



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

## Dissertação de Mestrado

ANÁLISE DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM MODELOS REDUZIDOS DE  
INSTALAÇÕES AGROPECUÁRIAS COM FORRO DE RESÍDUO DE EVA

NERANDI LUIZ CAMERINI

Campina Grande  
Paraíba

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA**

**ANÁLISE DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM MODELOS REDUZIDOS DE  
INSTALAÇÕES AGROPECUÁRIAS COM FORRO DE RESÍDUO DE EVA**

**NERANDI LUIZ CAMERINI**

**CAMPINA GRANDE – PB**  
**DEZEMBRO 2008**

**NERANDI LUIZ CAMERINI**

**ANÁLISE DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM MODELOS REDUZIDOS DE  
INSTALAÇÕES AGROPECUÁRIAS COM FORRO DE RESÍDUO DE EVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do curso, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

**Orientador: Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento**

**Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Lia Fook**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**DEZEMBRO 2008**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFSCG

C145a

2008 Camerini, Nerandi Luiz

Análise de variáveis ambientais em modelos reduzidos de instalações agropecuárias com forro de resíduo de EVA / Nerandi Luiz Camerini. — Campina Grande, 2008.

59 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento; Co-orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Lia Fook

1. Forro 2. Resíduo de EVA 3. Conforto Térmico 4. Variáveis Ambientais I. Título.

1 Instalações Agrícolas

CDU - 631.2 (043)

*Aos meus Pais, Norandi e Nelsa: As palavras nunca serão suficientes para expressar a gratidão e o respeito que tenho para com aqueles que não só me deram a vida, como também orientaram meus passos.*

*Foi por vocês que cheguei ate aqui. É por vocês que seguirei em frente!*

Minha Homenagem

*“Se o desejo de alcançar a meta estiver vigorosamente vivo dentro de nós, não nos faltarão forças para encontrar os meios de alcançá-la e traduzi-la em atos de nossos projetos.”*

(Albert Eintein, cientista)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, inteligência suprema, causa primeira de todas as coisas;

A minha irmã Neila, pela compreensão e entendimento;

A Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade oferecida;

Ao Professor Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento, pela orientação, amizade, confiança, incentivo e entusiasmo na realização desta pesquisa;

Ao Professor Dr. Marcus Vinícius Lia Fook, pela orientação e amizade na condução desta pesquisa;

À coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na pessoa de Josivanda P. Gomes;

Aos professores Dr. Dermeval A. Furtado, Dr. Antônio F. Leal, Dr. Juarez B. Paes, Dr. Augusto de Lira Filho, pela amizade e ensinamentos;

A secretária Rivanilda Diniz, pela atenção, amizade e dedicação;

Aos funcionários do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente, Nilson Barbosa e Edivanildo Oliveira;

Ao colega Elvis Andrade, pelo incansável apoio na instalação e condução do experimento a campo;

Aos colegas José Pinheiro Neto, Fernanda de Mello Pinheiro, Valneide Rodrigues, Luciano Mendes e Luis Felipe de A. Lucena pela amizade e apoio direto e indireto na realização desta pesquisa;

Aos colegas do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelo convívio e amizade e os demais, pela ajuda na superação das dificuldades e até mesmo os ausentes, mas que sempre me motivaram a conquistar meus ideais, obrigado;

A todos que de alguma maneira me ajudaram a realizar este trabalho.

## **BIOGRÁFIA DO AUTOR**

Nerandi Luiz Camerini – filho de Norandi Luiz Camerini e Nelsa J. Camerini nasceu em Campinas do Sul -RS, em 24 de Novembro de 1982.

Em 2000, iniciou o Curso de Engenharia Agrícola na Universidade regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim – RS, diplomando-se em Janeiro de 2005.

Em Dezembro de 2006, concluiu o curso de Especialização em Gestão em Agronegócios na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim – RS.

Em março de 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande-PB, desenvolvendo sua Dissertação de Mestrado na área de Construções Rurais e Ambiente.

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURA

### LISTA DE SIMBOLOS

### RESUMO

### ABSTRACT

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                                      | 1  |
| 1.1 Objetivos.....   | 2  |
| 1.1.1 Objetivos específicos.....                               | 2  |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....                           | 4  |
| 2.1 A importância do bem-estar animal.....                     | 4  |
| 2.2 Transferência de calor nas Coberturas.....                 | 6  |
| 2.2.1 Conceito de isolamento térmico.....                      | 8  |
| 2.3 Teoria da similitude ou semelhança física.....             | 8  |
| 2.3.1 Protótipos e Modelos Reduzidos.....                      | 10 |
| 2.4 Telhas de barro, cimento amianto e metálicas.....          | 12 |
| 2.5 Recursos para redução de calor através das coberturas..... | 13 |
| 2.5.1 Forro.....   | 14 |
| 2.5.2 Aspersão por água.....                                   | 15 |
| 2.5.3 Pintura.....   | 16 |
| 2.6 Orientação das instalações.....                            | 18 |
| 2.6.1 Vizinhança.....  | 19 |
| 2.7 Resíduo de Etileno-Acetato de Vinila – EVA.....            | 20 |
| 2.7.1 Constituição do composto de EVA.....                     | 22 |
| 2.8 Índices térmicos ambientais.....                           | 23 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.8.1 Correção dos valores de ITGU e CTR.....                                      | 25        |
| <b>3 METODOLOGIA.....</b>  | <b>27</b> |
| 3.1 Características das instalações Agropecuárias.....                             | 27        |
| 3.2 Características dos modelos reduzidos.....                                     | 27        |
| 3.3 Resíduo de EVA.....  | 28        |
| 3.3.1 Classificação granulométrica do resíduo.....                                 | 29        |
| 3.3.2 Preparo e confecção das placas.....  | 29        |
| 3.3.3 Utilização das placas nos modelos reduzidos.....                             | 30        |
| 3.4 Instrumentação e medições dos modelos reduzidos.....                           | 31        |
| 3.4.1 Velocidade do ar.....  | 31        |
| 3.4.2 Sensores de temperatura.....   | 32        |
| 3.5 Caracterização climática de Campina Grande.....                                | 33        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>  | <b>34</b> |
| 4.1 Avaliações do conforto térmico ambiental.....                                  | 34        |
| 4.1.1 Temperatura da telha superior, temperatura do forro superior e inferior..... | 34        |
| 4.1.2 Temperatura ambiente.....  | 36        |
| 4.1.3 Temperatura de globo negro.....  | 38        |
| 4.1.4 Temperatura do bulbo úmido.....  | 39        |
| 4.1.5 Índice de temperatura e umidade.....   | 40        |
| 4.1.6 Índice de temperatura de globo negro e umidade.....                          | 42        |
| 4.1.7. Carga Térmica Radiante – CTR.....   | 44        |
| 4.1.8 Umidade relativa.....  | 46        |
| 4.1.9 Velocidade do vento.....   | 48        |
| <b>5 CONCLUSÕES.....</b>   | <b>50</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIA.....</b>   | <b>51</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1- Esquema das trocas de calor em um telhado.....  | 7  |
| Figura 2- Orientação Leste/Oeste.....   | 19 |
| Figura 3- Pellets de EVA-19.....  | 20 |
| Figura 4- Estrutura do resíduo etileno acetato de vinila. (a) monômeros<br>formadores e copolímero; (b) Arranjo molecular.....                  | 21 |
| Figura 5- Configuração típica de uma placa expandida de EVA.....  | 22 |
| Figura 6- Comportamento do material em função do Teor de Acetato.....   | 22 |
| Figura 7- Posicionamento dos modelos reduzidos no campo.....  | 28 |
| Figura 8- Depósito de EVA.....  | 28 |
| Figura 9- Equipamento para classificação Granulométrica do Resíduo.....   | 29 |
| Figura 10- Placa de resíduo de EVA.....   | 30 |
| Figura 11- Forro de resíduo de EVA.....   | 30 |
| Figura 12- Sistema de aquisição de dados.....   | 31 |
| Figura 13- Modelos reduzidos próximos à Estação Meteorológica da Unidade<br>Acadêmica de Meteorologia da UFCG.....                              | 32 |
| Figura 14- Posição e fixação dos termopares na telha.....   | 32 |
| Figura 15- Posicionamento dos sensores.....   | 33 |
| Figura 16- Valores médios da temperatura superior e inferior do telhado, e da<br>temperatura superior e inferior do forro no período frio ..... | 35 |
| Figura 17- Valores médios da temperatura superior e inferior do telhado, da<br>temperatura superior e inferior do forro no período quente ..... | 35 |
| Figura 18- Valores médios da Temperatura ambiente no período frio .....   | 37 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 19- Valores médios da Temperatura ambiente no período quente .....         | 37 |
| Figura 20- Valores médios da Temperatura de globo negro no período frio.....      | 38 |
| Figura 21- Valores médios da Temperatura de globo negro no período quente.....    | 38 |
| Figura 22- Valores médios da Temperatura do bulbo úmido no período frio .....     | 40 |
| Figura 23- Valores médios da Temperatura do bulbo úmido no período quente .....   | 40 |
| Figura 24- Valores médios do Índice de temperatura e umidade do período frio..... | 41 |
| Figura 25- Valores médios do Índice de temperatura e umidade do período quente..  | 41 |
| Figura 26- Valores médios de ITGU, correspondente ao período frio.....            | 42 |
| Figura 27- Valores médios de ITGU, correspondente ao período quente.....          | 43 |
| Figura 28- Valores médios da CTR do período frio .....                            | 45 |
| Figura 29- Valores médios da CTR do período quente.....                           | 46 |
| Figura 30- Valores médios da umidade relativa do período frio.....                | 47 |
| Figura 31- Valores médios da umidade relativa do período quente.....              | 48 |

## **LISTA DE SIMBOLOS**

CTR – Carga térmica radiante

CTR corr – Carga térmica radiante corregido

EVA – Etileno Acetato de Vinila

ITU – Índice de temperatura e umidade

ITGU – Índice de temperatura de globo negro e umidade

ITGU corr – Índice de temperatura de globo negro e umidade corrigido

UR – Umidade relativa

FI – Forro inferior

FS – Forro superior

TI – Telha inferior

TS – Telha superior

## RESUMO

CAMERINI, Nerandi Luiz. **Análise de variáveis ambientais em modelos reduzidos de instalações agropecuárias com forro de resíduo de EVA**. 2008. p.59 . Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Construções Rurais e Ambiente) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do forro de EVA (etilenoacetato de vinila) no desempenho das condições ambientais em galpões para a produção animal, utilizando modelos reduzidos. O conforto térmico ambiental foi avaliado pelo índice de temperatura e umidade (ITU), pelo índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), pela carga térmica de radiação (CTR) e pela umidade relativa do ar (UR) em período chuvoso e período seco. Este trabalho foi realizado com dois tipos de modelos reduzidos: sem forro (SF) e com forro (CF), confeccionados na classe geometricamente similar, em escala 1:10, e compreendendo um módulo de seção transversal de galpão convencional para animais com as seguintes características: cobertura em duas águas, largura de 20,0 m, pé-direito de 3,5 m, beiral de 1,0 m e inclinação de 15° para coberturas com telhas de zinco. Para caracterizar o ambiente térmico, os dados foram registrados durante o período experimental sendo que 25 dias no período chuvoso e 25 dias no período seco em intervalos de dez em dez minutos nas áreas internas e na superfície da cobertura. Foram registrados nesta pesquisa dados referentes as seguintes variáveis: temperatura da telha superior (TS) e da telha inferior (TI), do forro superior (FS) e forro inferior (FI), do bulbo seco, bulbo úmido, globo negro e velocidade do vento. Com base nos dados coletados, foi determinado o comportamento do ambiente no interior dos modelos reduzidos (SF) e (CF), com auxílio dos seguintes índices bioclimáticos: índices de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica de radiação (CTR). Nas condições em que este trabalho foi realizado, e com resultados obtidos, conclui-se que a presença de forro (EVA) proporciona conforto térmico nas instalações agropecuárias, reduzindo a temperatura do ambiente nos períodos mais críticos.

Palavras chaves: forro, resíduo de EVA, conforto térmico, variáveis ambientais

## ABSTRACT

CAMERINI, Nerandi Luiz. **Analysis of environmental variables in reduced models of agricultural facilities with lining of residue of EVA**. 2008. p.59. Dissertation (Master in Agricultural Engineering – Structures and Environment) Federal University of Campina Grande, Campina Grande – PB.

The study aimed to evaluate the effect of the EVA (ethylene-vinyl acetate) ceiling on the performance of environmental conditions inside livestock feeding operations, using reduced models. The thermal comfort environment principle was assessed by the index of temperature and moisture (ITM), the index of black globe temperature and humidity (IBGTU), the thermal load radiation (TRL) and the relative humidity (RH) in the rainy season and dry season. This work was carried out in reduced models: without EVA ceiling (WIC) and with EVA ceiling (WOC), both were built geometrically similar in a scale of 1:10, and had a cross-section module for current animal barns with the following characteristics: two roof planes, width of 20.0 m, foot-right of 3.5 m, 1.0 m of overhang, and a roof covered with zinc tiles at a 15° inclination. To characterize the thermal environment, measurements were recorded during each trial, 25 days in the rainy season and 25 days in the dry season, measuring the inside of the barn and the roof in ten minutes intervals. There were recorded in this research data for the following variables: temperature values on the ceiling (WIC), below the ceiling (FI), on the superior tile (ST) and on the inferior tile (IT), the dry bulb, wet bulb and black globe temperatures and wind speed. Based on the collected data, temperature behavior for the reduced models WIC and WOC was evaluated through the following bioclimatic indexes: temperature and humidity index (THI), index of black globe temperature and humidity (IBGTU) and thermal load radiation (TLR). Under the conditions of the work that was carried out, and based on the obtained results, it can be concluded that the presence of EVA ceiling provides thermal comfort inside the facilities.

**Keywords:** ceiling, residue of EVA, thermal comfort, environmental variables

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta enorme área territorial e clima diversificado entre as regiões do país. Algumas possuem invernos caracterizados por temperaturas baixas e verões rigorosos e, em grande parte do país, verificam-se temperaturas elevadas durante todo ano, associadas a uma umidade relativa também alta (Souza, 2004).

Em países tropicais e subtropicais, o maior ganho térmico em edificações ocorre principalmente através da cobertura por ser a superfície mais exposta à radiação solar. O acréscimo na temperatura interna é percebido, principalmente, nas instalações que possuem telhas aparentes, ou seja, quando a mesma não possui forro (ou laje) para separar o espaço do restante da edificação. Sabe-se que, com o uso de telhas de cimento amianto, o desconforto térmico é maior do que nas telhas de barro, pois uma parte da energia que incide na superfície das telhas de barro é gasta no processo de evaporação da água, absorvida durante a noite devido à condensação do vapor de água existente no ar. Assim, o fluxo de calor que atinge o interior da instalação é menor se a instalação for comparada com a que tiver telhas de cimento amianto (Nããs, 1994).

O desconforto térmico, gerado por um ambiente inadequado, implica em estresse devido ao esforço realizado pelo animal com a finalidade de manter sua temperatura corporal constante. Esta condição de estresse reflete-se na queda de imunidade, no surgimento de doenças, em altas taxas de mortalidade, na diminuição dos índices de produtividade, na perda da qualidade da carne e dos derivados e, conseqüentemente, em prejuízos para o produtor.

O estresse térmico dos animais, no período de verão, pode ser reduzido consideravelmente, protegendo-os da radiação solar direta. Isso pode ser conseguido, utilizando-se telhados com alto valor de isolamento térmico e com alto valor de reflexão da radiação. Desta maneira, o uso de materiais que minimizem a transferência de calor através da cobertura para o ambiente interno se faz necessário, a fim de reduzir a temperatura interna das construções e proporcionar conforto térmico aos animais, diminuindo assim o consumo de energia para resfriamento da edificação.

As instalações recebem diretamente a ação do clima (insolação, temperatura, ventos, chuva), devendo, por isso, serem construídas com a finalidade principal de diminuir estas influências que podem agir negativamente nos animais.

O material de cobertura é um dos principais fatores no conforto térmico ambiental; pois, em função de suas características, tem-se a quantidade de calor que entra e que sai da construção. Para proporcionar um ambiente menos estressante para o animal, melhorias adicionais em uma cobertura podem ser conseguidas com associação de materiais isolantes e utilização de forros.

Contudo, vários trabalhos desenvolvidos na área de conforto térmico envolvem o uso de modelos reduzidos. Neste aspecto, o uso de modelos reduzidos foi usado para determinar o desempenho térmico de uma instalação, verificando a importância do uso de forro na diminuição da temperatura no interior das instalações, almejando economia em energia elétrica, investimentos em ventiladores, nebulizadores e aspersores, contribuindo ainda com a redução de custo na pesquisa, permitindo realizar alterações nos modelos quando comparado com uma instalação de escala real.

Esse trabalho visou testar o uso de forro de composto de EVA (Etileno-Acetato de Vinila) em modelos reduzidos com cobertura de zinco, em comparação a um modelo reduzido com ausência de forro, para proporcionar um melhor ambiente para os animais.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o conforto térmico de instalações destinadas à produção animal utilizando forro do resíduo de Etileno-Acetato de Vinila-EVA.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Avaliar as condições de interação do resíduo de Etileno-Acetato de Vinila-EVA;
- Estabelecer temperatura e pressão para plastificar o resíduo de Etileno-Acetato de Vinila-EVA;
- Contribuir para a redução do descarte de EVA, diminuindo assim o impacto ambiental;
- Calcular os índices bioclimáticos ITGU, ITU, CTR e avaliar o conforto ambiental;

- Construir modelos reduzidos de instalações Agropecuárias destinados à produção animal;
- Instalar forro de resíduo de EVA e avaliar as variáveis ambientais.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 A importância do bem-estar animal**

O bem-estar animal, diante de um determinado ambiente, atualmente, é considerado de extrema importância para o setor de produtos de origem animal. A qualidade de vida de animais confinados, com objetivo de grandes produções – leite, carne e ovos – depende dos cuidados que lhe são atribuídos. Este fato transformou-se em assunto de interesse da sociedade.

Em fevereiro de 2004, a Organização Mundial de Saúde Animal (*office international des epizooties, oie*) salientou a importância de padrões de bem-estar animal para serem adotados por todos os países exportadores de produtos de origem animal. Isso afetou os países que não obedeceram às reivindicações feitas. Em consequência dessa norma, a demanda de conhecimentos a respeito do bem-estar animal aumentou tanto em grandes setores de produção quanto para o setor da pesquisa científica. O objetivo foi conseguir meios de informações em relação aos problemas que afetam os animais em termos de stress (Lund, 2006).

Os estudos sobre bem-estar animal começaram a ganhar ênfase não somente pelo estudo propriamente dito, mas também pelo interesse econômico e público sobre como os animais são criados (Fraser, 1999).

O conhecimento prévio do comportamento animal é uma das formas de diagnosticar possíveis situações de desconforto que possam vir a prejudicar a produtividade e o bem-estar de animais confinados. As pesquisas nesta área geram informações importantes quanto à adaptação a certos agentes estressores, tais como recursos de termorregulação e de controle de situações relacionadas ao ambiente em que vive (Ferreira, 2005).

O confinamento é a forma de se obter maior controle sobre a produção e a saúde animal, porém, problemas relacionados ao bem-estar animal alteram sua produtividade, devido à necessidade de adaptação para alcançar o estado de conforto, e isto resulta em

respostas neuroendócrinas, fisiológicas e comportamentais que visam manter a homeostase animal (Barnett, 1990).

Segundo Ferreira (2005), a dificuldade de medir as variáveis fisiológicas em condições de campo faz com que outros métodos sejam objetos de atenção para a extração de informações como o comportamento animal, já que este é fortemente influenciado pelo ambiente em que o animal vive, e seus comportamentos serão então consequências deste meio.

Leal (1990) cita que, na natureza, os animais selvagens sobrevivem graças à sua habilidade de locomoção e de seleção de ambiente confortável e adequado. Desde que o homem começou a domesticar os animais, tem restringido a sua “liberdade” de selecionar o melhor ambiente, levando a produção animal, muitas vezes, para regiões em que o clima é desfavorável ao seu pleno desenvolvimento e à sua produção. Por este motivo, cabe ao homem fornecer as condições ambientais ideais aos animais.

Analisando o sistema produtivo, de acordo com (Bauke, 1998) e (Palmério, 1998), verifica-se que os ganhos com a produção apresentam margens líquidas pequenas em relação ao capital investido. Neste caso, o aumento do retorno financeiro não é possível a partir do aumento do preço de produto, mas com o aumento da produtividade e da escala de produção. Levando em conta que – em relação ao capital investido – as margens de lucro são pequenas, o aumento da produtividade e, conseqüentemente, do lucro, só é possível com o investimento de tecnologia, abrangendo as instalações envolvidas no sistema. Estas instalações devem ter as exigências de durabilidade, economicidade, funcionalidade e conforto ambiental.

O desconforto – gerado por ambiente inadequado – implica em estresse, em virtude do esforço realizado pelo animal com a finalidade de manter sua temperatura corporal constante. Um animal sofre stress térmico quando produz mais calor do que pode dissipar. Para se ajustar, ele é obrigado a reduzir o consumo de alimentos e sua produção necessariamente declina (Bond, 1954).

O abrigo animal tem por objetivo dar-lhe conforto para que possa aumentar sua produção. Esse conforto não será medido da mesma forma como essa sensação se faz ao ser humano, mas sob a forma de produção ou de produtividade. Com isso, pode-se reproduzir e representar as condições ambientais internas e externas, correspondentes ao inverno e ao verão em instalações (Murphy, 1950), (Pattie e Milne, 1966), (Neubauer, 1972), (Timmons e Baughman, 1981), (Dantas, 1995) e (Baêta et al., 1996) em que têm empregado a técnica de modelagem e a análise dimensional em laboratório. Os modelos

reduzidos possibilitam economia na investigação e melhor controle das variáveis experimentais. Estes estudos com modelos reduzidos baseiam-se na teoria da similitude, que tem por finalidade estabelecer relações que permitam previsões reais, feitas a partir de observações em modelos reduzidos (Jentzsch, 2002).

O uso de modelos reduzidos oferece condições para avaliar os fatores ambientais que têm maior influência sobre o conforto térmico ambiental, em que a temperatura, a umidade relativa do ar, o movimento do ar e a radiação solar são os que têm maior influência (Buffington et al., 1981), (Rivero, 1986). Entretanto, a utilização isolada destes fatores não permite caracterizar adequadamente o ambiente térmico. Por esta razão, vários autores têm proposto a utilização de índices para caracterizar o ambiente térmico como: a temperatura do globo negro (TGN), o índice de temperatura e umidade (ITU), o índice de temperatura do globo negro e úmido (ITGU) e a carga térmica de radiação (CTR), que combinam o efeito de dois ou mais fatores e que são parâmetros importantes para subsidiar o planejamento e o projeto de sistemas produtivos.

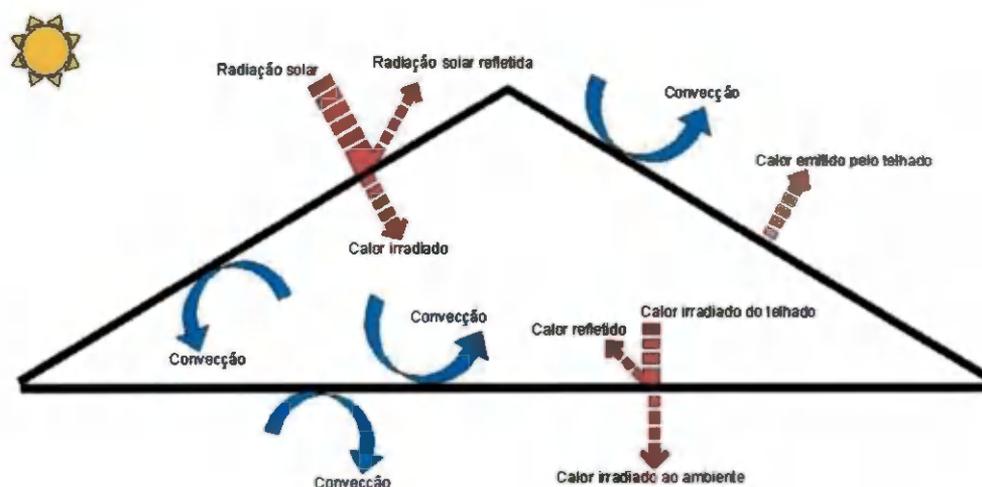
Portanto, de todos os fatores que afetam o ambiente, o clima é, sem dúvida, o mais importante, sendo que a eficiência produtiva e reprodutiva de qualquer animal se relaciona com estímulos aos ambientes onde vivem. Contudo, existe – para cada espécie – uma faixa de condições ambientais, denominada zona de conforto térmico, na qual o animal apresenta os melhores resultados com o menor gasto energético e com o mínimo esforço dos mecanismos termorregulatórios, possibilitando melhor conversão alimentar, rápido crescimento corporal e menor mortalidade (Curtis, 1983).

No entanto, as instalações tornaram-se – ao longo dos anos – um dos conceitos mais importantes na produção animal, pois ela representa o local onde os animais permanecerão durante sua vida. Cabe ao homem fornecer as condições adequadas ao desempenho dos animais, para que possa expressar o máximo do seu potencial genético.

## **2.2 Transferência de Calor em Coberturas**

Há duas formas de trocar de calor dentro de uma estrutura: através do calor sensível e do calor latente. O calor sensível envolve variação de temperatura como: convecção, radiação e condução, e o calor latente envolve mudanças de estado como: condensação e evaporação (Nããs, 1989). Nos prédios horizontais, a maior parte exposta à radiação solar é o telhado, que absorve grande parte desta energia e a transfere para o interior das

edificações, aumentando os ganhos térmicos e, conseqüentemente, elevando a temperatura interna. A radiação solar é composta por radiação infravermelha de onda curta que, ao incidir sobre a superfície das telhas, são aquecidas. Uma parcela deste calor é perdida por convecção e por irradiação ao ambiente externo, e a outra parcela – absorvida pelas telhas – é transmitida ao espaço correspondente entre o forro e o telhado. No espaço entre a cobertura e o forro, o calor é transferido por convecção e por radiação, (Vittorino et al., 2003). O forro absorve parte deste calor e o transmite para o espaço interno das construções, conforme ilustra a Figura 1.



**Figura 1.** Esquema das trocas de calor em um telhado (Michels, 2007)

O desempenho térmico das coberturas depende das características dos elementos que os compõem, como por exemplo, o material das telhas, a cor da superfície externa, a emissividade e a ventilação existente na camada de ar correspondente ao espaço entre a cobertura e o forro.

No Brasil, as telhas – frequentemente utilizadas na construção – são constituídas de dois materiais: cimento amianto ou barro. As telhas de cimento amianto, geralmente, são utilizadas na maioria das edificações por possuírem um custo menor em relação às telhas de barro. O que faz com que as telhas de barro tenham melhor desempenho térmico do que as de fibrocimento é a capacidade de absorção de água. Uma vez que a temperatura superficial da telha, durante a noite, é menor que a do ar, uma quantidade de água pode condensar e ser absorvida pela telha. Desta maneira, parte da radiação incidente durante o dia é gasta no processo de evaporação da água absorvida. Somente depois de terminado este processo, é que as telhas começam a se aquecer. Outra razão para que as telhas de

barro apresentem melhor desempenho térmico refere-se à infiltração do ar pelos espaços entre as telhas (Vittorino et al., 2003).

Segundo Morgan (1990), a radiação solar representa cerca de 75% da carga térmica transferida, e os principais fatores que interferem nessa transferência térmica são o material de cobertura, a orientação da construção, a projeção do telhado, a insolação e a vegetação presente na circunvizinhança.

### **2.2.1 Conceito de isolamento térmico**

O termo materiais isolantes refere-se a materiais que possuem alto grau de resistência ao fluxo de calor e são usados principalmente para este fim. Os isolantes podem ser formados a partir de materiais fibrosos ou granulares e contêm pequenas bolsas de ar.

A finalidade de isolar termicamente é dificultar a transferência de calor entre dois ambientes que se encontram a níveis diferentes de temperatura. O isolamento térmico visa: economia de energia, estabilidade operacional, conforto térmico, evitar a condensação e proteger a estrutura (Torreira, 1980). Assim, a razão de isolar termicamente é controlar ao máximo as condições térmicas de um meio habitado diante dos agentes térmicos (Rivero, 1985).

Para reduzir a transferência de calor de um corpo para o outro, é necessário a presença de um material que não seja bom condutor térmico. Não existe nenhum material que possa impedir totalmente a passagem de calor. Um bom isolante térmico é um material cuja condutividade térmica é baixa em relação à dos materiais usuais. Normalmente, os materiais isolantes térmicos são formados por células de gás ou simplesmente de ar, pois gases estagnados são maus condutores (Cunha & Neumann, 1979).

Dentre as formas para se isolar um ambiente, pode-se utilizar: Lâmina refletiva, Lã de Vidro, Lã de Rocha, Silicato de Cálcio.

### **2.3 Teoria da similitude ou semelhança física**

A primeira condição para a semelhança física é a semelhança geométrica. Segundo Carneiro (1996), em dois processos físicos semelhantes, os parâmetros envolvidos são os

mesmos. A relação entre a magnitude de uma grandeza nos dois processos é também chamada fator de escala. Na experimentação com modelos, define-se como fator de escala a relação entre a magnitude da grandeza no modelo e no protótipo. Se o modelo for reduzido, a escala geométrica será menor que a unidade. Em geral, a escala é apresentada como fração tendo a unidade como numerador e é designada com o símbolo  $k$  e  $\lambda$ .

$$K_x = \lambda_x = x_m / x_p = 1 / x_p / x_m = 1: (x_p / x_m) \quad (1)$$

As condições de semelhança físicas podem ser facilmente deduzidas das equações diferenciais do fenômeno, quando conhecidas.

Para que haja semelhança física, são condições necessárias e suficientes que todos os números  $\Pi$  e fatores de forma tenham os mesmos valores nos dois processos. As funções de forma, em apresentação adimensional, devem coincidir.

$$\Pi_{i,m} = \Pi_{i,p} = 1 \text{ a } (n - r) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (\text{fatores de forma})_m &= (\text{fatores de forma})_p \\ (\text{funções de forma})_m &= (\text{funções de forma})_p \end{aligned}$$

Satisfeitas essas condições, as relações funcionais adimensionais do modelo e do protótipo coincidirão, e será possível prever a magnitude da variável dependente, ou a incógnita do problema, no protótipo quando determinada experimentalmente sua magnitude no modelo. Contudo, Fourier Apud (Carneiro, 1996) chama a atenção para o fato de que se pode passar do comportamento do protótipo para o do modelo se adotamos no modelo unidades de medida iguais às unidades de medida do protótipo multiplicadas pelos fatores de escala correspondentes. Os principais objetivos da teoria da similitude são: estabelecer relações necessárias que permitem previsões reais, feitas de observação em modelos reduzidos e/ou distorcidos, e estabelecer o relacionamento existente entre variáveis envolvidas nos fenômenos físicos, nos quais o dado mais pertinente pode ser sistematizado com segurança. Neste caso, utilizam-se a homologia e a analogia. Na homologia, o original e o modelo apresentam as mesmas qualidades físicas básicas, sendo que a diferença entre ambos é, sobretudo, quantitativa na sua forma. O uso da homologia resulta em modelos fisicamente semelhantes. Diferentemente, na analogia, o original e o modelo apresentam qualidades básicas distintas, mas têm em comum característica funcional e estrutural. O uso de analogia resulta em modelos fisicamente análogos (Murphy, 1950), (Koltzsch & Walden, 1990). O uso de modelos reduzidos em escala

distorcida tem sido adotado para reproduzir instalações com grande discrepância entre as dimensões horizontais e verticais, como é o caso de instalações avícolas. Segundo Murphy (1950), existem três classes de modelo: o dissimilar, em que não existe semelhança entre o modelo reduzido e a instalação original; o geometricamente similar, em que o protótipo é uma reprodução em escala da instalação; e o distorcido, em que o protótipo é uma reprodução do modelo real, usando-se, porém, mais de uma escala, normalmente, uma escala para as dimensões horizontais e outra para as verticais. Hahn et al. (1961) não encontraram diferenças. Quando estudando modelos reduzidos, observaram o comportamento térmico de uma instalação a fim de determinar a independência da escala dos modelos às respostas térmicas apresentadas.

### **2.3.1 Protótipos e modelos reduzidos**

Segundo Jentzch (2002), a utilização de protótipos – primeiro exemplar de um objeto – para o estudo do desempenho das edificações, apresenta como vantagem a possibilidade de realizar, em condições de produção, permitindo estudar não apenas o comportamento térmico, mas também a avaliação do efeito sobre a produtividade e sobre a rentabilidade. Entretanto, o custo envolvido para a realização do experimento é elevado por envolver a construção de um abrigo completo, além de dificultar a otimização do produto, pois qualquer alteração no projeto para melhorar o desempenho envolve um custo de mão de obra, material e tempo, sendo que estas alterações podem não ter o efeito visado.

O uso de modelos reduzidos de abrigos para a produção animal tem como principal limitação a impossibilidade de realizar os testes em condições de produção, sendo apenas possível a simulação do calor dissipado pelos animais e da umidade adicionada ao meio. Para a avaliação do comportamento térmico do projeto, entretanto, a realização de experimentos deste tipo apresenta várias vantagens como: o baixo custo de material, a mão de obra e o tempo envolvido. Outro fator importante é a possibilidade de otimização do produto, uma vez que quaisquer alterações para melhorar o desempenho do projeto podem ser realizadas com maior facilidade e com menor custo. Além destas vantagens, os ensaios – utilizando modelos reduzidos – proporcionam ainda maior segurança na construção de protótipos para a avaliação do desempenho em condições de produção (Jentzsch, 2002). A qualidade está diretamente relacionada com o nível de detalhamento e com os materiais empregados na confecção do modelo. Quanto mais exata for a reprodução dos detalhes

geométricos e das propriedades termofísicas dos materiais do protótipo, maior será a similitude de comportamento entre eles (Jentzsch, 2002).

O uso de modelos reduzidos para determinar o comportamento térmico de abrigos foi estudado por (Hahn et al., 1961). O protótipo utilizado foi um abrigo portátil para suínos, fechado em três de seus lados, medindo 2,40m por 3,65m e altura de 1,80m, e dois modelos reduzidos nas escalas 1:2 e 1:4. Testes iniciais, utilizando termômetros de globo com 0,15m de diâmetro, localizados sobre o centro do abrigo, a uma altura de 0,46m no protótipo e nos modelos reduzidos na escala correspondente, mostraram uma diferença significativa, ao nível de 1% de probabilidade entre as cargas térmicas radiantes dos três abrigos. Em testes posteriores, em que foram utilizados termômetros de globo nas respectivas escalas (0,20m, 0,10m e 0,05m), a análise de variância não apresentou diferença significativa entre as cargas térmicas radiantes, indicando a necessidade dos termômetros de globo estarem na mesma escala dos modelos. Observaram os autores, entretanto, que as leituras são semelhantes nos modelos quando, nas escalas 1:2 e 1:4, foram utilizados globos com diâmetros de 0,10m e 0,05m ou 0,20m e 0,10m. Em relação ao tamanho do modelo reduzido, foi concluído que a escala 1:3, medindo 0,86m por 1,24m e altura de 0,61m, é mais eficiente por ser de fácil construção, transporte e instalação de equipamentos (Hahn et al., 1961).

Moderá (1982), para obter uma base de dados para validação dos resultados obtidos em simulações do comportamento térmico de uma edificação, utilizando computador, construiu um modelo reduzido com 1m<sup>3</sup> de volume. O objetivo foi verificar a habilidade da simulação em computador e determinar a evolução da temperatura interna e da troca de calor em função da radiação solar, da temperatura externa e de fontes internas de calor. Os dados coletados foram: temperatura de globo negro, posicionado de forma a eliminar a possibilidade de incidência de radiação solar direta, temperatura de bulbo seco, temperaturas das superfícies do modelo reduzido e dados ambientais. Todas as temperaturas foram obtidas com o uso de termopares tipo T.

Dantas (1995) estudou a importância da ventilação natural através do lanternim, utilizando as técnicas da análise dimensional e de modelagem em laboratório. Em pesquisas realizadas, construiu dois protótipos de um módulo de galpão avícola convencional, reduzidos de 2,5 vezes, sendo um com cobertura de telha cerâmica e outro com telhas de cimento amianto. Para simular as condições térmicas ambientais e o calor dissipado pelas aves, foram utilizadas placas com resistência elétrica no interior dos protótipos. Na simulação do aquecimento correspondente à radiação solar, foram utilizadas

resistências elétricas colocadas sobre o telhado. Para a medição das temperaturas ambiente e das telhas, foi utilizado um sistema de termopares e de cobre-constantan, e para a determinação da velocidade do ar foi empregado um anemômetro de fio quente com resolução de 0,01 m/s. A partir dos dados obtidos, foram estabelecidas as equações de predição da vazão de ar para cada protótipo.

Em pesquisa realizada por (Smith & Hazen, 1966), utilizando a teoria da similitude para estudar a configuração das aberturas de entrada de ar de um sistema de ventilação, constataram que o uso de modelos pode prever as características do fluxo de ar no protótipo, concluindo que o modelo pode descrever adequadamente a distribuição da velocidade e a forma dos jatos de ar. Quanto ao número de Reynolds, a geometria das entradas de ar são similares entre o modelo e o protótipo e é obtida a similaridade geométrica entre os perfis de velocidade dos jatos do ar.

Savegnani et al. (1994) compararam vários materiais de cobertura (cerâmica, cimento amianto, fibra de vidro, alumínio, zinco e telha térmica), utilizando-os em modelos em escala, chegando à conclusão de que as telhas de cerâmicas foram os melhores materiais de cobertura neste experimento.

#### **2.4 Telhas de barro, cimento amianto e metálicas**

As telhas de barro são produtos queimados de argila a, aproximadamente, 900°C e podem ser encontradas no mercado, principalmente, nas formas planas e curvadas. As características de uma boa telha de barro são: bom cozimento, lisas, impermeáveis, encaixes perfeitos, uniformidade de dimensões e boa resistência mecânica (Moraes, 1999).

As telhas de cimento amianto são obtidas a partir da adição de fibras de amianto ao cimento e podem ser encontradas no mercado, principalmente, nas formas onduladas. Esse tipo de telha apresenta as seguintes características: boa resistência, baixo peso relativo, boa resistência aos ácidos.

As telhas metálicas podem ser de chapa de alumínio, zinco. As telhas de alumínio têm aparência, trabalhabilidade e resistência à corrosão superior às de aço, embora com menor resistência mecânica e podem ser encontradas no mercado nos tipos onduladas e trapezoidais. Esse tipo de telha tem alto poder de condutividade térmica e possuem grande emissão de sons, fácil manuseio e grande dilatação térmica.

Pesquisa realizada por (Leal, 1981), em que estudou o microclima gerado dentro de oito modelos reduzidos, sendo alguns com diferentes formas geométricas, com cobertura de telhas de barro, de cimento-amianto e de alumínio. Todos os telhados apresentando volume de um metro cúbico, concluíram que os modelos, com formas geometricamente paralelepipedoidais, telhado duas-águas, telhas de barro e telhados orientados no sentido leste-oeste foram os que possibilitaram melhores coeficientes de conforto térmico, em relação aos demais modelos reduzidos testados.

Segundo Silva et al. (1990), em abrigos, verificaram os efeitos da carga térmica de radiação (CTR) e o índice de temperatura do globo negro (ITGU) sob três coberturas: telhas de barro (canal), cimento-amianto (ondulada) e dupla cobertura de cimento-amianto, formando um colchão de ar com 5 cm de espessura. Os autores concluíram que a utilização da camada de ar entre as telhas de cimento-amianto possibilitou comportamento próximo ao da cobertura de telhas de barro, principalmente nos horários de maior incidência da radiação solar.

Kravchenko & Gonçalves (1980) conduziram um experimento para verificar a eficiência de materiais de cobertura para instalações animais, no verão. Utilizando cinco abrigos cobertos com diferentes materiais: cimento-amianto vermelho, cimento-amianto cinza, alumínio ondulado, telha de barro e capim Jaraguá. As condições mais favoráveis – em termos de conforto térmico – foram observadas nos ambientes cobertos com capim, com telha de barro e com alumínio. As telhas de cimento-amianto vermelha e cinza foram as menos eficientes.

## **2.5 Recursos para redução de calor através das coberturas**

A efetiva proteção contra insolação direta em climas quentes, segundo Costa (1982), pode ser feita com uso de materiais que apresentam alto poder reflexivo, bom isolamento térmico, grande inércia e, simultaneamente, adequados ângulos de inclinação, em adição de forros e outras associações que contribuam para o melhor comportamento térmico do conjunto. Segundo Neubauer & Cramer (1966), com a correta combinação desses artifícios citados, pode-se reduzir de 7 a 10°C na temperatura ambiente abaixo da cobertura, em condições de verão.

### 2.5.1 Forro

Costa (1982) realizou um estudo sobre uso de forro, comparando a redução da quantidade de calor advinda da insolação máxima sobre a cobertura. Os resultados obtidos demonstraram redução de 62% e 90% do calor que atravessa a cobertura, em relação a uma instalação sem forro, quando comparado com uso de forro simples e ventilado. Segundo esse autor, o forro constitui proteção econômica e permanente, contribuindo para a redução da transferência de calor para o interior das instalações.

Campo (1986) pesquisou galpões abertos com coberturas de cimento amianto e barro, com presença e ausência de forro de taquara, concluindo que o uso de forro contribuiu, significativamente, para reduzir o ITGU no interior do galpão coberto com telhas de cimento amianto. No caso dos galpões cobertos com telhas de barro, o uso de forro não reduziu significativamente a CTR e o ITGU. Os galpões que apresentaram melhores condições de conforto térmico foram aqueles cobertos com telhas cerâmicas, com e sem forro, e os galpões com telhas de cimento-amianto com forro.

Abreu (2007) conduziu uma pesquisa com o objetivo de avaliar o desempenho produtivo de aves e as condições térmicas ambientais em aviários com e sem o uso de forro. O forro utilizado foi o polietileno, instalado à altura do pé-direito de 3,0m. As aves e a ração foram pesadas semanalmente e as variáveis de desempenho estudadas foram: peso vivo, ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar e mortalidade até o 42º dia de idade das aves. Com base nos dados coletados em cada horário, no ambiente térmico externo e interno, para cada boxe foi determinada a Umidade Relativa do Ar (UR) e foram calculados o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e a Carga Térmica Radiante (CTR). Aos 42 dias, houve diferença estatística para o peso vivo, ganho de peso e consumo de ração sendo o aviário com forro o tratamento que apresentou os melhores resultados. Os aviários sem forro tiveram valores maiores que os aviários com forro em ambas as épocas. Como a temperatura máxima ocorre no período diurno, que é o mais estressante para as aves na fase de terminação, o aviário com forro apresentou valores mais baixos que o aviário sem forro. Para o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), que incorpora os efeitos combinados da temperatura de bulbo seco, umidade do ar, energia radiante e velocidade do ar, os valores médios do aviário com forro foram menores e melhores que os do aviário sem forro nas duas épocas. Esse fato, também se verificou na quantidade de carga térmica radiante (CTR) recebida pela ave e na umidade relativa do ar (UR). Os valores de carga térmica de radiação influenciaram nos valores de

temperatura do ar e do índice de temperatura de globo e umidade, sendo essa influência favorável aos aviários com forro para as aves a partir da 4ª semana de vida.

### **2.5.2 Aspersão de água**

Com o objetivo de reduzir a temperatura da telha e circunvizinhança nas horas de calor intenso, pode-se usar aspersão de água sobre a cobertura (Vaquero, 1981).

A utilização de aspersão de água sobre a cobertura produz redução da temperatura da telha simultaneamente por evaporação da água em contato com a telha, transferência de calor da telha para a lâmina de água e remoção do calor por convecção sobre a cobertura por meio do ar resfriado evaporativamente. Todo esse processo leva à redução do gradiente térmico que chega à superfície inferior da telha, favorecendo as condições térmicas das instalações em período de calor. Em propriedades com deficiência de água, o uso de calhas nos beirais constitui-se solução adequada e eficiente, reutilizando a água através do seu bombeamento, evitando o aumento de umidade relativa ao redor do galpão (Moraes, 1999).

Machado (2007) avaliou um sistema convencional de aspersão sobre a cobertura e projetou um sistema sustentável de arrefecimento térmico de ambiente por meio da aplicação de água sobre a cobertura de aço zincado em instalações comerciais para frangos de corte, na região centro-oeste do Brasil. Na avaliação, consideraram-se as seguintes variáveis: índices de conforto térmico, carga térmica radiante (CTR), temperatura da superfície da telha, temperatura da superfície da cama, tempo de funcionamento e consumo de energia pelos sistemas de arrefecimento térmico dos aviários com e sem aspersão sobre a cobertura, consumo de água pelo sistema de aspersão e índices de desempenho zootécnico. A aspersão de água sobre a cobertura proporcionou os seguintes resultados: a) Redução de até 27°C na temperatura da superfície da telha; b) Redução da temperatura a 0,25m abaixo do telhado em até 10°C para ambos os dias característicos de menor e de maior temperatura máxima do ar externo; c) Redução na temperatura ao nível das aves em até 3°C no dia característico de maior temperatura máxima do ar externo na fase inicial de utilização da aspersão sobre a cobertura; d) Aumento de até 6% na umidade relativa ao nível das aves no dia característico de menor temperatura máxima do ar externo na fase final de utilização da aspersão sobre a cobertura; e) Manutenção da faixa de ITGU entre 77 e 86, respectivamente, para os dias característicos de menor e de maior temperatura máxima do ar externo, tanto na fase inicial quanto na fase final de utilização da aspersão

sobre a cobertura; f) Manutenção da CTR inferior a 500 W. M<sup>2</sup> para ambos os dias característicos, tanto na fase inicial quanto na fase final de utilização da aspersão sobre a cobertura; g) Redução no tempo de funcionamento do segundo grupo de exaustor de 4,8%, no terceiro grupo de 7,5% e na bomba de nebulização de 9,6%; h) Consumo de água de aproximadamente de 5.865 L.h-1. i) Redução na mortalidade de 2,03%; j) Melhora na conversão alimentar de 6,09%; k) Aumento no ganho de massa corporal média ao abate de 0,109 kg.animal-1; l) Aumento de 48,3 no Índice de Eficiência Produtiva; m) Na temperatura da superfície da cama, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Igono et al. (1985) utilizou aspersão de água em vacas holandesas durante o verão, no Estado de Colúmbia (EUA) e encontraram acréscimos de 0,7 kg de leite quando as vacas foram comparadas com as vacas sem aspersão. O efeito da aspersão foi evidente mesmo em verão moderado, onde o ITU (índice de temperatura e umidade) foi ligeiramente superior ao ponto onde a produção de leite começa a decrescer. Em trabalhos realizados com vacas em lactação nos Emirados Árabes, segundo Igono et al. (1985), as perdas de produção de leite, devido ao verão, foram reduzidas em 2,8%, com o uso de aspersão de água, sendo que, no total de 305 dias de lactação, representaram 0,6%.

Em investigação conduzida por (Moraes, 1998) e (Araújo *et al.*, 1998), no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, testando efeito de dezoito diferentes tipos de coberturas sobre o conforto térmico ambiente em protótipos de galpões avícolas e de bovinos, os resultados de ambos trabalhos demonstraram vantagem significativa da aspersão sobre os diferentes materiais de cobertura em relação a esses mesmos materiais em associação a materiais isolantes ou em associação a forros.

A utilização de aspersão sobre a cobertura produz redução da temperatura da telha, através da condução de calor para a água e redução da temperatura da telha e do ar próximo à mesma, em consequência do processo de resfriamento evaporativo, reduzindo assim, o gradiente térmico que chega à superfície inferior, favorecendo as condições térmicas das instalações durante períodos de calor.

### **2.5.3 Pintura**

Com o uso de telhas claras, a diferença de temperatura de insolação se reduz e, naturalmente, a penetração de calor devido à insolação se reduz na mesma proporção. No

entanto, o uso de telhas pintadas de branco para a solução do problema da insolação sobre as coberturas, embora ajude, é insuficiente quando adotada isoladamente.

Tinôco (2001) relata que as cores que proporcionam melhores resultados em termos de redução do desconforto térmico para climas caracterizados por altas temperaturas é a cor branca (que possibilita alta refletividade solar) na fase superior e a preta na fase inferior do material de cobertura. Embora a superfície negra possua efeitos indesejáveis, tais como maior temperatura da superfície e maior emissividade e absorvidade, tem a vantagem de possuir baixa refletividade. Assim, a CTR sobre as aves torna-se menor. Quanto maior a radiação proveniente do solo aquecido e sombreado, maior a importância da pintura negra.

Sarmento et al. (2005) realizou estudos utilizando dois sistemas diferentes de acondicionamento térmico em galpões de frango, em que o primeiro dispunha de sistema de ventilação artificial e de pintura branca sobre a superfície externa da cobertura (TACP), o segundo com sistema de ventilação artificial e de cobertura sem pintura na sua face externa (TASP) e conseguiram resultados significativos entre as coberturas. Em todas as situações, a temperatura da superfície interna da telha no sistema TACP foi inferior à do sistema TASP, demonstrando sua eficiência na diminuição da temperatura interna da cobertura, conseguindo uma redução média de 9,0 °C no final do galpão (oitão oeste).

Nããs (2001) concluiu que são os planos da envoltória da instalação que requerem uma maior intervenção quando se visa à melhoria das condições internas de conforto térmico. Entre os tratamentos que podem ser aplicados às telhas de cimento-amianto, visando melhorar seu desempenho térmico, um dos mais simples é a melhoria da sua refletividade superficial, obtida por meio de uma pintura de cor branca. O uso de pintura branca nas telhas de fibrocimento promove uma reflexão de cerca de 70 a 88% dos raios solares, dependendo da natureza da tinta. Trabalhos desenvolvidos por outros pesquisadores (Kelly et al., 1954), (Rosa, 1984) e (Sevegnani et al., 1994) também mostraram as melhorias de desempenho térmico com o uso de pinturas refletivas no telhado.

O uso de pintura de cor branca nas telhas de cimento-amianto promove significativamente a reflexão da radiação solar e, com isto, acarreta uma redução na quantidade de calor de radiação acumulado na cobertura. Sendo menor a quantidade acumulada, menor será também o fluxo térmico, e as condições de conforto térmico serão também melhores. Executando pinturas em telhados de cimento amianto com tinta plástica branca, apresentaram temperaturas efetivas internas mais baixas que as registradas em

casas com telha cerâmica de cor natural. A solução obtida através de pinturas brancas revelou-se eficiente em termos de melhoria de conforto (Sevegnani et al., 1994).

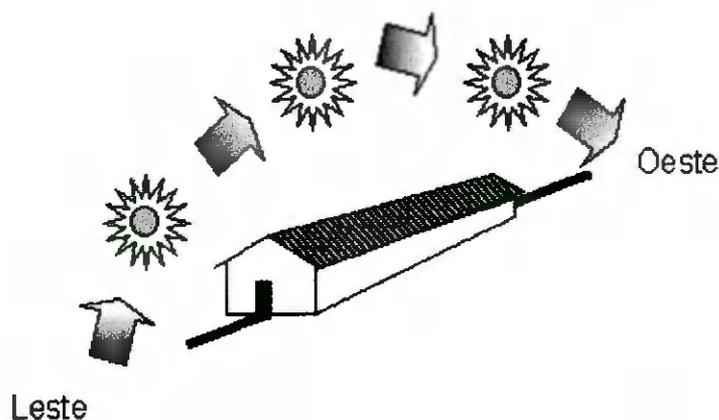
As pinturas reflexivas podem ser eficientes para melhorar as condições ambientais no verão. Elas consistem em reduzir a temperatura das telhas de aço galvanizadas e a temperatura do espaço entre a cobertura e o ambiente. Entretanto, essas pinturas levam a um gasto excessivo para propiciar um sombreamento através da estrutura, e sua efetividade diminui rapidamente com o tempo. Elas são mais benéficas em estruturas mal ventiladas, não oferecendo grandes benefícios para estruturas bem ventiladas. A recomendação prática para uma construção com telhas metálicas é simplesmente pintar a superfície de branco e, raramente, a adição de pintura reflexiva pode ser economicamente justificada para estruturas bem ventiladas (Tinôco, 2001).

Segundo Van Wicklen et al. (1985), o uso de pinturas reflexivas reduz de 2 a 3°C a temperatura de instalações avícolas não ventiladas.

## **2.6 Orientação das instalações**

Segundo Tinôco (1998), para o clima tropical e sub-tropical, o eixo das instalações deve estar orientado no sentido leste-oeste como pode ser observado na Figura 2. Com isso, conseguindo que a superfície exposta a oeste seja a menor possível, evitando o sobreaquecimento pela forte insolação nas longas tardes de verão e que, ao dispor de uma fachada orientada totalmente ao norte, o sol de inverno, que sobe pouco no horizonte, penetre até o interior das instalações em decorrência do deslocamento paralelo do plano, enquanto no verão o próprio beiral atuará como guarda-sol (no caso do hemisfério sul), tendo duas faixas: uma quente e outra fria.

O posicionamento dos galpões no sentido norte-sul obriga o plantio de árvores nas fachadas leste-oeste, para atuarem como sombreamento natural, permitindo a insolação dentro das instalações nas primeiras horas da manhã e últimas horas da tarde, o que pode ser desejável nas regiões de inverno muito rigorosas. As árvores, neste caso, devem ser de folhas caducas e mantidas desgalhadas na região do tronco frontal ao da instalação, preservando a copa superior para sombreamento da cobertura nos períodos quentes.



**Figura 2.** Orientação Leste/Oeste (Abreu, 2003)

### 2.6.1 Vizinhança

Para atenuar o efeito da insolação, o primeiro artifício – objetivando o conforto térmico em climas quentes – é o sombreamento natural ou artificial. Segundo Bond et al. (1976), o sombreamento pode reduzir, em muitas regiões, cerca de 30% da carga térmica de radiação (CTR) incidente sobre o animal.

Nas regiões com clima quente e úmido durante todo o ano e sem muitas amplitudes térmicas – como é o caso do norte brasileiro – as respostas arquitetônicas englobam as modificações ou os sistemas auxiliares devem procurar a eliminação permanente da radiação solar e uma ventilação contínua, abundante. Como os galpões são abertos, a utilização de materiais com maior amortecimento não é necessária, desde que se realize a eliminação da radiação solar, como a utilização de sombreamento natural nas cabeceiras, laterais e coberturas dos galpões.

A exploração do paisagismo circundante e da ventilação natural, juntamente com a adequada concepção arquitetônica e a escolha do material de melhor comportamento térmico para a cobertura constituem a solução ideal para os galpões abertos dessas regiões (Tinôco, 2001).

O afastamento entre galpões deve ser suficiente para que uns não atuem como barreira à ventilação natural nos outros. Assim, recomenda-se afastamento de 10 vezes a altura da construção para os primeiros galpões, sendo que do segundo galpão em diante o afastamento deverá ser de 20 a 25 vezes essa altura. Nem sempre será possível atender a essa recomendação por razões relativas à área disponível, à topografia ou ao fluxograma de

trabalho, mas deve-se tentar aproximar-se ao máximo dessa situação. Na pior das hipóteses, devem-se possibilitar afastamentos entre galpões de 35 a 40 metros no mínimo.

A possibilidade de existência de árvores na face leste-oeste de construções abertas é muito desejável (como divisórias de alto amortecimento) para evitar a incidência da irradiância solar direta dentro das áreas das coberturas.

## 2.7 Resíduo de Etileno-Acetato de Vinila – EVA

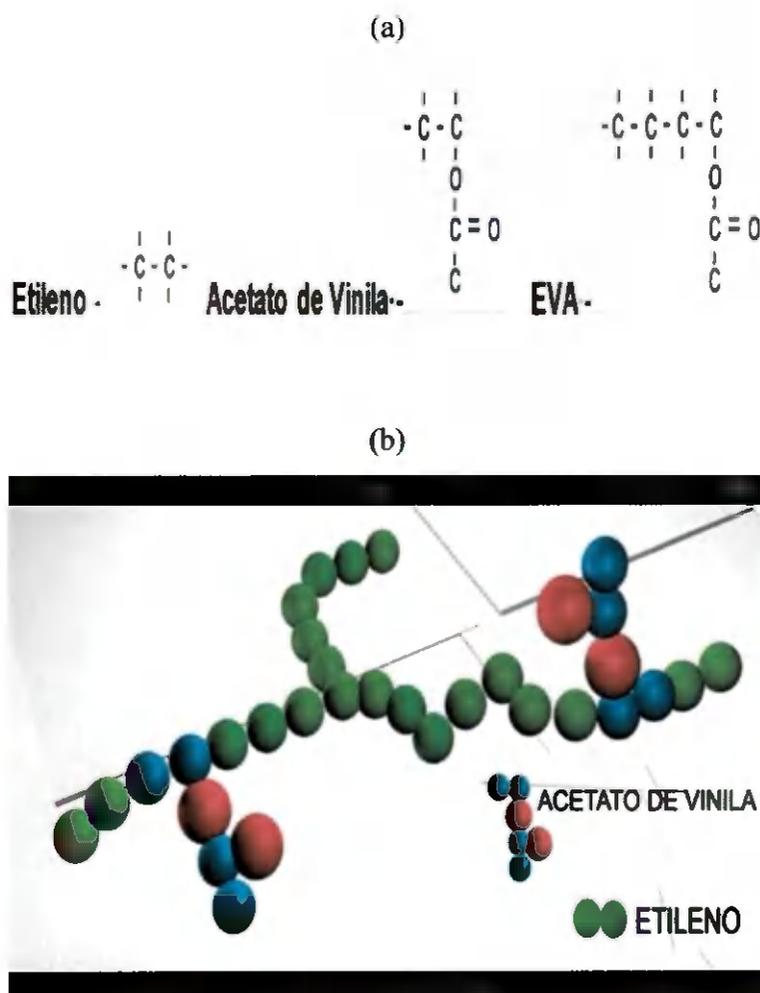
O resíduo de EVA é obtido através do processo de copolimerização dos monômeros de acetato de vinila e etileno em um sistema de alta pressão. Os EVA's utilizados na indústria de calçados, em geral, possuem teores de acetato de vinila, variando entre 18% e 28% (Zattera, 2005). O EVA é um polímero semicristalino e de fácil reticulação (Vargas, 2004). Observa-se na Figura 3 o EVA na forma que é fornecido para indústria calçadista (Grãos). Essa resina possui uma excelente compatibilidade com diferentes termoplásticos e cargas inorgânicas. Apresenta bom conjunto de propriedades mecânicas, especificamente no que se refere à resistência às intempéries, ao impacto e a baixas temperaturas. O EVA é amplamente usado na indústria calçadista, na confecção de placas expandidas para o corte de solados, palmilhas e entressolas (Zattera, 2005). O EVA-19 (o número indica o teor percentual de acetato de vinila no copolímero) é usado na confecção de brinquedos, de móveis e de brindes injetados. Este tipo de resina apresenta ótima miscibilidade com ceras, com parafinas e com agentes de pega, podendo fazer parte da composição de adesivos Hot-Melt (BRASKEM® S/A).



Figura 3. Pellets de EVA-19

O grau de reticulação e a capacidade de reciclagem de um composto de EVA são em função do teor de acetato de vinila (VAc) presente no copolímero. Quanto maior o teor de VAc, maior a facilidade de reticulação da composição e menor a sua capacidade de reprocessamento direto (Silva, 2007).

As unidades de repetição dos polímeros individuais e do copolímero de etileno acetato de vinila são indicadas na Figura 4.



**Figura 4.** Estrutura do resíduo etileno acetato de vinila. (a) monômeros formadores e copolímero; (b) Arranjo molecular

### 2.7.1 Constituição do composto de EVA

Ilustra-se na Figura 5 que composto de EVA é fundamentalmente constituído de: a) resina de EVA; b) agente reticulante; c) agente de expansão, d) cargas e ativadores (Rolin, 2002).

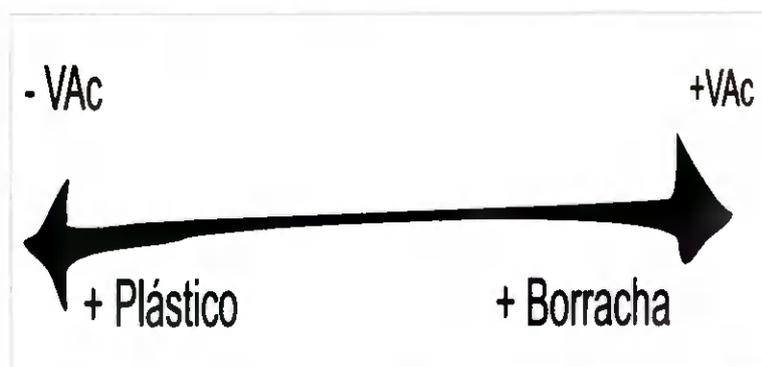


**Figura 5.** Configuração típica de uma placa expandida de EVA (Rolin, 2002)

Quanto à reciclagem, os resíduos de EVA não são biodegradáveis em curto prazo, requerem extensas áreas para armazenamento e seu descarte nos aterros sanitários acaba por comprometer o meio ambiente (Silva, 2007).

O teor de acetato de vinila no copolímero é escolhido de acordo com a aplicação a que se destina o produto.

Conforme ilustrado na Figura 6, o teor de acetato de vinila no copolímero determina se o comportamento do polímero será plástico ou elastomérico.



**Figura 6.** Comportamento do material em função do Teor de Acetato.

Placas expandidas podem ser obtidas utilizando EVA's com teores de acetato de vinila variando entre 18% e 28%. Em geral, placas expandidas com boa processabilidade e

alta versatilidade são obtidas com o uso de EVA com teor de acetato de vinila em torno de 19%.

## 2.8 Índices térmicos ambientais

De acordo com (Rivero, 1986), os fatores térmicos ambientais considerados mais importantes são: temperatura, umidade, movimento do ar e radiação térmica; e o conforto térmico de um indivíduo pode ser alcançado quando as condições do meio permitirem que o sistema termorregulador esteja em estado de mínima tensão.

Para caracterizar o ambiente térmico, vários autores têm proposto a utilização de índices térmicos ambientais, e os mais utilizados são a própria temperatura absoluta do ar ou o bulbo seco (TBS), a temperatura do globo negro (TGN), o índice de temperatura e a umidade (ITU), o índice de temperatura de globo negro (ITGU) e a carga térmica de radiação (CTR) (Rivero, 1986).

O Índice de Temperatura e Umidade - ITU, originalmente desenvolvido por (Thom, 1958), tem sido o mais empregado para determinar o índice de conforto ambiente, sendo dado por:

$$ITU = 0,72 (tbs + tbu) + 40,6 \quad (3)$$

Em que:

tbs = temperatura de bulbo seco, °C;

tbu = temperatura de bulbo úmido, °C; e

O ITU é um valor considerado adimensional, em que valores de até 74 representam ambientes confortáveis; de 74 a 78 exigem cuidado, alerta; de 79 a 84 são perigosos; e de 85 em diante, condições de emergência e podem causar a morte dos animais. No entanto, de acordo com (Bond & Kelly, 1955), o animal está sempre trocando calor com o ambiente na forma radiante. Neste caso, o ITU não reflete a carga térmica, não podendo ser efetivamente empregado para prever o desconforto e a subsequente perda de produção nessas condições.

Desse modo, um índice mais preciso que o ITU para avaliar o conforto térmico é o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), proposto por (Buffington et al., 1981)

para vacas de leite e confirmado por (Oliveira & Esmay, 1981) para frangos de corte, em que são representados os efeitos da temperatura de bulbo seco, da umidade relativa, da radiação e da velocidade do ar em um único valor. Este índice é baseado na equação do ITU, em que a TBS (temperatura de bulbo seco) é substituída pela temperatura de globo negro (TGN), sendo dada pelas seguintes expressões:

$$ITGU = 0,72 (tgn + tbu) + 40,6 \quad (4)$$

Em que:

tgn = temperatura de globo negro, °C;

tbu = temperatura de bulbo úmido, °C;

A temperatura de globo negro é obtida a partir de uma esfera oca, de cobre, com 0,15 m de diâmetro e 0,5mm de espessura, pintada externamente com tinta preta fosca, contendo um sensor de temperatura no centro.

Outro parâmetro importante para ajudar na compreensão do ambiente térmico animal é a Carga Térmica Radiante (CTR) que, em condições de regime permanente, expressa a radiação total recebida pelo globo negro ou pelo animal de todos os espaços ou partes da vizinhança, podendo ser determinada, segundo (Esmay, 1969), pela equação de Stefan-Boltzmann:

$$CTR = \sigma(TRM)^4 \quad (5)$$

Em que:

CTR = carga térmica radiante,  $Wm^{-2}$ ;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann,  $5,67 \times 10^{-8} Wm^{-2}.K^{-4}$ ; e

TRM = temperatura radiante média, K.

A temperatura radiante média (TRM) é a temperatura de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra de modo a eliminar o efeito de reflexão com a qual um corpo (globo negro) troca tanta energia quanto a do ambiente atual considerado Bond & Kelly (1955). A TRM pode ser expressa pela equação a seguir:

$$TRM = 100[2,51 \cdot v^{1/2} \cdot (Tgn - Tbs) + (Tgn/100)^4]^{1/4} \quad (6)$$

Em que:

$v$  = velocidade do ar, m.s-1.

Experimentos demonstraram que a CTR, no interior de abrigos, é influenciada pelos seguintes fatores: orientação do abrigo, altura do pé-direito, altura do animal e sua localização sob a construção, existência de paredes, material de construção e de cobertura, entre outros (Bond et al., 1961), (Silva, 1988). Durante o dia, a cobertura reduz a carga térmica de radiação proveniente do sol e do céu, substituindo uma área de solo aquecida por uma área de solo sombreado. O material de cobertura passa a ser um elemento importante no processo de troca de calor (Rosa, 1984).

### 2.8.1 Correções dos valores de ITGU e CTR

Pereira et al. (1967) estudaram alternativas para substituição do globo negro (padrão) na confecção do globo-termômetro. Os autores concluíram que, apesar das limitações, a bola de pingue-pongue na confecção do globo-termômetro pode ser considerada uma importante ferramenta na avaliação do ambiente térmico.

Silva (1996) realizou estudos sobre índices calculados de conforto térmico com dados coletados em globos-termômetro de alumínio, de latão e de plástico com diferentes diâmetros durante o verão, obtendo fatores de correção para os valores de ITGU e CTR de cada globo negro testado, em relação aos valores obtidos com globo negro de cobre (padrão), seguindo-se as equações de regressão para correção dos valores de ITGU e CTR para dados obtidos em globos de plástico com 0,036 m de diâmetro (bola de ping-pong).

$$ITGU_{corr} = 12,9651 + 0,80531 \times ITGU \quad (7)$$

Em que:

$ITGU_{corr}$  = índice de temperatura de globo negro e umidade corrigido; e

$ITGU$  = índice de temperatura de globo e umidade, calculado a partir da temperatura de globo negro (globo com 0,036 m de diâmetro).

$$CTR_{corr} = 135,938 + 0,66462 \times CTR \quad (8)$$

### **3.0 METODOLOGIA**

Esta pesquisa foi desenvolvida com modelos reduzidos de instalações agropecuárias, no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente, do Departamento de Engenharia Agrícola e no Laboratório de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande – PB, durante os meses de julho a Outubro de 2008.

Para dimensionamento dos modelos reduzidos, foi utilizada a classe geometricamente similar, de acordo com (Murphy, 1950), em escala 1:10, determinada a partir da relação entre as dimensões reais e aquelas possíveis de serem reproduzidas em estação experimental.

#### **3.1 Características das instalações Agropecuárias**

Para a construção dos modelos reduzidos, foram utilizadas as dimensões baseadas nas características de parte de uma instalação agropecuária padrão, com largura de 10,0m, pé-direito de 3,5m, comprimento de 20,0m, cobertura de cimento amianto com inclinação de 15°, beiral de 1,0m, orientada no sentido Leste-Oeste.

#### **3.2 Características dos modelos reduzidos**

Foram construídos dois modelos reduzidos, representando parte de uma instalação agropecuária convencional. Os modelos reduzidos foram construídos com estrutura de madeira maciça. Os modelos foram pintados com tinta acrílica verde-clara. O fechamento nas faces Leste/Oeste foi realizado com isopor 16mm, cobertura em duas águas, comprimento de 2,0m, largura de 1,0m, pé-direito de 0,35m, beiral de 0,10m, inclinação de 15° com cobertura de zinco. Os modelos foram alocados nivelados em terreno plano,

gramado, livre de sombreamento natural e artificial, dispostos lado a lado, orientados no sentido leste-oeste, com afastamento de 4,0m entre um e outro e com piso interior gramado. Na Figura 7, observam-se os modelos reduzidos utilizados nos testes.



**Figura 7.** Posicionamento dos modelos reduzidos no campo

### 3.3 Resíduo de EVA

Para a confecção das placas, foram utilizados os resíduos de EVA proveniente de indústrias calçadistas. As aparas de EVA são moídas ainda na fábrica e fornecidas na forma de pó. A Figura 8 ilustra a apresentação do material, e a forma como são recebidos e armazenados.



**Figura 8.** Depósito de EVA

### 3.3.1 Classificação granulométrica do resíduo

Realizou-se a classificação granulométrica do resíduo para determinar o tamanho da partícula, com o propósito de uniformizar a matéria prima. Observa-se na Figura 9 o equipamento utilizado para realizar o peneiramento mecânico. A classificação granulométrica foi realizada no laboratório de processamento de materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – UFCG.



**Figura 9.** Equipamento para classificação Granulométrica do Resíduo

### 3.3.2 Preparo e confecção das placas

O resíduo de EVA utilizado foi pesado na proporção de 1,250kg. Após a pesagem, colocou-se em uma forma de aço, com dimensões de 40cm de comprimento por 35cm de largura e 8cm de altura, a qual foi uniformizada e, posteriormente, colocou-se uma tampa de aço. Em seguida, adicionou-se uma carga de 8 kg sobre a tampa e colocou-se o conjunto (forma, resíduo e carga) em uma estufa com temperatura de 100 °C, que permaneceu 12 horas. Após este período, retirou-se a placa da estufa onde ficou aproximadamente 12 horas para esfriar completamente. Na figura 10, observa-se a placa retirada da forma após o resfriamento. O processamento do material foi realizado no Laboratório da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – UFCG.



**Figura 10.** Placa de resíduo de EVA

### **3.3.3 Utilização das placas no modelo reduzido**

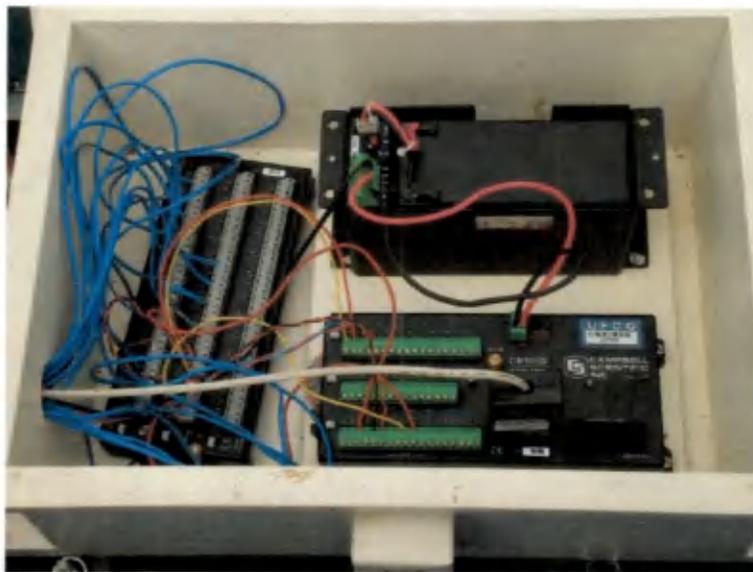
As placas de composto EVA foram utilizadas para representar um forro, que foi colocado em um dos modelos reduzidos, na altura do pé direito. Na figura 11, apresenta-se o forro construído com as placas de EVA. Este procedimento foi desenvolvido para criar isolamento físico entre a cobertura e o interior dos modelos, representando um forro padrão.



**Figura 11.** Forro de resíduo de EVA

### 3.4 Instrumentação e medições dos modelos reduzidos

Para a coleta de dados, foi utilizado um sistema de aquisição de dados composto por um módulo de medição e de controle, modelo CR1000, que pode ser observado na Figura 12.



**Figura 12.** Sistema de aquisição de dados

As leituras eram realizadas de 10 em 10 minutos.

#### 3.4.1 Velocidade do ar

A velocidade do ar foi obtida na estação Meteorológica da Universidade Federal de Campina Grande, que se encontra próxima à área experimental. A altura do anemômetro em relação ao nível do solo encontra-se a 0,50m. A Figura 13 ilustra a localização da estação Meteorológica próxima aos modelos reduzidos.

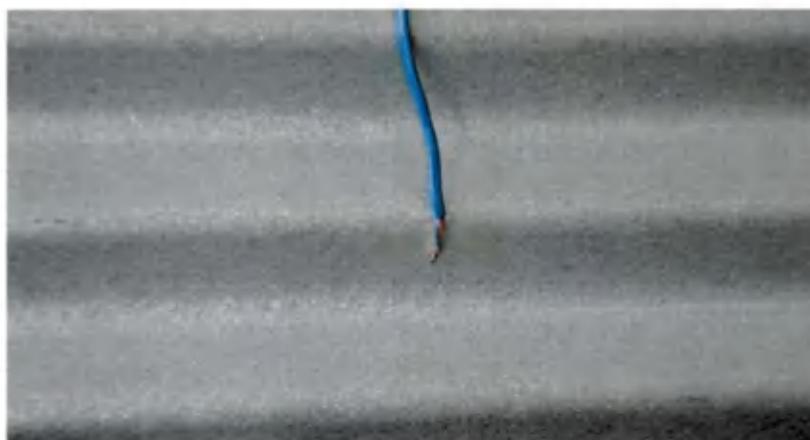


**Figura 13.** Modelos reduzidos próximos à Estação Meteorológica da Unidade Acadêmica de Meteorologia da UFCG

#### **3.4.2 Sensores de temperatura**

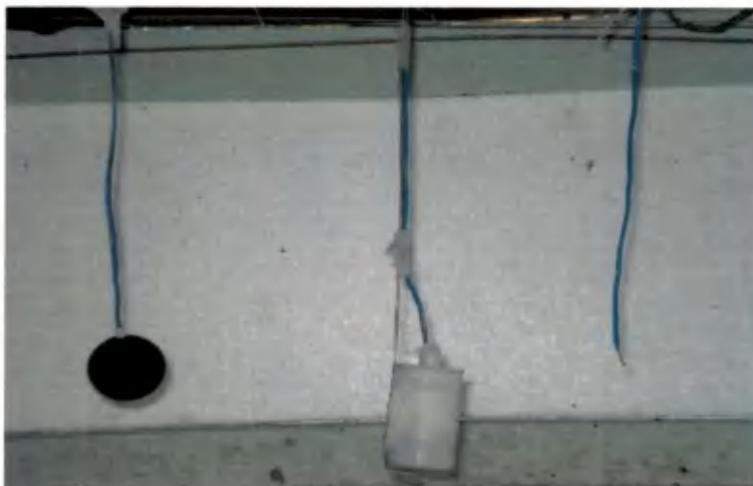
Os sensores de temperatura de bulbo seco, de bulbo úmido, de globo negro, de temperatura da Telha Superior (TS), de Temperatura da Telha Inferior (TI), de Forro Superior (FS) e de Forro Inferior (FI) foram obtidos, utilizando 12 sensores de 10m de fio termopar tipo K.

Os sensores foram fixados com fita na telha e no forro, respeitando geometricamente os mesmos locais dos modelos reduzidos, como podem ser visto na Figura 14.



**Figura 14.** Posição e fixação dos termopares na telha

Para a confecção dos globos negros utilizados no interior dos modelos reduzidos, foram utilizadas bolas de plástico de ping-pong com 0,035cm de diâmetro, pintadas com 3 camadas de tinta preta fosca, colocadas a 5cm do nível do chão, juntamente com os sensores de temperatura de globo negro, de temperatura de bulbo seco e de temperatura de bulbo úmido, como pode ser observado na Figura 15.



**Figura 15.** Posicionamento dos sensores

### **3.5 Caracterização climática de Campina Grande**

A cidade de Campina Grande está localizada a 7° 14 latitude Sul e 36° 12 longitude norte no agreste paraibano. A temperatura média anual oscila em torno dos 27°C, podendo atingir 30°C nos dias mais quentes e 15°C nas noites mais frias do ano. A umidade relativa do ar, na área urbana, varia entre 75 a 83%. De acordo com a classificação de Koeppen, o clima da região é AWi, caracterizado como clima tropical chuvoso (megatérmico) com total anual médio de chuva (P) em torno de 750 mm.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Avaliações do conforto térmico ambiental**

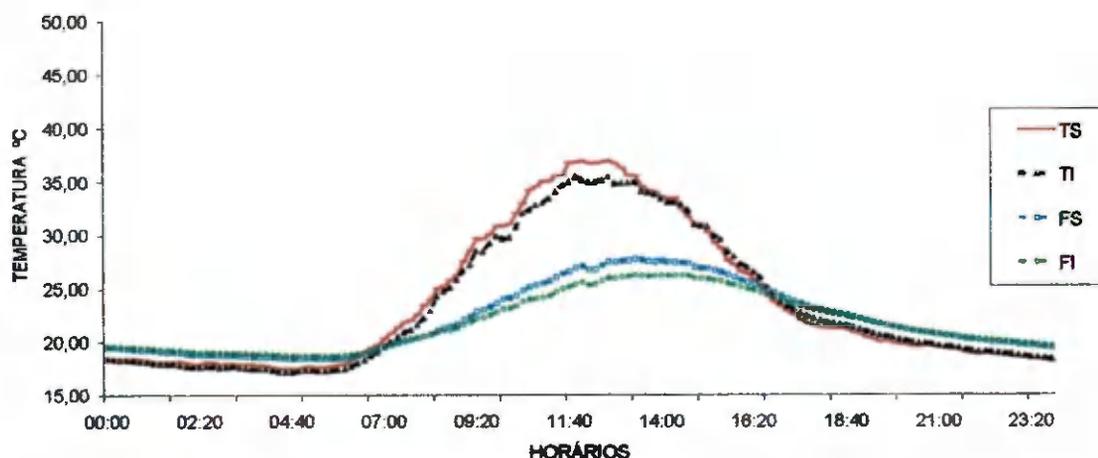
Para avaliarmos a qualidade do ambiente ou o nível de conforto, inicialmente observou-se o comportamento dos valores médios da temperatura da telha superior e inferior, da temperatura do forro superior e inferior, da temperatura do bulbo seco, da temperatura do bulbo úmido e da temperatura de globo negro.

A qualidade do ambiente foi avaliada pelos valores médios de Índice de temperatura do globo negro e a umidade (ITGU), Índice de temperatura e umidade (ITU), Carga térmica de radiação (CTR) e Umidade relativa (UR) correspondente aos tratamentos experimentais aos modelos reduzidos sem forro (SF) e aos modelos reduzidos com forro (CF) na altura de aproximadamente 5cm medidos durante 24 h, de Julho a Agosto, correspondendo ao período frio e de Setembro a Outubro, correspondendo o período quente.

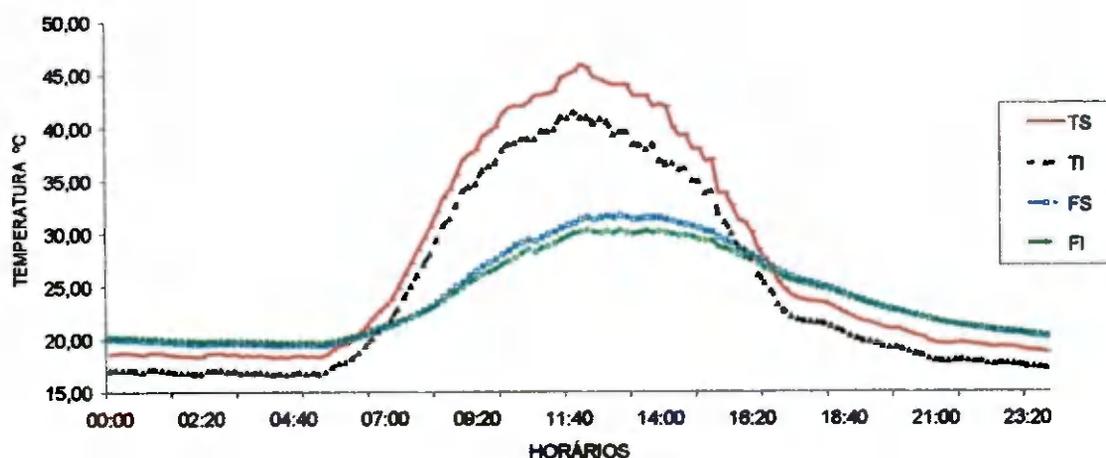
#### **4.1.1 Temperatura da telha superior e inferior, temperatura do forro superior e inferior**

Com base na Figura 16 e 17, verifica-se o comportamento dos valores médios da temperatura da telha superior (TS) e da telha inferior (TI), do forro superior (FS) e do forro inferior (FI), isto tudo nos modelos reduzidos (CF), no período frio e no período quente. Na Figura 16, pode-se observar que a temperatura da (TS), no horário das 12h00min, atingiu médias de 36,8° C, e na (TI) 35° C e, no mesmo horário, a temperatura do (FS) era de 27° C e do (FI) 25,5° C. Após as 16h30min, a presença do forro nos modelos reduzidos, contribuiu para manter um ambiente mais aquecido devido à temperatura da telha superior ter resfriado pela diminuição e, posteriormente, pela ausência da radiação solar. Ainda, por

ser metálica, transferindo calor para a atmosfera com muita facilidade. Este comportamento se estende até, aproximadamente, 06h00min. A partir das 14h30min, observou-se que a (TI) estava aproximadamente com 1° C acima da (TS), prolongando-se até 00h00min. Observa-se ainda, nas Figuras 16 e 17, que o (FS) e (FI) – nos horários noturnos – mantiveram a mesma temperatura e que, com o surgimento da radiação solar, as temperaturas do (FI) foram menores, principalmente, nos horários mais críticos que compreende entre 09h00min e 15h00min.



**Figura 16.** Valores médios da temperatura superior e inferior do telhado, e da temperatura superior e inferior do forro no período frio



**Figura 17.** Valores médios da temperatura superior e inferior do telhado, da temperatura superior e inferior do forro no período quente

Na Figura 17, observa-se, nos horários mais críticos, que a temperatura da (TS) atingiu 45,5° C, a (TI) 41° C, o (FS) 31° C e o (FI) 29° C. A presença do forro permitiu uma redução de aproximadamente 2° C de temperatura nos horários mais críticos entre o (FS) e o (FI). Ainda pode ser verificado na mesma Figura que os valores da temperatura da (TI) foram menores do que a (TS) em todos os horários, tendo diferença de até 4,5° C.

A proteção contra a radiação recebida e emitida pela cobertura ao interior das instalações pode ser feita também com uso de forro e outros materiais isolantes. Estes atuam como segunda barreira física que permite formação de camada de ar junto à cobertura e contribui na redução da transferência de calor para o interior da construção. Situação semelhante foi observada nesta pesquisa. Há referências de que esta redução é de 62%, ao se passar de abrigo sem forro para abrigo com forro simples de Duratex de 6mm não ventilado e de 90% no caso de forro com ventilação.

Ainda, considera-se essa redução da temperatura devido à presença de macroporos interconectados no forro que atuou como dissipador de calor.

#### 4.1.2 Temperatura ambiente

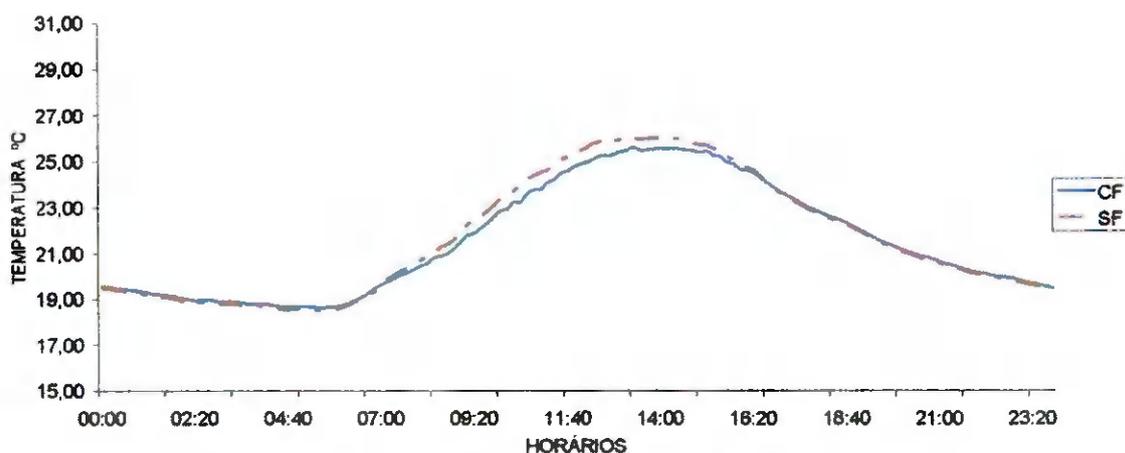
Na Figura 18, são apresentadas as curvas dos valores médios da Temperatura ambiente do período frio. Observa-se que a temperatura maior ocorreu no modelo reduzido (SF) nos horários de 13h00min até 15h00min, atingindo 25,5° C. No modelo reduzido (CF), observa-se 25° C. Ainda, a partir das 18h00min, as temperaturas dos modelos (SF) e (CF) mantiveram suas temperaturas iguais até 08h00min.

Na Figura 19, apresentam-se as curvas dos valores médios da temperatura ambiente do período quente, em que a temperatura maior ocorreu no modelo reduzido (SF) nos horários de 11h00min até as 15h30min atingindo 29,7 °C e no modelo reduzido (CF) 28,3 °C devido à maior intensidade da radiação solar. Verifica-se ainda que após as 17h00min as temperaturas do modelo reduzido (SF) e (CF), permaneceram iguais até as 19h00min, onde a partir desta hora o modelo reduzido (CF) manteve temperaturas maiores até as 06h00min, isso significa dizer que a presença do forro constitui em uma fonte armazenadora de calor para períodos mais frios, possibilitando para os animais um melhor conforto.

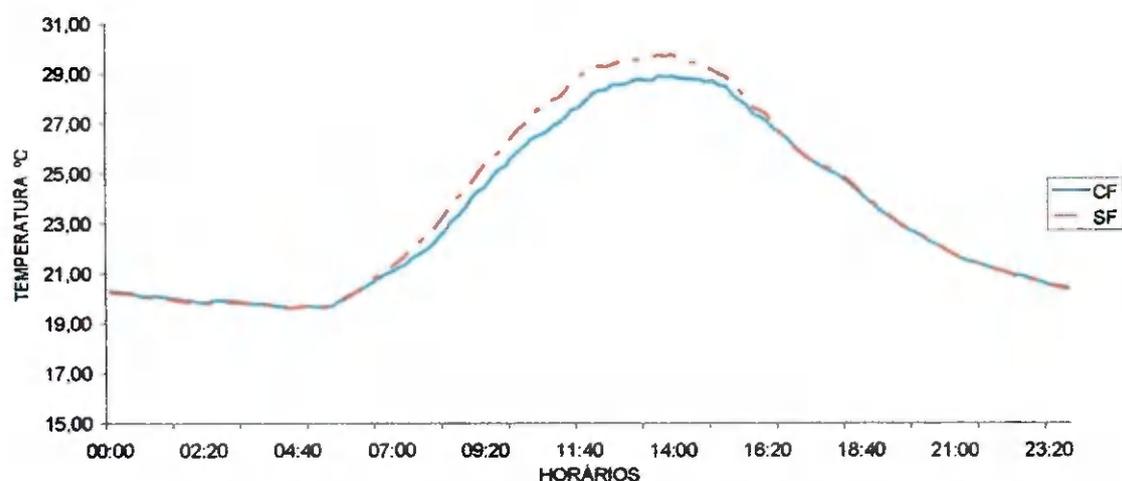
O uso do forro no modelo reduzido no período frio possibilitou ao ambientes temperaturas menores nos horários das 08h20min às 18h30min, que variam de 0,5 à 1,0 °C

### 4.1.3 Temperatura de globo negro

Na Figura 20, são apresentadas as curvas correspondentes aos valores médios de TGN dos modelos reduzidos (SF) e (CF) no período frio. Verifica-se que os maiores valores de TGN para os tratamentos ocorreram às 12h00min estendendo-se até 15h00min, atingindo temperaturas máximas de 26° C e 25,5° C nos modelos reduzidos (SF) e (CF) respectivamente. A partir das 15h00min, observa um decréscimo nos valores de TGN, mantendo-se nos mesmos valores para os modelos reduzidos (SF) e (CF) até 07h00min. No período das 07h00min até 16h30min, pode se verificar que o modelo reduzido (CF) apresentou um TGN menor.



**Figura 20.** Valores médios da Temperatura de globo negro no período frio



**Figura 21.** Valores médios da Temperatura de globo negro no período quente

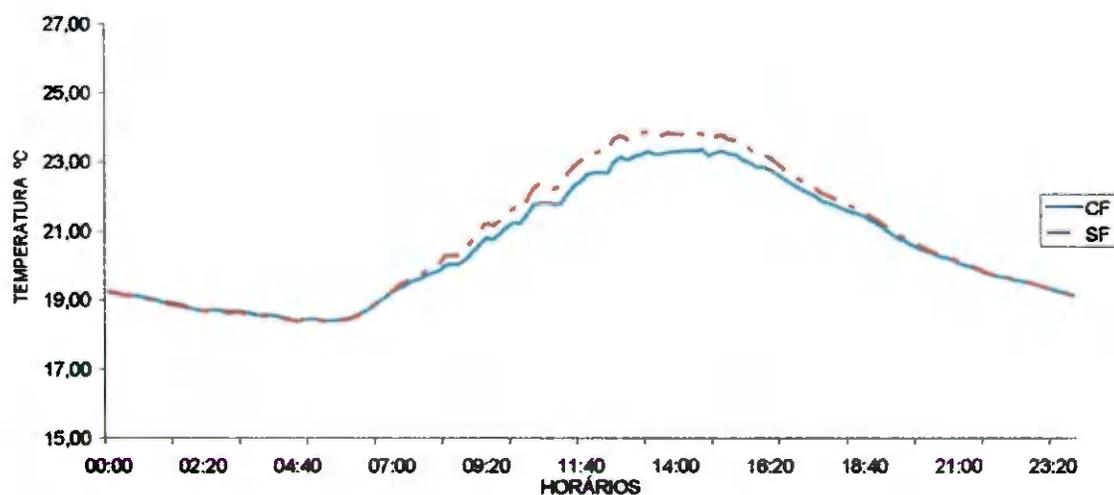
De acordo com a Figura 21, verifica-se comportamento similar aos da curva do modelo reduzido (SF) e (CF) do período frio, porém os valores do TGN foram maiores, atingindo 29,8° C e 28,6° C respectivamente devido à radiação solar ser mais forte entre as horas de 11h00min até 15h00min, ocasionando um aumento na temperatura.

De acordo com Nããs (1989), esses fenômenos não só existem para animais abrigados, mas também para animais expostos a ambientes abertos.

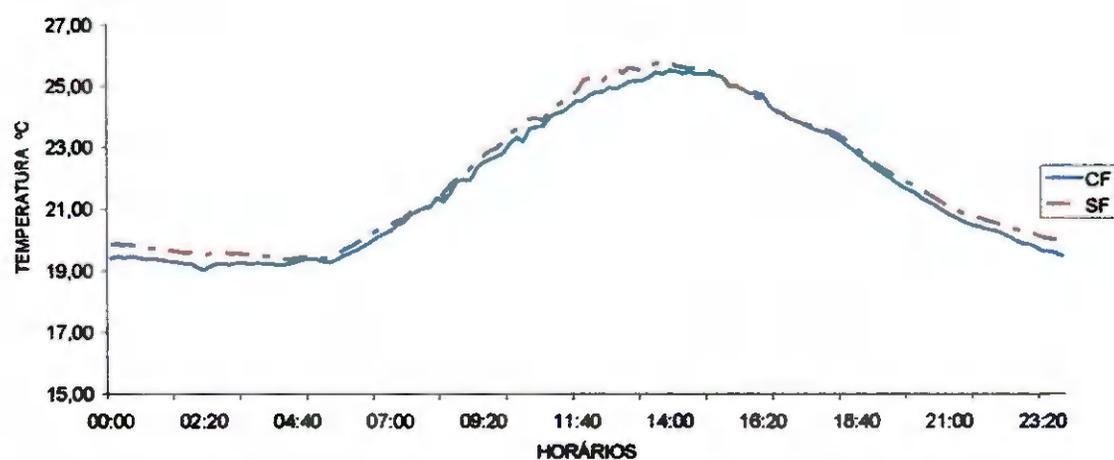
Os valores de TGN obtidos em relação à radiação solar exercem um significado importante para os animais, principalmente, para aqueles que estão nos trópicos. Por radiação, entende-se o calor recebido de tudo que rodeia o animal: o sol, as paredes de construção, outros animais, o solo, etc. A quantidade de radiação que incide sobre os animais é de grande influência sobre a manutenção de sua homeotermia, e este aspecto deve ser observado, principalmente quando os animais estão expostos ao campo, como ocorre com os bovinos em pastejo, suínos criados ao ar livre ou frangos criados no sistema orgânico (Ferreira, 2005).

#### **4.1.4 Temperatura do bulbo úmido**

Observam-se comportamentos similares nas Figuras 22 e 23 em modelos reduzidos (SF) e (CF) do período frio e do período quente, em que as temperaturas nos horários das 09h00min às 15h00min permaneceram inferiores nos modelos reduzidos (CF), e no período das 18h00min às 07h00min, as temperaturas do modelo reduzido (SF) e (CF), mantiveram os mesmos valores. Já o modelo reduzido (CF) do período quente, nos horários das 18h00min às 07h00min, permaneceu com valores menores. Este comportamento das temperaturas serem menores é atribuído à presença do forro que mantém o ambiente diferenciado quando comparado com um ambiente que não possuía forro no modelo reduzido. Provavelmente, este fator está associado à capacidade do composto EVA em manter um ambiente diferenciado, devido às propriedades que constituem o material.



**Figura 22.** Valores médios da Temperatura do bulbo úmido no período frio



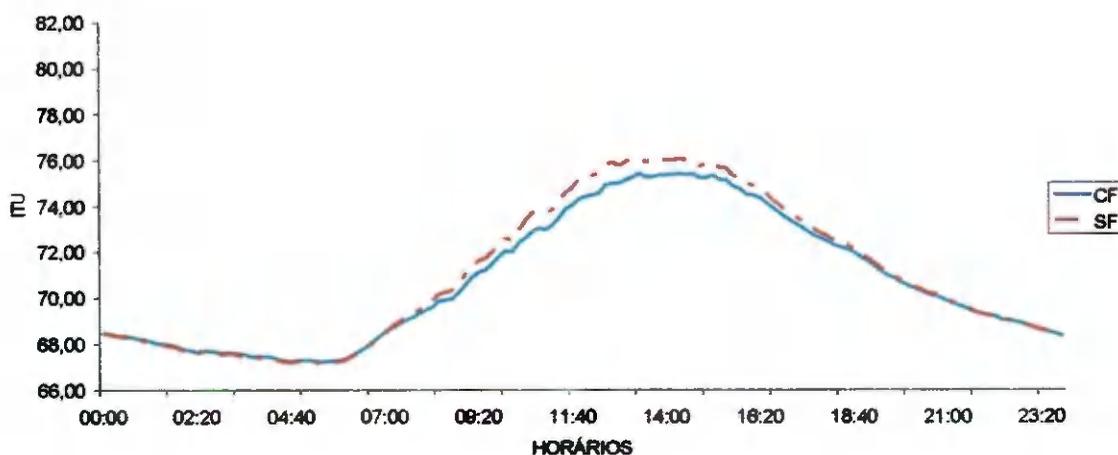
**Figura 23.** Valores médios da Temperatura do bulbo úmido no período quente

#### 4.1.5 Índice de temperatura e umidade

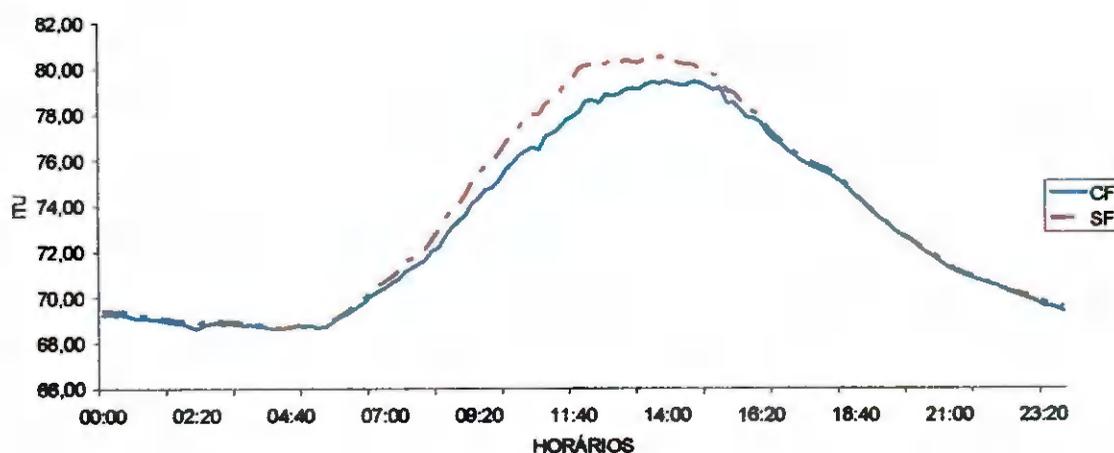
Na Figura 24, observam-se os valores de ITU do período frio, em que se verificam valores máximos de 76 no modelo reduzido (SF) e de 75 no modelo reduzido (CF) nos horários mais críticos que vai das 13h00min às 15h00min. Após as 15h00min, os valores de ITU começaram a diminuir gradativamente, mantendo-se iguais até 07h00min.

Verifica-se, na Figura 25, o comportamento do ITU nos modelos reduzidos (SF) e (CF) no período quente, observa-se que maiores valores são encontrados no modelo reduzido (SF) que atinge 80,5 e que o modelo reduzido (CF) atinge 75,6, representando uma diferença maior quando comparada com os modelos reduzidos (SF) e (CF) do período

frio. Este fato dos fatores do ITU do modelo reduzido (CF) ser inferior ao modelo reduzido (SF) expressa a importância de se ter material com propriedades de isolamento térmico que isole o ambiente onde os animais vão permanecer. Ainda, em especial no período quente, pode-se observar que, em todos os horários, o modelo reduzido (CF) proporcionou valores de ITU menores, diminuindo, assim, o stress térmico dos animais ocasionados pela temperatura ambiente. Este fenômeno ocorreu pela presença do forro que atuou como uma barreira física à radiação solar recebida e emitida pela cobertura ao interior dos modelos, bem como, pelas propriedades de constituição do EVA.



**Figura 24.** Valores médios do Índice de temperatura e umidade do período frio



**Figura 25.** Valores médios do Índice de temperatura e umidade do período quente

Hahn (1985) afirma que o ITU deve ficar em torno de 70 para um ambiente confortável para animais, e um valor entre 71 e 78 o ambiente seria crítico, sendo que de 79 a 83 implicaria risco e, a partir de 83, já indicaria uma situação de emergência. Valores

superiores para um ambiente confortável foram encontrados nesta pesquisa nos modelos reduzidos (SF) e (CF) no período frio e chuvoso, bem como, no período quente e seco.

Uma consideração que pode ser feita ao ITU é que ele não leva em consideração o fator radiação, mas a temperatura do bulbo seco e a temperatura do bulbo úmido.

#### 4.1.6 Índice de temperatura de globo negro e umidade

Na Figura 26, são apresentados os valores médios de ITGU correspondentes ao período frio, em que se observa que, no modelo reduzido (SF), a partir das 12h00min até 15h30min, apresentou valor máximo do ITGU em torno de 74,5 e que, no modelo reduzido (CF), apresenta menores valores de ITGU, ficando em torno de 74. Nos horários das 10h00min às 15h00min, foi o período em que apresentou maiores valores de ITGU por ter maior incidência da radiação solar. A partir deste horário, os valores do ITGU começaram a diminuir gradativamente em ambos os modelos (SF) e (CF). No período de 18h00min às 07h00min, não ocorreu diferença entre os modelos (SF) e (CF). Após este horário, as diferenças do ITGU começam a sofrer alteração devido à presença da carga térmica radiante. No período das 07h00min às 17h00min, o uso de forro no modelo reduzido, proporciona uma leve diminuição nos valores do ITGU, isso por ser considerado um isolante térmico entre o telhado e o ambiente, isto pelo fato de sua cor ser preta, permitindo uma absorção da irradiação advinda do solo e dos materiais de construção.

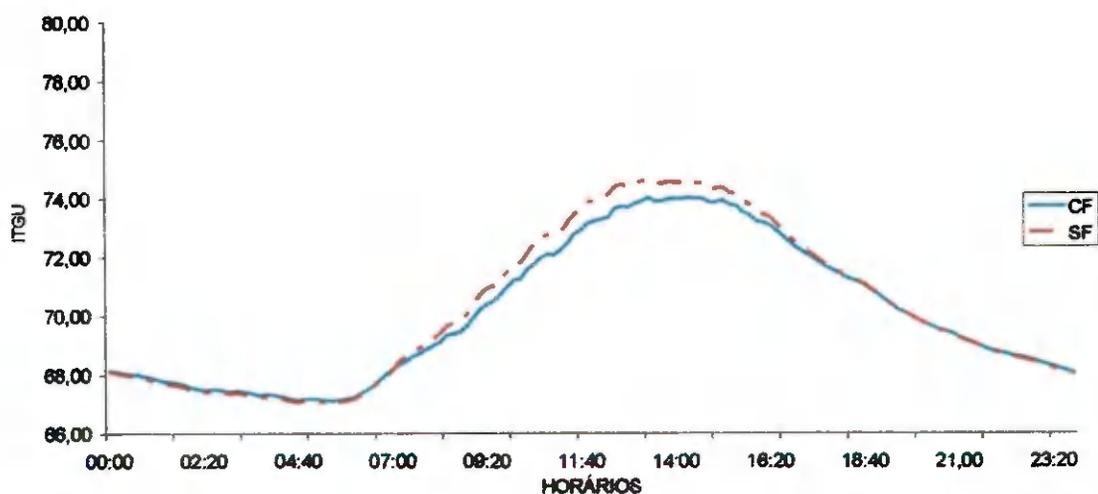
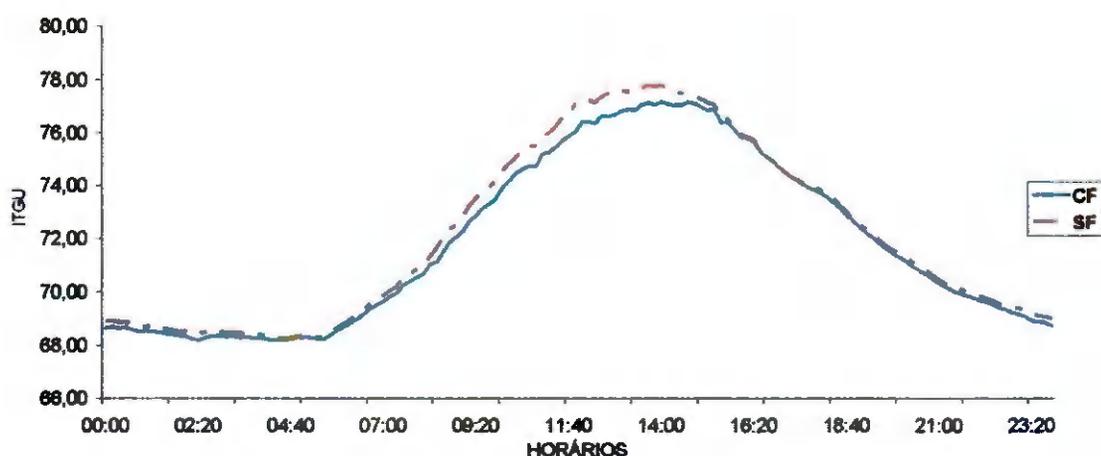


Figura 26. Valores médios de ITGU, correspondente ao período frio



**Figura 27.** Valores médios de ITGU, correspondente ao período quente

Na Figura 27, apresentam-se os valores médios de ITGU correspondentes ao período quente nos modelos reduzidos (SF) e (CF). No intervalo das 12h00min às 15h00min, observou-se uma média de 78 no modelo reduzido (SF) e de 77 no modelo reduzido (CF) período mais crítico para os animais. Verificam-se, ainda – na mesma figura – que, a partir das 15h00min até 17h30min, os valores de ITGU permanecem iguais nos modelos reduzidos (SF) e (CF) e que, após 17h30min, o modelo reduzido (CF) tem uma leve diminuição nos valores de ITGU, permanecendo assim até 15h00min.

Souza et al. (2005) citam valores de ITGU às 9h de 71,2 e às 15h de 79,1. Cezar et al. (2004), em condições climáticas do trópico semi-árido nordestino, relatam valores de ITGU às 9h de 75,5 e um ITGU de 82,4 às 15h. (Oliveira et al. 2005) – estudando o conforto térmico de ovinos confinados – cita um ITGU de 77,1 às 9h e de 82,2 às 15h. Nããs et al. (2001), em experimentos realizados com modelos em escala reduzida, encontraram, no horário das 14h00min, valores de ITGU superiores aos recomendados para frangos de corte. (Tinôco, 1988), (Piasentin, 1984) propõem valores de ITGU de 75 e 77 respectivamente como limite máximo tolerado e sem estresse para frangos de corte com mais de três semanas de idade. Contudo, um aspecto é que, em condições de campo, uma parcela de sobreaquecimento advém do próprio calor gerado pelos animais, situação que estes pesquisadores não evidenciaram, e a mesma estava ausente neste experimento.

De acordo com o Nacional Weather Service, citado por (Baeta, 1985), valores de ITGU até 74 definem conforto, de 74 a 78, é sinal de alerta, de 79 a 84, é sinal de perigo e, acima de 84, é sinal de emergência para bovinos.

De acordo com os autores acima citados, os modelos reduzidos (SF) e (CF) – no período frio – apresentaram valores inferiores aos encontrados nesta pesquisa e, nos modelos reduzidos no período quente (SF) e (CF), nos horários das 09h00min, foram encontrados valores superiores ao de (Souza et al.2005). Nos horários das 15h00min, foram encontrados valores inferiores aos de (Souza et al. 2005), aos de (Cezar et al. 2004) e aos de (Oliveira et al., 2005). Ainda, pode-se salientar que, no modelo reduzido (SF) e (CF) no período frio, os valores de ITGU estavam abaixo dos de (Tinôco, 1998) e de (Piasentin, 1984) e que os valores encontrados nos modelos reduzidos (CF), no período frio, estavam iguais ao citado por (Baêta, 1985), bem como, aos valores de alerta nos modelos reduzidos (SF) e (CF) nos períodos frio e quente.

Segundo Santos (1993), as instalações apresentam conforto térmico para os animais quando apresentam médias de ITGU abaixo do valor de 74,0 que delimita a situação de “conforto” e a situação de “alerta”. Neste trabalho, foi observada esta situação em que o ITGU estava abaixo de 74 somente para o modelo reduzido (CF) do período frio.

Esse comportamento diário dos valores de ITGU ocorre, principalmente, em virtude do comportamento da temperatura do bulbo seco, da irradiância solar indireta e da radiação de ondas longas. Silva (2003) afirma que a Temperatura de globo negro expressa a ação do ambiente radiante sobre um globo específico e não pode descrever de uma forma geral a ação sobre um animal, isso porque o animal está em movimento, recebendo radiação de outros animais, dos materiais de construção, das plantas, do solo e/ou do piso em momentos e em lugares diferentes.

#### **4.1.7 Carga Térmica Radiante –CTR**

Na Figura 28, representam-se os valores médios da CTR correspondente ao período frio, observa-se que houve diferença entre valores no modelo reduzido (SF) de  $450 \text{ Wm}^{-2}$  para  $445 \text{ Wm}^{-2}$  para o modelo reduzido (CF) em que, nos horários das 07h00min às 15h00min, o uso de forro possibilitou menores valores da CTR. Ainda, no horário das 15h00min às 07h00min, o modelo reduzido (SF), apresentou CTR menor do que o modelo reduzido (CF), esse comportamento de manter uma CTR maior no modelo reduzido (CF) foi influenciado pelo uso do forro que manteve uma temperatura mais elevada do ambiente quando comparada ao do modelo reduzido (SF). Isso significa dizer que a perda de calor no modelo reduzido (SF) foi mais rápida. Esta influência de diminuir e de manter o CTR

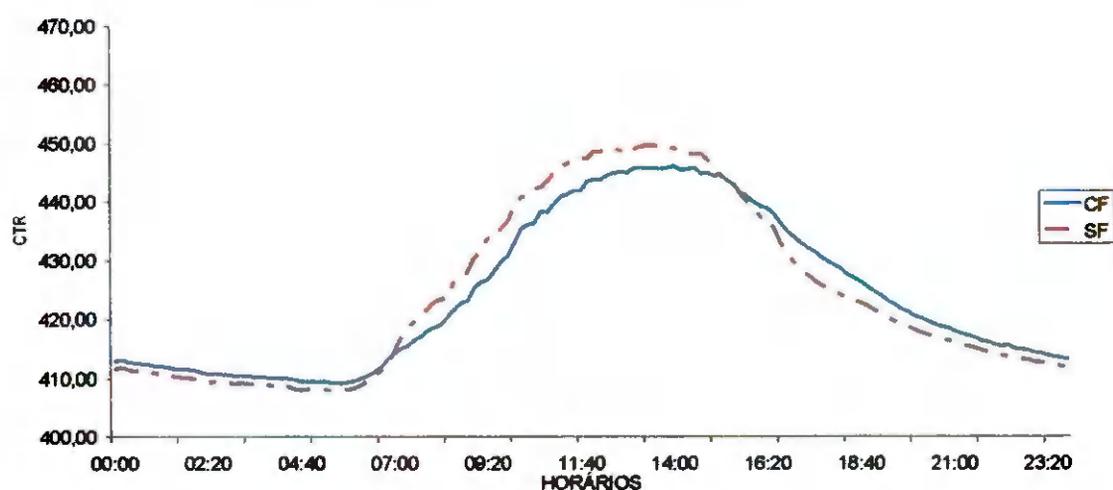
permite diagnosticar que a presença do forro foi um isolante térmico entre a cobertura e o ambiente, e ainda, que a irradiação advinda do solo e dos materiais de construção que – posteriormente – seria irradiada para a cobertura, não ocorreu provavelmente porque foi absorvida pelo forro.

Observa-se, na Figura 29, o comportamento similar do modelo reduzido (SF) e (CF) do período frio, porém a presença do forro no modelo reduzido (CF) do período quente permanece menor até as 18h00min.

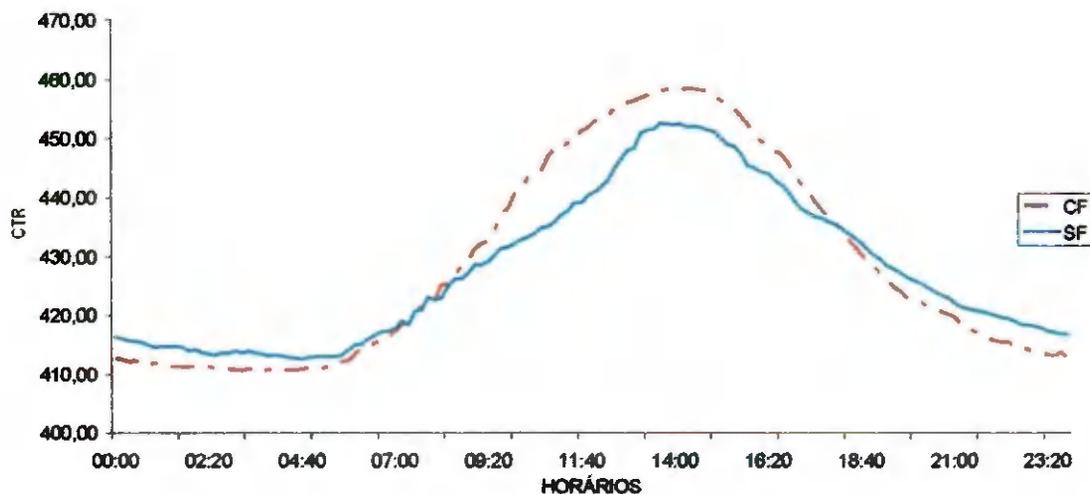
Observa-se ainda que, como tendência geral, os menores valores de CTRs para o ambiente interno nos modelos reduzidos (SF) e (CF) para os dois períodos ocorreram durante a noite, devido à capacidade do material de perder calor na forma rápida, enquanto que o ponto máximo ocorreu entre 12h00min e 15h00min.

Tinôco (1998) afirma que a cobertura do solo pode afetar grandemente a Carga Térmica de Radiação – CTR devido à diferença de refletividade dos diferentes tipos de materiais e de cores. A grama é a melhor opção para a área externa de galpões em clima quente. Consequentemente, os valores da CTR, observados nas Figuras 28 e 29, foram influenciados devido aos modelos estarem localizados em área gramada.

Estes dados da pesquisa são menores aos encontrados por (Moraes et al., 1999) de 487, 6 Km<sup>2</sup> para galpões com coberturas de telha de cimento amianto. Este fato pode ser explicado pela área verde que circundava os modelos reduzidos.



**Figura 28.** Valores médios da CTR do período frio



**Figura 29.** Valores médios da CTR do período quente

Pode-se observar que, no período noturno, os modelos reduzidos (CF) – nos dois períodos estudados – apresentam valores maiores da CTR do que os modelos (SF). Este fato ocorreu provavelmente devido à composição do composto EVA que armazenou calor, permitindo um ambiente mais aquecido, quando comparado com os modelos (SF) que perdeu temperatura mais rapidamente.

Contudo, podemos salientar que, nos dois períodos estudados, os valores das temperaturas e dos índices zootécnicos dos modelos reduzidos (CF), provavelmente, não foram menores porque a quantidade de ar e o espaço entre forro e o piso são insuficientes para que a temperatura diminua, quando comparadas em instalações de escala real que possui forro em que o espaço e a quantidade de ar são maiores. Ainda, a presença do forro atua como fonte armazenadora de calor para períodos mais frios.

#### 4.1.8 Umidade relativa

Apresentam-se, na Figura 30, os valores médios da umidade relativa (UR) nos modelos reduzidos (SF) e (CF) do período frio. Observa-se que os modelos reduzidos (SF) e (CF), nos horários das 00h00min às 07h00min e das 19h00min às 24h00min, é que ocorrem os maiores valores da UR. Possivelmente, isso tenha ocorrido devido à inexistência da radiação solar que manteve as temperaturas do bulbo seco e bulbo úmido parecidas.

Pode-se observar – nas Figuras 30 e 31 – que a UR é mais elevada durante o período noturno, diminuindo durante o dia, sendo os menores valores observados entre as 11h00min e 15h00min. Os tratamentos que apresentaram menores índices foram os modelos reduzidos (SF) do período frio e do período quente, principalmente, nos horários mais críticos.

Esse comportamento esteve dentro do esperado, uma vez que com elevação da temperatura do ar ao longo do dia, geralmente, ocorre maior depressão psicrométrica (diferença de temperatura de bulbo seco e a do bulbo úmido), reduzindo os valores da umidade relativa do ar nesses períodos.

Observa-se, também, na Figura 30, que os modelos reduzidos (SF) e (CF) do período frio tiveram valores mínimos e máximos de 88% e 98% e de 87% e 98% respectivamente, ou seja, superaram os 80% que é a umidade máxima recomendada para todos os animais domésticos. Nos modelos reduzidos dos períodos frio e quente, que podem ser observados nas Figuras 30 e 31, a presença do forro não contribuiu para manter uma umidade relativa menor, exceto no horário noturno do período quente. Este acontecimento da umidade relativa ser maior nos modelos reduzidos (CF), provavelmente, ocorreu por dois motivos: a presença do forro foi uma barreira para manter os valores da temperatura do bulbo seco e do bulbo úmido mais próximas, parecidas; ou pela posição dos sensores estarem próximos do solo, gerando um ambiente diferenciado pela presença de grama e de umidade no solo.

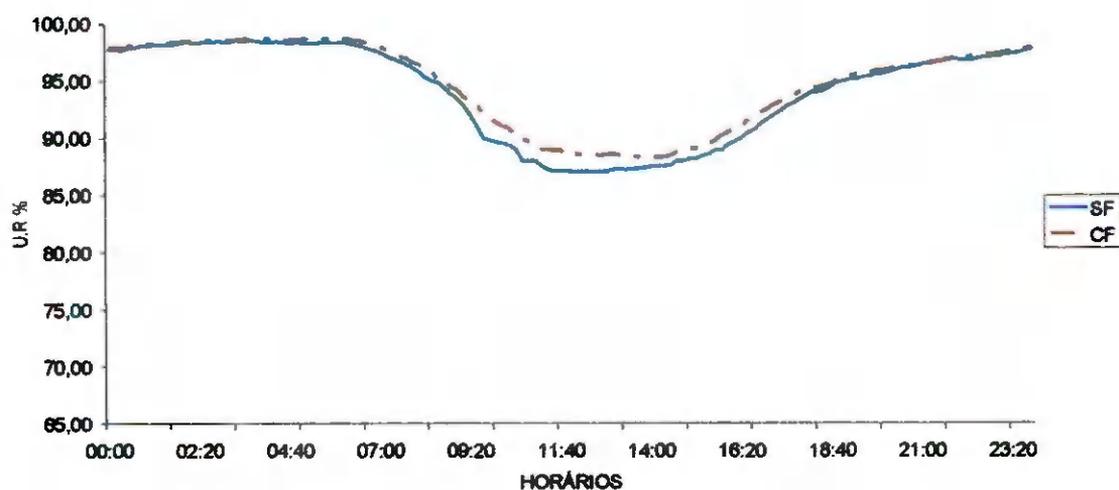
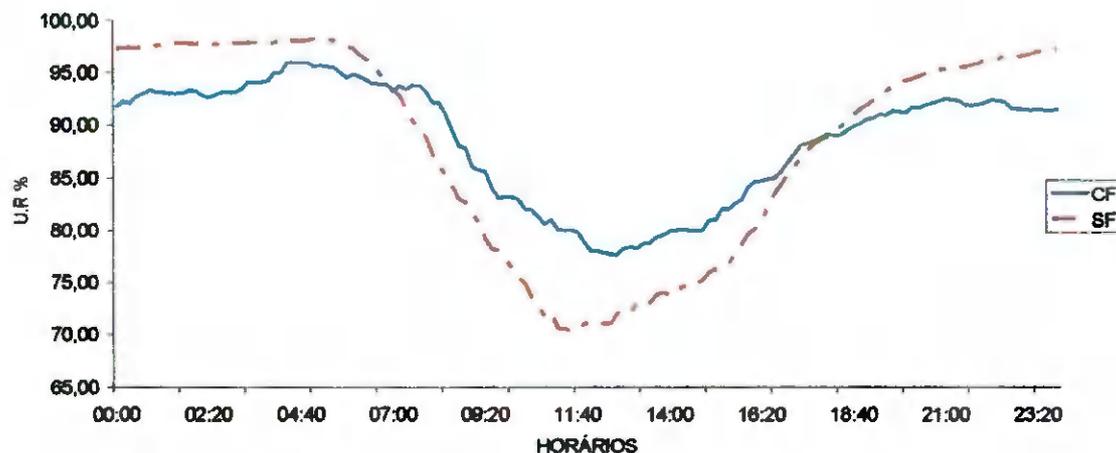


Figura 30. Valores médios da umidade relativa do período frio



**Figura 31.** Valores médios da umidade relativa do período quente

O conseqüente aumento da umidade relativa nos modelos reduzidos (SF) e (CF) do período frio e do período quente em todos os horários foram superiores aos valores encontrados pela estação Meteorológica da universidade Federal de Campina Grande. Este fato, provavelmente, ocorreu porque os termopares foram instalados próximos ao nível do solo gramado, devido à umidade no interior dos modelos reduzidos aumentar pela evapotranspiração das plantas (gramado) e pela evaporação do solo, criando um microclima diferente do ambiente externo.

Dessa forma, um higrômetro tipo bulbo úmido-bulbo seco permite medir a umidade através do registro de duas temperaturas; uma correspondente ao ar que incide sobre o termômetro com o bulbo seco, e a segunda temperatura correspondente à temperatura registrada pelo termômetro recoberto por uma mecha umedecida com água destilada. Este segundo termômetro registrará uma temperatura menor devido ao fenômeno de resfriamento evaporativo, que é conseqüência da interação do ar com a água contida na mecha que recobre o sensor de temperatura. Contudo, pode-se salientar que a umidade relativa é influenciada pelas temperaturas do bulbo seco e do bulbo úmido, tendo seus valores maiores quando as temperaturas forem mais próximas e tendo umidade relativa com valores menores quando as diferenças de temperaturas entre os bulbos forem maiores.

#### 4.1.9 Velocidade do vento

A ventilação natural é difícil de ser controlada, uma vez que muda de intensidade e de direção constantemente, porém, associada com a temperatura e a umidade relativa do ar,

é a responsável pela sensação térmica percebida pelos animais. No entanto, durante o período experimental, no ambiente onde estavam os modelos reduzidos, a velocidade do ar apresentou valores médios de 4,2 m/s e 4,9 m/s, obtidos na estação Meteorológica da UFCC, que se localizava próximo da área experimental onde estavam os modelos reduzidos. Apesar desse valor ter sido considerado uma média de duas coletas diárias, os modelos reduzidos foram suficientes em aproveitar a ventilação natural, apresentando – na área – valores que variaram de 2,2 a 7,4 m/s no período frio e valores de 2,6 A 7,2 m/s no período quente.

Segundo Ferreira (2005), a velocidade do vento deve ficar em torno de 5 a 8 Km/h para a maioria dos animais domésticos, valores esses, dentro do recomendado e que foram encontrados nesta pesquisa.

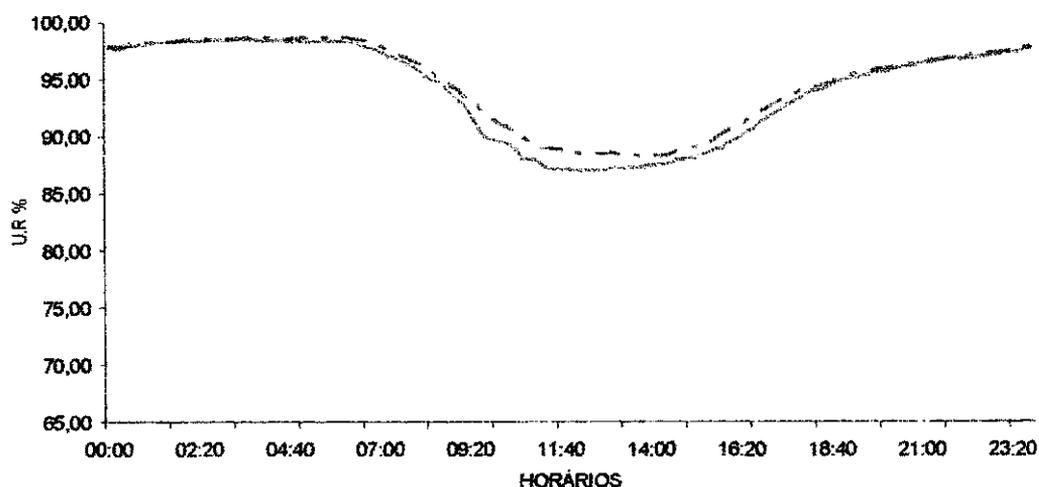
Nas regiões onde a temperatura se situa quase que sempre acima da requerida para o conforto térmico dos animais, como é o caso da região onde esta pesquisa foi desenvolvida, ela tem o objetivo de controle térmico, de modo a extrair o calor produzido pelos animais para que a temperatura, no interior da instalação, não aumente, minimizando, assim, o efeito estressante pelo calor nos animais. Ainda, pode-se salientar que, no inverno, a ventilação tem o objetivo de controle sanitário, sendo conhecida como ventilação higiênica, por eliminar os gases nocivos e permitir o controle da pureza do ar, prover a instalação de oxigênio, eliminar amônia e outros gases nocivos aos animais e ao homem, além de eliminar excesso de umidade e de odores.

Todos estes benefícios de eliminação de gases, de amônia e demais situações que prejudicam o desempenho dos animais não foram analisados pela ausência de animais nos modelos reduzidos.

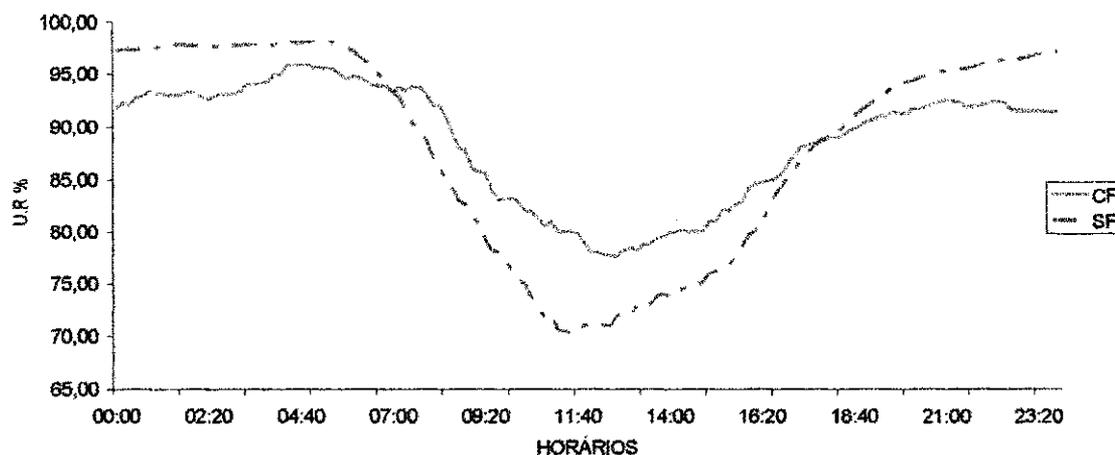
Pode-se observar – nas Figuras 30 e 31 – que a UR é mais elevada durante o período noturno, diminuindo durante o dia, sendo os menores valores observados entre as 11h00min e 15h00min. Os tratamentos que apresentaram menores índices foram os modelos reduzidos (SF) do período frio e do período quente, principalmente, nos horários mais críticos.

Esse comportamento esteve dentro do esperado, uma vez que com elevação da temperatura do ar ao longo do dia, geralmente, ocorre maior depressão psicrométrica (diferença de temperatura de bulbo seco e a do bulbo úmido), reduzindo os valores da umidade relativa do ar nesses períodos.

Observa-se, também, na Figura 30, que os modelos reduzidos (SF) e (CF) do período frio tiveram valores mínimos e máximos de 88% e 98% e de 87% e 98% respectivamente, ou seja, superaram os 80% que é a umidade máxima recomendada para todos os animais domésticos. Nos modelos reduzidos dos períodos frio e quente, que podem ser observados nas Figuras 30 e 31, a presença do forro não contribuiu para manter uma umidade relativa menor, exceto no horário noturno do período quente. Este acontecimento da umidade relativa ser maior nos modelos reduzidos (CF), provavelmente, ocorreu por dois motivos: a presença do forro foi uma barreira para manter os valores da temperatura do bulbo seco e do bulbo úmido mais próximas, parecidas; ou pela posição dos sensores estarem próximos do solo, gerando um ambiente diferenciado pela presença de grama e de umidade no solo.



**Figura 30.** Valores médios da umidade relativa do período frio



**Figura 31.** Valores médios da umidade relativa do período quente

O conseqüente aumento da umidade relativa nos modelos reduzidos (SF) e (CF) do período frio e do período quente em todos os horários foram superiores aos valores encontrados pela estação Meteorológica da universidade Federal de Campina Grande. Este fato, provavelmente, ocorreu porque os termopares foram instalados próximos ao nível do solo gramado, devido à umidade no interior dos modelos reduzidos aumentar pela evapotranspiração das plantas (gramado) e pela evaporação do solo, criando um microclima diferente do ambiente externo.

Dessa forma, um higrômetro tipo bulbo úmido-bulbo seco permite medir a umidade através do registro de duas temperaturas; uma correspondente ao ar que incide sobre o termômetro com o bulbo seco, e a segunda temperatura correspondente à temperatura registrada pelo termômetro recoberto por uma mecha umedecida com água destilada. Este segundo termômetro registrará uma temperatura menor devido ao fenômeno de resfriamento evaporativo, que é consequência da interação do ar com a água contida na mecha que recobre o sensor de temperatura. Contudo, pode-se salientar que a umidade relativa é influenciada pelas temperaturas do bulbo seco e do bulbo úmido, tendo seus valores maiores quando as temperaturas forem mais próximas e tendo umidade relativa com valores menores quando as diferenças de temperaturas entre os bulbos forem maiores.

#### 4.1.9 Velocidade do vento

A ventilação natural é difícil de ser controlada, uma vez que muda de intensidade e de direção constantemente, porém, associada com a temperatura e a umidade relativa do ar,

é a responsável pela sensação térmica percebida pelos animais. No entanto, durante o período experimental, no ambiente onde estavam os modelos reduzidos, a velocidade do ar apresentou valores médios de 4,2 m/s e 4,9 m/s, obtidos na estação Meteorológica da UFCC, que se localizava próximo da área experimental onde estavam os modelos reduzidos. Apesar desse valor ter sido considerado uma média de duas coletas diárias, os modelos reduzidos foram suficientes em aproveitar a ventilação natural, apresentando – na área – valores que variaram de 2,2 a 7,4 m/s no período frio e valores de 2,6 A 7,2 m/s no período quente.

Segundo Ferreira (2005), a velocidade do vento deve ficar em torno de 5 a 8 Km/h para a maioria dos animais domésticos, valores esses, dentro do recomendado e que foram encontrados nesta pesquisa.

Nas regiões onde a temperatura se situa quase que sempre acima da requerida para o conforto térmico dos animais, como é o caso da região onde esta pesquisa foi desenvolvida, ela tem o objetivo de controle térmico, de modo a extrair o calor produzido pelos animais para que a temperatura, no interior da instalação, não aumente, minimizando, assim, o efeito estressante pelo calor nos animais. Ainda, pode-se salientar que, no inverno, a ventilação tem o objetivo de controle sanitário, sendo conhecida como ventilação higiênica, por eliminar os gases nocivos e permitir o controle da pureza do ar, prover a instalação de oxigênio, eliminar amônia e outros gases nocivos aos animais e ao homem, além de eliminar excesso de umidade e de odores.

Todos estes benefícios de eliminação de gases, de amônia e demais situações que prejudicam o desempenho dos animais não foram analisados pela ausência de animais nos modelos reduzidos.

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições de realização do experimento e pelos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A presença do forro atuou como absorvedor de calor, influenciando no conforto térmico das instalações, mantendo níveis de temperatura menores nos modelos reduzidos (CF) no período frio e no período quente nos horários mais críticos;

- Todos os índices zootécnicos verificados foram menores nos modelos reduzidos (CF) nos horários em que a radiação solar foi mais intensa;

- Os valores das temperaturas e dos índices zootécnicos, provavelmente, não foram menores nos modelos reduzidos, porque a quantidade de ar e o espaço entre forro e piso são insuficientes para que a temperatura diminua, quando comparadas em instalações de escala real em que o espaço e a quantidade de ar são maiores;

- A utilização de um forro produzido de resíduo de EVA reciclado apresentou potencial de utilização em construções rurais e ambiência pela versatilidade de formas e de propriedades;

- As condições de pressão e de temperatura foram suficientes para plastificar e transformar em placas o resíduo de EVA;

- A presença de macroporos interconectados no resíduo de EVA atuou como dissipador de calor e de radiação;

- O uso de modelos reduzidos possibilitou verificar o desempenho das instalações agropecuárias com a presença de forro de resíduo de EVA;

- De acordo com os índices bioclimáticos observados, podem-se determinar as faixas de índices correspondentes a situações reais de conforto térmico em uma instalação agropecuária, fornecendo ao usuário subsídios para a tomada de decisões no controle ambiental da instalação animal.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIA

Abreu. P. G.; Abreu. V. M. N.; Paiva. D. P. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. vol. 59 nº. 4, Belo Horizonte, 2007.

Abreu. P. G.; Baeta. F. C.; Soares, A. R.; Abreu. U. M. N.; Maciel. N. F. Utilização de piso aquecido eletricamente na criação de aves. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.4, n.12, p.1-19, 1995.

Araújo. H. B.; Tinôco. I. F. F.; Baêta. F. C.; Cecon. P. R. Associação da aspersão e de diferentes materiais isolantes e reflexivos a coberturas tradicionais e seus efeitos sobre o conforto térmico em protótipos de galpões para criação de frangos de corte em alta densidade. Viçosa. Relatório Final de Iniciação Científica - Universidade Federal de Viçosa, UFV; 1998.

Baêta. F. C.; Dantas. F. F.; Cecon. P. R.; Passos. E. F. Estudo do termossifão em galpões para frangos de corte com coberturas de telha cerâmicas e de cimento amianto. Engenharia na agricultura, v.5, n. 14, 1996, p.1-16.

Baêta. F. C., Souza. C. F. Ambiência em edificações rurais – conforto térmico animal. Viçosa: UFV, 1997.

Baêta. F. C. Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season. Missouri: University of Missouri, 1985. 218p. Tese Doutorado

Bauke. C. Aspectos econômicos da criação de aves em ambientes climatizados. In: Simpósio Internacional sobre ambiência e sistema de produção avícola. Concórdia. Anais...Embrapa – CNPSA. 1998. p. 1-18.

Barnett. J. L.; Hemsforth, P.H. The validity of physiological and behavioural measures of animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, v.1, p.177-187, 1990

Bond. T. E.; Kelly. C. F.; Ittner. N. R. Radiation studies of paintend shade materials. *Agriculture Engineering*, v.35, n.6, 1954, p.622-627.

Bond. T. E., Kelly. C. F. The globe thermometer in agricultural research. *Agricultural Engineering*, v. 36, n.4, 1955, p.251-255.

Bond. T. E.; Kelly. C. F.; Garret, W. N.; Hahn, L.; Evaluation of materials for livestock shade. *California Agriculture*, v.15, 1961, p.7-8.

Bond. T. E.; Neubauer, L. W.; Givens, R. L. The influence of slop and orientacion on offctiveness livestock shades. *Transactions of the ASE*, v. 19, n. 11, p. 134-136, 1976.

Buffington. C. S.; 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. *Transactions of the ASAE*, v.24, n. 3, 1981, p. 711-714.

Campos. A. T. Determinação dos índices de conforto e carga térmica de radiação em quatro tipos de galpões, em condições de verão para Viçosa, MG. Viçosa: UFV, 1986.

Carneiro. F. L. Análise dimensional e teoria da semelhança e dos modelos físicos. Edição 2, editora UFRJ, 1996, p.155-160.

Compromisso Empresarial para Reciclagem. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/>. Acesso em:20 Nov. 2008.

Cezar. M. F.; Souza. B. B.; Souza. W. H.; Pimenta Filho. E. C.; Tavares. G. P.; Medeiros. G. X. Avaliação de parâmetros fisiológicos de ovinos Dorper, Santa Inês e seus mestiços perante condições climáticas do trópico semi-árido Nordestino. *Revista Ciência Agrotécnica*, Lavras, v. 28, n. 3, p. 614-620. 2004.

Costa. E. C. Arquitetura ecológica. Condicionamento térmico natural. 5.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1982.

Cunha. C. G. da; Neumann, W. Manual de impermeabilização e isolamento térmico – Como projetar e executar. Rio de Janeiro, RJ. 1979.

Curtis. S. E. Environmental management in animal agriculture, 2.ed. Ames: The Iowa State University Press, 1983. 407p.

Dantas. F. F. Estudo do termossifão em galpões para frangos de corte com cobertura em telhas de cerâmica e de cimento-amianto. Viçosa: UFV, 1995. 48p. Dissertação Mestrado.

Duncan. I. J. H. The changing concept sentience. Applied Animal Behavior Science, London, v.100, 2006, p.11-19.

Dybwad. I. R.; Hellickson. M. A.; Johson. C. E. Ridge vent effects on model building ventilation characteristic. Transaction of the ASAE, v. 17, 1974, p. 366-370.

Esmay. M. L. Principles of animal environment. 2.ed. Westport: AVI publishing company, 1969, p.329.

Eternit Conforto Térmico. São Paulo, Eterniot, 1981.12p. (Boletim nº 110).

Ferreira. R. F. Maior produção com melhor ambiente, para Aves, suínos e Bovinos, editora aprenda fácil, Viçosa, 2005, p.371.

Fraser. D. Animal ethics and animal welfare science. Bridging the two cultures. Applied Animal Behavior Science, Vancouver, v.65, 1999, p.71-89.

Guelfi filho. H.; Silva. I. J. O.; Moura. D. J.; Consiglierio. F. R. Índices de conforto térmico e da CTR para diferentes materiais de cobertura em 3 estações do ano. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 20, 1991, Londrina. Anais... Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1991. v.1, p.94-113.

Hassab. P.; Timmons, M. Climate control principles for open type housing. Pigs, Netherlands, v.5, n.4, 1989, p.20-23.

Hahn. Leroy.; BOND. E.; Kelly. C.; F. Use of models in thermal studies of livestock housing. Transactions of the ASAE, v.4, n.1, 1961, p.45-47.

Hahn. G. L. Management and housing of farm animals in hot environments. In: Stress Physiology in Livestock (M. K. Yousef, ed), vol. 2, Boca raton, FL: CRC Press, 1985.

Igono. M. O.; Steevens. B. J.; Shanklin. M. D.; Johson. H. D. Spray cooling effects on milk production, milk and rectal temperature of cows during a moderate temperature summer season. Journal of Dairy Science, Wisconsin, v.68, p.979-985. 1985.

Incropera. F. P.; Witt. D. P. Fundamentos de transferência de calor e de massa, editora afiliada, Rio de Janeiro, 1981.

Jentzsch. R. Estudos de modelos reduzidos destinado à predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas, Viçosa: UFV, 2002. Tese de Doutorado.

Kelly. C. F.; Bond. T. E. Effectiveness of artificial shade materials. Agriculture Engineering, v.39, n.12. 1958. p. 758, 759,764.

Kelly. C. F.; Ittner. N. R. Artificial shades for livestock in hot climates. Agricultural Engineering, v.29, n. 6. 1954, p. 239-242, 250.

Koltzsch. P.; Walden. F. Ahmlichkeitstheorie und modelltechorie. Hef1. Freiberg: TU. 1990.

Kravchenko. A.; Gonçalves. V. A. Influência dos materiais de cobertura na temperatura interna das construções. Anais da Escola de Agronomia e Veterinária da UFMG. v. 10, p. 27-38, 1980.

Leal, P. A. Determinação do microclima gerado dentro de uma estrutura a partir de dados ambientais. Campinas: UNICAMP, p. 79, 1981. Dissertação de Mestrado

Leal. P. A. M. Ambiência animal. In: 1º Encontro nacional de técnicos e pesquisadores de construções rurais 1990, São Paulo. Anais...São Paulo. SBEA. 1981.

Lund. V.; Coleman. G.; Gunnarsson. S.; Appleby. M. C.; Karkinen. K. *Animal Welfare Science – Working at the interface between the natural and social science*. Applied Animal Behavior Science, London, v. 97, 2006, p. 37-49.

Machado. N. S. *Arrefecimento térmico de cobertura de aviário por aspersão, com vista ao uso de água de chuva, no centro Oeste Brasileiro*, 2007, p. 15-22.

Michels. C. *Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes*, Florianópolis: UFSC, 2007, Dissertação de Mestrado.

Moraes. S. R. P. *Conforto térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas para diferentes coberturas, durante o verão*, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.89-92, 1999.

Moraes. S. R. P. *Conforto térmico e módulos reduzidos de galpões avícolas para diferentes coberturas durante o verão*. Viçosa: UFV, 1998. 73p. Dissertação Mestrado.

Morais. D. A. E. F.; Bento, C. A. P.; Sousa Junior, S. C. de; Vasconcelos, A. M. de; Souza, W. G. de. *Efeito da época do ano sobre características termorreguladoras de caprinos, ovinos e bovinos em região semi-árida*. Simpósio de Construções Rurais SINCRA de 8 a 10 de julho. UFCG, 2004.

Morgan. J.A., *Semidwarfing genes concentrate photosynthetic machinery and affect leaf gas exchange of wheat*. Crop Science, Madison, v. 30, p. 602-608, 1990.

Muehling. A. J. *Farm building insulation – application and problems*. Transactions of the ASAE, v.10, n.1, 1967, p.45-47.

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

Nããs. I. de A. *Princípios de conforto térmico na produção animal*. 1. ed. São Paulo: Ícone Editora Ltda, 1989. p.183.

Nããs. 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 ranço*,

em modelos de aviários com escala reduzida. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 21, n. 2, 2001. P.121-126.

Nããs, I. A.; Marchetti, D. B. . Status of the Agricultural Engineering National Program in Brazil. *AMA. Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*, Toquio, Japão, v. 20, n. 2, p. 66-70, 1989.

Nããs. I. A.; Moura. W.; Lagana. C. A. Amplitude térmica e seu reflexo na produtividade de frangos de corte. In. *Conferencia apinco de ciências e tecnologia avícola. Anais...Facta*,1994. p. 203-204.

Neubauer. L. W. Toward cool buildings. *Agricultural Engineering*, v.9, n..1, 1969, p.80-81.

Neubauer. L. W.; Cramer. R. D. Solar radiation control form small exposed houses. *Transactions of the ASAE*, v. 9, n. 2, 1966, p. 194-197.

Neubauer. L. W. Orientacion and insulation:model versus prototype. *Transactions of the ASAE*, v.15, n.4, 1972, p.707-709.

Oliveira. J. L.; Esmay. M. L. Systems model analysis of hot weather housing forlivestock. *Transactions of the ASAE*, v. 25, n.5, 1981, P. 1355-1359.

Oliveira. F. M. M.; Dantas. R. T.; Furtado. D. A.; Nascimento. J. W. B.; Medeiros. A. N. Parâmetros de conforto térmico e fisiológicos de ovinos Santa Inês, sob diferentes sistemas de acondicionamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 4, jan/fev. 2005, p.4-8.

Palmerio. E. M. Gerenciamento da produção de carne a pasto. In: *3º Congresso Brasileiro das Raças Zebuínas*. Uberaba. Anais..., 1998.

Pattie. D. R.; Milne. W. R. Ventilation air-flow patterns by use of models. *Transactions of the ASAE*, v.9, n.5, 1966, p.646-649.

Pereira. D. F.; Nããs. I.A.; Romanini. C. E. B. Welfare pointers in function of behavior reactions of broiler breeders. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 2, 2005, p. 308-314.

Pereira, N.; Bond, T. E; Morrison, S. R. Ping-pong Ball into Black-globe thermometer. *Agricultur Engineering*. V.48, n. 6, 1967, p. 341-342.

Piasentin. J. A. Conforto medido pelo índice de temperatura de globo e umidade na produção de frangos de corte para dois tipos de piso em Viçosa. Viçosa: UFV, 1984, p.98, Dissertação de Mestrado.

Rivero. R. O. Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural. 2.ed. Porto Alegre: D.C. luzzato, 1996. p.240.

Rivero. R. O. Arquiteura e Clima: acondicionamento térmico natural. Porto Alegre: UFRGS, 1985, p.32-56.

Rivero. R. O. Condicionamento Térmico Natural: Arquitetura e Clima. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986. p.240.

Rizzo. M. R.. Lixo não é Lixo. *Diário da Região*, São José de Rio Preto, 2002, p.A-3.

Rolim. A. M. A reciclagem de resíduos de EVA da indústria calçadista. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

Rosa. Y. B. C. J. Influencia de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico em condições de verão, para Viçosa. Viçosa: UFV, 1986. Dissertação Mestrado.

Rosa. Y. B. C. J. Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico, em condições de verão, para Viçosa. Viçosa: UFV, 1984. 77p Dissertação de Mestrado.

Sarmiento et al. Efeito da temperatura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. *Revista Agropecuária Técnica*, v. 26, n. 2, p. 117-122,2005.

Sevegnani. K. B.; Ghelfi Filho. H.; Silva. I. J. O. Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico, *Sciencia Agrícola*, Piracicaba, v.1, n.1, p1-7, 1994.

Santos. A. C. Análise de diferentes tipos de bezerreiros individuais móveis, para duas estações de outono e inverno na região de Viçosa. Viçosa: UFV, 1993, 99p. Dissertação Mestrado.

Silva. I. J. O. Bioclimatologia e melhoramento do gado leiteiro. Gado Holandês, v.53, n.148, 1988, p.5-12.

Silva. R. S. Correção dos valores dos índices térmicos ambientais calculados com dados coletados com globo termômetro de alumínio, latão e plástico de diferentes tamanhos, com relação ao globo termômetro de cobre (padrão). Viçosa, UFV, 1996. v.2. (Seminário apresentado como exigência de conclusão de Curso de Engenharia Agrícola).

Silva. I. J. O. Ghelfi Filho. H.; Consiglieri. F. R. Influência dos materiais de cobertura no conforto térmico de abrigos. Engenharia Rural, v.1, n.2, 1990, p.43-55.

Silva. R. G. Princípios de Biofísica Ambiental. No prelo, Editora UNESP, 2003.

Silva. I. J. O. Rastreabilidade na produção animal, 2. Piracicaba, 2003. CD. Piracicaba: FEALQ, 2003.

Souza. E. D.; Souza. B. B.; Souza. W. H.; Cezar. M. F.; Santos. J. R. S. dos; Tavares. G. P. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no semi-árido. Revista Ciência Agrotécnica, Lavras, v. 29, n. 1, jan/fev. 2005, p. 177-184.

Schuring. D, J. Scale models in engineering – fundamentals and applications . New York, 1977.

Timmons. M. B.; Baughman. G. R. A. Plenum concept applied to evaporative pad cooling for broiler housing. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.42, n.2, 1981, p.1877-1881

Tinôco. I, F, F. Resfriamento adiabático na produção de frangos de corte. Viçosa: UFV, 1998. p. 98.

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

Thom. E. C. The discomfort index. *Weatherwise*, v. 12, 1958, P. 57-60.

Torreira. Raul. P. Isolamento térmico. São Paulo, 1980.

Vaquero. E. G. Projeto e construção de alojamento para animais. 7 ed. Lisboa. Portugal: Litexa. 1981. 237p.

Van Wicklen. G. L.; Steinberg. S. D.; Egan. M. A. Reducing broiler house temperatures using a reflective roof coating. Madison: ASAE, 1985.

Vargas, E. Ramires et al. Degradation effects on the rheological and mechanical properties of multi-extruded blends of impact-modified polypropylene and poly. *Polymer degradation and stability*, p. 301-307, 2004.

Vittorino. F. S.; N. M. N. Akutsu. M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba, ENCAC, p.1277-1284.

Zattera, A. J. et al. Caracterização de resíduos de copolímeros de Etileno Acetato de Vinila – EVA. *Polímeros ciência e tecnologia*, v. 15, n. 1, p. 73-78, 2005.