

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como
sistemas de cobertura em instalações avícolas**

Ariane Cristina de Castro

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Física
do Ambiente Agrícola

**Piracicaba
2012**

Ariane Cristina de Castro
Zootecnista

**Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de
cobertura em instalações avícolas**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Física
do Ambiente Agrícola

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Castro, Ariane Cristina de

Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas/ Ariane Cristina de Castro. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.

98 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Coberturas 2. Conforto térmico das construções 3. Frangos de corte 4. Telhas
I. Título

CDD 636.0831
C355a

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

A minha avó,

Zoé Veloso Rodrigues,

Por todo amor e dedicação.

À senhora que orientou os meus passos.

*Apoiou-me em todas as minhas escolhas e
me incentivou na realização desse nosso sonho.*

*Por compreender minha ausência,
no momento em que a senhora mais precisou de mim.*

Meu exemplo de mulher “guerreira”.

Minha vida!

Eu a amo!

Dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus que se fez presente em todos os momentos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós-Graduação em Física do Ambiente Agrícola, pela oportunidade e pelos conhecimentos adquiridos.

Ao Professor Dr. Iran José Oliveira da Silva pela oportunidade, confiança, e ensinamentos. Por ser responsável pelo meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Professor Flávio Vasconcelos Godinho, por sempre me incentivar na realização deste sonho.

À Professora Dra. Késia Oliveira da Silva Miranda pelas contribuições ao longo do curso. Pelo carinho e amizade, você é muito especial.

Aos mestres: Dr. Nilson Augusto Villa Nova, Dr. Jarbas H. de Miranda, Dr. Sérgio O. Moraes e Dra. Sônia Maria De Stefano Piedade, pelos ensinamentos e atenção, vocês foram fundamentais para minha formação.

Às secretárias e aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas: Ângela, Beatriz, Davilmar, Fernanda, Áureo, Juarez, Gilmar, Cris e Rejane, pela amizade, colaboração e apoio.

Aos funcionários Sr. Hélio, Sr. Luiz e Sr. Antônio, grandes amigos, que sempre estiveram presente quando eu precisei. Agradeço a amizade, o carinho e a ajuda constante na realização deste trabalho.

Aos colegas do PPG em Física do Ambiente Agrícola. Em especial aos amigos Roque Emanuel e Francisco Dirceu, pelo companheirismo e apoio.

Aos amigos Nupeanos e ex-Nupeanos: Natália, Bete, Rodolfo, Carolzinha, Giselle, Felipe, Ana Carolina, Gustavo, Guilherme, Juliano, Aldie, Claiton, Dudu, Júlia e Valéria, agradeço a amizade, o carinho e o convívio.

Aos estagiários do NUPEA do programa de treinamento de férias, em especial aos alunos Franciely, Luiz Guilherme, João Gabriel e Lígia pelo auxílio nos experimentos e pelo entusiasmo no trabalho;

À Ilze, Frederico, Sheila, Rofson Falcão, Paulo Abili e Aérica, com quem passei a maior parte dos dias nesse período, agradeço pelos bons momentos que vivemos e pelo carinho. Eu aprendi muito com vocês!

À amiga Maria Luísa, pela cumplicidade e pelas contribuições. Jamais me esquecerei dos momentos que passamos juntas, das risadas, dos apertos, dos conselhos. Você acrescentou muito na minha vida profissional e pessoal.

Ao amigo Elenilson Bortolini, pela ajuda incondicional, apoio e incentivo constante na realização desse trabalho. Uma pessoa maravilhosa com quem adorei trabalhar. Eu admiro muito você.

À amiga, Stefania Vital (Ne-c-çária), por ter me acolhido desde minha chegada em Piracicaba, por suas palavras incentivadoras e por seu carinho.

À todos meus amigos que acreditaram e confiaram em mim, em especial, à Suzyane, Cássia, Maria Raquel, Flavinha, Luana, Marina, Alan, Sr. Jair, Renata, Silvio, Isadora, Camila Ribeiro, Camila Rossetti, D. Francisca, ao time de Handebol Esalq/USP, à República Nois que Sabe e à turma Zootecnia 2, vocês foram fundamentais nessa conquista.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

Agradecimento especial

À minha mãe e ao Toninho, aos meus irmãos Rodolfo, Sérgio e Bárbara, aos meus tios (as) Néia e Dirceu, Neide e Carlos, Riva e Andréia e Lu, pela compreensão, carinho, apoio e por todo o amor. Aos primos (as) Ana Carolina, José, Livia, Maria Laura, Manoela e Dudu, agradeço o carinho. Eu amo vocês!

À minha segunda família, República Marikota, que me acolheu e com quem dividi todos os momentos na realização deste curso. Família por opção e por amor. Agradeço às amigas irmãs: Ana Elena (NRT), Sylvia (C-gredo), Osmarina (Salina), Magda (k-labôk), Stefania (Ec-ncial), Juliana (Bandeiras), Mariana (Kop-ñagui), Fabiana (Fabi), Bruna (Tirô), Letícia (Parkinson), Bruna (Siga-bem), Amanda (k-rrim), Amanda (Triler) e às ex-moradoras Andrea (Bocceli) e Anna Maria (Iêiê). Amizades que cultivarei para sempre em meu coração! “Flexas...”

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”

Charles Chaplin

“O senhor é meu Pastor e nada me faltará”

Salmo, 23

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	19
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 Termorregulação em frangos de corte	25
2.2 Conforto térmico nas instalações	27
2.3 Desempenho térmico do ambiente construído	29
2.4 Processos de transferência de calor	32
2.4.1 Transferência de calor por condução	32
2.4.2 Transferência de calor por convecção	33
2.4.3 Transferência de calor por radiação.....	34
2.5 Determinação das propriedades térmicas dos materiais.....	35
2.5.1 Condutividade, condutância e resistência térmica	35
2.6 Trocas de calor entre o telhado e o forro.....	37
2.7 Teoria da similitude	39
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 Tratamentos	43
3.2 Descrição dos modelos em escala reduzida e distorcida	46
3.3 Características dos forros testados	47
3.3.1 Especificações dos forros	47
3.4 Variáveis meteorológicas	48
3.5 Temperatura superficial dos materiais	50
3.6 Análise estatística	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1 Etapa 1	55
4.1.1 Variáveis Meteorológicas	55
4.1.2 Temperatura de Bulbo Seco.....	57
4.1.3 Umidade Relativa	59
4.1.4 Entalpia específica	61

4.1.5 Índice de Temperatura de Globo e Umidade	63
4.1.6 Carga Térmica Radiante	65
4.2 Etapa 2	68
4.2.1 Variáveis Meteorológicas	68
4.2.2 Temperatura de Bulbo Seco e Umidade Relativa	71
4.2.3 Entalpia específica	73
4.2.4 Índice de Temperatura de Globo e Umidade	75
4.2.5 Carga Térmica Radiante	77
4.3 Temperatura superficial dos materiais	79
5 CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS	91

RESUMO

Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas

O objetivo principal desta pesquisa foi avaliar a redução na carga térmica radiante e o nível de conforto térmico proporcionado pelo uso de diferentes materiais na cobertura, e diferentes forros por meio de modelos em escala reduzida e distorcida, com base nos índices ambientais de conforto térmico. A pesquisa foi realizada em duas etapas, sendo a primeira no mês de maio de 2010 e a segunda durante os meses de junho e julho de 2010. Na primeira etapa, com o objetivo de avaliar a eficiência dos forros como elementos atenuadores da radiação solar, foi realizado o estudo de dois tipos de telhas (cerâmica e fibrocimento) associadas a dois tipos diferentes de forro (Forro A, Forro B) e sem forro. Os forros foram instalados na parte interior do modelo em escala abaixo do telhado. Na segunda etapa, foram avaliados as telhas cerâmicas e fibrocimento, associadas ao Forro A, Forro B e a Manta Termo-refletores C. A Manta Termo-refletores C foi alocada sobre a instalação com o objetivo de simular as condições de conforto térmico proporcionado pelo sombreamento sobre o telhado. Para avaliar o desempenho térmico dos diferentes materiais para cobertura, foram registradas as variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa, temperatura de globo negro e velocidade do vento) e, a partir dessas variáveis, foram calculados os índices ambientais de conforto térmico (entalpia, índice de temperatura de globo e umidade e carga térmica radiante). Foram também registradas as variações de temperatura superficiais das telhas e dos forros para a identificação da variação espacial da temperatura em diferentes horários. A primeira etapa foi composta por 6 tratamentos e a segunda etapa por 5 tratamentos. A estrutura de parcelas para as duas etapas foi o delineamento em blocos ao acaso. A análise estatística foi realizada para diferentes horários por meio da análise da variância e do teste de Tukey para a comparação múltipla das médias, visando diferenciar os tratamentos. Os resultados permitiram concluir que: dentre os tratamentos avaliados houve diferenças estatísticas entre os materiais utilizados na cobertura, e nos respectivos forros. O material de forro B foi que apresentou as maiores reduções na CTR, e nos valores de ITGU. O mapeamento térmico da temperatura de superfície dos telhados evidenciou que as menores temperaturas foram encontradas nos telhados de fibrocimento pintados de branco. E as maiores temperaturas superficiais nas telhas de cerâmica, sem pintura. O uso do sombreamento de telhados em modelos em escala reduzida e distorcida não promoveu melhoria nas condições térmicas do ambiente avaliado.

Palavras-chave: Conforto térmico; Telhas; Forros; Frangos de corte

ABSTRACT

Evaluation of the thermal efficiency of materials used as roofing systems in poultry houses

The main objective of this research was to evaluate the reduction in radiant thermal load (RTL) and the level of thermal comfort provided by the use of different roofs and lining materials, through reduced and distorted scale models based on environmental indexes of thermal comfort. The research was conducted in two phases, the first in May of 2010 and the second from June to July of 2010. The first phase aimed to evaluate the efficiency of lining as an element to attenuate solar radiation. Two types of tiles (ceramic and fibrous cement) were studied associated with two different liners (linings A and B). The liners were installed under the roof inside of the scale model. The second phase evaluated ceramic and fibrous cement tiles associated with liners A and B and with the thermal reflective blanket C, which was allocated over the installation in order to simulate the thermal comfort provided by the roof shading. To the evaluation of the thermal performance of the different roofing materials, meteorological variables were recorded (air and black globe temperatures, relative humidity and wind velocity), to the posterior calculation of thermal comfort environmental indexes (enthalpy, black globe temperature and humidity index GTHI and radiant thermal load). Variations on the surface temperature of tiles and liners were also recorded to identify the spatial variation of temperature at different times of the day. The first phase consisted of 6 treatments and the second consisted of 5 treatments. A completely randomized experimental design was adopted in the two phases. The statistical analysis was performed for the different times by analysis of variance and Tukey's test of multiple comparison of means, aiming to observe differences among the treatments. The results showed a statistical difference between the materials used for roofing and lining. Liner B presented the highest reductions of RTL and GTHI values. The thermal mapping of the surface temperature of tiles showed that the lowest temperature were found in fibrous cement roofs white painted, while the highest surface temperatures were found in the unpainted ceramic tiles. The use of shading roof in reduced and distorted scale models did not improve the thermal conditions of the evaluated environment.

Keywords: Thermal comfort; Tiles; Liners; Broiler chickens

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferentes mecanismos de trocas térmicas na telha.....	37
Figura 2 - Diferentes mecanismos de trocas térmicas no forro.	38
Figura 3 - Vista lateral do modelo com Telha Cerâmica (a), vista lateral do modelo com Telha Fibrocimento (b) e vista interna do modelo com forro (c).....	44
Figura 4 - Distribuição aleatória dos tratamentos na área experimental	44
Figura 5 - Vista lateral do modelo com forro sob a cobertura de Telha Cerâmica (a), vista lateral do modelo com forro sob a cobertura de Telha Fibrocimento (b) e vista frontal do modelo com forro sobre a cobertura de Telha Fibrocimento (c).....	45
Figura 6 - Distribuição dos tratamentos na área experimental	46
Figura 7 - Vista aérea da área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ambiência (NUPEA/ESALQ/USP), com disposição dos modelos reduzidos	47
Figura 8 - Forro A (a), forro B (b) e forro C (c).....	48
Figura 9 - Microprocessador tipo data logger (a), data logger no interior do abrigo (b) e vista frontal dos equipamentos no interior do modelo (c)	49
Figura 10 - Termômetro de infravermelho (a) e o posicionamento do termômetro sobre a telha (b)	51
Figura 11 - Representação da distribuição dos locais de amostragem no telhado	52
Figura 12 - Representação da distribuição dos locais de amostragem no forro sob o telhado (a) e da distribuição dos locais de amostragem no forro sobre o telhado (b)	52
Figura 13 - Variação da entalpia específica média do ar (h, kJ/kg de ar seco) durante todo período experimental.....	56
Figura 14 - Variação dos valores médios de temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e entalpia específica do ar (kJ/kg de ar seco) registradas nos dias de: maior entalpia (a) e menor entalpia (b).....	56
Figura 15 - Valores médios de temperatura de bulbo seco nos diferentes tratamentos e horários de avaliação e faixas dos limites crítico (linha tracejada) e ótimo (linha contínua).....	57

Figura 16 – Faixas limites crítica superior e inferior (linha tracejada) e faixa ótima (linha contínua) da variável umidade relativa (%) para todos os tratamentos, nos diferentes horários	60
Figura 17 – Faixas ótimas de conforto (linha contínua) da variável entalpia específica (kJ/kg de ar seco) para todos os tratamentos, nos diferentes horários	62
Figura 18 – Limite crítico inferior e superior (linha contínua) do Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) para todos os tratamentos, nos diferentes horários.....	63
Figura 19 – Valores médios de Carga térmica radiante (CTR, W/m ²) nos diferentes tratamentos e horários de avaliação.....	66
Figura 20 - Variação da entalpia específica média do ar (h, kJ/kg de ar seco) durante todo período experimental	70
Figura 21 – Variações dos valores médios de temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e entalpia específica do ar (kJ/kg de ar seco) registradas nos dias de: maior entalpia (a) e menor entalpia (b)	70
Figura 22 - Variação da entalpia específica (h, kJ/kg de ar seco) média do ar externa (h) e do interior dos modelos (CA, CB, FC, FA e FB) durante o período experimental (8 às 17 horas) no dia de maior (a) e no dia de menor (b) entalpia específica	70
Figura 23 – Valores médios de temperatura de bulbo seco nos diferentes tratamentos e horários de avaliação e faixas dos limites crítico (linha tracejada) e ótimo (linha contínua)	72
Figura 24 – Faixas limites crítica superior e inferior (linha tracejada) e faixa ótima (linha contínua) da variável umidade relativa (%) para todos os tratamentos, nos diferentes horários	73
Figura 25 - Variação média da entalpia específica do ar nos diferentes tratamentos e horários, e faixas ótimas de conforto (linha contínua)	74
Figura 26 - Limite crítico inferior e superior (linha contínua) do Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) para todos os tratamentos, nos diferentes horários.....	75
Figura 27 - Valores médios de Carga térmica radiante (CTR, W/m ²) nos diferentes tratamentos e horários de avaliação.....	77

Figura 28 - Mapeamento térmico das superfícies externas das telhas dos tratamentos CA (a), CB (b), CS (c), FA (d), FB (e) e FS (f) às 14 horas na 1ª Etapa.....	81
Figura 29 - Mapeamento térmico das superfícies externas das telhas dos tratamentos CA (a), CB (b), FA (c), FB (d) e FC (e) às 14 horas na 2ª Etapa.....	82
Figura 30 - Mapeamento térmico das superfícies externas dos forros tratamentos CA (a), CB (b), FA (c) e FB (d) às 14 horas na 1ª Etapa.....	86
Figura 31 - Mapeamento térmico das superfícies externas dos forros tratamentos CA (a), CB (b), FA (c) e FB (d) às 14 horas na 2ª Etapa.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).....	28
Tabela 2 - Valores médios diários de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluviométrica no período experimental.....	55
Tabela 3 - Valores médios de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), obtidos nos diferentes tratamentos e horários de medição.....	58
Tabela 4 - Valores médios de umidade relativa (%), obtidos em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição.....	61
Tabela 5 - Faixa de conforto e limites crítico inferior e superior de entalpia específica (kJ/kg de ar seco) para frangos de corte na 6ª semana de criação.....	61
Tabela 6 - Valores médios de entalpia específica (kJ/kg de ar seco) registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição.....	63
Tabela 7 - Valores médios de Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição....	65
Tabela 8 - Valores médios de carga térmica radiante (CRT) registrados em todos tratamentos nos diferentes horários de medição.....	67
Tabela 9 - Porcentagem de redução da CTR nos tratamentos com utilização de forro, comparados aos tratamentos sem forro, nos diferentes horários.....	68
Tabela 10 - Valores médios de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluviométrica no período experimental (55 dias).....	70
Tabela 11 - Valores médios de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), obtidos nos diferentes tratamentos e horários de medição.....	73
Tabela 12 - Valores médios de entalpia específica (kJ/kg de ar seco) registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição.....	75
Tabela 13 - Valores médios de Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição....	76
Tabela 14 - Valores médios de carga térmica radiante (CRT) registrados em todos tratamentos nos diferentes horários de medição.....	80
Tabela 15 - Valores médios de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) superficial das telhas cerâmica e telhas fibrocimento registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição na Etapa 1.....	81

Tabela 16 - Valores médios de temperatura (°C) superficial das telhas cerâmica e telhas fibrocimento registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição na Etapa 2.....	81
Tabela 17 - Porcentagem de redução da temperatura superficial dos telhados em todos os tratamentos nos diferentes horários.....	82
Tabela 18 - Valores médios de temperatura (°C) superficial dos forros registrados nos diferentes horários de medição na Etapa 1.....	84
Tabela 19 - Valores médios de temperatura (°C) superficial dos forros registrados nos diferentes horários de medição na Etapa 2.....	84

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas registradas têm causado preocupações na sociedade e têm sido alvo de diversas discussões científicas. Na produção animal esse aumento na temperatura do ar pode provocar sérios problemas relacionados ao conforto térmico e bem-estar dos animais, pois o desempenho produtivo depende, dentre outros fatores, da redução dos efeitos climáticos sobre os animais.

Os valores elevados da temperatura no interior das instalações acarretam perdas no meio avícola, devido à queda da produtividade e mortalidade elevada.

Atualmente é possível observar que, apesar do alto desenvolvimento tecnológico em todas as cadeias e processos de produção, no caso específico das instalações avícolas, estas continuam sendo um dos pontos em que existem maiores problemas.

As instalações onde os animais são confinados devem ser planejadas e construídas com o objetivo de oferecer o máximo de conforto aos animais, minimizando os efeitos físicos como temperatura, umidade do ar, radiação, vento, ruído, gases, luz, densidade animal, dentre outros, que têm implicação direta sobre a produtividade (BAÊTA; SOUZA, 1997).

O conforto térmico dentro das instalações está diretamente relacionado ao calor produzido pelos animais, ao calor que é absorvido por meio da radiação solar, ao calor trocado pelos materiais da cobertura, paredes e piso ou cama e às trocas térmicas provocadas pela ventilação, natural ou artificial (KAWABATA et al., 2005). Esse ambiente é considerado confortável quando os animais estão em equilíbrio térmico com o meio, ou seja, quando o calor produzido pelo metabolismo é perdido normalmente para o ambiente, sem perdas produtivas e de energia, mantendo o animal dentro da zona de termoneutralidade e, conseqüentemente, em condições de conforto térmico.

Em países de clima tropical e subtropical, como o Brasil, as maiores limitações produtivas estão relacionadas à adequação climática de instalações para alojar animais geneticamente adaptados a climas mais amenos, em regiões com temperatura e umidade relativa elevadas na maior parte do ano. Nessas regiões, o maior ganho térmico nas instalações ocorre principalmente por meio da cobertura, que é a superfície mais exposta à radiação solar direta. Dessa forma, os materiais utilizados na cobertura devem ser bons isolantes térmicos, ou seja, devem diminuir o fluxo de calor, impedindo que o ambiente interno, e conseqüentemente, que os

animais sejam influenciados pelas variações nas cargas térmicas de radiação, que alteram as condições climáticas no interior dos galpões.

O fluxo de calor que chega ao ambiente interno é influenciado diretamente pelo tipo de material da cobertura e pelo uso de materiais que visam ao isolamento térmico. Os forros, por exemplo, podem ser colocados acima ou abaixo da cobertura, para sombrear o telhado ou para separar o espaço do ático do restante da instalação, sendo uma alternativa funcional e de baixo custo. É comprovado pela pesquisa e por situações de campo, que em instalações onde não são utilizados forros, há um acréscimo na temperatura interna.

Dessa forma, a principal proteção contra insolação direta, objetivando amenizar a condição de desconforto térmico do ambiente, pode ser alcançada por meio de um material para cobertura adequado. Assim, melhorando a eficiência térmica, ocorrerá a redução do fluxo de calor da cobertura para o interior da instalação, proporcionando aos animais uma condição na qual eles poderão expressar o seu máximo potencial produtivo, com melhor nível de conforto e, conseqüentemente, de bem-estar.

Existe atualmente no mercado uma grande variabilidade de materiais destinados ao isolamento de coberturas. Trata-se dos materiais direcionados para uso em forros, sombreamento de telhados e até mesmo cortinas laterais para instalações. Entretanto, há necessidade de se avaliar a maior ou menor eficiência térmica desses materiais disponíveis e seu desempenho térmico, quando associados a diferentes materiais de cobertura, como no caso, diferentes telhas.

Em função do exposto acima, este trabalho tem como objetivo principal avaliar a redução na carga térmica radiante e o nível de conforto térmico proporcionado pelo uso de diferentes materiais na cobertura de modelos em escala reduzida e distorcida, com base nos índices ambientais de conforto térmico, sendo os objetivos específicos:

- a) avaliar a eficiência térmica dos diferentes materiais de cobertura com diferentes tipos de forro;
- b) analisar, por meio dos índices ambientais de conforto térmico, as possíveis diferenças microclimáticas no ambiente construído simulado por meio dos modelos em escala reduzida e distorcida;

- c) avaliar, por meio do mapeamento térmico das temperaturas superficiais dos telhados com e sem forros, sombreados ou não, a variação térmica promovida pelos diferentes materiais;
- d) estabelecer quantitativamente a contribuição efetiva do uso de diferentes materiais de isolamento na redução da carga térmica radiante (CTR);
- e) avaliar se o sombreamento dos telhados, por meio de mantas termo-refletores, auxilia na melhoria do conforto térmico das instalações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Termorregulação em frangos de corte

As aves são animais homeotermos, ou seja, conseguem manter a temperatura corporal constante, mesmo que a temperatura ambiental varie dentro da zona de termoneutralidade. Quando a temperatura ambiental assume valores fora da zona de termoneutralidade, o animal entra em uma condição de estresse térmico. Assim a manutenção da homeotermia é realizada por meio de ajustes anátomo-fisiológicos e comportamentais em função do nível de estresse, seja ele por frio ou por calor, ocasionando consequentemente perdas energéticas (TINÔCO, 1996).

A zona de conforto térmico ou termoneutra compreende a faixa de temperatura ambiente em que o consumo de energia para o metabolismo basal é mínimo, ou seja, o gasto energético para manter a homeotermia é pequeno, e a energia líquida para produção é máxima (MOUNT, 1979).

Para frangos de corte a zona de termoneutralidade varia de acordo com a fase de desenvolvimento desses animais. Na fase inicial de criação (1 a 15 dias), as aves não possuem o sistema termorregulador desenvolvido, necessitando de aquecimento para manter a temperatura do ambiente em aproximadamente 35°C, evitando o estresse por frio, fator que é responsável pelo alto índice de mortalidade nessa fase. Após esse período inicial, com o desenvolvimento do sistema termorregulador e o aumento de sua reserva energética, a temperatura crítica superior é 24°C até a quarta semana, diminuindo para 21°C na sexta semana de idade (MOURA, 2001).

Entretanto, é importante que a umidade relativa permaneça baixa quando a temperatura do ambiente é alta. Apesar das altas temperaturas terem efeitos negativos sobre a eficiência alimentar, é notável que esse fato só ocorre quando a temperatura e umidade são elevadas (LANA et al., 2000).

As más condições do ambiente onde o animal é alojado é um dos principais responsáveis pelas perdas na produção animal, pois as trocas térmicas que ocorrem ocasionam um desequilíbrio, por depender diretamente das condições em que os animais e o ambiente se encontram.

As aves trocam calor com o ambiente por meio da radiação, condução e convecção (trocas sensíveis), e da evaporação (troca latente). As trocas de calor ocorrem inicialmente por meios sensíveis, e em condições de estresse, pelas formas latentes (SILVA, 2000).

Em ambientes com temperatura acima de 35°C, a evaporação é o principal meio de dissipação de calor, porém, esse meio tem sua eficiência vinculada à umidade relativa do ar, que não deve ultrapassar 75% (FREEMAN, 1988). Por não possuírem glândulas sudoríparas, impossibilitando a sudação, a liberação do calor por evaporação nas aves ocorre na forma de ofegação, ou seja, resfriamento evaporativo respiratório (Carr e Carter, 1985). A ofegação, além de ter o custo energético mais elevado, afeta o equilíbrio ácido-base (alcalose respiratória) e o conteúdo de água e eletrólitos no organismo animal (BORGES et al., 2003).

Quando expostas ao calor, as aves aumentam a área superficial, mantendo as asas afastadas do corpo, eriçam as penas e intensificam a circulação periférica (BORGES et al. 2003). Com a vasodilatação periférica, o sangue migra para a superfície corporal, principalmente para as cristas e barbelas e, dessa forma, o calor metabólico pode ser liberado ao ambiente, por meio da condução, convecção e radiação. As aves também procuram por locais mais frescos, com objetivo de aumentar as perdas de calor por condução. As pernas e os pés das aves possuem um sistema vascular bem desenvolvido, além de serem desprovidos de penas, o que favorece a perda de calor sensível para o ambiente (MOURA, 2001).

As aves, quando estão em estresse térmico, diminuem a ingestão de alimento e as atividades físicas, causando perdas na produção, podendo chegar a óbito, quando submetidas ao estresse durante longos períodos. Nääs (1992) afirma que a alta produtividade pode ser obtida quando a ave estiver em um ambiente adequado, sem qualquer desperdício de energia metabolizável para ganhar ou perder calor.

A avicultura depende, entre outros fatores, da redução dos efeitos climáticos sobre os animais, sendo necessário, portanto, adequação climática das instalações. Como ação inicial de melhoria das condições térmicas das instalações deve-se considerar a redução dos efeitos climáticos, que pode ser alcançada com a utilização de materiais para coberturas que minimizem o fluxo de calor para dentro das instalações, e que, conseqüentemente, atinge os animais.

2.2 Conforto térmico nas instalações

O conforto térmico de uma instalação depende de fatores como o calor interno produzido pelos animais, o calor que penetra na construção por incidência solar, o calor trocado por condução por meio de paredes e cobertura e as trocas térmicas de aquecimento ou resfriamento provocadas pelo ar circundante.

Para avaliar o comportamento térmico dos materiais de uma instalação é necessário analisar a temperatura e a umidade relativa do ar, direção predominante e velocidade dos ventos, pluviosidade e radiação solar global em função do tempo de exposição a essas condições. Entretanto, pode-se afirmar que a incidência da radiação solar é o elemento principal nos processos de trocas térmicas em instalações (VECCHIA, 2003).

A radiação solar representa aproximadamente 75% da carga térmica transferida, sendo o material de cobertura, a orientação da construção, a projeção do telhado, a insolação e a vegetação presente na circunvizinhança, os principais fatores que interferem nessa transferência térmica (Ferreira, 2005).

Vittorino et al. (2003) afirmam que uma forma de reduzir os ganhos de calor pela cobertura é diminuir a absorção da energia solar pelo uso de materiais de alta refletância, na sua face externa, ou reduzir a quantidade de calor irradiado para o interior das edificações, pelo emprego de materiais com baixa emissividade, o que pode ser observado na Tabela1.

Nas instalações zootécnicas, a maior parte exposta à radiação solar é o telhado, o qual absorve grande parte desta energia e a transfere para o interior das instalações, aumentando os ganhos térmicos e, conseqüentemente, elevando a temperatura interna (HERRERA, 2008). A utilização de isolantes térmicos, como o forro sob o telhado, proporciona melhor conforto às aves, reduz a transmissão térmica e aumenta a inércia térmica, por isso é um dos tipos de isolamento mais usado (OLIVEIRA, 2000).

Tabela 1 – Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície	A	E
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caixação nova	0,12 / 0,15	0,9
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
“Alumínio”	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: Adaptado de ABNT (2005)

A camada de ar que é formada entre o telhado e o forro possui baixa condutividade térmica e baixo coeficiente de absorção da radiação, tornando-o um elemento muito resistente à passagem de calor (Cavalcanti, 2009).

Para isolar termicamente uma cobertura, é necessário utilizar materiais conhecidos como isolantes “resistivos”, que reduzem a transferência de calor por condução (VITTORINO et al., 2003). O material ideal também deve possuir baixo coeficiente de absorção, baixa condutividade térmica, baixa difusividade térmica e maior retardo térmico (TONOLI et al., 2011). Portanto, é importante avaliar o comportamento térmico dos materiais e componentes construtivos, em relação à transferência de calor, para facilitar o controle do microclima interno da instalação.

Dessa forma, a escolha do material de cobertura é importante para o conforto térmico das instalações, favorecendo a eficiência alimentar, o controle de enfermidades e parasitas, a produtividade, e principalmente, o desenvolvimento dos animais (PEREIRA, 2007).

2.3 Desempenho térmico do ambiente construído

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, nos horários mais quentes do dia, melhores resultados de carga térmica de radiação, quando comparados com telhas de cimento amianto.

Prado e Ferreira (2005) fizeram uma análise dos materiais mais utilizados 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. Dos materiais por eles pesquisados, as cerâmicas vermelha e branca foram os únicos que apresentaram temperaturas de superfície mais baixas que a temperatura do ar. Concluíram, portanto, que a emissividade é importante para a determinação da temperatura de superfície e que a eficiência do albedo (ou refletância) e a emissividade dos materiais são parâmetros que podem ser adotados pelos fabricantes para avaliar esses materiais.

De acordo com Michels et al. (2008), as telhas cerâmicas apresentam melhor desempenho térmico em relação às de fibrocimento devido a sua capacidade de absorção de água. Uma vez que, durante a noite, como a temperatura superficial da telha é menor que a do ar, uma quantidade de água pode condensar e ser absorvida pela telha. Dessa maneira, parte da radiação incidente durante o dia é gasta no processo de evaporação da água absorvida.

Assim as telhas cerâmicas começam a se aquecer somente após ter terminado esse processo. Esse melhor desempenho também pode ser explicado pela infiltração do ar pelos espaços entre as telhas (MICHELS, 2008).

Kawabata et al. (2005), estudando índices de conforto térmico e respostas fisiológicas de bezerros da raça holandesa em bezerreiros individuais com diferentes coberturas, avaliaram a CTR nos horários de 8, 11 e 14 horas e concluiu que este índice apresentou menores valores para coberturas com telhado duplo (438,60; 502,88 e 504,96 W.m⁻², respectivamente) do que os apresentados por coberturas de cimento-amianto.

Outro fator que influencia nas trocas de calor é a altura do pé direito das instalações. Santos et al. (2002) avaliaram coberturas com telhas de barro e alumínio para duas alturas de pé direito (0,42m e 0,32m) em condições de inverno. Foram testados para cada altura de pé direito, as seguintes coberturas: cerâmica, cerâmica com forro, alumínio e alumínio com forro, sendo essas avaliadas pelos índices ITGU e CTR. Os menores valores (ITGU e CTR) foram diagnosticados nos modelos que tiveram pé direito maior, em função de maior fração de ar frio no interior. Os autores constataram que, ao adicionar forro a essas coberturas, ocorreu redução geral nos valores de ITGU. Para CTR os autores observaram o mesmo comportamento que ITGU quando acrescentaram forro, porém com a diferença que na telha de alumínio não ocorreu variação expressiva.

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 o tratamentos, aviário com forro e sem forro, os melhores resultados para conforto térmico e índices produtivos foram encontrados no aviário com forro.

Fiorelli et al. (2009) avaliaram quatro protótipos, sendo um deles coberto com telha reciclada à base de embalagens longa vida e três protótipos de referência cobertos com telha cerâmica, telha cerâmica pintada de branco e telha de fibrocimento (Brasilit®). Dentro dos protótipos foram instalados termômetros de globo negro e termômetros de bulbo seco e bulbo úmido. Os dados foram coletados no verão, e, pelos resultados obtidos, foi possível afirmar que a telha reciclada apresentou índices de conforto térmico semelhantes àqueles encontrados para as

telhas cerâmicas, podendo ser indicada como opção de cobertura para instalações zootécnicas.

Armelin e Cherry (2004) estudaram a influência da adoção do sistema que utiliza uma manta de subcobertura de base de alumínio instalada entre as telhas de cobertura e a estrutura. Foram analisadas instalações, com e sem barreira de radiação, com diferentes níveis de ventilação, e com diferentes cores e tipos de telhas. Os autores concluíram que há uma redução do fluxo de calor de aproximadamente 80%, quando se utiliza cobertura com barreira e ventilação.

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 um 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.

2.4 Processos de transferência de calor

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 (BAËTA, 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).

2.4.1 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 através 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 (Eq.1).

$$q_{cond} = k \cdot \frac{T_{se} - T_{si}}{L} \quad (1)$$

Onde:

q_{cond} = densidade de fluxo de energia térmica, em W/m²;

k = condutividade térmica do material, em W/m. K;

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

L = espessura do material, em m.

2.4.2 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 através 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 eq. (2) é denominada como a “Lei de Resfriamento de Newton”, e relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por convecção.

$$q_{conv} = h_c \cdot (T_{sup} - T_{\infty}) \quad (2)$$

Onde:

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

h_c = coeficiente de transferência de calor por convecção, em $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$;

T_{sup} , T_{∞} = temperatura da superfície e temperatura do fluido, em K.

2.4.3 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 eq. (3), de acordo com a lei de Stefan-Boltzman, relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por radiação em uma superfície à determinada temperatura.

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (3)$$

Onde:

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

ε = emissividade da superfície;

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

T_s = temperatura da superfície, em K.

A emissividade (ϵ) 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 $0 \leq \epsilon \leq 1$, dependendo do material utilizado e da superfície (KREITH, 1973).

A energia radiante incidente sobre um corpo é em parte absorvida, refletida e transmitida (Eq. 4 ; 5), sendo as propriedades físicas envolvidas nesses processos denominadas respectivamente de absorção (α), de reflexão (ρ) e de transmissão (τ).

Considerando E_i a energia radiante incidente em uma determinada superfície, E_α a parcela de energia absorvida, E_ρ a energia refletida e E_τ a energia transmitida, tem-se que:

$$E_i = E_\alpha + E_\rho + E_\tau \quad (4)$$

A absorvidade (α) 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:

$$1 = \alpha + \rho \quad (5)$$

2.5 Determinação das propriedades térmicas dos materiais

2.5.1 Condutividade, condutância e resistência térmica

A condutividade térmica (K) é a característica física de um material que determina sua capacidade de se deixar atravessar com maior ou menor facilidade por um fluxo de calor. A condutividade térmica ($W/m \cdot ^\circ C$) varia de acordo com algumas propriedades dos materiais, tais como, densidade, porosidade, temperatura e umidade (RODRIGUES, 1998).

A condutância térmica (C_t) é a propriedade apresentada por elementos construtivos de determinada espessura, e refere-se a sua capacidade de conduzir mais ou menos calor. O valor da resistência térmica R é inversamente proporcional à condutância térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

A resistência térmica ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) expressa a resistência que o material oferece à passagem de calor (RIVERO, 1986). Em um material a resistência térmica pode ser determinada por meio da divisão da espessura do material (m) por sua condutividade térmica ($\text{W} \cdot \text{m}/^\circ\text{C}$).

2.5.2 Difusividade e efusibilidade

A difusibilidade representa a propriedade de um material em propagar uma onda de temperatura, estando ligada à velocidade de variação da temperatura (BEZERRA, 2008), portanto, quanto maior a difusividade térmica mais rápida será a difusão de calor no meio. E a efusibilidade ou poder de penetração representa a propriedade que um material tem de absorver ou devolver energia térmica, estando ligada às sensações térmicas que o organismo humano ou animal observa quando está em contato com materiais termicamente diferentes (RODRIGUES, 1998).

Dessa forma, a difusividade e a efusibilidade térmica dos materiais estão relacionadas com a velocidade de variação das temperaturas e com velocidade da onda de calor, representando a inércia térmica do material. A difusibilidade e a efusibilidade podem ser determinadas de forma direta por meio de calorímetros, ou de forma indireta, por meio das eq. (6) e eq. (7) (RODRIGUES, 1998).

$$\alpha = \frac{\kappa}{\rho \cdot c} \quad (6)$$

$$\beta = \sqrt{\kappa \cdot \rho \cdot c} \quad (7)$$

Onde:

α = difusividade térmica (m^2/s);

β = efusibilidade térmica ($\text{J}/^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s})^{1/2}$;

κ = condutividade térmica, em $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$;

ρ = massa específica, em kg/m^3 ;

c = calor específico, em $\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$.

2.6 Trocas de calor entre o telhado e o forro

A energia solar é composta por radiação infravermelha de onda curta, que, ao incidir no telhado, é distribuída de forma que parte dessa energia é refletida, absorvida ou transmitida em quantidades que dependem das propriedades físicas dos materiais que as compõem. Uma parcela dessa energia é perdida por convecção e irradiação ao ambiente externo, e a outra parcela que incide nas telhas é absorvida, as aquece, e é transmitida ao ático (região entre a telha e o forro) (Figura 1). A energia que chega ao interior do ático é transferida por convecção e radiação até a superfície do forro. O forro também absorve parte dessa energia e a transmite para o interior das instalações (Figura 2) (MICHELS et al., 2008).

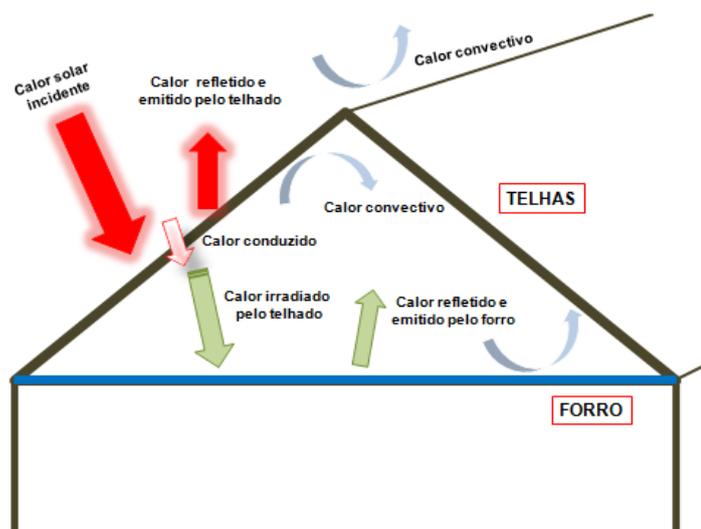


Figura 1 - Diferentes mecanismos de trocas térmicas na telha
Fonte: Adaptado de Vittorino et al., 2003.

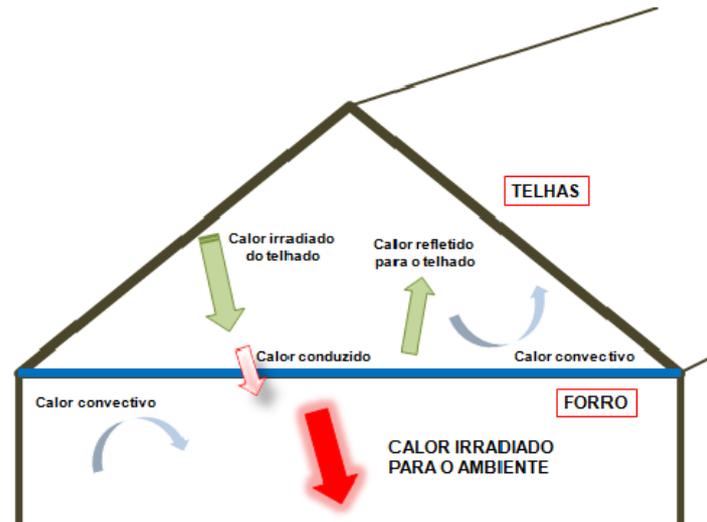


Figura 2 – Diferentes mecanismos de trocas térmicas no forro.
 Fonte: Adaptado de Vittorino et al., 2003.

Sendo assim, para reduzir a transferência de calor para o interior de uma instalação, é necessário instalar um material entre eles que apresente baixa condutividade térmica. Esse material, se utilizado corretamente, 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 eq. (8).

$$E_1 - E_2 = \alpha \cdot (\varepsilon_1 T_{s1}^4 - \varepsilon_2 T_{s2}^4) \quad (8)$$

Onde:

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

ε_1 e ε_2 = emissividade das superfícies 1 e 2, respectivamente;

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

2.7 Teoria da similitude

A teoria da similitude tem como objetivo estabelecer as relações existentes entre as variáveis envolvidas em um fenômeno, que são necessárias para entender o comportamento de um protótipo a partir de observações feitas em um modelo. Dessa forma, a teoria da similitude foi desenvolvida pela análise dimensional, em que o original e o modelo apresentam as mesmas qualidades físicas básicas, além de características funcionais e estruturais, diferindo na sua forma. Esses modelos apresentam uma relação constante entre si, ou seja, apresentam uma constante de similitude entre eles (KÖLTZSCH e WALDEN, 1990).

Segundo os mesmos autores, as constantes de similitude podem ser definidas para as grandezas físicas básicas (comprimento, massa, tempo e temperatura), e, através da combinação destas constantes, podem-se obter produtos adimensionais de grandezas físicas (termos π), como por exemplo, os números de Reynolds, Grashof, Prandtl e Mach. Assim, quanto mais exata for a reprodução geométrica e termofísica dos materiais do protótipo, maior será a similitude de comportamento entre eles.

O desenvolvimento da teoria da similitude ocorreu a partir da metade do século XIX, quando teve início a utilização de modelos em escala que foram utilizados devido à necessidade de compreensão dos fenômenos físicos envolvidos em novas tecnologias geradas na indústria aeronáutica e naval (JENTZSCH, 2002).

A teoria dos modelos em escala reduzida foi proposta por MURPHY (1950), que classificou os modelos em três tipos:

Modelos adequados: são aqueles que permitem uma predição acurada de apenas uma característica;

Modelos dissimilares: são aqueles em que não existe semelhança entre o original e o modelo, mas que têm em comum, apenas características funcionais e estruturais;

Modelos distorcidos: são aqueles em que alguns critérios do projeto são alterados, tornando necessária a correção da equação de predição. Nesse usa-se mais de uma escala, normalmente uma escala para as dimensões horizontais e outra para as verticais.

A utilização de modelos reduzidos no desenvolvimento de pesquisas com materiais para instalações zootécnicas pode contribuir significativamente para a redução do custo da pesquisa e permite ainda fazer diferentes testes através de alterações no modelo. Além disso, as instalações em escala real possuem grandes dimensões e há a necessidade de realizar repetições de natureza estatística, o que torna seu uso inviável (JENTZSCH, 2002).

O estudo da ambiência animal em modelos reduzidos tem como principal desvantagem a impossibilidade de realizar testes em condições de produção, sendo necessário simular o calor dissipado pelos animais no interior das instalações e a umidade adicionada ao meio (PEIXOTO, 2004).

Jentzsch (2002) estudou as relações necessárias para que o comportamento dos parâmetros de conforto térmico de uma instalação em escala natural pudesse ser determinado a partir das observações em modelos reduzidos. Para isso, o autor utilizou um galpão para recria de aves como protótipo e três modelos reduzidos nas escalas de 1:4, 1:8 e 1:12. A partir dos dados obtidos, concluiu que as distorções existentes nos modelos praticamente não influenciaram o fator de predição, e para as condições e critérios estabelecidos no projeto, conforme a metodologia proposta, o uso do índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), como índice térmico ambiental de instalações agrícolas, possibilitou prever as condições térmicas ambientais em um protótipo a partir de modelos reduzidos em até 12 vezes.

Muitas vezes também não é possível a reprodução exata de todos os detalhes geométricos e das propriedades físicas do modelo, principalmente quando estão sendo utilizadas escalas muito pequenas, assim é necessário trabalhar a similitude parcial (CARNEIRO, 1993).

Hahn et al. (1961), ao compararem a carga térmica radiante (CTR) em abrigos para suínos em escala 1:2 e 1:4 e testemunha em escala real, utilizando termômetros de globo negro construídos nas respectivas escalas de seus modelos reduzidos (original = 20 cm diâmetro), a 45,0 cm de altura do centro de massa dos animais, às 14 horas, para condições de verão, em 1958 na Califórnia,

encontraram valores médios de CTR ($W.m^{-2}$), de 567,8 para escala real, 572,8 para escala 1:2 e 572,5 para 1:4, para as alturas e horários citados anteriormente. Os autores concluíram que os valores de CTR encontrados eram próximos, independente da escala utilizada, mas ressaltaram que seria necessário que os valores de CTR para os modelos reduzidos fossem calculados a partir de leituras em termômetros de globo negro na mesma escala dos modelos.

Outros autores têm empregado a técnica de modelos reduzidos para reproduzir e avaliar condições arquitetônicas e ambientais em instalações zootécnicas. Rodrigues (1998) utilizou modelos em escala reduzida distorcida para desenvolver e avaliar um sistema de resfriamento evaporativo, por aspersão intermitente na cobertura. Silva et al. (1990), Sevegnani et al. (1997), Moraes et al. (1999), Nääs et al. (2001), Conceição et al. (2008), Cravo et al. (2009), Fiorelli et al. (2009), Oliveira et al. (2009), Sonoda et al. (2010), avaliaram o desempenho térmico de diferentes telhas com a utilização de modelos em escala reduzida e distorcida.

A grande maioria dos trabalhos desenvolvidos na área do conforto térmico para a produção animal envolve o estudo preliminar em modelos reduzidos. Dessa forma, esses modelos já foram utilizados por diversos autores para reproduzir e avaliar comportamento térmico de instalações construídas com diferentes materiais e sistemas de climatização (SYDENSTRICKER, 1993; PITARELLO, 1994; RODRIGUES, 1998; JENTZSCH, 2002; PEIXOTO, 2004; SANTOS et al., 2005; CAMERINI et al., 2009; CARDOSO, 2010), além de ser uma metodologia prática de pré-avaliação de comportamento bioclimático e térmico dos materiais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ambiência (NUPEA), pertencente ao Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), localizada no município de Piracicaba-SP. Essa região está situada a 22° 42' 30" de latitude sul, a 47° 38' 00" de longitude oeste e a 546 metros de altitude. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (tropical úmido) com 3 meses mais secos (junho, julho e agosto), ocorrendo chuvas na primavera e verão e seca no inverno. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C, e do mês mais frio é inferior a 18 °C (SENTELHAS, 1998).

Para atender os objetivos propostos, esta pesquisa foi dividida em duas etapas distintas, sendo a Etapa 1 no período entre 01/05/2010 a 24/05/2010 e a Etapa 2 no período de 03/06/2010 a 27/07/2010, totalizando em cada etapa 19 (não consecutivos) e 55 dias, respectivamente.

Na área experimental foram utilizados modelos em escala reduzida e distorcida atendendo à modelagem proposta segundo a teoria da similitude, estabelecendo, assim, relações que permitam simulações do estudo.

Nesta pesquisa optou-se por não utilizar animais, devido à utilização de modelos reduzidos. Dessa forma, a simulação do calor liberado pelas aves foi realizado por meio de 10 lâmpadas de 100 W. De acordo com Hellickson e Walker (1983), uma ave de 2,1 Kg emite 20 W de energia, então para a área de 4,32 m², considerando 12 aves/m², tem-se 1036 W em cada modelo reduzido.

3.1 Tratamentos

Etapa 1: Com o objetivo de avaliar a eficiência dos forros como elementos atenuadores da radiação solar, nessa etapa foi realizado o estudo de dois tipos diferentes de telhas (cerâmica e fibrocimento) associadas a dois tipos diferentes de forro (forro A, forro B) e sem forro (Figura 3). Os forros foram instalados na parte interior do modelo em escala abaixo do telhado, formando um ático entre o telhado e o forro, conforme a Figura 3c. Sendo testados os seguintes tratamentos:

- Tratamento 1 – Telha Cerâmica + Sem forro (CS)
- Tratamento 2 – Telha Cerâmica + Forro A (CA)
- Tratamento 3 – Telha Cerâmica + Forro B (CB)
- Tratamento 4 – Telha de Fibrocimento + Sem forro (FS)
- Tratamento 5 – Telha de Fibrocimento + Forro A (FA)
- Tratamento 6 – Telha de Fibrocimento + Forro B (FB)



Figura 3 - Vista lateral do modelo com Telha Cerâmica (a), vista lateral do modelo com Telha Fibrocimento (b) e vista interna do modelo com forro (c)

A distribuição dos tratamentos da primeira etapa na área experimental está representada na Figura 4.

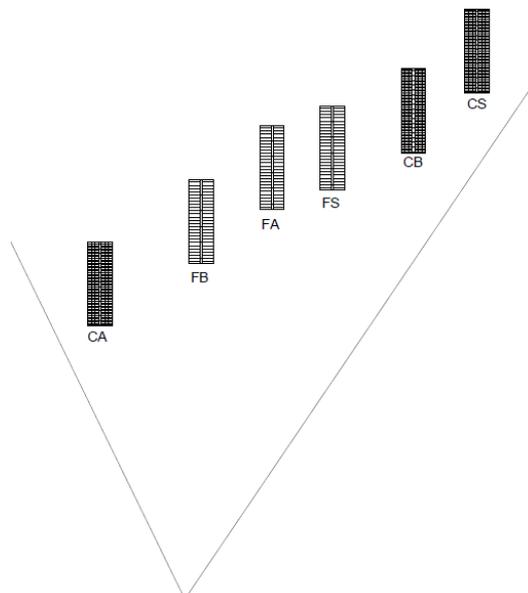


Figura 4 – Distribuição aleatória dos tratamentos na área experimental

Etapa 2: Nessa etapa, além do Forro A e do Forro B, foi avaliado um terceiro material de forração (Forro C) que foi alocado sobre a instalação (Figura 5). O

objetivo dessa sistemática foi simular as condições de conforto térmico proporcionado pelo sombreamento sobre o telhado, prática que já vem sendo utilizada em escala real na região centro-oeste do país. Dessa forma, o Forro C (Manta termo-refletora) foi instalado formando um plano horizontal a 0,10 m da cumeeira do telhado, transpondo 0,50 m do beiral da instalação, conforme a Figura 5c.

Tratamento 1 – Telha Cerâmica + Forro A (CA)

Tratamento 2 – Telha Cerâmica + Forro B (CB)

Tratamento 3 – Telha de Fibrocimento + Forro C (FC)

Tratamento 4 – Telha de Fibrocimento + Forro A (FA)

Tratamento 5 – Telha de Fibrocimento + Forro B (FB)



Figura 5 – Vista lateral do modelo com forro sob a cobertura de Telha Cerâmica (a), vista lateral do modelo com forro sob a cobertura de Telha Fibrocimento (b) e vista frontal do modelo com forro sobre a cobertura de Telha Fibrocimento (c)

Dessa forma, na segunda etapa, a distribuição dos tratamentos na área experimental ficou conforme a Figura 6.

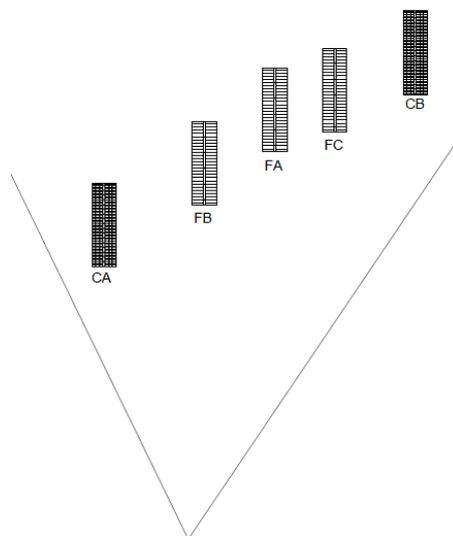


Figura 6 – Distribuição dos tratamentos na área experimental

3.2 Descrição dos modelos em escala reduzida e distorcida

Os seis modelos reduzidos e distorcidos que reproduzem instalações zootécnicas foram construídos na direção leste-oeste nas escalas de 1:10 nas dimensões horizontais e 1:2 nas dimensões verticais, com medidas de 4,02 m de comprimento por 1,2 m de largura e 1,5 m de pé direito.

A estrutura dos modelos é formada por alvenaria de tijolos sem paredes laterais, com piso de concreto. O entorno dessas instalações é constituído de uma área coberta com grama batatais.

Os telhados foram construídos em duas águas, com beirais variando entre 0,35 m e 0,40 m, sendo 3 formados por telhas cerâmicas, tipo francesa, e 3 por telha de fibrocimento (Figura 7).



Figura 7 - Vista aérea da área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ambiente (NUPEA/ESALQ/USP), com a disposição dos modelos reduzidos

As telhas de fibrocimento utilizadas no experimento são da marca Infibra®, da linha Econoflex. As telhas da linha Econoflex são compostas por materiais cimentícios reforçados com fibras sintéticas agregadas à celulose e ao cimento. As telhas de fibrocimento são de forma ondulada com 6 mm de espessura e tiveram sua superfície externa pintada de branco.

As telhas cerâmicas são do tipo “francesa” da marca I- Laurenti® com as seguintes especificações: massa de 2,6 kg/m² por peça, 16 peças/m² de telhado, com inclinação mínima de 30%, inclinação máxima de 45% (sem furação para fixação) e cor natural.

3.3 Características dos forros testados

Os forros, denominados A, B e C, avaliados nesta pesquisa, são forros comerciais encontrados na maioria das instalações avícolas desta região.

3.3.1 Especificações dos forros

Forro A: forro comercial, na cor azul, que contém 99% de polipropileno e 1% de pigmentos e anti UV. Esse material foi instalado na parte interior do modelo, abaixo do telhado (Figura 8a).

Forro B: forro comercial, na cor azul, que contém 92,1% de polipropileno e 3% de pigmentos e anti UV. Esse material foi instalado na parte interior do modelo, abaixo do telhado (Figura 8b).

Forro C: forro comercial, formado por uma malha trançada (tela), que contém polietileno de alta densidade e alumínio, sendo uma camada de alumínio entre duas camadas de polietileno transparente. Possui uma porcentagem de sombreamento de 50 a 55%. Esse material foi instalado na parte externa, sobre o telhado (Figura 8c).

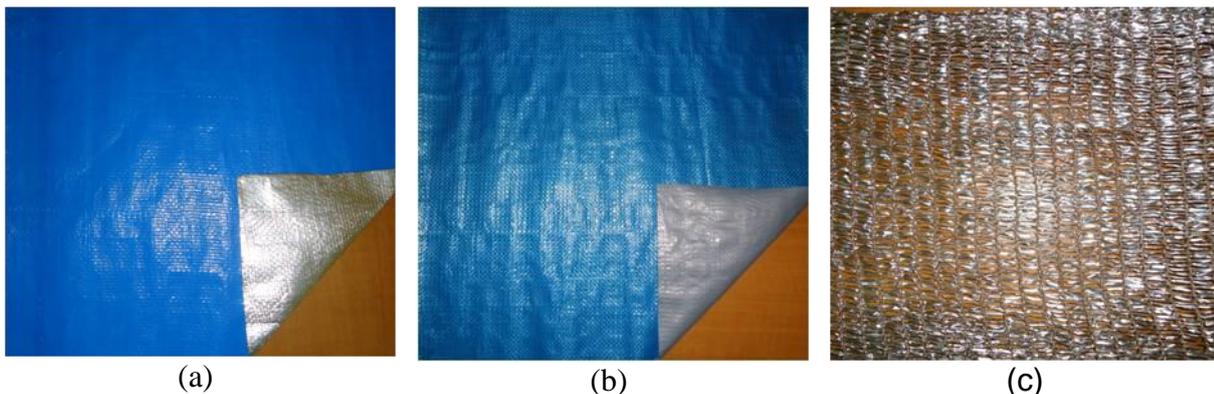


Figura 8 - Forro A (a), forro B (b) e forro C (c)

3.4 Variáveis meteorológicas

Foram registradas diariamente no período de 8h00min às 17h00min, em intervalos de 15 minutos, as variáveis meteorológicas: temperatura (T_{bs} , °C), umidade relativa (UR, %) e temperatura de globo negro (T_{gn} , °C).

Para o registro dessas variáveis, foram utilizados termohigrômetros com registro automático de dados da marca HOBO[®], tipo data logger, modelo H08-00X-02, com dois canais externos (Figura 9a), sendo um canal equipado com sensor de temperatura externa (globo negro). Os data loggers foram colocados no interior de abrigos meteorológicos construídos de material plástico pintado de branco (Figura 9b) e instalados no centro geométrico de cada modelo reduzido e um na área externa a 1,5 metros de altura (Figura 9c).

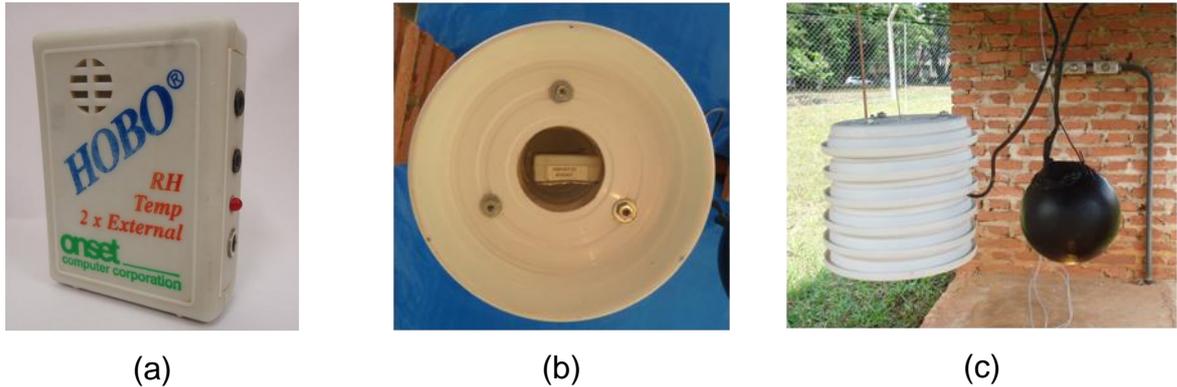


Figura 9 - Microprocessador tipo data logger (a), data logger no interior do abrigo (b) e vista frontal dos equipamentos no interior do modelo (c)

Da estação meteorológica localizada no Campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ, USP, Piracicaba- SP, que está localizada a uma distância de 1,15 km da área experimental, foram utilizados os dados das variáveis meteorológicas para descrever as condições ambientais durante o período das pesquisas.

A variável velocidade do vento (V_v) foi registrada por meio de um anemômetro digital às 8h00min, 11h00min, 14h00min e 17h00min, em dias alternados, durante todo o período experimental. A aferição da velocidade do vento com anemômetro digital foi realizada utilizando o modelo AN-10 da marca ICEL[®], de leitura direta.

Para a avaliação da eficiência térmica dos materiais, calculou-se, a partir das variáveis meteorológicas registradas, o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR) e entalpia específica (h) por meio das seguintes equações:

- a) Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), proposta por Buffington et al. (1981) apresentado na eq. (9):

$$ITGU = T_{gn} + 0,36t_{po} + 41,5 \quad (9)$$

Em que:

t_{gn} = temperatura do termômetro de globo negro, °C

t_{po} = temperatura do ponto de orvalho, °C

- b) Carga térmica radiante (CTR), proposta por Esmay, (1979), apresentada na eq. (10):

$$CRT = t \cdot (TMR^4) \quad (10)$$

Em que:

t = constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

TMR = temperatura média radiante, K

$$TMR = 100 \cdot \left\{ 2,51 \cdot Vv^{0,5} \cdot (t_{gn} - t_s) + (t_{gn}/100)^4 \right\}^{0,25} \quad (11)$$

Em que:

t_{gn} = temperatura do globo negro, K

t_s = temperatura do bulbo seco, K

Vv = velocidade do vento, m s^{-1}

- c) Entalpia específica (h , kJ/kg ar seco), proposta por Rodrigues et al. (2010), apresentada na eq. (12):

$$h = 1,006 \cdot t + \frac{UR}{p_B} \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot t}{237,3 + t}\right)} \cdot (71,28 + 0,052 \cdot t) \quad (12)$$

Em que:

t = Temperatura de bulbo seco, °C

UR = Umidade relativa, %

p_B = Pressão barométrica, mmHg

3.5 Temperatura superficial dos materiais

Além das variáveis meteorológicas, registraram-se também as variações de temperatura do telhado e do forro, em todos os modelos estudados, visando à identificação da variação espacial da temperatura em relação aos diferentes materiais.

A aquisição dos dados foi realizada manualmente, por meio de um termômetro de infravermelho, modelo MT-350 da marca Minipa[®] (Figura 10a) com emissividade constante igual a 0,95, posicionado sobre o material a uma distância de 0,20 m (Figura 10b). A temperatura superficial foi medida às 8h00min, 11h00min, 14h00min e às 17h00min em dias não consecutivos, durante todo o período experimental.



(a)



(b)

Figura 10 - Termômetro de infravermelho (a) e o posicionamento do termômetro sobre a telha (b)

A representação das isotermas foi realizada por meio do software Surfer, que é um pacote de programas comerciais desenvolvidos pela Golden Software Inc. que podem ser utilizados para a confecção de mapas de isolinhas (Krigagem), de variáveis a partir de dados espacialmente distribuídos.

Para analisar o perfil de temperatura dos materiais estudados (forros e telhas), foram distribuídos locais de amostragem equidistantes sobre a superfície dos mesmos.

O registro da temperatura do telhado foi realizado em 35 locais, sendo 15 em cada água e 5 na cumeeira, de acordo com a Figura 11.

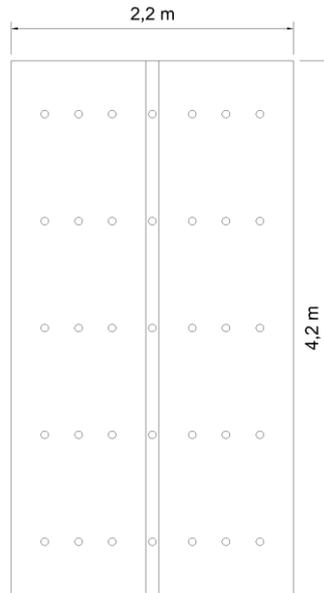


Figura 11 – Representação da distribuição dos locais de amostragem no telhado

Para o registro da temperatura dos forros sob o telhado foram distribuídos 15 locais de amostragem (Figura 12a) e no forro sobre o telhado 18 (Figura 12b).

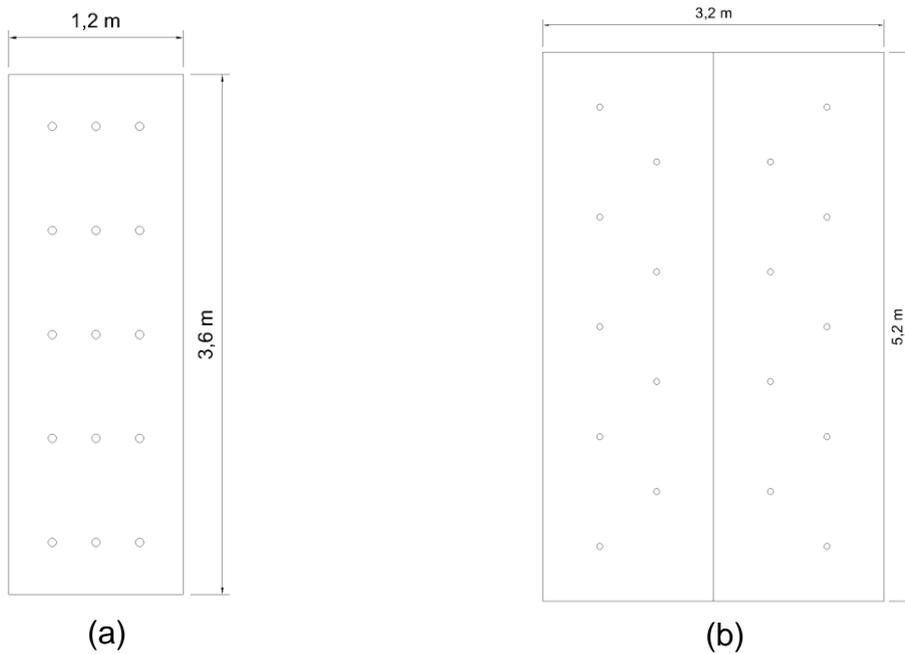


Figura 12 - Representação da distribuição dos locais de amostragem no forro sob o telhado (a) e da distribuição dos locais de amostragem no forro sobre o telhado (b)

3.6 Análise estatística

Nas duas etapas experimentais o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, sendo a 1ª Etapa composta por 6 tratamentos e a 2ª Etapa por 5 tratamentos.

As análises foram feitas em diferentes horários (08:00, 11:00, 14:00 e às 17:00 horas) e a análise estatística foi realizada por meio do teste F da análise da variância e do teste de Tukey para a comparação múltipla das médias, visando diferenciar os tratamentos, em relação às variáveis:

- a) Temperatura de bulbo seco (Tbs, °C);
- b) Umidade relativa (UR, %);
- c) Temperatura de globo negro (Tgn, °C);
- d) Entalpia específica (h, kJ/kg de ar seco);
- e) Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU);
- f) Carga térmica radiante (CTR);

Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o software estatístico SAS 9.2 (SAS INSTITUTE, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das variáveis meteorológicas, dos índices ambientais de conforto térmico (entalpia, carga térmica radiante, índice de temperatura de globo e umidade) e o mapeamento térmico dos materiais estudados nas duas etapas da pesquisa, são apresentados a seguir de acordo com as etapas da pesquisa realizada.

A discussão dos resultados será baseada na avaliação das variáveis meteorológicas, compreendendo: temperatura de bulbo seco, umidade relativa, entalpia específica, além dos índices de conforto térmico: índice de temperatura de globo e umidade, e carga térmica radiante.

4.1 Etapa 1

4.1.1 Variáveis Meteorológicas

A descrição dos valores médios dos dados climáticos durante essa fase da pesquisa é descrita na Tabela 2, que resultou no registro de dados coletados pela estação meteorológica durante o período experimental (19 dias), em dias não consecutivos no mês de maio de 2010.

Tabela 2 - Valores médios diários de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluviométrica no período experimental

Variáveis	Período (19 dias)
Temperatura mínima (°C)	8,6
Temperatura máxima (°C)	30,2
Temperatura média (°C)	18,7
Umidade relativa mínima (%)	32,1
Umidade relativa máxima (%)	100,0
Umidade relativa média (%)	83,5
Velocidade do vento máxima (m/s)	10,0
Velocidade do vento mínima (m/s)	0,0
Velocidade do vento média (m/s)	0,5
Pluviosidade total (mm)	4,8

Para avaliação dos dados, selecionaram os dias críticos de projeto, baseando-se na metodologia adotada por Silva et al. (1991), Sevegnani et al. (1994), Martello et al. (2004), Kawabata et al. (2005), Conceição et al. (2008), Oliveira et al.

(2009). A metodologia preconiza que a seleção seja realizada considerando os dias de maior entalpia específica (h). Dessa forma, foram selecionados na primeira etapa os 10 dias de maior entalpia, cujos dados serão analisados a partir das variáveis meteorológicas e dos índices ambientais de conforto térmico. Os valores médios de entalpia específica dos 10 dias selecionados variaram entre 36,06 e 62,32 kJ/kg de ar seco (Figura 13).

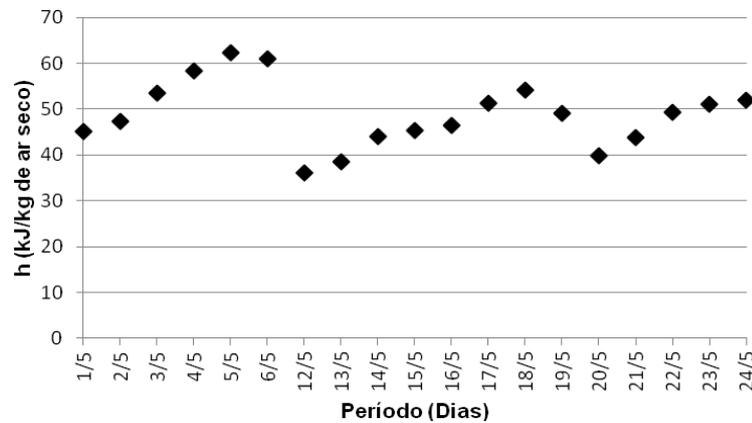


Figura 13 - Variação da entalpia específica média do ar (h , kJ/kg de ar seco) durante todo período experimental

Nota-se que os dias 05/05/2010 e 12/05/2010 foram respectivamente, os dias de maior e menor entalpia específica, durante o período experimental. A Figura 14 ilustra a variação média da entalpia específica, da temperatura e da umidade relativa registradas nos dias de maior e menor entalpia, em intervalos de 1 hora, durante 24 horas.

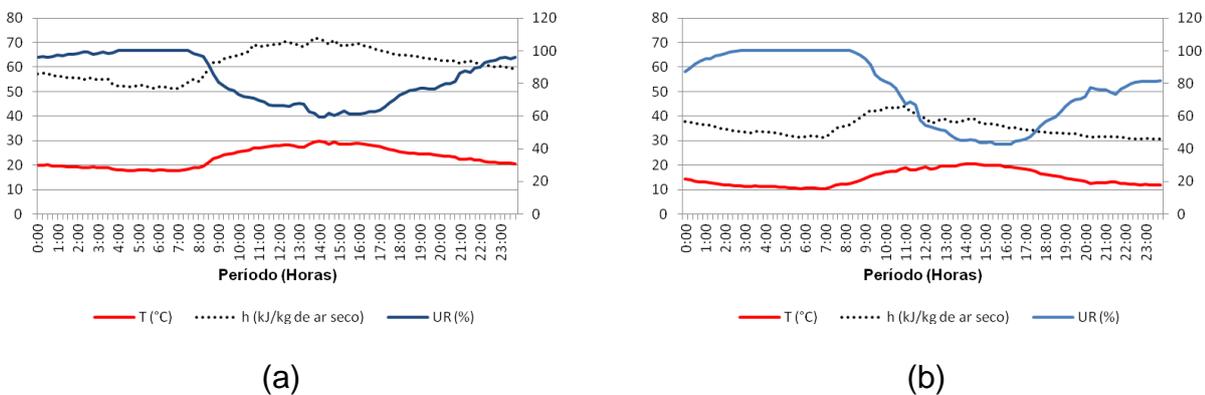


Figura 14 – Variação dos valores médios de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e entalpia específica do ar (kJ/kg de ar seco) registradas nos dias de: maior entalpia (a) e menor entalpia (b)

No dia de maior entalpia, a temperatura de bulbo seco variou entre 17,6 e 29,7 °C e para a umidade relativa o valor mínimo foi 59,4% e o máximo 100%. No dia de menor entalpia, a temperatura variou entre 10,4 e 20,7 °C e a umidade relativa entre 42,7 e 100%. Os maiores valores de entalpia foram 71,92 kJ/kg de ar seco, registrado às 13:45 horas e 43,98 kJ/kg de ar seco, às 10:45, nos dias de maior e menor entalpia, respectivamente. Esses valores evidenciam que o período mais crítico do dia está próximo a esses horários.

Pela observação da figura anterior, é importante verificar que existe uma tendência das alterações dos valores de entalpia específica semelhante aos valores da temperatura do ambiente. A seguir, será apresentada a análise detalhada das variáveis meteorológicas e dos índices ambientais de conforto térmico da Etapa 1. Nas duas etapas, os resultados serão discutidos, considerando os níveis de conforto térmico para frangos de corte, na fase final de produção, ou seja, na sexta semana.

4.1.2 Temperatura de Bulbo Seco

As faixas de conforto e estresse térmico para frangos de corte na última semana foram estabelecidas de acordo com informações propostas por Macari e Furlan (2001). Dessa forma, considerou-se como faixa ótima os valores entre 21 e 24 °C, sendo a faixa crítica entre 15 e 35 °C. Em nenhum horário a temperatura média de bulbo seco ficou dentro da faixa ótima de conforto térmico, porém não excedendo a faixa crítica (Figura 15).

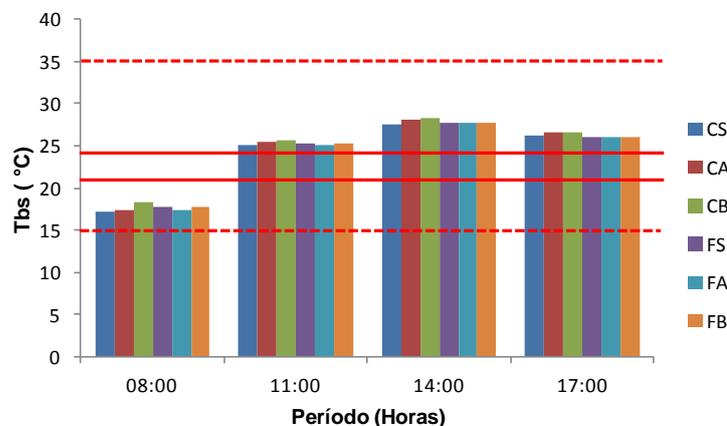


Figura 15 – Valores médios de temperatura de bulbo seco nos diferentes tratamentos e horários de avaliação e faixas dos limites crítico (linha tracejada) e ótimo (linha contínua)

Nos horários das 11, 14 e 17 horas todos os tratamentos apresentaram valores médios superiores a 24 °C, e às 8 horas, valores médios inferiores a 21 °C. O horário que apresentou maior temperatura média foi às 14 horas, conforme já era esperado.

Analisando isoladamente os valores da temperatura de bulbo seco nos modelos estudados, verifica-se que para o horário de maior carga térmica de radiação, ou seja, às 14 horas, todos os tratamentos apresentaram valores médios superiores à zona de conforto pré-determinada. Os valores médios de temperatura de bulbo seco (°C) para os diferentes tratamentos e horários, encontram-se na Tabela 3. O resultado da análise de variância mostrou que houve efeito de tratamento para a variável temperatura de bulbo seco em todos os horários.

Tabela 3 - Valores médios de temperatura de bulbo seco (°C), obtidos nos diferentes tratamentos e horários de medição

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CS	17,14 b	25,17 ab	27,62 b	26,27 ab
CA	17,45 a	25,55 ab	28,10 ab	26,59 a
CB	18,24 a	25,68 a	28,28 a	26,55 a
FS	17,82 a	25,28 ab	27,72 ab	25,99 b
FA	17,35 b	25,03 b	27,72 ab	26,11 ab
FB	17,73 a	25,28 ab	27,75 ab	26,00 b

Médias seguidas de letras diferentes (minúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para cada horário pelo teste de Tukey

No horário das 8 horas, os tratamentos CS e FA apresentaram menor valor médio de temperatura de bulbo seco, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Às 11 horas o tratamento FA apresentou menor valor de temperatura de bulbo seco em relação ao CB, não diferindo dos demais tratamentos. A diferença entre CB e FA foi de cerca de 0,65 °C.

No horário mais quente do dia (14 horas), os tratamentos sem uso de forro (CS e FS) obtiveram valores numéricos inferiores aos demais tratamentos, embora apenas os tratamentos CS e CB tenham apresentado diferença estatística ($P < 0,05$) entre si, sendo o menor valor encontrado no tratamento sem forro CS (diferença média de 1,18 °C). Em geral, a temperatura de bulbo seco, às 17 horas, apresentou maiores valores nos tratamentos com telha cerâmica (CS, CA e CB) em relação aos tratamentos com telha de fibrocimento (FS, FA e FB). No entanto, o efeito estatístico se expressou apenas para a diferenciação dos tratamentos CA e CB em relação a

FS e FB, evidenciando maiores valores nos tratamentos com telha de barro. De maneira geral, a telha de barro sem forro foi a que apresentou a menor temperatura interna nos modelos, porém, o uso do forro A e os demais tratamentos com a telha de fibrocimento não apresentaram diferenças estatísticas entre eles. A maior temperatura interna apresentada, mas que também não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, foi o tratamento telha cerâmica com o forro B.

Oliveira et al. (2000) estudaram o efeito do isolante térmico tipo lâmina, composto por “foil” de alumínio e papel Kraft de alta densidade, instalados como forro abaixo da cobertura em relação ao ambiente sem qualquer tipo de isolamento. De acordo com os autores, a partir das 12 horas, período de radiação solar mais intensa, o ambiente com isolamento térmico apresentou temperaturas superiores ao nível do teto (2,0 m do piso) comparado ao ambiente sem isolante térmico. Por outro lado, a temperatura no nível das aves (0,40 m do piso) foi inferior no ambiente com isolante térmico.

Os resultados apresentados neste trabalho discordam dos resultados de Oliveira et al. (2000), pois os valores de temperatura de bulbo seco do ambiente interno do protótipo e os materiais utilizados como forro não apresentaram efeitos na redução da temperatura interna.

4.1.3 Umidade Relativa

A Figura 16 ilustra as faixas críticas e a faixa ideal de umidade relativa para frangos de corte na última semana de criação. De acordo com Macari e Furlan (2001), a umidade relativa ideal para frangos na 6ª semana é 60%, sendo a faixa crítica entre 40 e 80%.

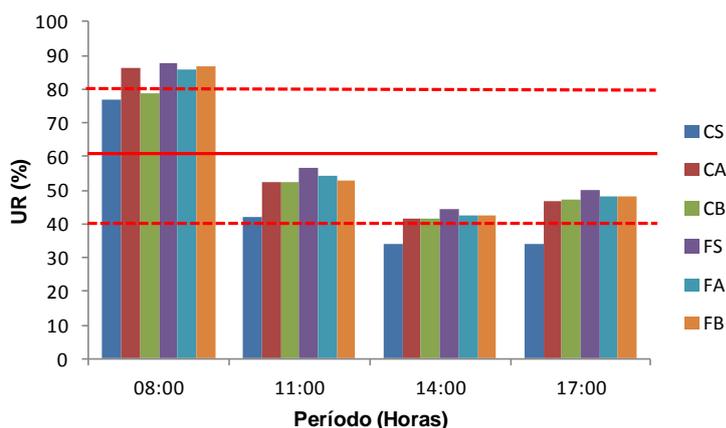


Figura 16 – Faixas limites crítica superior e inferior (linha tracejada) e faixa ótima (linha contínua) da variável umidade relativa (%) para todos os tratamentos, nos diferentes horários

Houve uma grande variação próxima da faixa de conforto (60%) para UR, às 11 horas. Às 8 horas, apenas os tratamentos CS e CB obtiveram valores inferiores a 80%, diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 4). Os menores valores de umidade relativa média foram verificados no horário das 14 horas, quando também foram verificadas as maiores temperaturas. Isso ocorre devido à alta temperatura que acarreta um aumento na pressão de saturação (e_s), e, conseqüentemente, diminui a umidade relativa, pois a variação de e_s ocorre na forma exponencial.

De acordo com a análise estatística, verificou-se que houve efeito de tratamento para variável umidade relativa em todos os horários.

Os tratamentos FS e CS mantiveram a maior e a menor umidade relativa média, respectivamente, em todos os horários, mas diferiram estatisticamente dos demais tratamentos apenas às 11 horas (Tabela 4). Nos horários das 11, 14 e 17 horas, o tratamento CS apresentou o menor valor médio de umidade relativa ($p < 0,05$).

Tabela 4 - Valores médios de umidade relativa (%), obtidos em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CS	76,97 b	41,83 c	34,03 c	33,90 d
CA	86,07 a	52,49 b	41,34 b	46,55 c
CB	78,91 b	52,26 b	41,63 b	47,29 bc
FS	87,71 a	56,39 a	44,29 a	50,07 a
FA	85,99 a	54,48 b	42,66 ab	48,30 b
FB	86,57 a	52,83 b	42,46 ab	48,11 bc

Médias seguidas de letras diferentes (minúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para cada horário pelo teste de Tukey

4.1.4 Entalpia específica

A variável psicrométrica entalpia específica é utilizada para avaliação de ambientes, baseando-se no princípio de que essa grandeza expressa a quantidade de calor existente no ar seco (kJ/kg de ar seco). De acordo com os resultados estatísticos, verificou-se que houve efeito de tratamento em todos os horários estudados.

A faixa de conforto e os limites críticos superior e inferior de entalpia específica foram ajustados pela equação proposta por Rodrigues et al. (2011) e são apresentados na Tabela 5. As faixas de temperatura e umidade relativa utilizadas na equação foram propostas por Macari e Furlan (2001) para frangos de corte na sexta semana.

Tabela 5 - Faixa de conforto e limites crítico inferior e superior de entalpia específica (kJ/kg de ar seco) para frangos de corte na 6ª semana de criação

6ª semana	T (°C)	UR (%)	h (kJ/kg de ar seco)
Conforto	21	60	45,89
	24	60	53,92
Crítica inferior	17	40	29,93
Crítica superior	36	80	115,93

Os menores valores de entalpia específica foram verificados nos tratamentos FA e FB, respectivamente, em todos os horários exceto às 8 horas (Figura 17). A diferença entre a maior e menor média às 11 horas foi 3,01 kJ/kg de ar seco e às 14 horas foi 3,75 kJ/kg de ar seco.

De acordo com os valores médios de entalpia específica, às 8 horas, os tratamentos CS, FS e FB, se mantiveram dentro da faixa de conforto. Às 11 horas os tratamentos CS e FS apresentaram médias superiores à faixa de conforto e às 17 horas apenas o tratamento CS apresentou média superior à faixa de conforto.

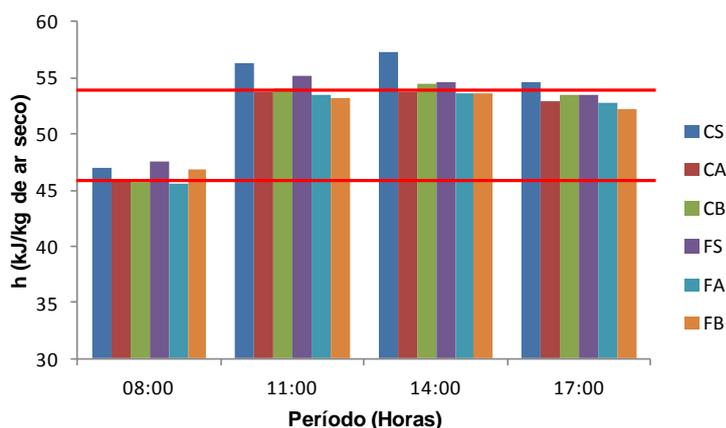


Figura 17 – Faixas ótimas de conforto (linha contínua) da variável entalpia específica (kJ/kg de ar seco) para todos os tratamentos, nos diferentes horários

De acordo com os valores médios de entalpia específica obtidos nos seis tratamentos, nos diferentes horários (Tabela 6), nota-se que as maiores médias foram obtidas nos tratamentos sem uso de forro (CS e FS, respectivamente). Às 11 horas, os tratamentos CS e FS apresentaram os maiores valores de entalpia específica, diferindo de todos os outros tratamentos. E às 14 horas, apenas o tratamento CS diferiu dos demais tratamentos, apresentando o maior valor.

Tabela 6 - Valores médios de entalpia específica (kJ/kg de ar seco) registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CS	46,94 a	56,25 a	57,30 a	54,65 a
CA	45,89 ab	53,80 b	53,70 b	52,87 b
CB	45,67 b	54,05 b	54,50 b	53,42 a
FS	47,52 a	55,10 a	54,59 b	53,45 a
FA	45,63 b	53,45 b	53,63 b	52,71 b
FB	46,83 ab	53,24 b	53,55 b	52,20 b

Médias seguidas de letras diferentes (minúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para cada horário pelo teste de Tukey

Utilizando os valores de entalpia específica como parâmetro de avaliação da eficiência térmica dos materiais analisados, pode-se dizer que de maneira geral os forros apresentaram diferenças significativas na redução do calor interno nos modelos estudados, porém não apresentaram diferenças entre o forro A e B.

4.1.5 Índice de Temperatura de Globo e Umidade

O índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) é um dos índices de ambientais de conforto térmico mais utilizado em estudos de comparação de sistemas construtivos para animais. De acordo com Teixeira (1983), os valores de ITGU entre 65 e 77 não afetaram o desenvolvimento de frangos de corte da terceira à sexta semana de criação. Assim, assumindo-se esta faixa como de conforto para frangos de corte, nota-se na Figura 18 que os valores médios de ITGU para alguns tratamentos e horários foram superiores à faixa de conforto para essa variável.

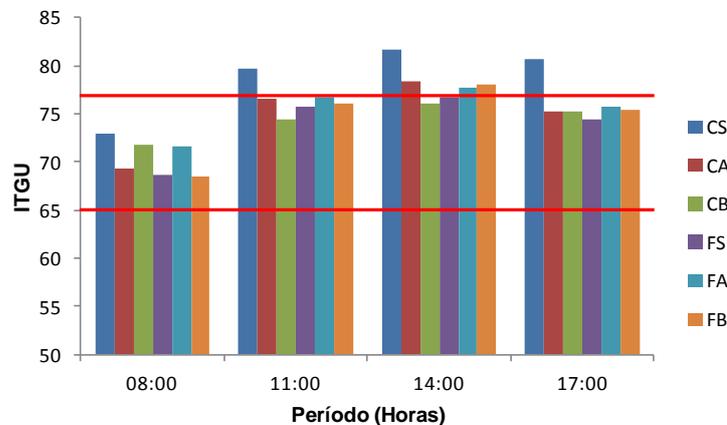


Figura 18 – Limite crítico inferior e superior (linha contínua) do Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) para todos os tratamentos, nos diferentes horários

A partir do primeiro horário de avaliação, houve um aumento progressivo dos valores de ITGU, com valores máximos obtidos às 14 horas. Isso ocorre devido à elevação da temperatura circundante ao globo negro, ocasionada principalmente pelo aquecimento do piso, paredes e superfícies do interior da instalação, que são diretamente influenciadas pelo aumento da irradiação solar global nesses horários (ROSA, 1984). Além disso, em condições reais, esta situação é agravada devido ao aumento do calor gerado pelas aves, o que gera condição de desconforto (FURTADO et al., 2003).

Após as 14 horas, os valores médios de ITGU começam a diminuir. Esse comportamento diurno dos valores de ITGU também foi observado por Tinôco (1996), Matos (2001), Sarmiento et al. (2005), Pereira (2007), Lavor et al. (2008) e Fiorelli et al. (2009).

De acordo com os resultados da análise de variância, verificou-se que houve efeito de tratamento em todos os horários para a variável ITGU. A Tabela 7

apresenta os valores médios do ITGU e as diferenças encontradas entre os diferentes tratamentos em todos os horários.

Tabela 7 - Valores médios de Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CS	72,93 a	79,77 a	81,69 a	80,61 a
CA	69,29 a	76,62 b	78,31 b	75,17 b
CB	71,85 a	74,45 d	76,00 d	75,19 b
FS	68,64 b	75,75 c	76,81 cd	74,38 b
FA	71,61 a	76,78 b	77,67 bc	75,72 b
FB	68,49 b	76,14 bc	78,04 b	75,47 b

Médias seguidas de letras diferentes (minúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para cada horário pelo teste de Tukey

Em todos os horários, os valores médios de ITGU do tratamento CS apresentaram as maiores médias, diferindo estatisticamente ($P < 0,05$) dos demais tratamentos às 11, 14 e 17 horas.

Pereira (2007), avaliando conforto térmico em três galpões para frangos de corte encontrou, para as 14 horas, o valor médio do ITGU de 79,89 e 80,35 para os tratamentos com telha cerâmica e fibrocimento com fibras de PVA, respectivamente.

É notável uma grande variação do ITGU entre os horários e tratamentos. Às 8 horas, horário em que todos os tratamentos permaneceram dentro da faixa de conforto, os tratamentos FB e FS apresentaram menor média (68,49 e 68,64) diferindo estatisticamente ($P < 0,05$) dos demais.

Nos horários mais quentes do dia (11 e 14 horas), os tratamentos CB (74,45 e 76,0) e FS (75,75 e 76,81) registraram os menores valores de ITGU. Mas apenas o tratamento CB, às 11 horas, diferiu estatisticamente ($P < 0,05$) dos demais tratamentos. A diferença entre a maior e a menor média, no horário das 11 horas, foi de 5,32.

De acordo com TINÔCO (1988), em uma pesquisa em condições de verão, verificou que valores de ITGU superiores a 75,0 causam desconforto para frangos de corte com idade acima de quinze dias, sendo essa situação agravada à medida que as aves se desenvolvem.

Sendo assim, considerando os valores de ITGU às 11 e 14 horas pode-se afirmar que apenas o tratamento CB, às 11 horas, registrou valor inferior a 75,0, o

que permite afirmar que, nesse horário, de acordo com os valores médios de ITGU, o tratamento CB apresentou melhores resultados em relação aos demais.

Pelos resultados apresentados na Tabela 7, pode-se afirmar que as coberturas com telhas cerâmicas e as telhas de fibrocimento, ambas sem forro, diferiram entre si. Observa-se que as telhas cerâmicas apresentaram valores de ITGU maior que as telhas de fibrocimento. Esses resultados são discordantes dos trabalhos de Sevegnani et al. (1994), Santos et al. (2005), Jácome et al. (2007), Lima et al. (2009), porém, acredita-se que esses resultados devem-se ao fato das telhas cerâmicas não serem novas, e portanto possuem uma camada de limo, enegrecido na superfície exposta à radiação.

Sevegnani (1997), Dias et al. (2007) e Suehrcke et al. (2008) afirmam que o envelhecimento e o acúmulo de poeira e resíduos sobre as telhas afetam suas propriedades térmicas, causando um aumento na absorção e diminuição na refletância de energia solar, comprometendo, conseqüentemente, o desempenho térmico desses materiais.

4.1.6 Carga Térmica Radiante

A Figura 19 ilustra a variação média da CTR nos horários de avaliação para todos os tratamentos. Em geral, nota-se que há um aumento no valor da CTR das 8 às 14 horas, sendo o valor máximo atingido às 14 horas. Em seguida, ocorre um decréscimo registrado às 17 horas, período com menores níveis de radiação solar. Esse comportamento diurno da CTR foi similar ao ITGU, pois esses dois índices de conforto térmico ambiental consideram, além de outras variáveis, a temperatura de globo negro.

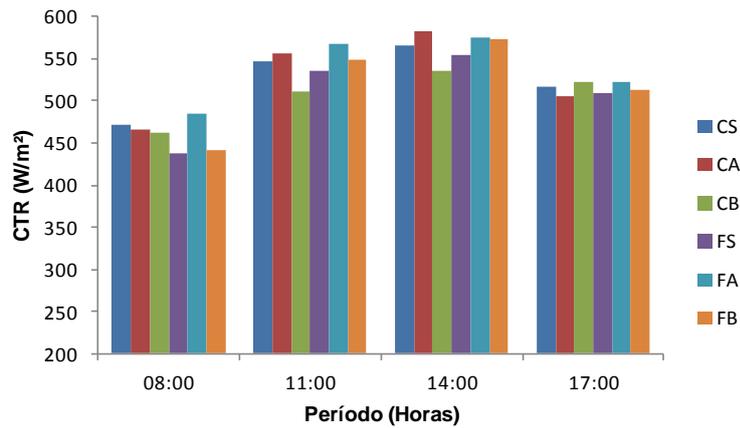


Figura 19 – Valores médios de carga térmica radiante (CTR, W/m²) nos diferentes tratamentos e horários de avaliação

Considerando para CTR o valor de 498,3 W/m², como indicativo de conforto térmico para coberturas com telha cerâmica (ROSA, 1984), pode-se afirmar que apenas às 8 horas os valores de CTR para os tratamentos com telhas cerâmicas estiveram dentro deste limite de conforto. Extrapolando essa faixa de conforto aos demais tratamentos, verifica-se que às 17 horas todos os valores permaneceram próximos ao valor de referência, mas não obtiveram diferença estatística significativa ($P < 0,05$) entre si, conforme é apresentado na Tabela 8.

Os valores obtidos nesta pesquisa corroboram os resultados apresentados por Furtado et al. (2003), avaliando galpões com telha cerâmica e telha de fibrocimento-amianto e Fiorelli et al. (2010), estudando o comportamento térmico de protótipos com diferentes coberturas. Esses autores encontraram, nos horários de maior radiação, os valores de CTR superiores a 489,9 W/m², para todas as coberturas testadas.

Observando os valores da CTR na Tabela 8, verifica-se que para as telhas cerâmicas ocorre uma redução na CTR, quando se utilizam os diferentes forros, porém, já nos telhados de fibrocimento nota-se um aumento nos valores da CTR, em relação ao telhado sem forro. Apesar de no horário das 14 horas praticamente não ocorrer diferença estatística entre os tratamentos, é importante observar que, dentre todos os tratamentos estudados, o que apresentou menor valor de CTR foi a telha cerâmica com o forro B.

Tabela 8 - Valores médios de carga térmica radiante (CRT) registrados em todos tratamentos nos diferentes horários de medição

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CS	472,48 ab	546,50 a	565,99 a	516,86 a
CA	465,80 ab	556,49 a	582,12 a	506,11 a
CB	462,65 ab	511,12 b	535,12 b	522,49 a
FS	438,60 b	536,51 b	554,37 a	509,15 a
FA	485,39 a	568,54 a	575,64 a	522,45 a
FB	442,05 b	547,99 a	572,96 a	512,12 a

Médias seguidas de letras diferentes (minúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para cada horário pelo teste de Tukey

Nos horários mais quentes (11 e 14 horas), os tratamentos compostos pelo Forro A (FA e CA) apresentaram as maiores médias, diferindo estatisticamente dos tratamentos CB e FS, às 11 horas e do CB às 14 horas ($P < 0,05$). O tratamento CB, no horário das 14 horas, obteve a menor média ($535,12 \text{ W/m}^2$), diferindo de todos os outros tratamentos ($P < 0,05$)

A CTR variou para telhas fibrocimento e suas associações com forros de $485,39$ a $575,64 \text{ W/m}^2$ (FA), de $442,05$ a $572,96 \text{ W/m}^2$ (FB), $438,60$ a $554,34 \text{ W/m}^2$ (FS) e para telhas cerâmicas e suas associações com forros de $465,80$ a $582,12 \text{ W/m}^2$ (CA), $462,65$ a $535,12 \text{ W/m}^2$ (CB) e $472,48$ a $564,99 \text{ W/m}^2$ (CS). Os resultados mostram que as telhas cerâmicas e de fibrocimento apresentaram comportamentos térmicos semelhantes e, além disso, nota-se que a utilização do forro B proporcionou médias menores quando associado às duas telhas. Esse comportamento similar entre as telhas de fibrocimento (pintadas de branco na sua face superior) e cerâmica também foi observado por Sampaio et al. 2011.

Os percentuais da eficiência de redução na CTR dentre os materiais estudados podem ser evidenciados na Tabela 9. Nota-se que o forro B promoveu uma redução de $6,47\%$ e $5,45\%$ na CTR das coberturas de telhas cerâmicas para os horários das 11 e 14 horas, respectivamente.

Tabela 9 - Porcentagem de redução da CTR nos tratamentos com utilização de forro, comparados aos tratamentos sem forro, nos diferentes horários

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CS	472,48 (100%)	546,50 (100%)	565,99 (100%)	516,86 (100%)
CA	465,80 (98,59%) = -1,14%	556,49 (101,83%) = +1,83%	582,12 (102,85%) = +2,85%	506,11 (97,92%) = -2,08%
CB	462,65 (97,92%) = -2,08%	511,12 (93,53%) = -6,47%	535,12 (94,55%) = -5,45%	522,49 (101,09%) = +1,09%
FS	438,60 (100%)	536,51 (100%)	554,37 (100%)	509,15 (100%)
FA	485,39(110,6%) = +10,67%	568,54 (105,97%) = +5,97%	575,64 (103,84%) = +3,84%	522,45 (102,61%) = +2,61%
FB	442,05 (100,79%) = +0,78%	547,99 (102,14%) = +2,14%	572,96 (103,35%) = +3,35%	512,12 (100, 58%) = +0,58%

Resultados similares também foram encontrados por Conceição et al. (2008) ao compararam telhas cerâmicas, telhas fibrocimento e telhas fibrocimento pintadas de branco em protótipos de galpões avícolas para as condições de verão. Esses autores concluíram que as telhas de fibrocimento pintadas de branco, seguidos pelas telhas de fibrocimento apresentaram os melhores resultados, sendo o pior desempenho apresentado pela telha cerâmica, que obteve resultados próximos a telhas de fibrocimento.

O fato das telhas fibrocimento serem pintadas de branco aumenta a refletividade desses materiais, favorecendo uma menor absorção de energia térmica, o que faz com que esse material apresente comportamento similar ao das telhas cerâmicas, que possuem menor capacidade de transmissão de calor.

4.2 Etapa 2

4.2.1 Variáveis Meteorológicas

Essa etapa foi realizada durante 55 dias dos meses de junho e julho de 2010. Os valores médios dos dados climáticos registrados pela estação meteorológica são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluviométrica no período experimental (55 dias)

Variáveis	Valores (55 dias)
Temperatura mínima (°C)	5,3
Temperatura máxima (°C)	30,7
Temperatura média (°C)	18,2
Umidade relativa mínima (%)	25,3
Umidade relativa máxima (%)	100,0
Umidade relativa média (%)	78,0
Velocidade do vento máxima (m/s)	10,7
Velocidade do vento mínima (m/s)	0,0
Velocidade do vento média (m/s)	0,8
Pluviosidade total (mm)	76,1

Para avaliação dos dados, selecionaram-se, nessa etapa, os 15 dias de maior entalpia específica, considerados aqui, como os dias de maior desconforto térmico do período. Os valores médios de entalpia específica dos 15 dias selecionados variaram entre 49,26 e 55,43 kJ/kg de ar seco, conforme ilustra a Figura 20.

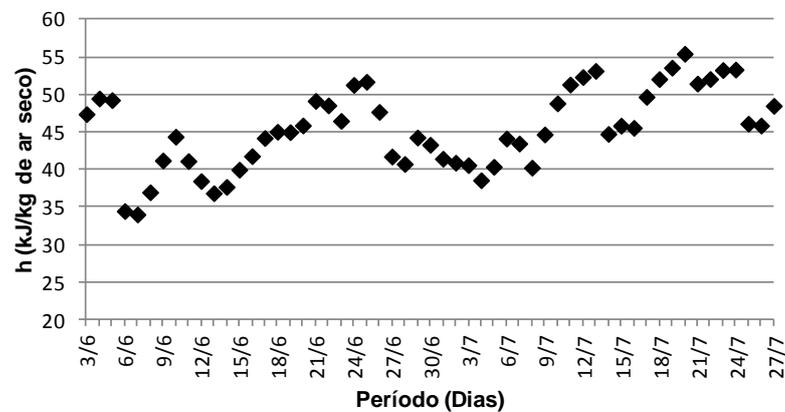


Figura 20 - Variação da entalpia específica média do ar (h, kJ/kg de ar seco) durante todo período experimental

Os dias de maior e menor entalpia específica nessa etapa foram 20/07/2010 e 07/06/2010 respectivamente. A Figura 21 ilustra as variações médias da entalpia específica, temperatura e umidade relativa registradas nos dias de maior e menor entalpia, em intervalos de 1 hora, durante 24 horas.

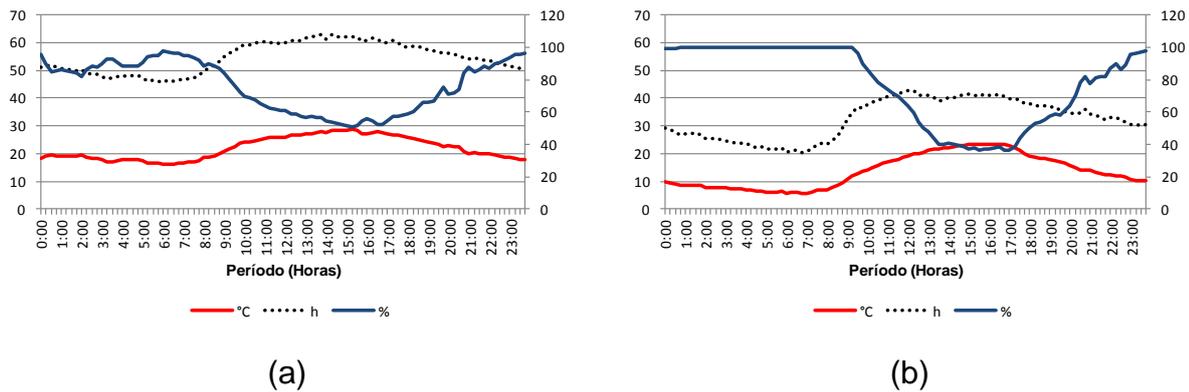


Figura 21 – Variações dos valores médios de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e entalpia específica do ar (kJ/kg de ar seco) registradas nos dias de: maior entalpia (a) e menor entalpia (b)

A temperatura de bulbo seco, no dia de maior entalpia específica, variou entre $16,1$ e $28,7$ $^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa entre $50,6\%$ e $97,5\%$. No dia de menor entalpia específica, a temperatura variou entre $5,5$ e $23,5$ $^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa entre $36,4$ e 100% . Os maiores valores de entalpia específica registrados foram $63,05$ kJ/kg de ar seco, registrado às $13:45$ horas e $42,92$ kJ/kg de ar seco, às $12:15$, nos dias de maior e menor entalpia, respectivamente. De acordo com os resultados apresentados na caracterização do período experimental, deve-se considerar que o período avaliado foi na estação de inverno, apresentando os valores de temperatura mais baixos em relação aos períodos mais quentes na região, o que também é mostrado nos limites superiores e inferiores da entalpia específica.

A Figura 22 apresenta a variação da entalpia específica do ambiente externo e dos tratamentos nos dias de maior e menor entalpia específica durante o período experimental (8 às 17 horas).

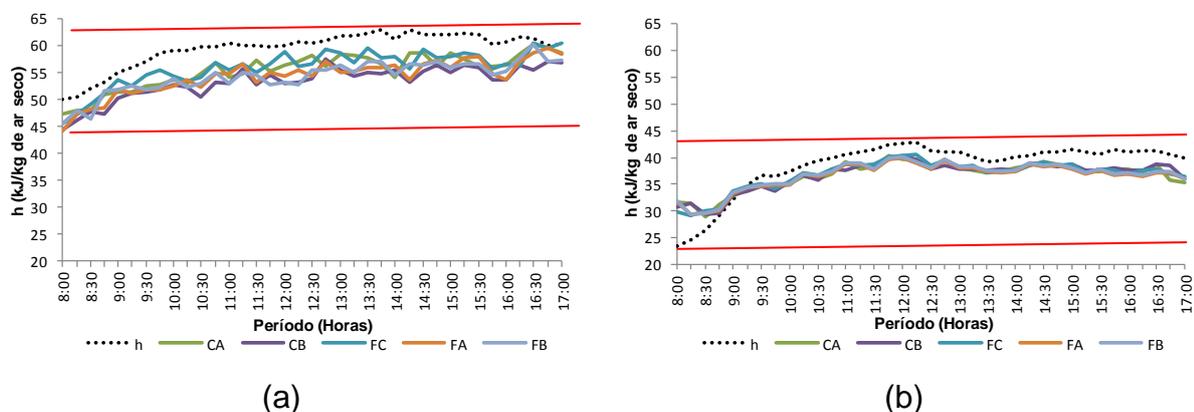


Figura 22 - Variação da entalpia específica (h , kJ/kg de ar seco) média do ar externa (h) e do interior dos modelos (CA, CB, FC, FA e FB) durante o período experimental (8 às 17 horas) no dia de maior (a) e no dia de menor (b) entalpia específica.

Os modelos reduzidos apresentaram o mesmo comportamento cíclico das curvas de entalpia do ambiente externo. Nota-se que, em ambos os dias, a entalpia específica no interior dos modelos foi menor que a do ambiente externo, exceto no período inicial do dia de menor entalpia específica (Figura 22b). Nestes horários com baixa temperatura associada à umidade relativa elevada, ocorre conservação do calor interno nas instalações, o que resulta em maior entalpia do ar nos diferentes tratamentos. Além disso, há uma menor variação entre os valores médios dos tratamentos no dia de menor entalpia, mostrando-se mais homogêneos.

Da mesma forma, deve-se considerar que as faixas dos valores de entalpia específica variam nitidamente entre o dia de maior e menor conforto, seguindo esse critério.

A análise detalhada das variáveis meteorológicas (temperatura de bulbo seco e umidade relativa) e dos índices ambientais de conforto térmico (entalpia, índice de temperatura de globo e umidade e carga térmica radiante) da Etapa 2 será apresentada na sequência.

4.2.2 Temperatura de Bulbo Seco e Umidade Relativa

Considerando como faixa ótima os valores entre 21 e 24 °C e faixa crítica entre 15 e 35 °C (MACARI E FURLAN, 2001), em nenhum horário a temperatura média de bulbo seco ficou dentro da faixa ótima de conforto térmico, porém esta não excedeu a faixa crítica (Figura 23). O horário que apresentou maior temperatura média foi às 14 horas. Nota-se que a variação média da temperatura de bulbo seco, entre os horários, apresentou comportamento similar à Etapa 1, considerando que os dados foram registrados nos meses de junho e julho.

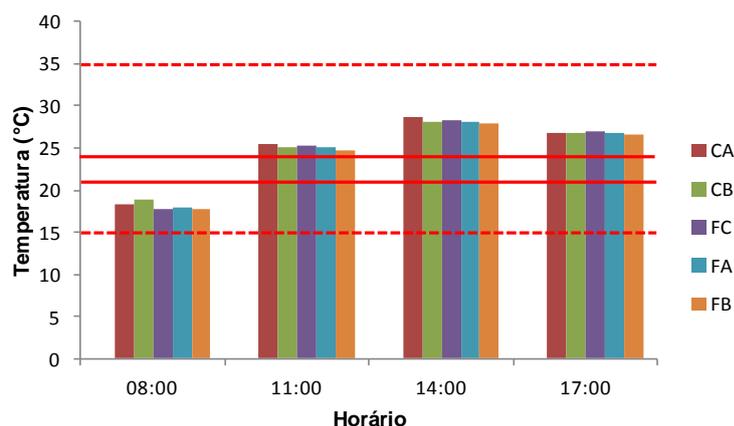


Figura 23 – Valores médios de temperatura de bulbo seco nos diferentes tratamentos e horários de avaliação e faixas dos limites crítico (linha tracejada) e ótimo (linha contínua)

Em condição de inverno, verifica-se que as coberturas atenuam a perda de calor nos horários em que a temperatura começa a decrescer (17 horas), amenizando o desconforto pelo frio, evitando, dessa forma, quedas bruscas de temperatura.

Pela análise estatística dos dados, verificou-se que houve efeito de tratamento para a variável temperatura de bulbo seco em todos os horários.

A Tabela 11 apresenta os valores médios de temperatura de bulbo seco nos diferentes horários. Nota-se que às 17 horas não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos.

Tabela 11 - Valores médios de temperatura do ar (°C), obtidos nos diferentes tratamentos e horários de medição

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CA	18,31 b	25,38 a	28,59 a	26,85 a
CB	18,89 a	25,17 a	28,03 b	26,77 a
FC	17,77 c	25,33 a	28,32 ab	26,88 a
FA	18,03 bc	25,15 a	28,16 b	26,80 a
FB	17,75 c	24,75 b	28,00 b	26,54 a

Médias seguidas de letras diferentes (minúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para cada horário pelo teste de Tukey

Às 8 horas, o tratamento CB apresentou a maior média, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos ($P < 0,05$). O tratamento FB registrou a menor média em todos os horários, mas apresentou diferença estatística em relação a todos os outros tratamentos apenas às 11 horas. No horário mais quente do dia (14 horas) a variação de temperatura entre a menor (FB) e maior (CA) média foi de 0,59 °C, sendo essa diferença pequena, porém significativa ($P < 0,05$).

Considerando os valores de umidade relativa média proposta por Macari e Furlan (2001), a umidade relativa ideal para frangos na 6ª semana deve ser 60%, e a faixa crítica deve variar entre 40 e 80% (Figura 24).

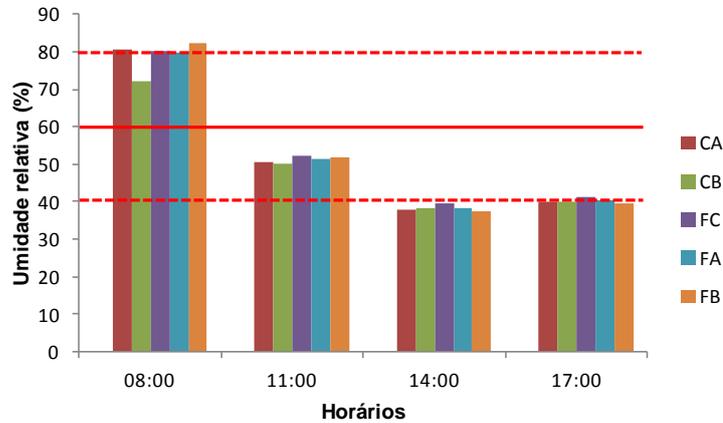


Figura 24 – Faixas limites crítica superior e inferior (linha tracejada) e faixa ótima (linha contínua) da variável umidade relativa (%) para todos os tratamentos, nos diferentes horários

Nota-se que em nenhum tratamento a umidade relativa esteve próxima ao valor de conforto. Às 14 horas (maior temperatura), em todos os tratamentos a umidade relativa média ficou abaixo da faixa crítica inferior. Às 8 horas (menor temperatura) o tratamento FB, CA e FC (82,35%, 80,49% e 80,27%, respectivamente) excederam a faixa limite superior.

Em função dos dados, verificou-se que houve efeito significativo da variável umidade relativa em todos os tratamentos nos horários avaliados.

4.2.3 Entalpia específica

A faixa de conforto para entalpia específica do ar foi estimada de acordo com os valores de temperatura e umidade relativa propostos por Macari e Furlan (2001), ajustadas por meio da equação de Rodrigues et al. (2011). Baseando-se nessas informações padrões, a faixa entálpica de conforto considerada foi de 45,89 e 53,92 kJ/kg de ar seco (Figura 25).

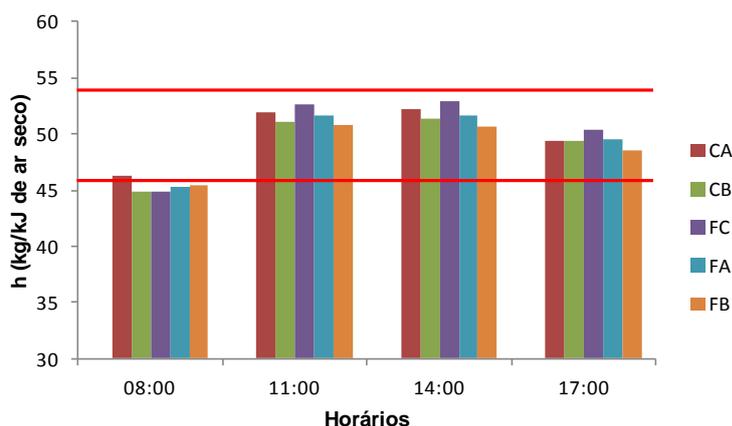


Figura 25 - Variação média da entalpia específica do ar nos diferentes tratamentos e horários, e faixas ótimas de conforto (linha contínua)

Todos os tratamentos ficaram dentro da faixa de entalpia específica considerada de conforto, exceto às 8 horas. Isso pode ser explicado devido à baixa temperatura e à alta umidade relativa presente nesse horário, o que é uma característica do período de inverno. Porém, houve efeito de tratamento para a variável entalpia específica do ar em todos os horários. A Tabela 12 apresenta os valores médios de entalpia específica nos diferentes horários.

Tabela 12 - Valores médios de entalpia específica (kJ/kg de ar seco) registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CA	46,25 a	51,90 ab	52,20 ab	49,44 ab
CB	44,89 b	51,10 b	51,31 bc	49,36 ab
FC	44,80 b	52,67 a	52,84 a	50,40 a
FA	45,30 b	51,66 ab	51,69 abc	49,54 ab
FB	45,37 ab	50,83 b	50,70 c	48,52 b

Médias seguidas de letras diferentes (minúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para cada horário pelo teste de Tukey

O tratamento FC apresentou os maiores valores de entalpia específica em todos os horários exceto às 8 horas. Os tratamentos compostos pelo forro B (FB e CB, respectivamente), em todos os horários, exceto às 8 horas, registraram os menores valores de entalpia específica, mas não diferiram estatisticamente ($P = 0,05$) dos demais tratamentos.

A diferença entre a maior e menor entalpia específica média em todos os horários foi inferior a 2,15 kJ/kg de ar seco, sendo o horário das 14 horas o que apresentou a maior diferença. De acordo os resultados, baseando-se nos valores de

entalpia específica, a utilização da manta termo-refletora sobre o telhado não reduziu o calor interno dos protótipos, como era esperado, pois apresentou resultados estatísticos significativamente superiores aos demais tratamentos avaliados.

Gomes Filho (2010) avaliou o comportamento térmico de modelos em escala reduzida com uso de sombreamento sobre telhas de fibrocimento pintadas de branco, com duas diferentes alturas (0,05 e 0,08m). Esse autor concluiu que, para a região de Jaboticabal-SP, a tela com 50% de sombreamento, na cor preta, sobre o telhado de fibrocimento branco, não melhorou as condições de conforto térmico no interior dos modelos. Neste estudo o menor valor de entalpia foi registrado pela cobertura com tela de sombreamento a 0,08m de altura, sobre a telha fibrocimento pintada de branco.

4.2.4 Índice de Temperatura de Globo e Umidade

Considerando a faixa de conforto para ITGU entre 65 e 77 para frangos de corte na terceira à sexta semana de criação (TEIXEIRA, 1983), observa-se na Figura 26 que, em todos os horários e tratamentos, os valores médios de ITGU estiveram dentro da faixa de conforto. Mais uma vez, vale ressaltar que esses resultados permaneceram dentro da faixa de conforto devido ao período avaliado.

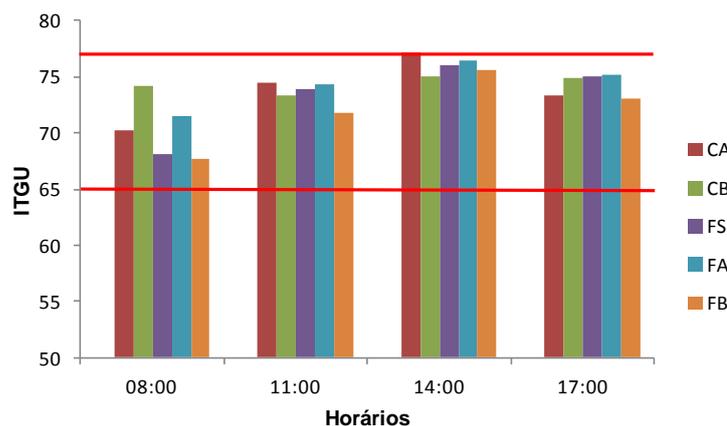


Figura 26 - Limite crítico inferior e superior (linha contínua) do Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) para todos os tratamentos, nos diferentes horários

O comportamento dos valores de ITGU ao longo do dia foi similar à Etapa 1, na qual, a partir do primeiro horário de avaliação, houve um aumento progressivo, sendo os valores máximos obtidos às 14 horas havendo após esse horário uma queda nos valores de ITGU.

Houve efeito de tratamento em todos os horários para a variável ITGU para os horários avaliados.

Os tratamentos CA e FA apresentaram os maiores valores médios de ITGU às 11 e às 14 horas, mas não houve diferença estatística ($P < 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 13).

Tabela 13 - Valores médios de Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CA	70,23 bc	74,51 a	77,11 a	73,40 cb
CB	74,19 a	73,38 a	75,10 a	74,84 ab
FC	68,13 c	73,95 a	75,99 a	74,99 a
FA	71,51 ab	74,33 a	76,44 a	75,12 a
FB	67,74 c	71,79 a	73,21 a	73,05 c

Médias seguidas de letras diferentes (minúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para cada horário pelo teste de Tukey

O tratamento FB registrou os menores valores de ITGU em todos os horários avaliados, mas esses valores não diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) dos demais. Além disso, nota-se que às 11 horas e às 14 horas as menores médias foram apresentadas pelos tratamentos compostos pelo forro B, e as maiores pelo forro A.

Os tratamentos com forro B (CB e FB) na Etapa 1 apresentaram as menores médias nos horários mais quentes do dia. Esse resultado se repetiu na Etapa 2, quando esse tratamento obteve as menores médias.

Porém, considerando os horários mais quentes (11 e 14 horas), não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. Em função desses resultados e avaliando os materiais como promotores de conforto térmico dentro das instalações, nesta metodologia, representados pelos modelos reduzidos e distorcidos, verifica-se que não houve diferença estatística para esta variável. Esses resultados também são condizentes com os resultados de Pereira (2007). Ao estudar o ambiente térmico de galpões com diferentes tipos de telhas, o autor concluiu que os valores de ITGU de galpões com telhas de cimento com polpa celulósica e de fibrocimento com reforço de PVA apresentaram desempenho equivalente ao da cobertura cerâmica.

Moraes et al. (1999), ao estudarem o conforto térmico no interior de modelos reduzidos, cobertos com telhas de cimento-amianto e associações de forro de polietileno, aspersão de água sobre a cobertura, dupla lâmina reflexiva de alumínio

sob a cobertura, pintura branca na face superior da telha, poliuretano na face superior da cobertura, poliuretano na face inferior, concluíram que todos os tratamentos reduziram os valores de ITGU, sendo o mais eficiente a aspersão, seguido do forro de polietileno. Para a CTR, o tratamento mais eficiente foi com forro de polietileno, seguido por aspersão. De acordo com os autores, nos horários entre 10 e 16 horas, todos os tratamentos registraram valores médios de ITGU acima de 76, mantendo-se fora da faixa de conforto.

Um fato bastante questionado atualmente entre os pesquisadores da área de ambiência animal é até que ponto os índices de conforto térmico, nesse caso o ITGU, é, ou não eficiente, para verificar o conforto térmico animal.

4.2.5 Carga Térmica Radiante

Houve uma grande variação da carga térmica radiante (CTR, W/m^2) dentro de cada horário (Figura 27). Entretanto, o comportamento diurno da CTR foi o esperado, considerando o período de exposição do globo negro às temperaturas ambientais elevadas. Isso ocorre em função da radiação de ondas longas emitidas pela vizinhança, principalmente nos horários entre 11 e 14 horas, quando o sol está posicionado mais perpendicular ao plano do horizonte local (FONSECA, 1998). Essa variação nos valores de CTR que foram verificados nas duas etapas desta pesquisa, também foi verificada por diversos autores (ROSA, 1984; SEVEGNANI et al., 1994; ZANOLLA et al., 1999; SARTOR et al., 2000; NÄÄS et al., 2001; MATOS, 2001; FURTADO et al., 2003; CONCEIÇÃO, 2008; FIORELLI et al., 2009).

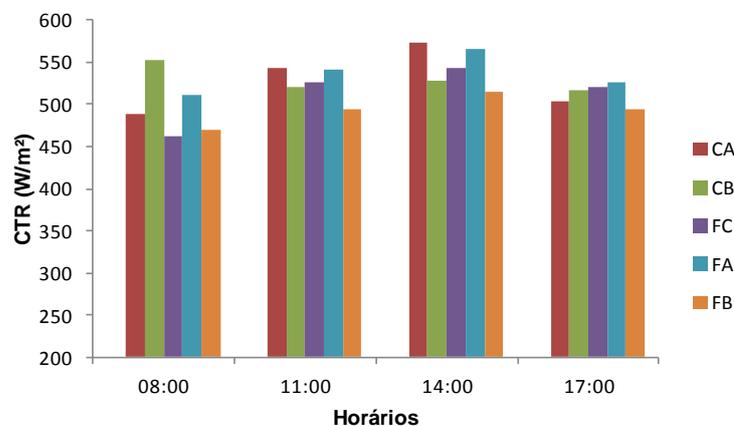


Figura 27 - Valores médios de carga térmica radiante (CTR, W/m^2) nos diferentes tratamentos e horários de avaliação

Avaliando estatisticamente os dados, verifica-se que houve efeito de tratamento em todos os horários para a variável CTR, conforme já era esperado. A Tabela 14 apresenta os valores médios de CTR e as diferenças encontradas entre os diferentes tratamentos em todos os horários. Nessa tabela também são mostradas as diferenças na redução da carga térmica de radiação entre materiais, o quanto um forro reduziu ou não a carga térmica de radiação em função do outro.

Tabela 14 - Valores médios de carga térmica radiante (CTR) registrados em todos tratamentos nos diferentes horários de medição

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CA	488,92 bc	542,52 a	573,36 a	503,22 ab
CB	552,32 a	519,71 ab	528,26 cd	516,09 ab
FC	461,52 c	526,36 a	544,05 cb	520,04 a
FA	511,73 ab	540,87 a	565,45 ab	525,33 a
FB	469,61 bc	493,32 b	515,36 d	493,56 b

Médias seguidas de letras diferentes (minúsculas nas colunas) indicam diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para cada horário pelo teste de Tukey

Os resultados encontrados às 8 horas mostram que os tratamentos CB e FA apresentaram as maiores médias. O tratamento CB, às 8 horas, apresentou a maior média, diferindo estatisticamente apenas do tratamento FC (menor média). A diferença entre a maior e menor média (CB e FC) foi de 90,8 W/m².

Os tratamentos CB e FB respectivamente registraram os menores valores de CTR nos horários das 11 e 14 horas, mas esses valores não diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) dos demais. Nesses horários verifica-se que o Forro A, tanto para a telha cerâmica como para a telha fibrocimento, foi o que apresentou a maior carga térmica de radiação, e o Forro B foi o que apresentou a menor, quando se analisa separadamente as telhas, confirmando os resultados anteriores da carga térmica radiante.

A CTR variou entre a menor e maior média para telhas fibrocimento e suas associações com forros de 511, 73 a 565,45 W/m² (FA), de 469,61 a 515,36 W/m² (FB), 461,52 a 544,05 W/m² (FC) e para telhas cerâmicas e suas associações com forros de 485,92 a 573,36 W/m² (CA), 552,32 a 528,26 W/m² (CB). Nota-se que houve grande variação dos tratamentos dentro de cada horário e que o comportamento térmico das telhas cerâmicas e das telhas de fibrocimento foi similar, dificultando a distinção do melhor tratamento.

Sendo assim, os resultados encontrados são semelhantes aos da Etapa 1 e corroboram Czarick e Tyson (1989), Sevegnani (1997), Conceição et al. (2008), Sampaio et al. (2011) que, ao estudarem telha fibrocimento e/ ou telha amianto com a face externa pintada de branco, concluíram que houve um melhor condicionamento térmico nesses ambientes, e que os resultados foram similares aos do ambiente com telha cerâmica.

4.3 Temperatura superficial dos materiais

O perfil da temperatura superficial dos materiais estudados (telhas e forros) nas duas etapas será apresentado por meio de uma análise descritiva, na qual serão analisados os valores médios de temperatura dos locais de amostragem de cada material, em todos os horários avaliados. Além disso, para essa variável, o software utilizado (Surfer) permitiu representar o mapeamento térmico de todos os tratamentos, para o horário mais quente (14 horas).

As Tabelas 15 e 16 apresentam os valores médios de temperatura superficial dos diferentes locais de amostragem das telhas cerâmica e fibrocimento, em todos os tratamentos nos diferentes horários, na Etapa 1 e Etapa 2, respectivamente.

Tabela 15 - Valores médios de temperatura (°C) superficial das telhas cerâmica e telhas fibrocimento registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição na Etapa 1

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CS	28,16	36,88	34,24	21,76
CA	19,69	31,21	32,84	22,55
CB	24,12	31,72	31,79	21,20
FS	20,85	26,59	27,91	21,68
FA	19,35	26,21	27,61	21,47
FB	18,99	25,93	27,70	21,58

Tabela 16 - Valores médios de temperatura (°C) superficial das telhas cerâmica e telhas fibrocimento registrados em todos os tratamentos nos diferentes horários de medição na Etapa 2

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CA	15,60	31,36	34,93	23,01
CB	18,29	32,80	34,10	21,76
FC	18,08	27,38	29,79	24,52
FA	15,39	27,19	30,32	21,88
FB	15,32	27,06	29,83	22,20

Observa-se que, nas duas Etapas, nos horários mais quentes do dia (11 e 14 horas), as telhas cerâmicas apresentaram valores superiores às de fibrocimento (Figura 28). Nesses horários, na primeira etapa, o tratamento CS apresentou a maior temperatura média, sendo a diferença entre a maior (CS) e a menor (CA) média, às 11 horas, de 5,67 °C e entre a maior (CS) e a menor (CB), às 14 horas, de 2,45 °C (Figura 28a e 28b).

Os maiores valores de temperatura superficial das telhas fibrocimento podem ser explicados devido ao fato desses materiais serem pintados de branco. A pintura branca ocasiona um baixo coeficiente de absorção da radiação solar e uma maior emissividade, que são propriedades térmicas importantes para determinação da temperatura superficial. Essas propriedades térmicas produzem efeitos positivos na redução da temperatura superficial e conseqüentemente na temperatura interna das instalações.

Os percentuais de redução da temperatura superficial das telhas, dentre os materiais estudados, podem ser evidenciados na Tabela 17. Nota-se que em todos os horários houve uma maior variação da temperatura superficial dos tratamentos com telha cerâmica, diferentemente dos tratamentos com telha fibrocimento. A variação da temperatura superficial das telhas cerâmicas deve-se à variabilidade das propriedades físicas causada pela depreciação (envelhecimento). Ao contrário, as telhas de fibrocimentos dos três tratamentos apresentavam-se pintadas de branco, sendo, portanto, mais uniformes em sua temperatura (Figura 28).

Tabela 17 - Porcentagem de redução da temperatura superficial dos telhados em todos os tratamentos nos diferentes horários

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CS	28,16 (100%)	36,88 (100%)	34,24 (100%)	21,76 (100%)
CA	19,69 (69,92%) = - 30,0%	31,21 (84,62%) = - 15,37%	32,84 (95,91%) = - 4,09%	22,55 (97,92%) = + 3,63%
CB	24,12 (85,65%) = - 14,35%	31,72 (86,01%) = - 14,0%	31,79 (92,84%) = - 7,15%	21,20 (97,45%) = -2,57%
FS	20,85 (100%)	26,59 (100%)	27,91 (100%)	21,68 (100%)
FA	19,35 (92,80%) = - 7,2%	26,21 (98,57%) = - 1,43%	27,61 (98,92%) = - 1,07%	21,47 (99,03%) = - 0,97%
FB	18,99 (91,08%) = - 8,92%	25,93 (97,52%) = - 2,48%	27,70 (99,24%) = - 0,75%	21,58 (99,54%) = - 0,46%

Os maiores valores médios de temperatura superficial (externa) para as telhas do tratamento CS podem ser explicados devido ao tempo de uso dessa telha ser

maior que das demais. De acordo com Sevegnani (1997), o envelhecimento das telhas acarreta um acúmulo de fungos e líquens em sua superfície, que transforma o telhado em um “coletor solar”, ou seja, aumenta a absorção de energia solar, piorando o seu desempenho térmico.

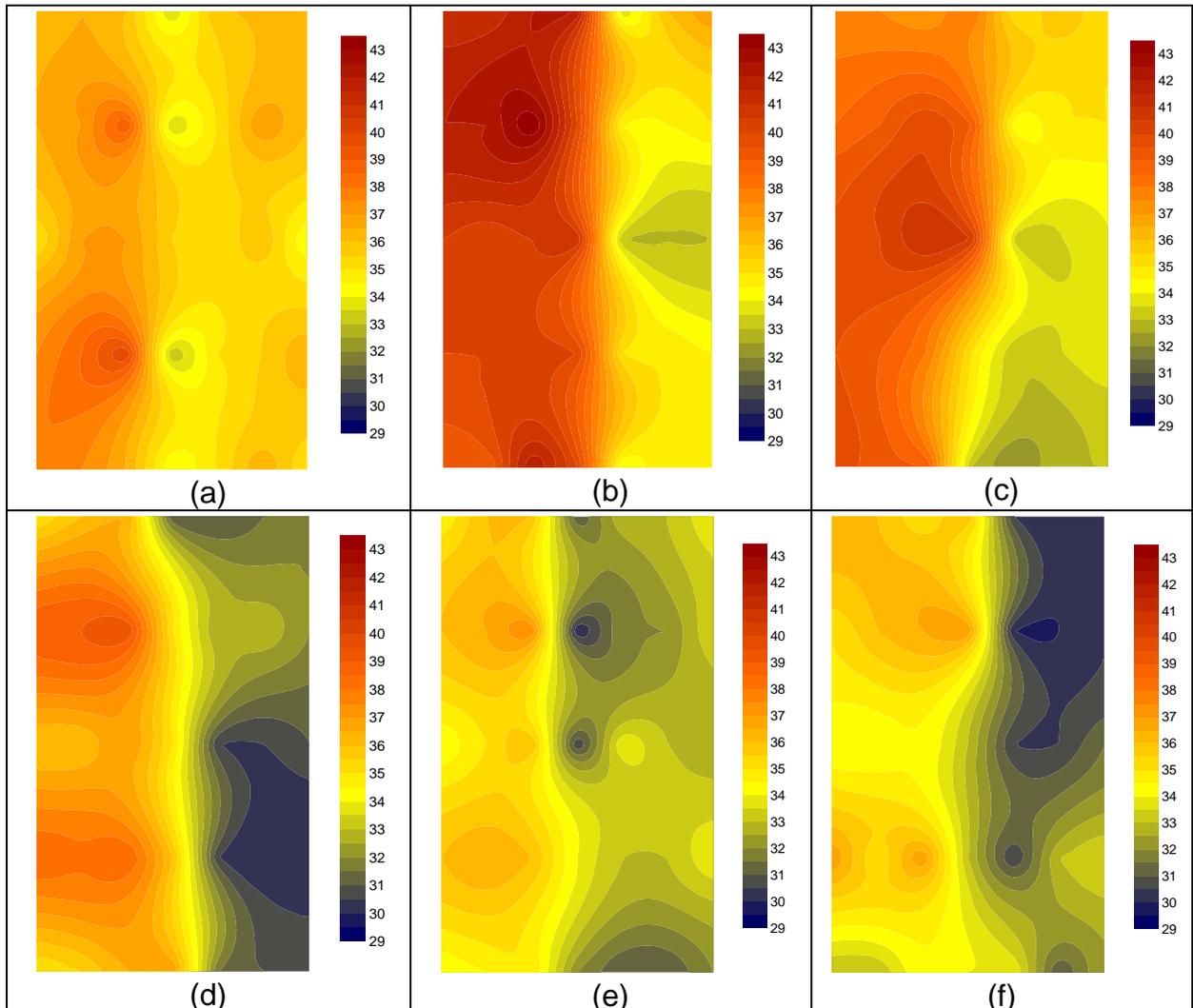


Figura 28 - Mapeamento térmico das superfícies externas das telhas dos tratamentos CS (a), CA (b), CB (c), FS (d), FA (e) e FB (f) às 14 horas na 1ª Etapa

Suehrcke et al. (2008) afirmam que o acúmulo de poeira e resíduos reduz a refletância solar dos telhados com o passar do tempo. E que a absorvância solar da superfície do telhado não é a única variável que influencia a temperatura do telhado, a emitância térmica da superfície que determina as trocas de calor radiativo com o céu.

A avaliação do perfil térmico da superfície externa dos telhados da Etapa 2 pode ser observada na Figura 29 abaixo.

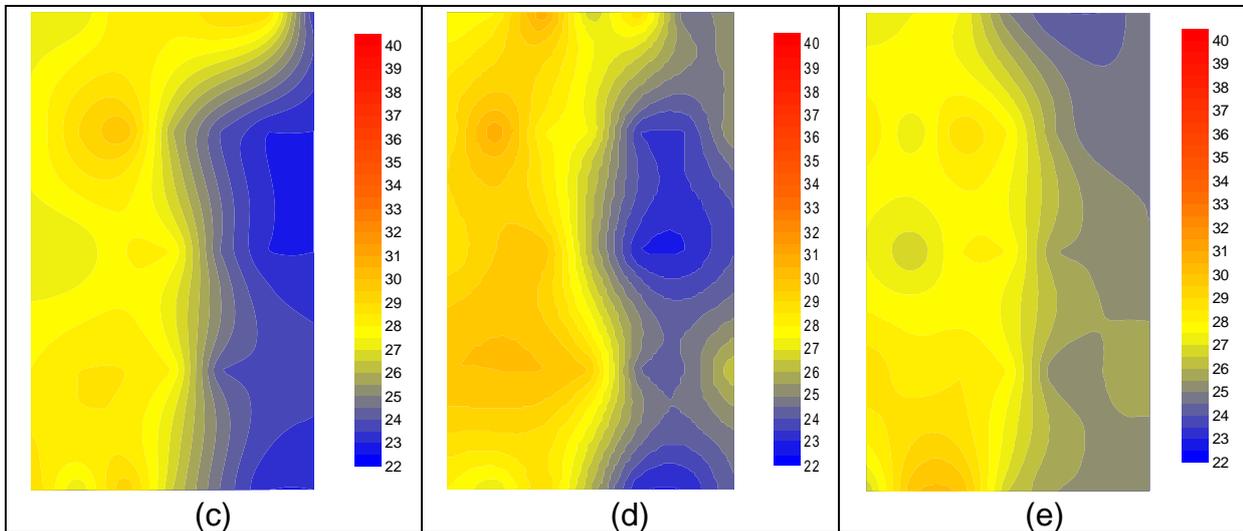
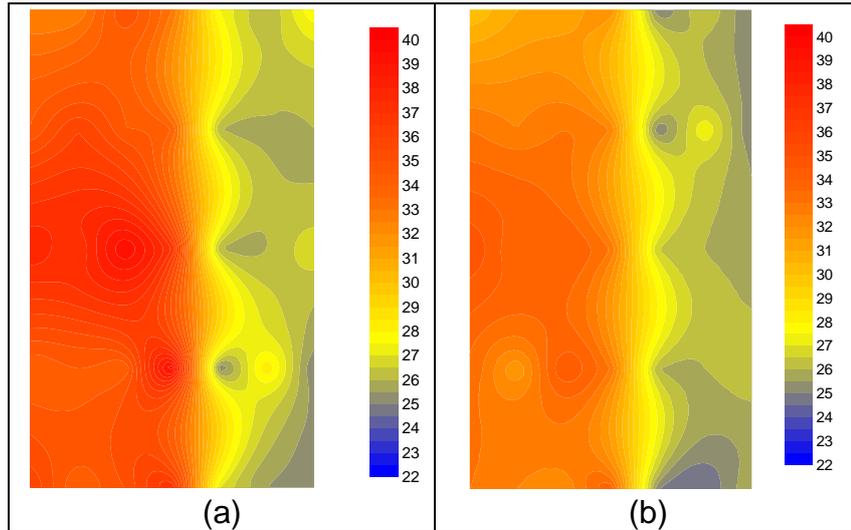


Figura 29 - Mapeamento térmico das superfícies externas das telhas dos tratamentos CA (a), CB (b), FA (c), FB (d) e FC (e) às 14 horas na 2ª Etapa

Pereira (2007), avaliando o desempenho térmico de ambientes com coberturas de cimento celulose, cerâmica e fibrocimento com PVA por meio do método elementos finitos (FEM) concluiu que a temperatura média interna da cobertura de cimento com polpa celulósica apresentou menor temperatura do que as demais no horário mais quente do dia (14 horas). Segundo o autor, esse comportamento pode ser explicado devido a maior quantidade de umidade retida pela telha de cimento com polpa celulósica durante a noite, fazendo com que pela manhã ela apresente alta umidade em seu interior e com a incidência de radiação solar de ondas curtas, ela ganhe energia, elevando sua temperatura com uma pequena defasagem de tempo em relação às demais coberturas. O autor acrescenta que as telhas de fibrocimento com reforço de PVA teve um comportamento similar

ao da telha de cimento com polpa celulósica diferenciando da telha cerâmica, o que corrobora com o trabalho atual.

A utilização do sobreamento sobre a cobertura de fibrocimento, proporcionada pela manta composta por polietileno e alumínio (Tratamento FC), registrou temperaturas superiores aos tratamentos com fibrocimento sem sobreamento às 8 e às 11 horas. A utilização da tela pode ter reduzido a umidade sobre telha durante a noite, o que favoreceu o aquecimento mais acelerado em relação às demais.

Às 14 horas (horário com grande incidência de radiação solar), o tratamento FC apresentou menor temperatura (Figura 29e), devido ao efeito do sobreamento e à alta refletividade da radiação incidente na superfície da tela (radiação de ondas curtas). Como a cobertura exposta ao sol atua como coletor de energia solar, a utilização de materiais refletivos à radiação solar reduz o ganho de calor das coberturas (Wray e Akbari, 2008).

Sampaio et al. (2011), avaliando as temperaturas médias superficiais de telhas de barro, de fibrocimento com pintura branca na face superior e de aço zincado e sua relação com o ambiente térmico em modelos em escala distorcida, verificaram que não houve diferenças estatísticas nas temperaturas superficiais das telhas de barro e de fibrocimento pintadas de branco na face superior e que a amplitude térmica das telhas metálicas durante o dia foi até 11 °C maior em relação às outras telhas. Dessa forma, o autor concluiu que as telhas cerâmicas e de fibrocimento pintadas de branco na face superior apresentaram comportamentos térmicos semelhantes, com alta eficiência na interceptação da energia solar, sendo as mais indicadas para cobertura de edificações para produção de animais.

Sarmiento et al. (2005), avaliando a influência da pintura externa do telhado sobre a temperatura da superfície interna da telha em galpões para frangos de corte com ventilação artificial, cobertos com telha fibrocimento na forma natural e o outro com telha fibrocimento pintada de branco, verificaram que a cobertura pintada de branco foi mais eficiente na redução da temperatura interna das telhas. Mas esse fato, isoladamente, não conseguiu melhorar as condições ambientais no interior do aviário.

Resultado semelhante foi encontrado por Furtado et al. (2003), avaliando aviários com aspensão de água sobre a cobertura de cimento amianto, que, apesar de diminuir a temperatura superficial das telhas não reduziu os índices ambientais de conforto térmico no interior da instalação.

De acordo com Moraes et al. (1999), o ambiente térmico interno de instalações pode ser melhorado com associação das coberturas tradicionais com materiais isolantes reflexivos, que podem ser conseguidos com o uso de forros sob a cobertura e pinturas reflexivas das telhas.

Abreu et al. (2011) por meio de imagens termográficas avaliaram a temperatura superficial de telhas coppo venneto ondulada cinza, coppo venneto ondulada marfim, telha plana marfim, telha plana cinza, telha de barro colonial esmaltada, telha ondulada de cimento amianto e telha de barro francesa. Os autores verificaram que as formas ondulada ou plana não interferiram nos valores de temperatura das telhas e que as telha de barro colonial obtiveram maior amplitude e maior temperatura da superfície inferior.

Akbari et al. (2005) afirmam que, quanto menor for a temperatura superficial do telhado, menor será a condução de calor para o interior da instalação. As Tabelas 18 e 19 apresentam a média da temperatura superficial dos forros nos diferentes horários. Nota-se que os forros dos respectivos telhados que mantiveram menor temperatura (fibrocimento), conseqüentemente, apresentaram temperatura média menor.

Tabela 18 - Valores médios de temperatura (°C) superficial dos forros registrados nos diferentes horários de medição na Etapa 1

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CA	21,98	28,20	30,52	26,05
CB	23,78	28,37	29,60	25,66
FA	22,71	28,08	28,86	25,48
FB	22,07	27,43	29,12	24,99

Tabela 19 - Valores médios de temperatura (°C) superficial dos forros registrados nos diferentes horários de medição na Etapa 2

Tratamentos	8 horas	11 horas	14 horas	17 horas
CA	19,13	29,21	32,32	29,11
CB	20,66	28,93	31,30	26,54
FA	19,45	28,28	31,00	27,52
FB	19,70	28,00	31,38	26,62

Essa relação entre a temperatura média do telhado e do forro ocorre devido à distribuição da energia que incide sobre esses materiais. Parte da energia solar, ao incidir no telhado, é refletida ou perdida por convecção ao ambiente externo, e outra

parte é absorvida, aquece as telhas, sendo transmitida à região do ático. A energia que chega ao interior do ático é transferida por convecção e radiação até a superfície do forro, que também absorve parte dessa energia, aquecendo-o. Logo, a quantidade de energia que atravessa o telhado é proporcional à quantidade de energia que chega até o forro, e essas transferências de calor, por convecção, condução e radiação, dependem das características térmicas dos materiais.

Nas instalações, essa parte da energia que atravessa os componentes da cobertura compromete o conforto térmico desses animais, pois aumenta a temperatura interna das instalações, causando estresse por calor.

Os perfis térmicos dos forros, para as etapas estudadas, são apresentados nas Figuras 30 e 31 abaixo. De acordo com os resultados, pode-se dizer que as temperaturas dos forros associados à telha cerâmica foram maiores que as temperaturas dos forros associados à telha de fibrocimento. Porém, quando se comparam os tipos de forros, verifica-se pela imagem térmica que houve uma grande variação da temperatura superficial média.

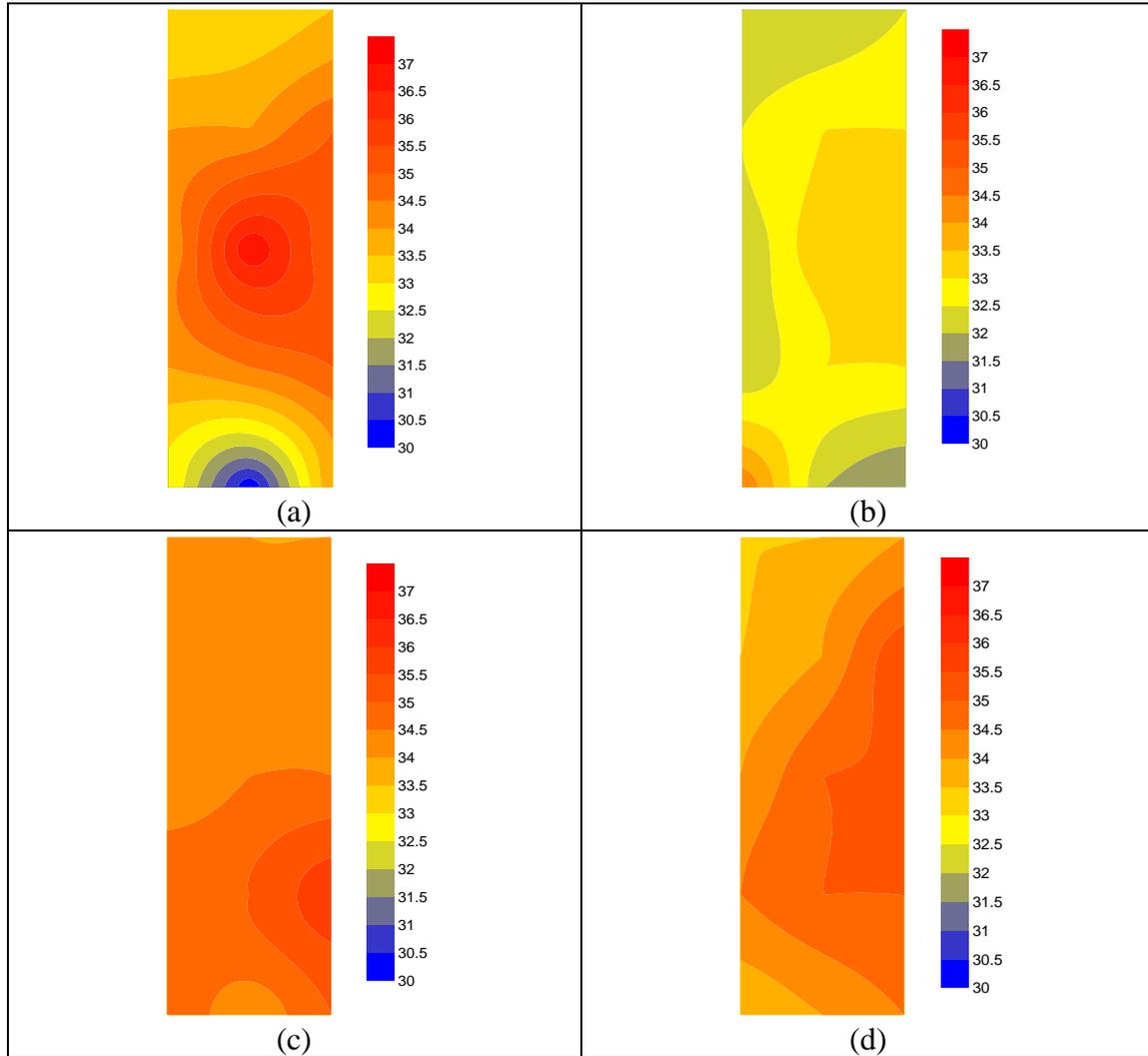


Figura 30 - Mapeamento térmico das superfícies externas dos fornos tratamentos CA (a), CB (b), FA (c) e FB (d) às 14 horas na 1ª Etapa

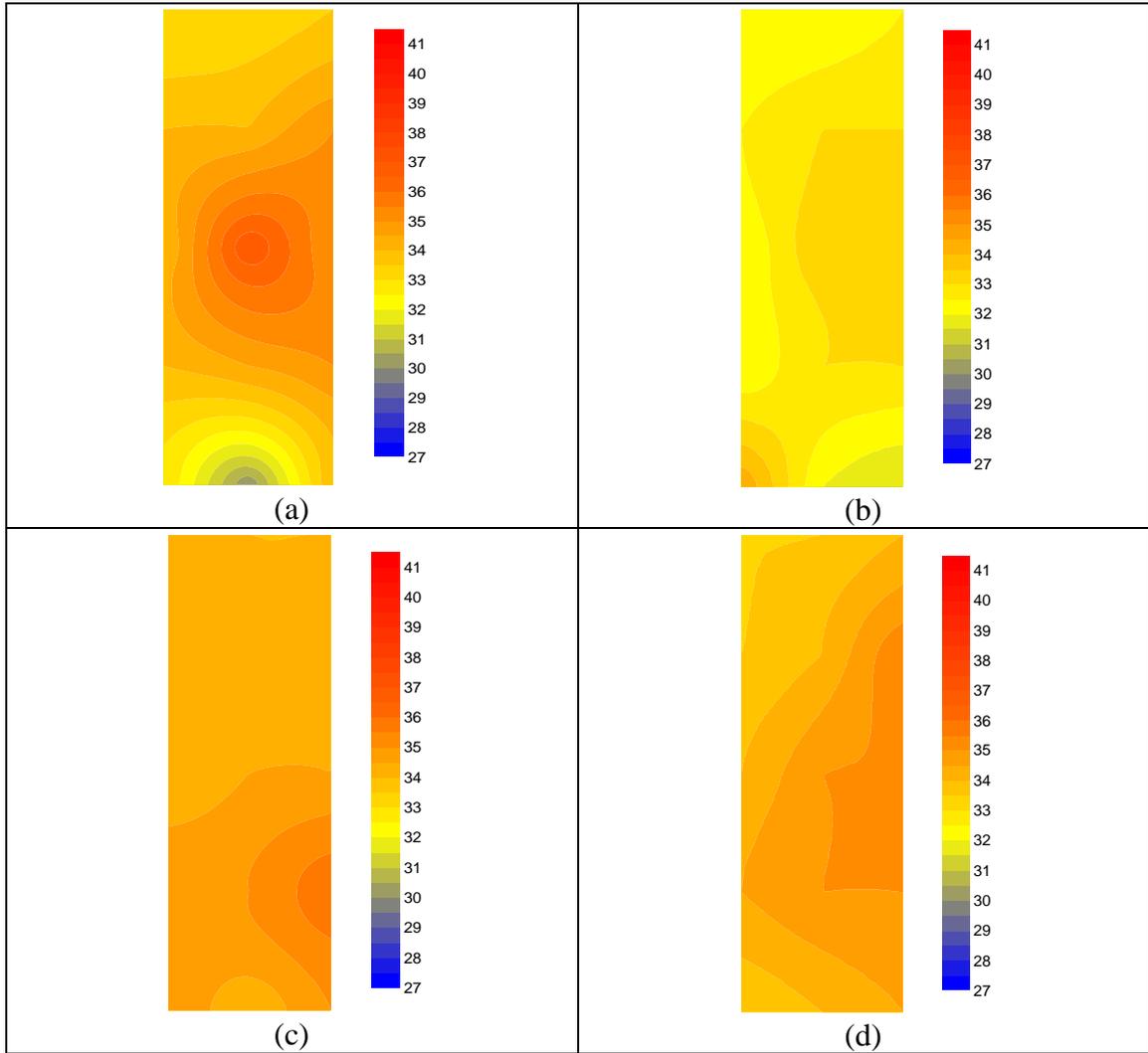


Figura 31 - Mapeamento térmico das superfícies externas dos fornos tratamentos CA (a), CB (b), FA (c) e FB (d) às 14 horas na 2ª Etapa

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho e as condições em que a pesquisa foi realizada, pode-se concluir que:

- 1) dentre os tratamentos avaliados nesta pesquisa houve diferenças estatísticas entre os materiais utilizados na cobertura e nos respectivos forros;
- 2) ao comparar os resultados, verificou-se que tanto as variáveis climáticas, como os índices de conforto térmico, apresentaram comportamentos térmicos diferenciados para as telhas cerâmicas e para as telhas de fibrocimento, sendo os tratamentos com telhas cerâmicas os que apresentaram melhores resultados;
- 3) com relação ao material de forração, os tratamentos com o material de forro B foram os que apresentaram as maiores reduções na CTR, e nos valores de ITGU;
- 4) o mapeamento térmico da temperatura de superfície dos telhados evidenciou que as menores temperaturas foram encontradas nos telhados de fibrocimento pintados de branco. E as maiores temperaturas superficiais nas telhas de cerâmica, sem pintura;
- 5) o uso do sombreamento de telhados em modelos em escala reduzida e distorcida não promoveu melhoria nas condições térmicas do ambiente avaliado.

REFERÊNCIAS

- AKBARI, H.; LEVINSON, R.; RAINER, L. Monitoring the energy-use effects of cool roofs on California commercial buildings. **Energy and Buildings**, Belgrade, v.37, p.1007-1016, 2005.
- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N.; COLDEBELLA, A.; JAENISCH, F.R.F; PAIVA, D.P. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n.4, p.1014–1020, 2007.
- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N.; COLDEBELLA, A.; LOPES, L.S.; CONCEIÇÃO, V. TOMAZELLI, I.L. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1193-1198, 2011.
- 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.
- ANES, A.A.A. (2007). **A influência da massa e da exposição solar no comportamento térmico dos edifícios**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Disponível em: <www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/civil/110.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2010.
- ARMELIN, H.S.; CHERRY, N. Avaliação do uso e desempenho de barreiras de radiação Térmica na construção civil. **Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**. Porto, vol. 1, n. 1, p. 79-82, 2004.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: **Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997. 246p.
- 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.
- 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.
- BORGES, S.A.; MAIORKA, A.; SILVA, A.V.F. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.5,p. 975-981, 2003.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, 1981.

CAMERINI, N.L.; NASCIMENTO, J.W.B. do; FOOK, M.V.L.; SOARES, E.A.; SILVA, F.A.S. Análise de variáveis ambientais em modelos reduzidos de instalações agropecuárias com forro de resíduo de EVA. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v.4.2, p. 40-47, 2009.

CARDOSO, A. de S. **Avaliação de materiais alternativos como coberturas em instalações para produção animal visando o conforto térmico**. 2010. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa.

CARNEIRO, F.L. **Análise dimensional e teoria da semelhança e dos modelos físicos**. Rio de Janeiro, Editora UFRJ. 1993. 256p.

CARR, L.; CARTER, T. Housing and management of poultry in hot and cold climates. In: YOUSEF, M.K. (Ed.) **Stress physiology in livestock**. Boca Raton: CRC Press, 1985. p.74-108.

CAVALCANTI, M. A. V. ; Mendes, J.U.L ; CAVALCANTI, B. T. V. ; SILVEIRA, F. F. . Comparative analysis of the efficiency of thermal systems built with reflective insulators with and without vacuum. **Thermal Engineerin**, Natal, v. 8, n. 2, p. 15-20, 2009.

CONCEIÇÃO, M. N.; ALVES, S. P.; TELATIN JÚNIOR, A.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; TONOLI, G. Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 536-539, 2008.

CURTIS SE. **Environmental management in animal agriculture**, 2nd. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1983. 407p.

CRAVO, J. C. M. ; FIORELLI, J. ; ROCCO LAHR, F. A. ; FONSECA, R. ; CRUZ, V. C. . Evaluation of recycled tiles and OSB ceiling materials in closed boiler house prototypes. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 11, p. 221-226, 2009.

Czarick, M.; Tyson, B.L. Reflective roof coating. **Poultry International**, Rockford, v.23, n.8, p.26-32, 1989.

DIAS, C.M.R.; CINCOTTO, M. A.; SAVASTANO, H.; JOHN, V.M. Envelhecimento de longo prazo de telhas onduladas de fibrocimento- o efeito da carbonatação, lixiviação e chuva ácida. **Cemente & Concrete composites** - Science Direct. 30, p. 255-256, 2008.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. West Port: AVI Publishing, 1979. 325p.

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

FERREIRA, R.A. **Maior produção com melhor ambiente para aves**, suínos e bovinos. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. 371p.

FIORELLI, J.; MORCELI, J. A. B.; VAZ, R. I.; DIAS, A. A. Avaliação da eficiência térmica da telha reciclada à base de embalagens longa vida. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p.204-209, 2009.

FIORELLI, J.; FONSECA, R.; MORCELI, J.A.B., DIAS, A.A. Influência de diferentes materiais de cobertura no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, p.986-992, 2010.

FONSECA, J.M. **Efeito da densidade de alojamento sobre o desempenho de frangos de corte criados em sistemas de nebulização e ventilação em túnel**. 1998. 57p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Construções Rurais e Ambiência) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 1998.

FREEMAN, B. M. The domestic fowl in biomedical research: Physiological effects of the environment. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 44, p. 41 – 60, 1988.

FROTA, A.B. ; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel. 1988. 228p.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**, Wiley, 1998.p. 443.

GOLDEN SOFTWARE INC. 2000. **Surfer for windows. Surfer. Surfer 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers**. User's Guide. New York: Golden Software, Golden, CO, 2000. 619p.

GOMES FILHO, J.S. **Tela de sombreamento e pintura em telhados de modelos reduzidos de galpões avícolas**. 2010. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

HAHN, L., BOND, T.E., KELLY, C.F. **Use of models in thermal studies of livestock housing**. Transactions of the ASAE, St Joseph, v. 4, n. 1, p. 45-51, 1961.

HALÁSZ, J.Z. ; MARTINS, A. **Princípios para o Condicionamento de Ar**. Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, SP: UNICAMP, 1994. 220p.

HELLICKSON, M.A.; WALKER, J.N. **Ventilation of Agricultural Structures**. St. Joseph: ASABE, 1983, 23p. (Monograph, 6).

HERRERA, Q.J.A. **Aplicação da climatologia dinâmica ao estudo do comportamento térmico das edificações, caso específico: telhas produzidas a partir da reciclagem de caixas acartonadas**. 2008.140p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

HOLMAN, J.F. **Transferência de calor**. Tradução de Luiz Fernando Milanez. São Paulo: McGraw-Hill, 1983. 639 p.

INCROPERA, F.P.; WITT, D.P. de. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan. 1992. 455p.

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.

JENTZSCH, R. **Estudo de modelos reduzidos destinados a predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas**. 2002. 103 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

JÁCOME, I.M.T.D.; FURTADO, D.A.; LEAL, A.F.; SILVA, J.H.V.; MOURA, J.F.P. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.55, p.527-531, 2007.

KAWABATA, C.Y.; CASTRO, R.C.; SAVASTANO JUNIOR, H. Índices de conforto térmico e respostas fisiológicas de bezerros da raça holandesa em bezerreiros individuais com diferentes coberturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 598-607, 2005.

KÖLTZSCH, P., WALDEN, F. **Ähnlichkeitstheorie und modelltechnik**. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 1990. Heft 1.

KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor**. Ed.Edgard Blücher. Instituto nacional do livro. MEC.1973. p.747.

LANA, G.R.Q.; ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T. Efeito da temperatura ambiente e restrição alimentar sobre o desempenho e composição de carcaça de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 4, p. 1117–1123, 2000.

LAVOR, C.T.L.; FERNANDES, A.A.O.; SOUZA, M.F. Efeito de materiais isolantes térmicos em aviários no desempenho de frango de corte. **Revista Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v. 39, n. 2, p. 308-316, Abr.- Jun., 2008.

LIMA, J.A.K.; ALVES, C.V.A.; MANNO, M.C.; JESUS, M.L.C.; FERNANDES, D.L.; TAVARES, F. Avaliação do ambiente térmico interno em galpões de frangos de corte com diferentes materiais de cobertura na mesorregião metropolitana de Belém. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 51, p. 37-50, Jan. 2009.

MACARI, M.; FURLAN, R.L. Ambiente na produção de aves em clima tropical. In: SILVA, I. J. (Ed.) **Ambiente na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap.2, p. 31-87.

MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JR, H.; PINHEIRO, M. G. Avaliação do microclima de instalações para gado de leite com diferentes recursos de climatização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 263-273, 2004.

MATOS, M.L. **Conforto térmico ambiente e desempenho de frangos de corte, alojados em dois níveis de alta densidade, em galpões com sistemas de ventilação em túnel e ventilação lateral**. 2001. 57p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

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.

MORAES, S. R. P.; TINÔCO, I.F.F.; BAETA, F.C.; CECON, P.R. Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento-amianto e suas diferentes associações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Capina Grande, v.3, p.89-92, 1999.

MOUNT, L.E. 1979. **Adaptation to termal environment. Man and his productive animals**. London:Edward Arnold (Public.) ,1979. 272 p. 272 p.

MOURA, D.J. Ambiência na produção de aves de corte. In: SILVA, I.J.O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap. 2, p. 75 – 149.

MURPHY, G.C.E. **Similitude in engineering**. New Yurk: Ronald Press, 1950. 302p.

NÄÄS, I.A. **Fatores não nutricionais que afetam o desempenho de frangos de corte**. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícola, 1992. Campinas. Anais... Campinas: FACTA, 1992. 12p.

NÄÄS, I.A.; SEVEGNANI, K.B.; MARCHETO, F.G.; ESPELHO, J.C.C.; MENEGASSI, V.; SILVA, I.J.O. Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e betumem, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.21, n.2, p.121-126, 2001.

OLIVEIRA, J.E. SAKOMURA, N. K.; FIGUEIREDO, A.N.; LUCAS JR., J. SANTOS, T.M.B. Efeito do isolamento térmico de telhado sobre o desempenho de frangos de alojados em diferentes densidades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa/MG, v. 29, n. 5, p. 1427-1434, 2000.

OLIVEIRA, T.M.M. de; WILD, M.B.; CHAMBÓ, A.P.S.; KLOSOWSKIS, E.S.; SANGALI, C.P. NAVARINI, F.C. **Avaliação da eficiência de diferentes tipos de telhados cerâmicos por meio da carga térmica radiante**. In: ZOOTECH, 2009, Águas de Lindóia, SP.

PEREIRA, C.L. **Avaliação do conforto térmico e do desempenho de frangos de corte confinados em galpão avícola com diferentes tipos de coberturas**. 2007. 103 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

PEIXOTO, R.A.F. **Desenvolvimento de placas de concreto leve de argila expandida aplicadas a coberturas de instalações para produção animal**. 2004. 157p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2004.

PITARELLO, D.J.M. **Estimativa de um índice de conforto térmico aplicado à produção de suínos utilizando modelos em escala distorcida**. 1994. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, 1994.

PRADO, R.T.A.; FERREIRA, F.L. Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials. **Energy and Building**. Belgrade, v. 37, p. 295-300, 2005.

REYNOLDS, W.C. **Thermodynamics**. Tokyo. Internacional Student Edition, 1986. p.173

RIVERO, R.O. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2. ed. Porto Alegre: D. C. Luzzato, 1986. 240 p.

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.

RODRIGUES, V.C.; SILVA, I.J.O.; VIEIRA, F.M.C.; NASCIMENTO, S.T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 55, n.3, p.455-459, 2011.

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

SAMPAIO, C.A. de P.; CARDOSO, C.O.; SOUZA, G.P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.230-236, 2011.

SANTOS, R.C.; TINÔCO, I.F.F.; PAULO, M.O. CORDEIRO, M.B.; SILVA, J.N. Análise de coberturas com telhas de barro e alumínio, utilizadas em instalações animais para duas distintas alturas de pé-direito. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.6, p.142-146, 2002.

SANTOS, P.A. YANAGI JÚNIOR, T.; TEIXEIRA, V.H.; FERREIRA, L. Ambiente térmico no interior de modelos de galpões avícolas em escala reduzida com ventilação natural e artificial dos telhados. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 575 – 584, 2005.

SARMENTO, L.G.V.; DANTAS, R.T.; FURTADO, D.A.; NASCIMENTO, J.W. B.; SILVA, J. H.V. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.26, p.117-122, 2005.

SARTOR, V.; BAETA, F.C.; ORLANDO, R.C.; LUZ, M.L.; TINÔCO, I.F.F. Efeito de sistemas de resfriamento evaporativo em instalações para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.2, p.87-97, 2000.

SAS INSTITUTE. **SAS 9.2**. Cary: SAS Institute Inc., 2009.

SENTELHAS, P.C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. 97p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SEVEGNANI, K.B.; GHELFI FILHO, H.; SILVA, I.J.O. Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, n.1, p.1-7, 1994.

SEVEGNANI, K.B. **Avaliação de tinta cerâmica em telhados de modelos em escala reduzida, simulando galpões para frangos de corte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997.

SILVA, R.G. **Introdução à Bioclimatologia Animal.** São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SILVA, I.J.O.; GUELFILHO, H.; CONSIGLEIRO, F.R. **Influências dos materiais de cobertura no conforto térmico de abrigos.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19, 1990, Piracicaba. Anais... Piracicaba: SBEA, 1990. p.93-106.

SILVA, I. J. O. ; GHELFILHO, H. ; CONSIGLIERO, R. F. . Influência dos materiais de cobertura no conforto térmico de abrigos. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 43-55, 1991.

SONODA, L.T.; MOURA, D.J.; CARVALHO, T.; CARVALHO, T.M.R. de; BUENO, L.G. F.; MASSARI, J.M. **Uso da Termografia na Avaliação da Eficiência Térmica de Telhas de PVC e Fibrocimento.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2010, Vitória. Anais... Vitória, 2010. p.1-4.

SOUBDHAN, T. FEUILLARD, T. BADE, F. Experimental evaluation material in roofing system under tropical climate. **Solar Energy**, Kidlington, v. 79, p. 311-320, 2005.

SUEHRCKE, H.; PETERSON, E.L.; SELBY, N. Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. **Energy and Buildings**, Belgrade, v. 40, p. 2224-2235, 2008.

SYDENSTRICKER, K. V. **Análise de lanternim em edificações para suínos, através de modelos em escala.** 1993. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993 .

TEIXEIRA, V.H. **Estudo dos índices de conforto em duas instalações de frango de corte para as regiões de Viçosa e Visconde do Rio Branco, MG.** 1983. 59p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambientação) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

TINÔCO, I. F. F. **Resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de frangos de corte.** 1988. 92 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambientação) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1998.

TINÔCO, I.F.F. **Efeito de diferentes sistemas de acondicionamento de ambiente e níveis de energia metabolizável na dieta sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte, em condições de verão e outono.** 1996. 173 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.

TONOLI, G.H.D.; SANTOS, S.F.; RABI, J.A.; SANTOS, W.N.; SAVASTANO, H.J. Thermal performance of sisal fiber-cement roofing tiles for rural constructions. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.68, n.1, p.1-7, 2011.

TRINDADE, J.L. **Diagnóstico ambiental e índices zootécnicos em galpões de poedeiras no semi-árido paraibano**. 2006. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

VECCHIA, F. **Comportamento térmico de sistemas de cobertura**. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. São Paulo: Eternit, 2003. v. 01. 74 p.

VITTORINO, F.; SATO, N.M.N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicando em coberturas. **Revista de Tecnologia da Construção – Téchné**, São Paulo, n. 75, p. 66-70, 2003.

WRAY, C.; AKBARI, H. The effects of roof reflectance on air temperatures surrounding a rooftop condensing unit. **Energy and Buildings**, Belgrade, v.40, p.11–28, 2008.

ZANOLLA, N.; TINÔCO, I.F.F.; BAÊTA, F.C.; CECON, P.R.; MORAES, S.R.P. Sistemas de ventilação em túnel e lateral na criação de frangos de corte em alta densidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.361-366, 1999.