

SVETLANA FIALHO SORIA GALVARRO

**AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO  
PARA AVIÁRIOS DENOMINADO TUBO RADIANTE CONVECTIVO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

G182a  
2017 Galvarro, Svetlana Fialho Soria, 1984-  
Avaliação e caracterização de um sistema de aquecimento para aviários denominado tubo radiante convectivo / Svetlana Fialho Soria Galvarro. - Viçosa, MG, 2017.  
x, 89f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.  
Orientador : Jadir Nogueira da Silva.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.75-84.

1. Aviários - Aquecimento e Avaliação. 2. Radiação.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22 ed. 631.2

SVETLANA FIALHO SORIA GALVARRO

**AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO  
PARA AVIÁRIOS DENOMINADO TUBO RADIANTE CONVECTIVO**

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

APROVADA: 20 de julho de 2017.

---

Fernando da Costa Baêta  
(Coorientador)

---

Roberta Jimenez de Almeida Rigueira

---

Marcos Oliveira de Paula

---

Paulo Marcos de Barros Monteiro

---

Jadir Nogueira da Silva  
(Orientador)

“Um pouco de ciência nos afasta de Deus. Muito, nos aproxima.”

(Louis Pasteur)

**DEDICO**

*A meu pai Alberto, a querida Creusa Dias  
e a minha irmã Skarlen.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e por ser refúgio em todas as horas.

A minha mãe Dulcineia Fialho (*inmemoriam*) presente de alguma forma em tudo que faço.

A meu pai Alberto, pelo amor, confiança, oportunidades proporcionadas e por incentivar meus sonhos. A minha irmã Skarlen pelo constante companheirismo e suporte.

A minha eterna gratidão ao meu orientador Prof. Jadir Nogueira da Silva pela atenção, incentivo, paciência, amizade e confiança no meu trabalho, pelas oportunidades preciosas e por me proporcionar todas as condições, nesses onze anos de trabalho juntos, de ser uma pessoa e uma profissional melhor.

Ao professor Fernando Baeta por todo suporte e ótimas conversas sobre o trabalho e a vida.

O meu muito obrigado ao professor Marcio Arêdes e toda sua equipe pelo suporte fundamental e precioso no trabalho com CFD.

A professora Ilda Tinoco pelos ótimos conselhos sempre e todo incentivo.

A Universidade Federal de Viçosa pelas oportunidades concedidas.

Agradeço a todos que, diretamente e indiretamente, tornaram este trabalho possível.

## **BIOGRAFIA**

Svetlana Fialho Soria Galvarro, filha de Dulcineia Fialho e José Alberto Soria Galvarro Ontiveros, nasceu em 31 de dezembro de 1984, na cidade de Viçosa, no Estado de Minas Gerais.

Em 2003 concluiu o ensino médio pelo Colégio de Aplicação (Coluni). Graduiu-se em Engenharia Agrícola e Ambiental, pela Universidade Federal de Viçosa em julho de 2011. Em agosto de 2011 iniciou o mestrado em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa, na área de concentração em Armazenamento de Produtos Vegetais, concluindo o curso em julho de 2013.

Em agosto 2013 iniciou o Doutorado em Engenharia Agrícola, na Área de Construções Rurais e Ambientância, defendendo a tese em julho de 2017.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - OBJETIVOS .....	3
2.1 - Objetivo geral .....	3
2.2 - Objetivos específicos .....	3
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1 – AMBIENTE TÉRMICO EM GALPÕES DE CRIAÇÃO DE AVES .....	4
3.2 - ELEMENTOS NORMALMENTE EMPREGADOS NAS ENVOLTÓRIAS DOS AMBIENTES DE CRIAÇÃO DE AVES RELATIVAS AO AMBIENTE TÉRMICO.....	10
3.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR NO GALPÃO DE CRIAÇÃO DE AVES..	13
3.4 - TROCAS DE CALOR ENTRE O TELHADO E O FORRO DE UM GALPÃO DE CRIAÇÃO AVES .....	17
3.5 - QUALIDADE DO AR .....	19
3.5.1 - Dióxido de carbono ou gás carbônico (CO <sub>2</sub> ).....	21
3.5.2 – Monóxido de carbono (CO) .....	21
3.6 - DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD).....	22
3.6.1 - Dinâmica dos fluidos computacional (CFD), aplicado à ambiência animal. .....	24
4 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	28
4.1 – TUBO RADIANTE CONVECTIVO (TRC) .....	28
4.2 - MONTAGEM DE UM MÓDULO EXPERIMENTAL.....	29
4.3 – DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS DO AR INTERNO DO MÓDULO EXPERIMENTAL .....	33
4.4 - ESTRUTURA E COLETA DE DADOS (MALHA DE ARDUINOS) .....	35

A topologia da rede .....	35
O servidor raspberry pi.....	37
A exibição dos dados .....	38
4.5. AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS TEMPERATURAS DO AR AMBIENTE EXTERNO AO MÓDULO EXPERIMENTAL .....	39
4.6. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR E QUALIDADE DO AR INTERNO DO GALPÃO AQUECIDO.....	41
4.7. ESTUDO VIA CFD DA DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS DO AR AQUECIDO NO INTERIOR DO MÓDULO EXPERIMENTAL .....	42
4.7.1. Avaliação do sistema de aquecimento utilizando a dinâmica de fluidos computacional (CFD).....	43
a) Pré-Processamento .....	43
b) Processamento .....	44
c) Pós-processamento.....	46
5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	47
5.1. Efeito das temperaturas do ambiente externo ao módulo experimental no aquecimento propiciado pelo TRC, de acordo com a Dinâmica Computacional dos Fluidos. ....	47
a) Temperatura Externa = 7 °C.....	48
b) Temperatura externa = 16 °C .....	51
c) Temperatura Externa = 22°C.....	53
d) Temperatura externa = 28 °C .....	55
5.2 - CONSUMO GÁS GLP .....	57
5.3.QUALIDADE AR INTERNO DO GALPÃO AQUECIDO .....	57
5.4. EFEITO DAS TEMPERATURAS DO AMBIENTE EXTERNO AO MÓDULO EXPERIMENTAL NO AQUECIMENTO PROPICIADO PELO TRC (Parte Experimental) .....	58
a) Temperatura Externa = 7 °C.....	59
b) Temperatura Externa = 16 °C.....	62

c) Temperatura Externa = 22 °C.....	66
d) Temperatura Externa = 28 °C.....	68
5.5. RENOVAÇÃO AR.....	72
6 – CONCLUSÕES .....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS.....	85

## RESUMO

GALVARRO, Svetlana Fialho Soria, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Avaliação e caracterização de um sistema de aquecimento para aviários denominado tubo radiante convectivo.** Orientador: Jadir Nogueira da Silva. Coorientadores: Fernando da Costa Baêta, Márcio Arêdes Martins e Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

Devido ao sistema termorregulador das aves não estar completamente desenvolvido, principalmente, nos 15 primeiros dias de vida, torna-se necessário fornecer um sistema de aquecimento complementar que propicie condições adequadas ao conforto térmico das aves de modo a evitar que as mesmas tenham menor conversão alimentar devido ao estresse térmico. Inserido nesse contexto, objetivou-se caracterizar quanto à distribuição de temperatura e aquecimento do ar o sistema de aquecimento denominado Tubo Radiante Convectivo (TRC). Um galpão com 96 m<sup>2</sup> de área foi preparado de modo a propiciar condições semelhantes à de um aviário e o equipamento foi alocado nesse ambiente. Para as temperaturas externas de 7 °C, 16 °C, 22 °C e 28 °C, verificou-se que o aquecedor não propiciou aquecimento adequado quando a temperatura externa estava a 7 °C, ou seja, para a pior situação, não sendo recomendado para aquecimento nas duas primeiras semanas de vida das aves. Para a temperatura de 16° C, o aquecedor propiciou aquecimento do ar adequado conforme demanda das aves. Para as temperaturas de 22 °C e 28 °C, o aquecimento do ar interno ao galpão foi excessivo tanto ao nível das aves quanto do ar ambiente, não sendo possível um bom ajuste da temperatura. Recomenda-se para trabalhos futuros, a caracterização do desempenho zootécnico das aves submetidas a esse sistema de aquecimento, uma vez que sua distribuição de temperatura bem como o potencial de aquecimento do ar já é conhecida.

Palavras-chave: Aquecimento radiante; Convecção, TRC.

## ABSTRACT

GALVARRO, Svetlana Fialho Soria, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Evaluation and characterization of a heating system for broilers called convective radiant tube.** Advisor: Jadir Nogueira da Silva. Co-advisors: Fernando da Costa Baêta, Márcio Arêdes Martins and Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

The thermoregulatory system of the broilers not being fully developed, especially in the first 15 days of life, therefore it is necessary to provide a complementary heating system that provides adequate conditions to the thermal comfort of the broilers in order to avoid that they have lower conversion feed. In context, was the objective of the present study it was to characterize a temperature distribution and heating of the air the heating system called Radiant Convective Tube (TRC). A shed with 96 m<sup>2</sup> of area was prepared in order to provide conditions similar to that of an aviary and the equipment was allocated in that environment. For external temperatures of 7°C, 16°C, 22°C and 28°C, it was verified that the heater did not provide adequate heating when the external temperature was at 7°C, that is, the worst situation, and it is not recommended for heating in the two weeks of broilers life. For the temperature of 16° C, the heater provided adequate air heating according to the demand of the broilers. For temperatures of 22 ° C and 28 ° C, indoor air heating to the shed was excessive both at the level of broilers and ambient air and a good temperature adjustment was not possible. It is recommended for future work the characterization of the zootechnical performance of the broilers submitted to this heating system, since its temperature distribution as well as the air heating potential is already known.

Keywords: Radiant heating; Convection, TRC.

## 1 - INTRODUÇÃO

Os animais homeotermos mantêm a temperatura corporal constante, com o mínimo esforço dos mecanismos termorregulatórios (BAËTA; SOUZA, 2010). Para cada espécie animal e cada fase de crescimento, existe uma faixa de temperatura do ar 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 (TINÔCO, 2004). No inverno, as aves procuram manter a homeotermia por meio de aumento na produção de calor e na redução de perdas, enquanto no verão o processo é invertido.

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 se torna maior a necessidade energética para suprir a diferença entre a temperatura ideal para os pintinhos e a temperatura do ambiente externo (CORDEIRO et al., 2010).

Além do aquecimento do ar ambiente das aves, é de grande importância conhecer e monitorar a qualidade do ar no interior dos aviários, pois elevadas concentrações de gases como amônia e dióxido de carbono podem comprometer o desempenho produtivo das aves.

Como resultado do metabolismo dos animais obtêm-se, além da liberação de calor, vapor d'água, sob a forma de umidade, dióxido de carbono, e gases como amônia, oriunda da digestão e dejetos.

A combustão incompleta nos processos de aquecimento dos aviários propicia a produção de monóxido de carbono (CO) que, muitas vezes, é lançado para dentro da instalação destinada aos animais. (HERNÁNDEZ, 2012).

Inserido nesse contexto, é possível adotar um sistema de aquecimento por Tubo Radiante Convectivo (TRC). A vantagem da adoção desse sistema é a melhor distribuição da temperatura ao longo do galpão e a desvantagem ainda é a falta de um controle de temperatura mais preciso, conforme a

demanda das aves. Por esses motivos tornam-se necessários estudos que contribuam para a adequação deste sistema.

Torna-se imprescindível, também, mensurar se o aquecedor proposto emite gases como CO e CO<sub>2</sub>, durante a queima do gás. Dessa forma, de posse dessas informações será possível avaliar a adequação desse sistema de aquecimento durante o período de criação das aves.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar o TRC quanto à distribuição da temperatura do ar ambiente interno para fim de conforto térmico das aves. Foram utilizadas ferramentas de engenharia, como a dinâmica dos fluidos computacional (CFD), e avaliação in loco por meio de módulo experimental.

## **2 - OBJETIVOS**

### **2.1 - Objetivo geral**

Avaliar e caracterizar um sistema de aquecimento de aviários por meio de tubo radiante convectivo (TRC).

### **2.2 - Objetivos específicos**

- Montar um módulo experimental com os envoltórios para simular as condições ambientais encontrados em um aviário;
- Mensurar as temperaturas do ar ambiente no interior do módulo experimental aquecido pelo TRC a fim de definir a área de influência do equipamento;
- Avaliar se o aquecedor TRC propicia temperatura interna dentro da faixa de conforto térmico exigido pelas aves, principalmente nos 15 primeiros dias de vida;
- Mensurar a umidade relativa do ar, qualidade do ar interno do módulo aquecido bem como a renovação de ar existente no mesmo;
- Utilizar a Dinâmica Computacional dos Fluidos para estudar a distribuição da temperatura do ar aquecido no interior do módulo experimental.

### **3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 – AMBIENTE TÉRMICO EM GALPÕES DE CRIAÇÃO DE AVES**

Por se tratar de um sistema termodinâmico vivo, as aves são capazes de trocar continuamente energia com o ambiente. Neste processo, os fatores exógenos tendem a produzir variações internas no animal, influenciando na quantidade de energia transferida entre as aves e o ambiente, havendo então a necessidade de ajustes fisiológicos para a ocorrência do balanço de calor (BRIDI, 2011).

O calor corporal é oriundo de processos metabólicos, envolvidos nas mais diversas funções orgânicas. Relacionado ao metabolismo, os animais ganham calor devido à energia de manutenção, bem como por meio da realização de trabalho da musculatura esquelética, pelo crescimento e pela alimentação (BRIDI, 2011).

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

Para os animais homeotérmicos (Figura 1) manterem a temperatura corporal relativamente constante, eles necessitam, por meio de variações fisiológicas, comportamentais e metabólicas, produzir calor (para aumentar a temperatura corporal quando a temperatura diminui) ou perder calor para o meio (diminuir a temperatura corporal no estresse calórico).

De acordo com o gráfico, os animais homeotérmicos possuem uma zona de termoneutralidade, ou seja, uma faixa de temperatura ambiente em que o animal não precisa produzir ou perder temperatura corporal e seu metabolismo é mínimo. Essa zona de temperatura é onde os animais estão em conforto térmico (entre temperatura mínima e temperatura máxima) e podem expressar seu máximo potencial genético (RIBEIRO, 2008).

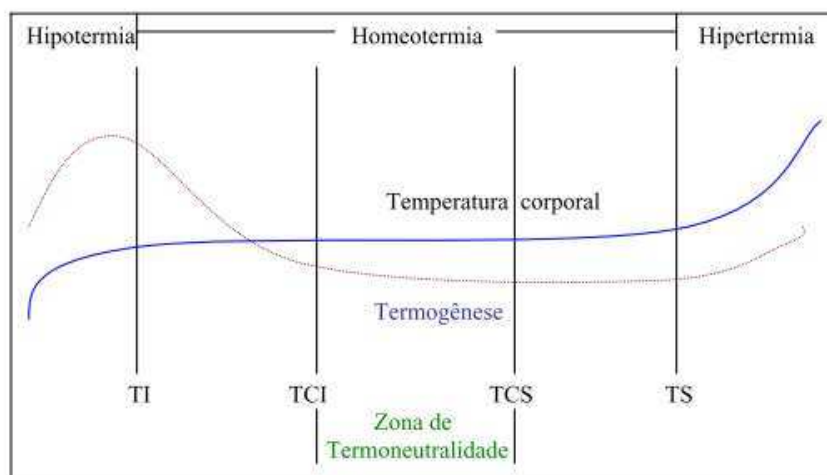


Figura 1 - Variações da temperatura corporal de um animal homeotérmico em função da temperatura ambiente.

A zona de termoneutralidade é limitada em ambos os extremos pela Temperatura Crítica Inferior (TCI) e Temperatura Crítica Superior (TCS). A zona de conforto térmico é dependente de diversos fatores, sendo alguns relacionados ao animal, como peso, idade, estado fisiológico, tamanho do grupo, nível de alimentação e genética e outros relacionados ao ambiente como a temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar, tipo de piso (RIBEIRO, 2008).

Além disso, existe uma zona de temperatura ambiental em que o animal consegue manter a sua homeotermia (entre TI e TS), ou seja, manter a sua temperatura interna relativamente estável, independente da temperatura ambiental. Entretanto, o animal necessitará de ajustes fisiológicos para manter a temperatura corporal constante. Quando a temperatura ambiente encontra-se abaixo da temperatura de conforto, que varia conforme a idade do animal, este precisa produzir calor corporal (termogênese). Já, quando a temperatura ambiente encontra-se acima da zona de conforto térmico (termólise), o animal precisa perder calor para o ambiente. Ambos os casos irão utilizar a energia de manutenção para gerar ou dissipar calor, diminuindo a energia que seria utilizada para a produção e/ou reprodução (ABREU *et al.*, 2007)

O fluxo de calor por convecção ocorre quando, um gás ou um líquido flui ao passar numa superfície sólida, cuja temperatura é diferente da temperatura do fluido (LIU *et al.*, 2011). O movimento pode ser provocado por

agentes externos, como por exemplo, pela atuação de uma ventoinha, ou por diferenças de densidade resultantes do próprio aquecimento do fluido. No primeiro caso, diz-se que a transferência de calor se processa por convecção forçada, enquanto, no segundo, por convecção natural ou livre. Assim, mesmo que um fluido se encontre em repouso (do ponto de vista macroscópico), a diferença de temperaturas gera diferenças de densidade no seio do fluido que poderão ser suficientes para induzir um movimento ascendente do fluido mais quente (sob a ação da gravidade) (INCROPERA *et al* 2011; NOGUEIRA *et al* 2010).

A radiação térmica é a energia emitida de um dado material, dada a sua temperatura diferente de zero. A radiação térmica esta relacionada com a energia libertada devido às oscilações ou transições dos elétrons que constituem os átomos, íons ou moléculas mantidos pela energia interna do material. Toda a forma de matéria com temperatura acima do zero absoluto emite energia por radiação (KNUPP, 2010; INCROPERA *et al* 2011). A energia do campo de radiação é transportada por ondas eletromagnéticas através do espaço vazio. A transferência de energia por condução ou convecção exige a presença de um meio material, ao contrário da radiação, que ocorre de um modo mais eficiente no vácuo (INCROPERA *et al* 2011; GUO *et al* 2012). Existem alguns fatores que afetam a transferência de calor por radiação. Enquanto uma maior diferença de temperaturas entre objetos implica maior rapidez de transferência de calor, a mesma pode ser diminuída por fatores atmosféricos (teor de água, CO<sub>2</sub>, e partículas).

Os mecanismos de dissipação de calor são influenciados não só pelos fatores climáticos e do meio circunvizinho, mas também pelos fatores intrínsecos ao próprio animal, como área da superfície corporal, cobertura pilosa, cor, emissividade, vaporização da pele e pulmão, condutividade térmica através de tecidos e fluxos periféricos, troca térmica por meio da água de bebida ou excretada.

Normalmente, o ambiente térmico animal é caracterizado pela temperatura, pela umidade relativa, pelo vento e pela radiação. Segundo Baeta & Souza (1997) e Barnwell & Rossi (2002), esses elementos não atuam

isoladamente: eles apresentam efeito conjunto que pode ser traduzido por uma temperatura ambiental efetiva.

A temperatura corporal das aves situa-se entre 41 e 42°C. Para manter-se nessa faixa, a temperatura ambiental efetiva, de acordo com Cony & Zocche (2004) e Ávila (2004), deve ser manejada de tal forma que na fase inicial de vida das aves as temperaturas consideradas confortáveis fiquem entre 30 e 32°C, na primeira semana de vida, entre 28 e 31 °C, na segunda e entre 26 e 29 °C, na terceira.

Em relação à umidade do ar, Baião (1995) e Oliveira et al. (2006) citaram que, quanto mais altas, pior para as aves, e mais dificuldade elas terão para remover calor interno pelas vias aéreas, dificultando a manutenção da homeotermia e comprometendo o desempenho. De acordo com Baêta & Souza (1997) e Tinôco (2004), o ideal é que o ambiente para criação de frangos de corte apresente umidade relativa entre 50 e 70%.

A Tabela 1 ilustra as faixas de temperatura ambiente considerada confortável ao nível das aves e no galpão, para cada faixa etária.

Tabela 1 – Faixas de temperaturas ambientes confortáveis para os pintinhos.

Idade (semanas)	Temperatura (°C)	
	Ao Nível das Aves	No Galpão
1	30 - 33	27 - 29
2	29 - 31	25 - 27
3	27 - 29	24 - 25
4	25 - 26	22 - 24
5	22 - 23	21 - 22
6 em diante	21	20

Fonte: CONY; ZOCICHE, 2004.

Tabela 2 – Faixa de conforto térmico para frangos em diferentes idades.

Idade	Temperatura (°C) <sup>1</sup>	Temperatura (°C) <sup>2</sup>
1	32 a 34	32 a 33
2	28 a 32	29 a 30
3	26 a 28	24 a 26
4	24 a 26	21 a 23
5 e 6	18 a 24	19 a 21

Fonte: adaptado de Furlan (2006)<sup>1</sup> e Cobb-Vantress (2009)<sup>2</sup>.

De acordo com Baião (1995) e Oliveira *et al* (2006), a capacidade das aves em suportar o calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar. Quanto maior essa umidade, mais dificuldade a ave tem para remover calor interno pelas vias aéreas, o que leva ao aumento da frequência respiratória. Todo esse processo que a ave realiza no sentido de manutenção da homeotermia promove modificações fisiológicas que podem comprometer seu desempenho.

Com relação à radiação, a temperatura de globo negro (TGN) tem sido bastante utilizada, pois incorpora em um único valor a temperatura do ar, a velocidade do vento e a radiação. Quando se adiciona a TGN com a temperatura bulbo úmido (TBU), obtém-se o índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), desenvolvido por Buffington *et al* (1981), conforme equação 01 a seguir para prever as condições de conforto térmico.

$$ITGU = 0,72 (T_{GN} + T_{BU}) + 40,6 \quad (\text{Equação 01})$$

Em pesquisa feita por Oliveira *et al* (2006) para avaliar cortes nobres de frango de corte, foram utilizadas as temperaturas de globo negro para caracterizar os ambientes de conforto, de calor seco e de calor úmido obtendo, respectivamente,  $25,1 \pm 2,99$ ;  $35,0 \pm 0,14$ ; e  $31,2 \pm 1,82$  °C, e as umidades relativas registradas nos ambientes de calor seco e calor úmido foram, respectivamente, de 40 e 75%. A pesquisa concluiu que altas temperaturas de globo negro prejudicam o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade e os efeitos foram mais acentuados quando a umidade relativa do ar aumentou.

Medeiros *et al* (2005) analisaram o efeito da interação de três elementos climáticos: a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar, em frangos de corte criados de 1 a 21 dias de idade em galpões convencionais e de 22 a 42 dias em câmaras climáticas. Os tratamentos compreenderam combinações de temperaturas, umidades relativas e velocidades do ar. Foram observados desempenho zootécnico, mortalidade, respostas fisiológicas e comportamento animal pela manhã, tarde e noite em cada tratamento. Verificou-se que, em ambientes com índice de temperatura

de globo e umidade (ITGU) variando de 69 a 77, as aves mostraram-se calmas, normalmente dispersas e altamente produtivas.

De acordo com Teixeira (1983); Piasentin (1984); Abreu (1994); Medeiros *et al.* (2005), na fase inicial de criação, as faixas de ITGU consideradas confortáveis podem ser de 80-86, na primeira semana de vida, de 76-80, na segunda é de 65-77, da terceira semana em diante, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Faixas de índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) consideradas confortáveis para os frangos de corte.

Idade (dias)	ITGU ao Nível das Aves
01 - 07	80 - 86
08 - 14	76 - 80
15 - 21 em diante	65 - 77

Fonte: Adaptado de TEIXEIRA, 1983; PIASENTIN, 1984; ABREU, 1994; MEDEIROS *et al.*, 2005.

Segundo Esmay (1974), outro parâmetro importante para a avaliação da do requerimento térmico ambiental é a carga térmica de radiação (CTR), que pode ser determinada pela equação 02.

$$CTR = \sigma (TRM)^4 \quad (\text{Equação 02})$$

Em que,

$\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann, igual a  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ;

TRM é a temperatura radiante média, em K, sendo calculada conforme a equação 03.

$$TRM = 100 \cdot \sqrt[4]{2,51 \cdot \sqrt{V} \cdot (Tgn - Tbs) + \left(\frac{Tgn}{100}\right)^4} \quad (\text{Equação 03})$$

### **3.2 - ELEMENTOS NORMALMENTE EMPREGADOS NAS ENVOLTÓRIAS DOS AMBIENTES DE CRIAÇÃO DE AVES RELATIVAS AO AMBIENTE TÉRMICO**

O pintinho ao nascer sente muito frio e é sensível ao vento. Assim, a vedação do galpão deve ser bem manejada. É fundamental o uso de cortinas transversais, cortina dupla (internas) e casulo (forração). Devemos também oferecer-lhe uma fonte de energia (campânula ou fornalha). É importante observar a temperatura interna do galpão, para que esteja entre 32° e 33°C, na chegada das aves.

Os elementos empregados nas envoltórias dos ambientes de criação são compostos pela cama, cortinas internas e externas, juntamente com o forro. Esses envoltórios (Figura 3) criam um microclima a fim de obter maior controle das variáveis necessárias para o conforto térmico ambiental para as aves. Esses elementos serão descritos a seguir.

Para que as aves obtenham melhor desempenho, em se tratando de conversão alimentar, é necessário que o ambiente esteja adequado às suas necessidades. Grandes variações de temperatura propiciam redução no consumo de ração e aumento do consumo de energia para manutenção da temperatura corporal.

Os requisitos mais importantes quanto ao isolamento térmico concentram-se no telhado. Um telhado com bom isolamento térmico reduz a entrada de calor no galpão durante o verão, diminuindo assim a carga de calor nas aves. Durante o inverno, um telhado com bom isolamento reduz a perda de calor e o consumo de energia necessário para manter o ambiente adequado às aves durante a fase de alojamento, o período mais importante no desenvolvimento da ave.

Em instalações com isolamento inadequado, pode-se reduzir as flutuações de temperatura por meio da instalação de uma mini cortina (casulo) dentro do galpão. Esse casulo é formado por um teto falso (forro) que corre de um beiral do telhado ao outro (Figura 2). Esse teto falso reduzirá bastante a perda de calor e facilitará o controle da temperatura. Uma cortina interna, a um metro da cortina externa, deve também ser instalada. A cortina interna promoverá a vedação completa do piso até o teto falso nas extremidades dos

beirais. A abertura dessa cortina deve ser feita pela parte superior, e nunca pela parte inferior. O mínimo movimento de ar no nível do piso causará o resfriamento dos pintos. A segunda cortina pode ser usada para ventilação nos primeiros estágios.

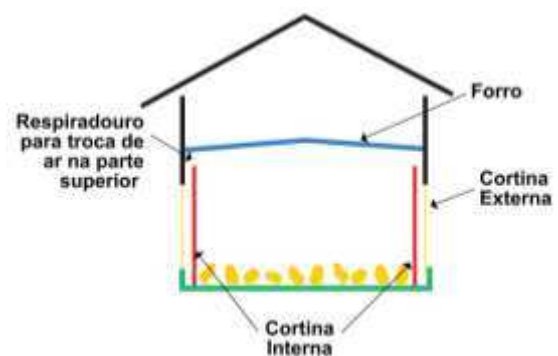


Figura 2 – Elementos de fechamentos no galpão aviário.

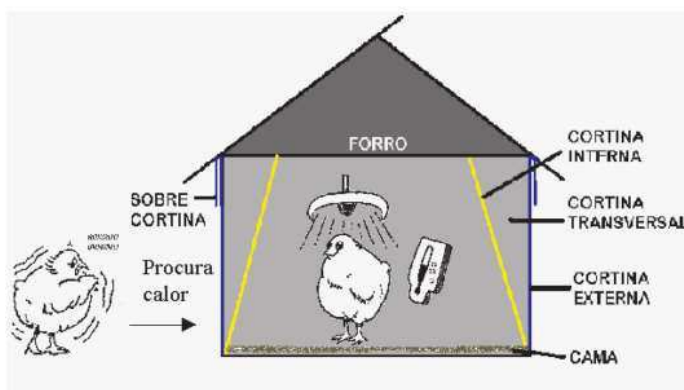


Figura 3 – Elementos empregados nas envoltórias do ambiente das aves.

No Brasil, as telhas mais utilizadas nas instalações zootécnicas são constituídas de fibrocimento e barro. As telhas de fibrocimento geralmente são utilizadas por possuir um custo menor em relação às telhas de barro, porém possuem um desempenho térmico pior.

Jácome *et al* (2007) analisaram o comportamento térmico de diferentes materiais de cobertura para instalações de poedeiras na fase de cria e recria e concluíram que as coberturas de telha cerâmica apresentaram, durante o verão, melhores resultados de carga térmica de radiação, quando comparados com telhas de cimento amianto para cobertura no Brasil: cerâmica vermelha e branca, fibrocimento sem asbesto (sem amianto), cobertura de alumínio, cobertura de aço inoxidável, metal revestido de

alumínio e zinco, metal termo acústico, verde e branco e cerâmico colorido com e sem resina.

Abreu *et al* (2007) estudaram o efeito da época do ano (primavera e verão), e a utilização de forro de polietileno sobre as condições térmicas e desempenho das aves de corte. Os autores encontraram diferença para épocas em todas as variáveis estudadas (ITGU, CTR, UR% e T°C), exceto para a conversão alimentar aos 21 e 42 dias de idade. Para essa variável, a melhor época observada foi no verão. Já para os tratamentos, aviário com forro e sem forro, os melhores resultados para conforto térmico e índices produtivos foram encontrados no aviário com forro.

Lavor *et al* (2008) estudaram o efeito de materiais como isolantes térmicos em galpões, sobre o desempenho de frangos de corte, de 1 a 39 dias de idade. Foram utilizados quatro galpões, sendo cada revestido com um material diferente, tanto nas laterais como no forro do galpão. Usou-se a palha de carnaúba, papelão reciclado, rafia sintética branca e rafia sintética azul. Esses autores concluíram que, nas condições em que foi conduzido o experimento, o melhor desempenho zootécnico foi alcançado pela rafia azul e o pior ficou com rafia branca.

Camerini *et al* (2009) realizaram um experimento em modelos reduzidos, utilizando resíduos de EVA (Etileno-Acetato de Vinila) como isolante térmico. O conforto térmico foi avaliado por meio do Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade (ITGU), Carga Térmica Radiação (CTR). Dois modelos foram construídos com telha de alumínio, com e sem o forro de resíduo de EVA, durante o inverno e verão. Os modelos reduzidos com utilização do resíduo de EVA possibilitaram redução nos valores dos índices avaliados, concluindo que a utilização do forro proporcionou melhor ambiente térmico no interior do modelo reduzido.

SOUBDHAN *et al* (2005) analisaram a influência das barreiras radiantes na transferência de calor por condução e radiação, quando integradas em edificação residencial e compararam a eficiência destas mantas com os isolantes térmicos tradicionais (lã mineral, poliuretano). Esses autores concluíram que a transferência de calor por radiação foi predominante nas células analisadas, representando aproximadamente 86% do fluxo de

calor total em telhados de telha ondulada metálica e que o poliestireno proporcionou melhor resistência à transferência de calor do que a fibra de vidro e a barreira radiante.

### **3.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR NO GALPÃO DE CRIAÇÃO DE AVES**

Para a compreensão dos mecanismos de troca de calor entre essas envoltórias empregadas no ambiente da ave, torna-se necessário entender os mecanismos de troca de calor, descritas a seguir.

Incropera (1992) define calor como “o trânsito de energia provocado por uma diferença de temperatura” sendo que o sentido do fluxo de calor vai da região de maior temperatura para a região de menor temperatura. A transferência de energia entre a instalação, seus ocupantes e o ambiente, ocorre por condução, radiação, convecção e evaporação. Os processos térmicos em seu interior dependem das propriedades (absortividade, refletividade, transmissividade térmica) dos materiais (MICHELS *et al* 2008).

A transferência de calor de um corpo devido à existência de diferentes temperaturas, sem mudança de estado físico, é denominada troca seca. Nestas trocas, o calor envolvido é denominado como calor sensível e a transferência de calor acontece por meio da condução, radiação e convecção (BAÊTA, 1997). Outra forma de transferência de calor são as trocas úmidas que acontecem quando há uma mudança no estado de agregação da água, sendo o calor envolvido nestas trocas denominado calor latente, e os mecanismos são: evaporação e condensação (FROTA; SHIFFER, 1988).

#### **a) Transferência de calor por condução**

A condução é um processo que exige contato físico direto entre as superfícies ou substâncias cujas temperaturas são diferentes, sendo a energia transferida de uma região de maior temperatura para outra de menor temperatura (INCROPERA *et al* 2008). Este processo ocorre em sólidos, líquidos e gases, mas como nos fluidos há processos convectivos, a condução refere-se somente aos sólidos, pois ocorre sem a movimentação das moléculas, que é a condição inicial para que haja o processo de condução de energia (KREITH, 1973).

A quantidade de calor que flui por meio de um elemento opaco é função do material que o constitui, da espessura do elemento e do gradiente de temperatura. A grandeza física que caracteriza se um material é melhor ou pior condutor de calor chama-se condutividade térmica ( $k$ ) (RODRIGUES, 1998). A equação da taxa de transferência de calor por condução (REYNOLDS, 1986) é descrita como “Lei de Fourier” que relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por condução, conforme a equação 04.

$$q_{cond} = k \cdot \frac{T_{se} - T_{si}}{L} \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

$q_{cond}$  = densidade de fluxo de energia térmica, em  $W/m^2$ ;

$k$  = condutividade térmica do material, em  $W/m \cdot K$ ;

$T_{se}$ ,  $T_{si}$  = temperatura da superfície externa e da superfície interna, respectivamente, em  $K$ ;

$L$  = espessura do material, em  $m$ .

### **b) Transferência de calor por convecção**

A convecção é um processo pelo qual o calor é transferido entre uma superfície sólida e um fluido em movimento, em que ocorre a remoção do calor do material sólido aquecido. As trocas de calor por convecção envolvem o ar ou um líquido e uma superfície sólida (INCROPERA *et al* 2008). A transmissão da energia ocorre das porções quentes para as porções frias de um fluido por meio da ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura (KREITH, 1973).

Segundo GIVONI (1998), esse processo pode ser natural ou forçado. A convecção é natural quando o movimento do fluido ocorre devido às variações de sua densidade, e na convecção forçada a movimentação do fluido é realizada por forças mecânicas externas (bombas ou ventiladores). A grandeza física que caracteriza o processo convectivo é o coeficiente de transmissão de calor por convecção ( $h_c$ ) e seu valor depende de alguns

fatores como a natureza do fluido, velocidade do fluido, geometria e rugosidade da superfície sólida, características da camada limite, se a convecção é natural ou forçada e da direção de deslocamento do fluido (GIVONI, 1998).

A equação a seguir é denominada como a “Lei de Resfriamento de Newton”, e relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por convecção:

$$q_{conv} = h_c \cdot (T_{sup} - T_{\infty}) \quad (\text{Equação 05})$$

Onde:

$q_{conv}$  = Fluxo de energia térmica, em  $W/m^2$ ;

$h_c$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção, em  $W/m^2.K$ ;

$T_{sup}$ ,  $T_{\infty}$  = temperatura da superfície e temperatura do fluido, em K.

### **c) Transferência de calor por radiação**

A radiação térmica é definida como sendo “a energia emitida pela matéria que estiver numa temperatura finita”. A radiação pode ser transmitida tanto pelos corpos sólidos como pelos fluidos por meio de ondas eletromagnéticas. Dessa forma, quando um corpo recebe energia radiante, há um aumento de sua temperatura e também há emissão de energia para as superfícies adjacentes, que é proporcional à temperatura do corpo (KREITH, 1973). Todos os corpos com temperatura superior a 0 K (-273 °C), conseqüentemente, possuindo movimento molecular e atômico, emitem radiação eletromagnética.

A troca de calor entre dois corpos, como por exemplo, entre a superfície animal e a superfície das telhas, depende da diferença de temperatura entre as superfícies, de suas emissividades e do formato do corpo, o qual representa como a superfície do animal se situa em relação à superfície do telhado (posição) e a forma como ocorrem as múltiplas trocas de calor entres elas (HOLMAN, 1983).

A equação a seguir, de acordo com a lei de Stefan-Boltzman, relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por radiação em uma superfície à determinada temperatura.

$$q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (\text{Equação 06})$$

Onde:

$q_{rad}$  = densidade de fluxo de energia térmica, em  $W/m^2$ ;

$\varepsilon$  = emissividade da superfície;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann,  $5,67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ ;

$T_s$  = temperatura da superfície, em K.

A emissividade ( $\varepsilon$ ) fornece uma medida da capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação à de um corpo negro (radiador ideal), com valores que se encontram entre  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , dependendo do material utilizado e da superfície (KREITH, 1973).

A energia radiante incidente sobre um corpo é em parte absorvida, refletida e transmitida sendo as propriedades físicas envolvidas nesses processos denominadas respectivamente de absorção ( $\alpha$ ), de reflexão ( $\rho$ ) e de transmissão ( $\tau$ ). Considerando  $E_i$  a energia radiante incidente em uma determinada superfície,  $E_\alpha$  a parcela de energia absorvida,  $E_\rho$  a energia refletida e  $E_\tau$  a energia transmitida, tem-se que:

$$E_i = E_\alpha + E_\rho + E_\tau \quad (\text{Equação 07})$$

A absorptividade ( $\alpha$ ) também varia na faixa  $0 \leq \alpha \leq 1$ . As superfícies opacas absorvem uma parte da radiação incidente e refletem a outra parte em quantidade proporcional ao total de radiação incidente (HALÁSZ, 1994). A equação que define esta relação é dada por:

$$1 = \alpha + \rho \quad (\text{Equação 08})$$



Sendo assim, para reduzir a transferência de calor para o interior de uma instalação, é necessário instalar um material que apresente baixa condutividade térmica. Esse material retarda a passagem do fluxo de calor que atravessa a instalação por condução, convecção e/ ou radiação. Esta capacidade de reduzir as trocas de calor é função da resistência térmica que materiais isolantes proporcionam (AL-HOMOUD, 2005).

O uso de materiais que têm baixa emissividade e que refletem a maior parte da radiação incidente, como os metálicos, é outra forma de reduzir os ganhos térmicos provenientes da cobertura. Esses materiais, na construção civil, geralmente são chamados de isolantes térmicos reflexivos ou de barreiras radiantes, pois dificultam a transferência do calor por radiação. O material mais utilizado neste processo é o alumínio (MICHELS *et al* 2008).

De acordo com Rodrigues (1998), a radiação trocada entre duas superfícies, que estão a diferentes temperaturas ( $T_{s1} > T_{s2}$ ), separadas por uma determinada distância, e sem contato físico, é feita por meio de ondas eletromagnéticas. E o fluxo líquido de calor radiante entre os dois corpos pode ser estimado pela equação 09.

$$E_1 - E_2 = \alpha \cdot (\varepsilon_1 T_{s1}^4 - \varepsilon_2 T_{s2}^4) \quad (\text{Equação 09})$$

$E_{1-2}$  = saldo de energia radiante transferida da superfície 1 para a superfície 2, em  $W/m^2$

$\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  = emissividade das superfícies 1 e 2, respectivamente;

$T_{s1}$  e  $T_{s2}$  = temperatura das superfícies 1 e 2, em K.

Diante dos problemas ocasionados pela má qualidade do ar, torna-se necessário o manejo adequado da ventilação mínima, natural ou mecânica, visando evitar concentrações de gases indesejáveis dentro do aviário; entretanto, deve-se atentar à perda de calor, principalmente na fase inicial de vida das aves.

A climatização de um ambiente consiste em adaptar as condições térmicas às ideais. Na produção de frango de corte são considerados sistemas de climatização àqueles que utilizam equipamentos como os exaustores, ventiladores, nebulizadores, sistema de aquecimento, painéis de

resfriamento evaporativo e controladores, além de materiais isolantes (CURI *et al* 2014; LIANG *et al* 2014).

Desta forma, atingir as condições de conforto térmico (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar) no interior das instalações avícolas em função das condições adversas externas (por frio e por calor) tornou-se um desafio, uma vez que influenciam diretamente na qualidade do ambiente e consequentemente na produtividade das aves (NÄÄS *et al* 2001). Por esta razão, a utilização do sistema de ventilação e de resfriamento se torna uma maneira estratégica para a manutenção das condições ambientais e da qualidade do ar no interior dos aviários relacionados às exigências das aves em função da idade, linhagem e localização do aviário (BUSTAMANTE *et al* 2013; BUCKLIN *et al* 2009; BUSTAMANTE *et al* 2015).

### **3.5 - QUALIDADE DO AR**

A relevância do monitoramento do ambiente aéreo em galpões de frangos ocorre não somente em consequência do bem-estar animal, mas também devido às questões de saúde pública. As concentrações de poeira, e outros gases produzidos em galpões de confinamento quando acima do nível tolerável, podem afetar tanto a saúde animal quanto a saúde humana. Os limites toleráveis máximos de dióxido de carbono, monóxido de carbono, amônia, sulfato de hidrogênio e poeira inalável são de 5.000 ppm, 50 ppm, 20 ppm, 10 ppm e 10 mg.m<sup>-3</sup>, respectivamente, segundo a *Global good agricultural practices* - GLOBALG.A.P (2012).

Além disso, a renovação do ar permite que os níveis de oxigênio. Enquanto a diretiva da Comissão Européia (2008) estabelece limites máximos de 20 ppm, 3.000 ppm e 70 % para a concentração de amônia, dióxido de carbono e nível de umidade relativa, respectivamente. Já o manual de frango de corte da linhagem Cobb preconiza concentração máxima de 10 ppm para a amônia e 3.000 ppm para o dióxido de carbono (COBB-VANTRESS, 2009).

Doenças crônicas, baixo ganho de peso, pior conversão alimentar e desempenho estão entre as consequências de uma má ventilação no aviário. (NIENABER e HAHN, 2004; SALGADO, 2006; VALE *et al.*, 2008).

Equipamentos e metodologias de avaliação quando utilizados apropriadamente permitem a visualização e avaliação do fluxo do ar e

características importantes, como: velocidade do ar, velocidade de rotação do ventilador, pressão estática, temperatura, umidade relativa e a concentração de amônia e outros gases (BOTTCHER, 1995).

A escolha do sistema de ventilação adequado deve levar em consideração, além das condições externas dos aviários, a dimensão da instalação (volume de ar a ser renovado), densidade das aves (responsáveis pela produção de calor e umidade) e tipo de instalação para garantir a eficiência da ventilação e das trocas de ar (BARTON, 1994; NILIPOUR, 1995).

A necessidade de ventilação em função da temperatura e idade das aves é apresentada na Tabela 4, enquanto que as exigências de ar em função da temperatura ambiente e da idade das aves para o período de verão e inverno são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 04 – Fluxos de ar em função da temperatura (°C) conforme idade das aves.

Temperatura (°C)	Idade (semanas)			
	1	3	5	7
	Fluxo de ar ( $10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )			
4.4	0.11	0.33	0.57	0.90
10.0	0.14	0.38	0.75	1.08
15.6	0.17	0.47	0.90	1.32
21.1	0.19	0.57	1.04	1.56
26.7	0.22	0.61	1.18	1.75
32.2	0.25	0.71	1.32	1.98
37.8	0.28	0.80	1.46	2.22
43.3	0.31	0.85	1.60	2.41

Fonte: Adaptado de Bampi (1994).

Tabela 05 – Necessidades de fluxo de ar para cada frango em sua respectiva idade.

Idade (dias)	Peso (kg)	Exigências de fluxo de ar por unidade frango ( $10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )		
		Inverno (fluxo mínimo)	Verão (Fluxo máximo)	Máximo fluxo no verão com umidade maior que 50%
7	0,160	0,14	0,56	0,56
14	0,380	0,17	0,56	0,56
21	0,700	0,19	0,83	0,83
28	1,070	0,25	1,11	1,11
35	1,500	0,28	1,39	1,67
42	1,920	0,42	1,67	2,22
49	2,350	0,42	1,67	2,22

Fonte: adaptado de Lacambra (1997).

Ventilação é especialmente crítica durante os períodos mais quentes do ano como o verão, uma vez que as aves na fase final de produção são

suscetíveis ao estresse calórico quando expostas a altas temperaturas em combinação com alta umidade (CARVALHO *et al* 2013; GARCIA NETO *et al* 2014).

### **3.5.1 - Dióxido de carbono ou gás carbônico (CO<sub>2</sub>)**

O CO<sub>2</sub>, gás inodoro presente no ar atmosférico em concentração média de 350 ppm, é produzido pelos próprios animais e pela queima de combustíveis em sistemas de aquecimento e em maior quantidade pela decomposição dos dejetos. De acordo com Baêta e Souza (1997), a produção de CO<sub>2</sub> pelo animal está diretamente relacionada com a sua produção de calor, sendo esta última função do peso do animal, do nível de alimentação e do ambiente térmico.

No interior das instalações, o CO<sub>2</sub> está presente devido ao processo metabólico dos animais e a processos biológicos. A concentração que normalmente ocorre nas instalações para aves é de 600 a 4000 ppm, o que não afeta as aves nem o homem (ALENCAR *et al* 2002).

De acordo com Nader *et al* (2002), o CO<sub>2</sub> quando em concentração de 5000 ppm causa, nos animais, aumento do ritmo respiratório e respirações profundas.

Whates (1999) recomendou o limite máximo de 3000 ppm de dióxido de carbono no caso de exposição contínua dos animais nas instalações. Já o limite exposição para humanos, considerando-se 8h em média, é de 5000 ppm.

### **3.5.2 – Monóxido de carbono (CO)**

O CO é um gás venenoso e inodoro que está presente em instalações para aves, principalmente na época fria, nas primeiras semanas de alojamento dos animais. Nesse ambiente, o gás pode surgir a partir da combustão incompleta de combustível devido ao ajuste irregular dos aquecedores e da ventilação inadequada.

Um dos principais efeitos da intoxicação por CO se dá pela dificuldade das moléculas em carrear oxigênio, uma vez que o carbono compete com este na ligação com certas proteínas. Dessa forma, a intoxicação por CO conduz o animal à hipóxia (CURTIS, 1983).

O limite máximo de CO recomendado por Wathes (1999) é de 10 ppm para exposição contínua dos animais nas instalações. No caso dos humanos, considerando-se exposição de 8h em média, é de 50 ppm.

### **3.6 - DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)**

O desenvolvimento da mecânica dos fluidos se deu no final do século XVIII com a criação da Escola de Engenharia Francesa liderada por Riche de Prony (1755-1839). Prony e seus associados em Paris, na escola politécnica foram os primeiros a incluir cálculo e teoria científica no currículo de engenharia, tornando-se um modelo para o resto do mundo. Antonie Chezy (1718-1798), Louis Navier (1785-1836), Gaspard Coriolis (1792-1843), Henry Darcy (1803-1858) entre outros que contribuíram para a engenharia e teoria dos fluidos foram estudantes e/ou professores nessas escolas.

Em meados do século XIX, o médico Jean Poiseuille (1799-1869) mediu com precisão o escoamento em tubos capilares de fluidos múltiplos; na Alemanha, Giththilf Hagen (1797-1884) definiu a diferença entre escoamento laminar e turbulento em tubulações, na Inglaterra, Lord Osborne Reynolds (1842-1912) continuou esse trabalho e desenvolveu o número adimensional que leva o seu nome. De modo similar, em paralelo ao trabalho inicial de Navier, George Stokes (1819-1903) completou as equações gerais do movimento dos fluidos com atrito que levam seus nomes.

As equações de Navier-Stokes têm sido largamente utilizadas na modelagem matemática para muitos fenômenos na mecânica dos fluidos como, por exemplo, escoamentos laminares ou turbulentos, que podem ser utilizados em dutos ou em placas planas com formulação em função corrente. Já os escoamentos podem ser estudados e analisados em função de determinadas grandezas tais como a velocidade, pressão ou temperatura.

A análise de estudos envolvendo escoamentos de fluidos usando ferramentas computacionais tem sido uma área em constante desenvolvimento, com diferentes campos de aplicação e com progresso no tratamento das equações com formulações seja com visão em camada limite ou com o uso das equações de Navier-Stokes. Devido à procura de métodos que suportem a solução destas equações, tem-se investido no estudo e na avaliação de problemas aplicados tanto na matemática quanto na engenharia.

Os métodos computacionais fornecem uma alternativa boa de simulação e avaliando o problema atual e podem ser usados para explorar os relacionamentos físicos que existem no nível macroscópico, a fim representar satisfatoriamente a dinâmica dos fluxos e dos seus efeitos (Osório *et. al.*, 2010). Assim, a possibilidade de realizar a simulação com a dinâmica fluido computacional (CFD), traçando o ambiente térmico do ambiente animal, os fluxos de ar, a concentração da amônia e empregando a ventilação natural, é de extrema importância para o tipo de construção praticado em países tropicais e subtropicais (HERNÁNDEZ, 2012).

A análise de estudos envolvendo escoamentos de fluidos usando ferramentas computacionais tem sido uma área em constante desenvolvimento, com diferentes campos de aplicação e com progresso no tratamento das equações com formulações seja com visão em camada limite ou com o uso das equações de Navier-Stokes. Devido à procura de métodos que suportem a solução destas equações, tem-se investido no estudo e na avaliação de problemas aplicados tanto na matemática quanto na engenharia (ROCHA, 2012).

No estudo do ambiente aos quais os animais estão confinados, a utilização de modelos de CFD com base na transferência de calor e massa, assim como os de momento, tem sido amplamente utilizada em vários estudos para avaliar o efeito que algumas variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa do ar) têm na resposta térmica dentro das instalações (GEBREMEDHIN, 2005).

Os estudos realizados com Computational Fluid Dynamics (CFD), aplicado para compreender o ambiente interno das instalações animais auxiliam no conhecimento sobre o fenômeno de transferência de massa, de energia térmica, o que contribui para construção de galpões mais preparados para variações nesse ambiente interno, reduzindo o tempo e o custo de desenvolvimento e de adaptação de projetos.

Uma das dificuldades para a simulação CFD dos ambientes internos e externos de instalações de animais é o fato de que a velocidade do fluido é influenciada pelo gradiente de pressão. Com simulações de CFD, os avanços tecnológicos tornaram possível obter dados de campo que podem incluir

respostas biológicas dinâmicas para os fenômenos encontrados e, assim, tornar mais próximo da realidade as simulações. Pode ainda, oferecer melhores condições para previsão do ambiente interno, via modelagem com CFD, o que contribui com o produtor no momento da decisão ou mesmo influencia na implantação de controladores de sistemas de aquecimento ou arrefecimento de instalações animais.

As equações de Navier-Stokes possuem limitações quando aplicadas em algumas áreas da engenharia. Isso significa que processos adicionais, com um conjunto maior de regras, podem ser necessários na dinâmica do sistema durante a modelagem. Nesses casos, as equações que descrevem o processo podem ser modificadas com adições de aproximações ou modelos físicos para representar inteiramente o regime do fluxo. Com isso, importantes modelos físicos, comumente usados em aplicações de engenharia, incluem modelos de turbulência, de meios porosos e de múltiplas fases (ROCHA, 2012).

Vários processos aplicados nas áreas da engenharia agrícola propiciam a utilização do sistema de equações de transporte de massa, de quantidade de movimento e de energia para descrevê-los, tais como armazenamento de grãos e energia de biomassa (ROCHA, 2012).

### **3.6.1 - Dinâmica dos fluidos computacional (CFD), aplicado à ambiência animal.**

Temperatura e velocidade do ar são consideradas fatores de maior influência sobre o desempenho de frangos de corte e a fim de avaliar a distribuição destas variáveis ao longo do comprimento da instalação, estudos técnicos foram realizados, onde os dados experimentais são geralmente medidos na altura das aves em três pontos (início, meio e fim) e de acordo com a altura dos galpões (CURTIS, 1983).

A compreensão da distribuição das variáveis como temperatura, velocidade e direção do vento, pode ser utilizada para atingir o conforto térmico dos animais e segurança dos trabalhadores nas instalações de aviários. Ao mesmo tempo, isso pode permitir aperfeiçoar o ambiente no

aviário com o objetivo de obter conforto térmico para as aves e, ao mesmo tempo, economizar energia e melhorar a eficiência energética.

As vantagens da utilização de modelos computacionais em ciências agrícolas, têm sido apresentados por Schauburger *et al* (2000) da seguinte forma: para quantificar as necessidades reais de ventilação em qualquer parte de uma instalação em função da sua ocupação; necessidade de incorporação das condições climáticas externas no projeto e seleção dos sistemas de ventilação; os modelos podem também combinar parâmetros espaciais e temporais dependentes, que afetam a distribuição de poluentes no interior da estrutura e calcular a concentração destes poluentes em função do tempo.

Variáveis tais como temperatura do ar, umidade relativa, concentração de poluentes, radiação térmica e movimento do ar podem afetar as condições de conforto dos animais, que reduzem a produção de aves, uma vez que a energia necessária para o seu desenvolvimento é destinada para diminuir o estresse térmico. São situações como essas que podem ser simuladas e analisadas por meio da utilização de CFD.

Hoff *et al* (1992) utilizaram um modelo de CFD para o fluxo de ar em uma instalação de forma retangular, nos quais a transferência de calor foi modelada utilizando um piso aquecido. Herral & Boon (1997) simularam padrões de fluxo mais tarde isotérmicos em uma representação 3D geométrica de um confinamento de gado. Nos anos seguintes, mais estudos foram desenvolvidos para validação das instalações animais com ênfase na criação de modelos de CFD mais necessários (Zhang *et al* 2000).

Nos últimos dez anos, a modelagem aplicando técnicas por meio do CFD, utilizado para simulação de transferência de calor e massa em uma representação geométrica, tornou-se confiável nas instalações de produção de animais (Van Wagenberg *et al* 2004). A seguir alguns estudos de simulação por meio da CFD aplicados aos seguintes animais.

#### **a) As aves**

A indústria das aves domésticas em Brasil, nos termos da eficiência da tecnologia e da produção, é igual qualquer outro no mundo, especialmente a respeito dos avanços na saúde e nutrição, conjuntamente com a pesquisa

exaustiva em áreas específicas com diferença no desenvolvimento do clima, o social e o econômico. Sabe-se que as aves requerem condições ambientais específicas de temperatura, umidade relativa, pressão, luz, do índice de oxigênio, do dióxido de carbono, e do nitrogênio para seu desenvolvimento.

Dentre os fatores ambientais, os térmicos representados por temperatura do ar, umidade relativa, radiação térmica e circulação de ar são aquelas que afetam diretamente as aves, uma vez que são animais de sangue quente. Essas variáveis ambientais podem ter efeitos positivos ou negativos sobre a produção de aves. Alta temperatura e alta umidade relativa no interior dos aviários são fatores que limitam a realização de produtividade ideal (Damasceno *et al* 2010b). Portanto, a necessidade de manter o ambiente térmico dentro de uma escala de produção ideal é evidente. No entanto, existem poucos estudos com CFD que utilizam balanço de massa dentro de instalações avícolas.

Damasceno *et al* (2010a) desenvolveram e validaram um modelo de CFD para analisar a distribuição de temperatura e velocidade do ar dentro de um aquecedor comercial comum usado na produção avícola brasileira. Estes autores concluíram que os modelos de CFD podem ser usados para a predição do comportamento térmico e distribuição de velocidade (no interior da câmara de combustão para aquecimento) em tempo real, auxiliando na melhoria do projeto.

Tinoco *et al* (2010) usaram a simulação por meio do CFD para analisar a ventilação mecânica associada a um sistema de resfriamento evaporativo. Neste estudo, os autores desenvolveram um modelo CFD a fim de obter uma melhor compreensão da distribuição de velocidade e temperatura do ar no interior da instalação avícola.

## **b) Gado**

Gebremedhin e Wu (2003) realizaram previsões tendo como base as simulações de CFD para auxiliar na modelagem do ambiente térmico nas instalações de gado leiteiro. Em seu estudo, o programa computacional escrito em Fortran foi usado para calcular todos os modelos de determinação necessária para a transferência de calor e massa sobre o corpo destes

animais. Gebremedhin e Wu (2005) estudaram a utilização de simulações de CFD para o fluxo de ar em instalações com geometria simples com ventilação forçada para investigar os fenômenos de calor e transferência de massa. Eles descobriram que a perda de calor total de um animal é altamente dependente da posição e orientação no campo de escoamento. Por exemplo, uma vaca posicionada perto da entrada de ar pode perder, aproximadamente, 710 W de calor, enquanto um animal posicionado na outra extremidade da instalação poderá perder 214 W.

### **c) Suínos**

Produção e desempenho reprodutivo de suínos dependem do sistema de gestão empregado, que envolve o sistema de reprodução selecionada, a nutrição, sanidade e as próprias instalações. Estas instalações, que demandam um grande investimento inicial, são construídas em função dos custos e instalações do zelador, muitas vezes negligenciando o conforto dos animais. Assim, muitas vezes, a aplicação de modelos de CFD no ambiente destes animais são direcionados para a otimização das condições ambientais (Bjerg *et al* 2000; Sun *et al* 2002 e Sun *et al* 2004).

Os estudos realizados com a dinâmica de fluidos computacional (CFD), aplicado para compreender o ambiente interno das instalações animais auxiliam no conhecimento sobre o fenômeno de transferência de massa, de energia térmica, o que contribui para construção de galpões mais preparados para variações nesse ambiente interno, reduzindo o tempo e o custo de desenvolvimento e de adaptação de projetos.

Com simulações de CFD, os avanços tecnológicos tornaram possível ter esses dados de campo que podem incluir respostas biológicas dinâmicas para os fenômenos encontrados e, assim, tornar mais próximo da realidade as simulações. Pode ainda, oferecer melhores condições para previsão do ambiente interno, via modelagem CFD, o que contribui com o produtor no momento da decisão ou mesmo influência na implantação de controladores de sistemas de aquecimento ou arrefecimento de instalações animais.

## 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 – TUBO RADIANTE CONVECTIVO (TRC)

Foi adotado um sistema de aquecimento utilizando Tubo Radiante Convectivo (Figura 6) que foi constituído de tubos nos quais a transferência de calor ocorreu por meio da radiação e convecção.

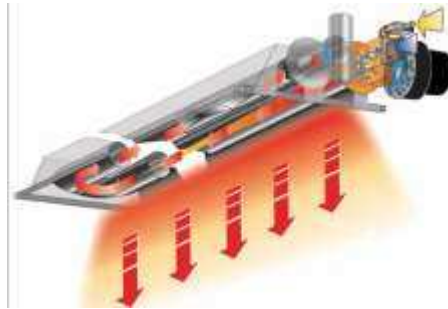


Figura 6 – Sistema de aquecimento por radiação e convecção

Na Figura 7, há modelos semelhantes do tubo radiante convectivo fornecido pelo fabricante do equipamento.

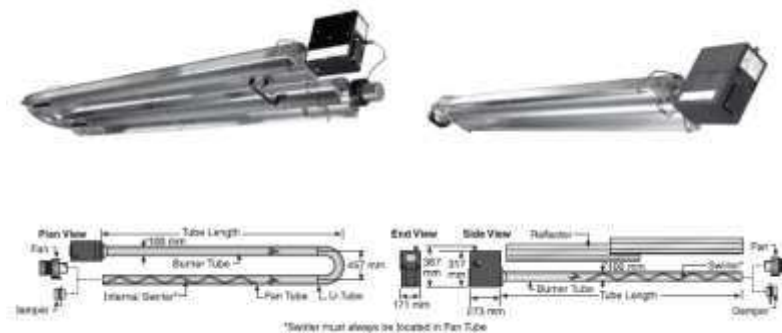


Figura 7 – Modelos de aquecimento semelhantes ao TRC

Na Figura 8, o TRC utilizado *in loco* para coleta de dados. O equipamento consiste de uma superfície radiante seguida de um tubo central que direciona o ar aquecido para o ambiente. Dessa forma, o sistema

proposto propicia transferência de calor, simultaneamente, pelos processos de radiação e convecção, predominantemente.



Figura 8 – Sistema aquecimento tubo radiante convectivo proposto.

#### 4.2 - MONTAGEM DE UM MÓDULO EXPERIMENTAL

O local escolhido para construir o módulo experimental foi a Fazenda “Vargem Grande”, localizada a 25 km de Viçosa, situada a 696 m de altitude e com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 20° 38’ 54” Sul, Longitude: 43° 5’ 18” Oeste. O galpão disponibilizado tinha dimensões de 35 m de comprimento, 8 m de largura e considerando que utilizar a área toda disponível seria inviável em termos de materiais e de quantidade de aquecedores, escolheu-se um módulo experimental de 12 m de comprimento e 8 m de largura. Assim, a área representativa era de 96 m<sup>2</sup>. O galpão original está apresentado por meio da Figura 9.



Figura 9 – Galpão disponível para coleta de dados com 280 m<sup>2</sup>.

Definida a área, iniciou-se a montagem do galpão com objetivo de obter condições semelhantes às encontradas em um aviário. Para isso, lonas foram alocadas nas laterais direita e esquerda do módulo de 96 m<sup>2</sup>, acopladas

a roldanas a fim de fornecer a opção de regulagem quanto à posição das lonas laterais, conforme Figura 10.



Figura 10 – Fechamentos laterais com lona para aviários.

Uma vez estabelecidas as laterais, procedeu-se a colocação da lona ao longo da largura de 8 m (Figura 11) a fim de delimitar a área, uma vez que a parede oposta era de alvenaria, não havendo a necessidade desse fechamento.



Figura 11 – Fechamento ao longo da largura de 8 m para delimitação da área de 96 m<sup>2</sup>.

Com as laterais delimitadas por meio da instalação dessas lonas, obteve-se maior controle nas entradas de ar e, caso fosse necessário, a posição das lonas nas laterais esquerda e direita poderia ser regulada por meio das roldanas, semelhante ao que ocorre em aviários. Estabelecer o volume de ar a ser aquecido foi fundamental para caracterização do potencial de aquecimento do Tubo Radiante Convectivo (TRC), pois uma área com excessiva entrada de ar poderia ocasionar desperdício de energia no aquecimento.

Na Figura 12, os fechamentos laterais do galpão escolhido.



Figura 12 – Fechamento de todas as laterais da área escolhida com lona de aviário.

Com as quatro laterais delimitadas, procedeu-se a instalação de um forro, tão comum em aviários e que foi essencial na delimitação do volume de ar a ser aquecido, uma vez que o pé direito do galpão era de 4 m e aquecer todo esse volume de ar se tornaria inviável. O início da construção desse forro que deveria ter uma área de, aproximadamente, 77 m<sup>2</sup> ocorreu com a construção da estrutura de ripas, conforme a Figura 13.



Figura 13 – Construção da estrutura em ripas para obtenção do forro.

Com a estrutura pronta, procedeu-se a colocação da lona já cortada na dimensão da estrutura e ao levantamento do forro com auxílio de roldanas, conforme a Figura 14.



Figura 14 – Alocação da lona na estrutura do forro.

O forro foi levantado (Figura 15) até a altura de 2,5 m e, dessa forma, o volume de ar no qual o TRC seria avaliado estava finalizado, tendo dimensões de 12 m x 8 m x 2,5 m.



Figura 15 – Levantamento do forro pronto para delimitação do volume de ar a ser aquecido.

A preparação do local, desde o início ocorreu no sentido de simular ao máximo possível as condições encontradas em um aviário e, uma vez, fechadas as laterais com lonas apropriadas para tal fim e levantamento do forro, tornou-se necessária à distribuição da cama no piso desse galpão.

A cama utilizada foi composta por serragem de madeira, material amplamente utilizado em aviários de corte, sendo distribuída ao longo de todo piso, conforme a Figura 16.

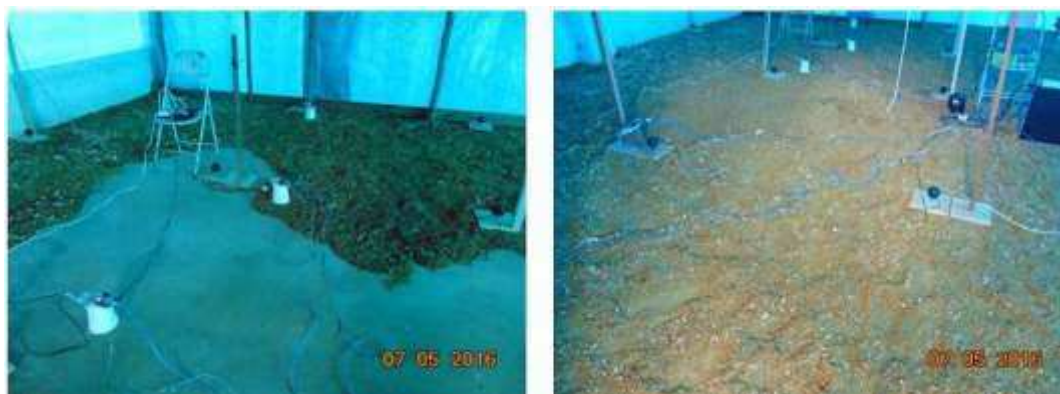


Figura 16 – Distribuição da serragem de madeira (cama) no piso do galpão.

Com a estrutura física finalizada, procedeu-se a instrumentação desse galpão a fim de determinar os pontos de coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar o que propiciaria a caracterização do aquecedor TRC de forma eficaz. Além disso, a coleta dos dados deveria fornecer dados consistentes para posterior comparação por meio da ferramenta da dinâmica

de fluidos computacional (CFD). A escolha do sistema teve por base uma malha formada por arduinos e sensores, distribuídos ao longo de 25 pontos de coleta, nos quais cada ponto possuía dois sensores a diferentes alturas, totalizando 50 pontos de coleta ao longo do galpão.

O sistema de coleta de dados será descrito a seguir.

#### **4.3 – DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS DO AR INTERNO DO MÓDULO EXPERIMENTAL**

Foi definida a melhor forma de distribuir os pontos, estabelecendo a configuração a seguir como base para coleta de dados. De acordo com essa configuração, posicionaram-se a cada dois metros um ponto de coleta, representado pelos pontos negros presentes na figura abaixo. Portanto, em cada ponto negro, havia 2 sensores de temperatura. Em cada ponto negro, foram posicionados dois sensores de temperatura, sendo o primeiro sensor alocado a seis centímetros do piso, identificado pelos números ímpares, simulando o centro de massa dos pintinhos. O segundo sensor em cada ponto, foi posicionado a um metro de altura, identificado pelos números pares, com a finalidade de conhecer a temperatura do ar ambiente no interior do galpão, o que forneceria melhor conhecimento da distribuição da temperatura propiciada pelo TRC.

Foram utilizados vinte e cinco pontos de coleta (Figura 17), totalizando cinquenta sensores de temperatura ao longo do módulo experimental. Além desses sensores, foram posicionados dois sensores externos ao galpão a fim de mensurar a temperatura ambiente externa e outros dois sensores foram posicionados no forro, totalizando cinquenta e quatro sensores de temperatura.

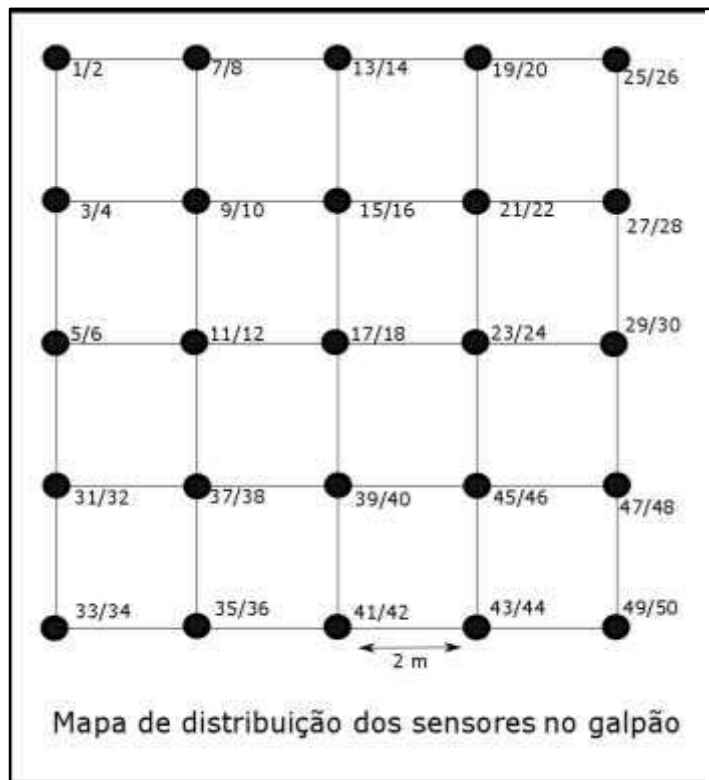


Figura 17 – Mapa de distribuição dos sensores no galpão

Esse posicionamento dos sensores somente foi possível com a construção de uma base de madeira, na qual se acoplou os sensores a seis centímetros de altura e a um metro, conforme a Figura 18. Foram construídas vinte e cinco estacas para acoplamento dos sensores.



Figura 18 – Base de madeira para posicionamento dos sensores a diferentes alturas para medição da temperatura do ar aquecido.

As vinte e cinco bases de madeira foram posicionadas (Figura 19) conforme o mapa de distribuição dos pontos descrita acima



Figura 19 – Distribuição das bases para localização dos sensores ao longo módulo experimental.

As temperaturas do ambiente externo ao módulo experimental para as quais se avaliou o TRC foram definidas previamente a fim de avaliar qual seria a condição de aquecimento proporcionada pelo TRC. Houve duas situações quanto à alimentação de ar para o ventilador do aquecedor, sendo a primeira situação (ar interno) referente à ausência de conexão do ar externo com o ventilador do sistema proposto, ou seja, o aquecimento foi realizado sem insuflar ar externo ao módulo. Já a segunda situação, considerou a conexão por meio do tubo de PVC.

#### **4.4 - ESTRUTURA E COLETA DE DADOS (MALHA DE ARDUINOS)**

A estrutura de coleta e armazenamento dos dados foi composta dos seguintes equipamentos:

- Arduino + ethernet shield w5100;
- Sensores ds18b20;
- Switch para conexão dos arduinos; e
- Raspberry pi 2 como servidor de banco de dados.
- No-break

#### **A topologia da rede**

A rede formada pelos arduinos, switch e raspberry foi montada segundo a topologia estrela. A switch como nó central (Figura 20) e os arduinos e raspberry conectados por meio de cabos rj-45.

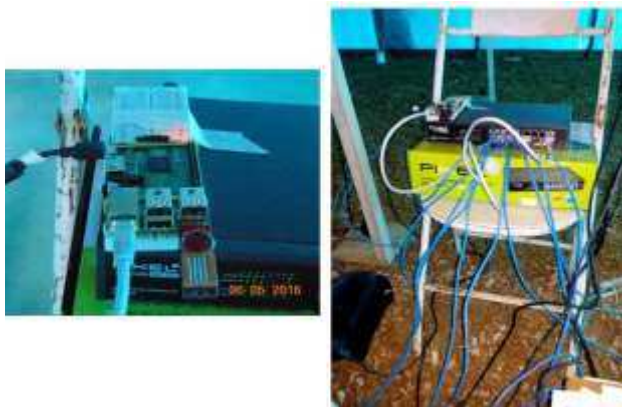


Figura 20 – A switch como nó central do sistema de aquisição de dados.

Esta topologia de rede (Figura 21) foi escolhida, pois se algum dos componentes desta LAN (Local Area Network) tivesse algum problema e saísse da rede, os demais componentes não seriam afetados como nas redes de topologia barramento e anel.

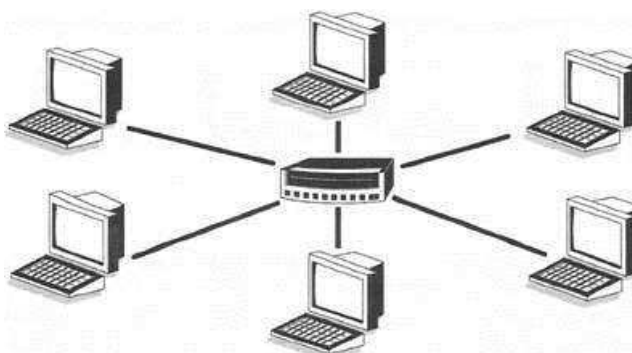


Figura 21 – Topologia da rede usada no sistema de aquisição de dados.

O microcontrolador arduino acionou o sensor de temperatura s18b20 a cada três minutos e o valor coletado foi enviado por meio da LAN para o raspberry que ao receber os valores, fez a inserção dos mesmos no banco de dados. Esta ação de recebimento dos dados foi realizada por meio da linguagem de programação php. Após o recebimento dos dados do arduino (Figura 22), os valores eram validados (Nome do Arduino, Nome do Sensor e Valor Coletado), sendo inseridos no banco de dados mysql por meio da linguagem SQL (Structured Query Language).



(a)



(b)

Figura 22 – (a) Placa arduino; (b) Sensor de temperatura s18b20 utilizados na coleta de dados.

### **O servidor raspberry pi**

Foi usado o minicomputador raspberry pi 2 (Figura 23) e a escolha pelo modelo deve-se ao baixo consumo de energia e tamanho reduzido. Como o sistema foi implantado em um ambiente no qual a energia não era tão confiável quanto à continuidade e, ao mesmo tempo, tinha-se a necessidade de um sistema estável pelo maior tempo possível, um nobreak poderia não suportar um computador desktop por várias horas. Dessa forma, optou-se pelo raspberry, cujo consumo médio era de 5 volts contínuos alimentados por uma fonte de celular de amperagem 1 ampère.

Com estas características de consumo, um nobreak poderia suportar o minicomputador por um tempo superior ao computador desktop. Se porventura a rede elétrica falhasse, todos os equipamentos (switch e arduinos) poderiam parar sem maiores perdas, mas o arduino precisava ficar on-line, pois o raspberry não tinha bateria interna. O relógio voltaria para o horário de 00:00 e as inserções dos dados seriam feitas com um valor não condizente com o horário real.



Figura 23 – Minicomputador raspberry.

O sistema operacional instalado no computador foi o raspbian, versão do sistema operacional linux adaptado para este computador. Além do

sistema operacional foram instalados os softwares apache, php 5 e mysql. O apache é o servidor web, responsável por receber a solicitação web de um navegador web cliente. O php 5 é a linguagem web responsável por duas ações, sendo a primeira, receber os dados enviados pelos arduinos, validar os dados e, posteriormente, por meio da linguagem SQL fazer a inserção no banco de dados. O mysql é o banco de dados utilizado, sendo um dos mais utilizados para sites e sistemas web, totalmente compatível com o SQL.

### A exibição dos dados

Para a exibição dos dados (Figura 24) armazenados no banco de dados foi feita uma página na linguagem php que, juntamente com a linguagem SQL, agrupa os dados segundo o nome do sensor e data de inserção no banco de dados. Dessa forma, tem-se na página web acessada pelo navegador, os dados agrupados por dia e por cada um dos sensores instalados nos arduinos.



Temperatura dos sensores instalados no Arduino 02											
Sensor 01			Sensor 02			Sensor 03			Sensor 10		
Dia	Hora	Temp	Dia	Hora	Temp	Dia	Hora	Temp	Dia	Hora	Temp
29/05/2016	12:28	36,76	29/05/2016	12:22	37,26	29/05/2016	12:24	34,25	29/05/2016	12:24	36,75
29/05/2016	12:19	36,20	29/05/2016	12:14	36,25	29/05/2016	12:14	34,50	29/05/2016	12:14	36,50
29/05/2016	12:04	36,75	29/05/2016	12:02	36,50	29/05/2016	12:04	34,50	29/05/2016	12:04	36,50
29/05/2016	11:54	36,50	29/05/2016	11:54	36,50	29/05/2016	11:54	34,00	29/05/2016	11:54	36,50
29/05/2016	11:44	36,50	29/05/2016	11:44	36,50	29/05/2016	11:44	34,00	29/05/2016	11:44	36,50
29/05/2016	11:34	36,50	29/05/2016	11:34	36,50	29/05/2016	11:34	34,00	29/05/2016	11:34	36,50
29/05/2016	11:24	36,50	29/05/2016	11:24	36,50	29/05/2016	11:24	34,00	29/05/2016	11:24	36,50
29/05/2016	11:14	36,50	29/05/2016	11:14	36,50	29/05/2016	11:14	34,00	29/05/2016	11:14	36,50
29/05/2016	11:04	36,50	29/05/2016	11:04	36,50	29/05/2016	11:04	34,00	29/05/2016	11:04	36,50
29/05/2016	10:54	36,50	29/05/2016	10:54	36,50	29/05/2016	10:54	34,00	29/05/2016	10:54	36,50

Figura 24 – Sistema de exibição dos dados.

Esse sistema de exibição de dados tornou possível a leitura rapidamente das temperaturas em qualquer um dos sensores posicionados ao longo do galpão, podendo a qualquer momento ser visualizada também qualquer uma das nove placas de arduino, conforme se observa na Figura 24.

O uso dos dados coletados nos softwares apropriados pode ser feito de duas maneiras. A primeira é a exportação por meio da interface web “php my admin” instalada no raspberry e, por meio desta, pode-se acessar o banco de dados por meio do navegador web e salvar os dados no formato.xls (excel)

ou .ods (calc). A segunda é por meio do backup diário gravado em um pen-drive conectado à porta usb do raspberry. Esta segunda possibilidade, propiciava a possibilidade de salvar os dados no formato SQL, podendo ser importado por qualquer um dos softwares citados anteriormente ou mesmo usado para restaurar o sistema, no caso de algum problema físico com o raspberry.

#### **4.5. AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS TEMPERATURAS DO AR AMBIENTE EXTERNO AO MÓDULO EXPERIMENTAL**

Uma vez estabelecida a área de coleta, realizada a preparação dos envoltórios (fechamentos) do ambiente e instalação do sistema de coleta de dados, foi necessário estabelecer as temperaturas do ar externo ao módulo experimental para as quais seria avaliada a distribuição das temperaturas radiantes do ar aquecido, a fim de caracterizar o potencial de aquecimento do tubo radiante convectivo.

Devido ao sistema termorregulador das aves não estar completamente desenvolvido, principalmente, nos 15 primeiros dias de vida, torna-se necessário fornecer um sistema de aquecimento complementar que propicie condições adequadas ao conforto térmico das aves de modo a evitar que as mesmas tenham menor conversão alimentar devido ao estresse térmico.

Durante esse período de vida das aves, a temperatura ambiente externa ao aviário tem diversas variações tanto ao longo dos dias quanto no mesmo dia. Considerando que o TRC deveria ser avaliado para a pior condição de temperatura no período de inverno, foi estabelecida previamente a temperatura do ar externo ao módulo, de 7 °C como um parâmetro de avaliação do sistema. Posteriormente, estabeleceram-se as outras temperaturas de 16 °C; 22 °C e 28 °C. Dessa forma, o TRC foi avaliado quanto à capacidade de propiciar um ambiente térmico adequado à demanda das aves quando o ambiente externo estivesse a essas temperaturas.

O TRC começou a ser operado em 01 de junho de 2016 com objetivo de observar o comportamento do aquecedor, além do tempo necessário para início do aquecimento e ajustes nas entradas de ar. Paralelamente, durante esses dias ficou-se a espera da menor temperatura estabelecida (7 °C), pois seria a mais difícil de ser mensurada devido às variações naturais de

temperatura nessa estação.

Os sensores identificados com os números 14 e 42 foram alocados no ambiente externo ao módulo experimental, sendo um do lado direito e o outro do lado esquerdo.

Foi acoplado um tubo de PVC de 100 mm (Figura 25) ao ventilador do equipamento, passando a captar o ar externo ao módulo experimental, para alimentação de ar do aquecedor e a coleta de dados definitiva foi realizada nessa configuração.



Figura 25 – Uso do ar externo para alimentação do sistema aquecimento.

Em cada sensor, a fim de mensurar também os efeitos da radiação, foi simulada uma condição semelhante a do globo negro padrão. Para isso, foram utilizadas bolas de plástico (Figura 26) que foram perfuradas e pintadas da cor preta, para serem posicionadas nos cinquenta sensores de temperatura. No mesmo ambiente foi posicionado o globo negro padrão e sua temperatura radiante mensurada a fim de obter dados para correção das temperaturas obtidas no banco de dados.



Figura 26 – Globo Negro alocado paralelamente no ambiente de coleta de dados para correção das temperaturas obtidas.

#### 4.6. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR E QUALIDADE DO AR INTERNO DO GALPÃO AQUECIDO.

Para medição da umidade relativa do ar foi utilizado o sensor HIH 4000 (Figura 27) sendo também conectado em algumas placas de arduinos.

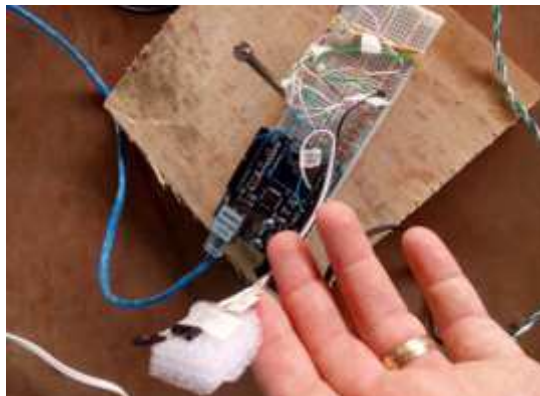


Figura 27– Sensor HIH 4000 para medição da umidade relativa do ar, conectado ao arduino.

Em todas as situações avaliadas, foram mensuradas as concentrações dos gases CO e CO<sub>2</sub> que poderiam ser provenientes da queima do gás que alimentava o aquecedor proposto.

Para medição do CO, foi utilizado o Detector de Gás Multigás IP764g (Figura 28) projetado para detectar e monitorar simultaneamente o nível da concentração de 4 tipos de diferentes gases: O<sub>2</sub> (oxigênio), CO (monóxido de carbono), LEL (CH<sub>4</sub> - metano) e H<sub>2</sub>S (Sulfeto de Hidrogênio). O Detector de Gás Multigás realiza as medições por meio de um sensor catalítico para gás combustível (CH<sub>4</sub>) e eletroquímico para os outros gases (H<sub>2</sub>S, CO e O<sub>2</sub>). Para medição do CO<sub>2</sub>, foi utilizado o equipamento da marca Vaisla.



Figura 28 – Equipamentos utilizados para medição dos gases CO<sub>2</sub> e CO.

As análises dos dados mensurados foram avaliadas de acordo com os parâmetros de temperatura do ar externo ao módulo experimental x temperatura interna do ar aquecido por meio do TRC x consumo de gás. Dessa forma, para as temperaturas do ar externo previamente estabelecidas (7 °C; 16 °C; 22 °C; 28 °C) avaliou-se as temperaturas radiantes internas do ar aquecido quanto ao potencial em atender a demanda energética das aves nas primeiras semanas de vida. Paralelamente, analisou-se também, o gasto de gás GLP durante o período em que as temperaturas radiantes internas se mantiveram.

#### **4.7. ESTUDO VIA CFD DA DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS DO AR AQUECIDO NO INTERIOR DO MÓDULO EXPERIMENTAL**

A dinâmica dos fluidos computacional (CFD) tem uma ampla aplicabilidade e visa compreender os eventos físicos que ocorrem no escoamento dos fluidos do interior dos objetos em estudo. Estes eventos estão relacionados à ação e interação de fenômenos como dissipação, difusão, convecção, ondas de choque, superfícies de deslizamento, camadas limite e turbulência. Todos esses fenômenos são preditos pela equação de Navier-Stokes. Um dos aspectos mais importantes destas equações é a não linearidade e, como consequência, muitas vezes a não obtenção de soluções analíticas, havendo como alternativa apenas a solução numérica das equações diferenciais parciais acopladas. Esse tipo de solução para as equações que regem o escoamento de fluido permite obter uma descrição numérica completa do campo de escoamento de interesse, ou seja, velocidade e pressão (ROCHA, 2012).

As equações de Navier-Stokes são convertidas para a forma algébrica em uma malha que representa a geometria e o domínio do escoamento de interesse. As condições de contorno e condições iniciais são aplicadas às equações e as propriedades e quantidades (temperatura, concentrações, velocidade, pressão e turbulência) são determinadas interativamente em cada ponto do espaço e do tempo dentro do domínio. Dessa forma, para que a

simulação em CFD seja realizada, três etapas básicas (pré-processamento, processamento e pós-processamento) devem ser seguidas (Xia & Sun, 2002).

A fim de realizar essa simulação via CFD, foi criada uma geometria equivalente à área do módulo experimental com todas as partes existentes, tais como entrada e saída de ar, forro, laterais e cortinas, bem como as condições de contorno, com o intuito de obter o resultado mais preditivo possível. Nessa simulação, também foi considerada a emissão de energia dos pintinhos na cama, com objetivo de verificar se essa contribuição de energia ao longo da área do piso influenciaria em um resultado diferente do obtido experimentalmente.

#### **4.7.1. Avaliação do sistema de aquecimento utilizando a dinâmica de fluidos computacional (CFD).**

##### **a) Pré-Processamento**

Segundo Rocha (2012) o pré-processamento consiste na entrada dos dados do problema para o escoamento no programa computacional implementado em CFD por meio de uma interface e subsequentes transformações desses insumos em uma forma adequada para uso do processamento. As atividades do usuário na fase de pré-processamento envolveram os seguintes passos:

- Definir a geometria da região de interesse no domínio computacional;
- Gerar a malha com as divisões em subdomínios menores do domínio que não sejam sobrepostas (volume de controle);
- Definir o fenômeno físico e químico que deverá ser modelado;
- Especificar as propriedades físicas dos fluidos;
- Definir as condições de contorno e condições iniciais no domínio.

Nas Figuras 29 e 30, apresenta-se o volume de controle com as medidas do galpão para geração da malha no ICEM, programa inserido no ANSYS que propicia a construção da malha do volume definido.

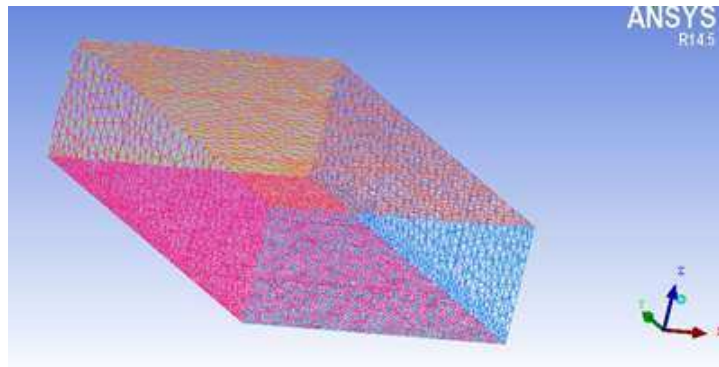


Figura 29 – Pré-processamento da geometria escolhida para geração da malha no ICFM.

A geometria e a malha podem ser criadas utilizando-se qualquer ferramenta de Projeto Auxiliado por Computador com plataforma para elaboração de geometrias. Para geração da geometria no ICFM foi utilizado o programa SolidWorks (ROCHA, 2012).

Alguns pré-processadores oferecem ao usuário acesso a bibliotecas com propriedades dos materiais já pré-definidas para fluidos e sólidos comuns em processos físicos e químicos, além de permitir a adição de novas propriedades (ROCHA, 2012).

#### **b) Processamento**

O processamento em dinâmica dos fluidos computacional (CFD) é utilizado para obter a solução numérica do modelo e pode ser descrito e prevista pelos processos de inicialização, monitoramento da solução, cálculos em CFD e checagem da convergência (ROCHA, 2012).

Nessa etapa, foram definidas as condições de contorno de cada uma das partes do galpão que consistiam basicamente de entrada de ar, tubo radiante, saída de ar, laterais e forro. O regime de escoamento considerado foi estacionário, uma vez que tanto a temperatura quanto o fluxo de energia são constantes ao longo do tempo e objetiva-se obter temperatura em um determinado instante de tempo.

Na tabela 06, as condições de contorno estabelecidas para a simulação em CFD são apresentadas.

Tabela 06 - Condições de contorno para as partes da simulação

Partes/ superfícies do domínio	Condições de contorno
Entrada TRC	Temperatura entrada = 55 °C
Forro	$V = 0$ ; $q'' = 0$
Saída gás	$p = 0$ ; $q'' = 0$
Alvenaria	$V = 0$ ; $U_{(alv)} = 1.85 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ; Temp. Externa (7 °C; 16 °C; 22° C e 28 °C)
Subdomínio TRC	$q = 10 \text{ W}/\text{m}^3$

Foi considerado ar a 25 °C e considerado o modelo de Buoyant, com transferência de energia por Thermal Energy e utilizado o coeficiente global de 1.85 W/(m<sup>2</sup>.K) (Figura 31) de acordo com o recomendado pelo anexo da Portaria do INMETRO N° 50/ 2013, conforme apêndice.

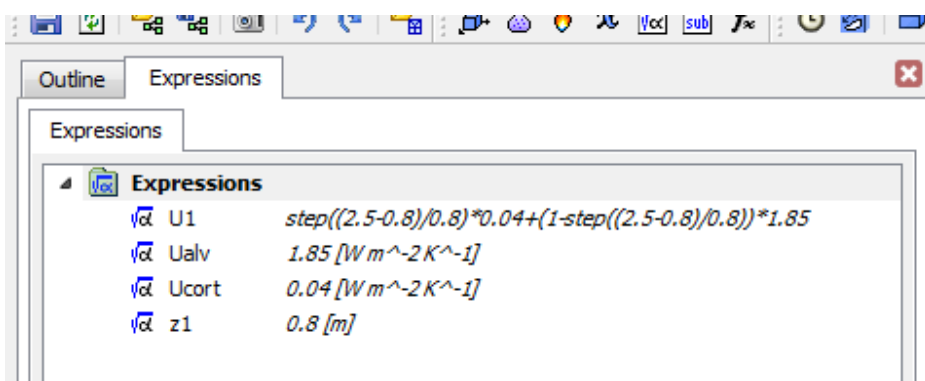


Figura 31 – Equação utilizada para simulação no CFD.

Para essa simulação não se considerou as especificidades de cada fechamento lateral, no sentido da presença de diferentes materiais. No entanto, considerou-se apenas o domínio como o fluido e as propriedades e condições de contorno foram implementadas variando-se localmente o

coeficiente global de transferência de calor, incluindo as resistências térmicas da alvenaria e da cortina, conforme a equação a seguir.

$$U(z) = \begin{cases} U(\text{alv}) = 1.85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}), z < 0,8 \text{ m} \\ U(\text{cort}) = 0.04 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}), z > 0,8 \text{ m} \end{cases}$$

Em que:

$U(\text{alv})$  = Coeficiente global de transferência de calor para alvenaria do módulo experimental (apêndice);

$U(\text{cort})$  = Coeficiente global de transferência de calor para cortina presente no forro e nas laterais do módulo;

Na Figura 32, os fechamentos laterais do galpão no qual se avaliou o sistema de aquecimento por TRC.

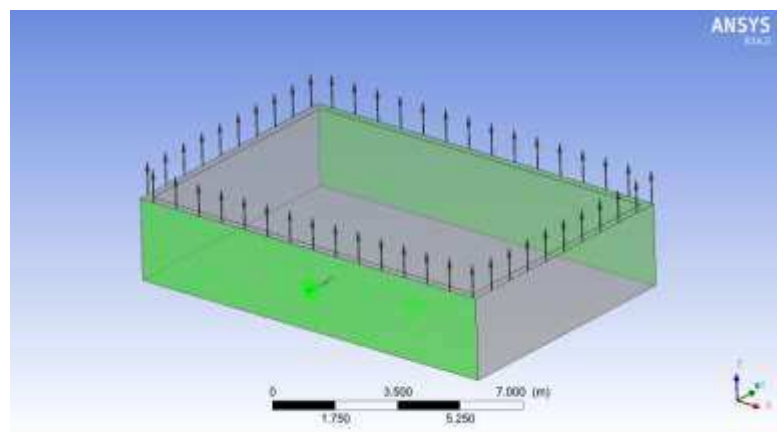


Figura 32 – Definição dos fechamentos laterais na fase de processamento do CFD.

### c) Pós-processamento

Segundo Rocha (2012), a etapa de pós-processamento se destina a avaliação dos resultados da solução das equações governantes, incluindo:

- Apresentação da malha com o domínio da geometria;
- Visualização dos vetores de velocidades e fluxos de calor;
- Linhas de contorno e sombreamentos de campos escalares (temperatura e pressão);
- Superfícies bidimensionais e tridimensionais;
- Rastreamento de partícula; e

- Manipulação na visualização (rotação, translação e escala).

Assim, pode-se dizer que uma análise em dinâmica dos fluidos computacional completa é composta por pré-processamento, processamento e pós-processamento, englobando os procedimentos e fenômenos de forma adequada à configuração do problema a ser analisado, com sua solução, seu monitoramento e análise dos resultados ao final da simulação.

## **5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Na execução do trabalho não foram utilizadas aves, pois não se conhecia ainda a capacidade de aquecimento do TRC, além de ser objetivo do trabalho a caracterização do equipamento quanto ao potencial em manter a temperatura na faixa demandada pelas aves, segundo a literatura. Sendo, dessa forma, o objeto principal de estudo, a temperatura radiante proveniente do TRC que foi utilizada em simulações de conforto térmico de aves. O manejo zootécnico fica como sugestão para trabalhos futuros, após o conhecimento da distribuição das temperaturas do ar no interior do módulo experimental durante o aquecimento.

Primeiramente, foi realizado um estudo via CFD a fim de prever por meio da modelagem computacional, as temperaturas do ar aquecido no interior do módulo experimental que seriam propiciadas pelo TRC de acordo com as temperaturas ambiente externas ao módulo, definidas anteriormente, sendo elas: 7 °C; 16 °C; 22 °C e 28 °C. Posteriormente, procedeu-se a coleta de dados de forma experimental a fim de verificar os dados obtidos via simulação.

### **5.1. Efeito das temperaturas do ambiente externo ao módulo experimental no aquecimento propiciado pelo TRC, de acordo com a Dinâmica Computacional dos Fluidos.**

A fim de obter os mapas de distribuição das temperaturas internas do módulo experimental, de acordo com as condições de temperatura ambiente externa estabelecida anteriormente, seguiram-se todos os passos da simulação descritos na seção de materiais e métodos tais como geração do volume a ser estudado por meio do SolidWorks, construção da malha no

ICEM e definição das condições de contorno para a situação existente. Dessa forma, para cada uma das temperaturas externas ao módulo foi realizado um estudo via CFD a fim de verificar a capacidade do TRC em manter a temperatura nos valores recomendados pela literatura, bem como a distribuição dessas temperaturas, principalmente nos primeiros 15 dias de vida. Os resultados foram descritos a seguir.

#### a) Temperatura Externa = 7 °C

Os cinquenta pontos de coleta de temperatura estabelecidos no módulo experimental foram representados por meio de dois planos, sendo o primeiro localizado a seis centímetros da cama e o segundo plano a um metro de altura. Esse posicionamento do primeiro plano considerou a média de altura das aves nos primeiros quinze dias, época de maior necessidade de aquecimento. A posição do segundo plano (a um metro da cama) foi estabelecida para caracterizar o ar interno ambiente do módulo. Em cada plano, foram representados 25 pontos de modo semelhante ao que existiria na condição experimental.

Na Figura 33, observou-se o primeiro plano, alocado ao nível das aves e percebe-se a variação da temperatura interna existente quando a temperatura ambiente externa foi considerada 7 °C. Observou-se que a variação na temperatura interna calculada em CFD foi de 26,4°C a 28,5°C.

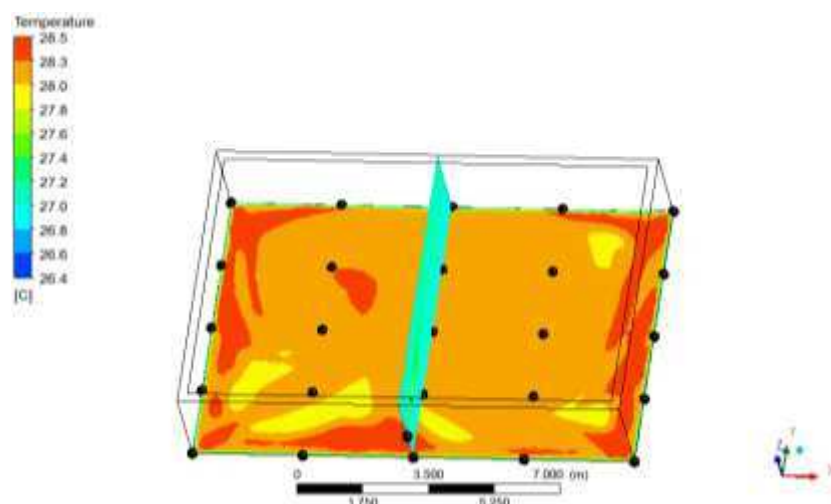


Figura 33 – Distribuição de temperaturas calculadas em CFD para temperatura externa de 7°C ao nível das aves.

Na Figura 34, pode-se observar o segundo plano, alocado a um metro da cama do módulo, no qual se identifica variação na temperatura do ar interno aquecido de 25,9 °C a 34°C.

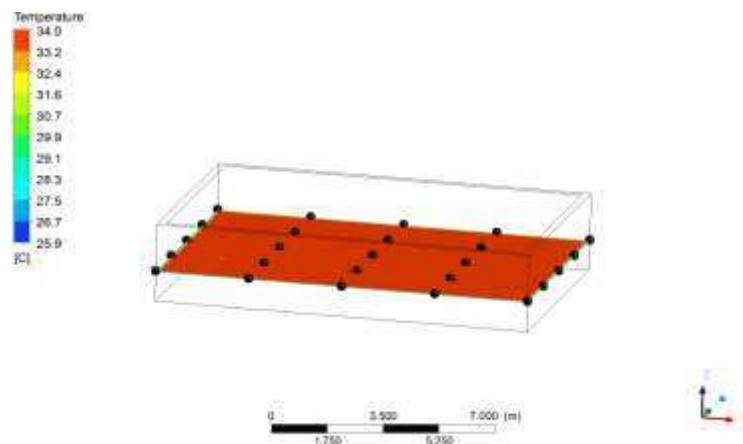


Figura 34 – Distribuição de temperaturas calculadas em CFD para a temperatura externa de 7°C em um plano alocado a 1 m da cama do galpão.

Considerando a disposição dos sensores ao longo do módulo experimental, tendo posicionado o sistema de aquecimento proposto (TRC) no centro do plano, foi analisada também as temperaturas em planos à direita (Figura 35) e esquerda do aquecedor.

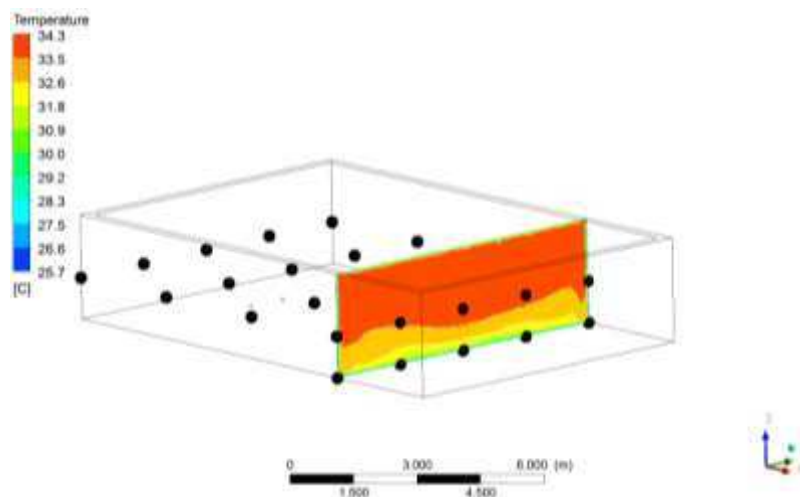


Figura 35 – Perfil de temperatura no plano a direita do TRC para temperatura externa de 7°C.

Observou-se que a temperatura nesse plano, que representa os pontos da coluna à direita do TRC, variou de 30,9 °C a 34,3 °C ao longo da altura de 2,5 m do módulo, passando pelos dois planos definidos anteriormente.

Na Figura 36, tem-se o plano que representa os pontos da coluna à esquerda do TRC. No plano estabelecido, novamente percebeu-se variação de temperatura entre 30,8°C e 34,3°C.

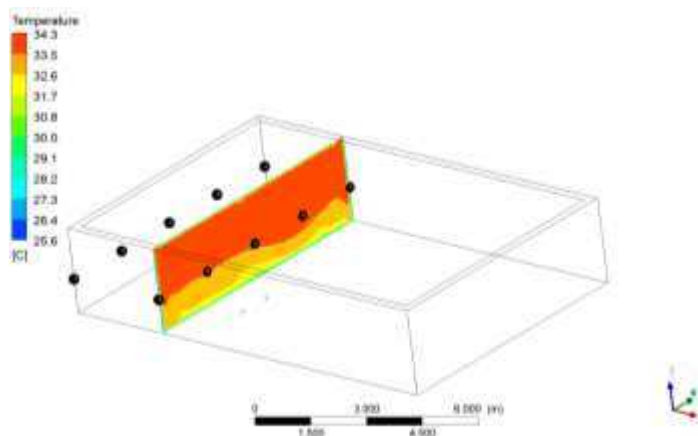


Figura 36 - Perfil de temperatura no plano à esquerda do TRC para temperatura externa de 7°C.

Na Figura 37, apresenta-se a direção dos vetores representando o fluxo de ar no interior do galpão. Esse movimento ascendente é esperado devido ao aquecimento do ar, que possui menor massa específica e, portanto, tende a ter um movimento ascendente, enquanto que o ar mais frio, com maior massa específica tende a apresentar um movimento descendente, formando as correntes convectivas, a partir das quais ocorre o processo de transferência de calor por convecção.

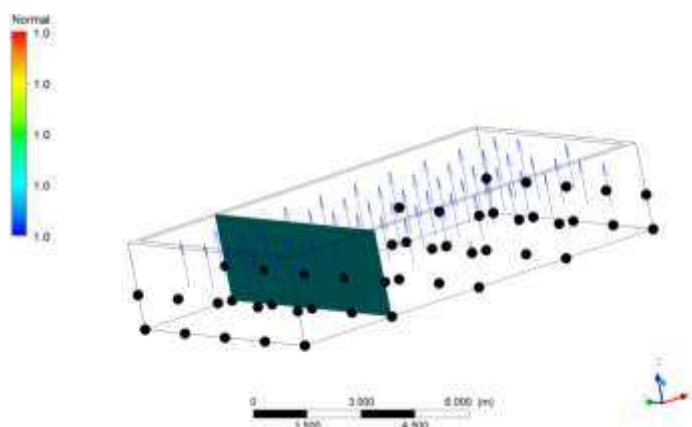


Figura 37 – Direção do fluxo ascendente de ar no interior do galpão.

### b) Temperatura externa = 16 °C

Foi realizada a simulação para a temperatura externa ao módulo de 16°C, conforme Figura 38. Observou-se que a variação na temperatura interna calculada em CFD foi de 35,8 °C a 37,9 °C.

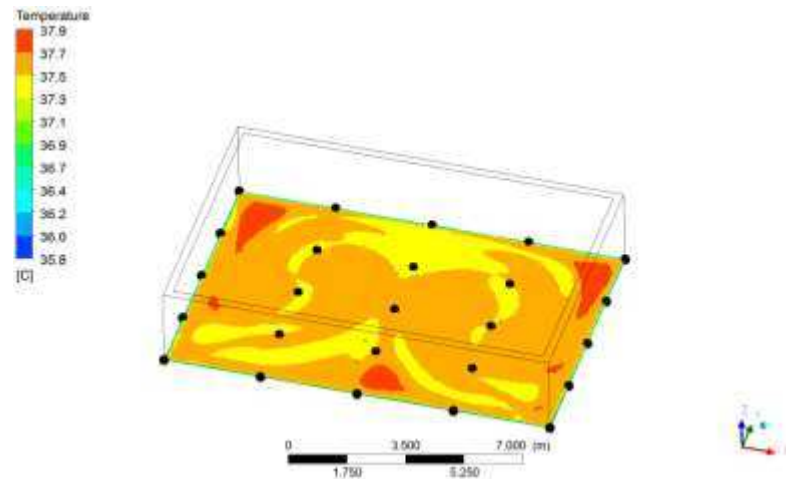


Figura 38 – Distribuição de temperaturas calculadas em CFD para a temperatura externa de 16 °C em um plano alocado a 6 cm da cama do galpão.

Na Figura 39, pode-se observar o segundo plano, alocado a 1 m da cama de aviário, no qual se identificou variação na temperatura interna calculada em CFD de 35,4 °C a 43,3 °C.

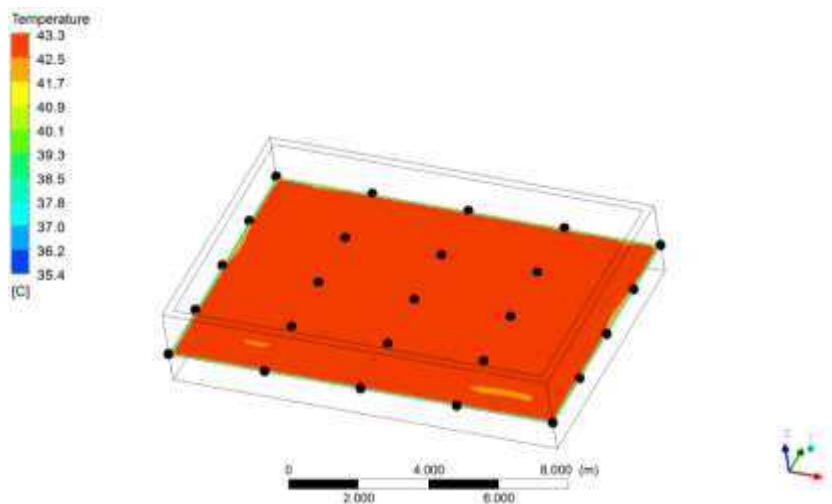


Figura 39 – Distribuição de temperaturas calculadas em CFD para a temperatura externa de 16°C em um plano alocado a 1 m da cama do galpão

Na Figura 40, apresentou-se a distribuição de temperaturas no forro calculada em CFD. Observou-se o efeito da saída do ar quente pelas saídas laterais que estão à temperatura maior que a do restante do forro.

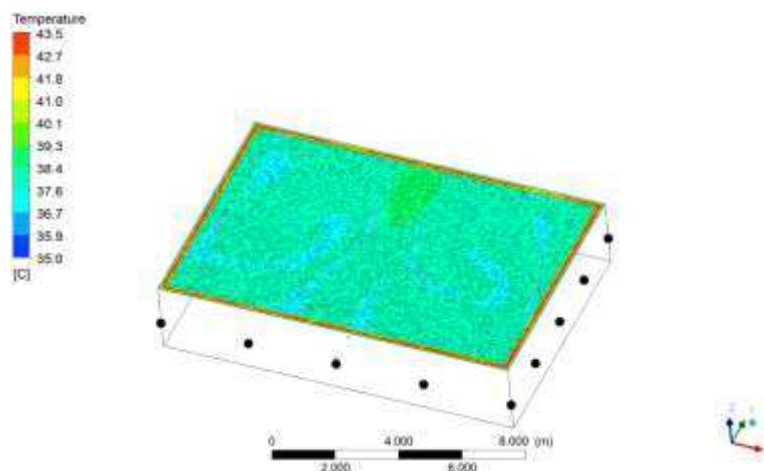


Figura 40 – Distribuição das temperaturas calculadas em CFD nas saídas laterais de ar.

Nota-se que o ar nas saídas laterais está à temperatura em torno de 43,5 °C, enquanto a temperatura no forro do galpão está próxima a 38,4°C.

Na Figura 41, apresenta-se o perfil de temperaturas no plano à direita do TRC.

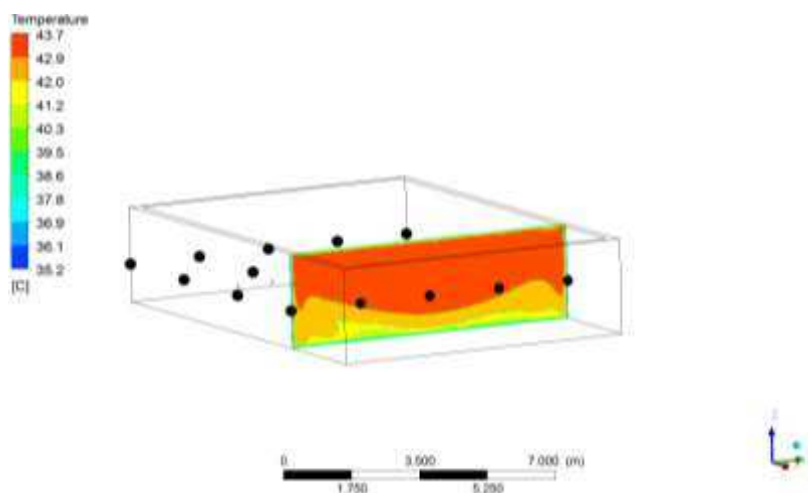


Figura 41 – Perfil de temperaturas no plano a direita do TRC para temperatura externa de 16 °C.

Observou-se que nesse plano à direita do TRC, a temperatura variou entre 35,2 °C e 43,7°C. Na Figura 42, o plano à esquerda do aquecedor para o qual a temperatura variou entre 35,1 °C e 43,6 °C.

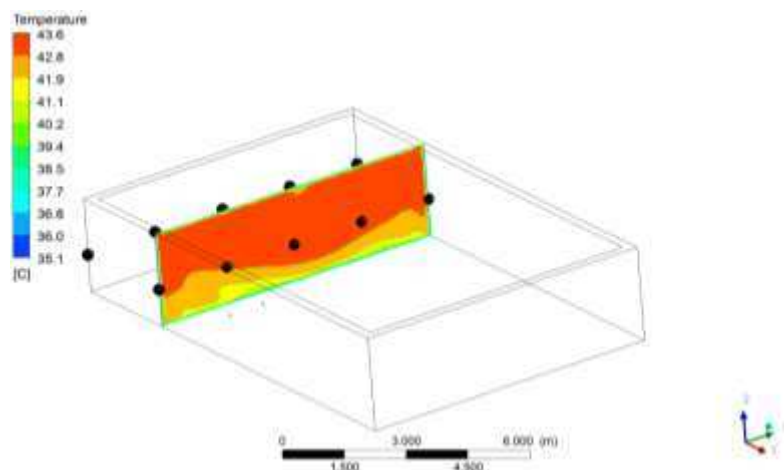


Figura 42 – Perfil de temperatura no plano à esquerda do TRC para temperatura externa de 16 °C.

### c) Temperatura Externa = 22°C

Procedeu-se a simulação computacional para a terceira temperatura ambiente externa previamente estabelecida de 22 °C. Para essa condição, a distribuição da temperatura interna do módulo, ao nível das aves está representada na Figura 43.

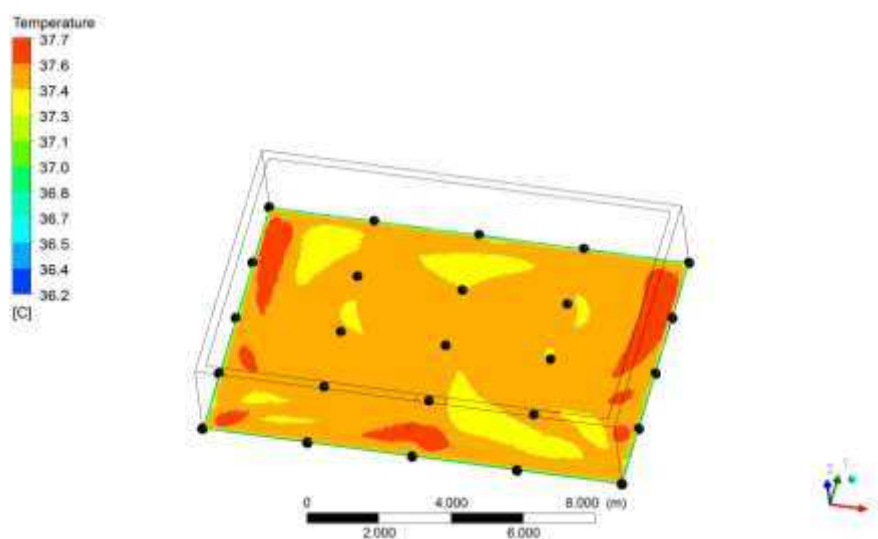


Figura 43 – Distribuição de temperaturas calculadas em CFD para a temperatura externa de 22°C em um plano alocado a 6 cm da cama do galpão.

Pode-se observar que no plano localizado ao nível das aves (a 6 cm da cama) ocorreu variação na temperatura interna calculada em CFD de 36,2°C a 37,7 °C. Na Figura 44, apresentaram-se os resultados da simulação para a

temperatura do ar no plano de 1 m da cama e a variação na temperatura interna calculada em CFD foi de 35,9°C a 42°C.

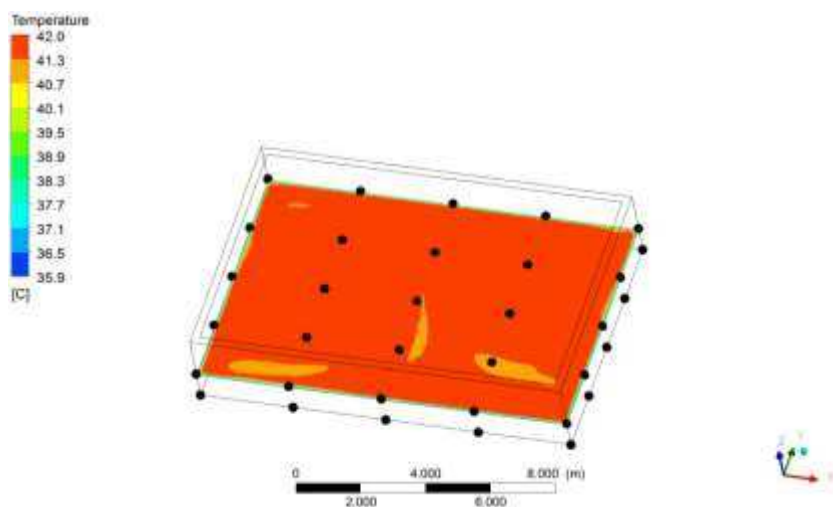


Figura 44 – Distribuição das temperaturas calculadas em CFD para a temperatura externa de 22°C em um plano alocado a 1 m da cama do galpão.

Na Figura 45, apresenta-se o perfil de temperatura a direita do TRC.

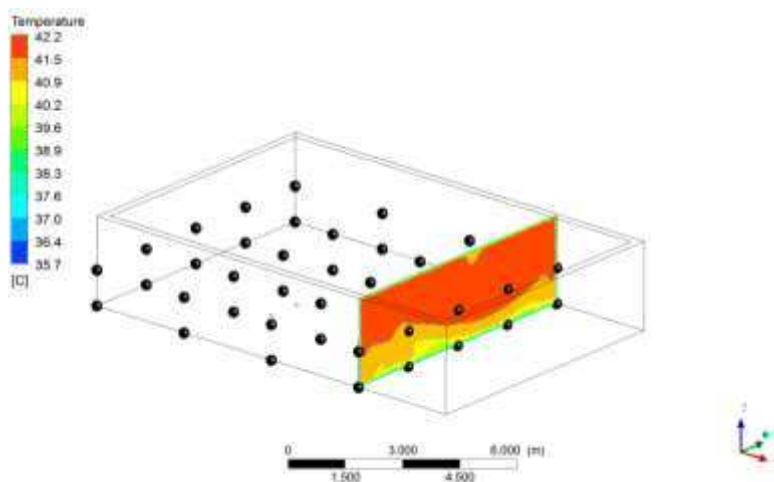


Figura 45 – Perfil de temperatura no plano à direita do TRC para temperatura externa de 22 °C.

Observou-se que nesse plano à direita do TRC, a temperatura variou entre 38,3 °C e 42,2 °C. Na Figura 46, o plano à esquerda do aquecedor para o qual a temperatura variou entre 39,0 °C e 42,2 °C.

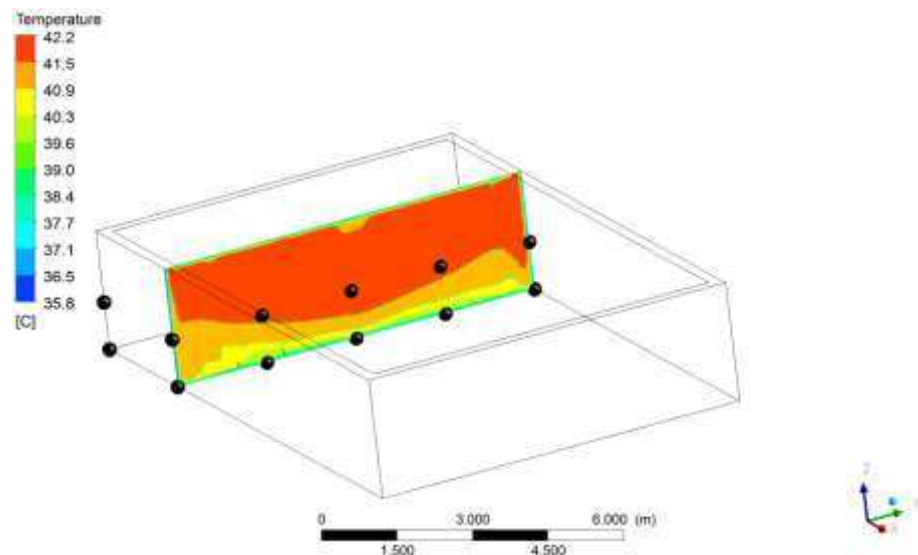


Figura 46 – Perfil de temperatura no plano à esquerda do TRC para temperatura externa de 22 °C.

**d) Temperatura externa = 28 °C**

Procedeu-se a simulação computacional para a última temperatura externa previamente estabelecida de 28 °C. Para essa condição, a distribuição da temperatura interna do módulo, ao nível das aves está representada na Figura 47.

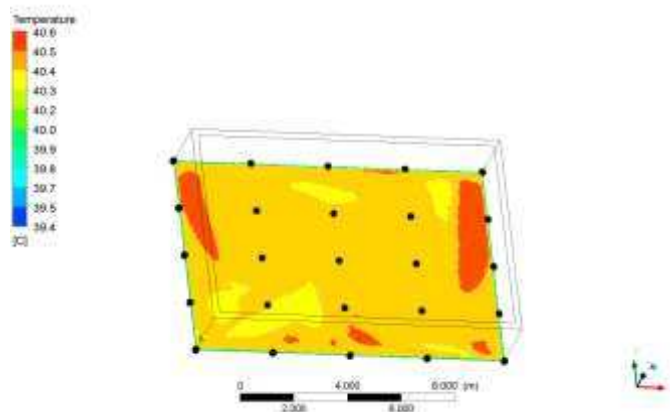


Figura 47 – Distribuição das temperaturas calculadas em CFD para a temperatura externa de 28°C em um plano alocado a 6 cm da cama do galpão.

Pode-se observar que no plano localizado ao nível das aves ocorreu variação na temperatura interna calculada em CFD de 39,4°C a 40,6 °C. Na Figura 48, apresentam-se os resultados da simulação para a temperatura do ar no plano de 1 m da cama e a variação de temperatura interna calculada em

CFD foi de 39,1°C a 44,1 °C, já apontando para temperatura excessiva no interior do módulo caso essas condições fossem mantidas experimentalmente.

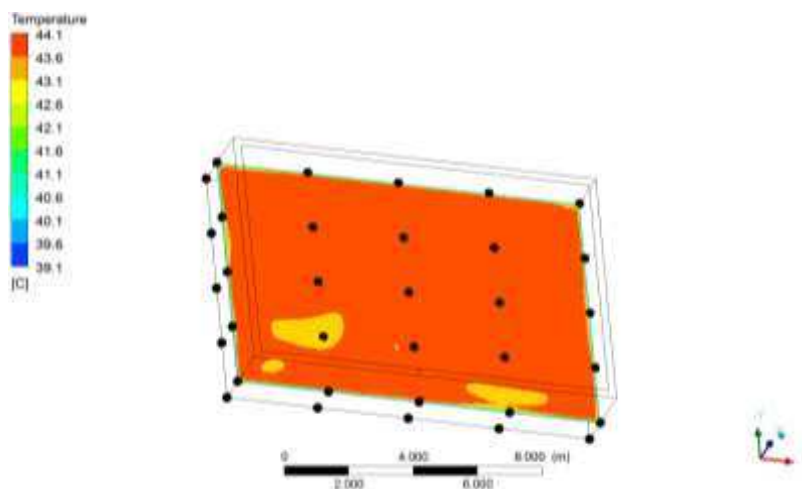


Figura 48 – Distribuição das temperaturas calculadas em CFD para a temperatura externa de 28°C em um plano alocado a 1 m da cama do galpão.

Na Figura 49, apresenta-se o perfil de temperatura no plano localizado à direita do TRC.

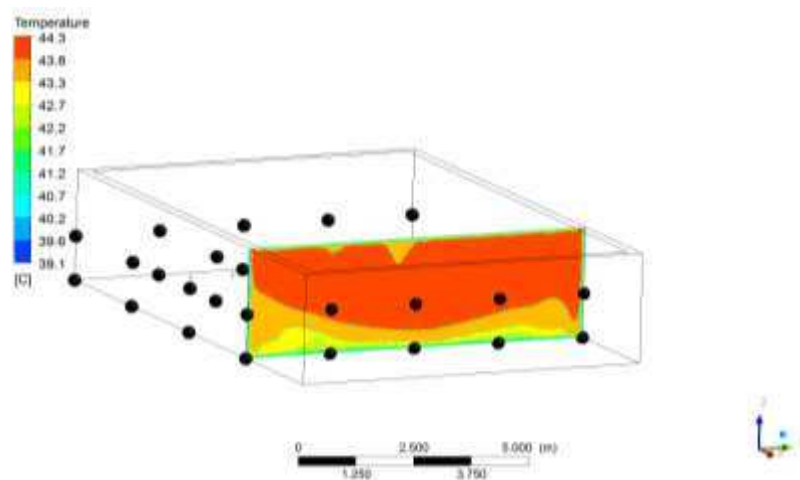


Figura 49 – Perfil de temperatura no plano à direita do TRC para temperatura externa de 28 °C.

Na Figura 50, apresenta-se o perfil de temperatura no plano localizado à esquerda do TRC. Observou-se variação na temperatura interna entre 39 °C e 44,2 °C.

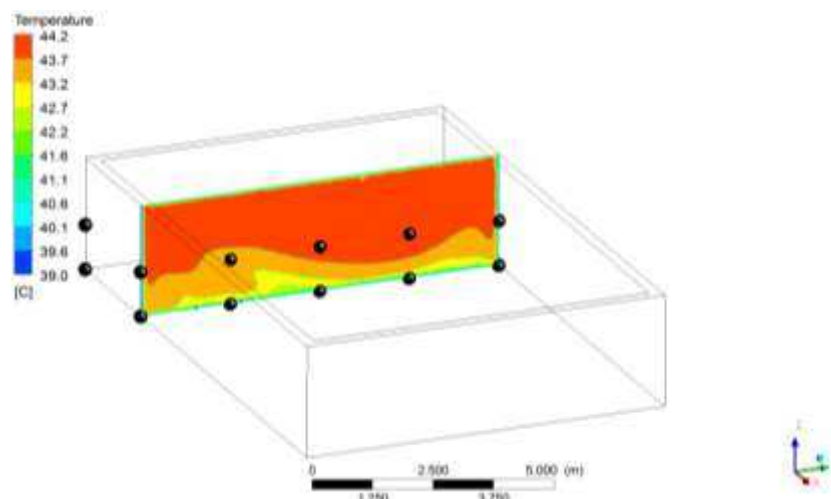


Figura 50 - Perfil de temperatura no plano à esquerda do TRC para temperatura externa de 28 °C.

## 5.2 - CONSUMO GÁS GLP

O sistema de aquecimento por tubo radiante convectivo utilizou como combustível o gás GLP. Para coleta dos dados, foram acoplados dois botijões de 13 kg cada um e o consumo mensurado por meio de uma balança presente na fazenda. Os dois botijões foram posicionados em cima da balança e o gasto dado a partir da diferença de massa registrada ao longo das horas de coleta de dados.

O consumo de gás por hora foi muito baixo, não sendo identificado visivelmente na balança. Com intuito de verificar o consumo de combustível, foi tomada por referência a coleta de dados do dia 27 de julho de 2016, que teve duração de 21h, tendo início às 16h do dia 26 de julho e término às 13h do dia 27 de julho. Durante esse período de tempo, foram identificadas as temperaturas externas de 7 °C; 16 °C; 22 °C e 28 °C. Para as 21h de duração da coleta de dados, foi medido um gasto de 3,2 kg de gás GLP e, dessa forma, para cada hora de funcionamento do TRC foi consumido, em média, 0,15 kg de gás.

## 5.3. QUALIDADE AR INTERNO DO GALPÃO AQUECIDO

Não foi identificado, por meio dos equipamentos de medição CO<sub>2</sub> e CO, a presença desses gases em concentrações identificáveis (Figura 51) em

nenhuma das temperaturas ambientais externas para a condição de entrada de ar externo no galpão.



Figura 51 – Equipamentos utilizados na detecção do gás CO.

Para a situação do uso do ar interno, ou seja, sem o acoplamento do tubo captando ar exterior para o ventilador, foram registradas as concentrações de 12 ppm para CO e 15 ppm para CO<sub>2</sub>. Embora essas concentrações estejam dentro dos limites permitidos, observou-se a presença de odor no interior do galpão durante todo o período de funcionamento do TRC, portanto, não se recomenda o uso desse sistema de aquecimento utilizando ar interno, sem renovações.



Figura 52 – Medição dos gases no interior do galpão durante a coleta dados.

#### **5.4. EFEITO DAS TEMPERATURAS DO AMBIENTE EXTERNO AO MÓDULO EXPERIMENTAL NO AQUECIMENTO PROPICIADO PELO TRC (Parte Experimental)**

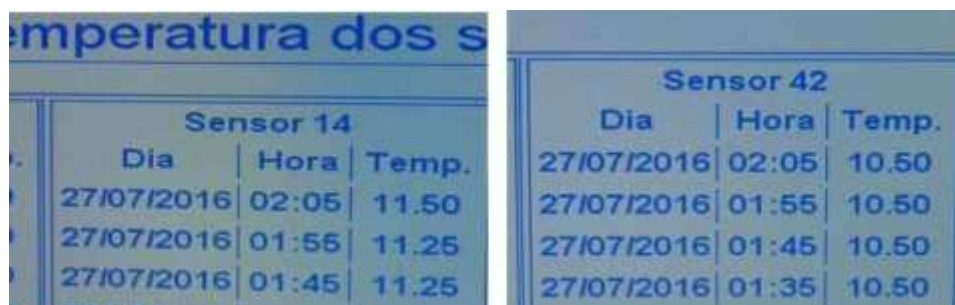
O efeito das temperaturas externas ao módulo, na distribuição das temperaturas do ar aquecido pelo TRC foi avaliado a seguir. De posse dos dados obtidos por meio da simulação computacional, foi procedida a montagem do experimento conforme descrito anteriormente e realizada a

coleta de dados. Uma vez o sistema montado, o ambiente foi monitorado até que todas as temperaturas do ambiente externo ao módulo experimental fossem identificadas (7 °C; 16 °C; 22 °C; 28 °C).

Por testes realizados anteriormente, identificou-se que eram necessárias 2h de aquecimento para vencer a inércia térmica do galpão e obter temperaturas mais constantes. A seguir, são descritos os resultados obtidos experimentalmente para as condições já estabelecidas.

#### a) Temperatura Externa = 7 °C

No dia 27 de julho de 2016, identificou-se a menor temperatura e às 2h da manhã (Figura 53) a temperatura do ar externo ao módulo experimental (sensores 14 e 42) já estava em torno de 10,5 °C, sendo às 5h da manhã identificada a temperatura de 7 °C, passando a ser esse valor que representou a pior condição para avaliação do sistema TRC.



Sensor 14		
Dia	Hora	Temp.
27/07/2016	02:05	11.50
27/07/2016	01:55	11.25
27/07/2016	01:45	11.25

Sensor 42		
Dia	Hora	Temp.
27/07/2016	02:05	10.50
27/07/2016	01:55	10.50
27/07/2016	01:45	10.50
27/07/2016	01:35	10.50

Figura 53 – Sensores 42 e 14 para mensurar a temperatura ambiente externa ao galpão.

A temperatura de 7 °C foi registrada por, aproximadamente, 85 minutos. Durante esse período de tempo foi mensurada também as concentrações dos gases CO e CO<sub>2</sub>.

Na Figura 54, estão apresentados os intervalos de temperaturas do ar interno aquecido via TRC, identificadas nos sensores de número ímpares, localizados a seis centímetros da cama, representando o centro de massa dos pintinhos.

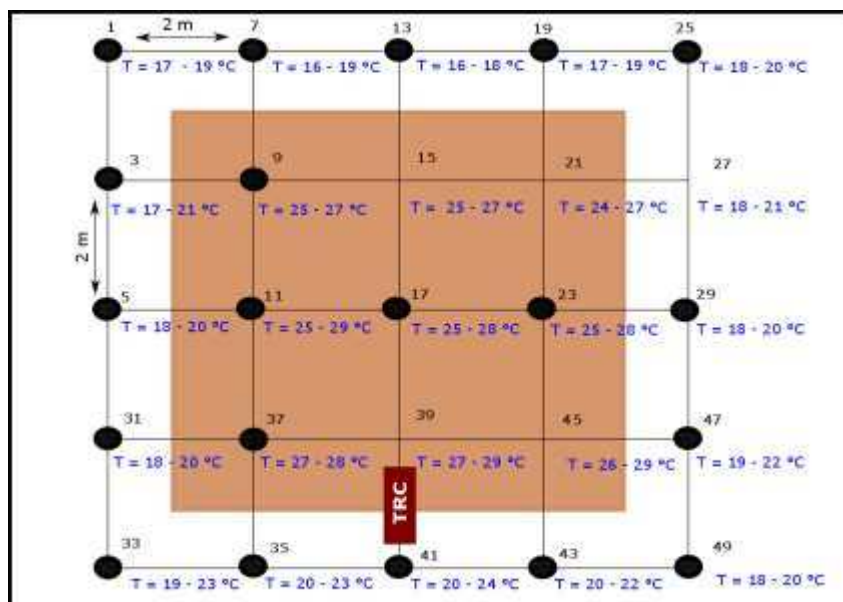


Figura 54 - Distribuição das temperaturas dos sensores posicionados a 6 cm da cama do galpão.

A temperatura ambiente externa de 7 °C foi considerada a pior condição de operação e exigência do sistema de aquecimento, pois representava extremo frio ao qual as aves estariam submetidas num aviário durante o inverno.

A média dos valores obtidos para essas temperatura ao nível das aves foi de 26,7 °C e analisando a variação das temperaturas na área de influência, observou-se que, de acordo Cony *et al* (2004), a distribuição de temperaturas obtida não seria capaz de atender a demanda das aves já nas primeiras semanas de vida, sendo somente adequado para a 3ª semana em diante, na qual as exigências de temperatura estariam em torno de 27 °C. Também, de acordo com Furlan (2006) e Cobb-Vantress (2009) as temperaturas obtidas com o aquecimento do ar ao nível das aves, por meio do TRC, não atenderiam as exigências nas primeiras semanas de vida. Para esses autores, a temperatura média obtida de 26,7 °C seria recomendável somente a partir da 3ª semana de vida das aves.

Por meio da simulação computacional via CFD, para essa condição de frio extremo representada pela temperatura externa de 7 °C, foi prevista temperatura interna do ar aquecido ao nível das aves entre 26,4°C a 28,5°C

(Figura 33), o que indica boa predição e adequação das condições em estudo da simulação realizada por meio do CFD.

Na Figura 55, estão apresentadas as temperaturas do ar aquecido no interior do módulo experimental nos pontos de coleta que estavam a 1 m de altura, ou seja, essas temperaturas registradas são referentes à temperatura do ar ambiente e não ao nível das aves. Os sensores que registravam essas temperaturas do ar ambiente estão representados pelos números pares.

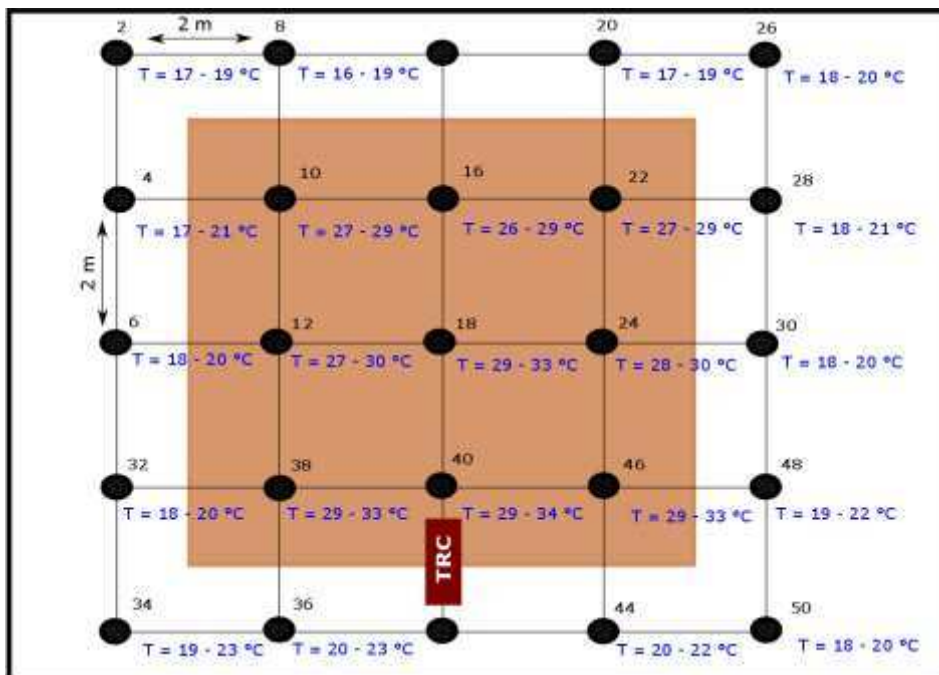


Figura 55 - Distribuição das temperaturas dos sensores posicionados a 1m da cama do galpão.

A temperatura ambiente externa ao galpão permaneceu em torno dos 7 °C durante 85 minutos e a média de temperatura do ar no interior do módulo experimental a 1m da cama foi de 29,5 °C. De acordo com Cony et al (2004) que recomenda valores para o ar aquecido no galpão, as temperaturas do ar aquecido obtidas por meio do aquecimento com TRC, seriam suficientes já na primeira semana de vida das aves.

Dessa forma, considerando a pior condição de exigência do sistema de aquecimento que seria para a temperatura externa de 7 °C, o TRC estaria adequado apenas quanto às exigências de aquecimento do ar interno do galpão, já na primeira semana de vida das aves.

Considerando as temperaturas mensuradas por meio dos sensores ímpares que estavam localizados ao nível das aves, percebe-se uma temperatura média de 26,7 °C. Se a temperatura ambiente externa estava a 7° C, havia uma diferença entre os dois ambientes de 19,7 °C que se manteve por, aproximadamente, 85 minutos e quanto à qualidade do ar para os gases CO e CO<sub>2</sub>, não foram detectadas concentrações fora dos limites exigidos. O gasto com combustível gás GLP deve ser considerado a partir do consumo exposto anteriormente, de 0,15 kg por hora de funcionamento do TRC.

Para essa temperatura do ar ambiente de 7 °C, a umidade relativa do ar no interior do módulo aquecido foi mensurada com um valor médio de 22,67 %, de acordo com os valores obtidos por meio dos sensores HIH 4000 dispostos nos arduinos que estavam localizados na área de influência da coleta de dados.

Por meio da simulação computacional via CFD, para essa condição de frio extremo representada pela temperatura externa de 7 °C, foi prevista temperatura interna do ar aquecido a 1 m da cama, entre 25,9 °C a 34,0 °C (Figura 34), o que indica boa previsão e adequação das condições em estudo da simulação realizada.

No dia 26 de julho de 2016, o aquecimento via TRC teve início às 16h e a coleta de dados somente foi interrompida às 13h do dia 27 de julho de 2016, totalizando 21h de coleta de dados.

#### **b) Temperatura Externa = 16 °C**

Quando a temperatura ambiente externa atingiu, aproximadamente, 16°C, foram identificadas as temperaturas do ar aquecido por meio do sistema proposto TRC. Novamente, observou-se que as temperaturas das extremidades ficaram bem abaixo das encontradas na área de influência, devido à transferência de calor para o ambiente, além de estarem susceptíveis as variações da região de saída do ar do galpão. Dessa forma, as análises de temperatura adequada tanto as aves quanto ao ambiente no interior do galpão serão realizadas de acordo com as temperaturas identificadas na área de influência, delimitada anteriormente.

As temperaturas obtidas do ar aquecido ao nível das aves, representados pelos números ímpares, estão expostas na Figura 56.

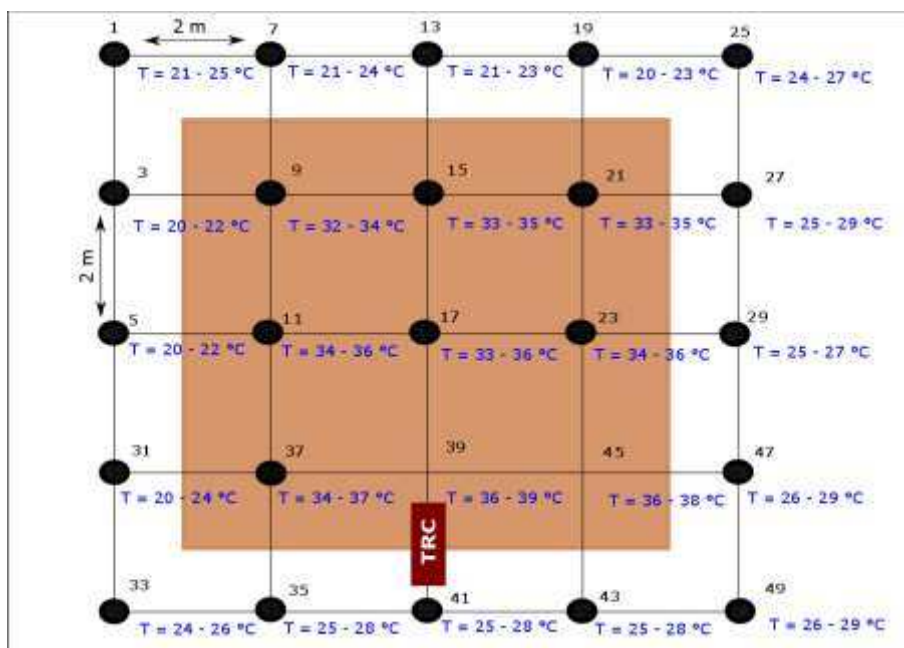


Figura 56 – Distribuição das temperaturas dos sensores posicionados a 6 cm da cama do galpão.

O TRC estava posicionado no centro do galpão e, observou-se que do lado direito do sistema de aquecimento, as temperaturas foram ligeiramente maiores, devido à influência de uma área coberta que era delimitada pela mesma parede. A temperatura ambiente externa de 16 °C foi identificada por, aproximadamente, 110 minutos, período no qual paralelamente a coleta de dados por meio da malha de arduinos, foi mensurada as concentrações dos gases CO e CO<sub>2</sub>.

Analisando a variação das temperaturas na área de influência, observou-se que a temperatura média foi de 35,2 °C e, de acordo com Cony *et al* (2004), a distribuição de temperaturas obtida, estaria de acordo com os valores recomendados para a temperatura do ar ao nível das aves. Dessa forma, para uma temperatura externa de 16 °C, o sistema de aquecimento proposto teria condições de suprir a demanda energética do ambiente das aves, já a partir da primeira semana de vida das aves. Para Furlan (2006) e Cobb-Vantress (2009) as temperaturas obtidas com o aquecimento do ar também atenderiam as exigências das aves nas primeiras semanas de vida.

Por meio da simulação computacional via CFD, para essa condição de temperatura externa de 16 °C, foi prevista temperatura interna do ar aquecido ao nível das aves, entre 35,8 °C a 37,9 °C (Figura 38), o que indica boa predição e adequação das condições em estudo da simulação realizada.

Na Figura 57, estão apresentados os valores de temperatura do ar aquecido identificados nos sensores pares que são os que estavam posicionados a 1m da cama.

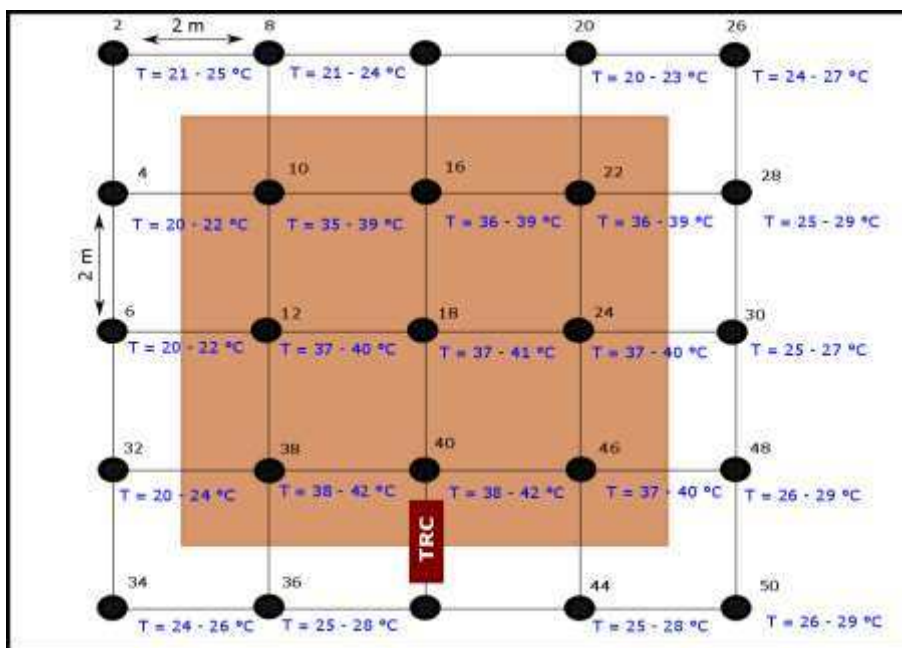


Figura 57 – Distribuição das temperaturas dos sensores posicionados a 1 m da cama do galpão.

Os sensores 14 e 42 não foram identificados nas malhas, pois foram utilizados para mensurar a temperatura ambiente externa.

De acordo com Cony *et al* (2004), essas temperaturas no galpão, atenderiam as exigências de aquecimento do ambiente já a partir da 1ª semana de vida das aves na qual, de acordo com o autor, é recomendável uma temperatura em torno de 28 °C. A temperatura média obtida para o ar aquecido no interior do galpão foi de 38,3 °C, que já estaria bem acima do valor desejável.

Por meio da simulação computacional via CFD, para essa condição de temperatura externa de 16 °C foi prevista temperatura interna do ar aquecido

a 1m da cama, entre 35,4 °C a 43,3 °C (Figura 39), indicando que a simulação já havia apontado temperatura excessiva para as condições estabelecidas.

O TRC não propiciou um eficiente controle da temperatura, uma vez que não foi possível reduzir a queima diretamente conforme as exigências do ambiente. Somente era possível regular a pressão de operação na válvula de alimentação do gás, conforme Figura 58.



Figura 58 – Medidor de pressão disponível no sistema de aquecimento.

Para a operação do aquecedor no dia em que a temperatura ambiente externa estava a 7° C, o sistema operou na pressão de 1 bar, uma vez que foi realizada a tentativa de reduzir essa pressão, mas verificou-se queda brusca na temperatura do ar ambiente. Para as demais temperaturas externas a partir de 16° C, a pressão de operação foi à mínima possível, ou seja, foi regulada a pressão no menor valor de operação (0,5 bar) para que a chama do aquecedor não apagasse e, a partir desse momento, não foi mais necessário alterar essa pressão.

Considerando as temperaturas mensuradas por meio dos sensores ímpares que estavam localizados no nível das aves, percebe-se uma temperatura média de 35,2 °C. Se a temperatura ambiente externa estava a 16° C, havia uma diferença de temperatura de 19,2° C entre as temperaturas obtidas via sistema de aquecimento proposto e a temperatura ambiente externa a qual o módulo estaria submetido, além disso, quanto à qualidade do ar para os gases CO e CO<sub>2</sub>, não foram detectadas concentrações fora dos limites exigidos.

O gasto com combustível gás GLP deve ser considerado a partir do consumo exposto anteriormente, de 0,15 kg por hora de funcionamento do TRC.

Para essa temperatura do ar ambiente de 16 °C, a umidade relativa do ar no interior do módulo aquecido foi mensurada com um valor médio de 19,8%, de acordo com os valores obtidos por meio dos sensores HIH 4000 dispostos nos arduinos que estavam localizados na área de influência da coleta de dados.

### c) Temperatura Externa = 22 °C

Quando a temperatura ambiente externa foi identificada em, aproximadamente, 22°C foram avaliadas as temperaturas do ar interno aquecido por meio do TRC. As temperaturas obtidas para essa condição ao nível das aves, representados pelos sensores de números ímpares, estão expostas na Figura 59.

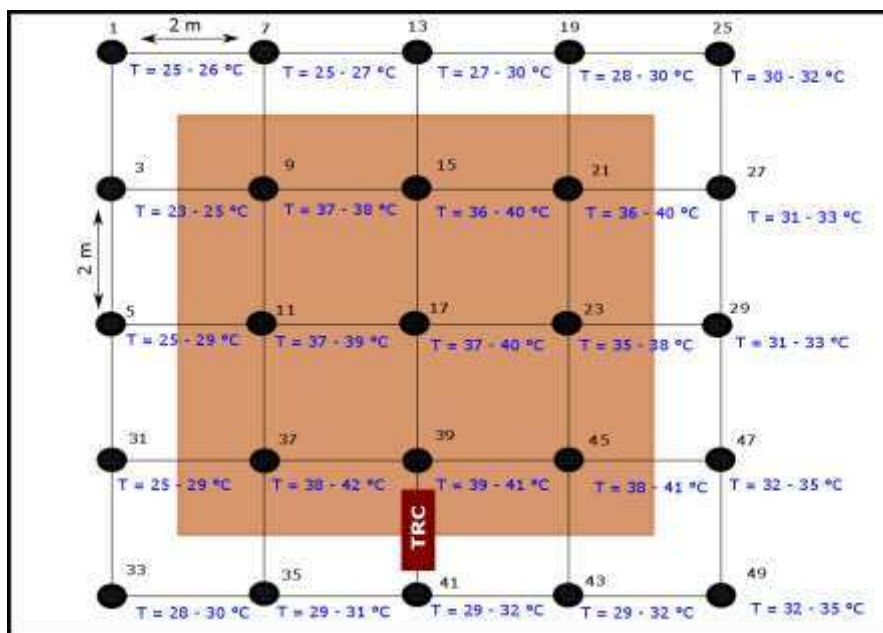


Figura 59 - Distribuição das temperaturas dos sensores posicionados a 6 cm da cama do galpão.

A temperatura ambiente externa de 22 °C foi identificada por, aproximadamente, 120 minutos, período no qual paralelamente à coleta de dados por meio da malha de arduinos, foram mensuradas as concentrações dos gases CO e CO<sub>2</sub>.

Analisando a variação das temperaturas na área de influência, para o nível das aves, observou-se que a temperatura média foi de 38,3 °C e, de acordo com Cony *et al* (2004), esses valores já estariam acima do recomendado para o ar ao nível das aves na primeira semana de vida. Para Furlan (2006) e Cobb-Vantress (2009) as temperaturas obtidas com o aquecimento do ar também estariam acima das exigências das aves nas primeiras semanas de vida.

Essa temperatura elevada (38,3 °C) não era necessária, no entanto, conforme mencionado anteriormente, o sistema não propiciava uma regulação eficaz da temperatura, visto que já estava funcionando na menor pressão possível (0,5 bar), não havendo a opção de reduzir nenhum outro parâmetro com objetivo de economizar energia e manter apenas a temperatura necessária.

Por meio da simulação computacional via CFD, para essa condição de temperatura externa de 22 °C foi prevista temperatura interna do ar aquecido ao nível das aves, entre 36,2 °C a 37,7 °C (Figura 43), sendo o valor obtido experimentalmente, inserido entre esses valores.

Na Figura 60, estão apresentados os valores de temperatura do ar aquecido identificados nos sensores pares que são os que estavam posicionados a 1m da cama.

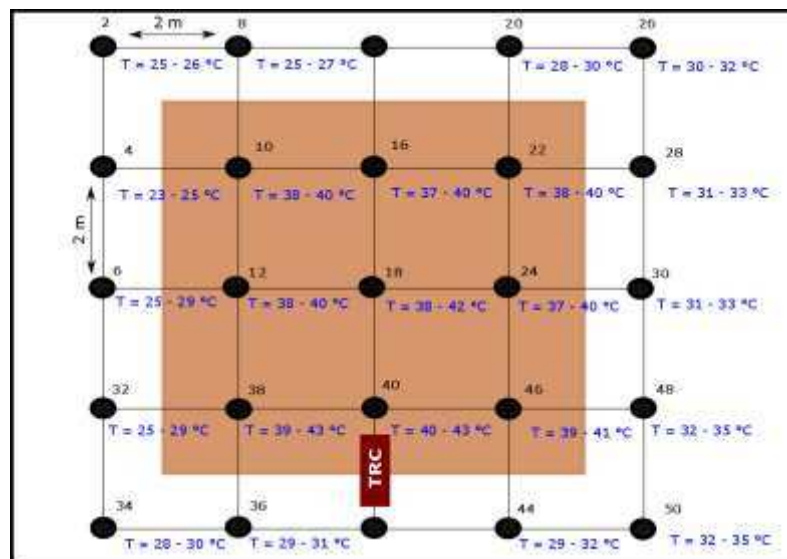


Figura 60 – Distribuição das temperaturas dos sensores posicionados a 1 m da cama do galpão.

De acordo com Cony *et al* (2004), essas temperaturas no galpão, atenderiam as exigências de aquecimento do ambiente a partir da 1ª semana de vida das aves, na qual de acordo com o autor é recomendável uma temperatura em torno de 28 °C. A temperatura média obtida para o ar no interior do galpão foi de 39,5 °C, que já estaria acima do valor desejável, não havendo necessidade desse alto valor, no entanto, o sistema de aquecimento não propiciava um ajuste eficaz da temperatura, conforme a demanda.

Considerando as temperaturas mensuradas pelos sensores ímpares que estavam localizados no nível das aves, percebe-se uma temperatura média de 38,3 °C. Se a temperatura ambiente externa estava a 22° C, havia uma diferença de temperatura de 16,3° C entre as temperaturas obtidas com o sistema de aquecimento proposto e a temperatura ambiente externa a qual o galpão estaria submetido e, além disso, quanto à qualidade do ar para os gases CO e CO<sub>2</sub>, não foram detectadas concentrações fora dos limites exigidos.

Por meio da simulação computacional via CFD, para essa condição de temperatura externa de 22 °C foi prevista temperatura interna do ar aquecido a 1m da cama, entre 35,9 °C a 42,0 °C (Figura 44), o que indica que a simulação já havia apontado temperatura excessiva para as condições estabelecidas.

Para essa temperatura do ar ambiente de 22 °C, a umidade relativa do ar no interior do módulo aquecido foi mensurada com um valor médio de 17,5%, de acordo com os valores obtidos por meio dos sensores HIH 4000 dispostos nos arduinos que estavam localizados na área de influência da coleta de dados.

#### **d) Temperatura Externa = 28 °C**

Quando a temperatura ambiente externa foi identificada em 28°C foram avaliadas as temperaturas do ar aquecido por meio do TRC. Esperava-se, de acordo com dados anteriores, temperatura elevada do ar aquecido no interior do galpão, conforme foi confirmado, posteriormente, e para a temperatura ambiente externa de 28 °C, dependendo das características de clima,

topografia entre outras do local no qual está instalado o aviário, existe a possibilidade desse aquecimento não ser necessário a essa temperatura externa, principalmente, se as aves não estiverem nos primeiros 15 dias de vida, devido a temperatura já elevada do ambiente.

As temperaturas obtidas para o ar aquecido ao nível das aves, representados pelos números ímpares, estão expostas na Figura 61.

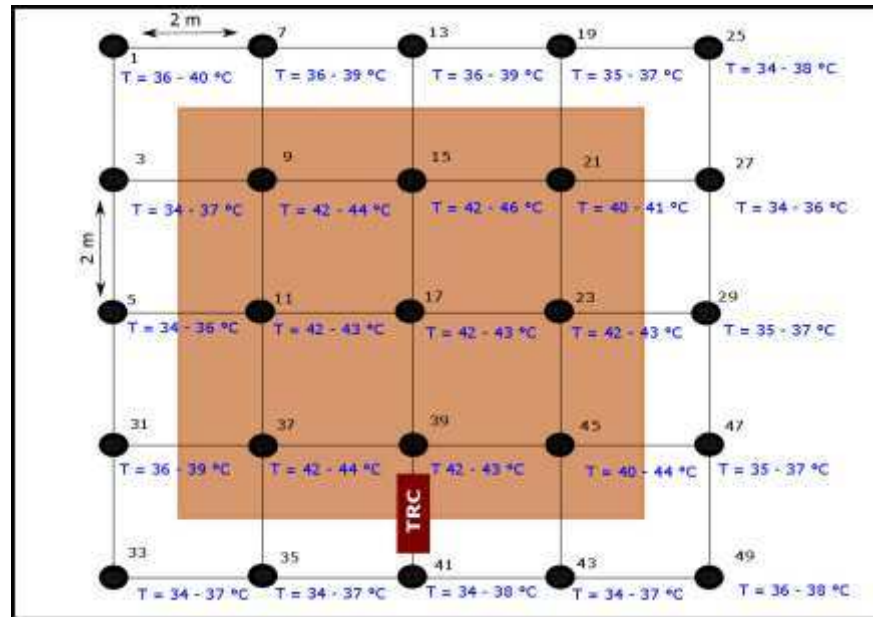


Figura 61 – Distribuição das temperaturas dos sensores posicionados a 6 cm da cama do galpão.

A temperatura ambiente externa de 28 °C foi identificada por, aproximadamente, 180 minutos, período no qual paralelamente a coleta de dados pelos sensores da malha de arduinos, foi mensurada as concentrações dos gases CO e CO<sub>2</sub>.

Analisando a variação das temperaturas na área de influência, observou-se que a temperatura média do ar ao nível das aves foi de 42,3 °C, o que caracteriza temperatura extremamente elevada e desnecessária a essa temperatura ambiente externa. Para esses valores de temperatura do ar aquecido, as aves já estariam sob estresse térmico, devido ao excesso de calor. Como o objetivo do trabalho era caracterizar o sistema de aquecimento, o mesmo continuou funcionando durante todo o período no qual se identificou a temperatura de 28 °C (180 minutos).

De acordo Cony *et al* (2004), a distribuição de temperaturas obtida, ao nível das aves, estaria muito acima dos valores recomendados tanto para o ar no interior do galpão quanto para o ar ao nível das aves. Dessa forma, para uma temperatura externa de 28 °C, as condições de aquecimento propiciado pelo sistema de aquecimento não estariam dentro do recomendável, uma vez que já se identifica temperatura excessiva no ambiente, o que poderia ocasionar estresse térmico nas aves.

Como o único parâmetro que poderia ser modificado na fonte de aquecimento era a pressão de trabalho, que já operava no mínimo valor possível, não foi possível reduzir essa temperatura a partir do aquecedor. Nesse caso, seria recomendável abrir as cortinas a fim de facilitar a transferência de energia e, assim, conseguir reduzir a temperatura interna do galpão, o que representa, em termos de gasto energético, um desperdício.

Por meio da simulação computacional via CFD, para essa condição de temperatura externa de 28 °C foi prevista temperatura interna do ar aquecido ao nível das aves, entre 39,4 °C a 40,6 °C (Figura 47), o que indica que a simulação já havia apontado temperatura excessiva para as condições estabelecidas.

Na Figura 62 estão apresentados os valores de temperatura do ar aquecido identificados nos sensores pares que são os que estavam posicionados a 1m da cama.

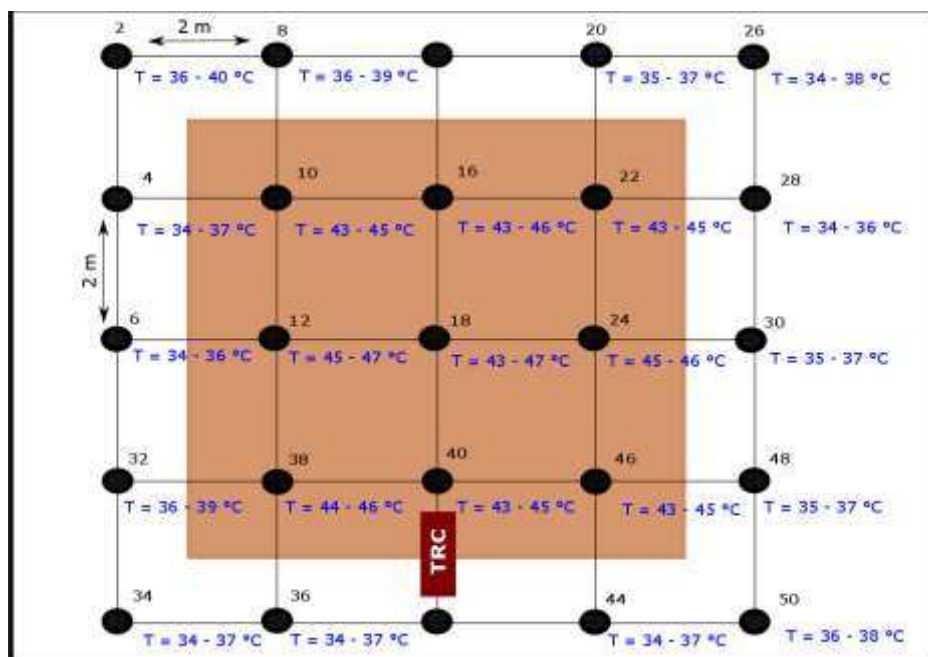


Figura 62 – Distribuição das temperaturas dos sensores posicionados a 1 m da cama do galpão.

A temperatura média obtida para o ar no interior do galpão foi de 44,5°C, que já seria também excessiva e capaz de propiciar condições de estresse térmico às aves.

Considerando as temperaturas mensuradas por meio dos sensores ímpares que estavam localizados no nível das aves, percebe-se uma temperatura média de 42,3 °C. Se a temperatura ambiente externa estava a 28° C, havia de 14,3° C entre as temperaturas obtidas com o sistema de aquecimento proposto e a temperatura ambiente externa a qual o galpão estaria submetido. Considerando que essa diferença de temperatura se manteve por, aproximadamente, 180 minutos quanto à qualidade do ar para os gases CO e CO<sub>2</sub>, não foram detectadas concentrações fora dos limites exigidos.

Em todos os testes realizados, o TRC já estava em operação antes de mensurar a temperatura do ar ambiente interno para as temperaturas externas definidas, uma vez que foram necessárias quase 2h para que o módulo experimental atingisse temperaturas mais constantes e rompesse a inércia térmica da estrutura física do local.

Para essa temperatura do ar ambiente de 28 °C, a umidade relativa do ar no interior do módulo aquecido foi mensurada com um valor médio de 17,67%, de acordo com os valores obtidos por meio dos sensores HIH 4000 dispostos nos arduinos que estavam localizados na área de influência da coleta de dados.

Por meio da simulação computacional via CFD, para essa condição de temperatura externa de 28 °C foi prevista temperatura interna do ar aquecido a 1m da cama, entre 39,1 °C a 44,1 °C (Figura 48), o que indica que a simulação já havia apontado temperatura excessiva para as condições estabelecidas.

A simulação realizada em CFD propiciou calcular as temperaturas do ar aquecido, distribuídas ao longo do módulo experimental, nos dois planos

estabelecidos. Essa simulação foi preditiva nos cálculos dessas temperaturas, uma vez que os valores foram condizentes aos obtidos experimentalmente. Observou-se que considerando a contribuição de energia advindo dos pintinhos na área da cama do módulo, os resultados para temperaturas calculadas em CFD não diferiram do experimental, o que denota que as aproximações realizadas para a coleta de dados *in loco* foram adequadas.

Para trabalhos futuros, é recomendada a ampliação dessa simulação para um aviário com comprimento real, alocando o TRC a cada 36 m<sup>2</sup>, correspondente a área de influência, com maior taxa de ventilação nas entradas de ar a fim de avaliar o comportamento do sistema de aquecimento bem como a distribuição das temperaturas do ar aquecido, na tentativa de ajustar o uso do aquecedor às exigências das aves.

### **5.5. RENOVAÇÃO AR**

Foram consideradas todas as aberturas laterais ao longo do comprimento e largura do galpão que tinham, aproximadamente, 5 cm de espessura, portanto, totaliza-se uma área disponível para saída de ar de 2,24 m<sup>2</sup>. Com o auxílio de um anemômetro de fio quente foi mensurada a velocidade de saída do ar de, aproximadamente, 2 m/s, o que resulta em um fluxo de ar de 4,48 m<sup>3</sup>/s.

Durante todas as coletas de dados de temperatura realizadas na condição de ar exterior, ou seja, com ar externo ao interior do galpão sendo direcionado para alimentação do ventilador do sistema de aquecimento, não foram detectadas concentrações mensuráveis pelos equipamentos, o que indica que essa abertura de saída de ar (2,24 m<sup>2</sup>) para as dimensões da área em estudo, foi suficiente para não comprometer a qualidade do ar quanto aos gases CO e CO<sub>2</sub>, oriundos do aquecedor proposto.

Para um volume de ar do galpão que era de 240 m<sup>3</sup> e com um fluxo de ar em torno de 4,48 m<sup>3</sup>/s ocorreram duas renovações de ar por minuto, visto que não houve emissões significativas de metano e dióxido de carbono devido à queima do combustível, esse número de renovações foram suficientes.

## 6 – CONCLUSÕES

Um sistema de aquecimento de ar ambiente denominado tubo radiante convectivo (TRC) foi avaliado quanto ao seu potencial de propiciar um ambiente térmico adequado para criação de pintinhos, pois a demanda energética das aves nas primeiras semanas de vida, período no qual o sistema termorregulador das mesmas não está completamente desenvolvido, é grande, havendo, pois necessidade de aquecimento do ar ambiente.

De um modo geral, pode-se concluir que:

- 1) O aquecedor TRC é capaz de prover ar aquecido limpo e adequado na maior parte do tempo, quando a temperatura do ar externo está em torno de 16 °C. Todavia, para temperaturas maiores e menores que essa, há que se prover o aquecedor com um sistema de automação e controle de modo a atender a demanda energética das aves;
- 2) O sistema de coleta de dados implementado por meio dos arduinos foi eficiente na medição das temperaturas do ar aquecido nos dois planos estabelecidos no módulo experimental, sendo um deles ao nível das aves e o outro a 1 metro do piso;
- 3) A área na qual o TRC propiciou aquecimento do ar de forma mais estável (área de influência), menos susceptível ao ambiente externo foi de 36 m<sup>2</sup>, sendo recomendado alocar um TRC a cada 6 m de distancia um do outro.
- 4) Para temperatura do ar ambiente externo ao módulo experimental de 7 °C, o TRC não propiciou aquecimento do ar ao nível das aves de forma adequada, não atingindo os valores recomendados pela literatura. Todavia, as temperaturas do ar aquecido a 1 m do piso atingiram valores adequados às exigências térmicas das aves. Para as temperaturas do ar externo ao módulo de 22 °C e 28 °C observou-se temperaturas do ar aquecido acima dos valores recomendados, o que poderia ocasionar estresse térmico por calor nas aves. Concomitantemente, o TRC não propiciava nenhum ajuste na temperatura, o que impossibilitou o controle da temperatura do ar de acordo com a necessidade das aves;
- 5) A umidade relativa do ar aquecido ficou dentro dos valores previstos e observou-se que duas renovações de ar por minuto no interior do módulo

experimental foram suficientes para manter a qualidade do ar quanto aos gases CO e CO<sub>2</sub>, quando havia captação do ar externo;

- 6) Houve odor forte no interior do módulo decorrente da queima do gás quando o TRC foi operado sem renovação do ar externo, embora as concentrações dos gases CO e CO<sub>2</sub> mensuradas ficaram dentro dos valores recomendados pela literatura. Torna-se necessário, rever esses valores, uma vez que concentração abaixo do recomendado já é desconfortável para as pessoas, conseqüentemente, para as aves;
- 7) A simulação realizada em CFD propiciou calcular as temperaturas do ar aquecido ao nível das aves e para o plano localizado a 1 m do piso. Essa simulação foi preditiva nos cálculos dessas temperaturas, uma vez que os valores foram condizentes aos obtidos experimentalmente.

Uma vez caracterizado o aquecimento propiciado pelo Tubo Radiante Convectivo, sugere-se para trabalhos futuros a caracterização do desempenho zootécnico de aves para esse sistema de aquecimento após algumas melhorias técnicas do aquecedor quanto ao controle da vazão do gás a fim de obter melhor controle da temperatura do ar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. ABREU P G, ABREU VMN, COLDEBELLA A., JAENISCH FRF, PAIVA DP. CONDIÇÕES TÉRMICAS AMBIENTAIS E DESEMPENHO DE AVES CRIADAS EM AVIÁRIOS COM E SEM O USO DE FORRO. ARQ BRAS MED VET E ZOOTEC. 2007;59:1014–1020.
2. ABREU VMN, ABREU PG DE. OS DESAFIOS DA AMBIÊNCIA SOBRE OS SISTEMAS DE AVES NO BRASIL THE CHALLENGES OF ANIMAL ENVIRONMENT ON THE POULTRY SYSTEMS IN BRAZIL. REV BRAS ZOOTEC V40. 2011;2011:1–14.
3. ALBINO, L.F.T.; NEME, R. INTER-RELAÇÃO AMBIÊNCIA X NUTRIÇÃO EM FRANGOS DE CORTE. IN: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO ANIMAL E TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE RAÇÕES, 1998.
4. ALENCAR M.C.B.; GONTIJO, L.A.; NÃÃS, I.A.; BARACHO, M.S.; MIRAGLIOTTA, M.Y. A SAÚDE OCUPACIONAL NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE NO BRASIL: SERÁ QUE SABEMOS O BASTANTE? IN: SEMINÁRIO POLUENTES AÉREOS E RUÍDOS EM INSTALAÇÕES PARA PRODUÇÃO DE ANIMAIS, 2002., CAMPINAS. ANAIS. CAMPINAS, SP, 2002. p.57-62.
5. AL-HOMOUD, M.S. PERFORMANCE CHARACTERISTICS AND PRACTICAL APPLICATIONS OF COMMON BUILDING THERMAL INSULATION MATERIALS. BUILDING AND ENVIRONMENT, OXFORD, V. 40 P. 353-366, 2005. CAMPINAS. ANAIS... CAMPINAS: COLÉGIO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 1998, p.64-76.
6. BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. AMBIÊNCIA EM EDIFICAÇÕES RURAIS – CONFORTO ANIMAL. VIÇOSA: UFV, 1997. 246p.
7. BARBOSA FILHO, J.A.D.; SILVA, M.A.N.; VIEIRA, F.M.C.; SILVA, I.J.O. AVALIAÇÃO DIRETA E PRÁTICA - CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE INTERNO DE GALPÕES DE CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE UTILIZANDO TABELAS PRÁTICAS DE ENTALPIA. AVICULTURA INDUSTRIAL, ITU, V. 1144, P. 54 - 57, 04 JUL. 2006.
8. BEZERRA, L. A. C. ; MARINHO, G. S. . ELEMENTOS DE ALVENARIA TERMO-ISOLANTE PRODUZIDOS COM POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO. MENS AGITAT, BOA VISTA, V. 3, p. 17-26, 2008.

- 
9. BIRD, R.B. STEWART, W.E. E. E LIGHTFOOT, E.N., (2004). FENÔMENOS DE TRANSPORTE. LTC EDITORA. 2ª EDIÇÃO, RIO DE JANEIRO.
  10. BJERG, B.; SVIDT, K.; ZHANG, G.; MORSING, S.; JOHSEN, J.O. 2002. MODELING OF AIR INLETS IN CFD PREDICTION OF AIRFLOW IN VENTILATED ANIMAL HOUSES. COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE, 34(3):223- 235.
  11. BORGES, S.A.; MAIORKA, A.; SILVA, A.V.F. FISILOGIA DO ESTRESSE CALÓRICO E A UTILIZAÇÃO DE ELETRÓLITOS EM FRANGOS DE CORTE. CIÊNCIA RURAL, SANTA MARIA, V.33, N.5,p. 975-981, 2003.
  12. BRIDI, A. M. PADRONIZAÇÃO, RASTREABILIDADE E CERTIFICAÇÃO DE ANIMAIS E SEUS PRODUTOS, 2011.  
<http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Carnesecarcacasarquivos/Padronizacao.pdf>
  13. BUENO, LEDA; ROSSI, LUIZ A. *COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE CLIMATIZAÇÃO PARA CRIAÇÃO DE FRANGOS QUANTO A ENERGIA, AMBIÊNCIA E PRODUTIVIDADE*. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL 10: 497-504 (2006).
  14. BOTTCHER, R., BISESI, P. HOT WEATHER MANAGEMENT OF BROILER HOUSING: INCREASING NIGHT-TIME USE OF MIXING FANS. NC ALTERNATIVE ENERGY CORPORATION, NORTH CAROLINA. 4p. 1993.
  15. BOTTCHER, R.W., BAUGHMAN, G.R., MAGURA, J.R. REDUCING HEAT STRESS IN BROILERS. VERTICALLY DIRECTED MIXING FANS AS AN ALTERNATIVE TO TUNNEL VENTILATION. WORLD POULTRY SCIENCE JOURNAL, MT. MORRIS, V.11, N.3, p.24-9, 1995
  16. BUCKLIN, R.A.; JACOB, J. P.; MATHER, F. B.; LEARY, J. D.; NÄÄS, I.A. TUNNEL VENTILATION OF BROILER HOUSES. THIS DOCUMENT IS FACTSHEET PS-46, ONE OF A SERIES OF THE ANIMAL SCIENCE DEPARTMENT, FLORIDA COOPERATIVE EXTENSION SERVICE, INSTITUTE OF FOOD AND AGRICULTURAL SCIENCES. 2009. UNIVERSITY OF FLORIDA. DISPONÍVEL EM: <edis.ifas.ufl.edu>. ACESSADO EM 01 DE FEVEREIRO DE 2017.
  17. BUSTAMANTE, E. ET AL. EXPLORING VENTILATION EFFICIENCY IN POULTRY BUILDINGS: THE VALIDATION OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) IN A CROSS-MECHANICALLY VENTILATED BROILER FARM. ENERGIES, V.6, p.2605-2623, 2013.
  18. BUSTAMANTE, E.; GARCÍA-DIEGO, F.J.; CALVET, S.; TORRES, A.G.; HOSPITALER, A. MEASUREMENT AND NUMERICAL SIMULATION OF AIR

19. BUTCHER, G.D.; NILIPOUR, A.H. BROILER MANAGEMENT: THE FIRST 24 HOURS. FLORIDA: INSTITUTE OF FOOD AND AGRICULTURAL SCIENCES, 2002. 4p.
20. COBB - VANTRESS, INC. COBB - VANTRESS BRASIL, LTDA. MANUAL DE MANEJO DE FRANGOS DE CORTE. 2008, 66p. DISPONÍVEL EM: <[www.granjaplanalto.com.br /manual%20frango%20corte\\_20\\_03\\_09.pdf](http://www.granjaplanalto.com.br/manual%20frango%20corte_20_03_09.pdf)>. acesso em: 25 abr. de 2017.
21. CONY, A.V.; ZOCHE, A.T. EQUIPAMENTOS PARA FORNECIMENTO DE RAÇÃO E ÁGUA. IN: MENDES, A.A.; NÄÄS, I.A.; MACARI, M. (EDS.) PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE. CAMPINAS: FUNDAÇÃO APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2004. p.97-106.
22. 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.
23. 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 DO INVERNO. REVISTA BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, V.39. N. 1, p.217-224, 2010.
24. CRITCHFIELD, H.J. GENERAL CLIMATOLOGY. ENGLEWOOD CLIFFS: PRENTICE-HALL, 1974. 447p.
25. CURI, T.M.R.C.; VERCELLINO, R.D.A.; MASSARI, J.M.; SOUZA, Z.M.; MOURA, D.J. GEOSTATISTIC TO EVALUETE THE ENVIRONMENTAL CONTROL IN DIFFERENT VENTILATION SYSTEMS IN BROILER HOUSES. ENGENHARIA AGRÍCOLA, V.34, N.6, P.1062-1074, 2014.
26. CHOI, K.; ALBRIGHT, L.D.; TIMMONS, M.B. 1998. AN APPLICATION OF THE K-E TURBULENCE MODEL TO PREDICT AIR DISTRIBUTION IN A SLOT VENTILATED ENCLOSURE. TRANSACTIONS OF THE ASAE. 31(2):1804-1814.
27. CURTIS, STANLEY E. *ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN ANIMAL AGRICULTURE*, IOWA STATE PR (1983).
28. DAMASCENO, F.A.; AMARAL, A.G.; MARTINS, M.A.; SARAZ, J.A.O.; BAÊTA, F.C. 2010A. DINÂMICA DO FLUIDO COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO DA TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR EM SISTEMA DE AQUECIMENTO

- AVÍCOLA. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38. 2010, VITÓRIA. ANAIS. VITÓRIA: SOC. BRAS. DE ENG. AGR.
29. DAMASCENO, F.A.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R.R.; GOMES, R.C.C.; MORAES, S.R.P. 2010B. AVALIAÇÃO DO BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE EM DOIS GALPÕES COMERCIAIS CLIMATIZADOS. CIÊNCIA AGROTECNICA, LAVRAS. 34 (2): 1031-1038.
30. DAMASCENO, FLÁVIO ALVES. USE OF CFD MODELING FOR DETERMINATION OF AMMONIA EMISSION IN NON-INSULATED POULTRY HOUSES WITH NATURAL VENTILATION (2011).
31. FURLAN, R.L. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE. IN: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 6., 2006, CHAPECÓ. ANAIS... CHAPECÓ, 2006 (CD-ROM).
32. GEBREMEDHIN, K.G.; WU, B. 2005. SIMULATION OF FLOW FIELD OF A VENTILATED AND OCCUPIED ANIMAL SPACE WITH DIFFERENT INLET AND OUTLET CONDITIONS. JOURNAL OF THERMAL BIOLOGY. 30(5):343-35
33. GIVONI, B. CLIMATE CONSIDERATIONS IN BUILDING AND URBAN DESIGN, WILEY, 1998.P. 443.
34. HALÁSZ, J.Z. ; MARTINS, A. PRINCÍPIOS PARA O CONDICIONAMENTO DE AR. FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA. CAMPINAS, SP: UNICAMP, 1994. 220p.
35. HARRAL, B.B.; BOON, C.R. 1997. COMPARISON OF PREDICTED AND MEASURED AIR FLOW PATTERNS IN A MECHANICALLY VENTILATED LIVESTOCK BUILDING WITHOUT ANIMALS. J. AGR. ENG. RES. 66(2):221-228.
36. HERNÁNDEZ, R.O. MAPEAMENTO, AVALIAÇÃO E MODELAGEM DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE AVIÁRIOS DE DIFERENTES TIPOLOGIAS DURANTE A FASE INICIAL DE CRESCIMENTO DE FRANGOS DE CORTE. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. VIÇOSA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. MESTRADO (2012).
37. HIRSCH, C. NUMERICAL COMPUTATION OF INTERNAL AND EXTERNAL FLOWS, BUTTERWORTH-HEINEMANN (2007).
38. HOFF, S.J.; JANNNI, K.A.; JACOBSON, L.D. 1992. THREE-DIMENSIONAL BUOYANT TURBULENT FLOWS IN A SCALED MODEL, SLOT-VENTILATED,

LIVESTOCK CONFINEMENT FACILITY. TRANSACTIONS OF THE ASAE. 35(2):671-686.

39. HOLMAN, J.F. TRANSFERÊNCIA DE CALOR. TRADUÇÃO DE LUIZ FERNANDO MILANEZ. SÃO PAULO: MCGRAW-HILL, 1983. 639 p.
40. INCROPERA, F.P.; WITT, D.P. DE. FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA. RIO DE JANEIRO, EDITORA GUANABARA KOOGAN. 1992. 455p.
41. INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DE MASSA. 6 ED. TRADUÇÃO: QUEIROZ, E. M.; PESSOA, F. L. P. RIO DE JANEIRO: LTC, 2008. 643 p.
42. KREITH, F. PRINCÍPIOS DA TRANSMISSÃO DE CALOR. ED. EDGARD BLÜCHER. INSTITUTO NACIONAL DO LIVRO. MEC. 1973. P. 747.
43. MENEGALI I, TINÔCO IDFF, BAÊTA FDC, CECON PR, GUIMARÃES MDCD, CORDEIRO MB. AMBIENTE TÉRMICO E CONCENTRAÇÃO DE GASES EM INSTALAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO DE AQUECIMENTO. REV BRAS ENG AGRÍCOLA E AMBIENT. 2009;13:984-990.
44. MACARI, M.; FURLAN, R.L. AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE AVES EM CLIMA TROPICAL. IN: SILVA, I. J. (ED.) AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE AVES EM CLIMA TROPICAL. PIRACICABA: FUNEP, 2001. CAP.2, p. 31-87
45. MEDEIROS, M.M.; BAETA, F.C.; OLIVEIRA, R.F.M. ET AL. EFEITOS DA TEMPERATURA, UMIDADE RELATIVA E VELOCIDADE DO AR EM FRANGOS DE CORTE. ENGENHARIA NA AGRICULTURA, V.13, N.4, p.277-286, 2005.
46. MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. EVALUATION OF HEAT FLUX REDUCTION PROVIDED BY THE USE OF RADIANT BARRIERS IN CLAY TILE ROOFS. ENERGY AND BUILDINGS, BELGRADE, V. 40, p. 445-451, 2008.
47. NASCIMENTO, S. T.; SILVA, I. J. O. AS PERDAS DE CALOR DAS AVES: ENTENDENDO AS TROCAS DE CALOR COM O MEIO. REVISTA PRODUÇÃO ANIMAL - AVICULTURA. EDIÇÃO N°41, 2010. 5p.

48. NAVARINI, F. C. 2; KLOSOWSKI E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. A.; ALMEIDA, C. P. CONFORTO TÉRMICO DE BOVINOS DA RAÇA NELORE A PASTO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO E A PLENO SOL. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, V. 29, Nº 4, p. 508-517, 2009.
49. NEIVA M. N. J.; TURCO, S. N. H.; OLIVEIRA, S. P. M.; MOURA, A. N. A. A. EFEITO DO ESTRESSE CLIMÁTICO SOBRE OS PARÂMETROS PRODUTIVOS E FISIOLÓGICOS DE OVINOS SANTA INÊS MANTIDOS EM CONFINAMENTO NA REGIÃO LITORÂNEA DO NORDESTE DO BRASIL. REVISTA BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, V. 33, Nº 3, p. 668-678, 2004.
50. NEVES, M. L. M. W. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA OVINOS SANTA INÊS DE DIFERENTES CORES DE PELAME EM CONDIÇÕES DE PASTEJO. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ZOOTECNIA – ÁREA: PRODUÇÃO ANIMAL) – UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO. DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA. p. 77, 2008.
51. NIENABER, J.A.; HAHN, G.L. ENGINEERING AND MANAGEMENT PRACTICES TO AMELIORATE LIVESTOCK HEAT STRESS. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE CIGR. NEW TRENDS IN FARM BUILDINGS, 2004, ÉVORA. ANAIS..., ÉVORA: CIGR, 2004.
52. NORTON, TOMÁS; GRANT, JIM; FALLON, RICHARD; SUN, DA-WEN. IMPROVING THE REPRESENTATION OF THERMAL BOUNDARY CONDITIONS OF LIVESTOCK DURING CFD MODELLING OF THE INDOOR ENVIRONMENT. COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE 73(1): 17-36 (2010).
53. OSORIO, JAIRO ALEXANDER; TINÔCO, ILDA DE FÁTIMA FERREIRA; CIRO, HECTOR JOSE. AMMONIA: A REVIEW OF CONCENTRATION AND EMISSION MODELS IN LIVESTOCK STRUCTURES. REVISTA DYNA 76 (2009).
54. OSORIO, JAIRO ALEXANDER; ROCHA, KELLER SULLIVAN OLIVEIRA; TINÔCO, ILDA DE FÁTIMA FERREIRA; GATES, RICHARD S.; MENDES, LUCIANO BARRETO; MARIN, OLGA LÚCIA ZAPATA; VAN OUWERKERK, E.N.J.; PEDERSEN, S. 1994. APPLICATION OF THE CARBON DIOXIDE MASS BALANCE METHOD TO EVALUATE VENTILATION RATES IN LIVESTOCK BUILDINGS. IN: PROC. XII WORLD CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING, MILANO, ITALY. p.516-529.

55. OSORIO, JAIRO ALEXANDER; ROCHA, KELLER SULLIVAN OLIVEIRA; TINÔCO, ILDA DE FÁTIMA FERREIRA; GATES, RICHARD S.; MENDES, LUCIANO BARRETO; MARIN, OLGA LÚCIA ZAPATA; DAMASCENO, FLÁVIO ALVES. USE OF CFD MODELING FOR DETERMINATION OF AMMONIA EMISSION IN NON-INSULATED POULTRY HOUSES WITH NATURAL VENTILATION (2011).
56. OLIVEIRA, M. M F.; DANTAS, T. R.; FURTADO, A. D.; NASCIMENTO J. W. B.; MEDEIROS, A. N. PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO E FISIOLÓGICO DE OVINOS SANTA INÊS, SOB DIFERENTES SISTEMAS DE ACONDICIONAMENTO. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, V. 9 Nº. 4, 2006.
57. OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ABREU, M.L.T. ET AL. EFEITOS DA TEMPERATURA E DA UMIDADE RELATIVA SOBRE O DESEMPENHO E O RENDIMENTO DE CORTES NOBRES DE FRANGOS DE CORTE DE 1 A 49 DIAS DE IDADE. REVISTA BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, V.35, N.3, p.797-803, 2006.
58. PEREIRA, C. L. MONITORAMENTO ELETRÔNICO DO CONFORTO TÉRMICO EM ABRIGOS INDIVIDUAIS PARA BEZERROS COM COBERTURAS ALTERNATIVAS. REVISTA ENSAIOS E CIÊNCIA, V. 5 Nº 5 P. 73-76, 2007.
59. POCAI, P. L. B.; STARLING, J. M. C.; SILVA, R. G. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE VACAS HOLANDESAS PREDOMINANTEMENTE BRANCAS E PREDOMINANTEMENTE NEGRAS SOB RADIAÇÃO SOLAR DIRETA. REVISTA BRASILEIRA DE VETERINÁRIA, V. 17, Nº 2, p.155-161, 2001
60. RIBEIRO, N. FURTADO, A. D., MEDEIROS, N. A., RIBEIRO, N. M., SILVA, B. C. R., SOUZA, S. M. C. AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO, PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E GRADIENTE TÉRMICO DE OVINOS NATIVOS. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, V.28, Nº.4, 2008.
61. RIVERO, R.O. ARQUITETURA E CLIMA: ACONDICIONAMENTO TÉRMICO NATURAL. 2. ED. PORTO ALEGRE: D. C. LUZZATO, 1986. 240 p.
62. ROCHA, R. R. C.; COSTA, A. P. R.; AZEVEDO, D. M. M. R.; H. T. S. NASCIMENTO, F. S. C.; MURATORI, M. C. S.; LOPES, J. B. ADAPTABILIDADE CLIMÁTICA DE CAPRINOS SAANEN E AZUL NO MEIO-NORTE DO BRASIL. REVISTA BRASILEIRA DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA, V. 61, Nº.5, 2009.
63. ROCHA, K. S. O. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE RESFRIAMENTO DE GRÃOS ARMAZENADOS EM SILOS GRANELEIROS POR MEIO DAS LEIS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA E MASSA. DEPARTAMENTO

DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. VIÇOSA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. DOUTORADO (2012).

64. RODRIGUES, E.H.V. DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO, POR ASPERSÃO INTERMITENTE, NA COBERTURA DE AVIÁRIOS USANDO MODELOS DE ESCALA DISTORCIDA. 1998. 178p. TESE (DOUTORADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA). UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, CAMPINAS, 1998.
65. SALGADO, D.D. MODELO ESTATÍSTICO PARA PREDIÇÃO DE BEM-ESTAR DE REPRODUTORAS DE FRANGO DE CORTE BASEADO EM DADOS DE AMBIENTE E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO. 2006. 126 F. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA) - FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, CAMPINAS, 2006.
66. SARMENTO, V. G. L.; DANTAS, T. R.; FURTADO, A. D.; NASCIMENTO, B. W. J.; SILVA, V. H. J. EFEITO DA PINTURA EXTERNA DO TELHADO SOBRE O AMBIENTE CLIMÁTICO E O DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE. AGROPECUÁRIA TÉCNICA, V. 26, Nº 2, P.117-122, 2005.
67. SILVA, E. M. N. - AVALIAÇÃO DA ADAPTABILIDADE DE CAPRINOS EXÓTICOS E NATIVOS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO. CIÊNCIA AGROTECNICA, V. 30, N. 3, P. 516-521, 2006.
68. SILVA, ROBERTO GOMES DA. INTRODUÇÃO À BIOCLIMATOLOGIA, SÃO PAULO: NOBEL, 2000, V. 1, p. 283.
69. SILVA, I.J.O.; SEVEGNANI, K.B. AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE AVES DE POSTURA. IN: SILVA, I. J. O. AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE AVES EM CLIMA TROPICAL. PIRACICABA: FUNEP, 2001. P.150- 214.
70. 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.
71. 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.
72. TU, J.; YEOH, G.H.; LIU, C. COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS: A PRACTICAL APPROACH, BUTTERWORTH-HEINEMANN (2007).

73. XIA, B.; SUN, D.W. APPLICATIONS OF COMPUTACIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) IN THE FOOD INDUSTRY: A REVIEW. COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE 34 (1-3): 5-24 (2002).
74. VALE, M.M. ET AL. DATA MINING TO ESTIMATE BROILER MORTALITY WHEN EXPOSED TO HEAT WAVE. SCIENTIA AGRÍCOLA, V.65, p.335-339, 2008.
75. VIGODERIS, R. B. DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA RESFRIAMENTO ADIABÁTICO EVAPORATIVO, EM INSTALAÇÕES CLIMATIZADAS PARA ANIMAIS, USANDO ARGILA EXPANDIDA. 2002. 53 p. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, VIÇOSA, MG.
76. VITTORINO, F.; SATO, N.M.N.; AKUTSU, M. DESEMPENHO TÉRMICO DE ISOLANTES REFLETIVOS E BARREIRAS RADIANTES APLICANDO EM COBERTURAS. REVISTA DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO – TÉCHNE, SÃO PAULO, N. 75, p. 66-70, 2003.
77. YANAGI JR, T.; CARVALHO, V. F.; YANAGI, S. N. M.; DAMASCENO, F. A. MODELAGEM DA EFICIÊNCIA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO EM SISTEMAS DE PLACAS POROSAS UMEDECIDAS. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, JOÃO PESSOA. ANAIS... JOÃO PESSOA: SBEA, 2006. 4 p. 1CD ROM.
78. YOUSEF, M.K. STRESS PHYSIOLOGY IN LIVESTOCK. POULTRY SCIENCE, BOCA RATON, V.3, P.159, 1985.
79. ZANOLLA, N.; TINOCO, I. F. F.; BAETA, F. C.; CECON, P. R.; MORAES, S. R. P. CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA - SISTEMAS DE VENTILAÇÃO EM TÚNEL E LATERAL NA CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE COM ALTA DENSIDADE. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, V.3, N.3, p.361-366, 1999.
80. ZHANG, G.; MORSING, S.; BJERG, B.; SVIDT, K.; STROM, J. S. 2000. TEST ROOM FOR VALIDATION OF AIRFLOW PATTERNS ESTIMATED BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS. J. AGR. ENG. RES. 76(3):141-148.
81. NADER, A.S.; BARACHO, M.S.; NÃÃS, I.A.; SAMPAIO, C.A.P. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM CRECHE DE SUÍNOS. IN: SEMINÁRIO: POLUENTES AÉREOS E RUÍDOS EM INSTALAÇÕES PARA PRODUÇÃO DE ANIMAIS, 2002, CAMPINAS. RESUMOS... CAMPINAS, SP, SETEMBRO DE 2002. p 49-56.

82. WHATES, C.M. AERIAL EMISSIONS FROM POULTRY PRODUCTION. WORLD POULTRY SCIENCE JOURNAL, V.54, p.241-251, 1998.

## ANEXOS

### ANEXO 1 – CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS.

ANEXO DA PORTARIA DNMETRO Nº 50/ 2013

	<p>Descrição: <span style="float: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">13</span></p> <p>Sem revestimento interno Bloco cerâmico (9,0 x 9,0 x 24,0 cm) Sem revestimento externo</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">U</th> <th style="text-align: center;">C<sub>T</sub></th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">[W/(m<sup>2</sup>K)]</th> <th style="text-align: center;">[kJ/m<sup>2</sup>K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">2,99</td> <td style="text-align: center;">42</td> </tr> </tbody> </table>	U	C <sub>T</sub>	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	2,99	42
U	C <sub>T</sub>						
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]						
2,99	42						
	<p>Descrição: <span style="float: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">14</span></p> <p>Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">U</th> <th style="text-align: center;">C<sub>T</sub></th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">[W/(m<sup>2</sup>K)]</th> <th style="text-align: center;">[kJ/m<sup>2</sup>K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1,85</td> <td style="text-align: center;">161</td> </tr> </tbody> </table>	U	C <sub>T</sub>	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	1,85	161
U	C <sub>T</sub>						
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]						
1,85	161						

## ANEXO 2 – CÓDIGOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS COM ARDUINOS

```
// Programa : Leitor temperatura sensores DS18B20
// Programa: Leitor de umidade relativa do ar HIH-4000
// Alterações : hermes
// Sensores ligados ao Arduino 01
// data: 20/04

// includes das libraries relativas ao sensor de temperatura
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// includes das libraries relativas ao modulo de internet
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
EthernetClient client;

// configurando o sensor de umidade
float sensor; // declara a variável sensor
float cont; // declara a variável cont

// configurando as informacoes de rede do arduinho
byte mac[] = { 0x90, 0xA2, 0xDA, 0x0D, 0x96, 0xB4 }; // mac do w5100
byte ip[] = { 192,168,0.100 }; // ip local
char server[]={"192.168.0.1"}; // ip do servidor

// Conectar o pino central dos sensores ao pino 4 do Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 4

// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Configurando o endereco fisico de cada sensor de temperatura a uma variavel
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress A01_T01 = { 0x28, 0xFF, 0x5C, 0x43, 0xA8, 0x15, 0x03, 0xB6 }; // sensor 1
DeviceAddress A01_T02 = { 0x28, 0xFF, 0x8F, 0xCC, 0x64, 0x15, 0x03, 0x0D }; // sensor 2
DeviceAddress A01_T03 = { 0x28, 0xFF, 0xB4, 0xBF, 0x64, 0x15, 0x03, 0xD9 }; // sensor 3
DeviceAddress A01_T04 = { 0x28, 0xFF, 0x8A, 0xE5, 0x64, 0x15, 0x03, 0x3C }; // sensor 4
DeviceAddress A01_T05 = { 0x28, 0xFF, 0xD5, 0xED, 0x64, 0x15, 0x03, 0xDA }; // sensor 5
DeviceAddress A01_T06 = { 0x28, 0xFF, 0xCA, 0xA2, 0x64, 0x15, 0x03, 0xB3 }; // sensor 6

void setup()
{
  // start serial port
  Serial.begin(9600);

  pinMode(A1, INPUT); // ativa a porta analogica A1 como entrada de dados do sensor de
  umidade

  Ethernet.begin(mac, ip);
  Serial.print("Meu endereço IP: ");
  Serial.println(Ethernet.localIP());

  // Start up the library
  sensors.begin();

  // set the resolution to 10 bit (good enough?)
  sensors.setResolution(A01_T01, 10);
  sensors.setResolution(A01_T02, 10);
  sensors.setResolution(A01_T03, 10);
  sensors.setResolution(A01_T04, 10);
```

```

sensors.setResolution(A01_T05, 10);
sensors.setResolution(A01_T06, 10);

//sensors.setResolution(dogHouseThermometer, 10);}

void printTemperature(DeviceAddress deviceAddress){
  float tempC = sensors.getTempC(deviceAddress);
  if (tempC == -127.00) {
    Serial.print("Erro ao ler temperatura !"); }
  else {
    // Serial.print("C: ");
    Serial.print(tempC); } }

void loop(){

  // inicio codigo do sensor de umidade
  sensor = analogRead(A1); // armazena na variável sensor o valor obtido pelo sensor de umidade
  cont=(sensor*5)/1023; // converte os valor em volts
  cont= cont-0.826; // desconto de tenção, pois 0 de umidade relativa corresponde a 0,826v na
saída do sensor
  cont=cont/0.031483; // cada um ponto percentual de umidade relativa é igual a 0,031483V
  // fim do codigo do sensor de umidade

  // inicio do codigo dos sensores de temperatura
  Serial.print("Lendo temperaturas...\n\r");
  sensors.requestTemperatures();
  Serial.print("Temp. Sensor 1: ");
  printTemperature(A01_T01);
  Serial.print(" - ");
  Serial.print("Temp. Sensor 2: ");
  printTemperature(A01_T02);
  Serial.print(" - ");
  Serial.print("Temp. Sensor 3: ");
  printTemperature(A01_T03);
  Serial.print(" - ");
  Serial.print("Temp. Sensor 4: ");
  printTemperature(A01_T04);
  Serial.print(" - ");
  Serial.print("Temp. Sensor 5: ");
  printTemperature(A01_T05);
  Serial.print(" - ");
  Serial.print("Temp. Sensor 6: ");
  printTemperature(A01_T06);
  // fim do codigo dos sensores de temperatura

  // codigo do sensor de umidade
  Serial.print(cont); // imprime o valor de cont
  Serial.println("%"); // imprime % e pula a linha
  // fim do codigo do sensor de umidade

  Serial.print("\n\r");

  // enviando o valor coletado do sensor 1 para o servidor
  if (client.connect(server, 80)) { // Se conecta ao servidor
    client.print("GET http://192.168.0.1/granja/insert.php?NomeSensor=");
    client.print("A01_T01");
    client.print("&Valor=");
    client.print(sensors.getTempC(A01_T01));
    client.println(" HTTP/1.0");
    client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
    client.println();
    Serial.println("Exito na Conexao");
  }
}

```

```

else {
  Serial.println("Falha na conexao"); }
if (client.connected()) {} else { Serial.println("Desconectado"); }
client.stop();
client.flush();

// enviando o valor coletado do sensor 2 para o servidor
if (client.connect(server, 80)) { // Se conecta ao servidor
  client.print("GET http://192.168.0.1/granja/insert.php?NomeSensor=");
  client.print("A01_T02");
  client.print("&Valor=");
  client.print(sensors.getTempC(A01_T02));
  client.println(" HTTP/1.0");
  client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
  client.println();
  Serial.println("Exito na Conexao"); }

else {Serial.println("Falha na conexao"); }
if (client.connected()) {}
else { Serial.println("Desconectado"); }
client.stop();
client.flush();

// enviando o valor coletado do sensor 3 para o servidor
if (client.connect(server, 80)) { // Se conecta ao servidor
  client.print("GET http://192.168.0.1/granja/insert.php?NomeSensor=");
  client.print("A01_T03");
  client.print("&Valor=");
  client.print(sensors.getTempC(A01_T03));
  client.println(" HTTP/1.0");
  client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
  client.println();
  Serial.println("Exito na Conexao"); }

else { Serial.println("Falha na conexao"); }
if (client.connected()) {} else { Serial.println("Desconectado");};
client.stop();
client.flush();

// enviando o valor coletado do sensor 4 para o servidor
if (client.connect(server, 80)) { // Se conecta ao servidor
  client.print("GET http://192.168.0.1/granja/insert.php?NomeSensor=");
  client.print("A01_T04");
  client.print("&Valor=");
  client.print(sensors.getTempC(A01_T04));
  client.println(" HTTP/1.0");
  client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
  client.println();
  Serial.println("Exito na Conexao"); }

else { Serial.println("Falha na conexao"); }
if (client.connected()) {}
else {
  Serial.println("Desconectado");
}
client.stop();
client.flush();

```

```

// enviando o valor coletado do sensor 5 para o servidor
if (client.connect(server, 80)) { // Se conecta ao servidor
  client.print("GET http://192.168.0.1/granja/insert.php?NomeSensor=");
  client.print("A01_T05");
  client.print("&Valor=");
  client.print(sensors.getTempC(A01_T05));
  client.println(" HTTP/1.0");
  client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
  client.println();
  Serial.println("Exito na Conexao"); }

else { Serial.println("Falha na conexao"); }
if (client.connected()) {}
else { Serial.println("Desconectado"); }
client.stop();
client.flush();

// enviando o valor coletado do sensor 5 para o servidor
if (client.connect(server, 80)) { // Se conecta ao servidor
  client.print("GET http://192.168.0.1/granja/insert.php?NomeSensor=");
  client.print("A01_T06");
  client.print("&Valor=");
  client.print(sensors.getTempC(A01_T06));
  client.println(" HTTP/1.0");
  client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
  client.println();
  Serial.println("Exito na Conexao");
}

else {
  Serial.println("Falha na conexao"); }
if (client.connected()) {}
else {
  Serial.println("Desconectado");
}
client.stop();
client.flush();

// enviando o valor coletado do sensor de umidade para o servidor
if (client.connect(server, 80)) { // Se conecta ao servidor
  client.print("GET http://192.168.0.1/granja/insert.php?NomeSensor=");
  client.print("A01_U01");
  client.print("&Valor=");
  client.print(cont);
  client.println(" HTTP/1.0");
  client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
  client.println();
  Serial.println("Exito na Conexao");
}

else { Serial.println("Falha na conexao"); }
if (client.connected()) {}
else { Serial.println("Desconectado");}
client.stop();
client.flush();

delay(600000); // espera 10 minutos para voltar ao inicio do loop}

```