por um aquecedor industrial.

Na Figura 3, pode-se observar, pelo resultado da simulação em CFD que o sistema de aquecimento não apresenta um comportamento homogêneo em toda a extensão do aviário. Nas extremidades do aviário, ao redor da área de ocupação dos pintinhos existe uma tendência de temperaturas menores, as quais estão bem abaixo da zona de conforto das aves durante a primeira semana de vida ( $T \geq 28^{\circ}\text{C}$ ), o que era esperado devido à extensão do galpão. No entanto, na área de ocupação dos pintinhos, a distribuição da Tar também não apresentou uma condição homogênea. Dentro da área de ocupação, apresentam-se pontos com Tar na média de  $28^{\circ}\text{C}$  bem como  $32^{\circ}\text{C}$  e  $35^{\circ}\text{C}$ . Valores parecidos foram encontrados no trabalho de Hernandez et al. (2016) que analisou as condições térmicas de um galpão para frangos de corte na primeira semana de vida, por meio da técnica em CFD. Durante a fase inicial de vida, as aves devem ser protegidas do estresse pelo frio, devido ao seu sistema termorregulador que sofre variações de acordo com a temperatura ambiente, por não apresentarem, ainda, reserva energética suficiente para serem capazes de se adaptarem às condições adversas do ambiente (VIEIRA et al., 2016).

É sabido que, na primeira semana de vida, das aves a Tar no interior da instalação precisa proporcionar aos animais condições térmicas na faixa de  $32$  a  $34^{\circ}\text{C}$  conforme (CASSUCE et al., 2013; MENEGALI et al., 2009). Assim, a área de ocupação dos pintinhos apresenta essas condições de conforto somente em alguns pontos próximo ao sistema de aquecedor ( $T \geq 32^{\circ}\text{C}$ ). Portanto, pode-se dizer que o sistema apresenta falhas na área de ocupação. Isso nos leva a concluir que é necessário realizar melhorias neste sistema para que a Tar interna

do aviário esteja mais próxima da Tar ideal para o bom desenvolvimento dos animais.

Figura 3 - Distribuição da temperatura do ar presente no interior do galpão na altura de 0,10 m e distribuição do fluxo e das linhas do ar dentro do galpão.



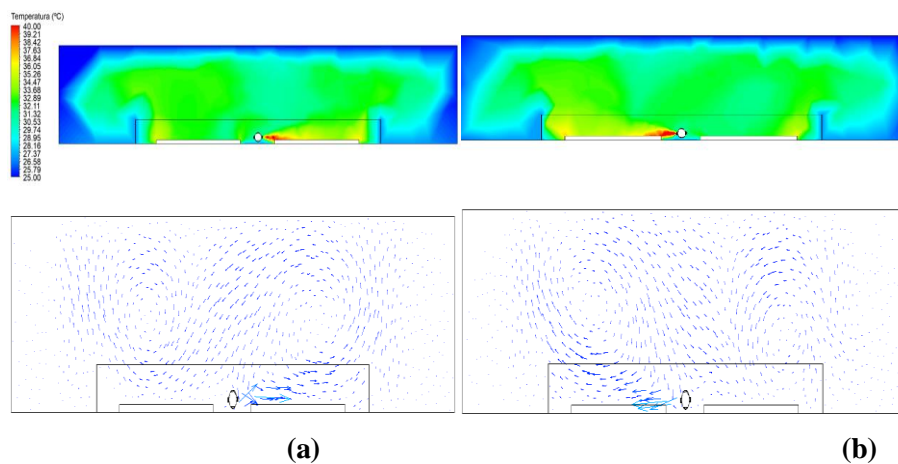
Fonte: Da autora (2019).

A Figura 4 ilustra a distribuição da temperatura do ar quente na saída de cada lado do sistema de aquecimento presente dentro da área de ocupação dos pintinhos. Pode-se observar que a temperatura do ar quente que sai da tubulação do sistema de aquecimento é de  $\geq 39^{\circ}\text{C}$ . Pode-se dizer que a temperatura ao redor da saída de ar do sistema de aquecimento pode comprometer o desenvolvimento dos animais que estiverem próximo a saída de ar quente. Pois alta temperatura pode causar estresse aos animais, ocasionando efeitos positivos ou negativos na produção, pois elevadas temperaturas reduzem o consumo de

alimentos e prejudicam o desempenho (SILVA; VIEIRA, 2011). Lembrando que nas primeiras semanas de vida, as aves são extremamente sensíveis por não apresentarem um sistema termorregulador totalmente desenvolvido (GOMES et al., 2011).

A Figura 4, também apresenta condições desfavoráveis presente dentro da área de ocupação dos pintinhos com mediana em torno de  $\geq 36^{\circ}\text{C}$  nas áreas amarelada alertando condições desfavoráveis as condições de conforto na primeira semana devida das aves. Somente nos pontos com coloração verde que as condições térmicas são favoráveis ao desenvolvimento das aves na primeira semana de vida que é de  $32^{\circ}$  a  $34^{\circ}\text{C}$  conforme Cassuce et al. (2013) e Menegali et al. (2009). Diante dessas variações térmicas o desenvolvimento das aves é afetado e conseqüentemente afetando a produção (BARACHO et al., 2013).

Figura 4 - Saída de ar quente de cada lado do aquecedor e distribuição da temperatura do ar a 0,10 m presente no interior do aviário e distribuição do fluxo de ar e das linhas de velocidade para cada lado do sistema de aquecimento presente no interior do aviário.

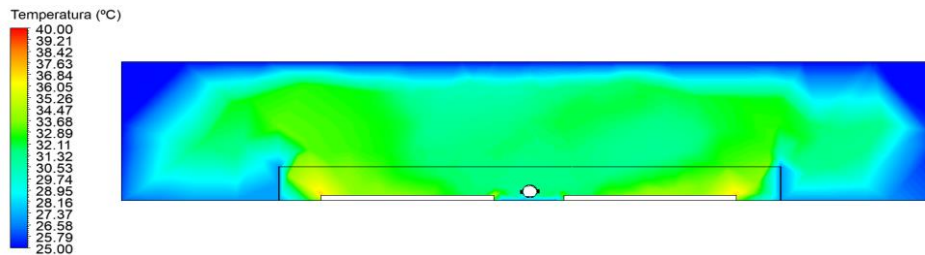


Fonte: Da autora (2019).

A Figura 5 ilustra a distribuição da Tar em relação ao corte referente à metade do galpão para frango de corte para melhor visualizar a distribuição da Tar. De acordo com Cassuce et al. (2013) e Menegali et al. (2009) a faixa de conforto térmico para a primeira semana de vida é de 32 a 34° C. Assim, a Tar presente na área de ocupação dos pintinhos mostra nitidamente a não homogeneidade do ambiente térmico apresentando condições favoráveis à faixa etária somente na área esverdeada que apresenta mediana de  $\geq 33^{\circ}\text{C}$ . Nas áreas amareladas, a Tar chega a  $\geq 36^{\circ}\text{C}$  valores bem acima da faixa de conforto, apresentando, também, Tar em torno de  $\geq 28^{\circ}\text{C}$  nas áreas com tonalidade azul claro tanto nas extremidades da área de ocupação como em torno do sistema de aquecimento.

Ambientes com condições desfavoráveis seja por temperatura elevadas ou por baixas temperaturas acarreta gasto de energético que deveria ser destinado para o ganho de peso (TEIXEIRA et al., 2009).

Figura 5 - Distribuição da Tar presente no interior do galpão visto do meio do aviário.

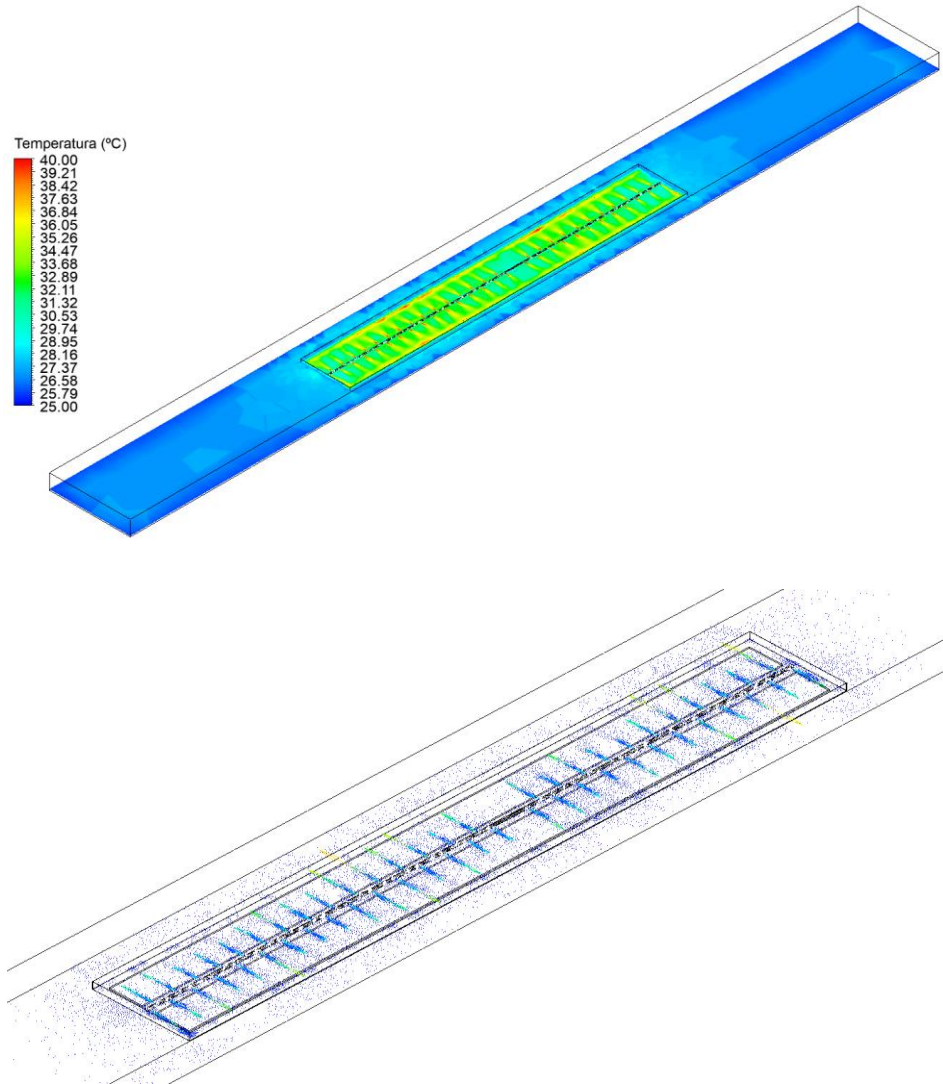


Fonte: Da autora (2019).

Assim, a representação tridimensional apresentada na Figura 6 mostra que a Tar esteve com mediana de  $\geq 28^{\circ}\text{C}$  abaixo da faixa de conforto que é 32 a 34° C (CASSUCE et al., 2013; MENEGALI et al., 2009) para o espaço fora da área de ocupação dos pintinhos. Entretanto, dentro da área de ocupação dos

pintinhos existe uma corrente convectiva partindo do sistema de aquecimento e se distribuindo por toda a extensão do aviário. Conforme a Figura 6, pode-se dizer que a distribuição de energia em forma de calor dissipado dentro do aviário foi insuficiente para provocar um aquecimento ideal e homogêneo na área de ocupação das aves. De acordo com Yanagi Junior et al. (2011), é importante manter um ambiente com condições térmicas homogêneas no interior do aviário para que as aves possam se desenvolver. Pois, quando ocorrem variações térmicas no ambiente interno, as aves são afetadas negativamente em seu desenvolvimento (BARACHO et al., 2013).

Figura 6 - Perspectiva da distribuição da Tar presente no interior do galpão do aviário e do fluxo de ar e das linhas de velocidade presente no interior do galpão do aviário.



Fonte: Da autora (2019).

### Erro da simulação

Conforme apresentado na Tabela 1, os resultados obtidos indicaram boa precisão do modelo para prever as condições ambientais no interior do galpão. A média percentual do erro de 1,49% demonstrando assim e a eficiência do modelo CFD podendo ser utilizado em outras aplicações.

Tabela 1 - Comparação dos valores da temperatura do ar (°C) no interior do galpão para frango de corte obtido experimentalmente e simulados pelo modelo.

	X	Y	Temperatura experimental (°C)	Simulado (°C)	Erro (%)
1	110,7	6,5	28,7	28,45	0,87
2	110,7	3,0	27,5	27,45	0,25
3	73,4	3,0	29,3	28,75	1,88
4	73,4	6,5	28,2	27,55	2,30
5	73,4	9,9	29,9	29,25	2,17
6	99,2	9,9	28,7	28,55	0,52
7	99,2	6,5	28,3	28,55	1,91
8	99,2	3,0	28,6	28,55	0,87
9	86,4	6,5	29,4	29,45	0,17
10	86,4	3,0	29,8	29,15	2,18
11	60,3	9,9	28,9	28,55	1,21
12	60,3	6,5	29,9	29,55	1,17
13	60,3	3,0	28,9	29,15	0,87
14	48,5	9,9	28,9	28,05	2,94
15	48,5	6,5	28,7	27,95	2,61
16	48,5	3,0	26,7	27,25	1,95
				Média do erro	1,49

Fonte: Dados da autora (2019).





#### **4 CONCLUSÃO**

Com base nas imagens conclui-se que o sistema de aquecimento presente na instalação não proporcionou um ambiente de conforto térmico aos animais dentro de toda a área de ocupação apresentando pontos com temperaturas bem abaixo da temperatura de conforto nas extremidades. No entanto, bem próxima a saída de ar quente do aquecedor a temperatura esteve bem acima da faixa de neutralidade podendo ocasionar ambiente térmico desfavorável, principalmente nos primeiros dias de vida.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à CAPES, CNPq E FAPEMIG pelo apoio a esta pesquisa.



## REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. G. et al. Effect of the production environment on sexed broilers reared in a commercial house. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, n. 3, p. 649-658, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA. **Relatórios anuais**. São Paulo: ABPA, 2016. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais/2018>>. Acesso em: 15 jul. 2018.
- BARACHO, M. S. et al. Ambiente interno em galpões de frango de corte com cama nova e reutilizada. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 473-478, 2013.
- CASSUCE, D. C. et al. Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 28-36, jan./fev. 2013.
- CORDEIRO, M. B. et al. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 217-224, jan. 2010.
- CURI, T. M. R. C. **Avaliação do sistema de ventilação em instalações para frangos de corte através de diferentes modelagens**. 2014. 263 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- DAMASCENO, F. A. et al. Evaluation of a heating system in poultry houses using a CFD model. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, Medellín, v. 67, n. 2, p. 7355-7363, June/Dec. 2014.
- FERRAZ, P. F. P. et al. Predicting chick body mass with artificial intelligence-based models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 7, p. 559-568, jul. 2014.
- GOMES, J. S. et al. **Estresse térmico na avicultura**. Bauru: UNIP, 2011. 9 p.
- HERNANDEZ, O. R. et al. Thermal environment in two broiler barns during the first three weeks of age. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 3, p. 256-262, mar. 2016.

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

PERDERSEN, S.; THOMSEN, G. M. Heat and moisture production of broilers kept on straw bedding. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 75, n. 2, p. 177-187, Feb. 2000.

PONCIANO, P. F. **Predição do desempenho produtivo e temperatura retal de frangos de corte durante os primeiros 21 dias de vida**. 2011. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

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

SARAZ, J. A. O. et al. Use of computational fluid dynamics to simulate temperature distribution in broiler houses with negative and positive tunnel type ventilation systems. **Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica**, Bogotá, v. 16, n. 1, p. 159-166. Jan./Jun. 2013.

SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C. Ambiência animal e as perdas produtivas no manejo pré-abate: o caso da avicultura de corte brasileira. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 59, p. 113-131, 2011.

SILVA, R. C. et al. Análises do efeito do estresse térmico sobre produção, fisiologia e dieta de aves. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 22-26, abr./jun. 2015.

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

VIEIRA, F. M. C. et al. Termorregulação de pintos de um dia submetidos a ambiente térmico simulado de transporte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 68, n. 1, p. 208-214, jan./fev. 2016.

VIGODERIS, R. B. et al. 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**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 381-1386, jun. 2010.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 1 -12, jan./fev. 2011.