

Impl. 26.7.95

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Bancu

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Daniella Jorge de Moura Pitarello e aprovada pela Comissão Julgadora em 03 de agosto de 1994. Campinas, 16 de fevereiro de 1995.


Presidente da Banca

ESTIMATIVA DE UM ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO APLICADO À PRODUÇÃO DE SUÍNOS, UTILIZANDO MODELOS EM ESCALA DISTORCIDA.

Por: Daniella Jorge de Moura Pitarello
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Irenilza A. Nääs

Dissertação apresentada à FEAGRI/UNICAMP como cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola - Área de concentração: Ambiência

Campinas, SP
Agosto - 1994

AGRADECIMENTOS

Desde o início de meu curso de Mestrado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, foram muitas as pessoas que colaboraram para a realização deste trabalho. A fim de evitar o esquecimento de um nome sequer, agradeço a todos que tive a oportunidade de conviver e trabalhar junto nesse projeto.

Gostaria de agradecer à Prof^ª. Dr^ª. Irenilza de Alencar Nääs, não só pela orientação a mim concedida, mas principalmente pela força e coragem que me foi passada.

Agradeço também ao CNPq e FAPESP, pelo apoio financeiro recebido.

Um especial agradecimento à minha família, pelo apoio em todos os sentidos e em todos os momentos dessa trajetória.

Finalmente, dedico este trabalho ao meu avô Gentil e ao meu filho William, pois cada um, de sua maneira, colaborou profundamente para que esse trabalho pudesse ser realizado.

SUMÁRIO

Página

PÁGINA DE ROSTO.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
SUMÁRIO.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVOS.....	04
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
3.1. Efeito do estresse térmico em suínos.....	06
3.2. Perda de calor em suínos.....	10
3.3. Índices de conforto térmico.....	11
3.4. A carga térmica de radiação.....	23

3.5. Modelos em escala.....	25
4. METODOLOGIA.....	27
4.1. Construção dos modelos.....	27
4.2. Simulação da produção de calor animal.....	30
4.4. Determinação do índice de conforto térmico.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1. Simulação de calor animal.....	36
5.2. Determinação do índice de conforto térmico.....	43
5.2.1. Análise estatística para determinação do índice de conforto.....	44
6. CONCLUSÕES.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ABSTRACT.....	55
APÊNDICE.....	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Figura 4.1. - Vista do modelo.....	28
2. Figura 4.2. - Vista geral dos modelos na área experimental.....	29
3. Figura 4.3. - Simulação de produção de calor no modelo.....	31
4. Figura 4.4. - Disposição dos equipamentos no modelo.....	33
5. Figura 5.1. - Comportamento da "UR" entre modelos com e sem simulação de calor para janeiro/1994.....	38
6. Figura 5.2. - Comportamento da "UR" entre modelos com e sem simulação de calor para fevereiro/1994.....	39
7. Figura 5.3. - Comportamento da "UR" entre modelos com e sem simulação de calor para março/1994.....	39
8. Figura 5.4. - Comportamento da "Tbs" entre modelos com e sem simulação de calor para janeiro/1994.....	40
9. Figura 5.5. - Comportamento da "Tbs" entre modelos com e sem simulação de calor para fevereiro/1994.....	40
10. Figura 5.6. - Comportamento da "Tbs" entre modelos com e sem simulação de calor para março/1994.....	41

11. Figura 5.7. - Comportamento da "Tg" entre modelos com e sem simulação de calor para janeiro/1994.....	41
12. Figura 5.8. - Comportamento da "Tg" entre modelos com e sem simulação de calor para fevereiro/1994.....	42
13. Figura 5.9. - Comportamento da "Tg" entre modelos com e sem simulação de calor para março/1994.....	42
14. Figura 5.10. - PCA X TBS (UR = 80%).....	46
15. Figura 5.11. - GPE X TBS.....	47

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Tabela 4.1. - Dimensões dos modelos em escala real e distorcida.....	27
2. Tabela 5.1. - Teste t entre dados meteorológicos dos modelos com e sem simulação de calor animal. (janeiro, fevereiro e março de 1994).....	37
4. Tabela 5.2. - Índice PCA de acordo com os níveis de conforto para suínos em terminação.....	47
5. Tabela 5.3. - Índice GPE de acordo com os níveis de conforto para suínos em terminação.....	48

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um índice de conforto térmico animal em modelos em escala de galpões para suínos. O experimento foi conduzido na Área Experimental do Departamento de Construções Rurais da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, onde foi adaptado aos modelos já existentes em escala distorcida, naturalmente ventilados. Os animais foram substituídos por uma fonte física de calor. Os dados climatológicos, para a determinação do índice, foram coletados em 5 horários, às 9:00, às 11:00, às 13:00, às 15:00 e às 17:00h. Uma análise de regressão polinomial foi realizada para a obtenção dos índices de conforto térmico: $PCA = 110815,89 + 7646,58 VV - 86,35 UR + 474,6 TPO - 4189,73 TBS + 912,88 TG$ e $GPE = 575,77 - 17,32 VV - 8,38 TBS$. Foram feitas tabelas relacionando valores calculados dos índices, de acordo com o nível de conforto que os animais estão sentindo em determinado momento, frente as condições ambientais as quais estão inseridos.

1. INTRODUÇÃO

Os animais domésticos são homeotermos, isto é, sobrevivem somente em uma faixa limitada de temperatura corporal. O ambiente térmico que os circunda possui uma influência direta na quantidade de calor trocado entre o animal e o ambiente. Os homeotermos, conseqüentemente, precisam manter um balanço térmico adequado entre o calor produzido pelos seus corpos e o calor que eles perdem ou ganham do ambiente em que vivem.

O ambiente térmico tem uma influência direta na quantidade de calor liberada pelos homeotermos. Sabendo-se que o animal produz calor transformando a energia química dos alimentos em energia (carne, leite, ovos), ou trabalho, concluímos que, se seu balanço de energia for afetado, isso poderá refletir diretamente no crescimento, produção e saúde dos animais. Os fatores do ambiente térmico, conseqüentemente, possuem uma grande importância na produção animal.

Para cada espécie animal existe um certo ambiente térmico onde ocorre uma máxima produtividade dos animais. Este ambiente desejável é denominado de zona de conforto térmico do animal.

Os limites para essa faixa de variáveis ambientais que compõem a zona de conforto térmico, além da espécie animal, dependerão da idade, do peso, sexo, quantidade e

qualidade dos alimentos além de outros fatores de manejo. Normalmente esses limites são especificados em termos de temperatura e umidade relativa.

Nos países em desenvolvimento como o Brasil, o sistema de confinamento vem sendo cada vez mais adotado pelos produtores. Porém, os criadores, ao construir uma instalação para o abrigo do animal, negligenciam o seu conforto térmico, se preocupando sim com o conforto dos tratadores, com a facilidade de arrazoamento e manejo dos animais e principalmente com a economicidade da construção.

Nas regiões tropicais, o clima passa a ser um fator limitante à produtividade máxima dos animais domésticos devido ao estresse que as altas temperaturas, principalmente associadas às altas umidades relativas, possam causar nos rebanhos.

O animal que se encontra sob estresse térmico desencadeia uma série de ajustes fisiológicos para que sua temperatura corporal seja mantida constante. Esses ajustes envolvem principalmente a redução no consumo alimentar o que leva a uma redução na sua produtividade.

A criação de animais confinados requer uma adequação da edificação ao clima local, para que sejam fornecidas aos animais, condições de conforto aliviando o estresse térmico comum nos trópicos. Para que isso seja feito, é importante verificar as condições climáticas da região com maior interferência no desempenho térmico de uma instalação animal. As variáveis ambientais que interferem na produção animal são principalmente a temperatura e umidade relativa do ar, a pressão atmosférica, a velocidade do vento, a radiação térmica e outras variáveis encontradas na circunvizinhança do próprio animal.

O grau de eficiência das modificações ambientais, que devem ser feitas nas instalações animais, precisa levar em conta a economicidade do processo e, principalmente, o conforto.

Para caracterizarem-se ou quantificarem-se as zonas de conforto térmico adequadas às diferentes espécies animais foram desenvolvidos os chamados índices de conforto térmico.

Os índices de conforto apresentam, em uma única variável, tanto os fatores que caracterizam o ambiente térmico que circunda o animal, como o estresse que tal ambiente possa estar causando no mesmo.

O desenvolvimento de um índice de conforto térmico deve, além de levar em conta os fatores meteorológicos relevantes para a criação de determinado animal, ressaltar o peso que cada fator possui dentro desse índice, conforme sua importância relativa também ao animal.

Os índices de conforto são altamente interessantes ao produtor já que conseguem quantificar, em uma única variável, o estresse térmico sofrido pelos animais a partir das condições meteorológicas existentes em dado momento.

2. OBJETIVOS

Tendo em vista a grande importância dos Índices de Conforto Térmico para o bom desempenho produtivo dos animais domésticos, além da não existência de índices de conforto desenvolvidos em condições tropicais para suínos, pretende - se neste trabalho:

1- Desenvolver um Índice de Conforto Térmico Para Suínos sob condições de clima tropical.

2- Encontrar índices que correspondam a faixas ótimas de produção, para que seja possível determinar através do uso do índice, o momento exato que uma criação suinícola se encontra sob estresse térmico e, conseqüentemente, perdendo em produção.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo ASHRAE (1985) o fato de os animais domésticos mais importantes serem homeotermos, faz assumir que para cada espécie existe um ambiente térmico onde ocorre uma máxima produtividade. A máxima eficiência de conversão alimentar pode ocorrer perto, mas não necessariamente nessa mesma faixa de ambiente, onde ocorre a maior produtividade. Se a temperatura encontrar-se acima do nível desejado, o animal decresce em seu consumo e mantém uma temperatura corporal constante, reduzindo conseqüentemente sua produtividade. No caso da temperatura ambiente decrescer abaixo desse nível desejado, o animal aumenta seu consumo alimentar para manter a homeotermia, e isso reduz sua eficiência em produção.

O ambiente térmico ótimo para um animal, a zona de conforto térmico dentro da termoneutralidade, ocorre quando a produção de calor é transferida ao ambiente sem requerer ajustes dos mecanismos homeotérmicos do próprio animal, ASHRAE (1985).

Segundo NÄÄS (1989) a termorregulação, apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra, culminando numa queda de produtividade.

Em ambientes quentes, a regulação física da temperatura corporal é feita através do aumento da circulação do sangue pelos capilares subcutâneos e pela separação física dos animais para facilitar as perdas de calor. Com o aumento da temperatura ambiental, a dissipação de calor torna-se mais difícil e quando essa liberação acontece, apresenta-se como uma retro alimentação negativa, aumentando o calor já em excesso no ambiente. As perdas por evaporação e a umidade contida no ar são elevadas tornando-se outro fator negativo para a perda de calor animal. Como a produção de calor é um subproduto necessário ao crescimento e produção e é consequência do consumo de alimentos, as limitações do ambiente na dissipação de calor, tornam-se um impedimento para a produtividade pois força um decréscimo no consumo de alimentos, ASHRAE (1985).

3.1. Efeito do Estresse Térmico em Suínos

Segundo ESMAY (1982) os suínos submetidos a altas temperaturas perdem menos calor sensível. E com um acréscimo na umidade relativa, sentem dificuldades em perder calor por vaporização pulmonar. Sob o estresse, os suínos aumentam a perda de calor por evaporação através da respiração.

FEHR et al (1983) afirmaram que se a temperatura ambiental for a mesma que a temperatura corporal de suínos, o animal não pode perder calor por convecção ou condução e precisa perder calor por evaporação. Assim, sua taxa respiratória é aumentada, a fim de promover a evaporação através do sistema respiratório.

Em condições de calor os suínos necessitam minimizar a resistência a perdas de calor e, se for necessário, podem reduzir sua produção de calor, diminuindo o consumo de alimentos o que não é economicamente desejável, CLARK (1981).

De acordo com LEE, PHILLIPS (1948) os suínos são os mais sensíveis a altas temperaturas dentre os animais domésticos. Isso se deve ao seu metabolismo elevado, à capa de tecido adiposo que possuem, além de seu sistema termorregulador pouco desenvolvido. Os suínos não suam, quando sua temperatura retal atinge 44,4°C, eles morrem de hipertermia.

Segundo HALES (1974) os suínos sob condições de estresse térmico, dilatam seus vasos sangüíneos e saem das proximidades um dos outros, além de começarem a ofegar com a finalidade de facilitar as perdas de calor.

De acordo com BRODY (1945) um suíno exposto a altas temperaturas associadas a alta umidade relativa, reage de diversas maneiras para manter sua temperatura corporal constante:

1. reduz a produção de alguns hormônios como adrenalina e tiroxina;
2. reduz o consumo de alimentos;
3. reduz a atividade física;
4. aumenta a circulação periférica do sangue;
5. aumenta a perda de calor por vaporização pulmonar.

Estas medidas têm como finalidade reduzir a produção interna de calor do animal além de tentar aumentar as perdas de calor para o ambiente.

Os suínos durante o calor, segundo MULLER (1982), se deitam de lado com o focinho em direção ao vento. Deitam sobre os excrementos e poças para aliviar o calor.

HEITMAN, HUGHES (1949) investigaram os efeitos da alta umidade e altas temperaturas na performance de suínos. A 32°C ocorreu uma pequena diferença na resposta de porcas pesando 90,72 kg à 30 a 94% de umidade relativa, exceto pelo aumento da taxa

respiratória nas umidades mais altas. A 35°C e 30% de umidade relativa, as porcas perderam peso porém sobreviveram. Quando a umidade relativa aumentou para 94%, em uma temperatura de 35°C, os suínos foram severamente estressados. A temperatura corporal foi elevada em 1,4°C e a taxa respiratória aumentou para mais que o dobro.

A conversão alimentar e a taxa diária de ganho de peso para suínos em crescimento são afetadas pela temperatura do ar. Temperaturas entre 15 e 21°C produzem as máximas taxas de ganho de peso. A conversão alimentar de suínos declina a partir de temperaturas maiores que 15°C, ASHRAE (1985).

De acordo com MANGOLD et al (1967) a performance de suínos com 63kg de peso vivo é sensivelmente prejudicada em ambientes com temperatura superior a 23°C. Assim, o referido autor determinou que, para cada 1°C de incremento na temperatura ambiente, houve reduções de 45,4 e 13,6g, respectivamente, no consumo de alimentos e no ganho diário de peso.

ROLLER, GOLDMAN (1967) estudaram os efeitos da temperatura de bulbo seco e temperatura de ponto de orvalho na performance de 240 animais. A média diária de ganho de peso dos suínos e o consumo diário de alimentos foram significativamente influenciados pelas temperaturas de bulbo seco e ponto de orvalho, e pela interação desses dois parâmetros. A temperatura retal e a taxa de ovulação foram influenciadas unicamente pela temperatura de bulbo seco.

De acordo com MORRISON et al (1969) a umidade do ar influenciando nas perdas evaporativas de calor, particularmente pelos pulmões, afeta o ganho de peso dos animais

quando a temperatura ambiente se encontra acima das temperaturas recomendadas aos suínos. A umidade afeta o consumo de alimentos em temperaturas altas, porém não afeta a eficiência alimentar exceto em condições extremas. O fator umidade, isoladamente, possui pouca influência também na temperatura retal e na temperatura de superfície de suínos.

Há evidências de que a temperatura pode afetar a reprodução em várias fases, desde o desenvolvimento da puberdade à concepção. Particularmente, as temperaturas elevadas atrasam o início da puberdade, diminuem a taxa de concepção e aumentam a mortalidade de embriões. Alguns desses efeitos agem diretamente nos órgãos reprodutivos, os testículos e o útero. Além disso, a temperatura pode agir via hormônios, atuando sobre o período estral, no comportamento sexual, na concentração de progesterona e hormônio luteinizante de animais sob altas temperaturas, CLARK (1981).

Segundo JOHSON, GOMES (1969) o estresse calórico é extremamente prejudicial à reprodução animal. Em machos o excesso de calor faz com que os testículos percam peso e os túbulos seminíferos entrem em degeneração. O volume total do semen é reduzido, afetando negativamente a concentração e a mobilidade dos espermatozóides. Ocorre também, o aparecimento de espermatozóides anormais.

As fêmeas em contato com excesso de calor possuemaios silenciosos, o que é um inconveniente para a produção industrial, principalmente quando se utiliza inseminação artificial. Cresce o número de abortos e diminui o peso dos fetos ao nascer, HAFEZ (1973).

A taxa de concepção de suínos decresce em até 30% do normal quando são atingidos 32°C. São notadas também dificuldades no nascimento e decréscimo no número de embriões

vivos em altas temperaturas. Em caso de estresse severo, foram constatados casos de aborto, ASHRAE (1985).

Segundo NÄÄS (1989) há evidências de que a temperatura de 42°C em porcas em gestação, por um longo período de exposição, causa desconforto e perda de peso.

3.2. Perda de Calor em Suínos

Somente uma parte da energia absorvida pelos animais domésticos é utilizada para sua manutenção, trabalho e produção de ovos, leite e carne. O restante é transformado em calor e liberado para o ambiente. Parte do calor é liberado na forma de calor sensível o que influenciará na temperatura ambiente. O calor liberado na forma latente fará parte da água de evaporação, influenciando na umidade do ambiente, STROM (1980).

Segundo MONTEITH, MOUNT (1974) a forma convencional do balanço térmico de animais homeotermos é dada pela seguinte equação:

$$M - T = C + E + R$$

$$\text{Ganho} = \text{Perda}$$

Onde M e T são a quantidade de energia metabólica e de energia utilizada para o trabalho animal, enquanto que C, E e R são a quantidade de energia liberada por convecção, evaporação e radiação, respectivamente. Todas essas taxas são expressas em watts por m² da superfície externa do animal.

De acordo com STROM (1980) para o cálculo do calor liberado pelos animais domésticos, deve-se observar o peso dos animais, seu nível de produção, as condições climáticas do ambiente, além do número de animais existentes no interior da instalação.

Segundo SPILLMAN, HINKLE (1969) a quantidade de calor que um animal dissipa depende de sua taxa metabólica, nutrição e atividade física.

O ambiente tem um influência importante no gasto de energia dos animais e esta energia é derivada dos nutrientes provindos do alimento, isso significa que os efeitos térmicos do ambiente, terão conseqüências diretas no destino da energia que é recebida pelo animal. Esta ou é retida para o desenvolvimento do animal, ou é dissipada na forma de calor, perdendo assim em produtividade. Para o autor, a influência primária do ambiente na produtividade dos animais ocorre através da liberação de calor, CLARK (1981).

BOND et al (1959), observou que a 37°C, 50% UR e velocidade do vento de 0,12m/s, suínos de 68Kg, transferiram 3% de seu calor para o ambiente através da condução, 5% por convecção, 3% por radiação e 89% por evaporação.

3.3. Índices de Conforto Térmico

Segundo CLARK (1981) o objetivo dos índices de conforto térmico desenvolvidos tanto para humanos como para animais é o de apresentar em uma única variável fatores que caracterizem o ambiente térmico e o estresse que o mesmo possa estar causando em um animal. O autor afirma que o desenvolvimento de um índice de conforto térmico deve levar em conta os elementos meteorológicos importantes ao desenvolvimento de certa espécie animal,

e o peso que deve ser dado aos vários elementos refletindo sua importância relativa ao animal de certa idade com determinadas características.

Muitos índices de estresse ambiental vêm sendo utilizados em animais, levando em conta a taxa respiratória, o volume respiratório, a pulsação, a temperatura de superfície corporal, a temperatura interna corporal, o nível de atividade, o tipo de cobertura do corpo e outras características fisiológicas. A temperatura do corpo, a taxa respiratória e o volume respiratório são as respostas ao estresse térmico mais utilizadas, isoladamente ou em combinação para o desenvolvimento dos índices de conforto térmico FEHR et al (1983).

BAETA et al (1987) afirmaram que as respostas dos animais ao estresse térmico são fisiológicas e comportamentais, variando de espécie para espécie. Devido à essas variações os índices que foram desenvolvidos para respostas humanas não são diretamente aplicáveis para animais.

Muitos índices foram desenvolvidos para caracterizar as zonas de conforto térmico para humanos vestidos ou não. Alguns deles podem ser mais aplicáveis a certas faixas e tipos de ambientes que outros e seu uso necessita de alguns cuidados quando são aplicados a outros homeotermos, CLARK (1981).

Segundo BUFFINGTON et al (1981) o estresse devido ao calor é definido como todas as combinações de condições ambientais que causarão uma temperatura efetiva do ambiente maior que a zona termoneutra dos animais. Os quatro fatores ambientais que mais influenciam as temperaturas efetivas são: a temperatura de bulbo seco, a umidade, a radiação e a velocidade do vento. A exata combinação das condições ambientais em um índice, prevendo

quando o estresse devido ao calor inicia, é difícil, mas não é impossível de se especificar para uma espécie particular de animal.

NÄÄS (1989) classificou os índices de conforto térmico conforme a base para seu desenvolvimento. Os índices biofísicos são os baseados nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, e correlacionam os elementos de conforto com as trocas de calor que os originam. Os índices fisiológicos são os que se baseiam nas relações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura ambiente, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar. Já os índices subjetivos são os que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

A Temperatura Efetiva (T_e) desenvolvida por YAGLOU (1927), citado por CLARK (1981), é definida como a temperatura de ar parado, saturado com vapor d'água que produz a mesma sensação de calor para humanos submetidos ao mesmo ambiente. Combina os efeitos de perda ou ganho de calor por convecção e evaporação. O efeito da radiação é introduzido substituindo a temperatura de bulbo seco pela temperatura de globo negro. O peso do termo radiação na equação estará de acordo com o tamanho da onda de radiação e a natureza da cobertura do animal.

Segundo NEVINS (1961) o Índice de Temperatura Efetiva define combinações entre temperatura, umidade e movimentação do ar, os quais induzem a mesma sensação de calor em condições termoequivalentes. O Índice de Temperatura Efetiva define condições de efeitos fisiológico para pessoas sedentárias com roupas leves ou praticando exercícios leves.

SUGGS (1966) afirma que para o caso de indivíduos exercitando-se, principalmente em

temperaturas altas, o fator umidade deve ter maior importância do que o indicado pelo Índice de Temperatura Efetiva.

BECKET (1965) desenvolveu um Índice de Conforto Térmico denominado de "Temperatura Efetiva para Suínos", baseado na construção de um diagrama de partição de perda de calor pelos animais. A construção deste diagrama de perda de calor baseou-se em várias hipóteses: (1) a taxa respiratória é um indicador de desconforto térmico; (2) a temperatura da superfície animal é função da temperatura efetiva para suínos; (3) o calor metabólico total produzido é uma função da temperatura efetiva; (4) o calor removido pelos pulmões é igual à diferença de entalpia entre o ar inalado e o ar exalado; As respostas fisiológicas levadas em conta no desenvolvimento desse índice foram a quantidade de ar respirado por unidade de tempo por porcos de 68kg. Nesse estudo foram consideradas temperaturas do ar variando de 26,7°C à 38,0°C, pois é a faixa crítica de temperatura onde o nível de umidade do ar teria efeito significativo no desconforto térmico. A umidade relativa variou de 0 a 100% e a velocidade do vento foi constante. Assumiu-se uma temperatura radiante como sendo igual à temperatura ambiente.

O Fator de Vento K segundo SIPLE, PASSEL (1945), citado por CLARK (1981), é baseado no efeito imposto pelo vento em uma pessoa vestida em condições de ambiente frio. Esse fator indica o poder de resfriamento do vento e o perigo de exposição excessiva ao mesmo devido à troca de calor por convecção e evaporação.

É dado por:

$$K = 1,163 (10 V^{0,5} + 10,45 - V) * (33 - T_a)$$

em (w/m^2), onde:

V = velocidade do ar (m/s)

T_a = temperatura do ar ventilado (°C)

Segundo NÄÄS (1989) embora o índice tivesse sido desenvolvido para seres humanos, estudos em gado de corte indicaram que o efeito do vento pode ser avaliado também para animais.

Uma das mais importantes causas do estresse térmico para o homem e o animal é a radiação solar. Um índice que envolve este fator foi determinado por MINARD et al (1957), citados por CLARK (1981). O Índice de Temperatura de Globo (WBGT) é baseado nas medidas da temperatura de globo, da temperatura de orvalho e da temperatura ambiente. É dado pela seguinte equação:

$$WBGT = 0,7 TBU + 0,2 TG + 0,1 TA$$

Em locais sombreados e adequadamente ventilados temos:

$$WBGT = 0,7 TBU + 0,3 TG$$

onde: TBU = temperatura de bulbo úmido (°C)

TG = temperatura de globo (°C)

TA = temperatura ambiente (°C)

Segundo NÄÄS (1989) o fundamento da utilização desse índice está na consideração de que o estresse devido ao calor por irradiação solar é uma parcela significativa da troca térmica seca. O índice não engloba a velocidade do vento, entretanto, para termômetros de globo com diâmetros grandes, há diferenças de leitura quando a velocidade do vento está acima de 1 m/s.

O WBGT, segundo OLIVEIRA (1980), foi originalmente desenvolvido para humanos, com a finalidade de descrever condições térmicas críticas em operações armadas do exército.

Segundo BUFFINGTON et al (1981) o índice de conforto mais comum existente é o Índice de Temperatura e Umidade (THI), desenvolvido originalmente por THOM (1958), e adotado pela U.S. Weather Bureau em 1959 como índice de conforto térmico para humanos.

Uma das formas da equação do THI é:

$THI = TBS + 0,36 TBU + 41,5$ onde:

TBS = temperatura de bulbo seco (°C)

TBU = temperatura de bulbo úmido (°C)

CARGILL, STEWART (1966) observaram que as mesmas variáveis psicrométricas causadoras do desconforto térmico em humanos, também causam certo desconforto em vacas leiteiras o que pode acarretar decréscimos na produção de leite. Verificou-se que em um THI de 76 ou 77, a produção de leite declina. Os autores sugerem que as instalações destinadas às vacas leiteiras não devem atingir um THI maior que 75.

Já JOHNSON et al (1963) afirmaram que os declínios na produção de leite são maiores conforme o aumento no THI. Em um THI de 70 ou menos, as vacas não sentem desconforto térmico. Entretanto em um THI acima de 75, o consumo de alimentos declina e a produção é afetada negativamente.

BERRY, SHANKLIN (1964) afirmaram que o declínio na produção de leite em vacas Holstein é funcionalmente tratado pela seguinte equação que envolve o THI:

$$\text{MDEC} = - 1,075 - 1,736 (\text{NL}) \cdot (\text{THI})$$

onde:

MDEC = Medida de declínio na produção de leite em (kg/dia/vaca)

NL = Nível normal de produção em (kg/dia/vaca)

ROLLER, GOLDMAN (1969) propuseram o uso do Índice de Bulbo Úmido e Bulbo Seco como um simples indicador do efeito do ambiente térmico imposto aos suínos.

A equação a seguir é considerada a mais adequada para averiguar tal efeito:

$$\text{WD} = 0,45 \text{ TBU} + 1,35 \text{ TBS} + 32$$

onde:

WD = índice de bulbo úmido e bulbo seco

TBU = temperatura de bulbo úmido (°C)

TBS = temperatura de bulbo seco (°C)

Segundo esses autores, quando o índice atinge o valor de 85 ocorre alteração na temperatura retal de suínos e na taxa respiratória como efeito do estresse térmico. Tal índice foi desenvolvido com base em várias respostas fisiológicas dos suínos ao estresse calórico, principalmente a temperatura retal. Não foi levada em conta a taxa de ganho de peso ou eficiência alimentar dos animais.

Segundo BUFFINGTON et al (1981) o THI engloba os efeitos combinados de temperatura de bulbo seco e umidade para o conforto e performance animal. O BGHI (Índice de Umidade e Temperatura de Globo) integra a temperatura de bulbo seco, umidade, nível de radiação e movimentação do ar. O BGHI é calculado de acordo com:

$$\text{BGHI} = \text{TG} + 0,36\text{TPO} + 41,5 \quad \text{onde:}$$

TG = temperatura de globo negro, (°C)

TPO = temperatura de ponto de orvalho, (°C)

O mesmo autor afirma que o BGHI é um indicador mais preciso do conforto térmico animal e da produção animal quando comparado ao THI em condições ambientais onde a radiação solar ou a velocidade do vento são altas. Sob condições de níveis moderados de radiação solar o BGHI e o THI são igualmente eficientes como indicadores do Conforto Térmico Animal.

Temperaturas retais e taxa respiratória de vacas leiteiras são diretamente relacionadas com o BGHI, enquanto que a produção de leite e a eficiência reprodutiva estão inversamente relacionadas, BUFFINGTON et al (1981).

FEHR et al (1983), desenvolveram um THI para um abrigo destinado à criação de suínos contendo um sistema de refrigeração com 80% de eficiência evaporativa.

Foi desenvolvido por DESHAZER, BECK (1988) um THI para poedeiras. O THI foi obtido de dez combinações de ambientes sob estresse térmico o que envolveu temperaturas e umidades relativas variando de 30 a 38°C e 50% a 90% respectivamente.

A Temperatura Operacional, segundo CLARK (1981), de um ambiente combina os efeitos físicos da temperatura de radiação (T_r), a temperatura ambiente e a movimentação do ar.

A temperatura operacional é dada pela seguinte equação:

$$T_{op} = (h_r \cdot T_r) + (h_c \cdot T_a) / (h_r + h_c)$$

onde:

h_c = coeficiente de transferência de calor por convecção

h_r = coeficiente de transferência de calor por radiação

T_r = temperatura média radiante, (°C)

T_a = temperatura do ar, (°C)

Incorporando a velocidade do vento na equação, segundo GAGGE (1965), citado por CLARK (1981), tem-se a temperatura operacional (T_{op}) dada por:

$$\text{Top} = (1 / 1+k) * [k (17,7 + \text{Tr}) + (V / \text{Vo}) * (17,7 + \text{Ta}) - (V^{0,5} / \text{Vo}) * (17,7 + \text{tsk}) - 0,55] - 17,7$$

onde:

tsk = temperatura da superfície corporal (°C)

k = (hr / hc)

Vo = velocidade padrão do ar (m/s)

V = velocidade do ar (m/s)

Foi desenvolvido por MORRISON et al (1968) um índice denominado de "Fator de Redução de Ganho de Peso" para suínos pesando 45kg, baseado em temperaturas acima da temperatura ótima de crescimento desses animais, 22,2°C, 50% de umidade relativa e velocidade do vento de 0,12m/s. Para o desenvolvimento desse índice foram assumidos várias: (1) o decréscimo fracional no ganho de peso de suínos devido aos acréscimos na umidade em dada temperatura é igual ao decréscimo fracional na perda de calor devido à esse mesmo decréscimo na umidade; (2) a umidade não afeta as perdas superficiais de calor sensível e latente; (3) o único efeito da umidade nas perdas de calor pelos pulmões é a mudança de entalpia do ar inalado; (4) o ar exalado possui uma temperatura de 32,8°C e 90% de UR, sem levar em conta as condições do ar inalado. Não foram assumidos efeitos de variações cíclicas na temperatura, variações na velocidade do ar, diferença de temperatura das paredes, possível aclimatização dos animais, além de outros fatores. Com esse fator podemos obter a taxa de ganho ou perda de peso que se pode esperar à dada temperatura e umidade de um local qualquer.

ORITSLAND (1974), citado por CLARK (1981), apresentou um índice denominado de "Vento Frio" e de "Radiação Solar" para animais com pelo ou plumas, baseado nas relações de balanço térmico. O índice engloba as médias de perda de calor como função do peso corporal e da cobertura superficial do animal sob condições naturais de clima seco. Não se trata de uma expressão completa do processo de perda de calor, mas um índice de referência para respostas ao frio.

Um modelo determinístico para suínos em crescimento foi desenvolvido por BRUCE, CLARK (1979). Esse modelo obtém a temperatura crítica mínima (LCT), definida como a temperatura ambiente na qual os suínos estão estressados pelo frio. BLACK et al (1979), estenderam esse modelo para permitir o cálculo da temperatura crítica máxima (UCT), a qual é a temperatura ambiente em que os suínos estão estressados pelo calor. As variáveis utilizadas para se desenvolver a UCT incluem a temperatura, velocidade e umidade do ar, tipo de piso da instalação, peso vivo dos animais, e tamanho do grupo no qual se encontram.

O Índice de Temperatura Equivalente (ETI), desenvolvido por BAËTA et al (1987), teve como base dois indicadores de estresse para o gado de leite: os níveis de armazenagem de calor no corpo e os níveis de produção de leite. Para uma combinação de temperatura, umidade e movimentação do ar o ETI é definido como a temperatura de bulbo seco equivalente a 40% de umidade relativa e 0,5 m/s de velocidade do vento. Observando os dados experimentais indicadores de estresse térmico animal concluiu-se que umidades acima de 40% incrementam o estresse sentido pelos animais. Já os 0,5 m/s de velocidade reproduzem as condições reais de um animal abrigado e não é um valor que alivia o estresse térmico do animal.

O ETI aplica-se a temperaturas ambientais de 16 a 41°C, umidades relativas de 40 a 90% e velocidade do vento de 0,5 a 6,5 m/s e é dado pela equação:

$$ETI = 27,88 - 0,456 t + 0,010754t^2 - 0,4905h + 0,00088h^2 + 1,1507V - 0,126447V^2 + 0,019876t(h) - 0,046313t(V)$$

onde:

t = temperatura do ar (°C)

h = umidade relativa do ar (%)

V = velocidade do vento (m/s)

BAETA et al (1987), demonstraram as faixas de ETI que são classificadas como livre de estresse (valores de índice de (18 a 27°C), cuidado com estresse (27 a 32°C), extremo cuidado (32 a 38°C), perigo (38 a 44°C) e extremo perigo (valores maiores que 44°C). O estabelecimento dessas faixas foi baseado em recomendações da National Weather Service.

Tais faixas são extremamente importantes para que os produtores possam observar o nível de estresse térmico que o animal está sendo submetido através de um único número representado pelo Índice de Conforto.

3.4. A Carga Térmica de Radiação

Segundo OLIVEIRA (1980), em qualquer projeto de instalações que vise além de outros fatores, o conforto térmico animal em climas quentes, deve-se considerar o efeito da radiação solar.

Para estimar a quantidade de radiação interceptada pela superfície de um animal ou planta, a irradiação das superfícies precisa ser multiplicada por um fator de forma que depende de geometria da superfície em questão e as propriedades direcionais da radiação. Para tornar esse processo mais prático, são usadas esferas ou cilindros que possuem uma geometria relativamente simples para representar o formato irregular das plantas e animais, MONTHEITH (1973), citado por OLIVEIRA (1980).

Para quantificar a quantidade de radiação que chega na esfera, são necessários não somente os fatores de forma mas também a taxa de emissão ou energia radiante das várias superfícies da redondeza da esfera. A relação entre o microclima e a radiação liberados por alguns materiais e solos foram medidos por BOND, KELLY (1968).

BOND, KELLY (1955), em uma pesquisa sobre ambientação animal em Davis, California, estudaram as características físicas do termômetro de globo, juntamente com alguns aspectos de sua aplicação prática em laboratório e no campo.

Segundo NÄÄS (1989), o termômetro de globo, que fornece a temperatura de globo foi inventado em 1932 por H.M. Vernom e consiste em uma esfera oca de cobre, recoberta com tinta preta fosca, com um sensor térmico em seu centro. O globo alcança o equilíbrio térmico quando o calor de radiação incidente iguala-se ao calor perdido por convecção.

Vários autores estudaram as aplicações práticas do termômetro de globo em estudos de ambiência ou conforto térmico de onde foram retiradas algumas conclusões importantes, NAAS (1989):

- A temperatura de globo, obtida no termômetro de globo está relacionada com a sensação de calor e indica o estresse térmico sentido pelo ser humano.

- Em experimentos de campo para a determinação da carga térmica radiante (CTR) de ambientes, o termômetro de globo mostrou ser eficiente, apontando, por exemplo, que o sombreamento reduz em até 20% a carga térmica radiante de animais em pasto.

ESMAY (1982) afirma que o termômetro de globo permite obter com segurança e continuamente a temperatura média radiante de um ambiente fechado e também fornece dados para avaliar a efetividade de sombras em ambientes abertos. O termômetro de globo indica os efeitos combinados da energia radiante, da temperatura e velocidade do ar, três importantes fatores que afetam o conforto térmico animal. O autor comenta que o termômetro de globo em estudos de ambientação animal deve ser colocado aproximadamente no nível do centro do animal.

RABER, HUTCHINSON (1950) sugeriram que o uso da esfera como uma superfície de referência simplifica o cálculo da temperatura média radiante e da carga térmica radiante incidente. Apesar da superfície animal ser diferente da superfície de globo, para o caso de projetos é suficientemente preciso avaliar a temperatura média radiante em uma esfera pequena localizada em um ponto representando a posição do animal.

3.5. Modelos em Escala

Os modelos em escala vêm se mostrando vantajosos e adequados à pesquisa em ambiência animal. Além de reproduzirem as características e respostas térmicas de instalações naturais, reduzem os custos e o tempo despendido na experimentação.

A literatura dispõe de várias publicações visando o uso de modelos em escala distorcida que são utilizados nas várias áreas da Engenharia.

HAHN et al (1961), desenvolveram um estudo de modelos observando o comportamento térmico de uma instalação específica a fim de determinar a independência da escala dos modelos nas respostas térmicas por eles apresentadas. A estrutura testada possuía paredes laterais e teto totalmente fechados. As paredes frontais e do fundo da instalação eram abertas para promover a circulação de ar na estrutura. Quatro estruturas similares, mas de tamanhos diferentes foram construídas: um modelo, tamanho natural de 2,43 m x 3,66 m x 1,98 m. Os demais modelos correspondiam a um quarto, um meio e um terço do modelo já citado. Os mesmos materiais de construção foram utilizados nos modelos onde até a espessura do piso e o espaço interno foram reduzidos em escala. Os autores não encontraram diferenças significativas na carga térmica radiante obtida nas quatro estruturas. Concluíram que para esse tipo de modelo, com ventilação totalmente natural, as respostas obtidas de temperatura interna nos modelos eram independentes do tipo de escala utilizada.

Segundo FOREHLICH et al (1975), foi encontrada uma relação linear entre aumentos na velocidade do vento e decréscimos no diferencial de temperatura em modelos em escala.

De acordo com MURPHY (1950), o modelo distorcido é a reprodução de um protótipo onde mais de uma escala é utilizada para descrever uma determinada dimensão. Para a compreensão dos fenômenos observados, é importante conhecer as conseqüências das alterações geradas pelas proporções, de forma a ter-se um entendimento dos fenômenos em escala real. Segundo o autor, as condições ideais para se trabalhar com modelos em processos termodinâmicos são: (1) que haja similaridade entre as proporções de comprimento e largura do espaço em questão; (2) que a variação de temperatura seja conhecida no modelo e sua eventual resposta em escala real.

4. METODOLOGIA

4.1. Construção dos modelos

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Construções Rurais da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Foram utilizados modelos em escala distorcida com a finalidade de viabilizar as tomadas de dados meteorológicos no interior dos mesmos. As escalas utilizadas foram: 1:10 na dimensão horizontal e 1:2 na dimensão vertical, SYDENSYRICKER (1993).

A Tabela 4.1, demonstra as dimensões dos modelos em escala utilizados no projeto.

Tabela 4.1. Dimensões dos modelos em escala real e distorcida

ESCALA	1:1	1:10	1:2
Largura	14,0m	1,4m	—
Comprimento	30,0m	3,0m	—
Pé Direito	3,0m	—	1,5m
Altura Parede	0,8m	1,1m	0,4m
Espessura Parede	0,2m	—	0,1m
Beiral	1,0m	—	0,5m

A escala 1:1 apresentada na tabela corresponde à instalação em tamanho real, representada pelos modelos em escala no experimento. Os padrões dimensionais encontrados em instalações usuais no Estado de São Paulo, foram tomados como base para determinarem-se as dimensões da instalação em escala real e conseqüentemente as dimensões dos modelos em escala .

Na Figura 4.1 tem-se uma vista de um dos modelos utilizados no projeto.

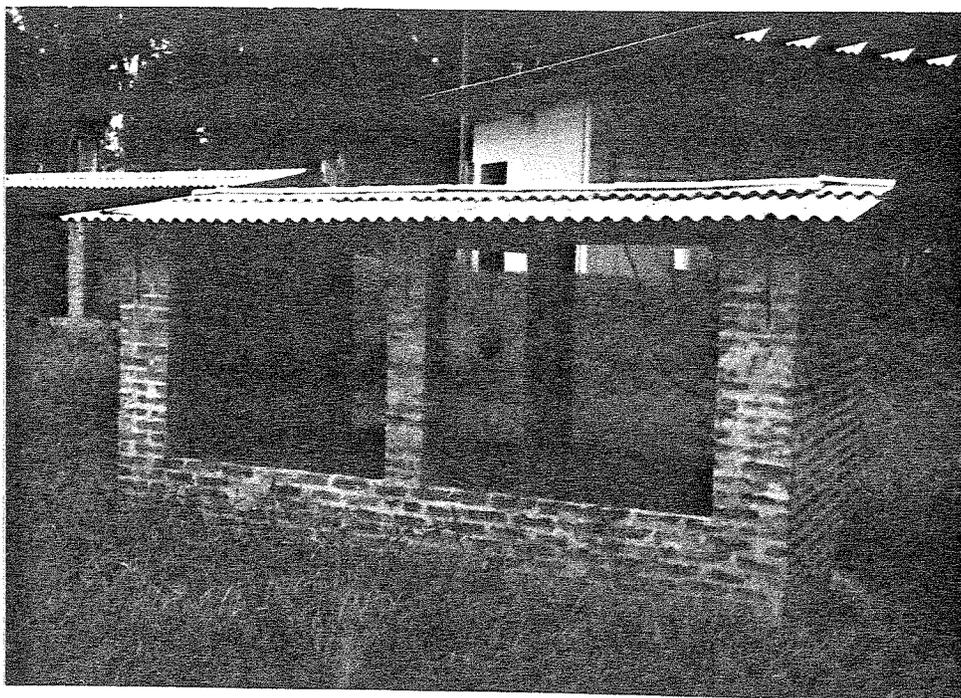


Figura 4.1. Vista do Modelo

No Apêndice 1 é apresentada uma planta baixa dos modelos e suas respectivas dimensões.

Os modelos se encontram na posição leste-oeste, no seu maior comprimento. Foram construídos em alvenaria, com ventilação totalmente natural por aberturas laterais como é comum ocorrer em instalações para suínos. O telhado foi construído em duas águas, possuindo telhas de cimento amianto de 4mm de espessura. A planta de localização mostrada no Apêndice 2 apresenta a disposição dos modelos na área experimental.

A vista geral dos modelos na área experimental é mostrada na Figura 4.2.

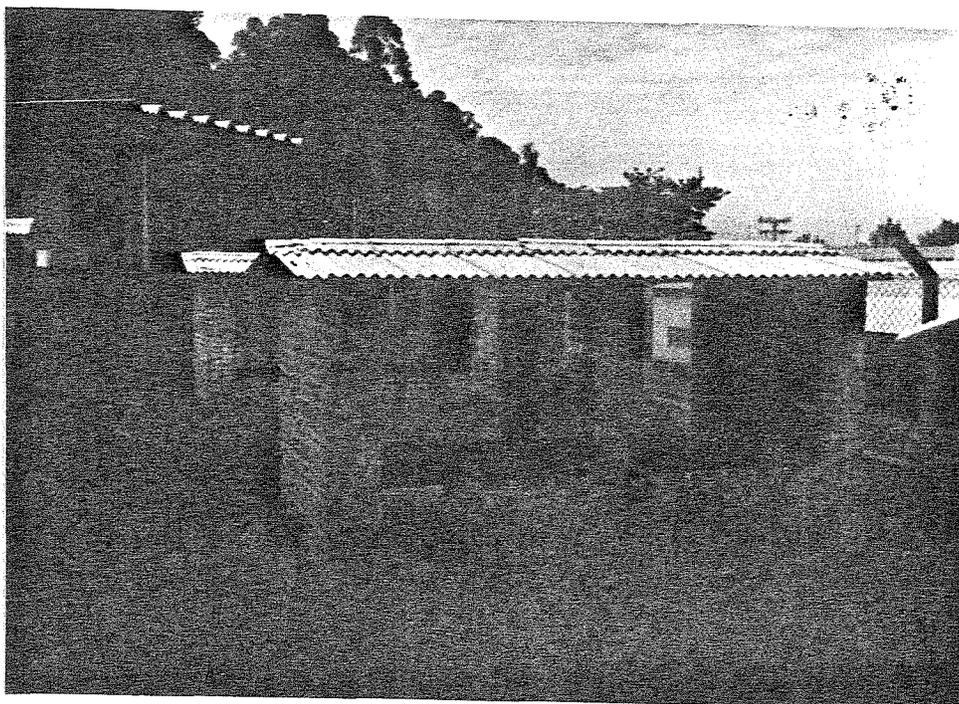


Figura 4.2. Vista geral dos modelos na área experimental.

4.2. Simulação da produção de calor animal.

Um dos modelos utilizados no experimento apresenta simulação de produção de calor animal, no caso, suínos em terminação. Os suínos foram substituídos por uma fonte de calor de origem física.

Segundo HELLICKSON, WALKER (1983), cada suíno em fase de terminação libera ao ambiente $160\text{W}/\text{m}^2$. No modelo, a área para os animais é de aproximadamente 3m^2 já eliminando a área proporcionalmente livre para o corredor (10cm de largura x 3,0m de comprimento). Sendo $160\text{W}/\text{m}^2$ e 3m^2 em cada modelo tem-se 480W, o que corresponde a 12 lâmpadas de 40Watts. Pesquisadores como DYBWARD et al (1974), DOWN et al (1985) e FOREHLICK et al (1975), utilizaram a mesma metodologia de simulação do calor animal em experimentos na área de ambiência animal, com uso de modelos em escala distorcida.

O desempenho térmico dos modelos em escala com fonte física de calor foi comparado ao comportamento térmico de modelos sem este tipo de simulação a fim de verificar sua eficiência. Tal processo foi realizado através de um teste estatístico de comparação de médias, teste t. Esta comparação foi realizada com base nos dados climáticos que foram coletados no interior dos protótipos. A Figura 4.3. mostra a disposição das lâmpadas no interior dos modelos.

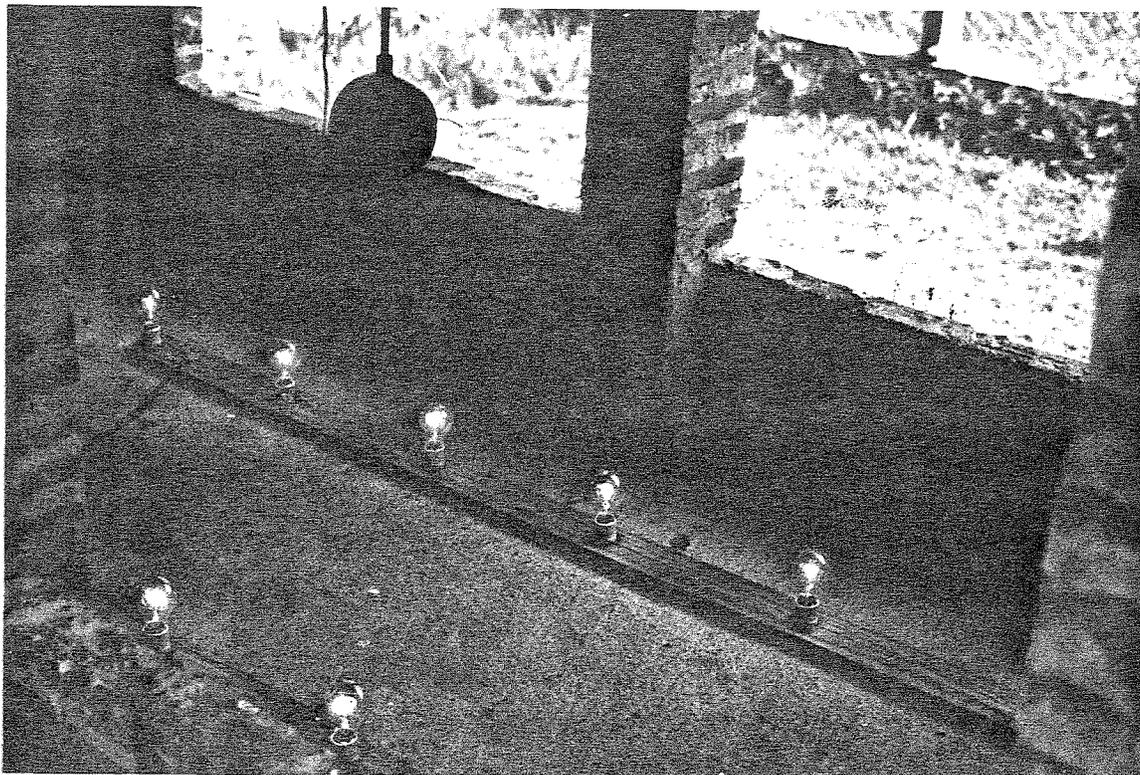


Figura 4.3. Simulação da produção de calor no modelo.

4.3. Determinação do índice de conforto térmico

No estudo, foi determinado um Índice de Conforto Térmico baseado nas variáveis ambientais obtidas no interior dos modelos.

A fim de se conhecer a variação de temperatura dos modelos e sua representatividade em escala real, foi montada em um trabalho preliminar, desenvolvido pela Optima (empresa

júnior do IMECC-UNICAMP), onde chegou-se às curvas isotermas de temperaturas dos protótipos e conseqüentemente dos modelos em escala real.

Para o cálculo do índice, foram registradas nos modelos as temperaturas de globo, bulbo úmido, bulbo seco e velocidade dos ventos. A coleta de dados foi feita diariamente entre os meses de janeiro, fevereiro e março nos horários: 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 e 17:00 horas.

As medições de temperatura de bulbo úmido e bulbo seco, foram feitas através de higrômetros da marca INCOTHERM, com amplitude de -10°C a 50°C , precisão de 1°C e termômetros de mercúrio.

Os dados de temperatura de globo foram obtidos através do uso de termômetros de globo. Este termômetro é formado pela associação de um termômetro (INCOTHERM) e uma esfera plástica, recoberta com tinta preta fosca. O termômetro utilizado possuía escala variando de -20°C a 50°C , e precisão de 1°C , sendo sua coluna de mercúrio. Este termômetro foi inserido no centro geométrico da esfera plástica, que foi vedada como recomendam NÄÄS et al (1993). De acordo com a literatura, o termômetro de globo indica os efeitos combinados de velocidade do vento, temperatura e principalmente de radiação.

A velocidade do vento foi obtida no interior dos modelos através do uso de um anemômetro de conchas da marca DRESDEN, com escala de 0 a 30m/s, e precisão de 1m/s.

Os equipamentos foram posicionados em altura correspondente ao centro geométrico dos modelos em escala. A Figura 4.4. mostra a disposição dos equipamentos no interior dos modelos.

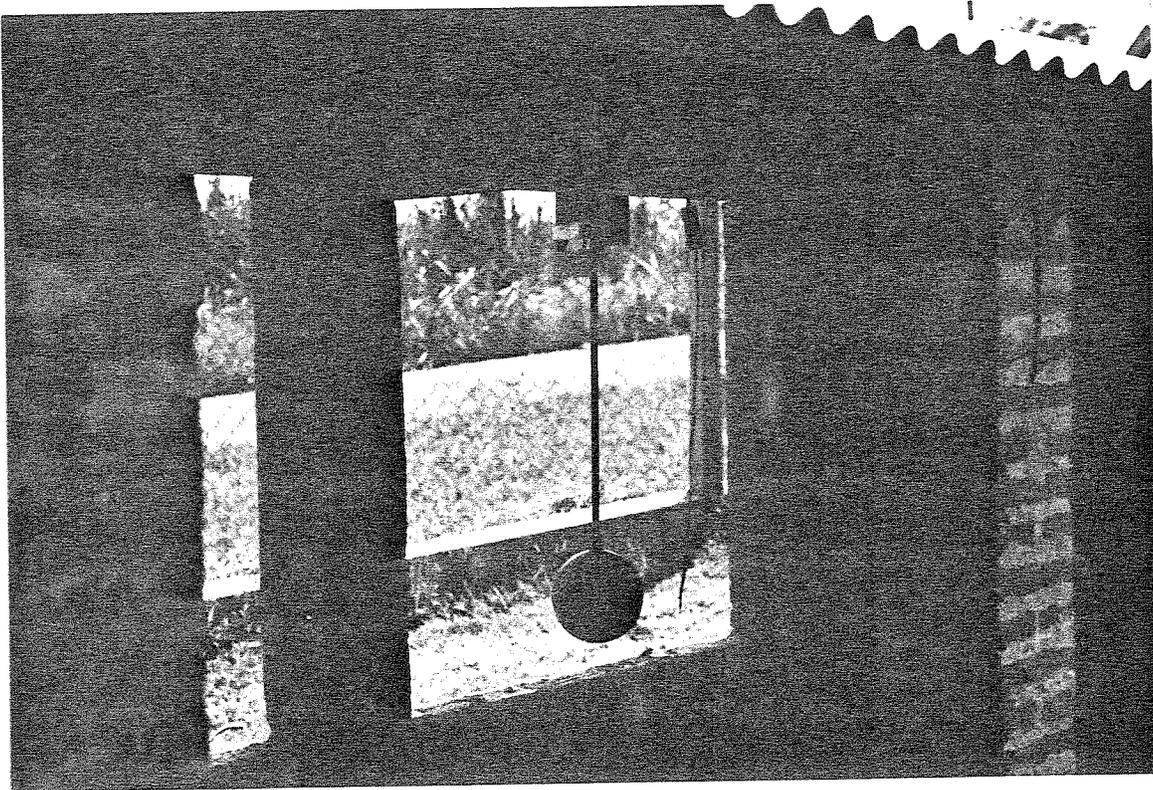


Figura 4.4. Disposição dos equipamentos no modelo.

Para a obtenção da resposta ao estresse animal devido às condições climáticas que estaria exposto, foi utilizado o "software" Pró Porco, com autoria de NÄÄS, AMARAL (1990),

Foram inseridas, no "software" Pró-Porco, as variáveis climáticas obtidas no período de coleta de dados. Esse programa de computador trabalha com valores de temperatura de bulbo seco, temperatura externa ao galpão, umidade relativa, velocidade do vento e valores de radiação solar em W/m^2 . Os valores de radiação solar para os diferentes horários de coleta de dados foram estimados de acordo com a literatura, já que na região de Campinas-SP, não há nenhum órgão de pesquisa meteorológica que colete este tipo de informação.

Além dos dados de clima, foram colocados no programa, dados construtivos da instalação como: dimensões, material de construção de paredes, piso e telhado, área molhada e área de aberturas. Foram inseridos também o tipo de ventilação, direção dos ventos e orientação da instalação.

O programa exige dados referentes aos animais como peso, número de animais, arraçoamento e a concentração de energia utilizada na ração.

Todos esses dados são utilizados pelo "software" Pró-Porco para o cálculo do balanço térmico da instalação. O programa com base neste balanço, simula o ganho de peso dos animais, sua conversão e eficiência alimentar além de calcular a produção de calor interno dos animais, frente às condições de clima anteriormente inseridas no programa.

O programa também fornece dados de ganho de peso ideais caso as condições de clima fossem controladas a níveis satisfatórios para uma boa produtividade dos animais.

Associando dados meteorológicos obtidos no interior do modelo com dados de produção do lote e produção de calor dos animais obtidos através do uso do "software", tomou-se possível obter o Índice proposto.

Os fatores produção do lote e produção de calor dos animais foram tomados como parâmetros para a obtenção do Índice pois, de acordo com a literatura vigente, ambos são severamente afetados pelo estresse térmico sofrido pelos animais. Altas temperaturas, quando associados à alta umidade, relativa reduz o ganho de peso dos animais, que também altera seu metabolismo e sua produção de calor.

Através de uma regressão polinomial, realizou-se o teste de significância, onde foram obtidos os fatores climáticos que afetaram as variáveis produtividade do lote, e produção de

calor animal. Os fatores climáticos significativos, associados aos fatores de produção, foram processados em uma análise de regressão múltipla, para a obtenção do índice.

A regressão polinomial foi utilizada , pois de acordo com GOMES (1987), quando não há possibilidade de repetições para os dados a serem coletados, como é o caso de dados meteorológicos de um determinado local, a regressão polinomial pode ser realizada, com aceitação justificada, utilizando como resíduo, o quadrado médio dos desvios da regressão. O "software" SANEST foi utilizado na realização das análises estatísticas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Simulação de calor animal

Para estabelecer uma comparação entre o desempenho térmico dos modelos com e sem simulação de calor animal a fim de verificar a eficiência dessa simulação, foi realizada uma comparação estatística entre médias dos dados meteorológicos obtidos no interior de ambos os modelos.

Dentre os três meses de coleta de dados foram sorteadas ao acaso, para cada mês, dez conjuntos de dados meteorológicos. Cada conjunto de dados corresponde a leituras de temperatura de globo (TG), temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR), obtidas em um mesmo horário de leitura, para os dois modelos.

As médias de dados meteorológicos dos modelos foram comparadas pelo uso do teste t.

Analisando o comportamento da umidade relativa, nos três meses de estudo, observou-se que houve diferenças significativas entre as médias de UR do modelos com e sem lâmpadas a um nível de significância de 1% em janeiro, 15% em fevereiro e 20% em março. As médias de umidade relativa do modelo sem lâmpadas apresentaram-se maiores que no modelo com lâmpadas.

Quanto à temperatura de bulbo seco, foi observado que só foram encontradas diferenças entre os modelos a níveis altos de significância, isto é, com baixa confiabilidade. No mês de janeiro as médias de TBS do modelo com lâmpadas se mostraram estatisticamente maiores que no modelo sem lâmpadas a um nível de 15% de significância, em fevereiro e março o mesmo ocorreu a um nível de 20% de significância.

As médias de temperatura de globo do modelo com lâmpadas, foram estatisticamente maiores que no modelo sem lâmpadas a níveis, mais uma vez, altos de significância. Nos meses de janeiro e março esse nível foi de 10%, já em fevereiro foi de 15%.

Na Tabela 5.2, pode-se observar, através do nível de significância, as áreas de diferenciação das médias nos meses de estudo, para as variáveis UR, TBS e TG.

Tabela 5.1. Teste t entre dados meteorológicos dos modelos com e sem simulação de calor animal.(Janeiro, fevereiro e março de 1994)

Mês	Var.	Médias		Teste t	α
		Com Lâmpadas	Sem Lâmpadas		
Janeiro	UR	48,79	67,45	3,820	0,01
	TBS	30,30	29,07	1,062	0,15
	TG	32,63	30,80	1,400	0,10
Fevereiro	UR	54,50	62,18	1,096	0,15
	TBS	32,62	31,05	1,050	0,20
	TG	34,42	32,68	1,186	0,15
Março	UR	64,25	68,61	0,880	0,20
	TBS	28,95	27,85	0,860	0,20
	TG	31,17	29,33	1,430	0,10

α = Nível de Significância

Esses níveis altos de significância podem ser explicados pela altura em que foram posicionados os equipamentos de medição de dados meteorológicos. Acredita-se que se fossem posicionados em uma altura mais próxima à fonte física de calor (lâmpadas), obter-se-ia uma idéia melhor do microclima interno dos modelos. Sendo os modelos totalmente abertos, o vento pode ter dispersado um pouco o calor que subia das lâmpadas impedindo diferenças estatisticamente mais significativas entre o desempenho térmico dos modelos em questão.

As Figuras 5.1. a 5.9. apresentam uma idéia melhor da comparação do desempenho térmico dos modelos com e sem simulação de liberação de calor animal a partir das variáveis meteorológicas em estudo.

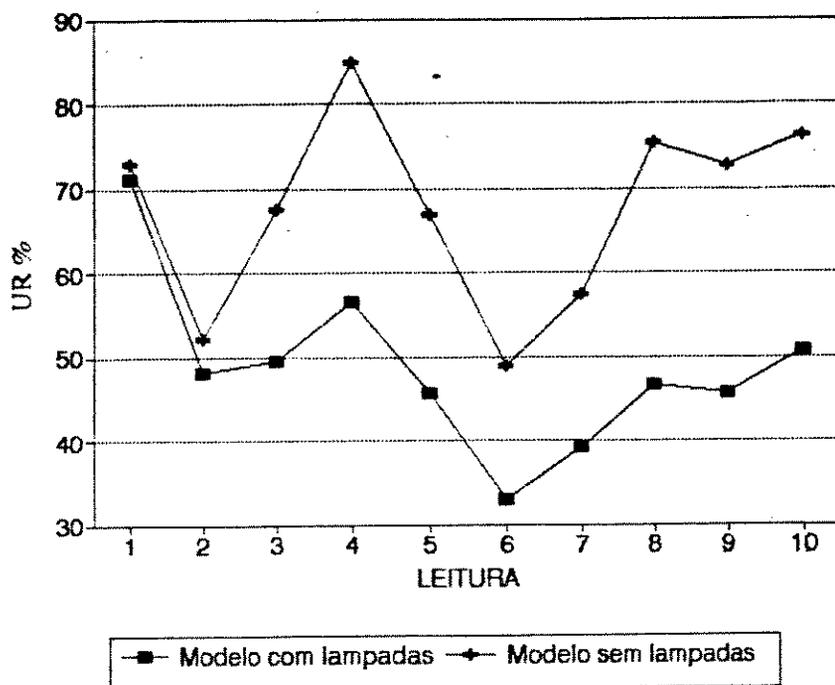


Figura 5.1. Comportamento da UR em modelos com e sem simulação de calor - Janeiro/1994.

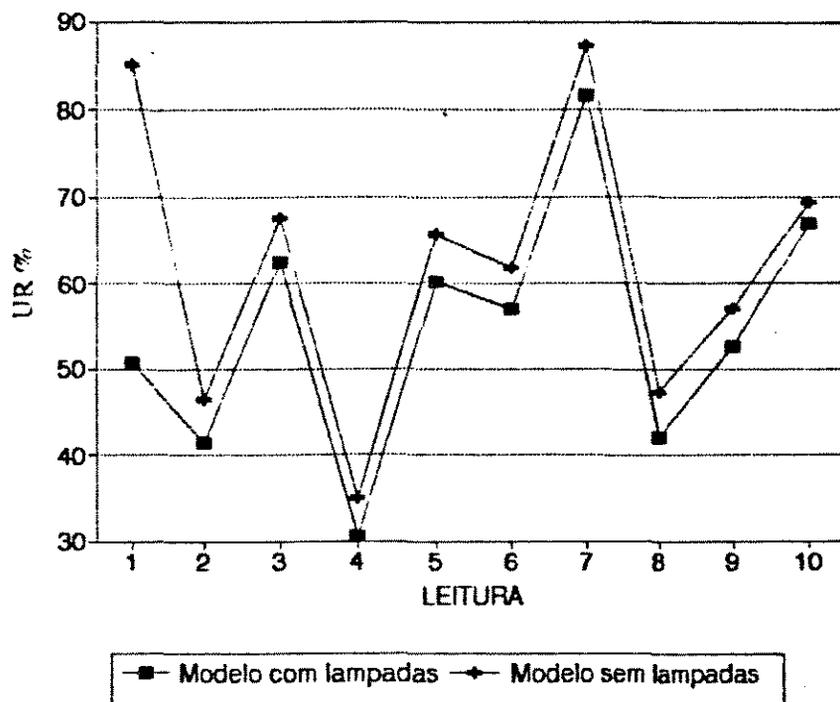


Figura 5.2. Comportamento da UR em modelos com e sem simulação de calor - Fevereiro/1994

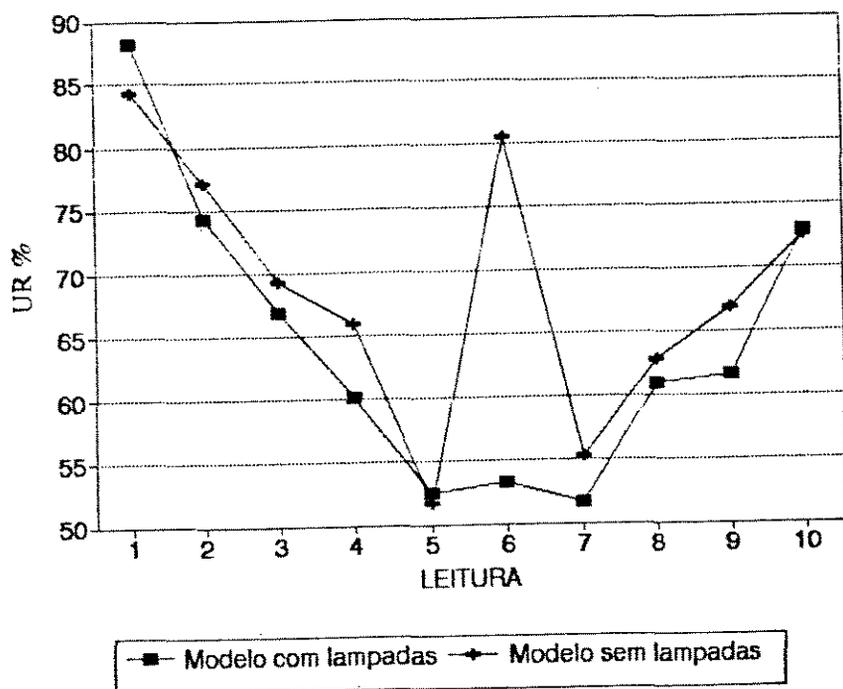


Figura 5.3. Comportamento da UR em modelos com e sem simulação de calor - Março/1994.

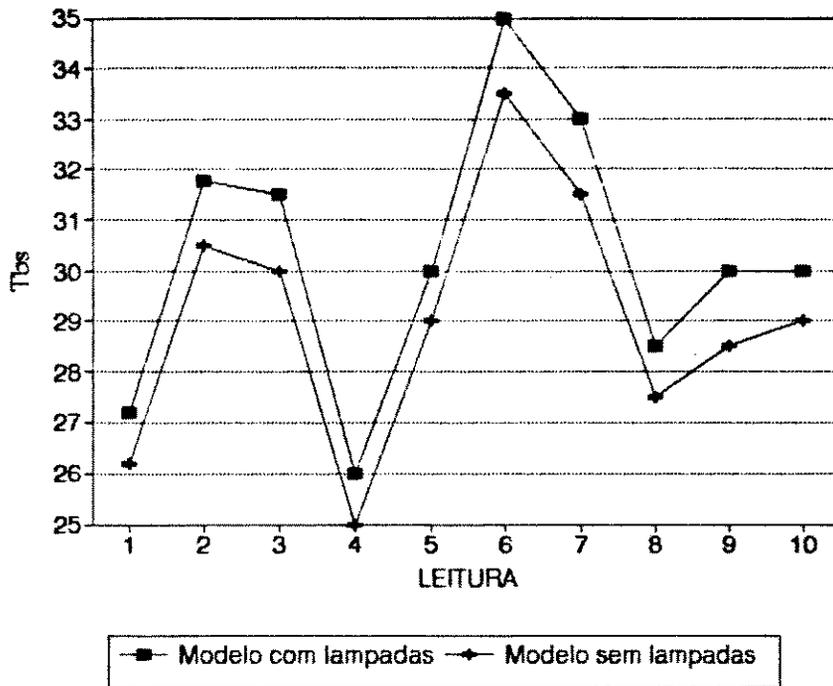


Figura 5.4. Comportamento da TBS em modelos com e sem simulação de calor - Janeiro/1994.

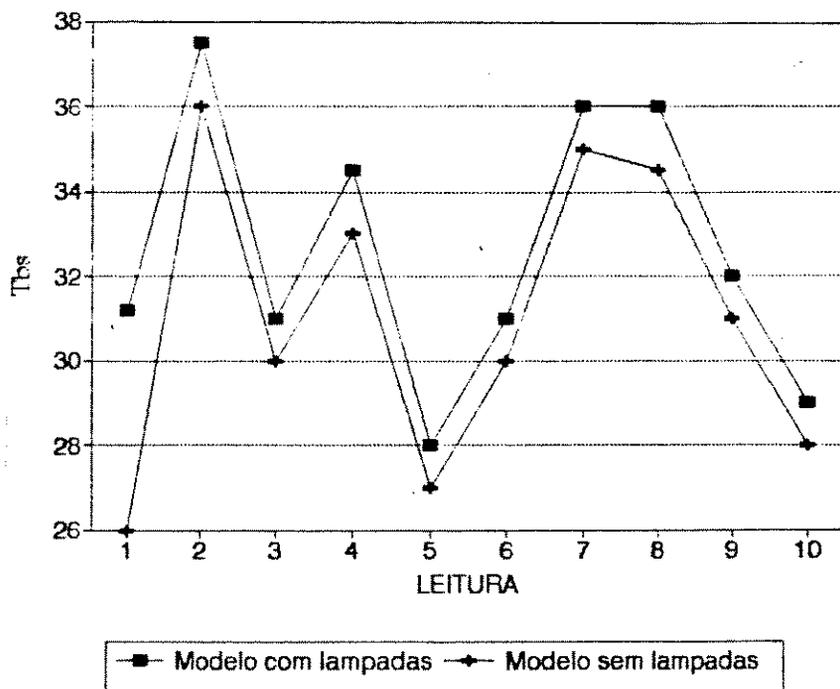


Figura 5.5. Comportamento da TBS em modelos com e sem simulação de calor - Fevereiro/1994.

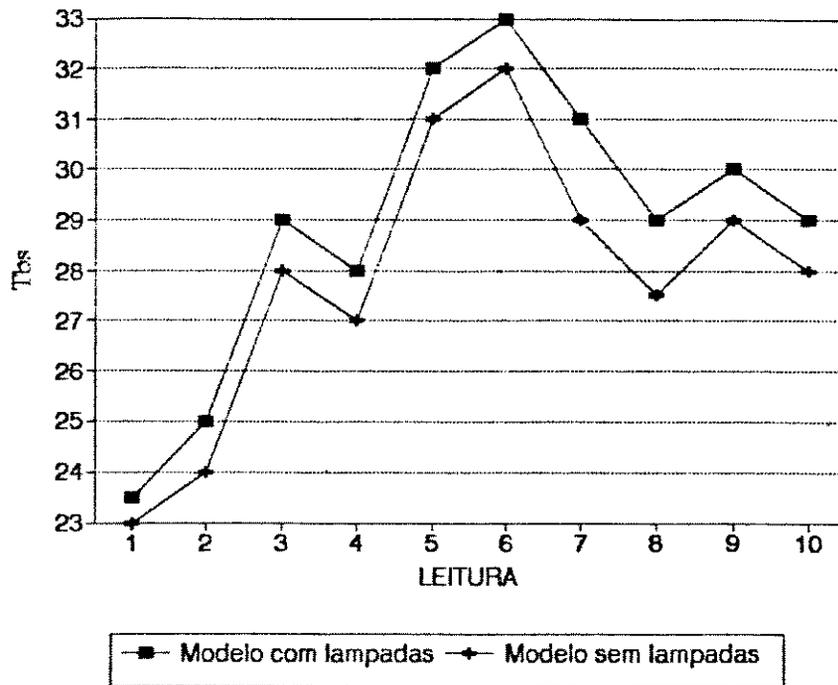


Figura 5.6. Comportamento da TBS em modelos com e sem simulação de calor - Março/1994.

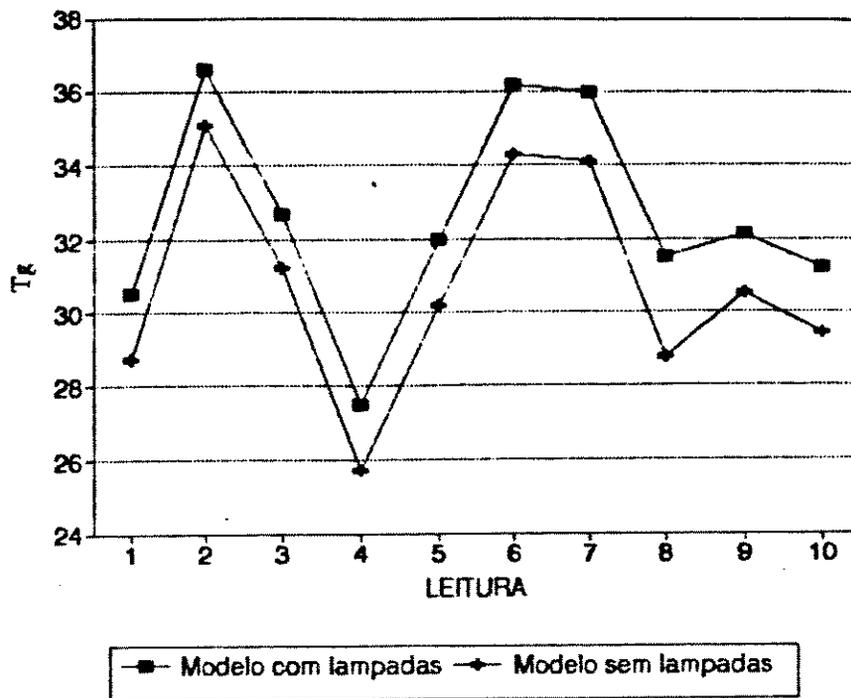


Figura 5.7. Comportamento da TG em modelos com e sem simulação de calor - Janeiro/1994.

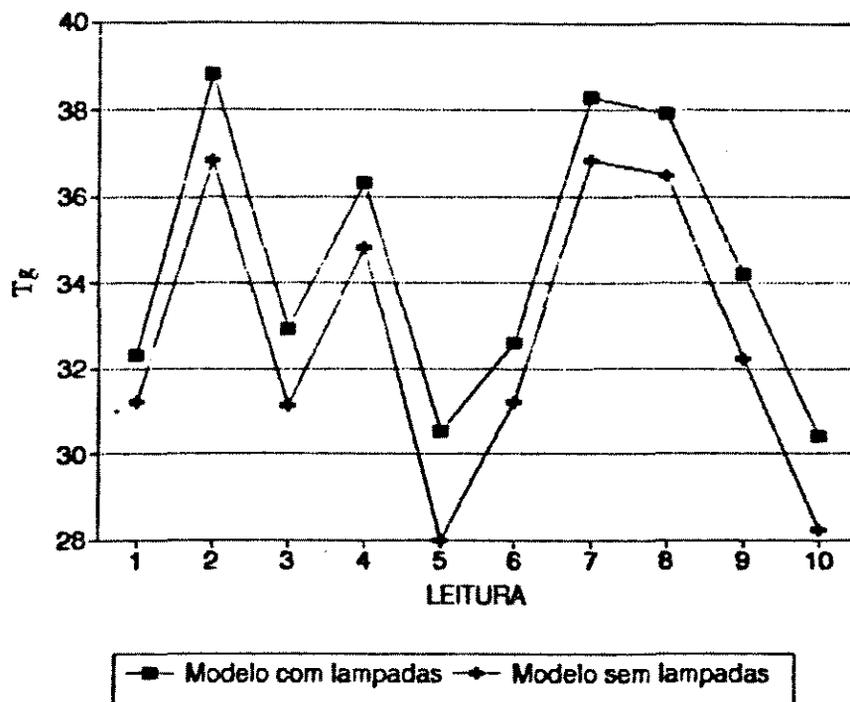


Figura 5.8. Comportamento da TG em modelos com e sem simulação de calor - Fevereiro/1994.

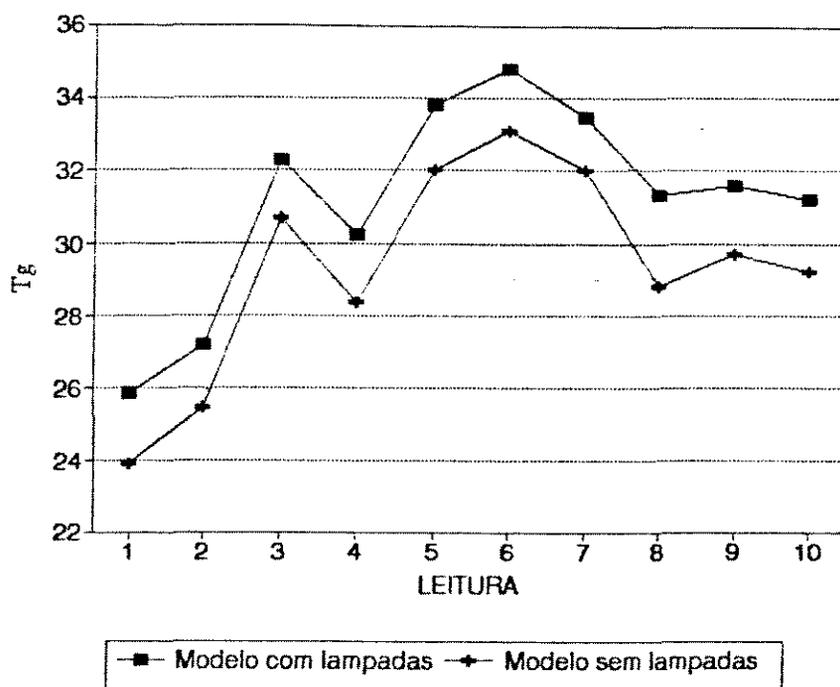


Figura 5.9. Comportamento da TG em modelos com e sem simulação de calor - Março/1994.

A partir de uma observação minuciosa das Figuras apresentadas, é possível verificar que, em todos os meses de estudo as variáveis TG e TBS, foram maiores no modelo com lâmpadas do que no modelo sem fonte física de calor. Já a UR, também em todos os meses de estudo, mostrou-se menor no modelo com lâmpadas. Com isso pode-se observar que apesar dessas diferenças não serem estatisticamente comprovadas, há um indício de que o modelo que possui lâmpadas está realmente produzindo um calor que influencia no microclima gerado no modelo.

5.2. Determinação do índice de conforto térmico.

O índice de conforto térmico foi determinado com base nas variáveis climáticas obtidas no interior do modelo com simulação de liberação de calor animal, juntamente com os fatores de ganho de peso dos animais e produção de calor dos animais simulados no modelo.

As variáveis meteorológicas utilizadas foram obtidas no interior do modelo: TBS, TG, UR e VV. A TPO, que também representa o fator umidade, foi calculada a partir das variáveis anteriormente citadas.

Tendo em mãos os dados climáticos e os dados produtivos dos animais obtidos através do "software Pró-porco, iniciou-se o processo de determinação do índice de conforto térmico.

5.2.1. Análise estatística para determinação do índice de conforto térmico.

Realizou-se um teste de regressão com todos os dados meteorológicos obtidos no estudo : TBS, TG, UR, TPO e VV. As variáveis ganho de peso do lote e produção interna de calor do lote foram utilizadas no teste como variáveis dependentes.

Para a obtenção do índice, foram utilizadas temperaturas do ar maiores que 22°C, umidade relativa maior que 50% e velocidade do vento variando de 0 a 1m/s, pois de acordo com a literatura, MORRISON et al (1968), essa é a condição limite de conforto para os suínos em terminação. A partir deste ponto o estresse térmico sentido pelos animais começa a refletir negativamente em termos de produção.

Ao utilizar-se a produção de calor animal como variável dependente em uma análise de regressão com significância de 10%, todas as variáveis: TBS, TG, VV, TPO e UR, foram significativas, isto é, todas as variáveis tiveram influência significativa na variável dependente estudada.

O modelo ajustado obtido com um R^2 de 85,14% foi:

$$PCA = 110815,89 + 7646,58 VV - 86,35 UR + 474,61 TPO - 4189,73 TBS + 912,88 TG$$

Observando o modelo, nota-se que as variáveis VV e TBS foram as que contribuíram com maior intensidade para a formação do modelo, enquanto que a TG, TPO e UR contribuíram com menor intensidade.

Quando o ganho de peso do lote é utilizado como variável dependente na análise de regressão, apenas as variáveis TBS e VV foram significativas à um nível de 5% de significância.

O modelo ajustado obtido com um R^2 de 91,53%, foi:

$$\text{GPE} = 575,77 - 17,32 \text{ VV} - 8,38 \text{ TBS}$$

A menor ou nenhuma influência do fator umidade em ambos os modelos pode ser explicado pela não simulação deste fator no protótipo. Não houve fonte de calor latente no modelo e o calor total simulado foi na forma de calor sensível. Se houvesse uma fonte de umidade no interior do modelo, poderia haver influência de maneira mais efetiva na análise de regressão entre os dados meteorológicos.

A pequena influência da temperatura de globo no modelo pode ser explicada pelo fato do "software" Pró-Porco não utilizar-se deste fator para o cálculo do balanço térmico da instalação. É possível observar que os fatores velocidade do vento e temperatura de bulbo seco, TBS possuem grande influência no cálculo do balanço térmico realizado pelo modelo, porém devido ao fato de os valores de velocidade do vento serem muito pequenos, isto é, da ordem de 0 a 1 m/s, este fator não tem grande influência no total do índice calculado.

Analisando os modelos obtidos, pode-se observar o comportamento dos mesmos quando fixa-se todas as variáveis envolvidas e varia-se apenas a temperatura de bulbo seco que foi um fator altamente significativo na determinação dos modelos.

O modelo que teve como variável dependente a produção de calor animal foi denominado de índice PCA. Na Figura 5.10. pode-se observar o comportamento deste índice quando fixa-se a umidade relativa em 80%, a velocidade do vento em um valor médio de 0,5 m/s, a temperatura de ponto de orvalho foi calculada de acordo com os níveis de TBS e UR correspondentes e a temperatura de globo foi estimada em média 2°C maior que a temperatura de bulbo seco que variou de 22 a 35°C Neste gráfico é possível verificar que com

o aumento da temperatura de bulbo seco cai o valor do índice, o que significa uma queda na produção de calor sensível dos animais frente o aumento do calor ambiental, o que está de acordo com a literatura .

O modelo que utiliza o fator ganho de peso dos animais como variável dependente foi denominado de Índice GPE. A Figura 5.11 mostra o comportamento do Índice quando a velocidade do vento é fixada no valor médio de 0,5m/s e a temperatura de bulbo seco varia de 22 a 35°C. Com o aumento da temperatura torna-se nítida a diminuição do índice, o que significa uma redução no potencial de ganho de peso dos animais, como era de se esperar.

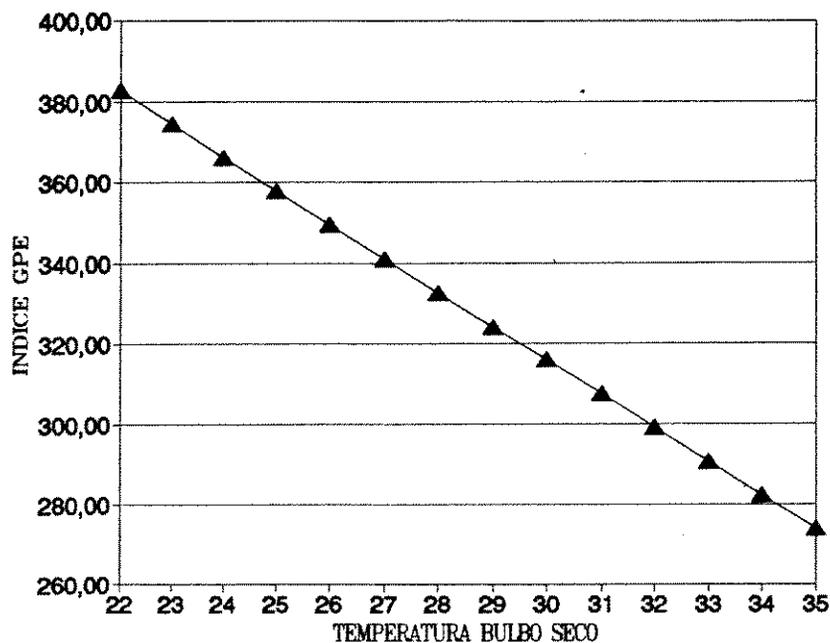


Figura 5.10. PCA X TBS (UR = 80%)

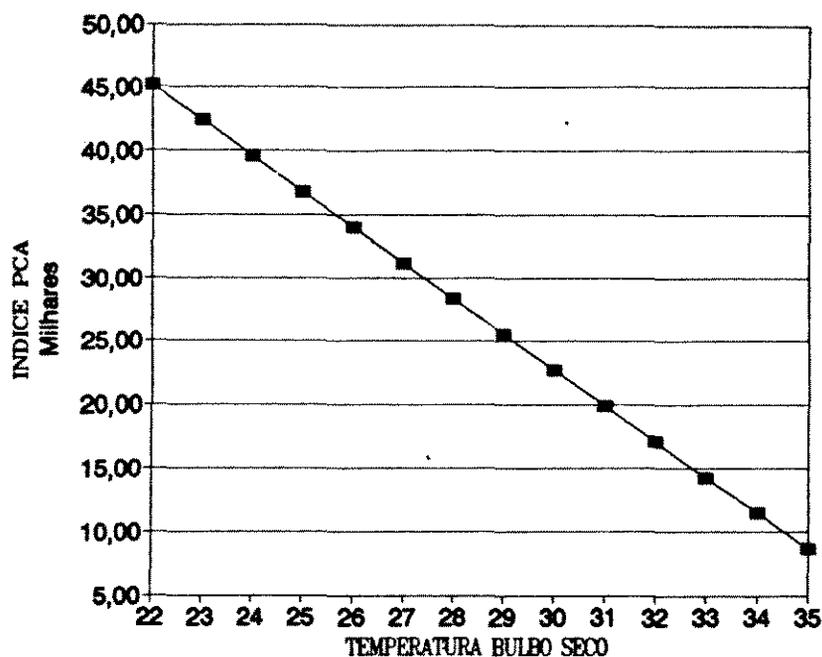


Figura 5.11. GPE X TBS

As Tabelas 5.2. e 5.3. apresentam os valores dos índices determinados de acordo com seu nível de conforto, baseados nas recomendações feitas pela literatura vigente em termos de conforto térmico para suínos em terminação.

Tabela 5.2. Índice PCA de acordo com os níveis de conforto para suínos em terminação.

NÍVEIS DE CONFORTO	VALOR DO ÍNDICE PCA (milhares)
Ótimo	> 46,00
Bom	20,00 - 45,00
Ruim	< 19,00

Tabela 5.3. Índice GPE de acordo com os níveis de conforto para suínos em terminação.

NÍVEIS DE CONFORTO	VALOR DO ÍNDICE GPE
Ótimo	> 380,00
Bom	300,00 - 379,00
Ruim	< 299,00

Os níveis de conforto declarados ótimos são aqueles em que o suíno se encontra em total conforto térmico. O clima na faixa ótima propicia condições aos suínos a ganharem o máximo de peso possível, desde que os outros fatores produtivos sejam otimizados.

Dentro do nível denominado bom, o clima já passa a interferir, mesmo que de modo brando, na produtividade dos animais que, nesta faixa, já se encontram em desconforto térmico. Os animais começam a apresentar alguns indícios de estresse principalmente no limite menor da faixa, o que indica que algumas medidas, que visem aumentar o conforto térmico dos animais, devem ser tomadas, como por exemplo a abertura de cortinas, acionamento de ventiladores ou uso de aspersores.

O nível ruim é altamente prejudicial à produtividade dos animais, que praticamente param de se alimentar a fim de diminuir a produção interna de calor, o que reverte na diminuição do ganho de peso dos animais.

6. CONCLUSÕES

Tendo em vista a discussão anterior, obteve-se as seguintes conclusões:

1. Os índices desenvolvidos foram:

-Índice Produção de Calor Animal (PCA):

$$\text{PCA} = 110815,89 + 7646,58 \text{ WV} - 86,35 \text{ UR} + 474,61 \text{ TPO} - 4189,73 \text{ TBS} + 912,88 \text{ TG}$$

- Índice Ganho de Peso (GPE):

$$\text{GPE} = 575,77 - 17,32 \text{ WV} - 8,38 \text{ TBS}$$

Para os seguintes limites: temperatura de bulbo seco variando de 22 a 35°C, umidade relativa variando de 50 a 100% e velocidade do vento variando de 0 a 1 m/s.

2. De acordo com os índices determinados pode-se estimar as faixas de índices, correspondentes a situações reais de conforto térmico uma criação suinícola, fornecendo ao usuário subsídios para as tomadas de decisões no controle ambiental da instalação animal: para valores maiores que 46,00 e 380,00 dos índices PCA e GPE respectivamente, a instalação suinícola encontra-se em total conforto térmico. Para faixas de 20,00 a 45,00 do

PCA e 300,00 a 379,00 do GPE, os produtores devem dar tomar medidas que aumentem o conforto térmico da instalação. Valores de PCA menores que 19,00 e GPE menores que 299,00 são indicadores de que os suínos estão em total desconforto térmico, podendo até vir à óbito se estas condições extremas de estresse forem mantidas por um longo espaço de tempo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE Handbook of Fundamentals. American Society of Heating and Refrigerating and Air - Conditioning Engineers. Atlanta. 1985.

BAETA, F.C.; MEADOR, N.F. & SHANKLIN, M.D. Equivalent temperature index at temperatures above thermoneutral for lactating dairy cows. St. Joseph, MI: ASAE, 1987. 21 p. Paper n. 78-3532.

BECKETT, F.E. Effective temperature for evaluating or designing hog environments. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V. 8, n. 2, p. 163 - 166, 1965.

BERRY, I.L. & SHANKLIN, M.D. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V. 7, n. 3, p. 329- 331, 1964.

BLACK, J.L.; CAMPBELL, R.G.; WILLIAMS, I.H.; JAMES, K.J. DAVIES, G.T. Simulation of energy and amino acid utilization in the pig. Research and Development in Agriculture. V. 3, n. 3, p. 121 - 145, 1986.

BOND, T.E.; HEITMAN JR, H.; KELLY, C.F. Hog house air conditioning and ventilation data. Transactions of the Asae, V. 2, N. 1, p. 1 - 4, 1959.

BRODY, S. Bioenergetics and Growth. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1945.

BRUCE, J.M. & CLARK, J.J. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. Animal Production. V. 28, p. 353 - 369, 1979.

BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO AROCHO, A.; CANTON, G.H. PITT, D. Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V.24, n. 3, p. 711 - 714, 1981.

- CARGILL, B.F. & STEWART, R.E. Effect of humidity on total heat and total vapor dissipation of holstein cows. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V. 9, n. 5, p. 702 - 707, 1966
- CARNAHAN, B.; LUTHER, H.A.; WILKES, J.O. Applied Numerical Methods. John Wiley & Sons. 1967.
- CLARK, J.A. Environmental Aspects of Housing for Animal Production. London: Butterworths, 1981. 511 p.
- DESHAZER, J. A. & BECK, M.M. University of Nebraska Report for Northeast Regional Poultry Project. NE - 127. Agricultural Research Division, University of Nebraska, Lincoln, NE, 1988.
- DOWN, M.J.; FOSTER, M.P.; McMAHON, T.A.; REDDING, G.J. The design of livestock building for natural ventilation: the theoretical basis and a rational design method. Universidade de Melbourne, 1985. 112p.
- DYBWARD, I.R.; HELICKSON, M.A.; JOHNSON, C.E.; MOE, D.L. Ridge vent effects on model building ventilation characteristics. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V.17, N.2. p.366 - 370, 1974.
- ESMAY, M.L. Principles of Animal Environment. Textbook Edition. Westport: Avi Publishing Company, Inc., 1982, 325 p.
- FEHR, R.L.; PRIDY, K.T.; MCNEILL, S.G.; OVERHULTS, D.G. Limiting swine stress with evaporative cooling in the southeast. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V. 26, n. 12, p.542 - 545, 1983.
- FOREHLICH, D.P.; HELICKSON, M.A. YOUNG, H.G. Ridge vent effects on model ventilation characteristics. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V. 18, n. 4, p. 690 - 693, 1975.
- GARRET, W.N.; BOND, T.E. ; PEREIRA, N. Influence of shade weight on physiological responses of cattle during hot weather. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V. 10, n. 4, p. 433-434, 438, 1967.
- GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. 12^a Edição. Piracicaba: Livraria Nobel S.A. Editora - Distribuidora, 1987. 467 p.
- HAHN, L.; BOND, T.E.; KELLY, C.F. Use of models in thermal shades of livestock housing. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V. 4, n. 1, p. 45 - 51, 1961.
- HALES, J.R.S. Environmental Physiology. London: Butterworths, 1974.
- HAFEZ, E.S.E. Adaptación de los Animales Domesticos. Barcelona: Editorial Labor., 1973. 563p.

- HEITMAN, H. JR., & HUGHES, E. H. Effect of temperature and relative humidity on the physiological well being of swine. J. of Animal Science, V. 8, n. 3, p. 171, 1949.
- HELLICKSON, M.A.; WALKER, J.N. Ventilation of Agricultural Structures. St. Joseph: ASAE. 1983. 371p.
- JOHNSON, H.D.; GOMES, W.R. Effect of elevated ambient temperature on lipid levels and cholesterol metabolism in the ram testis. Journal of Animal Science. 29: 469-75, 1969.
- JOHNSON, H.D.; RAGSDALE, A.C.; BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D. Effect of various temperature - humidity combinations on milk production of holstein cattle. Missouri Agricultural Experiment Station Research Bulletin. n. 791
- LEE, D.H.K.; PHILLIPS, R.W. Assesment of the adaptability of livestock to climatic stress. Journal of Animal Science. V. 7, N. 4, p. 391 - 425, 1948.
- MANGOLD, D.W.; HAZEN, T.E.; HAYS, V.W. Effect air temperature on performance of growing - finishing swine. Trans. ASAE. St. Joseph, MI, V. 10, N. 3, p. 370 - 375. 1967.
- MONTHEITH, J.L.; MOUNT, L.E. Heat Loss from Animals and Man. London: Butterworths. 1974.
- MORRISON, S.R.; BOND, T.E. & HEITMAN, H. JR. Effect of humidity on swine at high temperature. Trans. ASAE. St. Joseph, MI, V. 11, p. 526 - 528, 1968.
- MORRISON, S.R.; HEITMAN JR., H.; BOND, T.E. Effect of humidity on swine at temperatures above optimum. International Journal of Biometeorology. V. 13, N. 2, p.135 - 139, 1969.
- MÜLLER, P.B. Bioclimatologia Aplicada aos Animais Domésticos. 2.ed. Porto Alegre: Sulina, 1982. 158p.
- MURPHY, G. Similitude in Engineering. The Ronald Press Company, 1950. 302pp.
- NÄÄS, I.A. Princípios de Conforto Térmico na Produção Animal. São Paulo: Editora Ícone, 1989. 183 p.
- NÄÄS, I.A.; AMARAL, L.R.S. "Software" Pró - Porco - Otimização da Produção de Suínos - Versão 0.0 . Campinas: UNICAMP. Protocolo SEI nº 45133/90-5. 1990.
- NÄÄS, I.A.; LAGANÁ, C.; MOURA, D.J.; LALONI, L.A.; AGUIAR, M.A.; REIS, R.L.S.P. instrumentação auxiliar em medidas de conforto térmico. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AVICULTURA, Brasília - DF, 1993. Anais. p. 85-91.

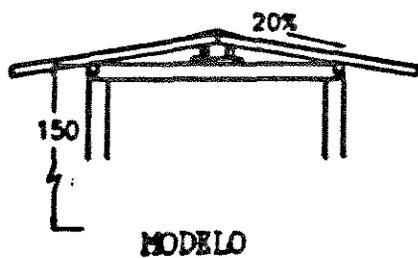
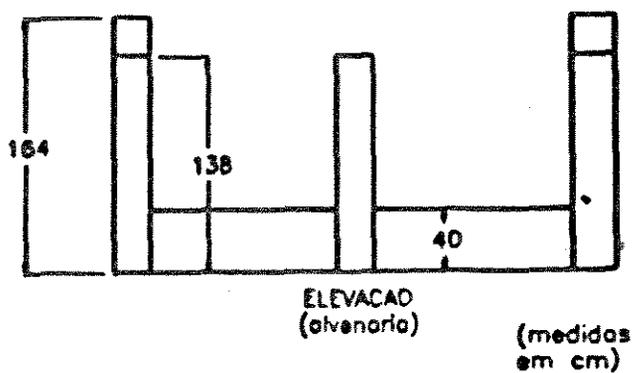
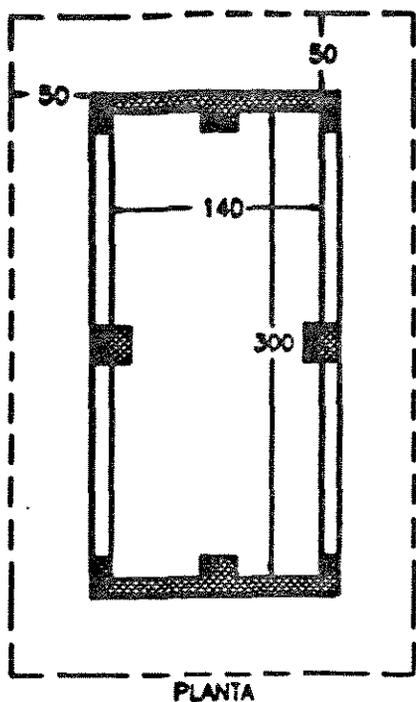
- NEVINS, R.G. Psychrometrics and modern confort. Proceedings of joint ASHRAE - ASME Meeting. 1961.
- OLIVEIRA, J.L. Hot Weather Livestock Housing Analysis. Michigan: Michigan State University, 1980. 125 p. tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).
- RABER, B.F. ; HUTCHINSON, F.W. Panel Heating and Cooling Analysis. Chapter x, John Wiley and Sons, Inc. p.117 - 138
- ROLLER, W.L. ; GOLDMAN, R.F. Response of swine to acute heat exposure. Trans. ASAE, St. Joseph, MI, V. 12, n. 2, p. 164 - 169, 1969.
- SPILLMAN, C.K.; HINKLE, C.N. Conduction Heat Transfer from Swine to Controlled Temperature Floors. Paper 69-441. Presented at the 1969 Annual Meeting of the ASAE, June, 1969.
- STROM, J.S. Heat Loss from Cattle, Swine and Poultry. Paper 80 - 402. Presented at the 1980 Summer Meeting of the ASAE, June, 1980.
- SUGGS, C.W. Role of enthalpy in heat loss. Trans. ASAE, St Joseph, MI, V. 9, n. 3, p. 322 - 325, 196
- SYDENSTRICKER, K.V. Análise de Lantermin em Edificações para Suínos, através de Modelos em Escala. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1993. 69p. tese.(Mestrado em Engenharia Agrícola).

ABSTRACT

The objective of this research work is to develop a thermal comfort index for small scale models for swine housing. The experimental data was collected at the Experimental Area of the Agricultural Construction Department at the Faculty of Agricultural Engineering, State University of Campinas, where the two models were built in distorted scale and with natural ventilation. The animals were substituted by a physical power source. The climatic data for the index determination were collected at five different times: 9:00 AM, 11:00 AM, 1:00 PM, 3:00 PM, and 5:00 PM. A polynomial regression analysis was proceeded for the thermal comfort index determination. Tables were established with the calculated values of the indexes, according to the thermal comfort level at a certain moment, within a determined environment.

APÉNDICE

APÊNDICE 1. Planta baixa dos modelos.



APÊNDICE 2. Planta de Localização

