

ROBINSON OSORIO HERNÁNDEZ

**MAPEAMENTO, AVALIAÇÃO E MODELAGEM DAS CONDIÇÕES
AMBIENTAIS DE AVIÁRIOS DE DIFERENTES TIPOLOGIAS DURANTE
A FASE INICIAL DE CRESCIMENTO DE FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

O83m
2012

Osorio Hernández, Robinson, 1981-

Mapeamento, avaliação e modelagem das condições ambientais de aviários de diferentes tipologias durante a fase inicial de crescimento de frangos de corte / Robinson Osorio Hernández. – Viçosa, MG, 2012.

viii, 86f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Frango de corte - Efeito da temperatura. 2. Construções rurais - Aquecimento e ventilação. 3. Aviários - Aquecimento e ventilação. 4. Frango de corte - Registros de desempenho. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

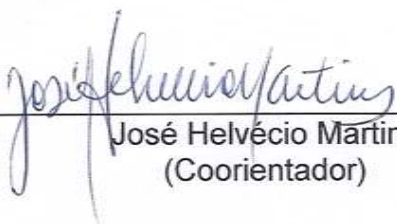
CDD 22. ed. 636.50831

ROBINSON OSORIO HERNÁNDEZ

**MAPEAMENTO, AVALIAÇÃO E MODELAGEM DAS CONDIÇÕES
AMBIENTAIS DE AVIÁRIOS DE DIFERENTES TIPOLOGIAS DURANTE
A FASE INICIAL DE CRESCIMENTO DE FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

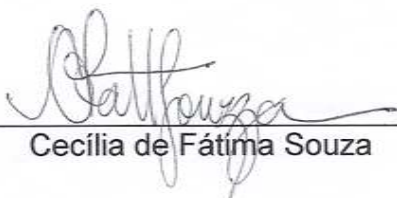
APROVADA: 19 de junho de 2012.



José Helvécio Martins
(Coorientador)



Jairo Alexander Osório Saraz
(Coorientador)



Cecília de Fátima Souza



Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
(Orientadora)

Ao povo brasileiro.
Aos colegas e professores do Ambiagro.
À minha família.
Aos meus colegas colombianos
Alex, Olga, Sebastian, Carolina e Jorge.

AGRADECIMENTOS

Ao povo brasileiro, especialmente os mineiros, os meus colegas e os professores do Ambiagro, por me ter acolhido como irmão.

À minha companheira da minha vida, Lina Marcela, e à minha família.

À professora Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, pela ajuda, pelo apoio, pelas horas dedicadas com tanto carinho e pelos sábios e oportunos conselhos.

Ao professor Jairo Alexander Osorio Saraz, pela coorientação, pela ajuda, pela confiança e pela amizade tanto no Brasil quanto na Colômbia.

Aos professores Fernando da Costa Baêta e José Helvecio Martins, pela coorientação, pelo incentivo e pela confiança.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola.

À Universidade Nacional da Colômbia, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola e Alimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela ajuda econômica para a pesquisa.

Às empresas Pif-Paf e Nogueira Rivelli, por permitirem e apoiarem o desenvolvimento da pesquisa em suas instalações.

Aos meus colegas colombianos, Alex, Olga, Sebastian, Carolina e Jorge, pelo acolhimento, pelo apoio e por estarem sempre presente.

BIOGRAFIA

ROBINSON OSORIO HERNÁNDEZ, filho de Juvenal Osorio e Luz Stella Hernández, nasceu em 13 de abril de 1981 na cidade de Medellín, Colômbia.

Em março de 2006, formou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Nacional da Colômbia, em Medellín.

De março de 2006 a dezembro de 2009, trabalhou na área de beneficiamento e qualidade de café da Federação de Cafeeiros da Colômbia no Departamento de Antioquia.

De fevereiro de 2007 a maio de 2010, trabalhou como professor substituto dos cursos de Eletrotécnica e Construções Rurais na Universidade Nacional da Colômbia.

Em agosto de 2010, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em junho de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1 - MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DOS AMBIENTES TÉRMICO E AÉREO DE AVIÁRIO DE FRANGOS DE CORTE COM SISTEMA DE VENTILAÇÃO COM PRESSÃO POSITIVA EM MODO TÚNEL DURANTE O INVERNO PARA A FASE INICIAL DE CRESCIMENTO DAS AVES.....	3
1. INTRODUÇÃO	4
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
2.1. Localização e características da instalação experimental	7
2.2. Aquisição de dados experimentais	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1. Ambiente térmico	13
3.1.1. Temperatura	13
3.1.2. Umidade relativa do ar	19
3.1.3. Índice de Temperatura e Umidade (ITU).....	19
3.2. Ambiente aéreo.....	20
3.2.1. Dióxido de carbono (CO ₂)	20
3.2.2. Monóxido de carbono (CO)	22
3.2.3. Amônia (NH ₃)	22
4. CONCLUSÕES	25
5. REFERÊNCIAS.....	26
CAPÍTULO 2 - MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DOS AMBIENTES TÉRMICO E AÉREO DE DIFERENTES TIPOLOGIAS E SISTEMAS DE VENTILAÇÃO DE AVIÁRIOS PARA FRANGOS DE CORTE DURANTE A FASE INICIAL DE CRESCIMENTO.....	29
1. INTRODUÇÃO	29
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	33

2.1. Localização e características das instalações experimentais	33
2.2. Aquisição de dados experimentais	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1. Ambiente térmico no interior dos aviários	39
3.2. Ambiente aéreo.....	52
4. CONCLUSÕES	56
5. REFERÊNCIAS.....	57
CAPÍTULO 3 - MODELAGEM DA DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAIS (CFD) DO AMBIENTE TÉRMICO DE AVIÁRIO COM SISTEMA DE VENTILAÇÃO POR PRESSÃO NEGATIVA EM MODO TÚNEL PARA FRANGOS DE CORTE DURANTE A FASE INICIAL DE CRESCIMENTO.....	
1. INTRODUÇÃO	60
2. MATERIAL E MÉTODOS	62
2.1. Localização e características das instalações experimentais	62
2.2. Aquisição de dados experimentais	63
2.3. Condições de contorno	65
2.4. Modelagem computacional	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4. CONCLUSÕES	84
5. REFERÊNCIAS.....	84
CONCLUSÃO GERAL	86

RESUMO

HERNÁNDEZ, Robinson Osorio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2012. **Mapeamento, avaliação e modelagem das condições ambientais de aviários de diferentes tipologias durante a fase inicial de crescimento de frangos de corte.** Orientadora: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Coorientadores: Fernando da Costa Baêta, Jairo Alexander Osorio Saraz e José Helvécio Martins.

A avicultura industrial brasileira é a atividade que possui o maior e mais avançado acervo tecnológico dentre o setor agropecuário no País, o que não implica que não persistam ainda problemas produtivos, especificamente no relacionado com a ambiência. Com o fim de otimizar o desempenho produtivo no setor avícola, faz-se necessária a adequação do ambiente de criação das aves, com técnicas que atendam as questões térmicas e higiênicas do ambiente interno dos aviários e com maior eficiência energética. Este trabalho avaliou os ambientes térmico e aéreo internos em três galpões de diferentes tipologias representativos da produção avícola da América do Sul: o primeiro com sistema de ventilação de pressão positiva em modo túnel, o segundo com sistema de ventilação de pressão positiva lateral e o terceiro com sistema de ventilação de pressão negativa em modo túnel, durante a primeira fase de crescimento no inverno e na primavera de 2011. Foram feitas análises da qualidade do ar em termos das concentrações de CO, CO₂ e NH₃ do ambiente e do conforto térmico que incluem mapas de temperatura, umidade relativa do ar e ITU, além da modelagem do comportamento térmico interno em CFD para o galpão com sistema de ventilação de pressão negativa em modo túnel. Em cada capítulo, foram feitas análises estatísticas específicas para o ambiente térmico, a qualidade do ar e, finalmente, para validação do modelo computacional.

ABSTRACT

HERNÁNDEZ, Robinson Osorio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2012. **Mapping, assessment and modeling of environmental conditions in different types of aviaries during early growth of broilers chickens.** Adviser: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Co-advisers: Fernando da Costa Baêta, Jairo Alexander Osorio Saraz and José Helvécio Martins.

The Brazilian poultry industry is the activity that has the largest and most advanced technological collection from the agricultural sector in the country, which does not imply that productive problems still do not persist, specifically related to the ambience. In order to optimize the production performance in poultry sector, it is necessary to adequate the aviaries, with techniques that address the thermal and hygienic issues of the internal environment of the grow out houses and a more efficient use of energy. This study assessed the thermal and air internal environments in three grow out houses of different types, representative of poultry production in South America: the first one set with a positive pressure ventilation system in tunnel mode, the second one set with lateral positive pressure ventilation system and the third with negative pressure ventilation system in tunnel mode. Data have been collected during the first phase of growth, in the winter and spring of 2011. Air quality analyzes have been conducted verifying environment's concentrations of CO, CO₂ and NH₃ and thermal comfort was assessed, through maps of temperature, relative humidity and ITU, in addition to modeling of the internal thermal behavior in CFD for the grow out house with negative pressure ventilation system in tunnel mode. In each chapter, statistical analyzes have been conducted specific to the thermal environment, air quality, and finally to validate the computational model.

INTRODUÇÃO GERAL

Os estudos sobre ambiência animal visam analisar e estabelecer condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e à ocupação, bem como estabelecer métodos e princípios para detalhada análise das condições térmicas de um ambiente. Dentre os fatores do ambiente, os térmicos são os que afetam mais diretamente os frangos de corte, principalmente na fase inicial de crescimento e nos períodos de climas frios. Assim, as primeiras semanas de vida das aves são as mais críticas. O pinto é particularmente mais susceptível ao frio porque possui grande relação área/volume corporal. A fase inicial de crescimento é a que demanda mais cuidado e atenção por parte do produtor, pois erros cometidos não poderão ser corrigidos futuramente, afetando assim o desempenho final das aves.

Sendo assim, conhecer a variabilidade espacial do microclima dos galpões é muito importante. Sabe-se que variáveis como temperatura, umidade relativa e velocidade do ar influenciam o comportamento, o bem-estar e a produtividade dos animais. Portanto, a geração de mapas e simulação desse tipo de variáveis pode ajudar a entender melhor o microclima interno e melhorar o manejo dos equipamentos, como aquecedores e ventiladores, e dos próprios animais confinados nos galpões.

A qualidade do ar refere-se ao grau de poluição do ar que é respirado pelos animais e humanos, que pode ser provocado por mistura de substâncias químicas lançadas no ar ou ser resultado de reações químicas e bioquímicas que alteram a composição natural da atmosfera. Do ponto de vista da saúde dos animais que vivem em total confinamento, como também dos trabalhadores que permanecem boa parte do dia nesses ambientes de trabalho, é muito importante manter uma qualidade do ar dentro de níveis de concentração aceitáveis dentro do galpão.

É importante que as aves e os seres humanos sempre tenham níveis adequados de oxigênio e níveis mínimos de CO₂, CO, NH₃ e poeira. A ventilação mínima inadequada tem como consequência baixa qualidade de ar dentro do galpão, causando elevados níveis de NH₃, CO₂ e umidade, os quais

podem desencadear problemas como ascite, cegueira nas aves, bem como doenças crônicas do trato respiratório tanto nas aves como nos trabalhadores.

Neste trabalho, objetivou-se realizar avaliação dos ambientes térmico e aéreo dentro de três diferentes tipologias de galpões avícolas típicos e representativos da avicultura industrial do Brasil e da América do Sul, durante a fase inicial de desenvolvimento de frangos de corte.

CAPÍTULO 1

MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DOS AMBIENTES TÉRMICO E AÉREO DE AVIÁRIO DE FRANGOS DE CORTE COM SISTEMA DE VENTILAÇÃO COM PRESSÃO POSITIVA EM MODO TÚNEL DURANTE O INVERNO PARA A FASE INICIAL DE CRESCIMENTO DAS AVES

RESUMO: Nos últimos anos, o Brasil e outros países da América do Sul têm avançado tanto em produção quanto em modernização das indústrias agrícola e pecuária. Apesar do enorme avanço, ainda persiste, particularmente no setor avícola, o grande desafio de aplicarem e desenvolverem tecnologias de baixo custo que proporcionem condições ambientais térmicas e aéreas favoráveis, de forma que os animais possam expressar todo o seu potencial genético e produtivo deles. Para isso, torna-se necessário conhecer com precisão o ambiente interno dos alojamentos e a variabilidade climática sob elementos arquitetônicos, materiais e rotinas constituídas de acondicionamento empregado. Nesta pesquisa, o objetivo geral foi realizar avaliação ambiental da qualidade do ar e a distribuição térmica dentro de um galpão avícola de pressão positiva tipo túnel, durante a fase inicial de desenvolvimento de frangos de corte da linhagem Cobb. Encontrou-se que o sistema de aquecimento do aviário não conseguiu atingir as necessidades térmicas dos frangos, já que a temperatura interna apresentou-se fora da zona de conforto para os pintinhos; entretanto, a umidade relativa pode amenizar a sensação térmica dos frangos, em termos do índice de temperatura e umidade (ITU). Com respeito à qualidade do ar, as concentrações de gases frequentemente se apresentaram acima dos limites toleráveis, em razão da reutilização da cama e de deficiências no manejo do sistema de ventilação mínima para evitar perdas por causa das baixas temperaturas no interior do galpão durante a época do inverno.

Palavras-chave: Conforto térmico, qualidade do ar, ITU, ventilação mínima.

ABSTRACT: In recent years, Brazil and other South American countries have advanced both in production and in modernizing its agricultural and livestock industry. Despite the impressive progress, particularly in the poultry sector remains the major challenge of applying and developing low-cost technologies that provide thermal and aerial environmental conditions favorable, so that animals can express their full potential genetic and productive. For this, it becomes necessary to know accurately the internal environmental of accommodations, climate variability in architectural elements, materials and routines established and used packaging. This research aimed to conduct an environmental assessment of air quality and thermal distribution within a poultry shed positive pressure tunnel type, during early development of broiler strain COBB. It was found that the heating system of the aviary could not reach the thermal needs of the chickens, since the internal temperature is presented outside the comfort zone for the chicks, but the relative humidity may ease the thermal sensation of chickens in terms of temperature and humidity index (THI). With respect to air quality, shed poultry gas concentrations often present above the tolerable limits, this can be justified due to their use of the bed and deficiencies in the management of the system of minimum ventilation to avoid losses due to low temperatures inside the shed during the winter.

Keywords: Thermal comfort, air quality, THI, minimum ventilation.

1. INTRODUÇÃO

Os animais homeotermos mantêm a temperatura corporal constante, com o mínimo esforço dos mecanismos termorregulatórios (BAÊTA; SOUZA, 2010). Para cada espécie animal e cada fase de crescimento, existe uma faixa de temperatura do ambiente, entendida como sendo a zona de conforto térmico, em que o animal apresenta os melhores resultados com o menor gasto energético e mínimo esforço dos mecanismos termorregulatórios, possibilitando melhor conversão alimentar, rápido crescimento corporal e menor mortalidade (TINÓCO, 2004). No frio, as aves procuram manter a homeotermia por meio de aumento na produção de calor e na redução de perdas, enquanto no calor o processo é invertido.

As novas exigências do mercado consumidor de produtos de origem animal quanto à questão ambiental, segurança alimentar e bem-estar animal passam, invariavelmente, pelo conforto térmico do ambiente de criação. Os estudos sobre ambiência animal visam analisar e estabelecer condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e à ocupação, bem como estabelecer métodos e princípios para detalhada análise das condições térmicas de um ambiente (CRONEY; MILLMAN, 2007).

Dentre os fatores do ambiente, os térmicos são os que afetam mais diretamente a ave, principalmente em fase inicial de crescimento e períodos de climas frios (CORDEIRO, 2007). Durante boa parte do ano, principalmente em períodos noturnos, deve-se dar atenção ao aquecimento do ambiente, pois o desenvolvimento do pintinho, em particular na primeira semana de vida, é condição relevante para o desempenho futuro do animal (BUTCHER; NILIPOUR, 2002; VIGODERIS, 2006; CORDEIRO, 2007). Desenvolvidos processos fisiológicos na ave em condições de frio, como hiperplasia e hipertrofia celular, maturação do sistema termorregulador e diferenciação da mucosa gastrintestinal, influenciarão, de maneira marcante, o peso corporal e a conversão alimentar da ave até a idade de abate por causa desse fato (FURLAN, 2006).

Em relação à resposta fisiológica, há a ocorrência de ascite. O rápido crescimento das aves e o ambiente frio são considerados os principais fatores

que contribuem para o desenvolvimento da síndrome ascítica (WEST et al., 2007), causando alta taxa de mortalidade e condenação de carcaça (GARCIA NETO; CAMPOS, 2004).

Para atender as exigências de conforto térmico das aves, o aquecimento é fundamental no início da vida e dele depende o bom desenvolvimento animal (TINÔCO, 2001). No inverno, o correto aquecimento do ambiente merece atenção redobrada, pois torna-se maior a necessidade energética para suprir a diferença entre a temperatura ideal para os pintos e a temperatura do ambiente externo (CORDEIRO et al., 2010). Portanto, é importante que as instalações proporcionem condições ambientais dentro da faixa de conforto térmico, existindo diversos índices que relacionam essa faixa com a temperatura do ambiente, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento.

Dentre esses índices, o que se destaca por sua facilidade de medição é o índice de temperatura e umidade (ITU), proposto por Thom (1959), que necessita apenas das medidas de temperatura do bulbo seco e de bulbo úmido. O ITU relaciona-se no tempo a uma ideia relativa que permite descrever o conforto térmico dos animais domésticos como o frango. No Brasil, quanto na America Latina e nos Estados Unidos, o ITU é o mais utilizado pela sua simplicidade. Os valores ideais para temperatura, umidade relativa e o ITU para cada idade podem ser observados na Tabela 1, bem como a fórmula de cálculo é apresentada na Equação 1.

Tabela 1 - Valores ideais de temperatura, umidade relativa do ar e ITU em razão da idade de frangos de corte

Idade (semanas)	Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)	ITU (ideal em câmara)
1	32 - 35	50 - 70	72,4 - 80
2	29 - 32	50 - 70	68,4 - 76
3	26 - 29	50 - 70	64,5 - 72

Fonte: Adaptado de Curtis (1983) e Abreu (2003).

$$ITU = 0.72 (T_{bs} + T_{bu}) + 40,6 \quad (1)$$

em que:

ITU = índice de temperatura e umidade.

T_{bs} = temperatura de bulbo seco do ar (°C).

T_{bu} = temperatura de bulbo úmido do ar (°C).

Além dos índices de conforto, o conhecimento da variabilidade térmica no espaço e a construção de mapas das variáveis ambientais dentro das instalações podem auxiliar no conhecimento e manejo adequado de animais confinados em galpões (FARIA et al., 2008).

Com respeito à qualidade do ar dentro dos aviários, essa também constitui fator muito importante, pois se refere ao grau de poluição do ar que é respirado. Como resultado do próprio metabolismo dos animais, tem-se a liberação, não só de calor, mas também de umidade e dióxido de carbono (CO_2), por meio da respiração e transpiração deles, além de gases que provêm da digestão e dejetos. O processo de decomposição da cama causa a produção e emissão de gases como amônia (NH_3), metano (CH_4) e ácido sulfídrico (H_2S), dentre outros. Como resultado da combustão incompleta, o monóxido de carbono (CO) é produzido e liberado e, muitas vezes, lançado para dentro da instalação destinada aos animais. Também, a poeira ou o material particulado em suspensão da cama tem sido recentemente considerado como sendo importante poluente que deteriora a qualidade do ar.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) relata sobre os efeitos adversos para a saúde do ser humano. O leque de efeitos na saúde é amplo, mas se produz, em particular, nos sistemas respiratórios e cardiovasculares (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS, 2005). Do ponto de vista da saúde dos animais que vivem em total confinamento, como também dos trabalhadores que permanecem quatro, oito e até mais horas por dia nesses ambientes de trabalho, é muito importante manter uma qualidade do ar aceitável dentro do aviário.

O propósito da ventilação mínima é oferecer boa qualidade do ar. É importante que as aves e os seres humanos sempre tenham níveis adequados de oxigênio e níveis mínimos de CO_2 , CO , NH_3 e poeira. A ventilação mínima

inadequada tem como consequência baixa qualidade do ar dentro do galpão, causando elevados níveis de NH_3 , CO_2 e umidade, que podem desencadear problemas como ascite, cegueira nas aves, bem como doenças crônicas do trato respiratório tanto das aves como dos trabalhadores.

Neste trabalho, objetivaram-se elaborar mapas da distribuição de temperatura, umidade relativa do ar e do ITU dentro do aviário e avaliar a qualidade do ar ao nível representativo dos pintinhos e do ser humano, em termos das concentrações dos gases NH_3 , CO_2 e CO , diagnosticando e avaliando os problemas do ambiente interno dos galpões típicos para produção de frangos de corte no Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e características da instalação experimental

A pesquisa foi desenvolvida durante o inverno de 2011 em uma granja comercial, no Estado de Minas Gerais, Brasil, localizada no município de Barbacena, na latitude $21^{\circ}6'18''\text{S}$ e longitude $43^{\circ}46'12''\text{W}$, altitude de 1.126 metros. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Cwa (temperado suave).

O experimento foi realizado durante a primeira fase de criação de frangos, três primeiras semanas de vida das aves, na fase de pintinhos, em um galpão de ventilação positiva túnel, com 18 m de largura por 120 m de comprimento, a altura do forro era de 2,45 m, orientado em sentido leste/oeste; a cama do aviário era de casca de café de quinto uso e a população de 40.000 aves da raça Cobb, com densidade aproximada de 55 aves/m^2 na primeira semana e de 18 aves/m^2 a partir da terceira semana. O sistema de aquecimento era composto por quatro fornalhas Debona-90, que permaneceram ligadas continuamente durante a primeira fase. O galpão foi dotado de três pares de cortinas para diminuir as perdas de calor (Figuras 1 e 2).

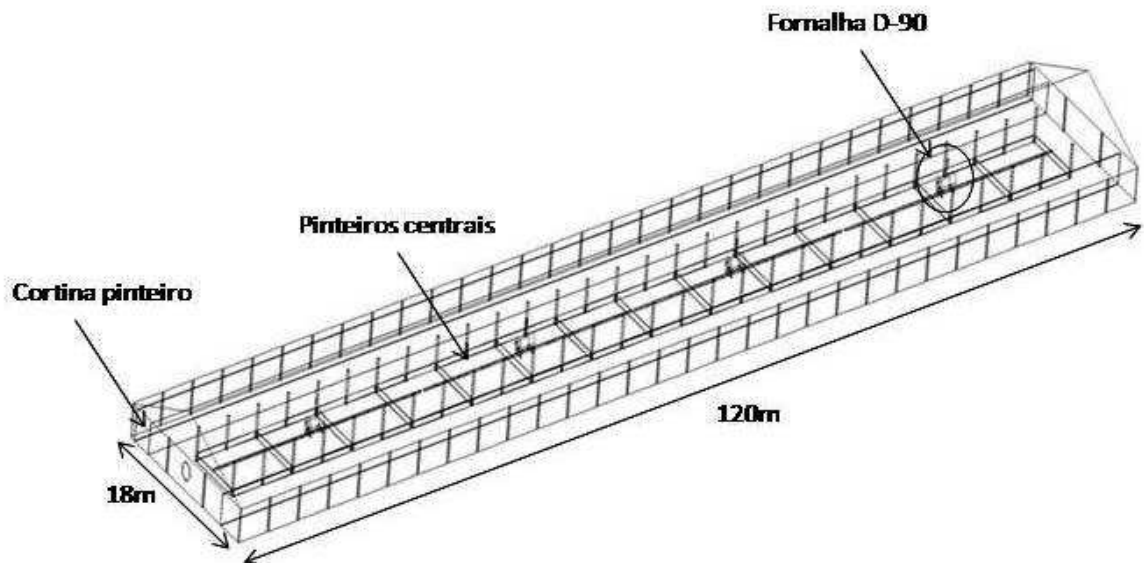


Figura 1 - Esquema do aviário aquecido com sistema de ventilação de pressão positiva em modo túnel, com pilares, dotado de quatro fornalhas, pinteiros centrais e três pares de cortinas.



Figura 2 - Disposição de cortinas dentro do galpão para isolar termicamente os pinteiros durante as horas mais frias do dia.

2.2. Aquisição de dados experimentais

Para a coleta de dados do ambiente térmico, uma rede de sensores de umidade e temperatura do ar foi instalada de maneira equidistante dentro da metade do comprimento do galpão à altura das aves. Os sensores foram distribuídos em malha, com espaçamento aproximado entre si de 10,5 m no sentido do comprimento e 6,0 m na direção da largura. Também foi instalado

um sensor de umidade relativa do ar e outro de temperatura do ar dentro de um abrigo meteorológico posicionado nas vizinhanças do galpão, para o monitoramento das condições ambientais externas.

Os sensores foram conectados entre si por meio de uma rede de transmissão de dados com tecnologia 1-Wire™. O sistema 1-Wire™ é um sistema que foi desenvolvido pela Dallas Semiconductor. Especificamente, é uma rede de transmissão de dados de baixo custo, também conhecida como MicroLAN™, que possibilita a comunicação digital entre o computador (mestre) e os dispositivos da série 1-Wire™, como sensores e adaptadores, atuando como escravos (DALLAS SEMICONDUCTOR, 2009). O “mestre”, nesse caso, é o elemento capaz de controlar e gerenciar a transmissão. O “escravo” é o dispositivo endereçado e gerenciado pelo “mestre”. Na Figura 3, é apresentado um esquema da distribuição dos sensores no interior do galpão.

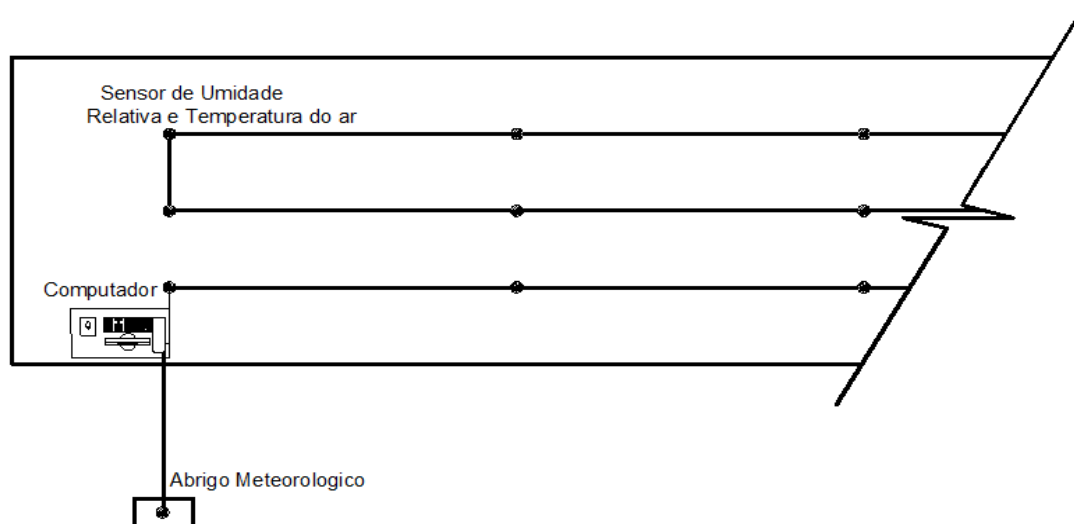


Figura 3 - Esquema de distribuição dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar dentro do aviário.

O conjunto de sensores foi conectado a um computador, e o programa computacional STRADA, desenvolvido por Rocha et al. (2008), foi utilizado para aquisição e transmissão remota de dados dos sensores. Foram coletados dados de temperatura de bulbo seco do ar e umidade relativa em tempo real, utilizando os sensores conectados ao computador por meio do dispositivo DS9490, que é um adaptador que funciona como interface entre a porta USB e

os sensores. Para medir a umidade relativa, foi utilizado o sensor HIH4000; para temperatura, usaram-se os sensores DS2438 e DS18B20¹. Nas Figuras 4 e 5 são evidenciados os sensores utilizados no experimento e a rede dentro do galpão.

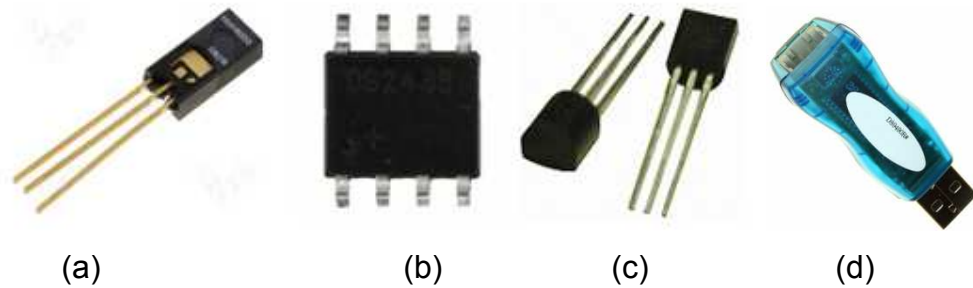


Figura 4 - Sensores e adaptador da série 1-WireTM: (a) sensor de umidade relativa do ar HIH4000; (b) sensor de temperatura DS2438; (c) sensor de temperatura DS18B20; e (d) adaptador USB DS9490R.



Figura 5 - Computador e sensores de umidade relativa e temperatura do ar conectados entre si por uma rede de transmissão de dados com a tecnologia 1-WireTM.

¹ O HIH4000 é um sensor de umidade relativa do ar tipo circuito integrado da empresa Honeywell. O sinal dele é uma saída de voltagem linear, a faixa de medição é de 0 até 100% de umidade relativa do ar, tolerância de $\pm 2\%$. O sensor DS2438 é um sensor de temperatura tipo circuito integrado da empresa Dallas Semiconductor com sinal de saída linear, com faixa de temperatura de trabalho de -40 até 85°C , além de permitir reconhecer e endereçar o sensor HIH4000 com seu mesmo endereço, já que o sensor de umidade relativa do ar HIH4000 é fabricado por uma empresa diferente e não possui endereço próprio, configurando juntos um dispositivo de medição de temperatura e umidade relativa do ar. O sensor DS18B20 é um sensor de temperatura tipo circuito integrado, da empresa Dallas Semiconductor. O sinal de saída dele é linear, com faixa de temperatura de trabalho de -55 até 125°C , com uma exatidão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ na faixa de -10 até 85°C . O DS9490 é um adaptador que funciona como interface entre a porta USB do computador e os sensores.

Para a avaliação da qualidade do ar, foram medidas as concentrações de CO, CO₂ e NH₃ do ar na entrada de ar do aviário, à altura de 0,20 m, referente à área de influência das aves, e 1,60 m, de acordo com a área de influência média do homem. A coleta de dados de concentração foi realizada de forma semicontínua, duas vezes por semana, no período de 24 horas, durante as três semanas experimentais. Os dados foram registrados em oito horários, distribuídos ao longo de cada dia de coleta, a saber: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24 horas. Essa situação está apresentada na Figura 6.



Figura 6 - Medição das concentrações de NH₃, CO₂ e CO ao nível do pintinho.

A coleta de dados de concentração de gases NH₃, CO₂ e CO no interior dos galpões foi realizada por meio de medidores digitais manuais tipo datalogger. A medição da concentração de NH₃ foi feita com um sensor digital BW GasAlert NH₃ Extremis BW-GAXT-A-DL, com uma faixa de medição de 0 até 100 ppm_v (partes por milhão em volume), temperatura de operação entre -20°C e 50°C. As concentrações de CO₂ foram determinadas, utilizando um sensor AZ 77535, na faixa de 0 a 9999 ppm_v. Os níveis de CO foram obtidos usando um medidor digital manual de monóxido de carbono, modelo 7701, com uma faixa de medição de 0 a 999 ppm_v.

Com o objetivo de quantificar a vazão de ar quente introduzido no interior dos aviários via aquecedores e a vazão de ar dos exaustores no galpão, foram verificadas as dimensões da entrada e saída de ar de cada um. A velocidade do ar foi medida com um anemômetro digital, da marca Lutron,

modelo AM-4201, com faixa de operação de 0,4 a 30,0 m.s⁻¹. A velocidade do ar também foi determinada com um anemômetro de fio quente, da marca Testo, modelo 425, com faixa de operação de 0 a 20 m.s⁻¹, a uma amplitude térmica de -20°C a 50°C, resolução de 0,001 m.s⁻¹. Os dados de velocidade do ar obtidos em vários pontos equidistantes, formando uma malha homogênea na área dos aquecedores, exaustores e, ou, ventiladores, foram utilizados para avaliar a capacidade dos equipamentos, em relação às dimensões do pinteiro e à ventilação mínima. O regime de funcionamento dos exaustores e aquecedores foi cuidadosamente monitorado quanto ao tempo em que permaneceram ligados e desligados, além do momento de abertura e fechamento de cortinas.

O conjunto da população de pintinhos foi fotografado durante todo o período experimental nos horários das coletas de dados de qualidade do ar, usando câmera fotográfica digital convencional. Com as imagens, observou-se o comportamento no espaço físico das aves (áreas de presença e vazios), identificando o deslocamento dos animais e, conseqüentemente, as eventuais zonas usualmente frias e de calor excessivo dentro do aviário.

Foi realizada análise de variância, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado para avaliação do comportamento térmico, ao nível do pintinho, durante a primeira semana de vida. Fez-se um teste de médias para avaliar a variabilidade térmica, em relação à qualidade do ar dentro do galpão. O esquema do experimento está apresentado na Figura 7.

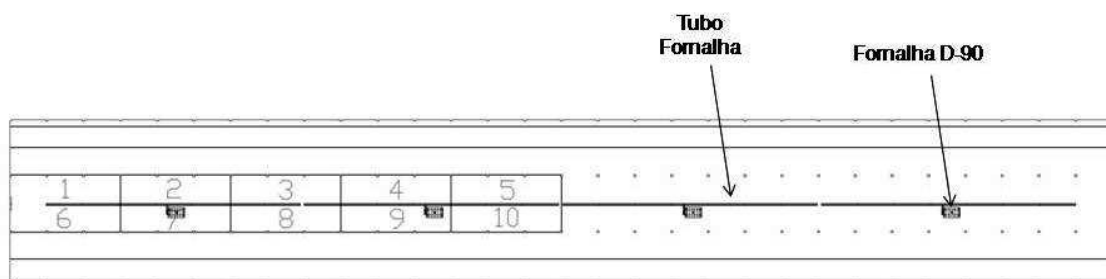


Figura 7 - Esquema de distribuição de tratamentos dentro dos pinteiros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ambiente térmico

3.1.1. Temperatura

Na Figura 8, apresenta-se a variação da temperatura do ar do galpão nos ambientes externo e interno. Observou-se temperatura média dentro do galpão, durante a maior parte do dia, inferior àquela considerada a faixa de temperatura de termoneutralidade correspondente para os pintinhos nessa idade, em quase toda a primeira fase de vida das aves (primeiros 21 dias). A condição mais crítica apresentou-se por volta das 6 horas da manhã, chegando a temperaturas externas e internas de 4°C e 18°C, respectivamente, na primeira semana de vida das aves, quando essas apresentaram desconforto térmico. Pôde-se observar que o galpão, embora oferecesse amortecimento térmico, só atingiu a temperatura ótima para os frangos nas horas mais quentes de alguns dias, sobretudo na terceira semana experimental, fato apresentado na Figura 8.

A condição noturna com respeito ao comportamento animal, durante o segundo dia, é apresentada na Figura 9. Pode-se observar o desconforto para os animais, expressado no comportamento deles, ficando juntos ou amontoados perto dos tubos das fornalhas e das paredes do pinteiro, deixando as áreas mais frias praticamente vazias. A aglomeração nas áreas mais quentes sugere que o sistema de aquecimento, durante toda a primeira semana, não proporcionou boas condições de conforto às aves.

Nas Figuras 10, 11 e 12, observam-se os mapas de distribuição de valores médios de temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e ITU, para a condição de dia e noite ao longo da primeira fase de criação dos frangos. Em geral, os mapas foram feitos somente para a metade do galpão, onde foi instalada a rede de sensores, pois o galpão é simétrico tanto na área quanto na distribuição de equipamentos e animais, supondo que na outra metade do galpão ocorre a mesma situação.

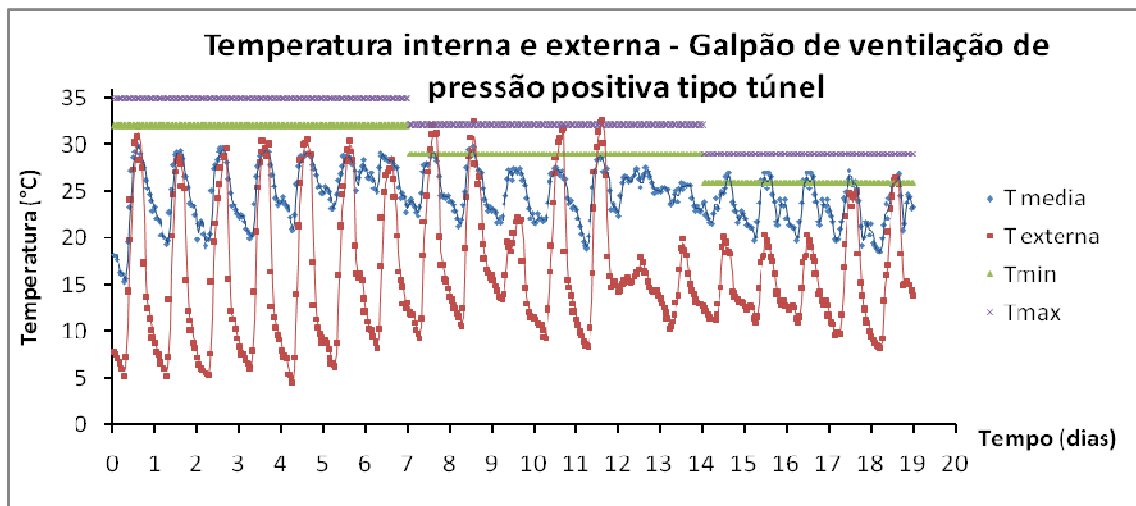


Figura 8 - Variação da temperatura média dentro e fora do galpão, durante a primeira fase de criação das aves, e faixas de conforto semanais.



Figura 9 - Aglomeração indicativa de estresse por frio na madrugada do segundo dia de vida dos frangos.

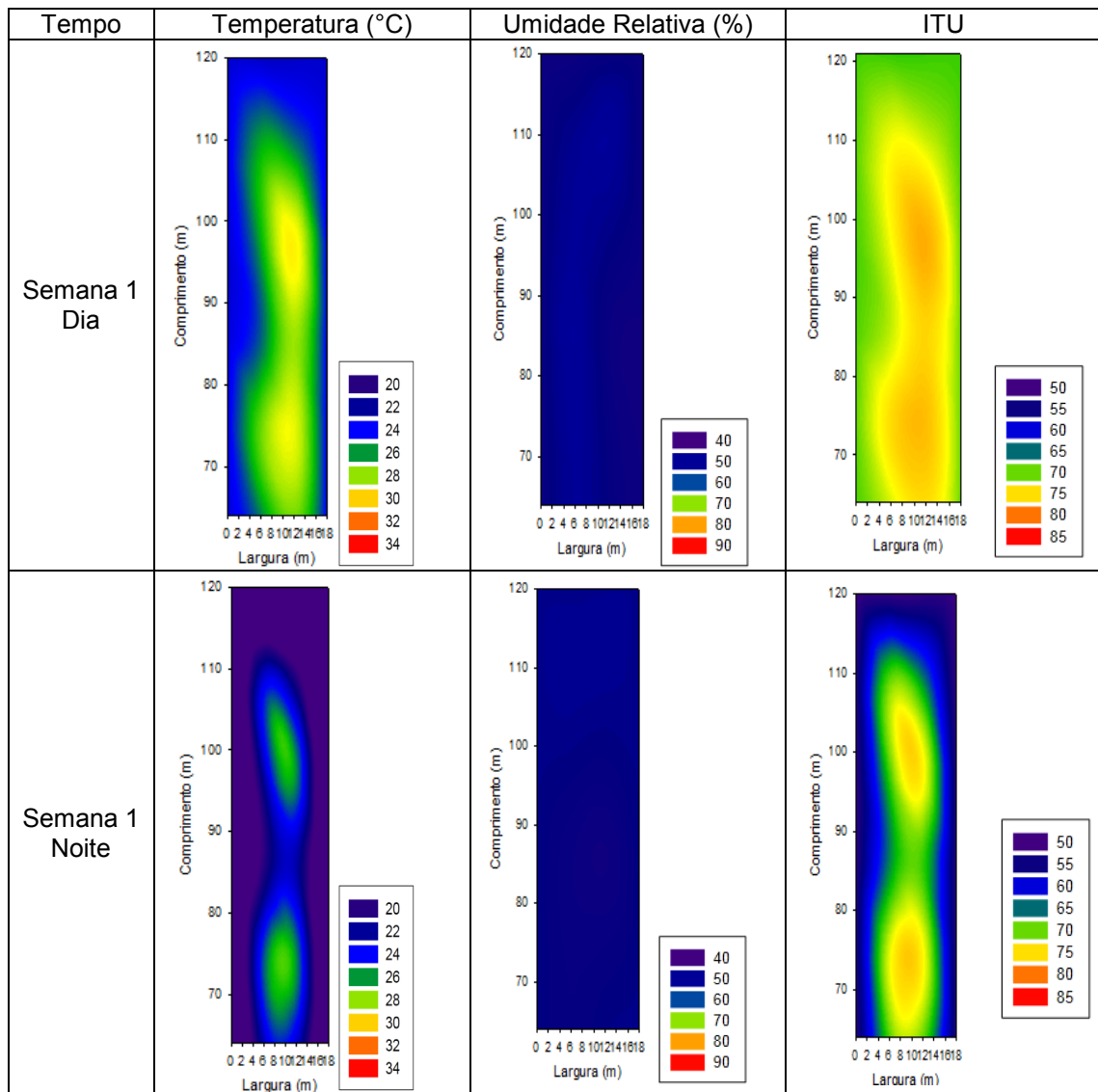


Figura 10 - Mapas de distribuição de temperatura, umidade relativa do ar e ITU no interior do galpão, durante a primeira semana de vida das aves, para a condição de dia e de noite.

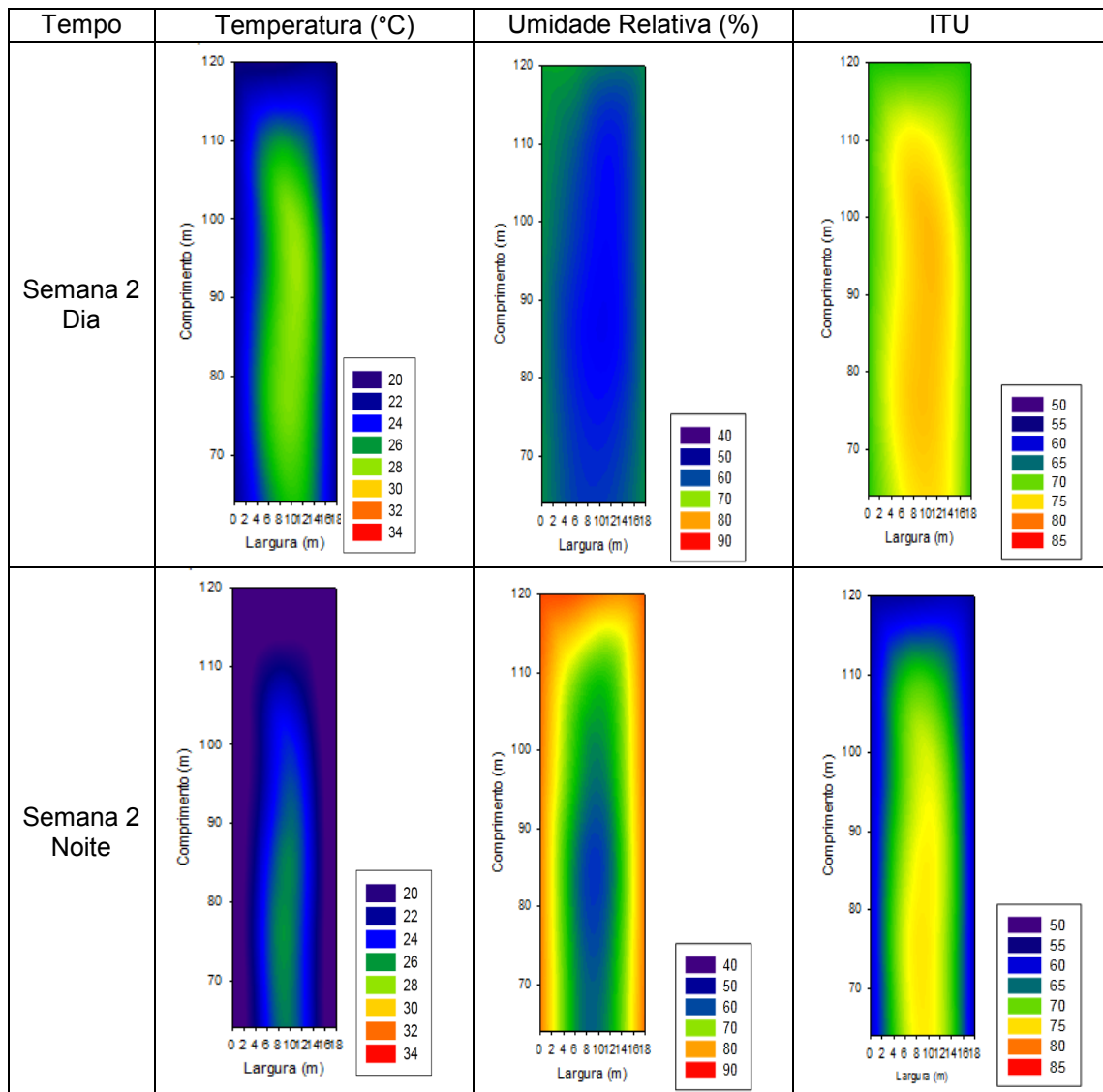


Figura 11 - Mapas de temperatura, umidade relativa do ar e ITU no interior do galpão da segunda semana de vida das aves.

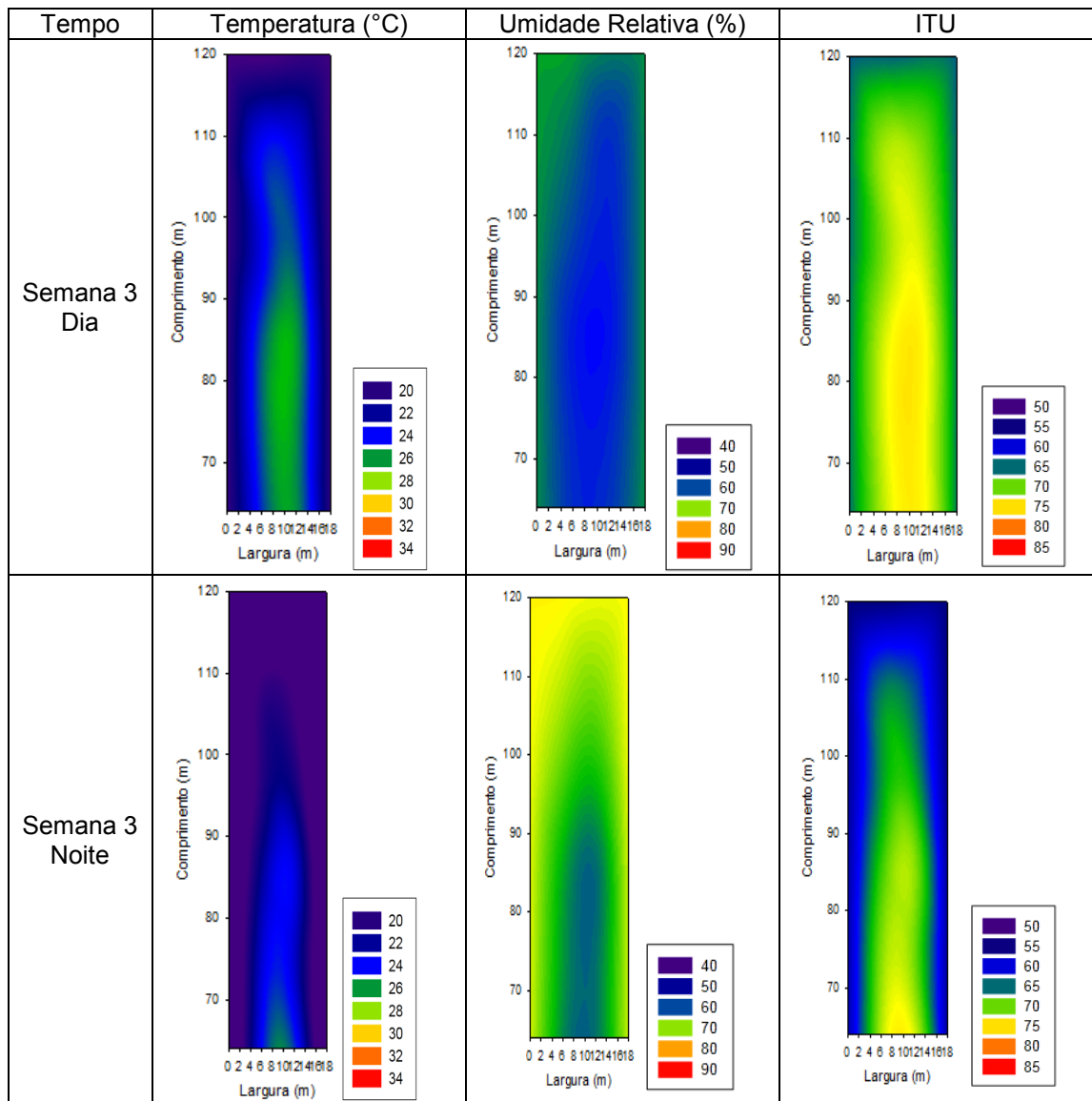


Figura 12 - Mapas de temperatura, umidade relativa do ar e ITU no interior do galpão diurna terceira semana de vida das aves.

Segundo Curtis (1983), a temperatura ideal para frangos de corte durante a primeira semana de vida está entre 32 e 35°C. Na Figura 10, observa-se que a temperatura não atingiu os valores esperados na faixa de conforto para os pintinhos, tornando o problema mais crítico, sobretudo durante o período noturno, fora da área de influência das fomalhas, embora perto das fomalhas e de seus tubos de saída de ar quente, as temperaturas tenham sido mais elevadas. Cassuce (2011) encontrou uma faixa de temperatura de conforto para a primeira semana de vida dos pintinhos menor (31,3 a 33,0°C), porém o ambiente interno estudado tampouco atingiu essa faixa. Os mapas

também evidenciam desuniformidade na distribuição de temperatura no interior do galpão, fato confirmado com a análise de variância e o teste de médias apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Análise de variância para a distribuição de temperatura ao longo da primeira semana de vida dos frangos

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	10	1692078,41	169207,84	8703,04*
Resíduo	192312	3739005,92	19,44	
Total	192322	5431084,33		F5%(10,192312)=1,83

*Existe diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Teste de temperaturas médias no interior do galpão

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão
T1	17484	25,236 f	3,75	0,0284
T2	17484	26,879 h	2,99	0,0226
T3	17484	25,151 f	4,41	0,0334
T4	17484	27,725 i	3,35	0,0253
T5	17484	23,349 b	4,37	0,0330
T6	17484	24,739 e	3,13	0,0236
T7	17484	26,034 g	2,68	0,0202
T8	17484	23,902 c	4,46	0,0338
T9	17484	24,559 d	3,74	0,0283
T10	17484	24,777 e	3,29	0,0249
Testemunha	17484	15,797 a	8,91	0,0674

As médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na segunda e terceira semanas de vida dos frangos de corte, continuou a condição de frio, tanto durante o dia quanto à noite, do mesmo jeito que na primeira semana, sendo a condição pior durante o período noturno, concordando a informação dos mapas das Figuras 11 e 12 com a informação da Figura 8. Cassuce (2011) encontrou que para a segunda semana de vida a temperatura de conforto para frangos de corte é 26,3 a 27,1°C e para a terceira semana de 22,5 a 23,2°C, embora essas faixas estejam abaixo da proposta por

outra literatura; com respeito a esses valores, os pintinhos estiveram em desconforto. Como é lógico, a condição menos crítica continua sendo de dia, perto das fomalhas e do tubo de saída de ar quente.

Santos (2008) e Pereira (2006) estudaram galpões na mesma região e também observaram que a temperatura média dos aviários durante o manejo inicial de vida das aves esteve abaixo da recomendada. O mesmo foi observado por Menegali (2009) em estudo realizado na região de Videira, SC, entre julho e setembro de 2004, demonstrando que é prática comum de empresas avícolas e integrações a criação de frangos a temperaturas abaixo da média recomendada. Isso pode ser associado à dificuldade em fornecer calor e isolar o ambiente, em razão do uso de equipamentos mal dimensionados e temperaturas externas abaixo das esperadas para a época, ou simplesmente uma forma que os produtores encontraram de economizar energia.

3.1.2. Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar adequada aos pintinhos, segundo Cassuce (2011), Curtis (1983) e Abreu (2003), deve estar dentre 50 e 70%. Neste trabalho, a umidade relativa foi um pouco baixa, sobretudo durante a primeira semana de vida dos pintinhos (Figuras 10, 11 e 12), estando praticamente sobre o limite inferior dessa faixa. Esses valores de umidade relativa do ar abaixo do recomendado podem causar desidratação das mucosas dos pintinhos e aumentar os riscos de doenças cardíacas e pulmonares no futuro (BAIÃO et al., 1998). Para a segunda e terceira semanas (Figuras 11 e 12), a umidade relativa do ar esteve em geral dentro do ideal, sobretudo durante dia, à noite esteve um pouco alta em alguns locais.

3.1.3. Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

O valor do ITU esteve abaixo da faixa de conforto durante a primeira semana. Tanto durante o dia quanto à noite, em geral, para a primeira semana de vida das aves, os pintinhos se encontraram em estresse por frio, sobretudo durante o período noturno (Figura 10). Para a segunda e terceira semanas de

vida das aves, nos mapas das Figuras 11 e 12, observa-se que embora a temperatura estivesse baixa, a umidade relativa ajudou muito, deixando os pintinhos em conforto durante o dia em todo o galpão e à noite perto das fomalhas.

É interessante que esse mapeamento evidencia que, embora a temperatura seja indicativo da condição térmica, existem outros fatores que influenciam a sensação térmica como a movimentação do ar e a umidade relativa; nesse caso, com o ar parado a maior parte do tempo, pelo fechamento de cortina, a umidade relativa é fator determinante. O galpão só conta com os sensores de temperatura das fomalhas, não possuindo os de umidade relativa do ar. O ideal seria, além de ter os sensores de temperatura próprios da instalação, ter pelo menos um sensor de umidade relativa, para se ter informação e noção mais precisa sobre a condição de ambiência térmica oferecida para os animais.

3.2. Ambiente aéreo

3.2.1. Dióxido de carbono (CO₂)

Na Figura 13, encontram-se apresentados os dados médios de concentração de dióxido de carbono (CO₂) ao longo das horas e durante cada semana do experimento. A linha vermelha simboliza os dados médios de concentração à altura das aves; a verde, os dados médios à altura do homem; a azul, os dados médios na entrada de ar do galpão; e a roxa, o limite máximo perecível de concentração de CO₂. Verificou-se que, a concentração de CO₂ esteve dentro dos limites permissíveis, ou seja, abaixo de 3.000 ppm_v (COBB, 2008). Observou-se que já para a semana 3, durante a parte da noite, os valores de concentração começaram a ultrapassar esse limite, fato que pode ser atribuído ao crescimento dos frangos (maior consumo de oxigênio), ao fechamento noturno da instalação e à ausência de ventilação mínima adequada, dificultando a renovação de ar.

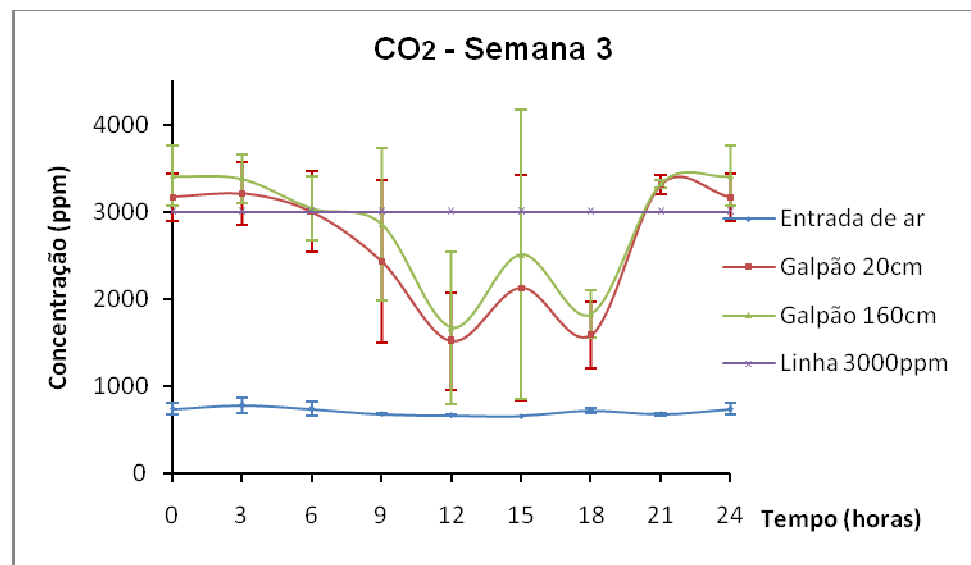
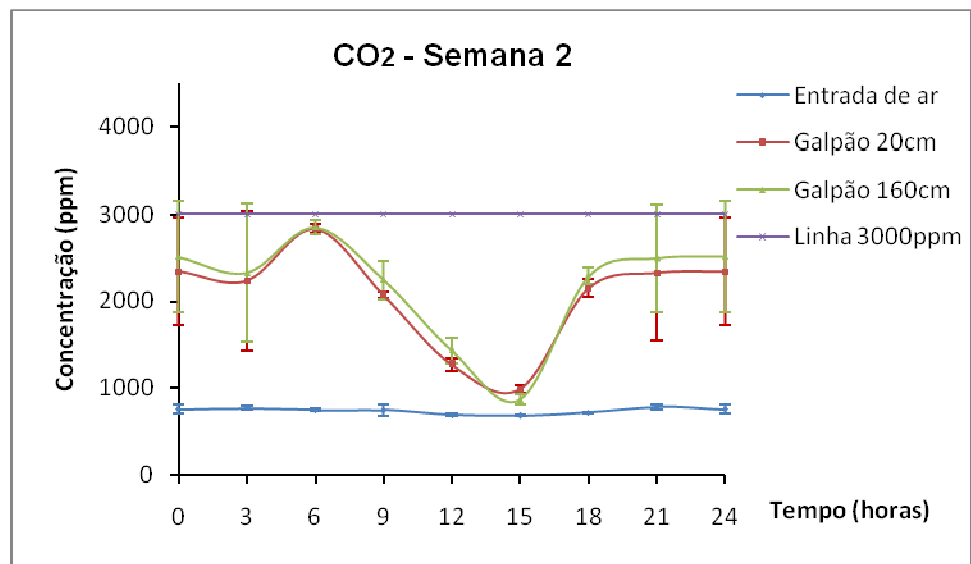
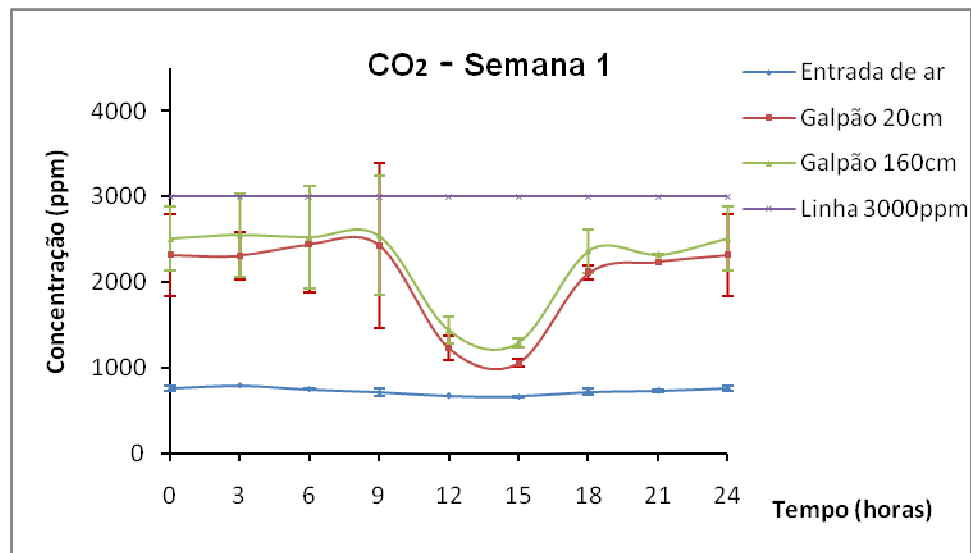


Figura 13 - Valores médios de concentração de dióxido de carbono (CO₂) em ppm ao longo do tempo e durante cada uma das três semanas experimentais.

3.2.2. Monóxido de carbono (CO)

Com respeito ao CO, em termos gerais a concentração desse monóxido esteve na maioria do tempo dentro dos limites permissíveis, ou seja, abaixo do limite máximo de 10 ppm_v (WATHES, 1999). Observa-se, pela Figura 14, a linha vermelha, que simboliza os dados médios de concentração à altura das aves; a verde, os dados médios à altura do homem; a azul, os dados médios na entrada de ar do galpão; e a roxa, o limite máximo perecível de concentração de CO, que, sobretudo na primeira semana de vida das aves, esse limite foi ultrapassado no horário das 6 horas. Essa maior concentração pode ser explicada pelo fato de exatamente às 6 horas ocorrer a alimentação das fomalhas, gerando maior volume de fumaça, e, conseqüentemente, aumentando os valores de concentração de CO.

3.2.3. Amônia (NH₃)

Ao longo do tempo e durante cada uma das três semanas de vida da fase de pintinhos, a concentração de NH₃ deve estar abaixo de 10 ppm_v, enquanto os valores máximos de concentração de NH₃ sugeridos pelo Instituto Nacional para Segurança Ocupacional e Saúde do Canadá (*National Institute for Occupational Safety and Health*) para humanos não devem ultrapassar uma exposição a 25 ppm_v, durante 8 horas; 35 ppm_v, durante 15 minutos; ou 50 ppm_v, durante 5 minutos (NIOSH, 2006). Portanto, as concentrações observadas de NH₃ foram críticas durante a primeira semana de vida das aves, quase sempre acima de 10 ppm, chegando a níveis perigosos tanto para o homem quanto para os animais. Às vezes, essas concentrações chegaram ao redor de 60 ppm (Figura 15), causando problemas de cegueira em parte da população de aves observadas, a partir da segunda semana de vida dos pintinhos, o que tornou o ambiente igualmente perigoso para os funcionários. Na Figura 15, a linha vermelha simboliza os dados médios de concentração à altura das aves; a verde os dados médios à altura do homem; a azul, os dados médios na entrada de ar do galpão; e a roxa, o limite máximo perecível de concentração de NH₃.

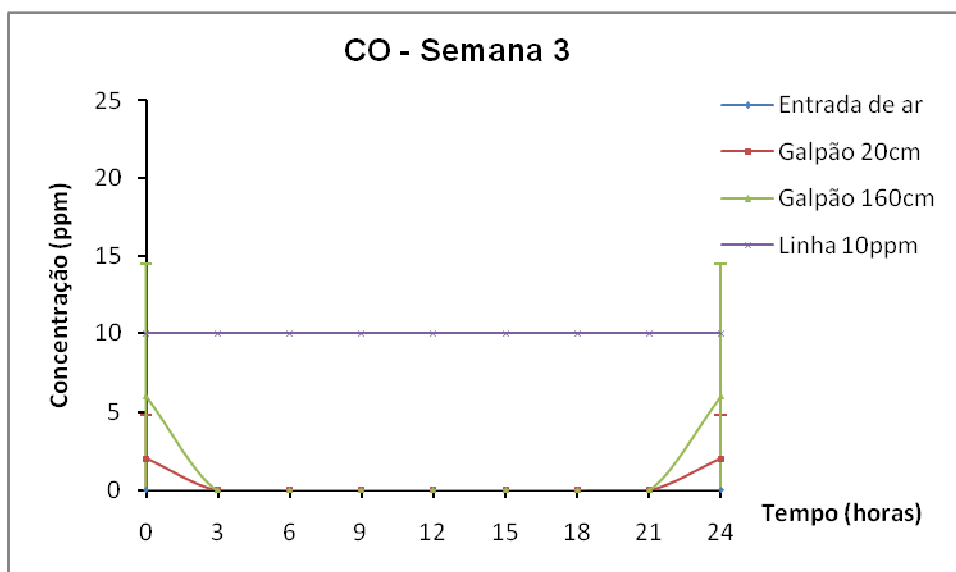
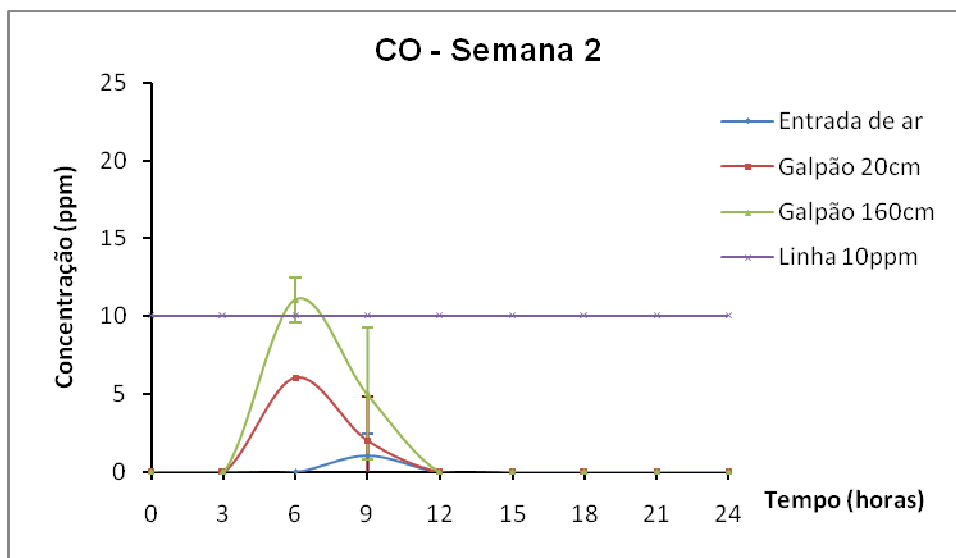
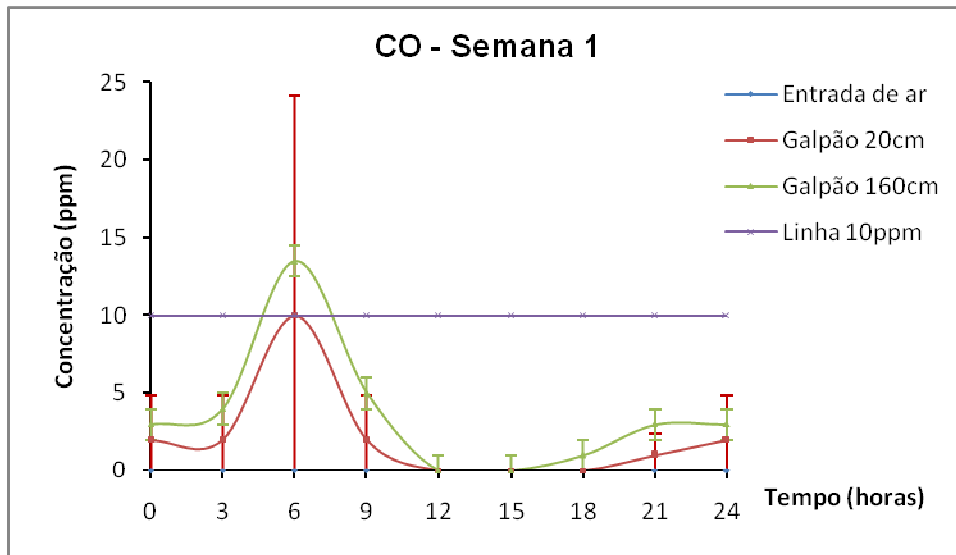


Figura 14 - Valores de concentração de monóxido de carbono (CO) em ppm ao longo do tempo e durante cada uma das semanas experimentais.

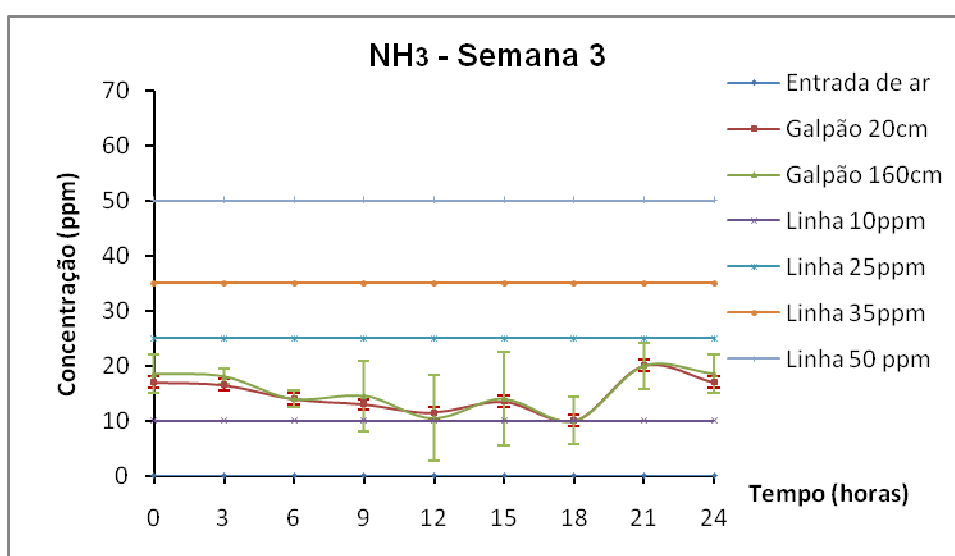
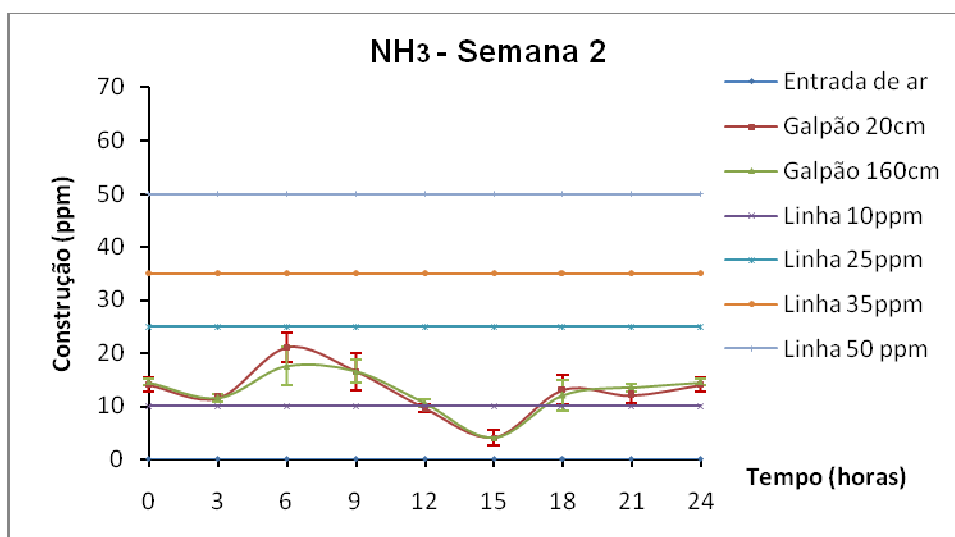
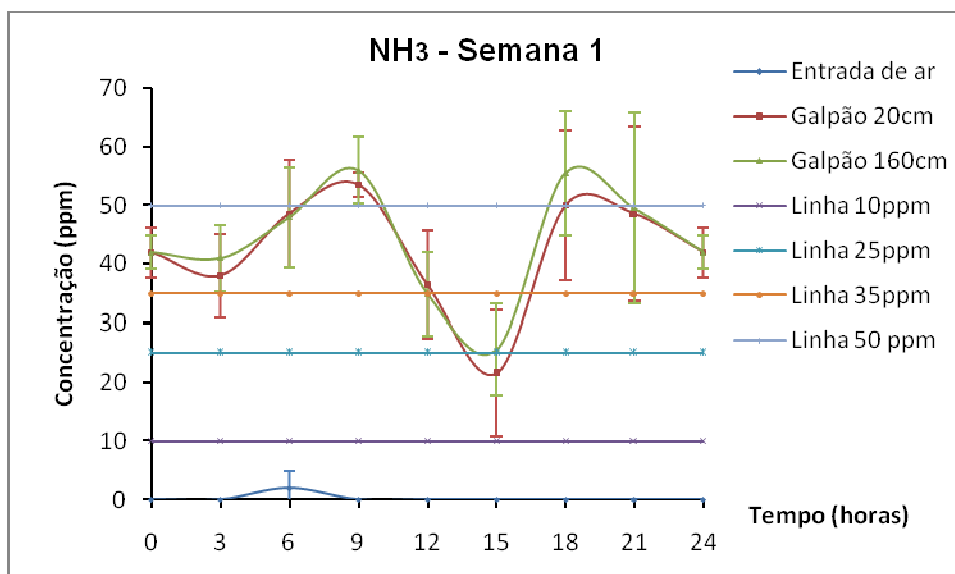


Figura 15 - Níveis médios de concentração de amônia em ppm ao longo do tempo para as três primeiras semanas de vida das aves.

Em períodos frios, é necessário evitar perda de calor para fora do aviário. Portanto, o controle das aberturas é de fundamental importância. A ventilação apresenta função relevante, principalmente por razões higiênicas, devendo-se renovar o ar para evitar concentrações de gases indesejáveis dentro do aviário (TINÔCO, 2001; NÄÄS et al., 2007). As trocas de ar inadequadas ou ventilação mínima mal calculada aumentam as concentrações de partículas de monóxido de carbono, dióxido de carbono e amônia no interior das instalações, o que diminui as concentrações de oxigênio (O₂) e favorece a incidência de ascite em aves de corte (ALENCAR et al., 2004; OWADA et al., 2007).

4. CONCLUSÕES

Considerando as condições deste experimento e pelos resultados experimentais, concluiu-se que:

- O mapeamento do comportamento das variáveis ambientais no espaço dentro dos galpões é ferramenta muito útil para entender e tomar decisões para melhorar as condições de ambiência interna das instalações, especialmente na fase de aquecimento.
- A temperatura, embora seja indicativo da condição térmica do ambiente, não necessariamente reflete a verdadeira sensação térmica das aves. Há outros fatores como a umidade relativa do ar, velocidade do ar e a radiação. O ideal é, além de ter os sensores de temperatura próprios da instalação, ter pelo menos um sensor de umidade relativa para se obter mais informação e noção mais completa e precisa sobre a condição de ambiência térmica oferecida para os animais.
- A qualidade do ar em termos da concentração de CO₂ e CO apresentou-se dentro dos limites permissíveis; no entanto, há evidências da concentração de NH₃ acima dos limites toleráveis para os animais.

5. REFERÊNCIAS

ABREU, P.G. Modelos de aquecimento. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 4, 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó, 2003. p. 65-77.

ALENCAR, M.C.B.; NÄÄS, I.A.; GONTIJO, L.A. Respiratory risks in broiler production workers. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 6, n. 1, p. 23-29, 2004.

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

BAIÃO, N.C.; CANÇADO, S.V. Efeito do intervalo entre o nascimento e o alojamento de pintos sobre o desempenho dos frangos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 50, p. 191-194, 1998.

BUTCHER, G.D.; NILIPOUR, A.H. **Broiler management: the first 24 hours**. Florida: Institute of Food and Agricultural Sciences, 2002. 4 p.

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

COBB-VANTRESS, A. **Guia de manejo del pollo de engorde**. Siloam Springs, Arkansas, 2008. 65 p.

CORDEIRO, M.B. **Análise de imagens na avaliação do comportamento, do bem-estar e do desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I.F.F.; SILVA, J.N.; VIGODERIS, R.B.; PINTO, F.A.C.; CECON, P.R. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 217-224, 2010.

CRONEY, C.C.; MILLMAN, S.T. Board-invited review: the ethical and behavioral bases for farm animal welfare legislation. **Journal Animal Science**, v. 85, p. 556–565, 2007.

CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. The Iowa State University Press. 1983. 409 p.

DALLAS SEMICONDUCTOR. **1-wire design guide**. 2009. Disponível em: <<http://www.maxim-ic.com>>.

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

GARCIA NETO, M.; CAMPOS, E.J. Suscetibilidade de linhagens de frangos de corte à síndrome ascítica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 803-808, 2004.

MACHADO, P.S. Manejo do 1º ao 28º dias. In: FUNDAÇÃO APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS. **Manejo de frangos**. Campinas: FACTA. 1994. p. 47-58.

MENEGALI, I.S.; TINÔCO, I.F.F.; BAÊTA, F.C.; CECON, P.R.; GUIMARÃES, M.C.; CORDEIRO, M.B. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13 (Suplemento), p. 984-990, 2009.

NÄÄS, I.A.; MIRAGLIOTTA, M.Y.; BARACHO, M.S.; MOURA, D.J. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 326-335, 2007.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH – NIOSH. Center for Disease Control and Prevention. **Ammonia**. Oregon, 2006.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAUDE – OMS. **Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre**. Ginebra, Suiza, 2005.

OWADA, A.N.; NÄÄS, I.A.; MOURA, D.J.; BARACHO, M.S. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 611-618, 2007.

PEREIRA, A.K., **Avaliação dos fatores térmicos ambientais e qualidade do ar no desempenho produtivo de frangos de corte criados em galpões avícolas sob sistema de ventilação positiva, em condições de verão**. 2006. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ROCHA, K.S.O.; MARTINS, J.H. ; TINÔCO, I.F.F.; MELO, E.C.; LOPES, D.C.; HERMSDORFF, W. Remote environmental monitoring and management of data systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM LIVESTOCK ENVIRONMENT, 8, 2008. **Proceedings...** 2008. p. 1001-1008.

SANTOS, P.A. **Qualidade do ar, conforto térmico e desempenho de frangos de corte em dois sistemas de aquecimento e ventilação**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-59, 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**, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001.

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

WEST, J.B.; WATSON, R.R.; FU, Z. Major differences in the pulmonary circulation between birds and mammals. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, v. 157, p. 382-390, 2007.

WHATES, C.M. Strive for clean air your poultry house. **World Poultry**, v. 15, n. 3, p. 17-19, 1999.

CAPÍTULO 2

MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DOS AMBIENTES TÉRMICO E AÉREO DE DIFERENTES TIPOLOGIAS E SISTEMAS DE VENTILAÇÃO DE AVIÁRIOS PARA FRANGOS DE CORTE DURANTE A FASE INICIAL DE CRESCIMENTO

RESUMO: Neste trabalho, avaliaram-se os ambientes térmico e aéreo internos em dois galpões de diferentes tipologias, representativos da produção avícola da América do Sul: um de pressão positiva com ventilação lateral e o outro de pressão negativa tipo túnel, durante a primeira fase de crescimento das aves na primavera. Foram feitas análises da qualidade do ar em termos das concentrações de CO, CO₂ e NH₃ e do ambiente e conforto térmico que incluem mapas de temperatura, umidade relativa do ar e índice de temperatura e umidade (ITU) para as condições médias, diurnas e noturnas para as três primeiras semanas de vida das aves, além da análise estatística, que avalia tanto a variabilidade térmica dentro de cada galpão como entre os dois galpões. Encontrou-se maior uniformidade do ambiente térmico dentro do galpão de pressão negativa tipo túnel; entretanto, o de pressão positiva lateral apresentou melhor condição com respeito à qualidade do ar.

Palavras-chave: Conforto térmico, qualidade do ar, avicultura de corte, índices de conforto térmico.

ABSTRACT: This study evaluated the thermal environment and air sheds built in two different representative typology of poultry production in South America: shed positive pressure ventilation side and shed negative pressure tunnel type, during the first phase of growth in spring. Were made to analyze air quality in terms of concentrations of CO, CO₂, and NH₃, and the environment and thermal comfort which include maps of temperature, relative humidity and temperature and humidity index (THI) for media day and the conditions night for the first three weeks of life for birds in addition to statistical analysis to evaluate both the thermal variability within each house, as between the two sheds. We found a better distribution and the thermal environment inside the shed negative pressure tunnel type, but presented a better condition with respect to the quality of air inside the shed positive pressure side.

Keywords: Thermal comfort, air quality, poultry production, thermal comfort indices.

1. INTRODUÇÃO

As aves, como animais homeotermos, buscam manter a temperatura corporal constante com o mínimo esforço dos mecanismos termorregulatórios (BAÊTA; SOUZA, 2010). Para cada espécie animal, existe uma faixa de temperatura do ambiente; o animal apresenta os melhores resultados com o menor gasto energético e mínimo esforço dos mecanismos termorregulatórios, possibilitando melhor conversão alimentar, rápido crescimento corporal e

menor mortalidade, essa é a chamada zona de conforto térmico (TINÔCO, 2004). Em condições de frio, as aves procuram manter a homeotermia por meio de aumento na produção de calor e na redução de perdas, enquanto no calor o processo é invertido.

Os estudos sobre ambiência animal analisam e estabelecem condições necessárias para a avaliação e, ou, concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação, bem como determinam métodos e princípios para detalhada análise das condições térmicas de um ambiente (CRONEY; MILLMAN, 2007), em razão das novas exigências do mercado consumidor de produtos de origem animal quanto à questão ambiental, segurança alimentar e bem-estar animal que passam, invariavelmente, pelo conforto térmico do ambiente de criação.

Dentre os fatores do ambiente, os térmicos são os que afetam mais diretamente a ave, principalmente na fase inicial de crescimento e em períodos de climas frios. É a fase de criação que demanda mais cuidado e atenção por parte do produtor, pois erros cometidos não poderão ser corrigidos futuramente, afetando assim o desempenho final das aves (CORDEIRO, 2007; BUTCHER; NILIPOUR, 2002).

Durante boa parte do ano, não só durante o inverno, principalmente em períodos noturnos de todo o ano, deve-se dar atenção ao aquecimento do ambiente, pois o desenvolvimento do pintinho, em particular na primeira semana de vida, é condição relevante para o desempenho futuro da ave (VIGODERIS, 2006; CORDEIRO, 2007). Esse cuidado se dá pelo fato de que desenvolvidos processos fisiológicos que ocorrem nas aves em condições de frio como hiperplasia e hipertrofia celular, maturação do sistema termorregulador e diferenciação da mucosa gastrintestinal e ascite podem causar alta taxa de mortalidade e condenação de carcaça (FURLAN, 2006; WEST et al., 2007; GARCIA; CAMPOS, 2004). Para atender as exigências de conforto térmico das aves, o aquecimento é fundamental no início da vida e dele depende o bom desenvolvimento animal (TINÔCO, 2001). No inverno, esse item merece atenção redobrada, pois é maior a necessidade energética para suprir a diferença entre a temperatura ideal para os pintos e a temperatura ambiente externa (CORDEIRO, 2010).

É importante que os aviários proporcionem condições ambientais adequadas com temperaturas dentro da faixa de conforto térmico. Existem diversos índices que relacionam a faixa de conforto térmico com a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. O índice de temperatura e umidade (ITU), proposto por Thom (1959), só requer medidas de temperatura em bulbo seco e em bulbo úmido. O ITU relaciona a temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido registradas no tempo e permite descrever o conforto térmico de animais domésticos como o frango. Valores ideais para temperatura, umidade relativa e ITU podem ser observados na Tabela 1. No Brasil, quanto na América Latina e nos Estados Unidos, o ITU é o mais utilizado pela simplicidade. A fórmula desenvolvida por Thom (1959) é apresentada na Equação 1.

$$\text{ITU} = 0,72 (T_{\text{bs}} + T_{\text{bu}}) + 40,6 \quad (1)$$

em que:

ITU = índice de temperatura umidade.

T_{bs} = temperatura de bulbo seco do ar (°C).

T_{bu} = temperatura de bulbo úmido do ar (°C).

Além dos índices de conforto térmico, o conhecimento da variabilidade térmica no espaço e a construção de mapas de variáveis ambientais podem auxiliar no conhecimento e manejo adequado de animais confinados em galpões (FARIA et al., 2008).

A qualidade do ar dentro das instalações também é fator muito importante, pois se refere ao grau de poluição do ar que é respirado. Para os animais e funcionários, a qualidade do ar está diretamente relacionada ao metabolismo, à decomposição microbiológica do esterco ou da cama e aos gases resultantes da combustão nos aquecedores. Como resultado do metabolismo dos animais, tem-se a liberação não só de calor, mas também de umidade e dióxido de carbono (CO_2), por meio da respiração e transpiração, além de gases que provêm da digestão e dos dejetos animais. O CO_2 possui efeitos secundários metabólicos e respiratórios. O processo de decomposição

da cama causa a produção e emissão de gases como amônia (NH₃), metano (CH₄) e ácido sulfídrico (H₂S), dentre outros.

Particularmente, a amônia é um gás tóxico, considerado um irritante primário, que pode acarretar efeitos metabólicos secundários como envenenamento. Como resultado da combustão incompleta, o monóxido de carbono (CO) é produzido e liberado e, muitas vezes, lançado para dentro da instalação destinada aos animais. Níveis elevados de CO no ar respirado pelos animais, resultante da queima incompleta de combustível nos sistemas de aquecimento, podem afetar os sistemas cardiovascular, nervoso central e reprodutivo deles. Também, a poeira ou o material particulado em suspensão da cama tem sido recentemente considerado como sendo importante poluente que deteriora a qualidade do ar; o leque de efeitos na saúde é amplo, mas se produz, em particular, nos sistemas respiratórios e cardiovasculares (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS, 2005). Do ponto de vista da saúde dos animais que vivem em total confinamento, como também dos trabalhadores que permanecem quatro, oito e até mais horas por dia nesses ambientes de trabalho, é muito importante manter uma qualidade do ar aceitável dentro dos alojamentos.

O propósito da ventilação mínima é oferecer uma boa qualidade de ar. É importante que as aves e os seres humanos sempre tenham níveis adequados de oxigênio e os de CO₂, CO, NH₃ e poeira, o menor possível. A ventilação mínima inadequada tem como consequência baixa qualidade de ar dentro do galpão, causando elevados níveis de NH₃, CO₂ e umidade, que podem desencadear problemas como ascite e cegueira nas aves, bem como doenças crônicas do trato respiratório tanto das aves como dos trabalhadores.

Nesta pesquisa, teve-se como objetivo geral realizar uma avaliação ambiental da qualidade do ar e da distribuição térmica no interior de dois galpões de frangos de corte representativos da produção do Brasil e da América do Sul.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e características das instalações experimentais

Esta pesquisa foi desenvolvida em uma granja comercial de uma empresa integrada do Estado de Minas Gerais, Brasil, no município de São Geraldo, MG, situada na latitude 20°55'S e longitude 42°50'W, altitude de 380 m. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Aw (tropical típico), durante a primavera do ano 2011.

Os dois aviários, objetos desta pesquisa, um de pressão positiva lateral e outro de pressão negativa tipo túnel, são orientados em sentido leste/oeste e separados entre si em 30 m, com cama de casca de café de primeiro uso, durante a fase inicial de desenvolvimento de frangos de corte da linhagem Cobb. Nos dois galpões, o sistema de aquecimento só foi acionado durante as duas primeiras semanas. O galpão de pressão positiva de ventilação lateral tem dimensões de 12 m de largura por 76 m de comprimento; 2,45 m de altura do forro; telhado de telha de cerâmica com aquecimento feito por fomalha tubular de 1,0 m de diâmetro por 1,3 m de comprimento; vazão de aproximadamente 850 m³h⁻¹; e temperatura do ar de saída de 50°C para uma população de frangos de aproximadamente 10.500 aves da linhagem Cobb. Na Figura 1, é apresentado um esquema do galpão de pressão positiva com ventilação lateral.

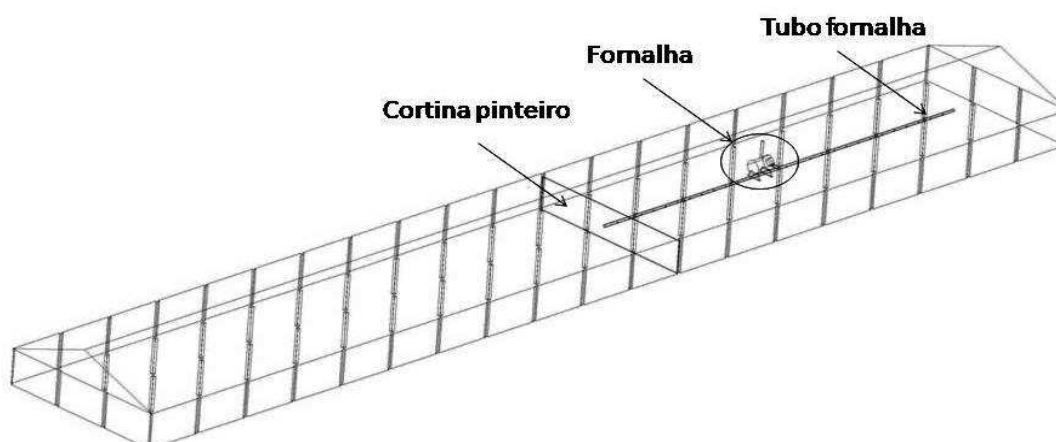


Figura 1 - Esquema do galpão de pressão positiva com ventilação lateral, com pilares, dotado de uma fomalha.

O galpão de pressão negativa tipo túnel tem dimensões de 14 m de largura por 110 de comprimento; 2,45 m de altura do forro com sistema de aquecimento externo (TERMOAVES CAC 30.000) e de tubulação dupla para aquecimento interno; vazão de aproximadamente $6.800 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$; e temperatura do ar na saída de 75°C para uma população aproximada de frangos de 23.000 aves da linhagem Cobb. Na Figura 2, é evidenciado um esquema do galpão equipado por sistema de ventilação por pressão negativa tipo túnel, dotado de sistema de aquecimento por tubulação galvanizada e plástica inflável com pinteiro central.

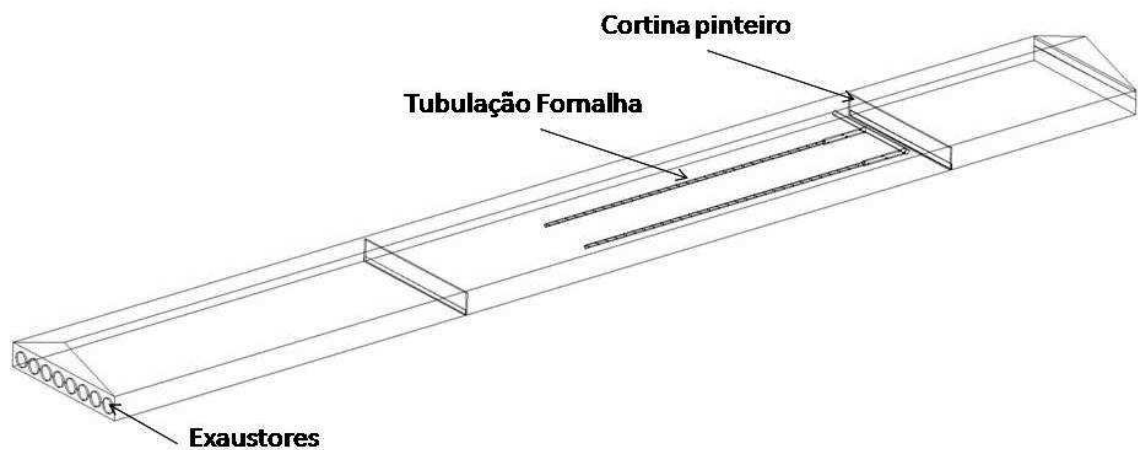


Figura 2 - Esquema do galpão equipado por sistema de ventilação por pressão negativa tipo túnel.

Em ambos os aviários foram utilizados pinteiros com cortinas interiores de polietileno para restringir determinada área do galpão para criação dos pintinhos e reduzir a área a ser aquecida. Essa área foi sendo paulatinamente aumentada com o crescimento dos pintinhos.

2.2. Aquisição de dados experimentais

Para a coleta de dados do ambiente térmico, duas redes de sensores de umidade e de temperatura do ar foram instaladas de maneira uniforme e equidistante dentro dos dois galpões à altura das aves. Os sensores foram distribuídos em forma de malha com espaçamento aproximado entre esses de

10,5 m no comprimento e 4 m, na largura. Também foi instalado um sensor de umidade relativa e outro de temperatura dentro de um abrigo meteorológico, localizado nas vizinhanças dos galpões, para o monitoramento das condições ambientais externas. Os sensores foram conectados entre si por uma rede de transmissão de dados com tecnologia 1-Wire™. O sistema 1-Wire™ é um sistema que foi desenvolvido pela Dallas Semiconductor. Especificamente, é uma rede de transmissão de dados de baixo custo, também conhecida como MicroLAN™, que possibilita a comunicação digital entre o computador, “mestre”, e dispositivos da série 1-Wire™, como sensores e adaptadores, atuando como “escravos” (DALLAS SEMICONDUCTOR, 2009). O “mestre”, nesse caso, é o elemento capaz de controlar e gerenciar a transmissão de dados. O “escravo” é o dispositivo endereçado e gerenciado pelo “mestre”. Na Figura 3, é apresentado o esquema de distribuição dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar dentro dos aviários.

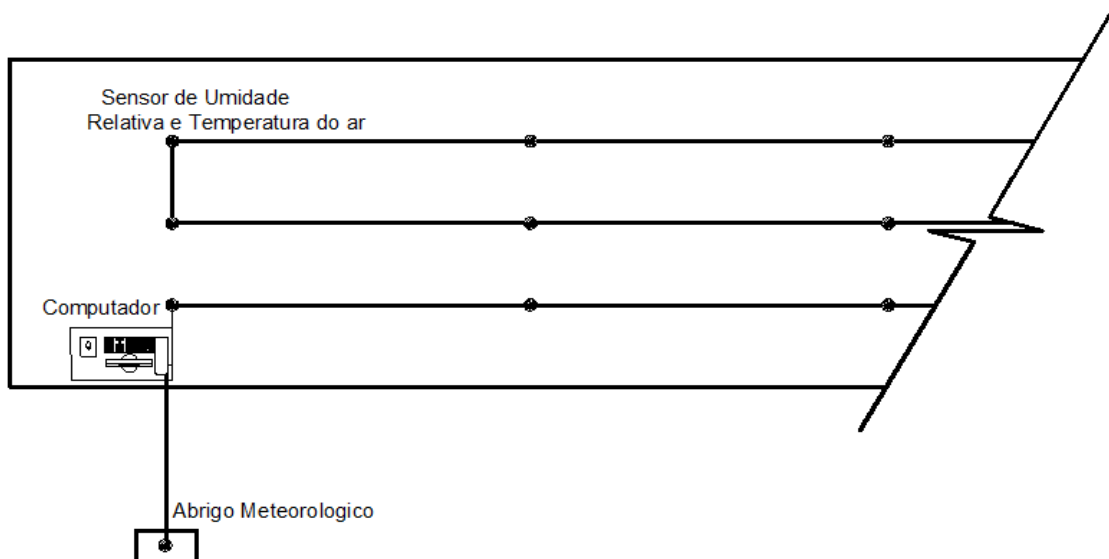


Figura 3 - Esquema da distribuição dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar dentro dos aviários.

O conjunto de sensores foi conectado a um computador, e o programa computacional STRADA, desenvolvido por Rocha et al. (2008), foi utilizado para aquisição e transmissão remota de dados dos sensores. Foram coletados dados de temperatura de bulbo seco do ar (Tbs) e umidade relativa (UR) em tempo real, utilizando os sensores conectados ao computador com ajuda do adaptador tipo USB DS9490 conectados à porta USB. Para coletar os dados de

umidade relativa foi usado o sensor HIH4000; para temperatura, utilizaram-se os sensores DS2438 e DS18B20¹. Nas Figuras 4 e 5, são apresentados os sensores utilizados no experimento e a rede dentro do galpão.

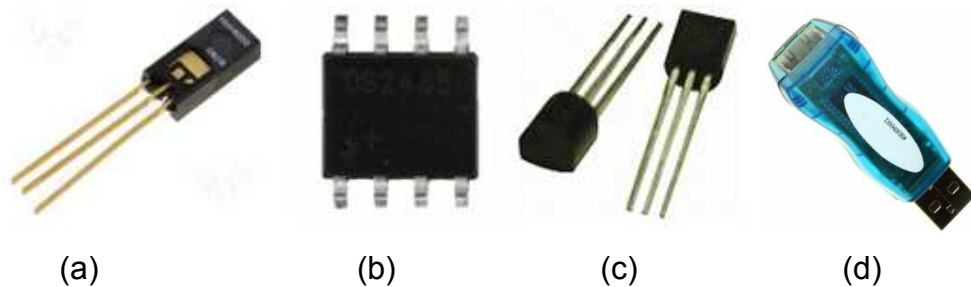


Figura 4 - Sensores e a adaptador da serie 1-WireTM: (a) sensor de umidade relativa do ar HIH4000; (b) sensor de temperatura DS2438; (c) sensor de temperatura DS18B20; e (d) adaptador USB DS9490R.



Figura 5 - Computador e sensores de umidade relativa e temperatura do ar conectados entre si por uma rede de transmissão de dados 1-WireTM.

¹ O HIH4000 é um sensor de umidade relativa do ar tipo circuito integrado, de baixo custo da empresa Honeywell. O sinal dele é uma saída de voltagem linear, a faixa de medição vai de 0 até 100% de umidade relativa do ar, com faixa de temperatura de trabalho de -40°C até 85°C, tolerância de $\pm 2\%$. O sensor DS2438 é um sensor de temperatura tipo circuito integrado, de baixo custo da empresa Dallas Semiconductor. O sinal de saída dele é linear, com faixa de temperatura de trabalho de -40°C até 85°C, além de reconhecer e endereçar o sensor HIH4000 com seu mesmo endereço, já que o sensor de umidade relativa do ar HIH4000 é fabricado por uma empresa diferente e não possui endereço próprio, configurando juntos um dispositivo de medição de temperatura e umidade relativa do ar. O sensor DS18B20 é um sensor de temperatura tipo circuito integrado, de baixo custo da empresa Dallas Semiconductor. O sinal de saída dele é linear, com faixa de temperatura de trabalho de -55°C até 125°C, com exatidão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ na faixa de -10°C até 85°C. O DS9490 é um adaptador que funciona como ponte entre a porta USB do computador e os sensores.

Com os dados coletados, foram feitos gráficos do comportamento da temperatura ao longo do tempo e mapas que descrevem o ambiente térmico de umidade relativa do ar e de ITU médios para a condição diurna e noturna, para cada uma das três semanas de vida dos frangos, para cada uma das tipologias de aviários.

Para a avaliação da qualidade do ar, foram medidas as concentrações de CO, CO₂ e NH₃ do ar na entrada de ar do aviário, à altura de 0,20 m, referente à área de influência das aves e 1,60 m, referente à área de influência média do homem. A coleta de dados de concentração foi realizada de forma semicontínua duas vezes por semana, no período de 24 horas, durante as três semanas experimentais. Os dados foram registrados em oito horários, distribuídos ao longo de cada dia de coleta, a saber: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24 horas. Na Figura 6, é apresentada uma fotografia ilustrativa dessa coleta.



Figura 6 - Medição das concentrações de NH₃, CO₂ e CO ao nível do pintinho.

A coleta de dados de concentração de gases atmosféricos foi realizada por meio de medidores digitais manuais tipo datalogger. A medição da concentração de NH₃ foi feita com um sensor digital BW GasAlert NH₃ Extremis BW-GAXT-A-DL, com uma faixa de medição de 0 até 100 ppm_v (temperatura de operação entre -20°C e 50°C), com alta sensibilidade a pequenas variações de concentrações. As concentrações de CO₂ foram determinadas usando um sensor AZ 77535 na faixa de 0 a 9999 ppm_v, que também pode ser utilizado para medir temperatura e umidade relativa do ar (UR) nas faixas -10°C a 60°C

e 0,1% a 99,99%, respectivamente. Os níveis de CO foram obtidos com o uso de um medidor digital manual de monóxido de carbono, modelo 7701, com uma faixa de medição de 0 a 999 ppm_v.

Com o objetivo de determinar a vazão de ar dos aquecedores e exaustores em cada galpão, foram obtidas as dimensões da entrada e saída de ar de cada um. A velocidade do ar foi medida com um anemômetro digital, da marca Lutron, modelo AM-4201, com faixa de operação de 0,4 a 30,0 m.s⁻¹. Os dados de velocidade do ar e das dimensões de entrada de ar nas instalações foram utilizados para a medição da vazão dos ventiladores e exaustores. A velocidade de ar também foi medida com um anemômetro de fio quente, da marca Testo, modelo 425, com faixa de operação de 0 a 20 m.s⁻¹, a uma amplitude térmica de -20°C a 50°C, resolução de 0,001 m.s⁻¹. Os dados de velocidade do ar obtidos em vários pontos equidistantes, formando uma malha homogênea na área dos aquecedores, exaustores e, ou, ventiladores, foram usados para avaliar a capacidade dos equipamentos em relação às dimensões do pinteiro e da ventilação mínima. O regime de funcionamento dos exaustores e aquecedores foi cuidadosamente monitorado quanto ao tempo em que permaneceram ligados e desligados

O conjunto da população de pintinhos foi fotografado durante o período experimental nos horários das coletas de dados de qualidade do ar com câmera fotográfica digital convencional. Com as fotografias, observou-se o comportamento das aves no espaço físico (áreas de presença e vazios) com o objetivo de identificar o deslocamento desses animais; conseqüentemente, detectaram-se zonas usualmente frias e de calor excessivo dentro do aviário.

Foi realizada a análise de variância, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado para avaliar o comportamento térmico ao nível dos pintinhos na condição mais difícil; ou seja, durante a primeira semana de vida. Foram feitos testes de médias para avaliar a variabilidade térmica: caso existisse diferença significativa entre as temperaturas internas dos dois galpões seria as médias durante a primeira fase, sendo os tratamentos as temperaturas internas médias do pinteiro para a condição de dia e noite durante a primeira semana de vida dos frangos nos locais representados graficamente na Figura 7, para o galpão de pressão negativa; e

na Figura 8, para o galpão de pressão positiva; a temperatura do ambiente externo foi a testemunha.

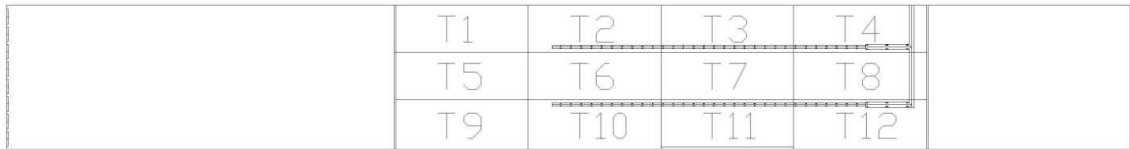


Figura 7 - Vista superior do galpão de pressão negativa na primeira semana com pinteiro dividido em 12 partes (tratamentos).

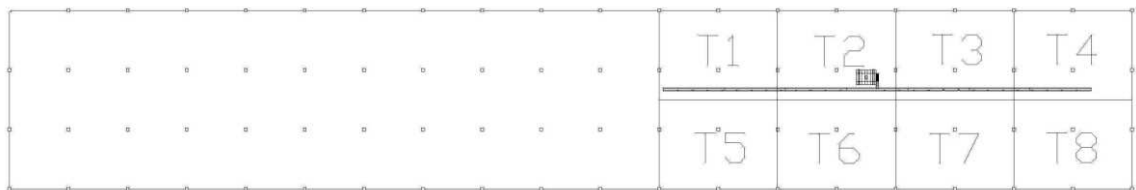


Figura 8 - Vista superior do galpão de pressão positiva na primeira semana com pinteiro dividido em oito partes (tratamentos).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ambiente térmico no interior dos aviários

Na Figura 9, está evidenciada a variação da temperatura dos galpões nos ambiente externo e interno. Observou-se que os valores médios de temperatura do ar dentro dos galpões, durante a maior parte da primeira semana, foram inferiores à faixa de temperatura de termoneutralidade correspondente para os pintinhos nessa idade; ou seja, os animais ficaram expostos a condições de estresse por frio boa parte do dia e da noite.

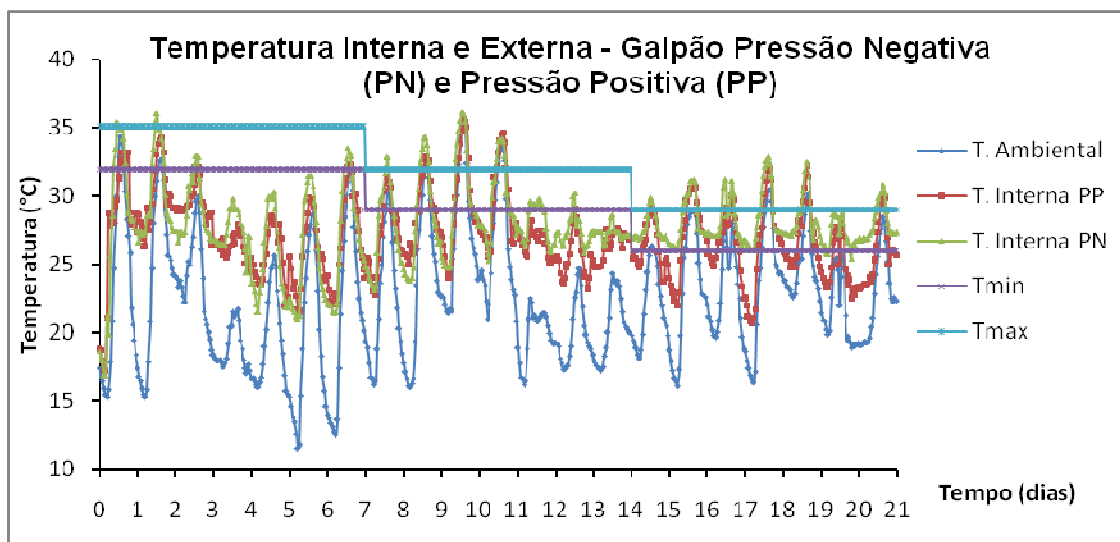


Figura 9 - Valores médios de temperatura dentro e fora dos galpões, durante a primeira fase de vida das aves, e faixas de conforto semanais.

Na Figura 9, pode-se observar que a temperatura interna do pinteiro do galpão de pressão negativa foi pouco maior do que a do galpão de pressão positiva, o que foi confirmado com análise estatística. A análise de variância e o teste de médias, sendo o tratamento 1 (TGPP), a temperatura média horária do galpão de pressão positiva, o tratamento 2 (TGPN), a temperatura média horária do galpão de pressão negativa, e a testemunha a temperatura média horária do galpão do ambiente externo, são apresentadas na Tabela 2, mostram que existe diferença significativa entre todos os tratamentos, embora os dois galpões apresentem diferença significativa na temperatura interna em relação ao ambiente, o galpão de pressão negativa apresenta uma temperatura média maior, estatisticamente diferente do galpão de pressão positiva, e com um desvio-padrão menor.

Tabela 1 - ANOVA para comparação entre temperaturas médias horárias internas dos galpões durante a primeira fase de vida dos frangos

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	8559.357	4279.679	333.329 *
Resíduo	1509	19374.38	12.839	
Total	1511	27933.737		F5%(2,1509)=3

* Existe diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2 - Teste de médias para temperaturas horárias dos galpões

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão
Testemunha	504	22.559 a	±4.754	±0.212
TGPP	504	27.078 b	±2.959	±0.132
TGPN	504	28.006 c	±2.677	±0.119

As médias unidas por uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nas Figuras 10 e 11, pode-se observar os mapas dos valores médios de temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e ITU médios, para a condição de dia e noite ao longo da primeira semana de vida dos frangos no interior dos galpões de pressão negativa e de pressão positiva, respectivamente. Segundo Curtis (1983) e Abreu (2003), a temperatura ideal para frangos de corte durante a primeira semana de vida está entre 32°C e 35°C; a umidade relativa do ar ideal, entre 50% e 70%; e o ITU, entre 72,4 e 80. Para Cassuce (2011), a faixa de temperatura de conforto para a primeira semana de vida dos frangos está entre 31,3°C e 33°C. Tendo em contas essas referências, para o galpão de pressão negativa, observou-se que dentro do pinteiro, tanto de dia quanto à noite, a temperatura e o ITU estiveram dentro da faixa de conforto; a variável umidade relativa em alguns locais esteve ligeiramente baixa, chegando a 40%. Para o galpão de pressão positiva, notou-se que dentro do pinteiro, tanto de dia quanto à noite, a temperatura e o ITU estiveram dentro da faixa de conforto só perto da fomalha, com condição de estresse principalmente nas esquinas do pinteiro e perto das cortinas. A umidade relativa em alguns locais esteve pouco baixa. Essa condição de desuniformidade pode ser explicada pelo fato de o ar estar relativamente parado.

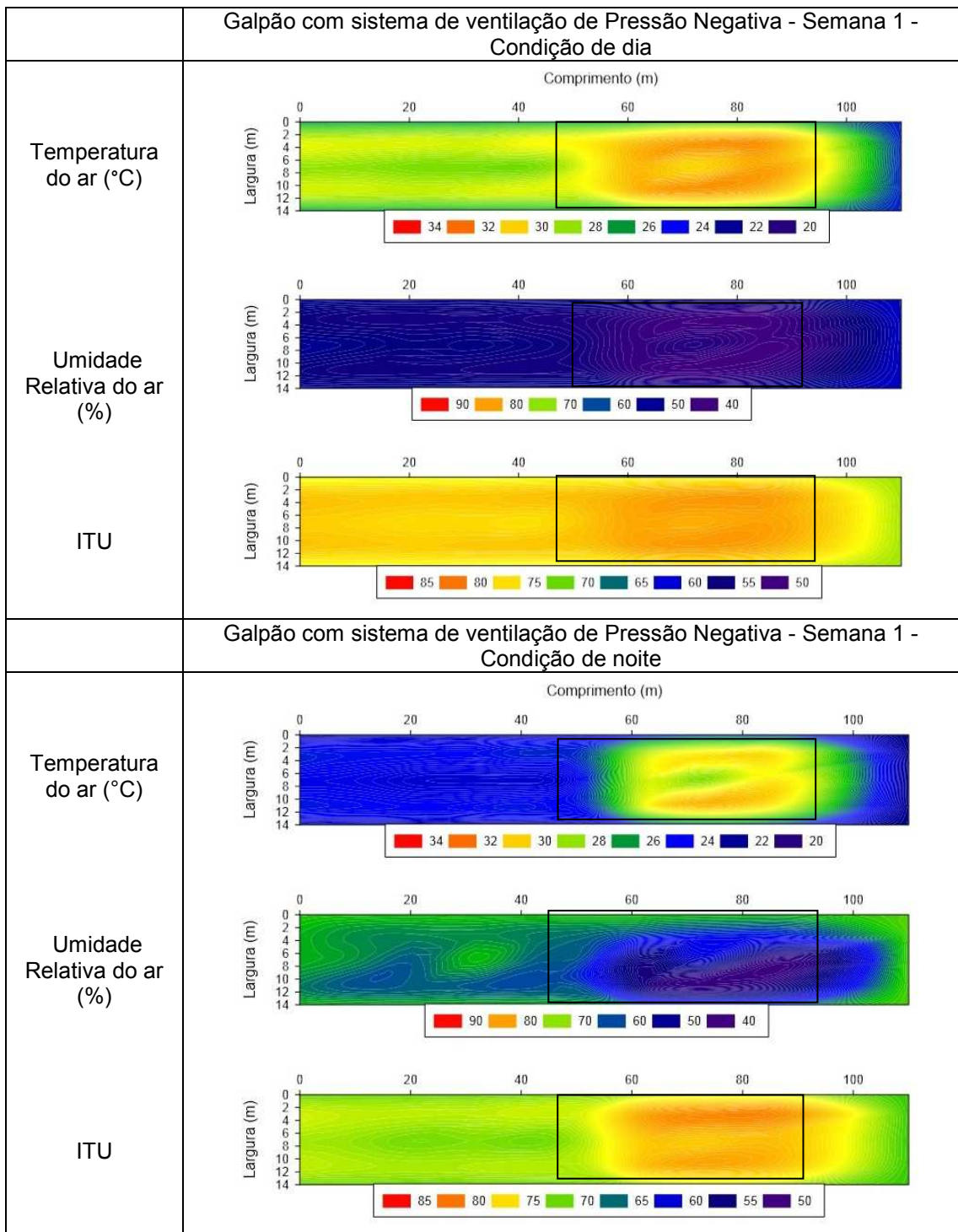


Figura 10 - Mapas de temperatura média do ar, umidade relativa do ar e ITU no interior do galpão com sistema de ventilação de pressão negativa, na primeira semana de vida das aves, durante o período diurno e noturno.

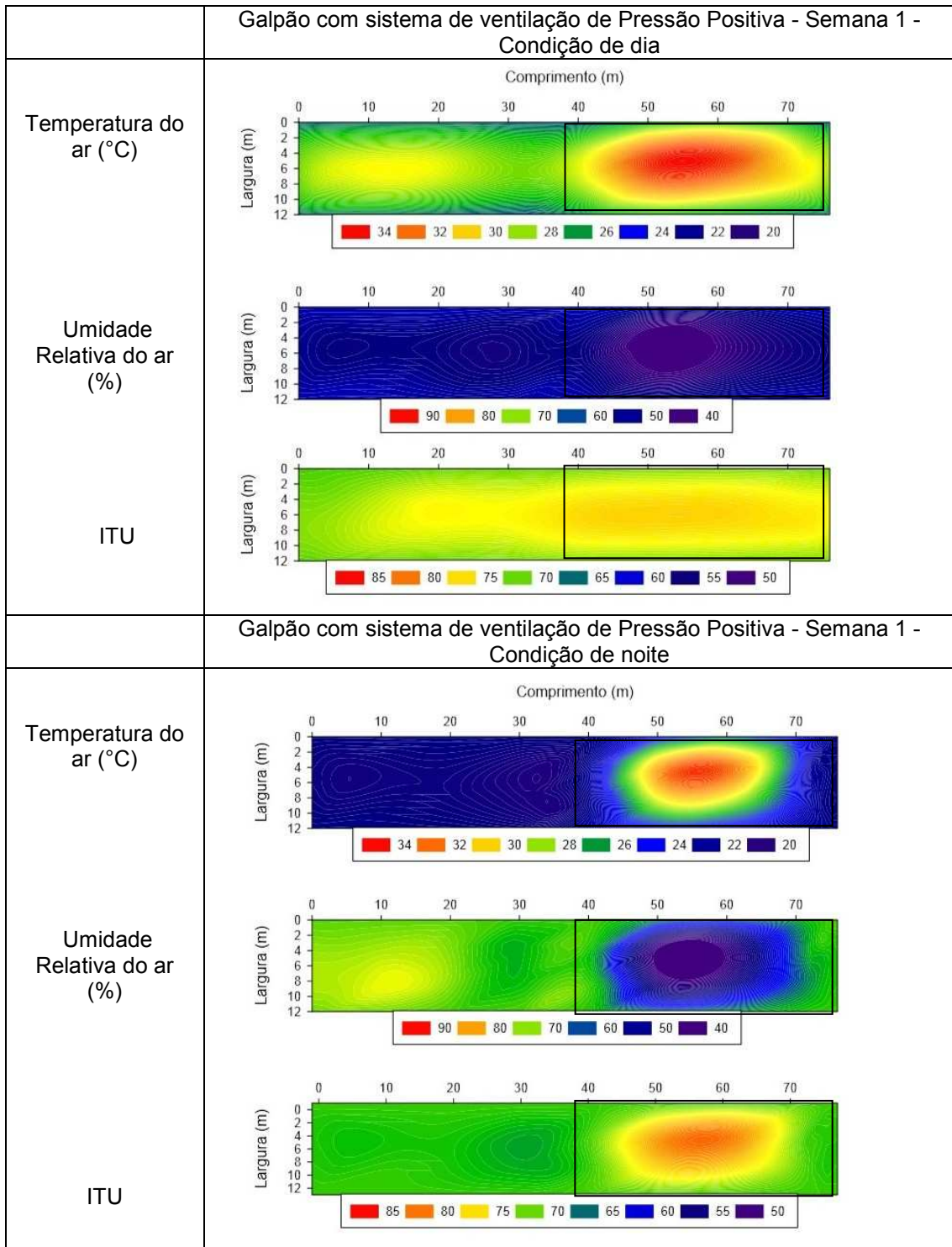


Figura 11 - Mapas de temperatura do ar, umidade relativa do ar e ITU no interior do galpão com ventilação de pressão positiva na primeira semana de vida das aves.

Foram feitas a análise de variância e o teste de médias (Tabelas 3, 4, 5 e 6) com os tratamentos as temperaturas internas médias do pinteiro para a condição de dia e noite durante a primeira semana de vida dos frangos nos locais representados graficamente nas Figuras 7 e 8 para os galpões de pressão negativa e positiva, respectivamente;. como a testemunha, a temperatura do ambiente externo evidencia que existe diferença significativa entre todos os tratamentos e o ambiente externo. Foi observada relativa uniformidade térmica dentro do pinteiro no galpão de pressão negativa, o que pode-se observar também nos mapas da Figura 10. Entretanto, dentro do pinteiro do galpão de pressão negativa existe diferença significativa só entre os tratamentos que estão ao redor da fofnalha (T1, T4, T5, e T8) e o ambiente externo, apresentando desuniformidade térmica dentro do pinteiro, indicando que existem locais quentes no centro do pinteiro (perto da fofnalha) e frios nas esquinas dele, o que se pode observar também nos mapas da Figura 11. Esses dados servem para validar estatisticamente a informação gráfica desses mapas e confirmar que aquecer um aviário não é uma tarefa fácil no Brasil, uma vez que as instalações são abertas e com pouco ou nenhum isolamento térmico (CORDEIRO, 2010), sobretudo em galpões com sistema de aquecimento subdimensionado.

Tabela 3 - ANOVA para dados de temperatura galpão de pressão negativa primeira semana

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	12	792,497	66,041	16,489
Residuo	169	676,863	4,005	
Total	181	1469,36		F5%(12,169)=1,75

* Existe diferencia significativa em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Análise de médias pelo teste Tukey

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão
Testemunha	14	21,861 a	±3,866	±1,033
T1	14	27,561 bc	±2,685	±0,333
T2	14	29,032 bc	±1,305	±0,305
T3	14	29,694 bcd	±1,141	±0,349
T4	14	29,715 cd	±1,245	±0,718
T5	14	27,197 b	±2,826	±0,735
T6	14	29,263 bcd	±1,353	±0,301
T7	14	28,588 bc	±1,401	±0,232
T8	14	29,153 bcd	±1,559	±0,334
T9	14	27,203 b	±2,749	±0,417
T10	14	29,431 bcd	±1,125	±0,375
T11	14	30,139 d	±0,869	±0,362
T12	14	29,444 bcd	±1,249	±0,755

As médias unidas por uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 5 - ANOVA para dados de temperatura galpão de pressão positiva primeira semana

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	8	1732,216	216,527	24,998 *
Resíduo	117	1013,442	8,662	
Total	125	2745,659		F5%(8,117)=2,02

* Existe diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Teste de médias pelo teste Tukey

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão
Testemunha	14	21,86a	±3,866
T1	14	23,81 a	±3,741
T2	14	31,63 b	±1,460
T3	14	31,64 b	±1,545
T4	14	23,37 a	±3,568
T5	14	23,22 a	±3,655
T6	14	29,63 b	±1,604
T7	14	28,81 b	±1,561
T8	14	23,93 a	±3,659

As médias unidas por uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nas Figuras 12 e 13, estão representados os mapas para os dados médios de temperatura de bulbo seco, umidade do ar e ITU, para a condição de dia e noite ao longo da segunda semana de vida dos frangos no interior do galpão de pressão negativa e de pressão positiva, respectivamente. Segundo Curtis (1983), a temperatura ideal para frangos de corte durante a segunda semana de vida está entre 29°C e 32°C; a umidade relativa do ar, entre 50% e 70%; e o ITU ideal, entre 68,4 e 76,0. Para o galpão de pressão negativa, observou-se que no interior do pinteiro tanto de dia quanto à noite esteve com temperatura e ITU dentro da faixa de conforto, a umidade relativa aumentou um pouco, estando dentro da faixa de conforto. Para o galpão de pressão positiva, do mesmo jeito do que na primeira semana, observa-se que dentro do pinteiro tanto de dia quanto à noite esteve com temperatura e ITU dentro da faixa de conforto só nas regiões próximas da fomalha, com condição de estresse principalmente nas esquinas do pinteiro e perto das cortinas. Essa condição de desuniformidade pode ser explicada o tipo de aquecimento pontual e o ar relativamente parado. A umidade relativa do ar geral esteve dentro da faixa considerada como adequada para as aves.

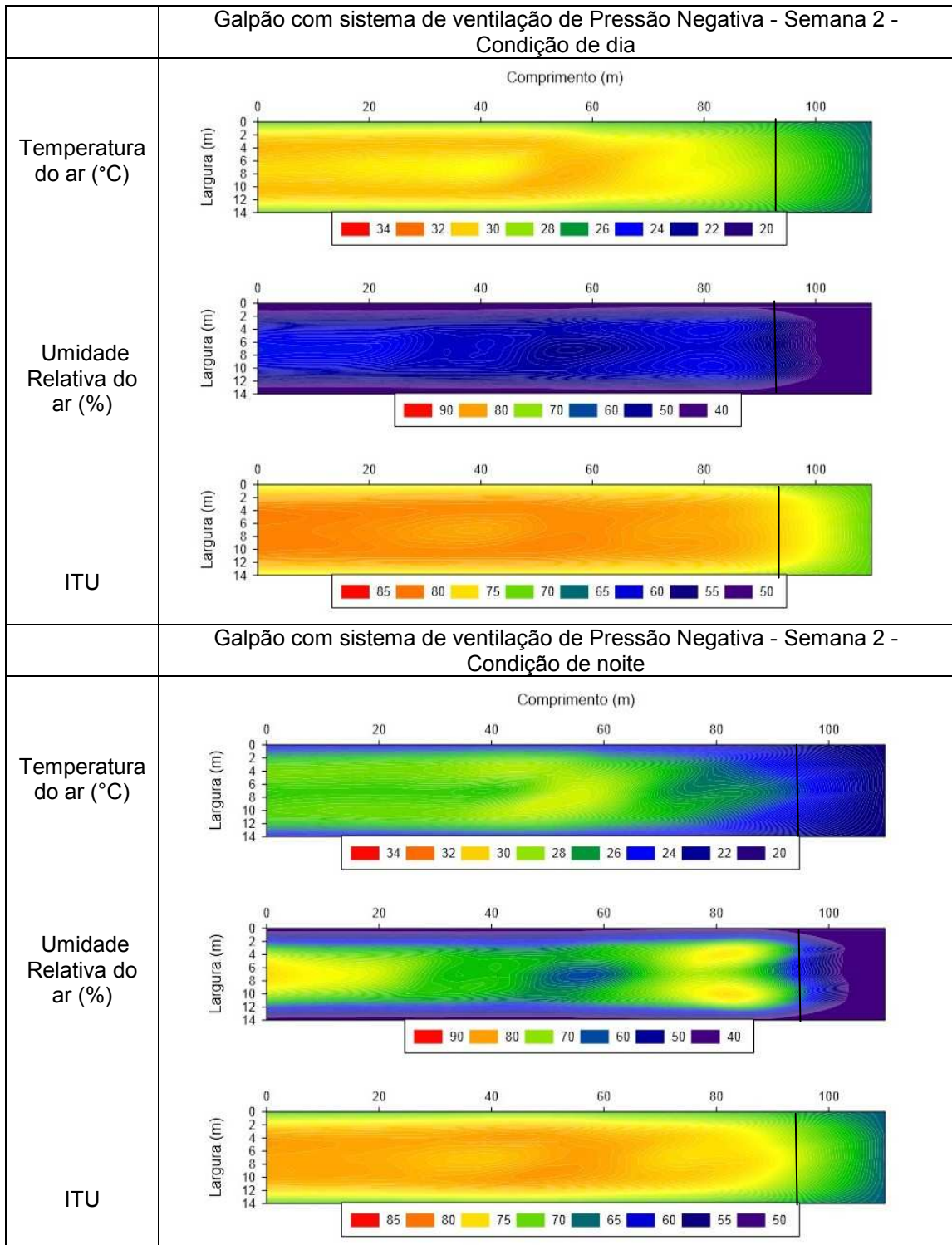


Figura 12 - Mapas de temperatura, umidade relativa do ar e ITU no interior do galpão com sistema de ventilação de pressão negativa para a segunda semana de vida das aves.

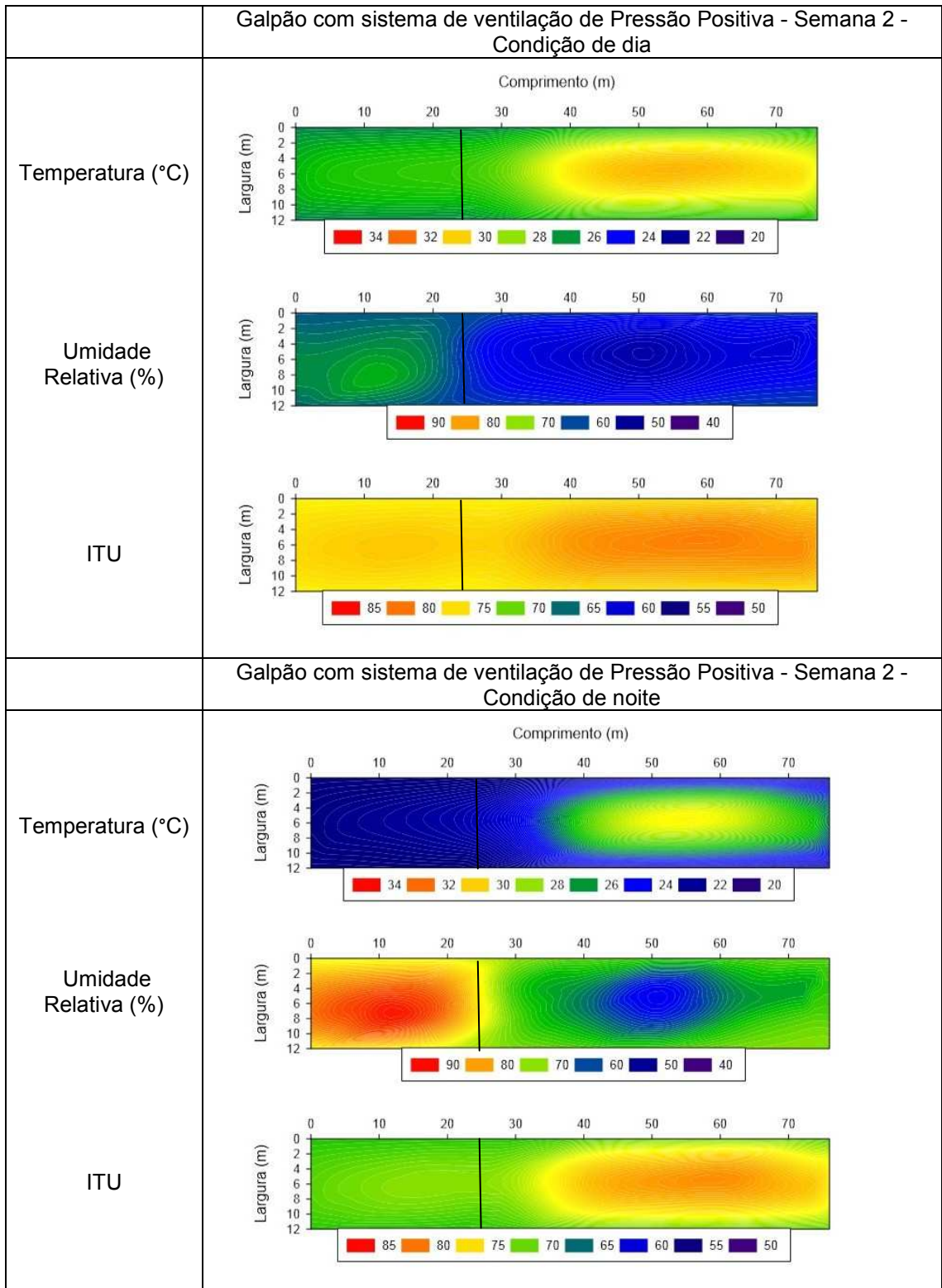


Figura 13 - Mapas de temperatura, umidade relativa do ar e ITU no interior do galpão com sistema de ventilação de pressão positiva para a segunda semana de vida das aves.

Nas Figuras 14 e 15, encontram-se apresentados os mapas dos valores médios de temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e ITU, para a condição de dia e noite ao longo da terceira semana de vida dos frangos no interior dos galpões de pressão negativa e de pressão positiva, respectivamente. Segundo Curtis (1983), a temperatura ideal para frangos de corte durante a terceira semana de vida deve estar compreendida em uma faixa de 26°C e 29°C; a umidade relativa do ar ideal, entre 50 e 70%; e o ITU ideal, entre 64,5 e 72. Neste experimento para a terceira semana, o sistema de aquecimento foi desligado e os animais ocuparam a totalidade da área do galpão. Para o galpão de ventilação de pressão negativa, observou-se que dentro do pinteiro tanto de dia quanto à noite a temperatura e o ITU estiveram dentro da faixa de conforto; no entanto, estando um pouco frio perto da entrada de ar e mais quente na saída, produto do calor gerado pelos mesmos frangos. A umidade relativa aumentou sobretudo perto da entrada de ar, conseqüentemente saindo da faixa de conforto. Para o galpão de pressão positiva, observou-se que durante o dia temperatura, umidade relativa e ITU estiveram dentro da faixa de conforto, mas durante a noite passaram para a faixa com condição de estresse térmico, com temperaturas abaixo da zona de conforto e ambiente úmido; entretanto, o ITU foi ajudado pela umidade relativa elevada, aumentando a sensação térmica dos animais.

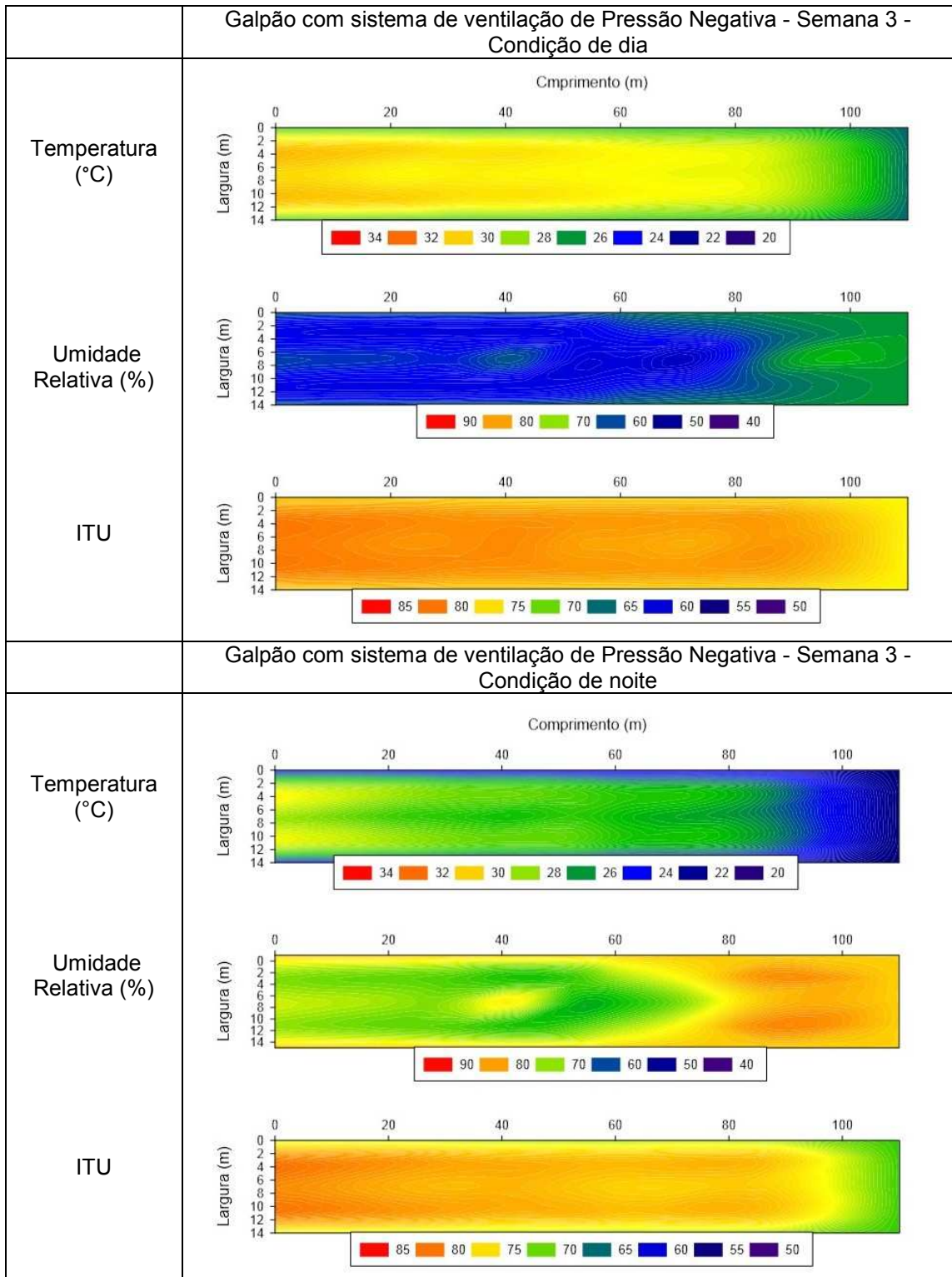


Figura 14 - Mapas de temperatura, umidade relativa do ar e ITU no interior do galpão com sistema de ventilação de pressão negativa na terceira semana de vida das aves.

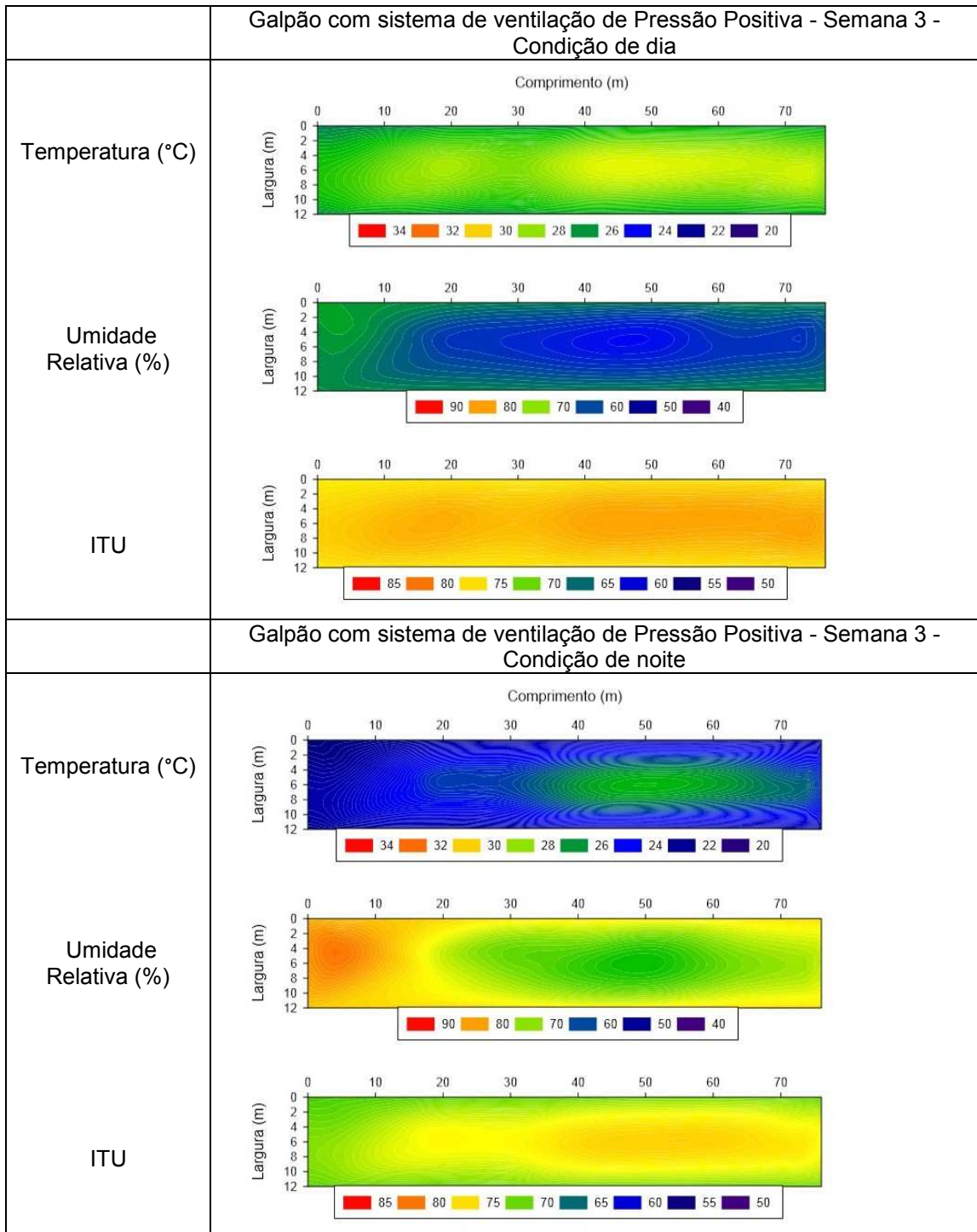


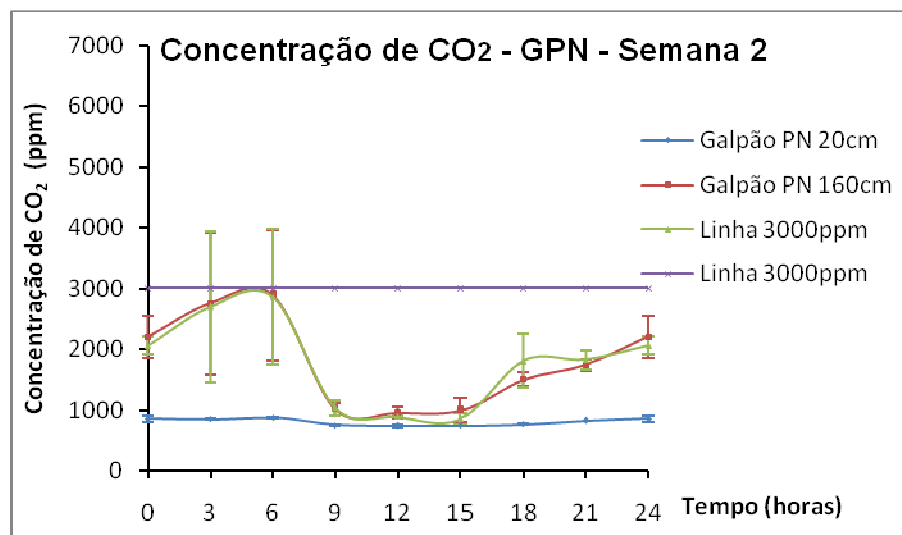
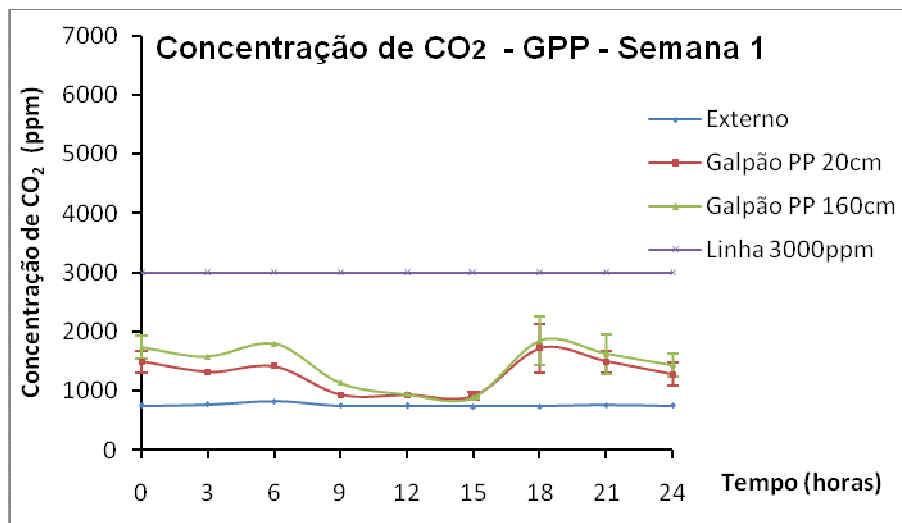
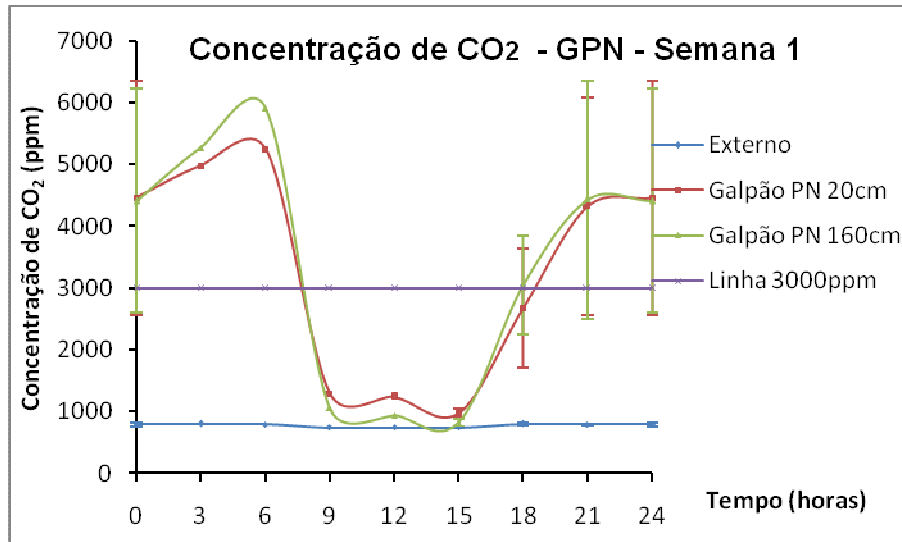
Figura 15 - Mapas de temperatura, umidade relativa do ar e ITU no interior do galpão com sistema de ventilação de pressão positiva na terceira semana de vida das aves.

3.2. Ambiente aéreo

Na Figura 16, encontram-se apresentados os dados médios de CO₂ para os dois aviários. Em termos gerais, a concentração de CO₂ esteve dentro dos limites permissíveis, isto é, abaixo de 3.000 ppm_v (COBB, 2008), com exceção da primeira semana no galpão de pressão negativa, fato esse justificado por defeito na sua chaminé, que levou a entrada de fumaça pelas paredes do galpão. Esse erro foi corrigido, refletindo na melhora da qualidade do ar com respeito a essa variável para as semanas seguintes. Em geral, a concentração de CO₂ esteve dentro dos limites permissíveis por causa de uma menor necessidade de oxigênio por parte dos frangos, já que nas primeiras semanas de vida o tamanho e a massa deles é menor, além de ter uma cama de primeiro uso. Observou-se também diminuição da concentração de CO₂ nas horas mais quentes do dia, das 9 às 15 horas, o que pode ser explicado pela menor necessidade de aquecimento e maior ventilação.

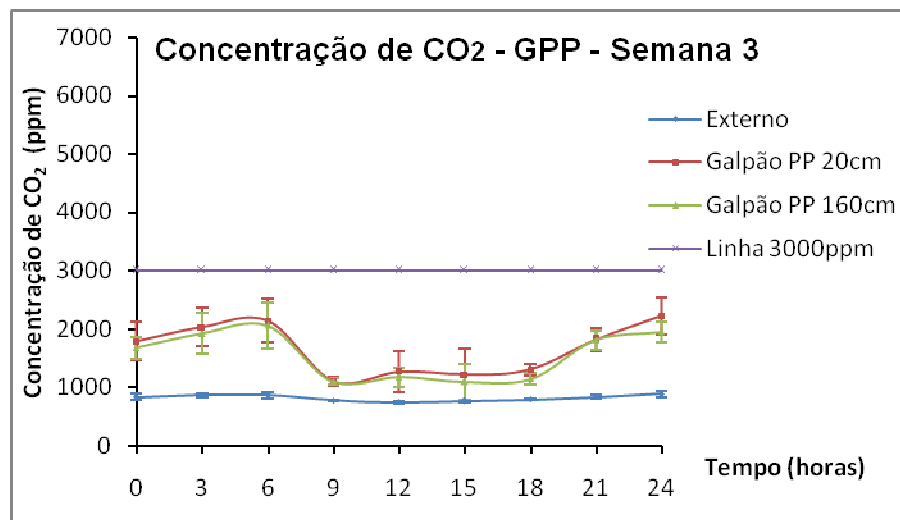
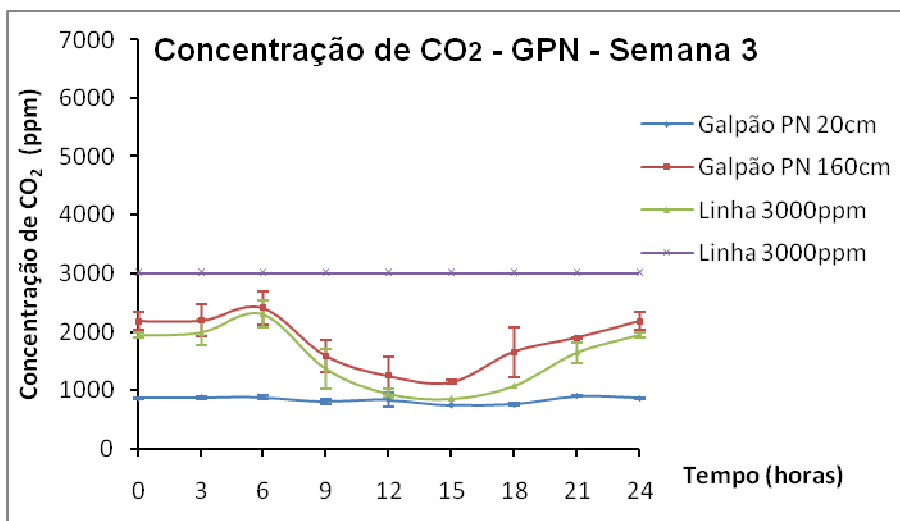
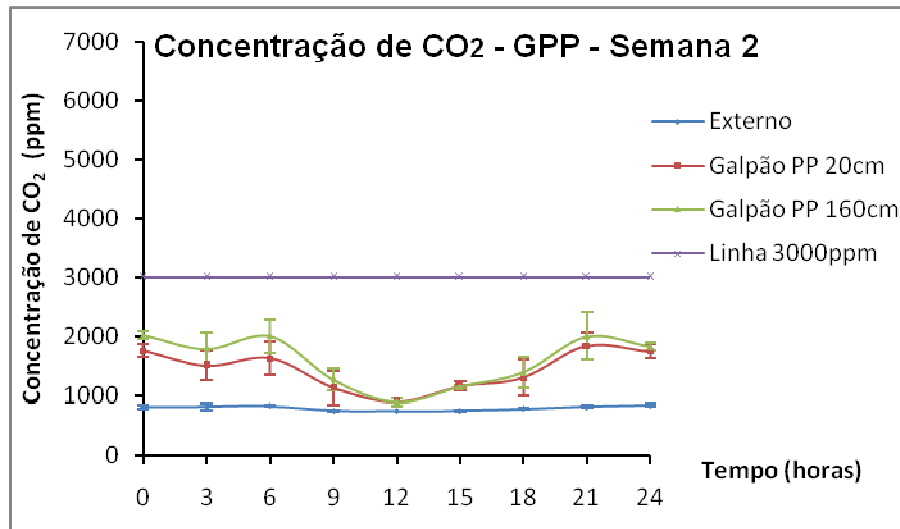
Em relação ao CO, em termos gerais, a concentração desse esteve dentro dos limites permissíveis; ou seja, abaixo do limite máximo de 10 ppm_v (WATHES, 1999). Como o aquecimento só foi feito durante as duas primeiras semanas de vida das aves, essa variável só foi identificada durante esse período de tempo. O sistema de aquecimento do galpão de pressão negativa está constituído por fornalha externa; portanto, só se apresentou pequena leitura durante a primeira semana experimental, em razão da entrada de fumaça pelas paredes do galpão. No galpão de pressão positiva a concentração de CO apresentou-se maior, tanto no horário noturno quanto pela manhã por causa de a fornalha ser no interior do galpão. Na Figura 17 está evidenciada essa situação.

Conforme os dados coletados, não se identificam valores de concentrações de amônia nas duas primeiras semanas experimentais (Figura 18), uma vez que a cama nos dois galpões foi de primeiro uso. A partir da terceira semana de vida das aves, podem-se identificar registros de emissão de amônia, contudo estando abaixo do limite tolerável de 10 ppm_v (COBB, 2008).



(a)

Continua...



(b)

Figura 16 - Valores de concentração de dióxido de carbono (CO₂) em ppm ao longo do tempo para o galpão equipado com sistema de ventilação por: (a) pressão positiva (GPP); e (b) pressão negativa (GPN).

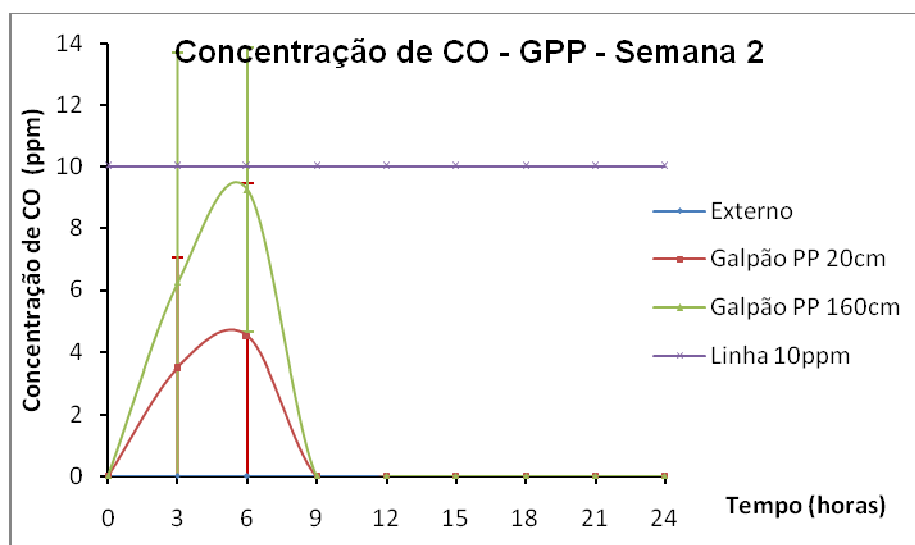
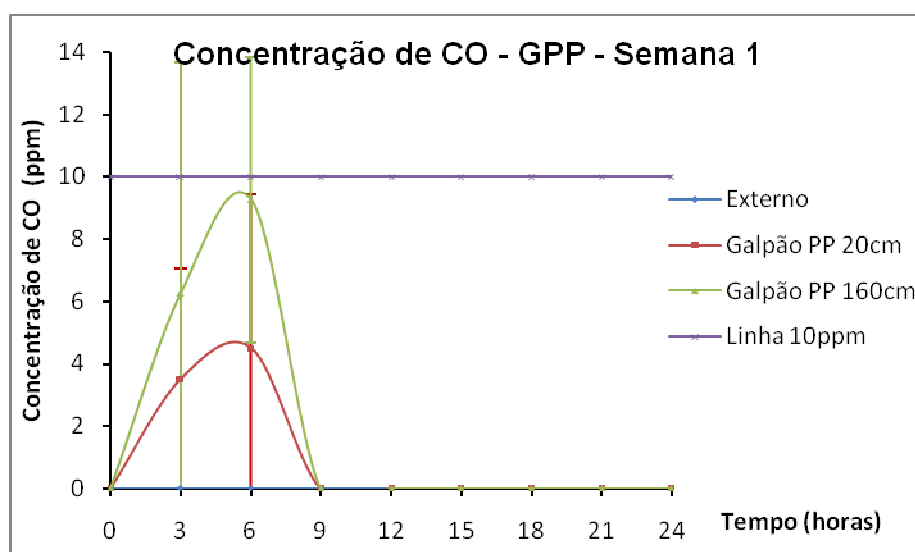
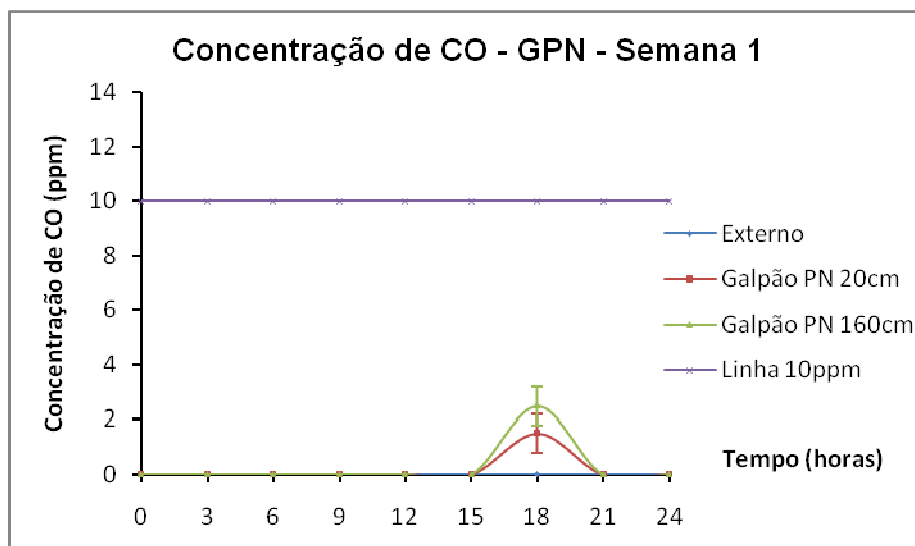


Figura 17 - Concentração de monóxido de carbono (CO) em ppm_v ao longo do tempo para os galpões de pressão positiva (GPP) e pressão negativa (GPN).

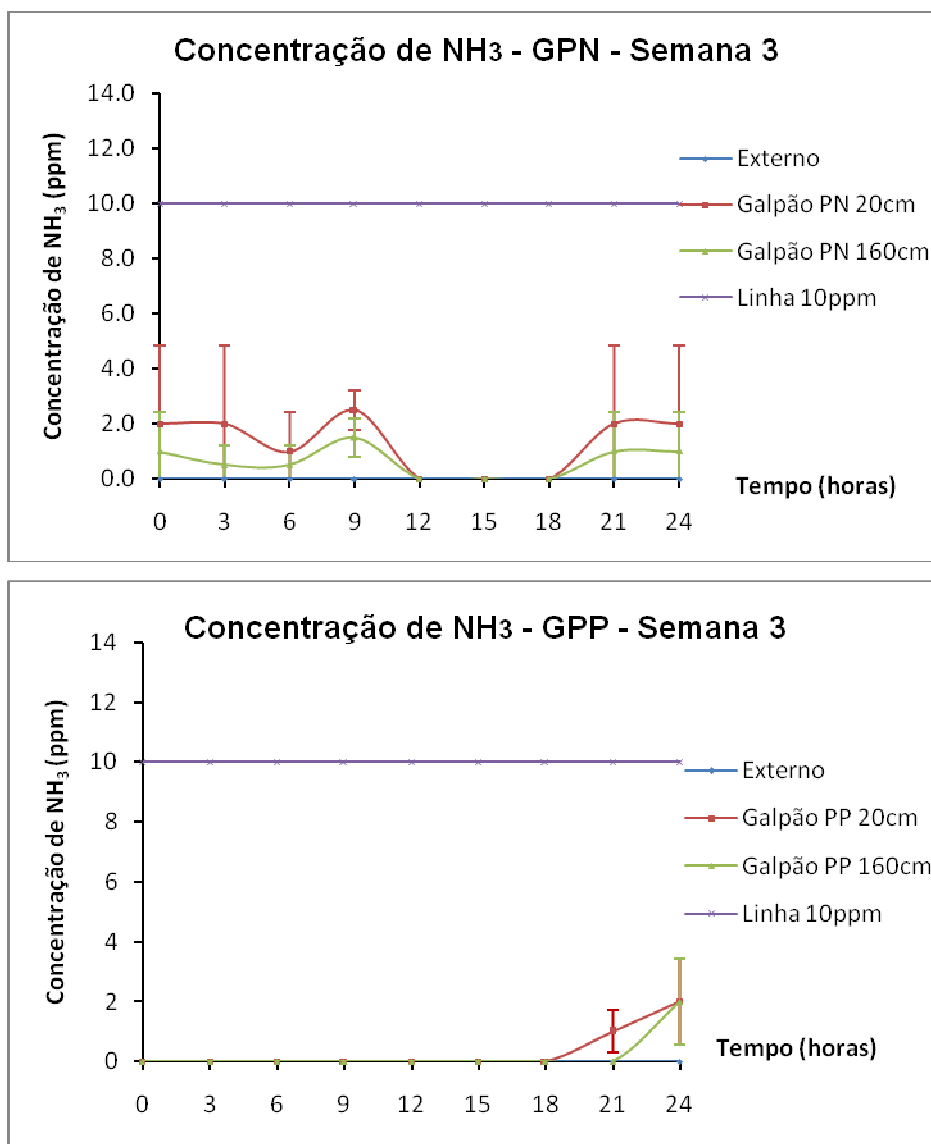


Figura 18 - Valores médios de concentração de amônia em ppm ao longo do tempo para os galpões com sistema de ventilação de pressão positiva (GPP) e pressão negativa em modo túnel (GPN).

4. CONCLUSÕES

Tendo em vista a forma como foi realizado este experimento e com base nos resultados obtidos, pôde-se concluir que:

- O mapeamento do comportamento das variáveis ambientais no espaço dentro dos galpões é ferramenta muito útil na hora de entender e tomar decisões para a melhorar as condições de conforto ambiental no interior das

instalações, especialmente na fase de aquecimento. De acordo com os mapas, deve-se colocar mais atenção no isolamento externo dos aviários.

- A temperatura, embora seja indicativo da condição térmica, não necessariamente reflete na verdadeira sensação térmica dos animais; outros fatores influenciam fortemente o conforto térmico como umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação. O ideal é, além de se terem os sensores de temperatura próprios da instalação, ter pelo menos um sensor de umidade relativa, para maior informação e indicação mais precisa sobre a condição de ambiência oferecida aos animais.
- O galpão de pressão negativa do tipo túnel apresentou melhor distribuição térmica e melhor condição de conforto térmico do que o de pressão positiva lateral.
- A qualidade do ar, em termos da concentração de NH₃, CO₂ e CO, ficou, em geral, dentro dos limites permissíveis para a primeira fase de criação das aves, em galpões com cama de primeiro uso; sobretudo, quando se teve adequada ventilação mínima e queima completa no processo de combustão das fornalhas.

5. REFERÊNCIAS

ABREU, P.G. Modelos de aquecimento. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 4, 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó, 2003. p. 65-77.

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

BUTCHER, G.D.; NILIPOUR, A.H. **Broiler management: the first 24 hours.** Florida: Institute of Food and Agricultural Sciences, 2002. 4 p.

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

COBB-VANTRESS, A. **Guia de manejo del pollo de engorde.** Siloam Springs, Arkansas, 2008. 65 p.

CORDEIRO, M.B. **Análise de imagens na avaliação do comportamento, do bem-estar e do desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I.F.F.; SILVA, J.N.; VIGODERIS, R.B.; PINTO, F.A.C.; CECON, P.R. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 217-224, 2010.

CRONEY, C.C.; MILLMAN, S.T. Board-invited review: the ethical and behavioral bases for farm animal welfare legislation. **Journal Animal Science**, v. 85, p. 556–565, 2007.

CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture.** The Iowa State University Press. 1983. 409 p.

DALLAS SEMICONDUCTOR. **1-wire design guide.** 2009. Disponível em: <<http://www.maxim-ic.com>>.

FARIA, F.F.; MOURA, D.J.; SOUZA, Z.M.; MATARAZZO, S.V. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2498-2505, 2008.

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

GARCIA NETO, M.; CAMPOS, E.J. Suscetibilidade de linhagens de frangos de corte à síndrome ascítica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 803-808, 2004.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAUDE – OMS. **Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.** Ginebra, Suiza, 2005.

ROCHA, K.S.O.; MARTINS, J.H. ; TINÔCO, I.F.F.; MELO, E.C.; LOPES, D.C.; HERMSDORFF, W. Remote environmental monitoring and management of data systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM LIVESTOCK ENVIRONMENT, 8, 2008. **Proceedings...** 2008. p. 1001-1008.

SANTOS, P.A. **Qualidade do ar, conforto térmico e desempenho de frangos de corte em dois sistemas de aquecimento e ventilação.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-59, 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**, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001.

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

WEST, J.B.; WATSON, R.R.; FU, Z. Major differences in the pulmonary circulation between birds and mammals. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, v. 157, p. 382-390, 2007.

WHATES, C.M. Strive for clean air your poultry house. **World Poultry**, v. 15, n. 3, p. 17-19, 1999.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM DA DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAIS (CFD) DO AMBIENTE TÉRMICO DE AVIÁRIO COM SISTEMA DE VENTILAÇÃO POR PRESSÃO NEGATIVA EM MODO TÚNEL PARA FRANGOS DE CORTE DURANTE A FASE INICIAL DE CRESCIMENTO

RESUMO: A otimização dos processos produtivos tem grande importância no mundo em contínuo desenvolvimento e avanço. Com a finalidade de avaliar o desempenho produtivo no setor avícola, faz-se necessária a adequação do ambiente de criação das aves com técnicas que atendam às exigências de conforto térmico do ambiente das instalações com maior eficiência energética. Neste trabalho, avaliou-se o ambiente térmico interno de um galpão de pressão negativa tipo túnel durante a primeira fase de crescimento de frangos de corte da linhagem Cobb. A validação do comportamento térmico neste período foi realizada, utilizando a dinâmica dos fluidos computacional (CFD). O modelo computacional apresentou ser ferramenta eficaz para o entendimento e melhoria dos desenhos dos ambientes de criação nesse tipo de galpão.

Palavras-chave: Ambiente térmico, conforto térmico, dinâmica dos fluidos computacional, modelagem computacional.

ABSTRACT: The optimization of production processes is of great importance in the world in continuous development and advancement. In order to evaluate the productive performance in poultry production, it is necessary the suitability of the authoring environment of birds, with techniques that address the issues of thermal comfort and in door environment and greater energy efficiency. This study evaluated the thermal environment of a domestic shed negative pressure tunnel type during the first growth phase of broilers Cobb, and carried out a validation of the thermal behavior during this period using the computational fluid dynamics. The computational model proved to be an effective tool for understanding and improving the designs of the environments to create this kind of sheds.

Keywords: Thermal environment, thermal comfort, computational fluid dynamics, computational modeling.

1. INTRODUÇÃO

O estudo da ambiência animal analisa e estabelece as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação, bem como determina métodos e princípios para detalhada análise das condições térmicas de um ambiente (CRONEY; MILLMAN, 2007). A necessidade desse estudo tem a ver com as novas exigências do mercado consumidor de produtos de origem animal quanto à questão ambiental, segurança alimentar e bem-estar animal. Dentre os fatores

do ambiente, os térmicos são os que afetam mais diretamente os frangos, principalmente na fase inicial de crescimento e em períodos de climas frios.

A fase inicial de crescimento é a que demanda mais cuidado e atenção por parte do produtor, pois erros cometidos não poderão ser corrigidos futuramente, afetando assim o desempenho final das aves (CORDEIRO, 2007; BUTCHER; NILIPOUR, 2002). Essa necessidade de calor é suprida na natureza pela galinha, que se cobre com as asas, transferindo o calor para os pintos. Para atender às exigências de conforto térmico das aves, o aquecimento é fundamental no início da vida e dele depende o bom desenvolvimento animal (TINÔCO, 2001). No inverno, esse item merece atenção redobrada, pois é maior a necessidade energética para suprir a diferença entre a temperatura ideal para os pintos e a do ambiente externo (CORDEIRO, 2010). Durante boa parte do ano, não só no inverno, mas principalmente em períodos noturnos de todo o ano, deve-se dar atenção ao aquecimento do ambiente (VIGODERIS, 2006; CORDEIRO, 2007). É sempre importante que os aviários proporcionem condições ambientais adequadas.

Dentro das ferramentas que têm sido utilizadas para caracterizar a ambiência térmica, estão os índices de conforto (BAÊTA; SOUZA, 2010), os mapas de krigagem (FARIA et al., 2008) e os modelos de troca de calor e massa com base na Dinâmica dos Fluidos Computacionais (CFD). Os modelos de troca de calor e massa têm sido usados amplamente em estudos para avaliar o comportamento de algumas variáveis climáticas no interior de estruturas vegetais e animais (NORTON et al., 2009), indicando ser ferramenta interessante para o entendimento dos ambientes de criação. Não se tem registro de trabalhos sobre o ambiente térmico de aviários durante a primeira fase de crescimento utilizando esta técnica. Embora a escala natural (1:1) ofereça maior dificuldade para a análise da CFD, pela grande quantidade de nós (domínio) da malha computacional, com ajuda dos computadores modernos, que oferecem maiores capacidades computacionais, esse tipo de modelagem é completamente viável.

Neste trabalho, realizou-se avaliação e modelagem computacional do comportamento térmico dentro de um galpão de pressão negativa, tipo túnel, típico de países de climas tropicais e subtropicais, durante a fase inicial de desenvolvimento de frangos de corte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e características das instalações experimentais

Este trabalho foi desenvolvido durante a primavera de 2011, em uma granja comercial de empresa integrada do Estado de Minas Gerais, Brasil, localizada no município de São Geraldo, MG, situada na latitude 20°55'S, longitude 42°50'W e altitude de 380 m. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Aw (tropical típico). O galpão onde foi feito o estudo tinha um sistema de ventilação de pressão negativa tipo túnel, orientado no sentido leste/oeste, com cama de casca de café de primeiro uso, durante a fase inicial de desenvolvimento de frangos de corte da linhagem Cobb. Durante o período do experimento, a temperatura média aproximada do ambiente foi 25°C e 20°C para o dia e a noite, respectivamente. O sistema de aquecimento só foi acionado durante as duas primeiras semanas.

O aviário utilizado neste experimento tem dimensões de 14 m de largura por 110 m de comprimento, altura do forro de 2,45 m, com sistema de aquecimento com fornalha externa (TERMOAVES CAC 30.000) e o de tubulação dupla para aquecimento interno, vazão de aproximadamente 6.800 m³h⁻¹, temperatura do ar de saída de 75°C com população aproximada de frangos de 23.000 aves da linhagem Cobb. Na Figura 1, evidencia-se o esquema do aviário utilizado no experimento.

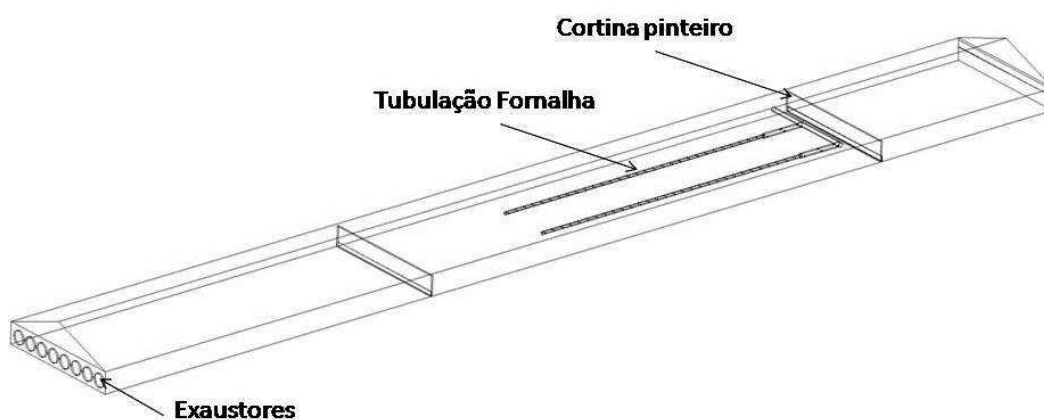


Figura 1 - Esquema de galpão com sistema de ventilação por pressão negativa em modo túnel, dotado de sistema de aquecimento por tubulação dupla com pinteiro central.

2.2. Aquisição de dados experimentais

Para a coleta de dados do ambiente térmico, uma rede de sensores de temperatura foi instalada de maneira uniforme e equidistante dentro do galpão à altura das aves. Os sensores foram distribuídos em forma de malha, com um espaçamento aproximado entre esses de 10,5 m no comprimento e 4 m na largura.

Foi instalado um sensor de temperatura dentro de um abrigo meteorológico, localizado nas vizinhanças do galpão, para o monitoramento das condições ambientais externas. Os sensores foram conectados entre si por uma rede de transmissão de dados com tecnologia 1-Wire™. O sistema 1-Wire™ foi desenvolvido pela Dallas Semiconductor; especificamente, é uma rede de transmissão de dados de baixo custo, também conhecida como MicroLAN™, que possibilita a comunicação digital entre o computador “mestre” e dispositivos da série 1-Wire™, como sensores e adaptadores, atuando como “escravos” (DALLAS SEMICONDUCTOR, 2009). O “mestre”, nesse caso, é o elemento capaz de controlar e gerenciar a transmissão de dados. O “escravo” é o dispositivo endereçado e gerenciado pelo “mestre”.

O conjunto de sensores foi conectado a um computador, e o programa computacional STRADA, desenvolvido por Rocha et al. (2008), foi utilizado para aquisição e transmissão remota de dados dos sensores. Foram coletados dados de temperatura de bulbo seco do ar em tempo real, utilizando sensores DS18B20 conectados ao computador por meio do adaptador USB DS9490. O DS18B20 é um sensor de temperatura tipo circuito integrado, de baixo custo da empresa Dallas Semiconductor. O sinal de saída dele é linear, com faixa de temperatura de trabalho de -55°C até 125°C, com exatidão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ na faixa de -10°C até 85°C. O DS9490 é um adaptador que funciona como interface entre a porta USB do computador e os sensores. Na Figura 2, são apresentadas as fotografias do sistema utilizado.

As temperaturas superficiais dos animais, das cortinas, da fornalha e do forro foram medidas com um sensor de temperatura infravermelho modelo teste 830-t1, com faixa de medição de -30°C a 400°C, resolução de 0,5°C, precisão de 2%.



Figura 2 - Computador e sensores de temperatura do ar conectados entre si por uma rede de transmissão de dados com a tecnologia 1-Wire™.

Para se obter o balanço de energia, foi preciso determinar o fluxo de calor gerado pelos frangos, considerando desprezível as trocas de calor por condução e radiação, já que as áreas de troca de calor são muito pequenas (NORTON et al., 2007 e 2009). Considerou-se então a troca de calor por via convectiva, usando a Equação 1, apresentada por Ingram e Mount (1975). Esses mesmos autores sugerem calcular o coeficiente convectivo, em razão da condutividade térmica do ar (K); a dimensão característica do animal (δ); e número de Nusselt (Nu), que é calculado em virtude do número do Reynolds (Re), que depende da velocidade do ar, da viscosidade cinemática do ar e da longitude característica do animal. A área efetiva (superficial) do animal foi calculada segundo a Equação 2, proposta por Curtis (1983).

$$Q_{cc} = A_{CC} \cdot h \cdot (T_s - T_{ar}) \quad (1)$$

em que:

Q_{cc} = fluxo convectivo (W).

A_{CC} = área efetiva da superfície animal (m^2).

h = coeficiente convectivo ($W m^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$).

T_s = temperatura da superfície animal ($^\circ C$).

T_{ar} = temperatura de bulbo seco do ar ($^\circ C$).

$$A_s = 8,2P^{0,71} \quad (2)$$

em que:

A_s = área superficial do animal (cm²).

P = massa do frango (kg).

2.3. Condições de contorno

Para prescrever as condições de contorno (Tabela 1), foram utilizadas as medições experimentais médias realizadas como a velocidade do ar no interior do galpão, temperatura externa, quantidade de calor gerado pelos animais e pela fornalha, pressão estática, além da resistência térmica das cortinas. A densidade de ocupação dos frangos foi diminuindo à medida que o pinteiro foi sendo acrescido em área, sendo 31 pintinhos por metro quadrado para a primeira semana experimental, 18 para a segunda e 15 para a terceira, quando toda a área do aviário foi ocupada.

Tabela 1 - Condições de contorno utilizadas no modelo computacional

Tempo (semana)	T _{ar} (°C)	T _{ar fornalha} (°C)	V _{ar} (ms ⁻¹)	V _{ar fornalha} (ms ⁻¹)	P _{estática} (Pa)	K _{cortina} (Wm ⁻² °C ⁻¹)	Q _{aves} (Wm ⁻²)
1 dia	24,4	75,0	0,6	2,0	0,0	2,89	47,8
1 noite	18,7	75,0	0,5	2,0	0,0	2,89	81,7
2 dia	25,4	75,0	0,8	2,0	0,0	2,89	61,3
2 noite	20,9	75,0	0,5	2,0	0,0	2,89	81,9
3 dia	25,5	75,0	1,1	2,0	0,0	2,89	63,7
3 noite	21,3	75,0	0,5	2,0	0,0	2,89	77,0

2.4. Modelagem computacional

Na modelagem computacional, considerou-se uma geometria sólida em 3D do galpão, que foi utilizada com ajuda do programa computacional ANSYS ICEM CFD para a construção de uma malha computacional tetraédrica de 118.989 nós e 622.827 elementos tetraédricos (Figura 3).

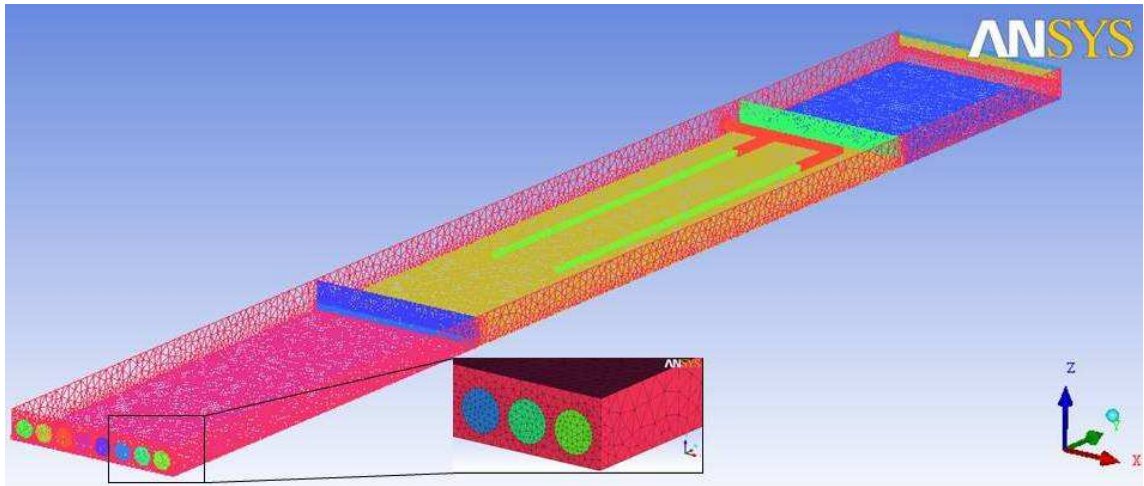


Figura 3 - Malha computacional tetraédrica utilizada para o galpão com sistema de ventilação por pressão negativa para análise da primeira fase de vida dos frangos.

Os avanços recentes dos programas computacionais utilizando CFD facilitam o estudo dos campos escalares e vetoriais presentes no clima interno das instalações por meio da solução das equações que descrevem o fluxo de fluidos, comumente conhecidas como Equações de Navier-Stokes (MOLINA-AIZ et al., 2004) ou equações de conservação da energia, momento, continuidade e massa.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial (\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U U) = \nabla p + [\mu_r (\nabla U + \nabla U^T)] \quad (4)$$

$$\frac{\partial (\rho C_p T)}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T + \rho C_p T U) = 0 \quad (5)$$

em que:

C_p = calor específico ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

K = condutividade térmica ($W \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

p = pressão ($N \text{ m}^{-2}$).

U = vetor velocidade.

ρ = densidade ($kg \text{ m}^{-3}$).

μ_r = viscosidade dinâmica do fluido ($kg \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$).

T = temperatura (K).

O escoamento turbulento foi modelado por meio do modelo k- ϵ padrão, que avalia a viscosidade (μ_t) a partir de uma relação entre a energia cinética turbulenta (k) e a dissipação da energia cinética turbulenta (ϵ). Foi utilizado o programa computacional ANSYS CFX para simular o processo. O critério de convergência foi o valor quadrático médio (RMS) da solução menor do que 10^{-4} para as equações de conservação de momento, massa, energia e de continuidade para regime permanente. Durante o tempo da coleta de dados experimentais o aquecedor permanecia ligado durante 90 segundos e voltava desligar até que as condições ambientais indicarem que fosse ligado. As simulações foram feitas para um tempo de 90 segundos em regime transiente para cada uma das condições. Para comparar os dados experimentais com o do modelo, realizou-se análise estatística com delineamento em blocos casualizados para cada caso, comparando a temperatura de diferentes pontos (nove para a primeira semana e 24 para a segunda e terceira semanas) dentro do pinteiro, objeto de estudo, a partir dos dados experimentais com os dados simulados para os mesmos pontos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2, 3 e 4, apresenta-se a comparação entre o modelo da CFD, os dados experimentais e o ambiente externo. Embora exista modificação entre alguns pontos, não há diferença significativa entre as temperaturas médias obtidas com o modelo da CFD e os dados experimentais, mas com o ambiente externo, o que evidencia que o modelo é uma boa aproximação à situação real para a primeira semana em condição noturna. Os nove pontos de referência para o teste de médias podem ser observados na Figura 6b.

A comparação de resultados obtidos entre o modelo da CFD, os dados experimentais e o ambiente externo é apresentada nas Tabelas 5, 6 e 7. Apesar de haver alteração entre alguns pontos, como em relação ao ambiente externo, não existe diferença significativa entre as temperaturas médias do modelo da CFD e os dados experimentais, evidenciando que o modelo é uma boa aproximação à condição real para a primeira semana em situação diurna.

Tabela 2 - Diferenças entre as temperaturas reais e as obtidas com o uso do modelo computacional na altura da ave durante a primeira semana – condição noturna

Ponto	Temperatura simulada (°C)	Temperatura real (°C)
1	26,70	29,76
2	27,35	29,39
3	27,18	27,98
4	30,60	28,41
5	32,55	30,33
6	26,43	29,84
7	26,96	27,85
8	29,03	28,29
9	28,67	24,74
Média	28,39	28,51

Tabela 3 - ANOVA para comparação entre as temperaturas médias noturnas obtidas com o modelo da CFD e os dados experimentais dentro do pinteiro para a primeira semana de vida das aves

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	8	16,13	2,02	
Tratamentos	2	588,90	294,45	188,32*
Resíduo	16	25,02	1,56	
Total	26	630,04		

* Existe diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Teste de temperaturas médias noturnas entre o modelo da CFD, os dados experimentais dentro do pinteiro e o ambiente externo para a primeira semana de vida das aves

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão
ModeloCFD	9	28,3 a	2,06	0,69
Dados experimentais	9	28,8 a	0,94	0,32
Ambiente externo	9	18,7 b	0,00	0,00

As médias unidas por uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 5 - Diferenças entre as temperaturas reais e as obtidas com o modelo computacional na altura da ave durante a primeira semana: condição diurna

Ponto	T. Simulada	T. Real
1	25,77	30,49
2	32,64	30,54
3	35,80	30,12
4	28,83	30,30
5	34,20	30,53
6	31,25	29,99
7	29,90	29,72
8	30,26	30,37
9	30,98	29,37
Média	31,07	30,16

Tabela 6 - ANOVA para comparação entre temperaturas médias diurnas obtidas com o modelo da CFD e os dados experimentais dentro do pinteiro para a primeira semana de vida dos frangos

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	8	23,64	2,96	
Tratamentos	2	235,45	117,73	39,68*
Resíduo	16	47,46	2,97	
Total	26	306,56		

* Existe diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Teste de médias para temperaturas diurnas obtidas com o uso do modelo da CFD, dos dados experimentais dentro do pinteiro e do ambiente externo para a primeira semana de vida dos frangos

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão
Modelo da CFD	9	31,07 a	2,95	0,98
Dados experimentais	9	30,16 a	0,40	0,13
Ambiente externo	9	24,40 b	0,00	0,00

As médias unidas por uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Está exposta, nas Tabelas 8, 9 e 10, a comparação entre os dados obtidos com o modelo da CFD, os dados experimentais e o ambiente externo. Não existe modificação significativa entre as temperaturas médias do modelo da CFD e os dados experimentais, embora haja diferença entre alguns pontos como o ambiente externo, o que mostra que o modelo é uma boa aproximação à situação real para a segunda semana em condição diurna. É interessante notar que a temperatura média do modelo e os dados experimentais foi a mesma.

Tabela 8 - Diferenças entre as temperaturas reais e as temperaturas obtidas com o modelo computacional na altura da ave durante a segunda semana: condição noturna

Ponto	Temperatura simulada (°C)	Temperatura real (°C)
1	23,74	24,97
2	24,81	26,16
3	25,15	26,95
4	26,54	27,82
5	27,44	28,15
6	27,93	27,68
7	27,93	27,52
8	27,24	27,39
9	22,35	25,80
10	23,16	25,95
11	25,31	28,17
12	27,35	28,44
13	28,20	27,02
14	28,55	27,03
15	28,45	27,04
16	27,70	27,07
17	24,08	24,88
18	32,99	26,21
19	28,71	27,09
20	29,41	27,79
21	28,41	28,15
22	28,43	27,64
23	28,34	27,48
24	27,49	27,33
Média	27,07	27,07

Tabela 9 - ANOVA para comparação entre temperaturas médias noturnas obtidas com o modelo da CFD e os dados experimentais dentro do pinteiro para a segunda semana de vida dos frangos

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	23	65,70	2,86	
Tratamentos	2	609,43	304,71	171,84*
Resíduo	46	81,57	1,77	
Total	71	756,70		

* Existe diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Teste de médias para temperaturas noturnas entre modelo da CFD obtidas pelos dados experimentais dentro do pinteiro e o ambiente externo para a segunda semana de vida dos frangos

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão
Modelo da CFD	24	27,07 a	2,34	0,48
Dados experimentais	24	27,07 a	0,96	0,20
Ambiente externo	24	20,90 b	0,00	0,00

As médias unidas por uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nas Tabelas 11, 12 e 13, apresentam-se as tabelas de comparação entre o modelo da CFD, os dados experimentais e o ambiente externo. Embora exista diferença entre alguns pontos, não há alteração significativa entre as temperaturas médias do modelo da CFD e os dados experimentais, mas com o ambiente externo, o que mostra que o modelo é uma boa aproximação à situação real para a segunda semana em condição diurna.

Tabela 11 - Diferenças entre as temperaturas reais e as obtidas com o modelo computacional na altura da ave durante a segunda semana: condição diurna

Ponto	Temperatura simulada (°C)	Temperatura real (°C)
1	29,93	28,6
2	35,54	29,1
3	35,72	29,4
4	32,39	30,0
5	31,09	30,2
6	30,51	30,2
7	30,00	30,2
8	30,26	30,2
9	27,50	28,8
10	29,51	29,2
11	31,38	30,3
12	34,35	30,4
13	32,76	29,1
14	29,95	29,2
15	29,45	29,4
16	30,20	29,7
17	26,64	28,6
18	26,81	29,2
19	27,14	29,5
20	29,81	30,0
21	30,41	30,2
22	29,16	30,2
23	29,09	30,2
24	29,92	30,2
Média	30,40	29,67

Tabela 12 - ANOVA para comparação entre temperaturas médias diurnas obtidas com o modelo da CFD e os dados experimentais dentro do pinteiro para a segunda semana de vida dos frangos

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	23	52,07	2.26	
Tratamentos	2	349,81	174.91	90.02*
Resíduo	46	89,37	1.94	
Total	71	491,26		

* Existe diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 13 - Teste de médias para temperaturas diurnas obtidas com o modelo da CFD os dados experimentais dentro do pinteiro e o ambiente externo para a segunda semana de vida dos frangos

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão
Modelo CFD	24	30,40 a	2,41	0,49
Dados experimentais	24	29,67 a	0,59	0,12
Ambiente externo	24	25,40 b	0,00	0,00

As médias unidas por uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As tabelas de comparação entre o modelo da CFD, os dados experimentais e o ambiente externo são evidenciadas nas Tabelas 14, 15 e 16. Apesar de haver modificação entre alguns pontos, não existe diferença significativa entre as temperaturas médias do modelo da CFD e os dados experimentais, mas com o ambiente externo, o que mostra que o modelo é uma boa aproximação à condição real para a segunda semana em situação diurna.

Nas Tabelas 17, 18 e 19, apresentam-se as tabelas de comparação entre o modelo da CFD, os dados experimentais e o ambiente externo. Não existe alteração significativa entre as temperaturas médias do modelo da CFD e os dados experimentais, embora exista diferença entre alguns pontos, como o ambiente externo, o que evidencia que o modelo é uma boa aproximação à condição real para a segunda semana em situação diurna.

Nas Figuras 4a e 4b, podem-se observar os mapas de distribuição térmica para a primeira semana em condição de noite, feitos a partir dos dados experimentais e do modelo da CFD. Deve-se lembrar que a parte aquecida (o pinteiro) para essa semana encontrava-se localizada na parte central direita do galpão e que durante à noite as cortinas do pinteiro permaneceram fechadas. Na Figura 6b, nota-se uma zona um pouco mais quente, o que pode ser explicado pela Figura 6c, que apresenta uma zona morta resultante do efeito da turbulência, gerada entre a entrada de ar, a cortina e a divisória do pinteiro, o que faz com que o fluxo de ar não seja perpendicular no começo do pinteiro, pois pouco depois a força de sucção dos exaustores retifica o fluxo de ar.

Tabela 14 - Diferenças entre as temperaturas reais e as temperaturas obtidas com o modelo computacional na altura da ave durante a terceira semana: condição noturna

Ponto	Temperatura simulada (°C)	Temperatura real (°C)
1	23,91	26,20
2	24,41	26,60
3	26,52	26,70
4	28,47	27,10
5	28,61	27,43
6	28,49	27,53
7	28,60	28,02
8	28,62	28,42
9	23,57	25,92
10	24,01	26,18
11	25,73	26,50
12	27,71	26,90
13	28,44	26,60
14	28,60	26,85
15	28,58	27,10
16	28,62	27,66
17	26,80	26,10
18	25,04	26,50
19	26,69	26,60
20	28,15	27,20
21	28,54	27,35
22	28,45	27,55
23	28,63	28,01
24	28,60	28,40
Média	27,24	27,06

Tabela 15 - ANOVA para comparação entre temperaturas médias noturnas entre modelo da CFD e os dados experimentais dentro do pinteiro para a terceira semana de vida dos frangos

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	23	43,98	1,91	
Tratamentos	2	548,04	274,02	296,28*
Resíduo	46	42,54	0,92	
Total	71	634,56		

* Existe diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16 - Teste de médias para temperaturas noturnas obtidas com o modelo da CFD, os dados experimentais dentro do pinteiro e o ambiente externo para a terceira semana de vida dos frangos

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão
Modelo CFD	24	27,24 a	1,80	0,37
Dados experimentais	24	27,06 a	0,71	0,15
Ambiente externo	24	21,30 b	0,00	0,00

As médias unidas por uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 17 - Diferenças entre as temperaturas reais e as obtidas com o modelo computacional na altura da ave durante a terceira semana: condição diurna

Ponto	Temperatura simulada (°C)	Temperatura real (°C)
1	27,69	28,70
2	30,01	28,80
3	30,43	29,00
4	30,00	29,24
5	29,69	29,50
6	29,88	29,51
7	30,00	29,84
8	30,06	30,00
9	27,86	28,80
10	29,64	28,86
11	29,91	29,00
12	29,01	29,10
13	28,66	29,20
14	29,80	29,30
15	30,00	29,16
16	30,07	29,55
17	28,29	28,62
18	28,58	28,80
19	28,69	29,00
20	28,51	29,25
21	28,32	29,47
22	29,59	29,53
23	30,04	29,89
24	30,05	30,01
Média	29,37	29,26

Tabela 18 - ANOVA para comparação entre temperaturas médias diurnas obtidas com o modelo da CFD e os dados experimentais dentro do pinteiro, para a terceira semana de vida dos frangos

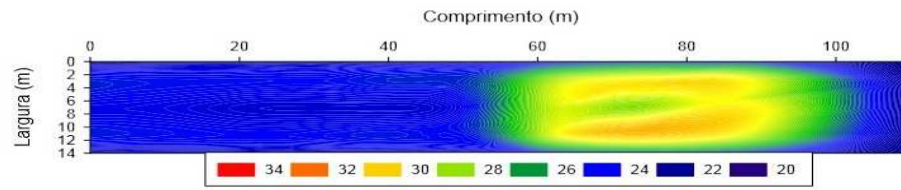
Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	23	9,21	0,40	
Tratamentos	2	232,47	116,24	528,66*
Resíduo	46	10,11	0,22	
Total	71	251,80		

* Existe diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

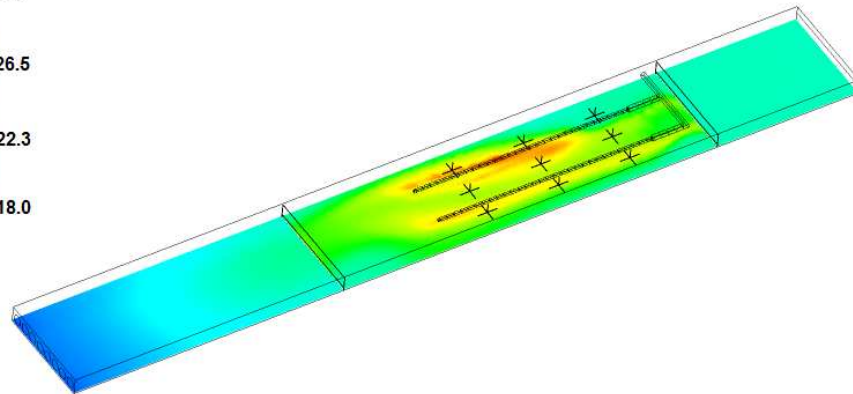
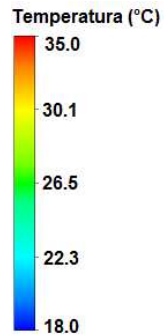
Tabela 19 - Teste de médias para temperaturas diurnas obtidas com o modelo da CFD, os dados experimentais dentro do pinteiro e o ambiente externo para a terceira semana de vida dos frangos

Tratamentos	N	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão
ModeloCFD	24	29,37 a	0,82	0,17
Dados experimentais	24	29,26 a	0,41	0,08
Ambiente externo	24	25,50 b	0,00	0,00

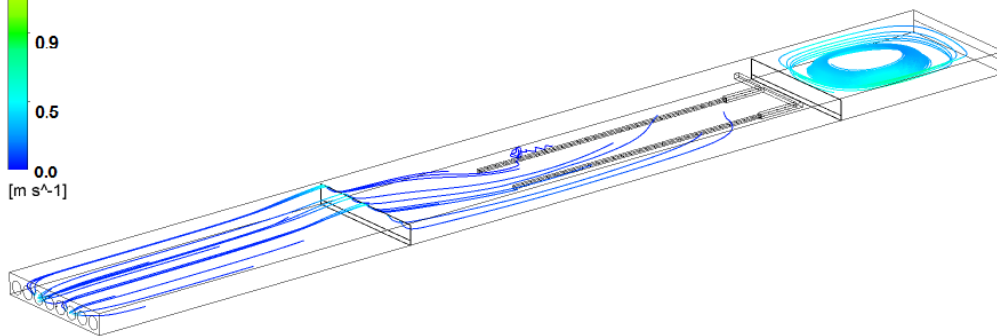
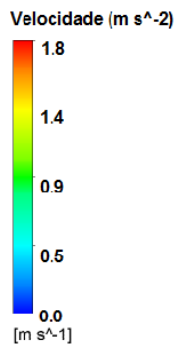
As médias unidas por uma mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



(a)



(b)



(c)

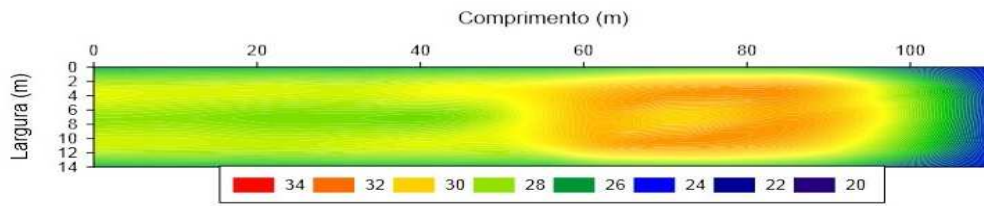
Figura 4 - Mapa de temperatura à altura dos frangos na primeira semana de vida das aves: (a) situação noturna a partir dos dados experimentais; (b) condição noturna a partir da simulação computacional e pontos de comparação térmica; e (c) mapa de turbulência dentro do galpão para a primeira semana de vida das aves: condição noturna.

Nas Figuras 5a e 5b, observam-se os mapas de distribuição térmica para a primeira semana em condição de noite, feitos a partir dos dados experimentais segundo o modelo em CFD, além dos nove pontos de comparação utilizados para a análise de variância e o teste de médias. Na Figura 5b, o modelo computacional apresenta perfeitamente o efeito da zona morta que gera uma região mais quente, do mesmo jeito que na condição noturna para a mesma semana. Há também uma zona morta (no requadro) perto da divisória do pinteiro, gerando uma zona quente, o que concorda com o comportamento normal do animal, que geralmente na primeira fase de crescimento procura ficar perto dessas paredes para evitar a movimentação do ar bem como em locais com temperaturas mais agradáveis, quando o ambiente interno não oferece as temperaturas de conforto ou tem velocidade do ar incômoda para a ave.

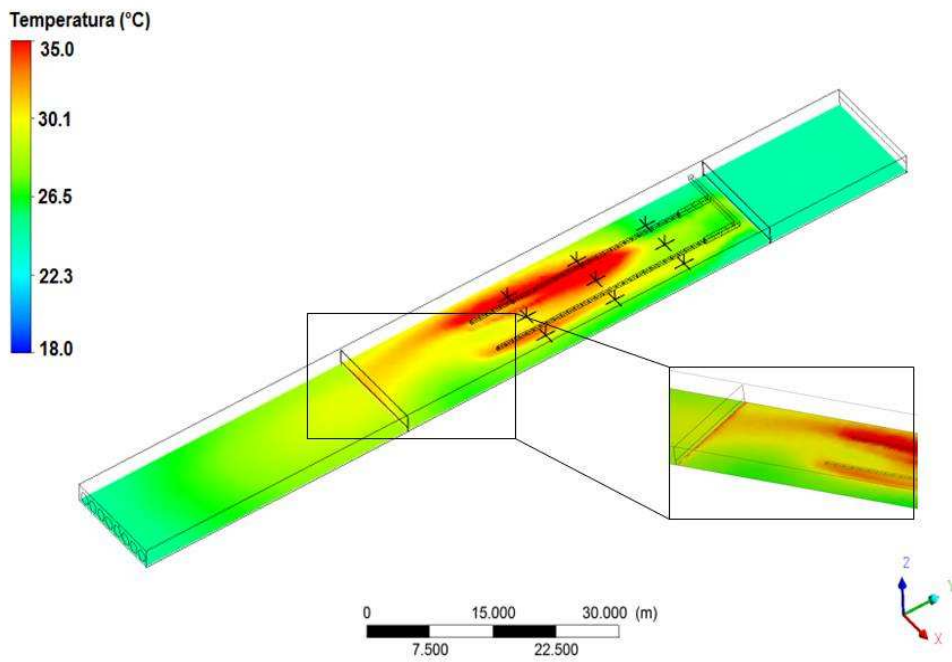
Notam-se, nas Figuras 6a e 6b, os mapas de distribuição térmica para a segunda semana em condição de noite, feitos a partir dos dados experimentais e do modelo da CFD, além dos 24 pontos de comparação usados para a análise de variância e o teste de médias. Esses dois mapas evidenciam um comportamento similar, fato confirmado na Tabela 8, em que a temperatura média é a mesma para os dados experimentais e o modelo da CFD.

Nas Figuras 7a e 7b, são observados os mapas de distribuição térmica para a segunda semana em condição de dia, feitos a partir dos dados experimentais e do modelo da CFD, além dos 24 pontos de comparação utilizados para a análise de variância e o teste de médias. Esses dois mapas apresentam comportamento similar, fato confirmado na Tabela 8, em que a temperatura média foi a mesma para os dados experimentais e o modelo da CFD.

Nas Figuras 8a e 8b, notam-se os mapas da distribuição térmica para a terceira semana em condição de noite, feitos a partir dos dados experimentais e do modelo da CFD, além dos 24 pontos de comparação usados para a análise de variância e o teste de médias. Observa-se comportamento similar, tendo uma região fria perto da entrada de ar que pode ser explicada pela turbulência gerada nesta região (Figura 8c).

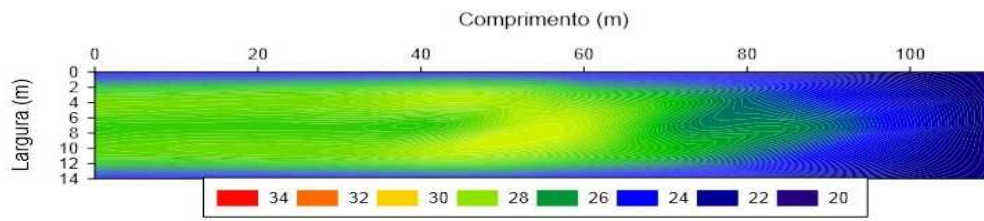


(a)

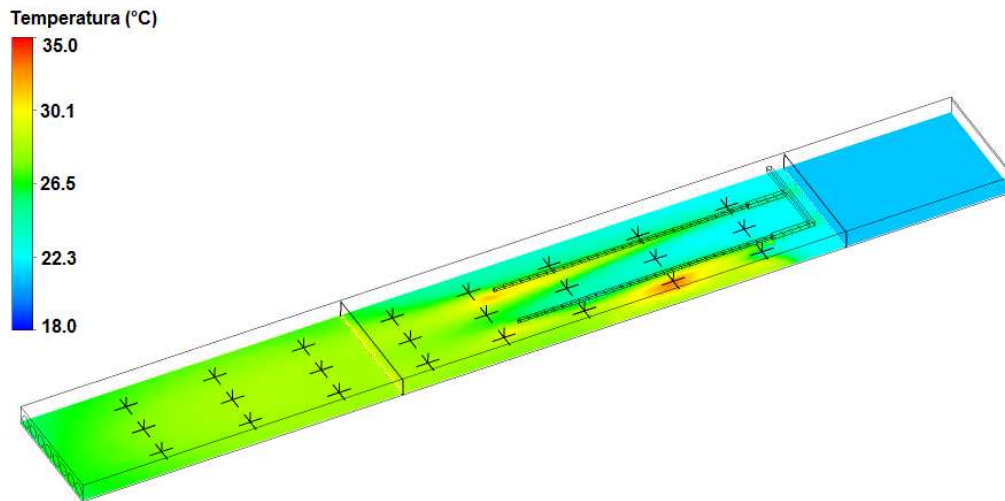


(b)

Figura 5 - Mapa de temperatura à altura dos frangos na primeira semana de vida das aves: (a) condição diurna a partir dos dados experimentais; e (b) situação diurna a partir da simulação computacional e pontos de comparação térmica.



(a)



(b)

Figura 6 - Mapa de temperatura à altura dos frangos na segunda semana de vida das aves: (a) situação noturna a partir dos dados experimentais; e (b) condição noturna a partir da simulação computacional e pontos de comparação térmica.

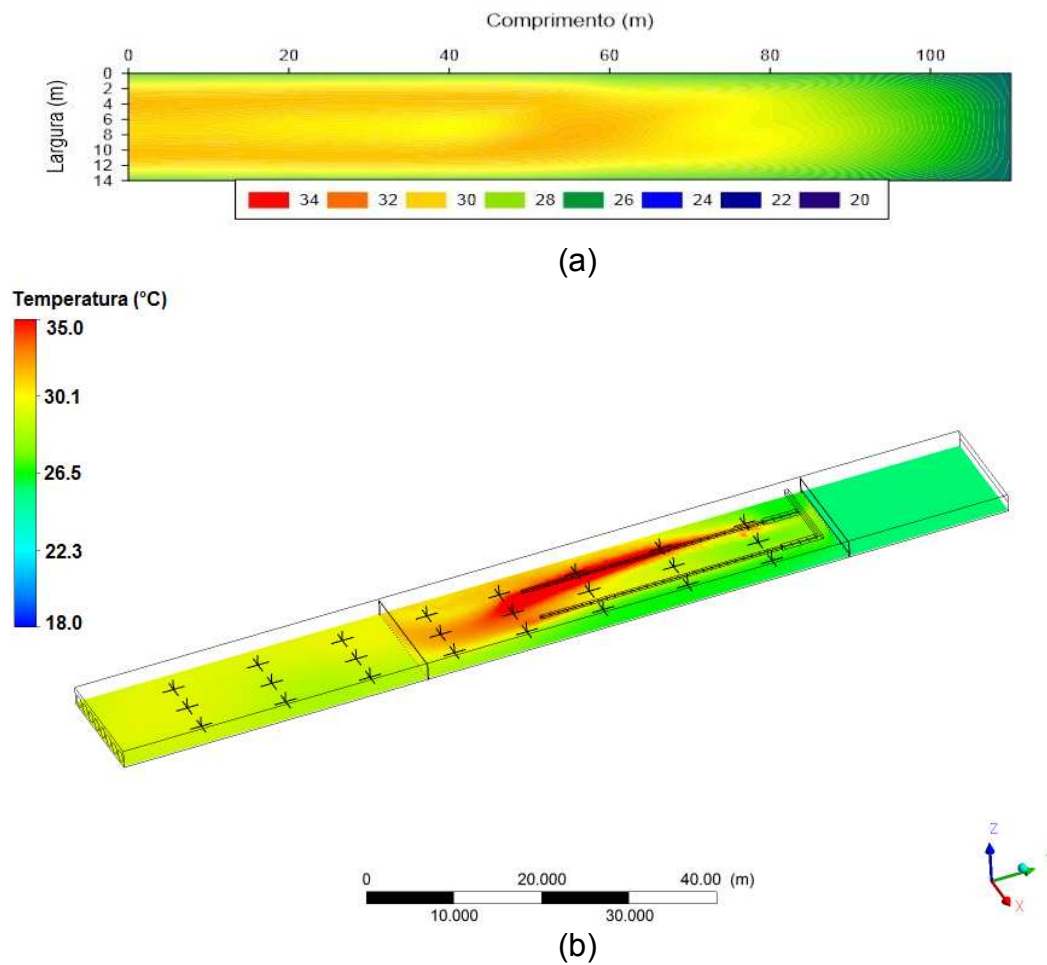
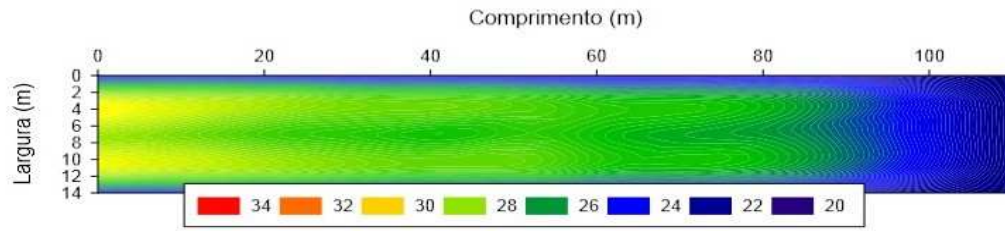
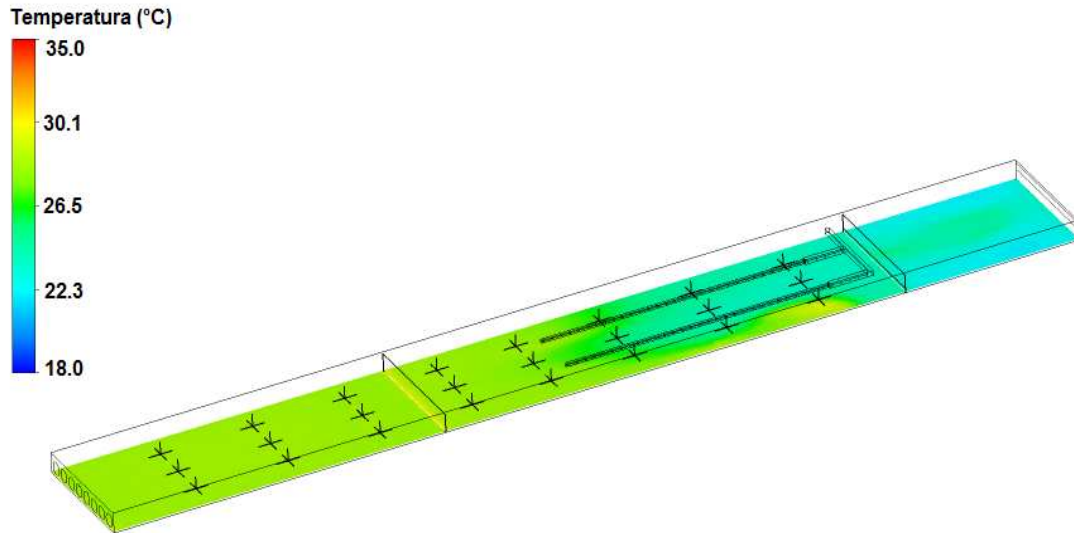


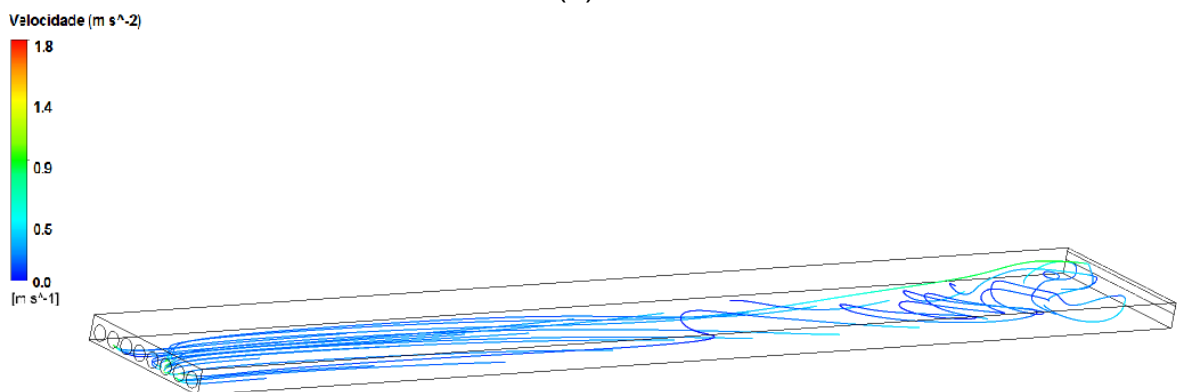
Figura 7 - Mapa de temperatura à altura dos frangos na segunda semana de vida das aves: (a) condição diurna a partir dos dados experimentais; e (b) situação diurna a partir da simulação computacional e pontos de comparação térmica.



(a)



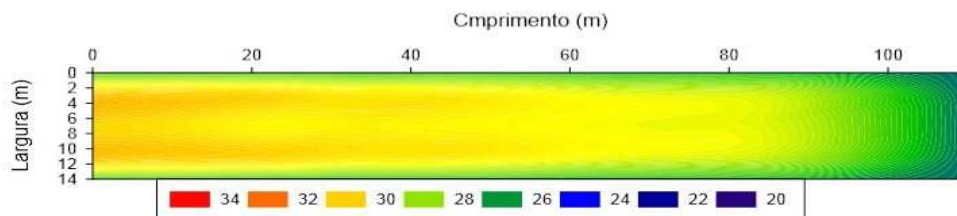
(b)



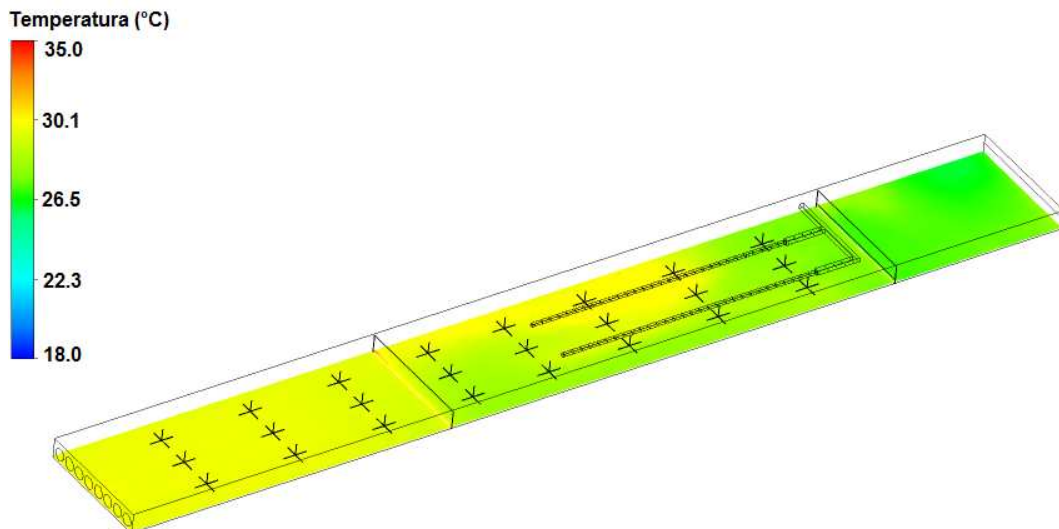
(c)

Figura 8 - Mapa de temperatura à altura dos frangos na terceira semana de vida das aves: (a) situação noturna a partir dos dados experimentais; (b) condição noturna a partir da simulação computacional e pontos de comparação térmica; e (c) mapa de turbulência dentro do galpão para a terceira semana de vida das aves: condição noturna.

Nas Figuras 9a e 9b, observam-se os mapas da distribuição térmica para a terceira semana em condição de dia, feitos a partir dos dados experimentais e do modelo da CFD, além dos 24 pontos de comparação utilizados para a análise de variância e teste de médias.



(a)



(b)

Figura 9 - Mapa de temperatura à altura dos frangos na terceira semana de vida das aves: (a) condição diurna a partir dos dados experimentais; e (b) situação diurna a partir da simulação computacional e pontos de comparação térmica.

4. CONCLUSÕES

A modelagem por meio da Dinâmica dos Fluidos Computacionais (CFD) apresentou ser ferramenta muito útil para as análises térmica e de turbulência na primeira fase de crescimento de frangos de corte, mostrando não ter diferença significativa entre os dados experimentais (a temperatura média do pinteiro) e o modelo da CFD para as condições de dia e noite para cada uma das três semanas.

A modelagem evidencia maior atenção no isolamento externo dos aviários e no fenômeno de turbulência dentro dos galpões dotados de pinteiro, sobretudo na entrada de ar e perto dela, já que podem gerar desuniformidade térmica por causa de zonas mortas que são as mais quentes.

Apesar de a análise térmica da CFD de pinteiro apresentar resultados satisfatórios, as sub-rotinas de ventilação mínima e de controle de aquecimento devem ser implementadas.

5. REFERÊNCIAS

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

BUTCHER, G.D.; NILIPOUR, A.H. **Broiler management: the first 24 hours**. Florida: Institute of Food and Agricultural Sciences, 2002. 4 p.

CORDEIRO, M.B. **Análise de imagens na avaliação do comportamento, do bem-estar e do desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I.F.F.; SILVA, J.N.; VIGODERIS, R.B.; PINTO, F.A.C.; CECON, P.R. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 217-224, 2010.

CRONEY, C.C.; MILLMAN, S.T. Board-invited review: the ethical and behavioral bases for farm animal welfare legislation. **Journal Animal Science**, v. 85, p. 556–565, 2007.

CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. The Iowa State University Press. 1983. 409 p.

DALLAS SEMICONDUCTOR. **1-wire design guide**. 2009. Disponível em: <<http://www.maxim-ic.com>>.

FARIA, F.F.; MOURA, D.J.; SOUZA, Z.M.; MATARAZZO, S.V. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2498-2505, 2008.

INGRAM, D.L.; MOUNT, L.E. **Man and animals in hot environments**. New York: Springer-Verlag, 1975. 185 p.

MOLINA-AIZ, F.D.; VALERA, D.L.; ALVAREZ, A.J. Measurements and simulation of climate inside Almería-type greenhouses using computational fluid dynamics, **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 125, p. 33-51, 2004.

NORTON, T.; GRANT J.; FALLON, R.; SUN, D. Assessing the ventilation effectiveness of naturally ventilated livestock buildings under wind dominated conditions using computational fluid dynamics. **Biosystems Engineering** v. 103, p. 78-99, 2009.

NORTON, T.; SUN, D.; GRANT J.; FALLON R.; DODD, V. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modeling and design of ventilation systems in the agricultural industry: a review. **Biosource Technology**, v. 98, p. 2386-2414, 2007.

ROCHA, K.S.O.; MARTINS, J.H. ; TINÔCO, I.F.F.; MELO, E.C.; LOPES, D.C.; HERMSDORFF, W. Remote environmental monitoring and management of data systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM LIVESTOCK ENVIRONMENT, 8, 2008. **Proceedings...** 2008. p. 1001-1008.

SANTOS, P.A. **Qualidade do ar, conforto térmico e desempenho de frangos de corte em dois sistemas de aquecimento e ventilação**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-59, 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**, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001.

CONCLUSÃO GERAL

Considerando as condições deste experimento e os resultados experimentais, concluiu-se que o mapeamento e a modelagem computacional da CFD do comportamento das variáveis ambientais no espaço dentro dos galpões são ferramentas muito úteis para entender e tomar decisões a fim de melhorar as condições de ambiência interna das instalações, especialmente na fase inicial de crescimento. Apesar de o galpão com sistema de ventilação negativa ter apresentado melhor comportamento na distribuição térmica com respeito aos de ventilação positiva lateral e tipo túnel, em geral as três tipologias têm pouco isolamento térmico, o que dificulta atingir o ambiente térmico adequado e homogêneo dentro dos aviários na fase inicial de crescimento, sobretudo nas noites e durante o inverno.