

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA
Departamento de Engenharia Agrícola

DETERMINAÇÃO DO MICROCLIMA GERADO DENTRO DE
UMA ESTRUTURA A PARTIR DE
DADOS AMBIENTAIS

Paulo Ademar Martins ^{aut} Lea
Engenheiro Agrícola

ORIENTADOR:

Profa. Dra. Irenilza de Alencar Naas ⁱⁱⁱⁱ



Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

m

Aos meus pais

Wilson de Araújo Leal (in memoria)
e Lucy Martins Leal

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Campinas

À Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola

Ao Departamento de Engenharia Agrícola - UNICAMP

À Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - EMBRAPA

À Divisão de Climatologia do Instituto Agronômico de Campinas

À minha esposa Marta

Aos meus irmãos

Aos Meus sogros José (Annette) Porto

Aos professores:

Dra. Irenilza de Alencar Nääs (Orientadora)

Dr. André Tosello

Dr. Hilton Silveira Pinto

Dr. Inácio M. Dal'Fabbro

Dr. Jorge E. Quintero Pinto

Dr. José Lucindio de Oliveira

Dr. José Luiz V. da Rocha

Dr. José Tadeu Jorge

Aos amigos:

Claudio B. Sverzut

Denis M. Roston

João D. Biagi

Paulo S. G. Magalhães

Roberto Testezlaf

Roseana M. Garcia

C O N T E Ú D O

	PG.
ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
SIMBOLOGIA	vii
RESUMO	ix
SUMMARY	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	8
2.1. Determinação da influência das formas geométricas das estruturas na quantidade de calor radiante dentro do prédio	8
2.2. Determinação da influência do material de cobertura para sombra de abrigo de animais	8
2.3. Determinação da influência da posição da estrutura com relação ao Sol na quantidade de calor interno do prédio	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1. Introdução	9
3.2. Índices de conforto animal	10
3.3. A troca de radiação entre superfícies	13
3.4. Termômetro de globo preto	18

	PG.
4.	MATERIAIS E MÉTODOS 22
4.1.	Materiais 22
4.1.1.	Protótipos 22
4.1.1.1.	Protótipo nº 1 22
4.1.1.2.	Protótipo nº 2 e 3 24
4.1.1.3.	Protótipo nº 4 24
4.1.1.4.	Protótipo nº 5 26
4.1.1.5.	Protótipo nº 6 28
4.1.1.6.	Protótipo nº 7 30
4.1.1.7.	Protótipo nº 8 30
4.1.2.	Termômetros 32
4.1.2.1.	Termômetro de máxima e mínima 32
4.1.2.2.	Termômetro de máxima 34
4.1.2.3.	Termômetro de mínima 35
4.1.2.4.	Termômetro de globo preto 37
4.2.	Métodos 39
4.2.1.	Metodologia para o estudo da forma geométrica 39
4.2.2.	Metodologia para o estudo do material de cobertura 40
4.2.3.	Metodologia do estudo da posição da estrutura com relação ao Sol 41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES 43
5.1.	Resultados 43
5.1.1.	Efeito da forma geométrica 43
5.1.2.	Efeito do tipo de cobertura 57
5.1.3.	Efeito do posicionamento do protótipo em re

		PG.
	lação ao Sol	66
5.2.	Discussões	70
5.2.1.	Efeito da forma geométrica	71
5.2.2.	Efeito do tipo de cobertura	72
5.2.3.	Efeito do posicionamento da estrutura em re- lação ao Sol	73
6.	CONCLUSÕES	74
7.	SUGESTÕES	75
8.	BIBLIOGRAFIA	76

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA N°	TÍTULO	PG.
5.1.1.	Valores das temperaturas de máxima e mínima, desvios padrão e valores máximos encontrados durante o número de dias observados por mês, para o protótipo n° 1	46
5.1.2.	Valores das temperaturas de máxima e mínima, desvios padrão e valores máximos encontrados durante o número de dias observados por mês, para o protótipo n° 2	47
5.1.3.	Valores das temperaturas de máxima e mínima, desvios padrão e valores máximos encontrados durante o número de dias observados por mês, para o protótipo n° 3	48
5.1.4.	Valores das temperaturas de máxima e mínima, desvios padrão e valores máximos encontrados durante o número de dias observados por mês, para o protótipo n° 4	49
5.1.5.	Valores das temperaturas de máxima e mínima, desvios padrão e valores máximos encontrados durante o número de dias observados por mês, para o protótipo n° 5	50
5.1.6.	Valores das temperaturas de máxima e mínima	

TABELA Nº	TÍTULO	PG.
	do ar, desvios padrão e média geral encontrados durante o número de dias observados por mês	51
5.1.7.	Valores das temperaturas de máxima, desvios padrão e média geral dos protótipos 1, 3, 4 e 5	53
5.1.8.	Valores das temperaturas de mínima, desvios padrão e média geral dos protótipos 1, 3, 4 e 5	54
5.2.1.	Valores das temperaturas de máxima e mínima, temperatura de globo preto, desvios padrão e valores máximos encontrados durante o número de dias observados por mês, para o protótipo nº 6	59
5.2.2.	Valores das temperaturas de máxima e mínima, temperatura de globo preto, desvios padrão e valores máximos encontrados durante o número de dias observados por mês, para o protótipo nº 7	60
5.2.3.	Valores das temperaturas de máxima e mínima, temperatura de globo preto, desvios padrão e valores máximos encontrados durante o número de dias observados por mês, para o protótipo nº 8	61

TABELA Nº	TÍTULO	PG.
5.2.4.	Valores das temperaturas de máxima, desvios padrão e média geral dos protótipos 6, 7 e 8	63
5.2.5.	Valores das temperaturas de mínima, desvios padrão e média geral dos protótipos 6, 7 e 8	64
5.2.6.	Valores das temperaturas de globo preto, desvios padrão e média geral dos protótipos 6, 7 e 8	65
5.3.1.	Comparação dos valores das temperaturas de mínima com os desvios padrão e média geral, entre os protótipos 2 e 3	67
5.3.2.	Comparação dos valores das temperatura de máxima com os desvios padrão e média geral, entre os protótipos 2 e 3	68

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº	TÍTULO	PG.
4.1.	Vista frontal do protótipo nº 1 mostrando sua forma geométrica	23
4.2.	Vista lateral do protótipo nº 1 mostrando seus aspectos geométricos	23
4.3.	Aspectos da forma geométrica dos protótipos 2 e 3	24
4.4.	Aspectos visuais do protótipo nº 4, com ênfase na relação altura-largura e ângulo do telhado	25
4.5.	Vista lateral do protótipo nº 4	26
4.6.	Aspectos da estrutura do protótipo nº 5, mostrando o tipo de telhado em uma água	27
4.7.	Aspectos frontais do protótipo 5 mostrando sua forma geométrica	27
4.8.	Vista geral do protótipo "6" com ênfase no tipo de cobertura, no caso alumínio ondulado	29
4.9.	Vista frontal do protótipo nº 6 mostrando as paredes revestidas com malha de arame e	

FIGURA Nº	TÍTULO	PG.
4.10.	Forma e tipo de cobertura utilizada no protótipo nº 7 durante o experimento	30
4.11.	Vista frontal do protótipo nº 8 com cobertura em telha de cerâmica	31
4.12.	Vista lateral e frontal do protótipo "8" mostrando sua forma e cobertura	31
4.13.	Vista do termômetro de máxima e mínima, juntamente com o imã utilizado para mover o marco registrador	33
4.14.	Vista do termômetro de máxima e mínima usado nos protótipos fechados	34
4.15.	Vista dos termômetros de máxima (bulbo com mercúrio) e mínima (bulbo em U com álcool)	36
5.16.	Aspecto do termômetro de globo preto utilizado durante o trabalho de pesquisa	38
4.17.	Vista da distribuição dos protótipos 1, 3, 4 e 5, na área experimental	40
4.18.	Vista geral dos protótipos 6, 7 e 8 com suas coberturas	41
4.19.	Vista dos protótipos 2 e 3 mostrando o posicionamento com relação ao Sol	42

FIGURA N°	TÍTULO	
5.1.	Gráfico comparativo do comportamento da temperatura ambiental entre as temperaturas de máxima e mínima dos protótipos 1, 3, 4, 5; e a temperatura máxima e mínima do ar	44
5.2.	Gráfico comparativo do comportamento entre as temperaturas de máxima e mínima dos protótipos 1, 3, 4 e 5	56
5.3.	Gráfico comparativo do comportamento entre as temperaturas de máxima e mínima dos protótipos 6, 7 e 8	69

SIMBOLOGIA

Símbolo	Definição	Unidade
A_1	Área de Superfície do Corpo Envolvido	m^2
A_2	Área da Superfície Envolvente	m^2
ϵ	Emissividade de uma superfície	-
ϵ_1	Emissividade da superfície 1	-
ϵ_2	Emissividade da superfície 2	-
F_ϵ	Fator de emitância	-
$i=1,2,3$	Índice para simbolizar temperatura de mínima, temperatura de máxima e temperatura de Globo Preto, respectivamente	-
$j=1,2,3,4,5,6,7,8,A$	Índice para simbolizar o número dos protótipos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e índice para o ar, respectivamente	-
MDec	Declínio absoluto da produção de leite	Kg/dia/v
M G	Média Geral das temperaturas	°C
N	Número de medidas realizadas no mês indicado	-
NL	Nível normal de produção de leite	Kg/dia/v
$S_{T_{i-j}}$	Desvios padrão de temperaturas	-
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	$5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$
ta	Temperatura do ar	°C
tg	Temperatura de Globo Preto	°C

Símbolo	Definição	Unidade
T_s	Temperatura Radiante Média	°C
T_a	Temperatura de bulbo seco à sombra	°C
T_{bs}	Temperatura de bulbo seco	°C
T_{bu}	Temperatura de bulbo úmido	°C
T_g	Temperatura de Globo Preto padrão	°K
T_s	Temperatura Radiante Média	°K
T_{wb}	Temperatura de bulbo úmido	°C
T_1	Temperatura Absoluta da Superfície 1	°K
T_2	Temperatura Absoluta da Superfície 2	°K
THI	Índice de Temperatura e umidade	-
v	Velocidade do ar	m/s
$V_{T_{i-j}}$	Valor máximo das temperaturas encontradas no mês indicado	°C
$\bar{X}_{T_{i-j}}$	Valor médio das temperaturas encontradas durante o mês indicado	°C
W	Quantidade de transferência de calor de Radiação	W/hr
W_b	Grau de transferência de calor por Radiação	Watts,
W_c	Calor de convecção trocado entre um Globo Preto e sua circunvizinhança	W/m ²
W_r	Calor de radiação trocado entre um Globo Preto e sua circunvizinhança	W/m ²
W_{1-2}	Troca de calor líquido entre as superfícies 1 e 2	W/hr
w_{PCM}	Índice de temperatura do Globo de Bulbo	

RESUMO

No estudo do comportamento animal, semi-intensiva e inensiva, existe um número muito grande de variáveis e parâmetros a serem considerados para se obter condições ambientais ideais à um custo razoável.

Este trabalho de pesquisa procurou fornecer alguns dados iniciais para o estudo do microclima gerado dentro de uma estrutura a partir de dados ambientais.

Construíram-se oito protótipos, sendo alguns com diferentes forma geométricas e outros com a mesma forma geométrica, porém todos apresentando a capacidade de volume interno de ar no valor de 1 metro cúbico.

Em quatro protótipos foram estudados o efeito do tipo de forma geométrica na quantidade de calor radiante interno à estrutura, através do registro de temperaturas de máxima e mínima. Estes quatro protótipos foram colocados em área experimental, no sentido Norte-Sul para receber a maior quantidade de radiação durante os meses em que foram realizados os experimentos, pois todos estes protótipos funcionavam como corpos negros.

Após o registro das temperaturas, construíram-se Tabelas e Gráficos que demonstraram que a melhor forma geométrica para prover um conforto térmico, é a paralelepípeda com telhado em duas águas.

Estudou-se, com três outros protótipos abertos com telhado em uma água, o efeito do tipo de material de cobertura na quantidade de calor radiante interno à estrutura, através da

leitura de temperaturas de máxima e mínima; e temperatura de Globo Preto. Os três materiais usados foram: telha cerâmica tipo capa e canal (paulista), telha de cimento amiante ondulado e telha de alumínio ondulado.

Observou-se que a telha de cerâmica provia a estrutura de melhor conforto ambiental em relação as demais testadas.

O terceiro estudo foi com o objetivo de se determinar, através de dois protótipos iguais em direções opostas: Leste-Oeste e Norte-Sul, o efeito do posicionamento da estrutura com relação ao Sol na quantidade de calor radiante interno.

Devido ao fato da temperatura interna da estrutura sofrer diferentes e variadas influências, obteve-se primeiramente que o protótipo voltado para o sentido L-O apresentava maior quantidade de calor. Porém, ao ser feita uma comparação da área de exposição dos protótipos, observou-se que este protótipo apresentava uma área de recebimento de incidência solar maior que o protótipo voltado para o sentido N-S. Atribuiu-se a este fato o acréscimo de temperatura recebido, pois é sabido que numa estrutura para produção animal esta deve ser construídas no sentido Leste-Oeste e de tal maneira que, em algumas criações, as paredes laterais recebam certa quantidade de radiação solar direta, a fim de prover melhor conforto ambiental.

O procedimento, Tabelas, resultados, discussões, conclusões e sugestões são apresentadas a seguir, numa ordem sequencial lógica.

SUMMARY

There are many variables and parameters which have to be considered in order to determine the most economical factors of environmental conditions for the study of animal behaviors in confined and semi-confined areas.

The purpose of this research is to determine the factors by analyzing the microclimate data generated in an animal housing subjected to environmental influences.

Eight prototype simple structures with the same inner volume of 1 m^3 were studied. The structures many have different shapes.

The shape effects were determined in four prototype structures by means of calculating the amount of radiation heat transfered into the structure. A set of thermometers which can record the maximum and minimum temperatures were used. These four prototype structures were oriented in the direction of north-south orientation in order to receive the maximum amount of solar radiation. All the prototype structures were considered as black bodies.

The results of temperature data shown in the Tables and Graphs indicated that the paralelepiped shape with gable roof could generate the highest temperatures in the structure.

There are three other prototype structures of one-side inclination roof and metal wire walls. Different materials were used for the roof of these structures. The roof materials were asbestos, cement, ceramic and aluminum. The amount of radiation

heat received inside these structures were determined by the maxima-minima thermometers and black Globe thermometer.

The structure with the ceramic roof showed the most comfortable inner temperature as compared with other two structures.

The influence of the orientation of the prototype structures in the directions of north-south and east-west on the amount of radiation heat transferred inside the structure was also studied. It was found that the structure oriented in the east-west received more radiation heat.

The reason is that the inner temperatures of these prototype structures are also functions of other parameters.

Part of the reason is that the structures oriented in the E-W direction have larger wall areas than, those oriented in the N-S direction. However, it can not be, concluded that the structure for animal productions should be oriented in the E-W direction. On the other hand the structures of E-W orientation may receive a larger amount of solar radiation due to the fact that both north and south side of walls are exposed to the sun.

The procedure results and discussions, conclusions and suggestions for future research are presented as follows.

1. INTRODUÇÃO

A criação de animais domésticos em regime semi intensivo e intensivo tem demonstrado ser bastante viável para a produção comercial. Tais sistemas de criação requerem maiores cuidados em manejo, alimentação, controle sanitário, controle ambiental, controle emocional, físico e de comportamento, a fim de ser atingida uma produção rentável e eficiente.

Os sistemas de criação semi intensivo e intensivo foram introduzidos no país através de imigrantes, na maioria europeus, que adotaram características similares às encontradas em seus países de origem. As condições climáticas aqui existentes, entretanto diferem em muitas características daquelas encontradas nos países do Hemisfério Norte, os quais possuem em alta tecnologia em termos de criação animal.

Segundo dados estatísticos sobre o rebanho brasileiro, apesar do aumento de produtividade animal nas últimas duas décadas, o índice de mortalidade tem crescido assustadoramente. Tais dados, nos levam a crer que o grande responsável por estes altos índices são as instalações e manejos inadequados para criação animal em regime semi intensivo e intensivo, para os tipos de raças aqui desenvolvidas.

Construções de ambientes e manejos adequados devem ser intensificados a fim de que a produção nacional atinja melhor condição de competição no nosso próprio mercado consumidor e conquiste melhores posições no mercado internacional.

Estruturas agropecuárias economicamente boas para o

produtor e razoáveis para o animal devem ser desenvolvidas, levando-se em consideração fatores como: aptidão climática, materiais de construção locais, além de formas alternativas de construção, pois atualmente, mais de 50% do investimento numa criação intensiva e semi intensiva está concentrada na construção dos abrigos dos animais.

Incentivos à pesquisa de ambientes para criação de animais devem ser intensificados afim de prover o criador de alternativas para uma exploração em melhores instalações.

Estudos com relação aos materiais de construção utilizados, assim como a determinação do tipo de cobertura ideal para cada tipo de criação nas diferentes regiões do país, são de vital importância quando se deseja atingir altos níveis de produtividade.

Nos regimes de criação semi-intensiva e intensiva o animal raramente tem opção para escolher o local que lhe convém, portanto, faz-se necessário que o microclima interno à estrutura seja o mais agradável possível, permitindo uma maior produtividade.

Devem ser respeitadas regras básicas tais como: número de animais por área, homogeneidade do plantel, alimentação balanceada, água em abundância, ventilação e temperatura em adequada umidade, para que o animal não apresente problemas de desgaste físico e emocional, prejudicando a produção.

A criação de animais que está se tornando cada vez mais intensiva e o ambiente animal definido por Bond et al. (1960), é o total de todas as condições externas que afetam este desenvolvimento, resposta e crescimento.

Os fatores externos que afetam o controle e balanço energético animal são muito importantes. Destes fatores externos podemos considerar os fatores climáticos como: a temperatura do ar, a umidade relativa, a movimentação do ar e a radiação.

Existem outros fatores externos citados pela literatura consultada, tais como: fatores físicos e fatores sociais. Os fatores físicos são apontados como: espaço, luz, barulho, pressão e equipamentos; fatores sociais são número de animal por área, e comportamento dos animais e a hierarquia do rebanho.

Como o homem, os animais domésticos são homotermos, portanto eles procuram manter sua temperatura basal através do balanço de calor produzido ou perdido nos ambientes onde se encontram. O ambiente térmico ao redor do animal tem influência direta na quantidade de calor trocado entre o animal e sua circunvizinhança.

O animal produz calor quando transforma energia química do alimento em trabalho.

Sabe-se que altas temperaturas, durante grandes intervalos de tempo, provocam queda de peso e de desempenho de animal, enquanto somente uma pequena parte da energia, obtida através da alimentação, vai aumentar a produção de leite, carne, ovos, ou tração.

A grande parte restante é liberada ao ambiente nas formas de calor, fezes e urina. Se tal energia não for liberada ou absorvida, conforme as condições de temperatura do animal, haverá uma alteração da temperatura basal dos animais,

provocando deficiência no crescimento, na produção e saúde.

Visto estes pontos pode-se indicar que os fatores ambientais são de grande importância na produção comercial de animais.

Tanto em regiões de climas frios, como em regiões de climas quentes, o problema dominante na ambientação animal é o da troca de calor com o seu micro ambiente. Este deve ser tal que não afete as suas reações fisiológicas nem lhe iniba o apetite.

Nos climas quentes os problemas estão nas altas temperaturas, altas radiações solares e na grande quantidade de umidade relativa do ar.

O controle do calor excessivo através de modificações ambientais seria benéfico para prevenir o desgaste físico e emocional dos animais e o declínio da produção. O grau real de efeito das várias modificações ambientais do sistema devem ser analisadas em termos do benefício econômico e não necessariamente em termos do conforto animal.

Esmay (1969) estabeleceu que a quantidade de calor trocado entre o animal e sua circunvizinhança a qualquer tempo é influenciado pelo ambiente. Se o efeito da temperatura do ambiente é maior ou menor que a zona de conforto do animal, ajustes são requeridos para manter o balanço térmico.

Com exceção da radiação, todos os componentes de um ambiente térmico são medidos com instrumentos comuns. Sendo a radiação uma parte significativa na transferência do calor entre um animal e sua circunvizinhança, uma completa avaliação da

te, depende grandemente do estabelecimento de valores quantitativos para estes fatores.

Pesquisas com relação à forma de construção de abrigos para animais vêm sendo desenvolvidas para determinarem a forma mais adequada de estrutura para o regime de criação intensiva e semi-intensiva. Não podemos utilizar totalmente os resultados obtidos por Neubauer e Cramer (1968), pois são parâmetros experimentais, e portanto, dependem de variáveis climáticas que se apresentam diferentes nas condições brasileiras.

Foram realizadas pesquisas com painéis que simulam as condições de um telhado. Com algumas adaptações foi possível determinar curvas das temperaturas médias de diversas coberturas para diferentes formas de construção.

A temperatura efetiva da superfície exterior, adicionadas a outros fatores, é assumida para se ter a influência direta sobre a temperatura interior e conforto dentro da estrutura (Bond *et alli* (1969)).

Em climas quentes o conhecimento destes dados podem ajudar significativamente o controle do planejamento da temperatura e a obtenção de conforto térmico.

No presente trabalho não estão incluídas todas as condições possíveis e suas ramificações. Certos aspectos e fatores devem ser anexados aos dados obtidos, afim de ser obter um planejamento e desenho das construções adequadas às condições locais. Um provimento de conforto real pode ser facilmente obtido quando a seleção dos dados obtidos forem compatíveis com os requisitos de construção.

econômico e com a finalidade de redução da quantidade de calor a que o animal está exposto, recai sempre numa forma de cobertura que permita uma sombra ideal, principalmente nos meses mais quentes do ano. A radiação que causa esta carga de calor vem principalmente de três zonas circunvizinhadas do animal, que são: sol, céu e solo.

Esta cobertura ou sombra reduz a quantidade de radiação de cada uma destas fontes. A quantidade de calor radiante depende da forma e do material usado para a cobertura.

Quando as velocidades de vento são baixas, um certo volume de ar, situado sob uma sombra de aproximadamente 12 metros quadrados ficará retido nesta sombra e acompanhará a direção do vento, por aproximadamente 25 segundos. (Kelly, Bond, Ittner 1954).

Qualquer mudança de temperatura que ocorrer durante esta movimentação de ar, será o resultado da transferência de calor por convecção do ar para o solo, com temperaturas mais baixas provocadas pela sombra, ou da cobertura para a sombra.

O processo de troca de calor, que se dá nas circunvizinhanças da sombra, envolve 5 áreas distintas: 1) do solo à sombra da cobertura; 2) a parte do solo que recebe insolação direta, durante algumas horas do dia; 3) a região logo abaixo da estrutura; 4) a radiação do horizonte que engloba calores com alta umidade relativa, vindo de acúmulo de fezes e urinas; 5) a parte restante da irradiação difusa não incluída em nenhum dos itens anteriores.

O presente trabalho pretende dar uma ajuda inicial no campo da engenharia agrícola, no que diz respeito a obtenção

/

de alguns parâmetros que auxiliem na construção de ambientes para animais; a fim de que se possa obter um melhor conforto térmico, atingindo com isso uma maior produtividade.

2. OBJETIVOS

Partindo-se da necessidade de se ter dados nacionais sobre ambiência rural e conforme dados encontrados na literatura. Este trabalho de pesquisa definiu os seguintes objetivos:

2.1. Determinação da influência das formas geométricas das estruturas na quantidade de calor radiante dentro do prédio.

O trabalho visa medir a quantidade de radiação térmica, através das temperaturas de globo preto, temperaturas de máxima e mínima, juntamente com os outros dados climáticos, (em diversos protótipos com diferentes formas geométricas.)

2.2. Determinação da influência do material de cobertura para sombra de abrigo de animais.

Utilizando os 3 tipos de cobertura mais usadas em construções rurais esta pesquisa procura determinar qual delas possibilita maior conforto animal.

2.3. Determinação da influência da posição da estrutura com relação ao sol na quantidade de calor interno do prédio.

Com dois protótipos de mesma forma geométrica deseja-se averiguar a real influência do posicionamento das construções em relação ao sol, na determinação do melhor conforto ambien

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Introdução

Existem poucos locais no mundo ou quase nenhum onde o clima natural é continuamente ótimo para animais domésticos.

Os animais e aves selvagens têm possibilidade de se moverem para escolher um ambiente confortável. Desde que o homem começou a domesticar tais animais e aves, ele têm, progressivamente, restringido a liberdade destes animais de escolha do melhor ambiente. O homem está interessado na criação de animais em regiões que são removidas crescentemente de condições climatológicas, que poderiam ser ideais para um desenvolvimento ótimo da criação animal.

Os técnicos, cientistas e engenheiros, em colaboração com os produtores, devem projetar estruturas e sistemas de controles ambientais que sejam economicamente ótimos. Deve-se notar que o significado de "ótimo" não é no sentido fisiológico, mas sim, no sentido de engenharia; ou seja, economicamente ótimo para uma produção rentável.

O estudo do ambiente ideal para a produção se faz necessário, principalmente em locais de climas quentes, onde a quantidade de calor radiante é bem crítico.

Sendo a radiação uma parte significativa da transferência de calor entre o animal e sua circunvizinhança, um estudo completo entre a produção animal e o ambiente onde ela se encontra, depende da avaliação dos vários modos de transferência de

calor.

Segundo Esmay (1969), a quantidade de calor que provoca o desgaste físico e emocional do animal, têm sido definida como a combinação das condições ambientais, fazendo com que a temperatura efetiva ambiental seja superior ao nível de temperatura da zona termoneutra do animal. Quando isto ocorre, qualquer ajuste deve ser feito para manter o balanço térmico ideal, a fim de que a produtividade não seja prejudicada.

3.2. Índices de Conforto Animal

Muitos índices têm sido desenvolvidos e usados para predizer o conforto ou desconforto das condições ambientais. Geralmente os dois parâmetros ambientais considerados têm sido a temperatura de bulbo seco e a umidade. O mais comum desses índices de conforto é o Índice de Temperatura e Umidade (THI), originalmente desenvolvido por Thom (1958) e desde então vem sendo adotado pelos órgãos oficiais de climatologia dos Estados Unidos, para determinar o índice de conforto ambiental para humanos.

Durante períodos de grande calor, um animal exposto diretamente a uma carga de radiação térmica maior que a sua produção de calor metabólico, pode sofrer consequências irremediáveis de desempenho. Portanto, (Bond *et alii*, 1967), o Índice de Temperatura e Umidade não pode ser eficazmente empregado para predizer desconfortos e perdas subsequentes na produção e reprodução de animais em regime de criação; isto quando a carga de ca-

lor radiante torna-se uma parte significativa do calor total que o animal deve dissipar. Por conseguinte, o Índice de Temperatura e Umidade deve ser preferido quando o sistema de criação estiver exposto a altos níveis de calor radiante.

O Índice de Temperatura e Umidade apresenta a seguinte equação:

$$THI = T_{bs} + 0,36 T_{bu} + 41,2 \quad (3.1)$$

onde:

T_{bs} = temperatura de bulbo seco, em °C

T_{bu} = temperatura de bulbo úmido, em °C

Um outro índice usado para prever o conforto animal, utiliza a temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, radiação pura e movimentação do ar. Foi desenvolvido por Buffington *et alli* (1974), com a inclusão da temperatura de globo preto na equação do Índice de Temperatura e Umidade em lugar da Temperatura de bulbo seco, é o Índice de Umidade do Globo Preto (BGHI).

Como foi descrito em trabalhos de Buffington, o BGHI apresentou-se como um dos indicadores mais precisos e a movimentação de ar foram grandes. Sob condições de baixa a moderada carga de calor o BGHI e THI apresentaram uma igualdade de valores.

Buffington *et alli* (1979) publicaram que para locais cobertos e descobertos o THI não apresentou diferenças significativas, isto é, ao nível de probabilidade de 95%. Já o índice BGHI, para o mesmo nível de probabilidade mostrou ser bem superior em locais descobertos comparados às condições de ambien

tes cobertos.

Segundo Buffington não há diferenças significativas entre os índices BGHI e THI, quando em várias condições de sombra existiu pouca diferença entre a temperatura do bulbo seco e a temperatura do globo preto.

Yaglow e Minard (1957) estudaram diversos índices na tentativa de relatar as condições ambientais e humanas na Força Armada Britânica. Eles desenvolveram o Índice de Temperatura de Globo do Bulbo Úmido (WBGT) o qual relacionou à temperatura de globo preto padrão, T_g ; temperatura de bulbo seco à sombra, T_a , e a temperatura de um termômetro de bulbo úmido, T_{wb} .

O índice WBGT consiste de uma simples ponderação das três temperaturas:

$$WBGT = 0,7 T_{wb} + 0,2 T_g + 0,1 T_a \quad (3.2)$$

O WBGT determina valores de intenção de descrever condições críticas para reduzir o eventual calor em treinamentos das Forças Armadas Britânicas. O sucesso do WBGT foi oportuno, em parte pela sua simplicidade, que encorajou o seu uso e aperfeiçoamento.

Berry *et alli* (1964) publicaram que o declínio da produção de leite de gados holandeses foi relatado pelo THI, através da seguinte equação:

$$MDec = -1,075 - 1,736 NL + 0,02474 \cdot (NL) \cdot (THI) \quad (3.3)$$

onde:

MDec = declínio absoluto na produção de leite, em Kg/dia/vaca

NL = nível normal de produção, Kg/dia/vaca

Outros índices foram sendo desenvolvidos, a fim de se determinar o conforto ou desconforto real dos animais através

da inclusão de outros fatores que venham a indicar os efeitos térmicos sobre o animal.

Cargill and Stewart (1966) indicaram que o THI deveria ser limitado a um valor de 75, como sendo o índice máximo para o gado leiteiro. Enquanto Johnson *et alli* (1963) publicaram que o declínio da produção de leite estava intimamente ligado ao acréscimo do THI, demonstrando que com valores de THI a nível igual ou inferior à 70, as vacas leiteiras experimentavam um desconforto muito pequeno, ao passo que, se o nível atingisse valores superiores à 75, a produtividade decrescia vertiginosamente.

3.3. A Troca de Radiação entre Superfícies

Um fenômeno físico fundamental, que forma a base de todo estudo de transferência de calor, é o fato observado de que a temperatura de um corpo ou parte dele, que é mais quente que sua circunvizinhança, tende a decrescer com o tempo. A queda desta temperatura indica perda de energia deste corpo.

Segundo Stefan - Boltzmann em sua lei diz que: "O grau de emissão de energia de uma superfície é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta", portanto a equação de Stefan-Boltzmann é:

$$W_b = \sigma T^4 \quad (3.4)$$

onde

W_b = o grau da transferência de calor por radiação, em Watts/m²

σ = é a constante de Stefan - Boltzmann = $5,67 \cdot 10^{-8}$ Watts/m².°K⁴

A temperatura da superfície preta T , é a temperatura absoluta. Isto é muito conveniente para resoluções computacionais, basta lembrar que:

$$\begin{aligned} W_b &= \sigma T^4 \\ W_b &= 5,67 \cdot 10^{-8} T^4 \\ W_b &= 5,67 (T/100)^4 \end{aligned} \quad (3.5)$$

O grau de radiação também depende da natureza da superfície quando comparada a um "corpo negro perfeito". A relação atual de emissão de calor para a emissão de um perfeito corpo negro, à mesma temperatura é chamada de emissividade, ϵ , assim:

$$W = \epsilon \sigma T^4 \quad (3.6)$$

onde

W = é a quantidade de transferência de calor de radiação em $\frac{\text{Watts}}{\text{hr.m}^2}$

ϵ = é a emissividade de uma superfície.

Quando a radiação incide sobre uma superfície, parte desta radiação pode ser absorvida pelo corpo e parte pode ser refletida pela superfície, e ainda, outra parte pode ser transmitida através do corpo. A proporção absorvida é chamada de absorvitância da superfície. Um corpo negro absorverá toda a radiação (absortividade = 1,0), enquanto que outras superfícies absorvem uma parte e refletem o restante. A refletância de uma superfície é a parcela da radiação incidente não absorvida.

O mais simples caso de troca do calor de radiação entre superfícies é o de duas superfícies paralelas de tamanho infinito. As equações para a troca de calor de radiação entre superfícies pode ser derivada da equação (3.6). Partindo-se de

la, temos que a superfície 1 emite uma quantidade de calor igual a $\epsilon_1 \sigma T_1^4$, quando esta radiação atinge a superfície e a parcela absorvida é ϵ_2 , sendo que o calor transferido de 1 para 2 é $\epsilon_2 \epsilon_1 \sigma T_1^4$. Do mesmo modo o calor transferido de 2 para 1 é $\epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_2^4$. Assim, pode ser suposto que a radiação líquida trocada será a diferença entre estes dois últimos termos. Entretanto a equação abaixo é usada, somente para definir a primeira passagem entre as duas superfícies em cada direção

$$W_{1-2} = \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.7)$$

onde

W_{1-2} = é a troca do calor líquido entre as superfícies 1 e 2 ,
em $\frac{\text{Watts}}{\text{hr.m}^2}$

ϵ_1 = é a emissividade da superfície 1

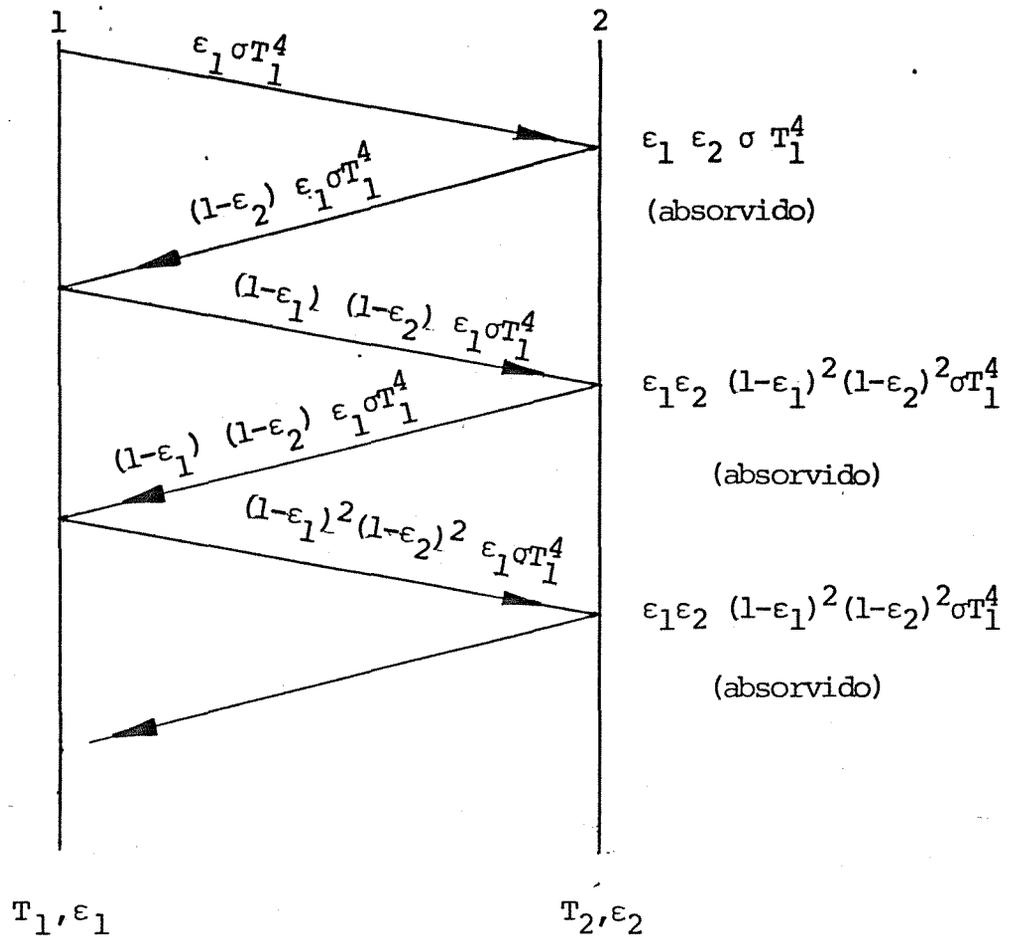
ϵ_2 = é a emissividade da superfície 2

T_1 = temperatura absoluta da superfície 1

T_2 = temperatura absoluta da superfície 2

Para outros casos a equação é incorreta, pois a radiação que não é absorvida na primeira passagem é refletida novamente para a superfície original, onde uma parte é absorvida e o restante é refletido novamente.

Estas quantidades envolvidas em sucessivas reflexões são indicadas na Figura 3.1 para radiações originadas da superfície 1.



Para cada colisão com a superfície 2 a parte absorvida é ϵ_2 , fazendo com que o total transferido de 1 para 2 tome a forma de uma série descrevendo as sucessivas reflexões.

$$W_{1-2} = \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 (1 + (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2) + (1-\epsilon_1)^2(1-\epsilon_2)^2 + \dots) \quad (3.8)$$

Com a série, $1 + x + x^2 + x^3 + \dots$ igual a $\frac{1}{(1-x)}$, a equação acima pode ser simplificada, da seguinte maneira:

$$W_{1-2} = \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 / (1 - (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)) \quad (3.9)$$

A radiação originada da superfície 2 conduz-se no mesmo caminho e a radiação líquida é a diferença entre a transferência de 1 para 2 e de 2 para 1.

$$W = \epsilon_1 \epsilon_2 \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4) / (1 - (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)) \quad (3.10)$$

No caso de objetos com formas definidas envolvidas numa região relativamente grande, a transferência de calor por radiação não pode utilizar a Equação (3.10). Isto porque a radiação passando do objeto para a região, e sendo refletida pela mesma, parte dela não retornará para o objeto, pois grande quantidade desta radiação se perderá ou colidirá com outra parte da região (Kerslake, 1972).

O calor de ondas longas de radiação, trocado entre as superfícies de um corpo e uma região envolvente, pode ser calculado pela modificação introduzida por Christiansen (Monteith, 1973), na equação de Stefan-Boltzmann.

$$W = \sigma A_1 \left[1/\epsilon_1 + (1/\epsilon_2 - 1) A_1/A_2 \right]^{-1} \left[T_1^4 - T_2^4 \right] \quad (3.11)$$

onde

A_1 = área da superfície do corpo envolvido

A_2 = área da superfície envolvente

A equação acima pode ser usada com certa aproximação em trocas de calor radiante entre qualquer corpo e qualquer região envolvente. Christiansen assinala que seu uso deve ser restrito à casos que a distância entre superfícies não variem muito de lugar para lugar, e que pelo menos uma das superfícies reflita difusivamente. Isto é evidente no caso de uma região envolvente muito grande ($A_2 \gg A_1$), temos que a Equação (3.11), aproxima-se para

$$W_{1-2} = \epsilon_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.12)$$

Podemos notar que todas as equações sobre troca de calor por radiação apresenta o termo $(T_1^4 - T_2^4)$, que dependendo do caso é multiplicado por um valor que está relacionado com a

emitância das superfícies. É conveniente referir a este valor como um fator de emitância, F_{ϵ} . Transformando a Equação (3.12) em:

$$W_{1-2} = F_{\epsilon} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.13)$$

3.4 Termômetro de Globo Preto

O termômetro de globo preto foi escolhido para determinar o componente da radiação do microambiente estudado, pois ele proporciona um prático e econômico meio de isolar temperatura média radiante dos outros fatores no ambiente térmico.

Vários índices como temperatura efetiva, temperatura operativa e temperatura "sol-air" tem sido utilizados em trabalhos científicos na determinação de valores de perda de calor por convecção e de resultantes de troca de calor entre a fonte de calor e o meio ambiente. O termômetro de globo tem sido preferido e indicado na leitura como um instrumento com boa precisão para determinar o total de calor recebido por um corpo negro.

As temperaturas do termômetro de globo indicam o efeito total de energia radiante e temperatura do ar medindo portanto o total de calor em ambiente onde se concentram os animais. A utilização deste termômetro está tanto na leitura do calor por irradiação em ambientes fechados, como na determinação da radiação solar em locais abertos ou expostos ao sol.

A temperatura do termômetro de globo preto também proporciona uma irradiação dos efeitos combinados da energia ra-

diante, temperatura e velocidade do ar; dando desta maneira uma medida do nível de conforto para animais que transpiram pouco.

Em trabalhos de campo o termômetro de globo preto é usado para determinar o total de radiação no espaço completo em uma dada posição, tal como: sob a cobertura. Bon e Kelly (1955)

Existe uma ímpar vantagem em seu baixo custo e simples construção: o registro de muitos instrumentos que podem ser usados em estudos comparativos simultaneamente.

Radiação negativa pode ser determinada tão rapidamente quanto a radiação positiva. [A simplicidade de construção, uso e aplicação juntos com a confiabilidade dos resultados, faz do termômetro de globo um instrumento que é adaptável para muitos problemas de pesquisa agrícola.]

Algumas pesquisas realizadas por Bond e Kelly (1955) sugerem certas limitações a serem consideradas no uso do termômetro de globo. Por exemplo: tal instrumento não considera perda do componente do calor de evaporação que é uma parte efetiva do conforto animal.

A resposta do instrumento é relativamente baixa onde os fatores ambientais (temperatura, velocidade do ar ou radiação) estão mudando constantemente.

Em sol direto, é fundamental a precisão das medidas das velocidades do vento, quando a diferença da temperatura de superfície do globo e do ar, juntamente com a transferência de calor por convecção foram elevados.

A Temperatura Radiante Média (TRM) de um ambiente é a temperatura de uma rede uniforme preta com a qual objeto trocaria a mesma quantidade de energia com o ambiente real.

Deve ser notado que esta definição refere-se a temperatura radiante média para um objeto. No caso de determinação da temperatura radiante média com o termômetro de globo, o globo é o objeto e o TRM, assim determinado será estritamente verdadeiro somente para o globo. Para um homem, um animal ou algum objeto a TRM seria um tanto diferente dependendo do fator de forma do objeto, com respeito às diferentes fontes de radiação do meio ambiente.

A carga de calor radiante (RHL) é a radiação total recebida por um objeto de todo o espaço circunvizinho. É a irradiação esférica ou do espaço total do objeto. Esta definição não diz nada da troca líquida de radiação entre o objeto e seu meio ambiente envolvido, mas inclui somente o rendimento da radiação no objeto.

Bedford e Warber (1934) estudaram o equilíbrio quantitativo característico do valor trocado de um globo preto e sua circunvizinhança e expressaram a troca de radiação pela equação:

$$W_r = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_g^4) \quad (3.14)$$

A troca de calor por convecção foi expressa pela equação abaixo:

$$W_c = 13.53 v (t_g - t_a) \quad (3.15)$$

onde

W_r = é o calor de radiação trocado, $\frac{W}{m^2}$

W_c = é o calor de convecção trocado, $\frac{W}{m^2}$

t_a = temperatura do ar, °C

tg = temperatura do globo preto, °C

ts = temperatura radiante média, °C

ε = emissividade da superfície e do globo

v = velocidade do ar, $\frac{m}{s}$

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

Tg = tg + 273°K

Ts = ts + 273°K

Sob condições normais, o calor ganho ou perdido por radiação, vindo ou indo do globo, deve ser exatamente igual ao calor perdido ou ganho por convecção. As equações (3.14) e (3.15) podem ser escritas da seguinte forma:

$$T_s = 100 \left[\left(\frac{T_g}{100} \right)^4 + 2,51 v (t_g - t_a) \right]^{1/4} \quad (3.16)$$

Se a temperatura equivalente uniforme do meio ambiente (MRT) é Ts, então a radiação emitida por cada parte deste ambiente para o globo é a carga do calor em Watts/m², é determinado pela fórmula de Stefan-Boltzmann:

$$RLH = \sigma T_s^4 \quad (3.17)$$

A temperatura média radiante pode ser encontrada da equação (3.16) se a temperatura do ar, velocidade do ar e temperatura de globo forem conhecidas. A quantidade de calor radiante (RHL) pode ser determinada da temperatura média radiante ou calculada diretamente da equação (3.17).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais durante o trabalho de pesquisa:

4.1.1. Protótipos

Para a execução deste trabalho de pesquisa, foram construídos oito protótipos de estrutura em madeira, todos com 1 metro cúbico de capacidade interna de ar.

Os oito protótipos foram divididos em dois tipos de estruturas com relação ao tipo de estudo a ser realizado. Os primeiros cinco protótipos foram totalmente fechados, enquanto que os três modelos restantes apresentam somente a armação em madeira.

Apresentamos a seguir as características dos cinco primeiros tipos utilizados durante o experimento.

4.1.1.1. Protótipo nº 1

Forma cúbica, totalmente fechado, com telhado plano, em madeira compensada em cinco folhas, apresentando uma espessura de 10 (dez) milímetros. As paredes e o telhado foram pintados com uma tinta base em preto, para posterior pintura com tinta preto fosco.

As Figuras 4.1. e 4.2. mostram com maiores detalhes as características do protótipo mencionado.

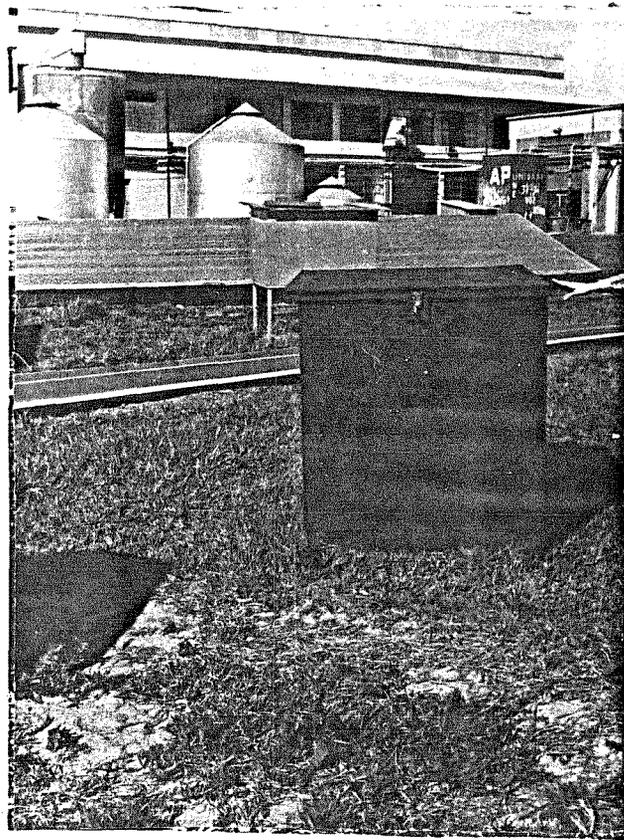


Fig. 4.1. Vista Frontal do Protótipo nº 1 mostrando sua forma geométrica.

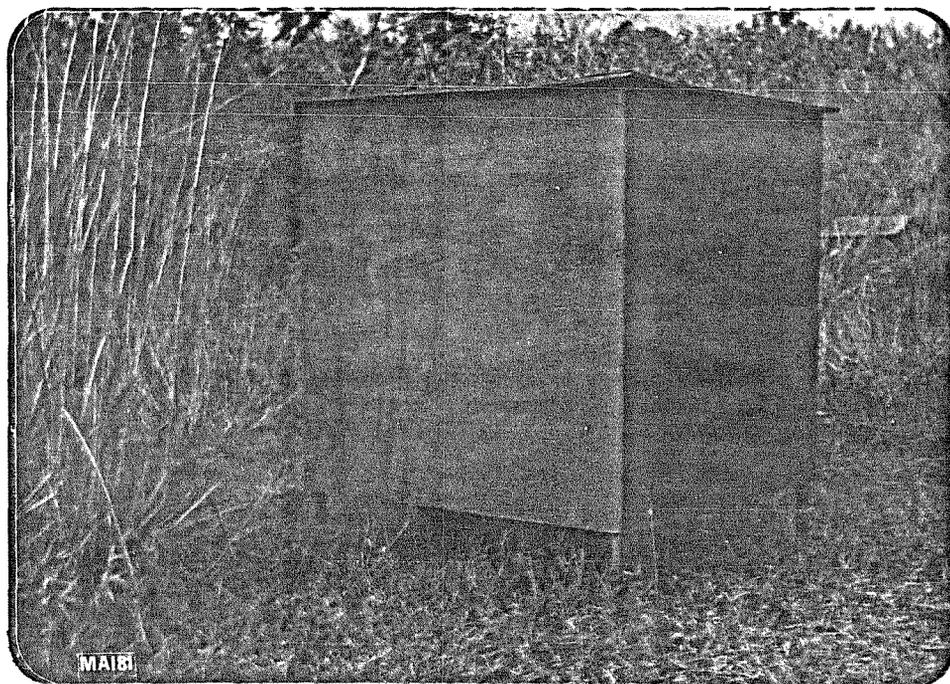


Fig. 4.2. Vista Lateral do Protótipo nº 1 mostran

4.1.1.2. Protótipos nº 2 e 3

São dois protótipos com as mesmas dimensões e formas geométricas totalmente fechados. São duas formas retangulares com telhado tipo duas águas, apresentando o comprimento igual a duas vezes a altura, construídos em madeira compensada de cinco folhas com uma espessura de 10 mm e pintadas com uma tinta base em preto, para posterior pintura com tinta preto fosco, numa segunda mão.

Os telhados foram construídos com um ângulo de $20,3^{\circ}$ em relação a horizontal.

A Figura 4.3. mostra a forma geométrica dos protótipos utilizados.

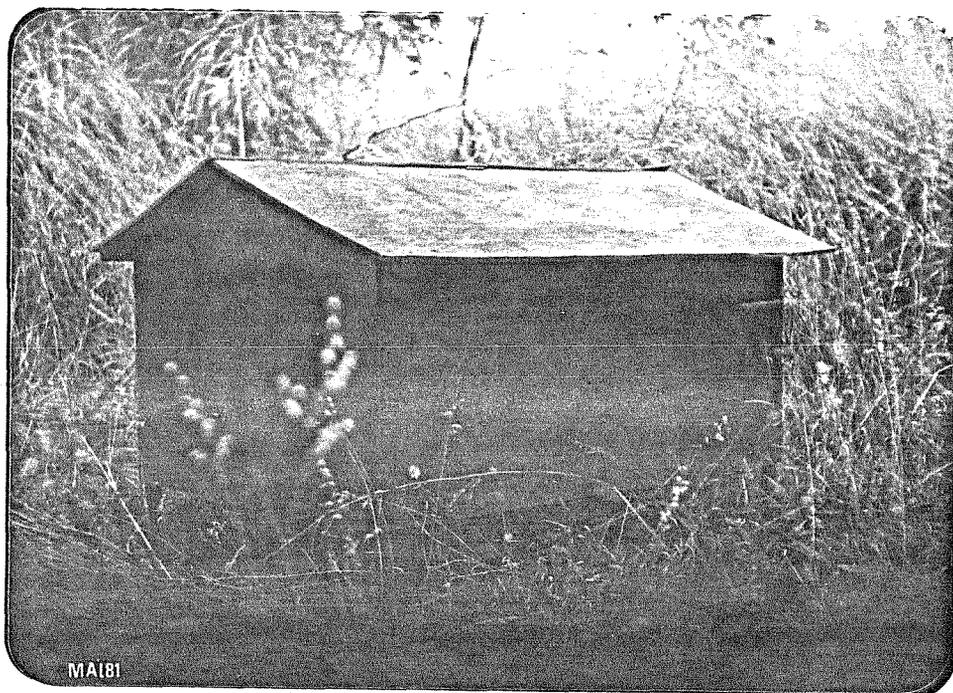


Fig. 4.3. Aspectos da forma geométrica dos protótipos 2 e 3.

4.1.1.3. Protótipo nº 4

O protótipo número 4, como os anteriores, foi construí

do em madeira compensada de cinco folhas com 10 mm de espessura, totalmente fechado e numa forma retangular onde a altura é superior ao comprimento em 1,5 vezes, com o telhado em duas águas apresentando uma inclinação em relação a horizontal de $20,8^\circ$.

As Figuras 4.4. e 4.5. apresentam as características geométricas do protótipo acima descrito.

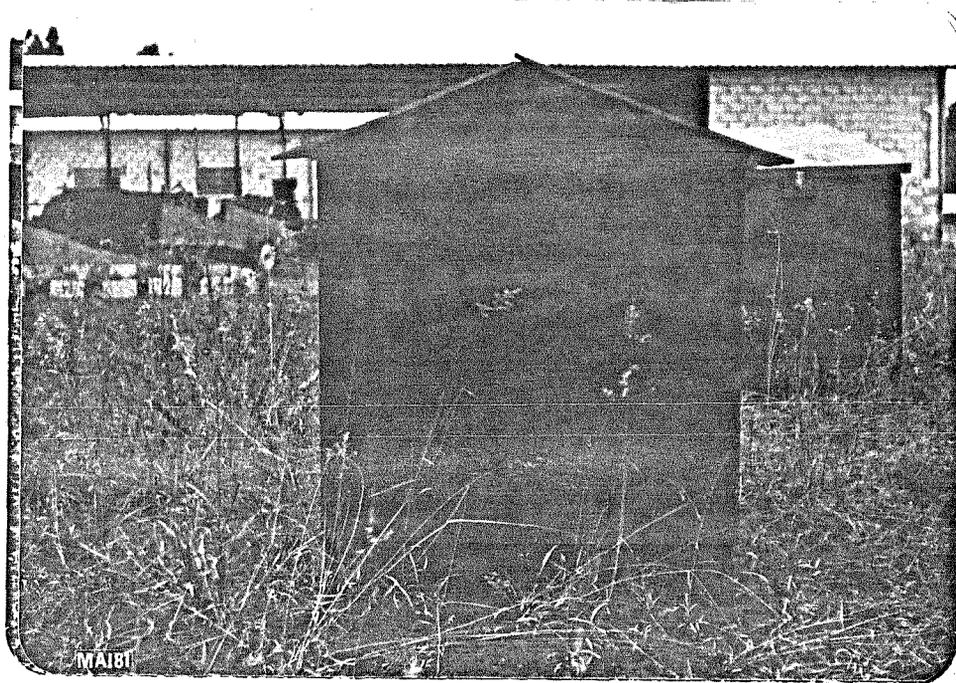


Fig. 4.4. Aspectos visuais do protótipo nº 4, com ênfase na relação altura-largura e ângulo do telhado.

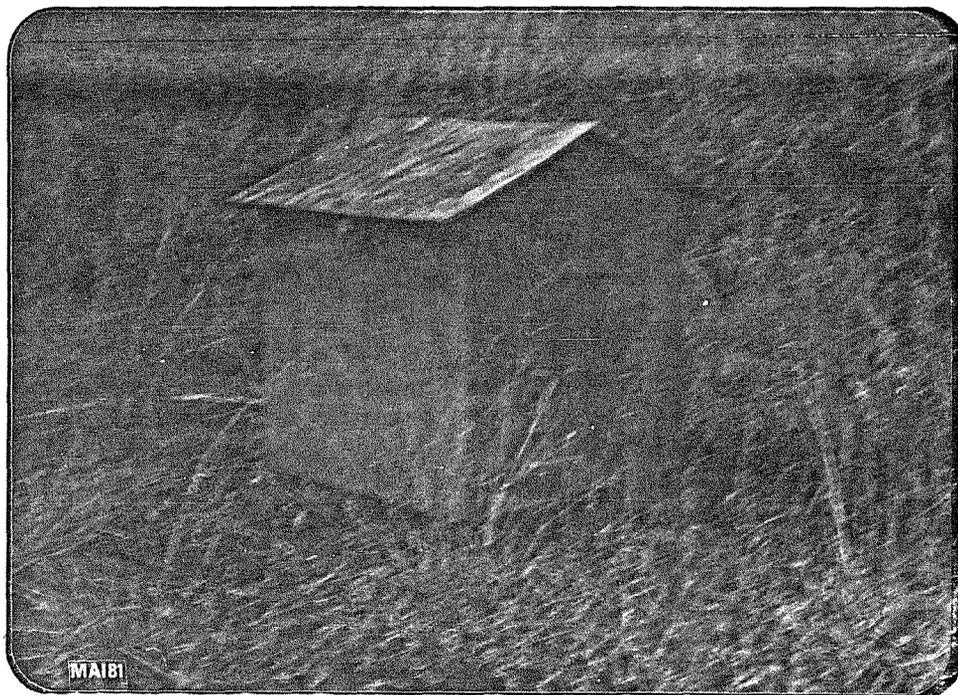


Fig. 4.5. Vista Lateral do protótipo nº 4.

4.1.1.4. Protótipo nº 5

Este protótipo é de forma paralelepípeda, com o telhado do tipo de uma água com inclinação de $10,8^{\circ}$; também construído em madeira compensada de cinco folhas com espessura de 10mm, foi colocado no campo experimental com intuito de se avaliar seu comportamento.

As Figuras 4.6. e 4.7. mostram a forma do protótipo construído e sua localização na área experimental, onde se realizou o trabalho de pesquisa.

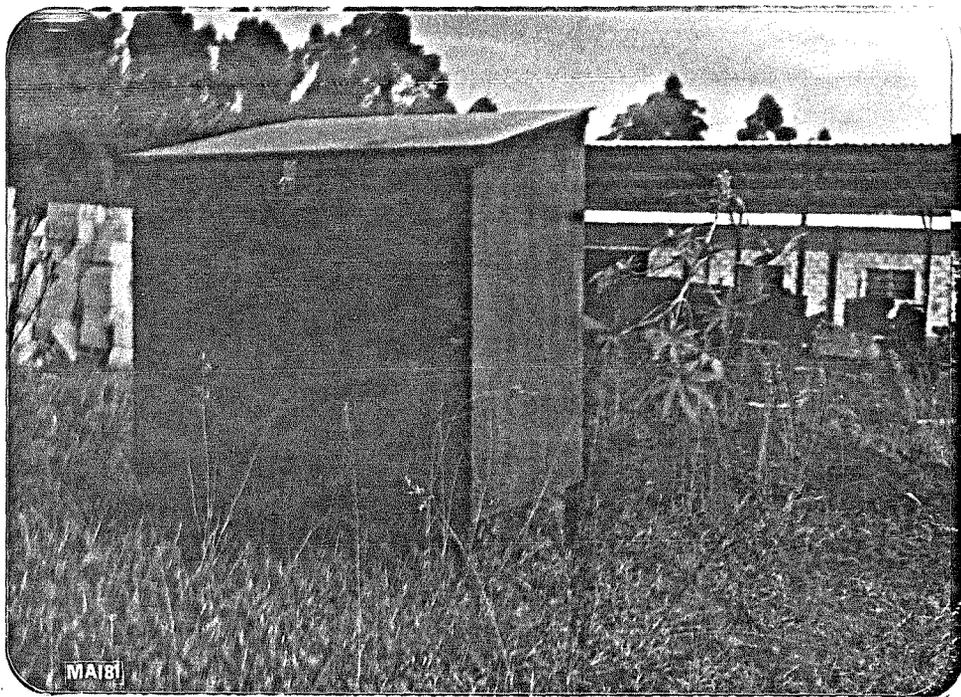


Fig. 4.6. Aspectos da estrutura do protótipo nº 5, mostrando o tipo de telhado em uma água.



Fig. 4.7. Aspectos frontais do protótipo "5" mostrando sua forma geométrica.

Os três Protótipos que são apresentados a seguir também foram construídos com armação em madeira, no entanto, todas as paredes laterais foram revestidas de tela de malha larga para possibilitar a exposição dos mesmos às condições ambientais do microclima. Os protótipos tinham o fundo feito com ripas, permitindo desta maneira registrar, também, a influência da radiação emitida pelo solo e pela sua circunvizinhança com maior facilidade.

Todas as três estruturas foram construídas com as mesmas dimensões e formas geométricas apresentando uma inclinação de telhado em relação a horizontal de $11,6^{\circ}$.

4.1.1.5. Protótipo nº 6

Este protótipo foi construído com telhado do tipo de uma água, com cobertura em alumínio ondulado de espessura igual a 1,0 mm. Como os demais protótipos este apresenta uma capacidade de volume interno de ar de 1 metro cúbico.

As Figuras 4.8. e 4.9. apresentam a forma do protótipo, assim como o tipo de material utilizado como cobertura a fim de se determinar a influência deste material sobre a sombra de abrigo da construção.

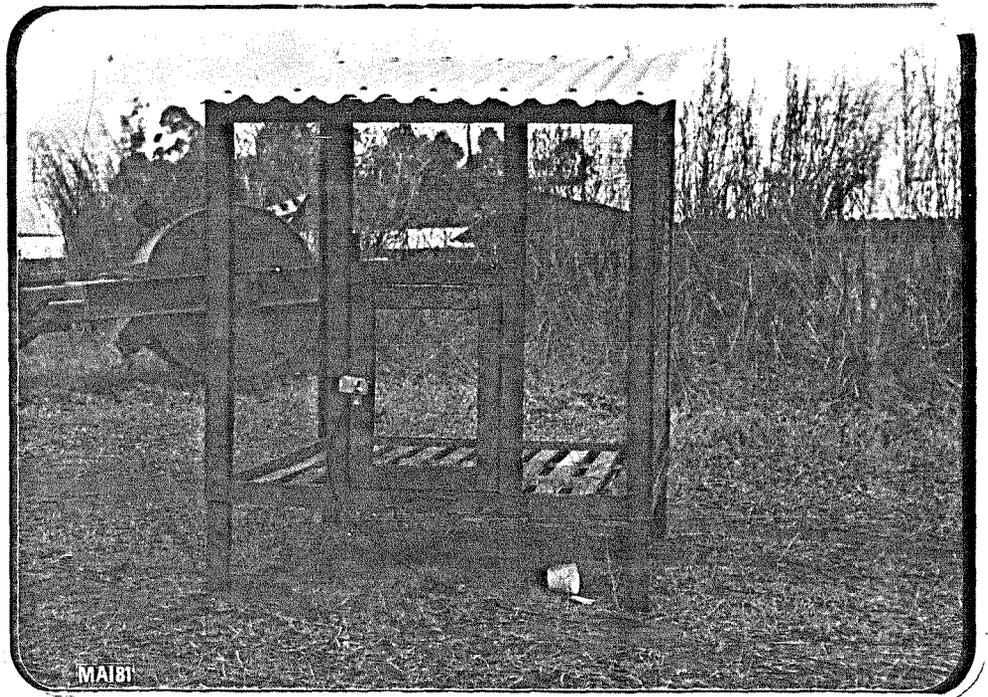


Fig. 4.8. Vista geral do protótipo "6" com ênfase no tipo de cobertura, no caso alumínio ondulado.

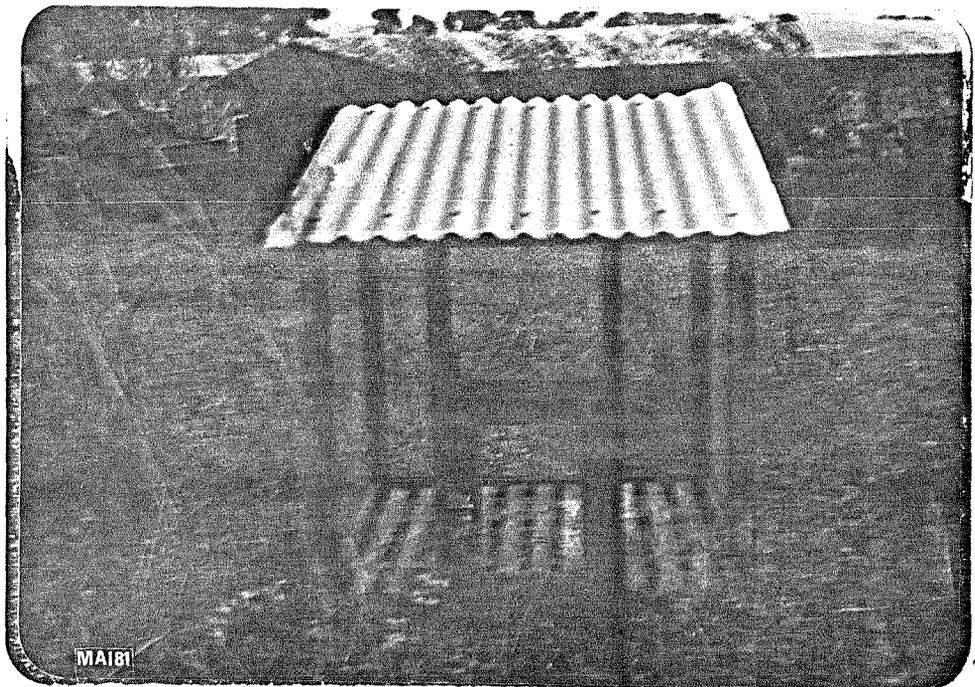


Fig. 4.9. Vista Frontal do protótipo nº 6 mostrando as paredes revestidas com malha de arame e co

4.1.1.6. Protótipo nº 7

Este protótipo foi construído da mesma forma que o anterior, apresentando como diferença o tipo de material utilizado, no telhado, que neste caso foi telha de cimento amianto, com espessura de 6,0 mm fixados à estrutura por meio de buchas.

A Figura 4.10. apresentada a seguir possibilita uma melhor visualização da forma e do tipo de cobertura utilizado durante as tomadas de dados.

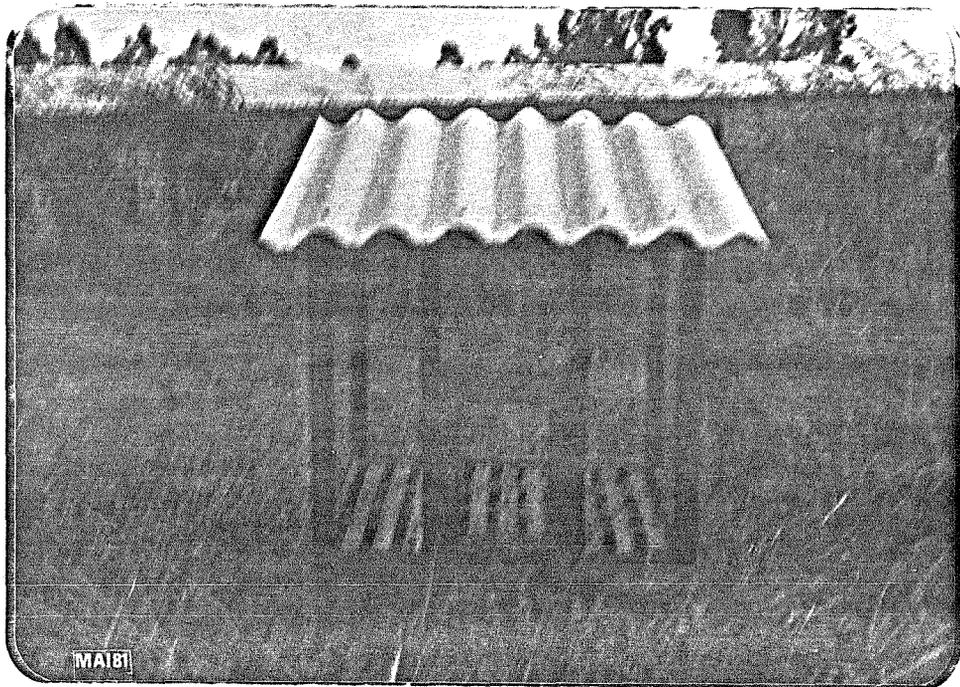


Fig. 4.10. Forma e tipo de cobertura utilizada no protótipo nº 7 durante o experimento.

4.1.1.7. Protótipo nº 8

Este protótipo apresenta a forma geométrica idêntica aos dois outros anteriormente citados. Para este protótipo foi escolhido como material de cobertura, telha de cerâmica, tipo paulista, com canal e capa, apresentando uma espessura de 10 mm.

As Figuras 4.11. e 4.12.. que apresentamos a seguir

mostram a forma geométrica e o tipo de cobertura utilizado neste último protótipo.

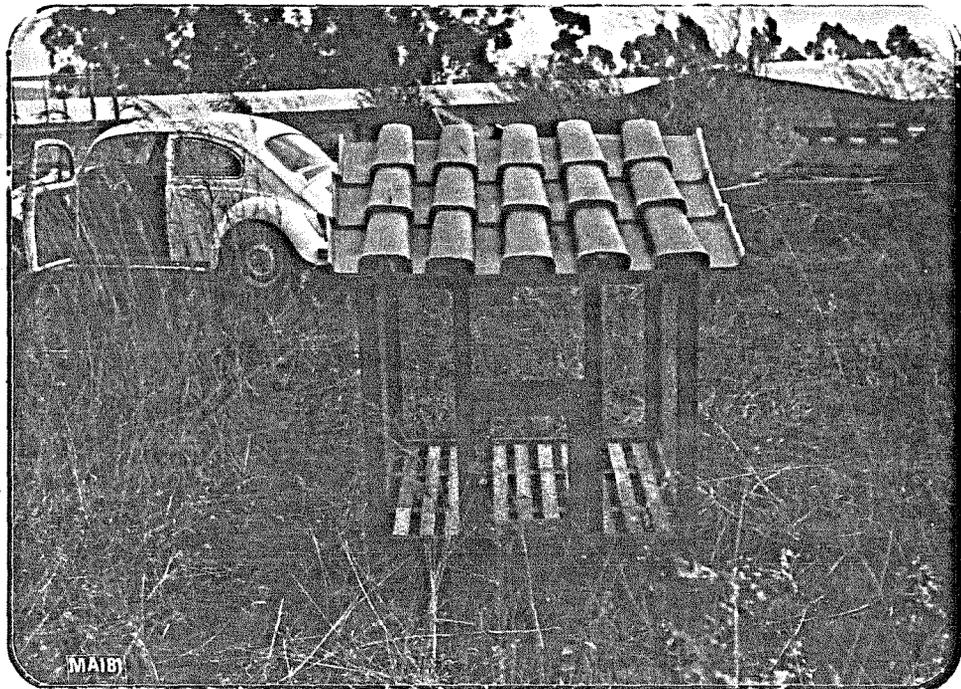


Fig. 4.11. Vista frontal do protótipo nº 8 com cobertura em telha de cerâmica.



Fig. 4.12. Vista lateral e frontal do protótipo nº 8.

4.1.2. Termômetros

Durante todo o trabalho de pesquisa foram utilizados alguns tipos de termômetros. Cada um apresentava uma finalidade específica, afim de se obter através dos dados registrados, parâmetros de comparação para os diferentes objetivos.

Apresentamos em seguida os tipos de termômetros utilizados durante o experimento.

4.1.2.1. Termômetro de Máxima e Mínima

O termômetro de máxima e mínima é um instrumento com o capilar em forma de U onde, do lado esquerdo é registrada a temperatura de mínima e do lado direito a temperatura de máxima, através de dois marcos coloridos que se movimentam pela oscilação do mercúrio inserido dentro do capilar.

Os marcos magnéticos durante as 24 horas de um dia registram a máxima e mínima temperatura. Após ser feita a leitura deve-se mover os marcos para junto do extremo do ponto de mercúrio.

Nos protótipos construídos foram utilizados dois modelos.

Para as estruturas abertas; protótipo 6, 7 e 8, utilizam-se o modelo de caixa de madeira onde, após a leitura das temperaturas de máxima e mínima, com um ímã magnético fazia-se com que o marco se encontrasse novamente junto do mercúrio, dentro do capilar, fabricado pela Alemmarck.

A graduação deste termômetro é de -30°C a 55°C .

A Figura 4.13. mostra o modelo anteriormente mencionado, com maiores detalhes.

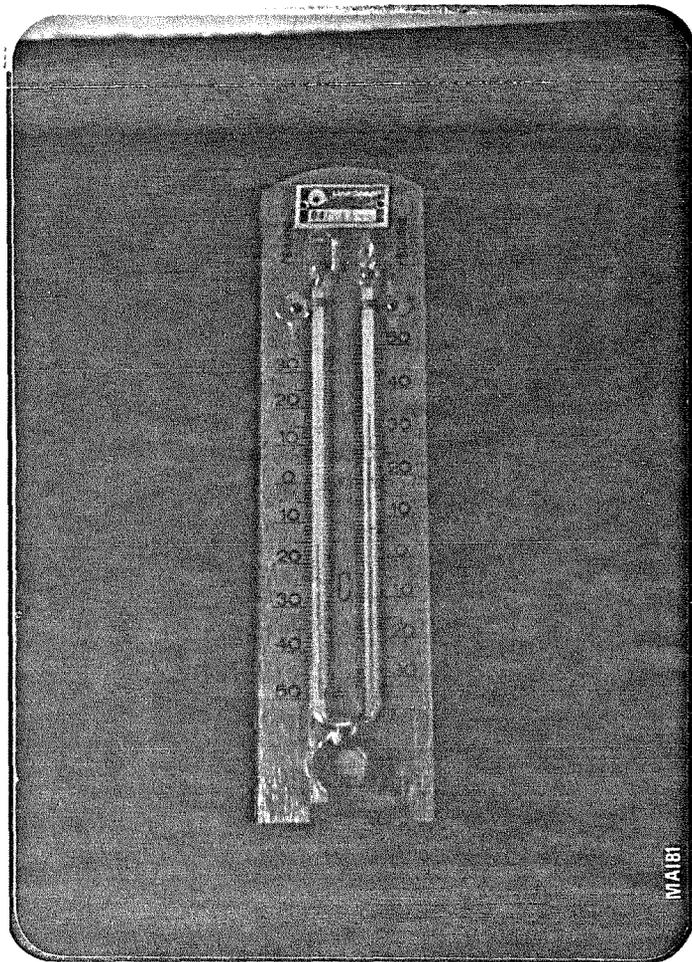


Fig. 4.13: Vista do termômetro de máxima e mínima, juntamente com o imã utilizado para mover o marco registrador.

O modelo em caixa plástica fabricado pela Incotherm possui um botão no centro do termômetro. Uma leve pressão neste botão faz com que o marco aproxime-se novamente do mercúrio. Este termômetro foi utilizado nos protótipos 1, 2, 3, 4 e 5. Sua escala vai de -30°C a $+55^{\circ}\text{C}$.

A Figura 4.14. apresenta o modelo do termômetro de máxima e mínima utilizado no experimento.

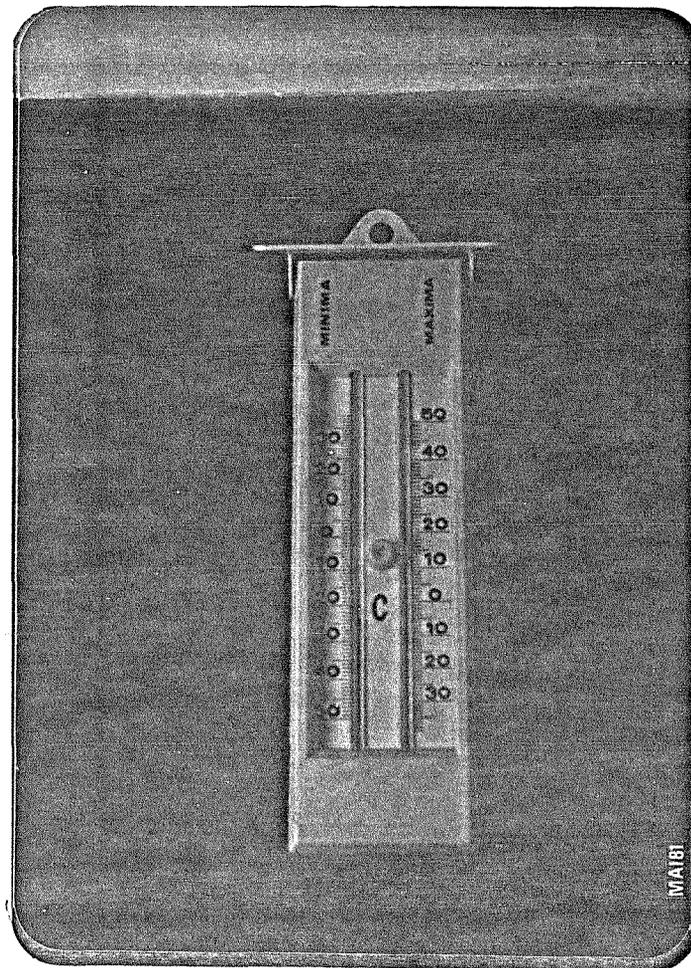


Fig. 4.14. Vista do termômetro de máxima e mínima usado nos protótipos fechados.

Foram utilizados estes dois modelos por apresentarem uma boa precisão para as finalidades desejadas e usou-se um modelo para cada tipo de experimento, como intuito de se obter maior precisão nas leituras e diminuir o erro comparativo dos instrumentos.

4.1.2.2. Termômetro de Máxima

A Estação Climatológica do Instituto Agrônomo de Campinas (I.A.C.) utiliza em seu posto meteorológico o termômetro de máxima B. Fuses de capilar reto com graduação de -10

+60°C (com mercúrio).

Deve-se notar que esta temperatura máxima do ar é medida sem a influência da radiação solar devido ao tipo de abrigo onde se encontra este instrumento, possibilitando desta maneira uma comparação entre os resultados por nós obtidos.

4.1.2.3. Termômetro de Mínima

No abrigo do posto de meteorologia do Instituto Agrônomo de Campinas é utilizado um termômetro Fuess de capilar reto que contém álcool como líquido dilatante e apresenta um marco para registrar as temperaturas de mínima do ar. Sua escala vai de -30°C a +40°C.

A Figura 4.15. apresenta os dois modelos citados anteriormente.

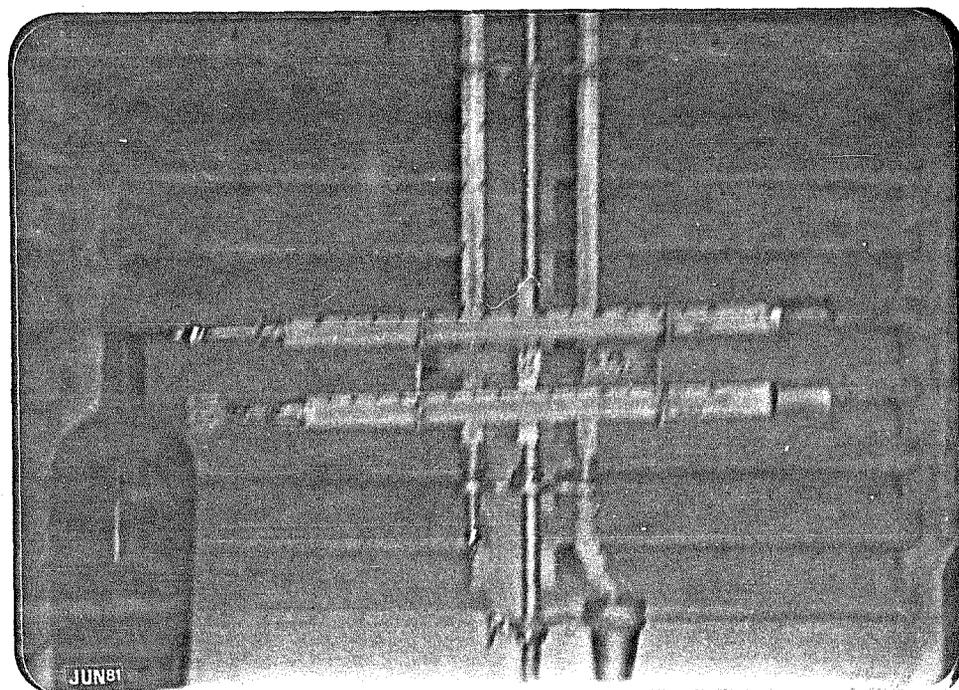


Fig. 4.15. Vista dos termômetros de máxima (Bulbo com mercúrio) e mínima (Bulbo em U com alcohol).

4.1.2.4. Termômetro de Globo Preto

Este instrumento foi construído para determinar, através da temperatura, a quantidade de radiação em ambientes cobertos.

Tal instrumento consiste de um termômetro de capilar reto, com mercúrio em seu interior, numa escala de -10°C até 110°C , em com o bulbo localizado, internamente, no centro de um corpo plástico totalmente fechado e pintado externamente com duas mãos de tinta preto fosco.

Este corpo recebe a energia radiante tem diâmetro de 11 cm e 6,5 cm, apresenta uma forma tridimensional semelhante a um elipsoide revolução.

A leitura da temperatura que representa energia radiante é feita no termômetro através do registro diário do deslocamento do mercúrio.

A Figura 4.16. fornece maiores detalhes visuais deste instrumento de medição.

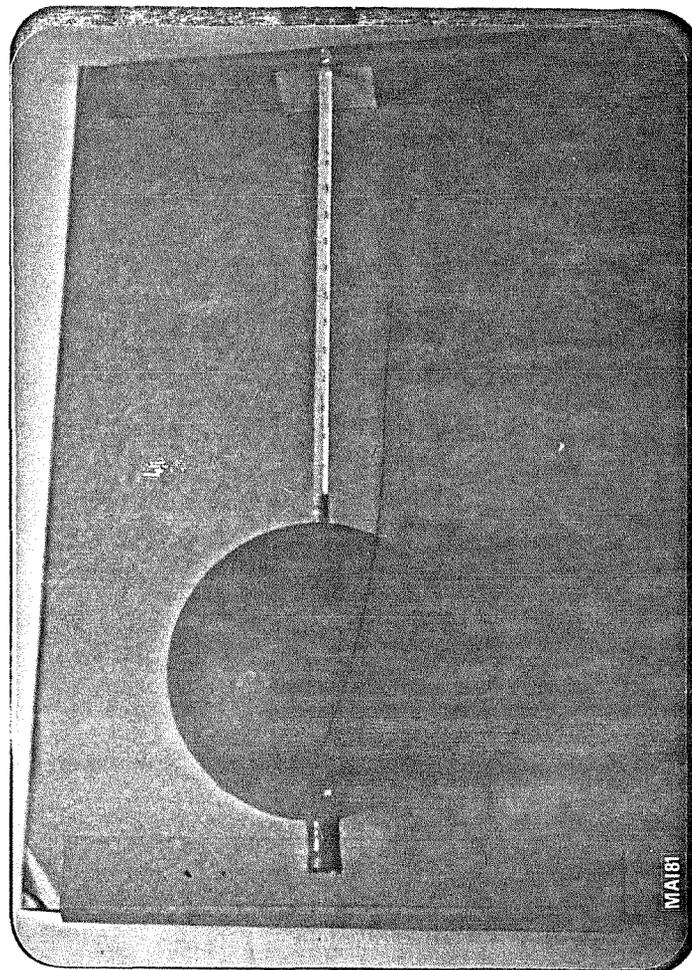


Fig. Aspecto do termômetro de Globo Preto utilizado durante o trabalho de pesquisa.

4.2. Métodos

Os protótipos, após a sua construção, foram colocados na área experimental da Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola - UNICAMP, onde foi realizada a tomada diária das temperaturas. Essas temperaturas foram tomadas às 15 horas, a partir do dia 19/03/80 até o fim do mês de outubro.

4.2.1. Metodologia para o Estudo da Forma Geométrica

Com os protótipos números 1, 3, 4, 5 foi estudada a influência da forma geométrica na quantidade de calor radiante dentro do prédio.

Dentro destes protótipos foram colocados termômetros de máxima e mínima, localizados o mais próximos possível do centro geométrico da estrutura para se obter um valor mais preciso desta medida.

Através de dados climatológicos da Cidade de Campinas, observou-se que os valores máximos da temperatura são atingidos a partir das 14 horas, portanto efetuou-se a leitura às 15 horas.

Todos os protótipos foram colocados no sentido do Norte-Sul, para que os mesmos recebessem, durante todo o dia a incidência de radiação solar, em quase todas as faces da estrutura, possibilitando a determinação da quantidade máxima de calor radiante para cada protótipo.

Com os valores diários das temperaturas pudemos construir Tabelas e a partir destes dados diários determinou-se a média mensal da temperatura para cada protótipo, posteriormente sendo possível a análise e interpretação dos resultados obtidos.

As Figuras 4.17 permite uma visualização da distribuição dos protótipos na área experimental.

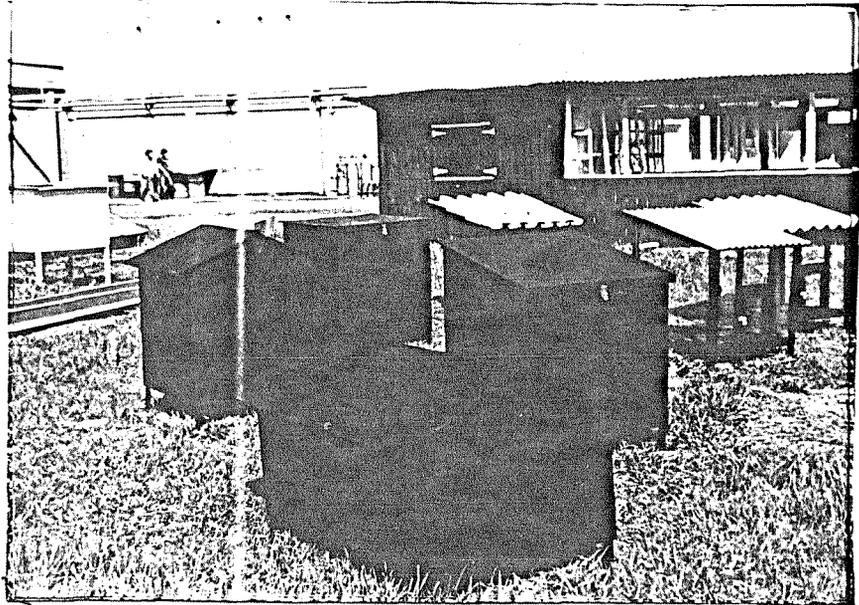


Fig. 4.17. Vista da distribuição dos protótipos 1, 3, 4 e 5, na área experimental.

4.2.2. Metodologia para o Estudo do Material de Cobertura

Os protótipos 6, 7, 8 foram colocados com a face do telhado no sentido Norte-Sul a fim de se determinar a influência do tipo de material usado na cobertura sobre a sombra de abrigo. Para determinar tal influência utilizamos um termômetro de máxima e mínima e um termômetro de globo preto, localizados no centro geométrico dos protótipos.

Através de leitura diária das três temperaturas determinamos a média mensal. Com esta média foi possível realizar a comparação entre os resultados obtidos dos protótipos.

As Figuras 4.18. mostra uma vista geral dos três protótipos estudados, com suas respectivas coberturas.



Fig. 4.18. Vista Geral dos Protótipos 6, 7 e 8 com suas coberturas.

4.2.3. Metodologia do Estudo da Posição da Estrutura com Relação ao Sol

Com os protótipos 2 e 3, que apresentam as mesmas formas geométricas, procurou-se determinar a influência da posição da estrutura com relação ao Sol na quantidade de calor interno ao prédio.

Enquanto o protótipo nº 3 foi colocado no sentido Norte-Sul o protótipo nº 2 foi instalado na área experimental no sentido Leste-Oeste.

Com a leitura diária dos termômetros de máxima e mínima de ambos os protótipos, determinou-se a média mensal durante os meses do experimento, a fim de ser verificar o comportamento de estruturas similares em posições opostas.

A Figura 4.19. apresenta os protótipos com posição em relação ao Sol.

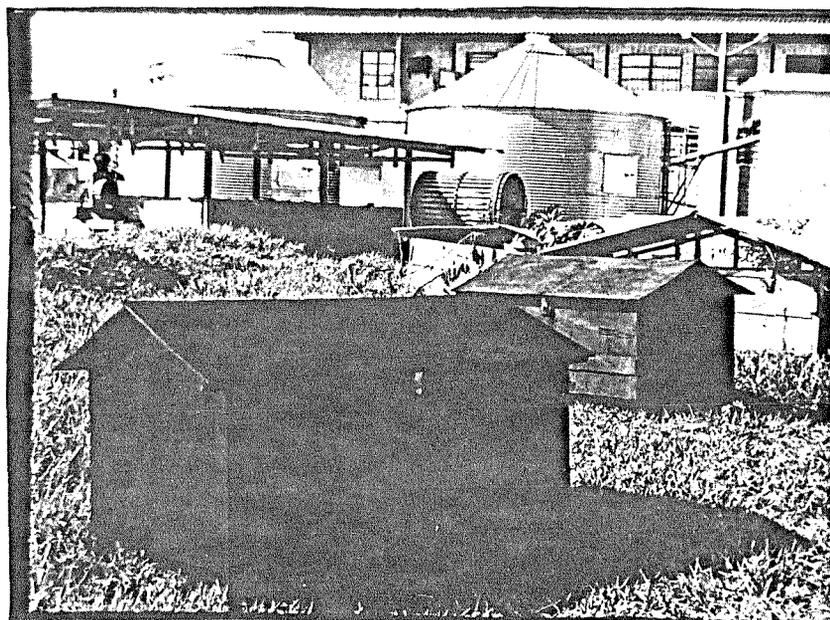


Fig. 4.19. Vista dos protótipos 2 e 3 mostrando o posicionamento com relação ao Sol.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Resultados

Utilizando os materiais descritos anteriormente e realizando o trabalho de pesquisa demonstrado na metodologia, já citada, obtivemos dados diários de temperaturas de mínima e máxima, de Globo Preto e do ar.

Com estes dados construíram-se Tabelas, com as quais foi possível determinar alguns parâmetros na área de construção e ambientação rural, para servirem de base a futuros trabalhos de pesquisa.

Apresenta-se a seguir os resultados tabelados das temperaturas com seus respectivos desvios padrão, número de medições mensais e outros resultados provenientes da interpretação dos dados retirados durante os meses em que foram realizados os experimentos.

5.1.1. Efeito da forma geométrica

Partindo-se da premissa que a temperatura, no transcorrer das 24 horas de um dia apresenta uma curva senoidal, demonstra-se através da comparação entre as temperaturas de máxima e mínima dos protótipos 1, 3, 4, 5; e a temperatura de máxima e mínima do ar obtidas durante cinco vezes num mesmo dia, que esta hipótese é totalmente verdadeira.

Foi escolhido um dia aleatório, simplesmente para demonstrar que tal hipótese é verdadeira, embora tenham sido feitas várias comparações durante muitos dias em meses diferentes.

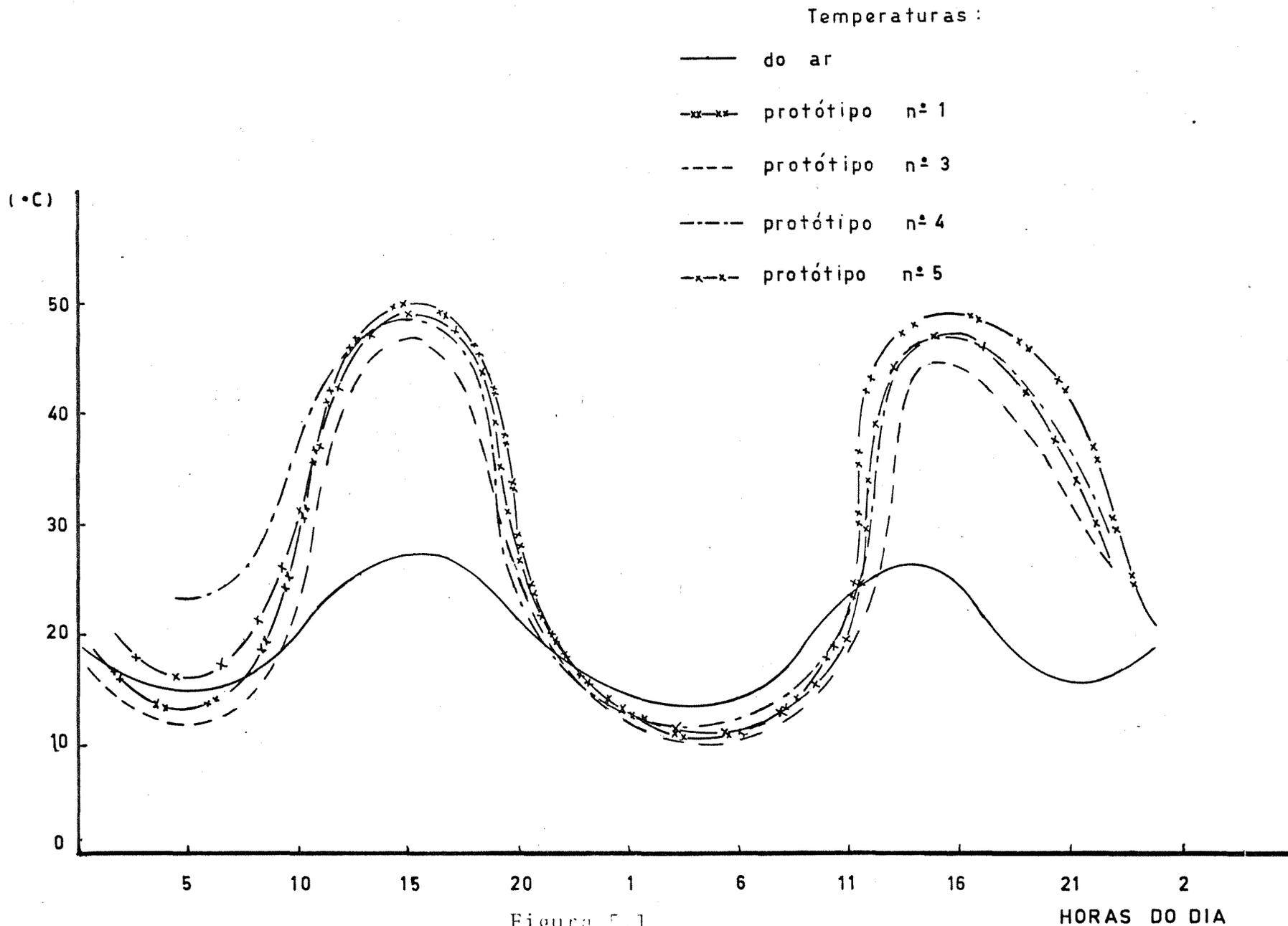


Figura 5.1.

Gráfico comparativo do comportamento da temperatura ambiental entre as temperaturas de máxima e mínima dos protótipos 1, 3, 4, 5; e a temperatura máxima e mínima do ar

Para a análise da influência da forma geométrica das estruturas na quantidade de calor radiante dentro do prédio construiu-se Tabelas em que foram colocados os resultados das leituras de temperatura de máxima e mínima. (Tabelas 5.1.1. a 5.1.6.)

Nestas Tabelas encontram-se os valores na seguinte ordem de colunas:

- 1^a coluna: meses em que se realizaram os experimentos
- 2^a coluna: temperatura média de mínima em °C para o respectivo protótipo
- 3^a coluna: desvios padrão para a temperatura média de mínima
- 4^a coluna: maior valor da temperatura de mínima em °C
- 5^a coluna: temperatura média de máxima em °C para o respectivo protótipo
- 6^a coluna: desvios padrão para a temperatura média de máxima
- 7^a coluna: maior valor da temperatura de máxima em °C
- 8^a coluna: número de dias observados por mês, para o respectivo protótipo

Para facilitar a confecção destas Tabelas utiliza-se uma simbologia a fim de representar os termos descritos anteriormente.

TABELA 5.1.1. Valores das Temperaturas de Máxima e Mínima, Desvios Padrão e Valores Máximos Encontrados Durante o Número de Dias Observados por Mês; para o Protótipo nº 1

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-1}}$ (°C)	$S_{T_{1-1}}$	$V_{T_{1-1}}$ (°C)	$\bar{X}_{T_{2-1}}$ (°C)	$S_{T_{2-1}}$	$V_{T_{2-1}}$ (°C)	N
MARÇO	17,7	±1,9	21,0	50,9	±2,6	54,0	13
ABRIL	16,3	±2,1	19,5	46,4	±4,2	52,0	30
MAIO	13,1	±3,1	18,5	44,1	±3,6	50,0	31
JUNHO	8,8	±3,2	15,5	43,8	±4,0	49,5	28
JULHO	10,9	±1,9	15,0	43,5	±3,5	47,0	23
AGOSTO	12,2	±2,7	18,0	44,4	±4,1	50,0	24
SETEMBRO	11,0	±2,7	16,0	45,5	±4,4	51,0	26
OUTUBRO	14,5	±2,9	21,5	46,2	±4,6	52,0	19

ABELA 5.1.2. Valores das Temperaturas de Máxima e Mínima, Desvios Padrão e Valores Máximos Encontrados Durante o Número de Dias Observados por Mês; para o Protótipo nº 2

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-2}}$ (°C)	$S_{T_{1-2}}$	$V_{T_{1-2}}$ (°C)	$\bar{X}_{T_{2-2}}$ (°C)	$S_{T_{2-2}}$	$V_{T_{2-2}}$ (°C)	N
MARÇO	18,2	±1,5	21,5	50,8	±2,4	54,0	13
ABRIL	17,0	±1,9	20,0	45,9	±4,3	51,0	30
MAIO	13,4	±3,2	20,5	43,9	±4,2	49,5	31
JUNHO	9,4	±3,3	16,0	42,4	±4,0	46,5	28
JULHO	11,0	±2,2	15,5	43,5	±3,0	48,0	23
AGOSTO	12,2	±2,9	18,5	44,1	±4,5	49,0	24
SETEMBRO	11,7	±3,0	18,5	43,7	±4,4	50,0	26
OUTUBRO	15,7	±3,3	23,0	47,0	±3,6	52,0	19

TABELA 5.1.3. Valores das Temperaturas de Máxima e Mínima, Desvios Padrão e Valores Máximos Encontrados Durante o Número de Dias Observados por Mês, para o Protótipo nº 3

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-3}}$ (°C)	$S_{T_{1-3}}$	$V_{T_{1-3}}$ (°C)	$\bar{X}_{T_{2-3}}$ (°C)	$S_{T_{2-3}}$	$V_{T_{2-3}}$ (°C)	N
MARÇO	18,2	±1,8	21,5	50,3	±2,7	53,0	13
ABRIL	18,0	±2,7	25,0	44,9	±4,3	50,5	30
MAIO	13,6	±3,3	20,0	42,7	±4,6	48,5	31
JUNHO	9,5	±3,4	16,0	41,9	±3,8	47,0	28
JULHO	10,8	±2,9	20,0	42,3	±3,7	47,0	23
AGOSTO	12,1	±2,7	17,0	42,5	±4,1	48,0	24
SETEMBRO	11,8	±3,1	19,0	43,0	±4,6	48,0	26
OUTUBRO	15,3	±3,3	23,0	45,1	±3,5	48,5	19

TABELA 5.1.4. Valores das Temperaturas de Máxima e Mínima Desvios Padrão e Valores Máximos Encontrados Durante o Número de Dias Observados por Mês, para o Protótipo nº 4

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-4}}$ (°C)	$S_{T_{1-4}}$	$V_{T_{1-4}}$ (°C)	$\bar{X}_{T_{2-4}}$ (°C)	$S_{T_{2-4}}$	$V_{T_{2-4}}$ (°C)	N
MARÇO	18,1	±1,6	21,5	49,3	±2,3	51,0	13
ABRIL	17,2	±2,1	20,0	44,6	±3,7	49,5	30
MAIO	15,4	±3,7	26,0	43,7	±4,6	48,5	31
JUNHO	10,1	±3,2	16,0	42,9	±3,4	46,5	20
JULHO	11,5	±1,6	14,5	43,3	±3,5	46,0	15
AGOSTO	13,1	±2,5	18,5	42,6	±4,5	47,0	24
SETEMBRO	12,8	±3,3	18,5	44,0	±3,7	48,0	26
OUTUBRO	16,6	±3,0	22,0	45,1	±3,6	51,0	19

TABELA 5.1.5. Valores das Temperaturas de Máxima e Mínima, Desvios Padrão e Valores Máximos Encontrados Durante o Número de Dias Observados por Mês, para o Protótipo nº 5

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-5}}$ (°C)	$S_{T_{1-5}}$	$V_{T_{1-5}}$ (°C)	$\bar{X}_{T_{2-5}}$ (°C)	$S_{T_{2-5}}$	$V_{T_{2-5}}$ (°C)	N
MARÇO	18,0	±1,6	21,0	50,5	±2,8	53,0	13
ABRIL	16,7	±2,0	20,5	45,7	±4,2	50,0	30
MAIO	14,2	±3,0	20,0	44,4	±4,3	50,0	31
JUNHO	9,6	±3,4	25,0	42,9	±4,4	48,0	28
JULHO	11,2	±2,1	15,0	43,9	±3,3	49,0	23
AGOSTO	12,1	±3,2	17,0	44,3	±4,6	49,5	24
SETEMBRO	11,5	±3,2	18,0	44,3	±4,5	49,5	26
OUTUBRO	15,4	±3,2	20,5	45,4	±4,4	53,0	19

TABELA 5.1.6. Valores das Temperaturas de Máxima e Mínima d
Ar, Desvios Padrão e Média Geral Encontrados du
rante o Número de Dias Observados por Mês. (Gen
tileza I.A.C.)

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-A}}$ (°C)	$S_{T_{1-A}}$	$\bar{X}_{T_{2-A}}$	$S_{T_{2-A}}$	N
MARÇO	19,4	± 1,0	30,5	± 1,8	13
ABRIL	17,3	± 1,4	27,7	± 1,9	30
MAIO	15,1	± 2,0	26,6	± 2,5	31
JUNHO	12,0	± 2,5	23,8	± 3,1	28
JULHO	13,0	± 1,2	25,2	± 3,1	23
AGOSTO	14,1	± 2,7	26,3	± 3,6	24
SETEMBRO	13,4	± 3,0	25,5	± 3,7	26
OUTUBRO	16,2	± 3,0	28,2	± 4,2	19
M G	15,1	± 2,5	26,7	± 2,1	

Com os resultados tabelados tornou-se possível a discriminação dos dados mais importantes.

São apresentada a seguir as Tabelas 5.1.7. e 5.1.8 que representam, com maiores detalhes, a comparação dos resultados obtidos dos protótipos 1, 3, 4 e 5 para as temperaturas de máxima, e temperatura de mínima, respectivamente.

Nestas Tabelas encontram-se, através de uma simbologia apresentada no início do trabalho escrito, as temperaturas mínima e máxima, desvios padrão e média geral para os protótipos acima citados.

Através destas Tabelas é possível uma melhor visualização dos resultados obtidos, e conseqüentemente pode ser feita uma comparação mais adequada.

ABELA 5.1.7. Valores das Temperaturas de Máxima, Desvios Padrão e Média Geral dos Protóti
pos 1, 3, 4, 5

MÊS	$\bar{X}_{T_{2-1}}$	$S_{T_{2-1}}$	$\bar{X}_{T_{2-3}}$	$S_{T_{2-3}}$	$\bar{X}_{T_{2-4}}$	$S_{T_{2-4}}$	$\bar{X}_{T_{2-5}}$	$S_{T_{2-5}}$
ARÇO	50,9	± 2,6	50,3	± 2,7	49,3	± 2,3	50,5	± 2,8
BRIL	46,4	± 4,2	44,9	± 4,3	44,6	± 3,7	45,7	± 4,2
MAIO	44,1	± 3,6	42,7	± 4,6	43,7	± 4,6	44,4	± 4,3
JUNHO	43,8	± 4,0	41,9	± 3,8	42,9	± 3,4	42,9	± 4,4
JULHO	43,5	± 3,5	42,3	± 3,7	43,3	± 3,5	43,9	± 3,3
AGOSTO	44,4	± 4,1	42,5	± 4,1	42,6	± 4,5	44,3	± 4,6
SETEMBRO	45,5	± 4,4	43,0	± 4,6	44,0	± 3,7	44,3	± 4,5
OUTUBRO	46,2	± 4,6	45,1	± 3,5	45,1	± 3,6	45,4	± 4,4
M G	45,6	± 2,4	44,1	± 2,8	44,4	± 2,1	45,2	± 2,3

ABELA 5.1.8. Valores das Temperaturas de Mínima, Desvios Padrão e Média Geral dos Protótipos 1, 3, 4, 5

MÊS	\bar{X}_{T1-1}	S_{T1-1}	\bar{X}_{T1-3}	S_{T1-3}	\bar{X}_{T1-4}	S_{T1-4}	\bar{X}_{T1-5}	S_{T1-5}
ARÇO	17,7	± 1,9	18,2	± 1,8	18,1	± 1,6	18,0	± 1,6
BRIL	16,3	± 2,1	18,0	± 2,7	17,2	± 2,1	16,7	± 2,0
MAIO	13,1	± 3,1	13,6	± 3,3	15,4	± 3,7	14,2	± 3,0
JUNHO	8,8	± 3,2	9,5	± 3,4	10,1	± 3,2	9,6	± 3,4
JULHO	10,9	± 1,9	10,8	± 2,9	11,5	± 1,6	11,2	± 2,1
AUGOSTO	12,2	± 2,7	12,1	± 2,7	13,1	± 2,5	12,1	± 3,2
SETEMBRO	11,0	± 2,7	11,8	± 3,1	12,8	± 3,3	11,5	± 3,2
OUTUBRO	14,5	± 2,9	15,3	± 3,3	16,6	± 3,0	15,4	± 3,2
M G	13,1	± 3,0	13,7	± 3,2	14,4	± 2,9	13,6	± 3,0

Partindo-se de dados obtidos durante o experimento efetuou-se a comparação gráfica entre as temperaturas de máxima e mínima dos protótipos, obtendo-se, como pode ser observado na Figura 5.2., melhores condições de conforto ambiental no protótipo nº 3 em relação aos demais tipos de formas geométricas estudados.

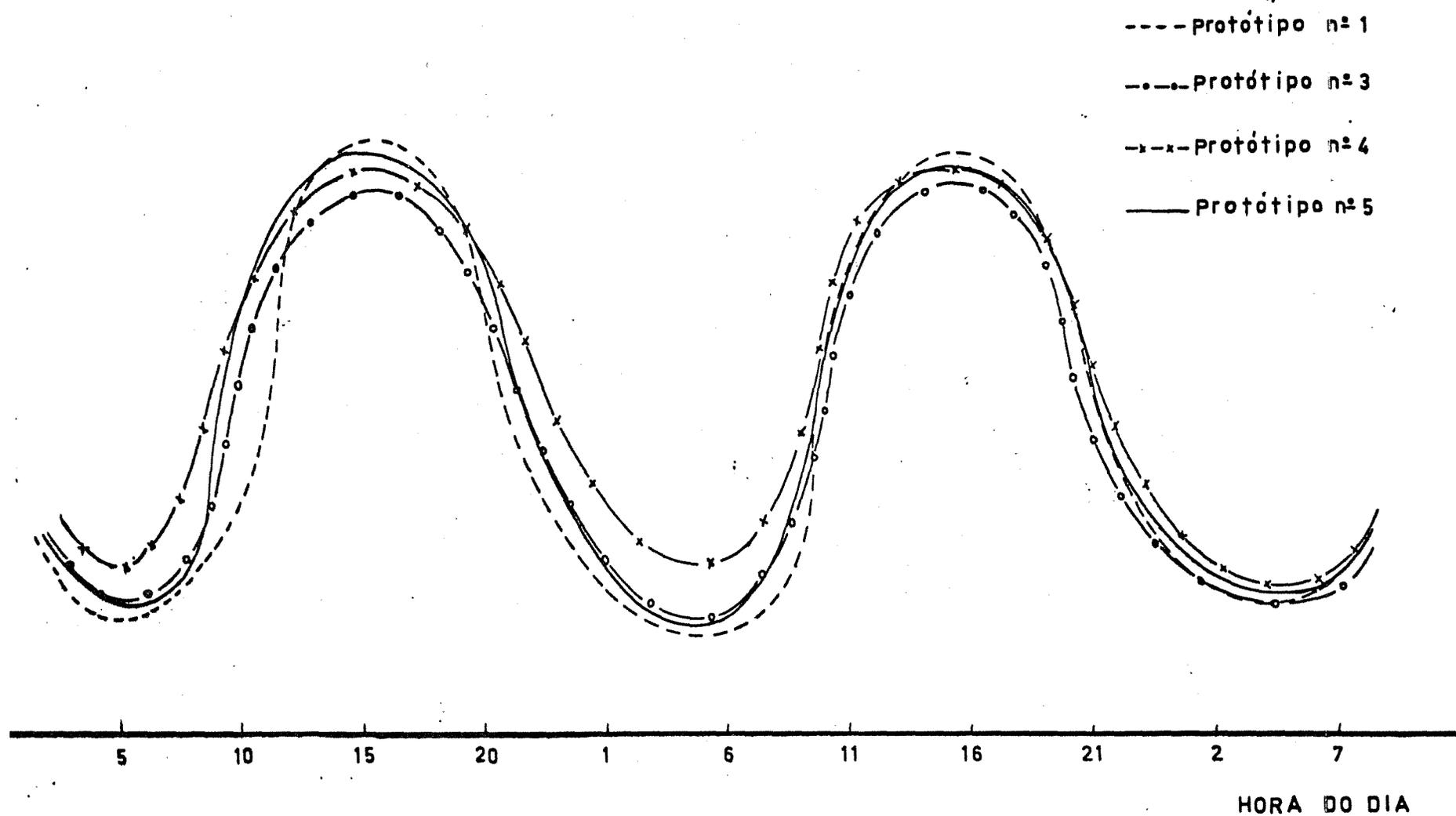


Figura 5.2.
 Gráfico comparativo do comportamento entre as temperaturas de máxima e mínima dos protótipos 1, 3, 4 e 5

5.1.2. Efeito do tipo de cobertura

Utilizando-se os protótipos 6, 7 e 8 com os Termômetros de máxima e mínima, e Termômetro de Globo Preto, efetuou-se leituras obtendo-se, durante os meses do trabalho de pesquisa, os resultados apresentados nas Tabelas 5.2.1. a 5.2.3.

Como no caso anterior, as Tabelas descritas a seguir apresentam uma simbologia encontrada no início deste trabalho, a fim de possibilitar uma melhor representação dos termos descritos a seguir.

Nestas Tabelas os valores são encontrados na seguinte ordem de colunas:

- 1^a coluna: meses em que se realizaram os experimentos
- 2^a coluna: temperatura média de mínima em °C, para o respectivo protótipo
- 3^a coluna: desvios padrão para a temperatura média de mínima
- 4^a coluna: maior valor de temperatura de mínima em °C
- 5^a coluna: temperatura média de máxima em °C, para o respectivo protótipo
- 6^a coluna: desvios padrão para a temperatura média de máxima
- 7^a coluna: maior valor de temperatura de máxima, em °C
- 8^a coluna: temperatura média do termômetro de Globo Preto, em °C, para o respectivo protótipo
- 9^a coluna: desvios padrão para temperatura média do Globo Preto
- 10^a coluna: maior valor da temperatura de Globo Preto,

para os respectivos protótipos

BELA 5.2.1. Valores das Temperaturas de Máxima e Mínima, Temperatura de Globo Preto, Desvios Padrão e Valores Máximos Encontrados Durante o Número de Dias Observados por Mês, para o Protótipo nº 6

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-6}}$ (°C)	$S_{T_{1-6}}$	$V_{T_{1-6}}$ (°C)	$\bar{X}_{T_{2-6}}$ (°C)	$S_{T_{2-6}}$	$V_{T_{2-6}}$ (°C)	$\bar{X}_{T_{3-6}}$ (°C)	$S_{T_{3-6}}$	$V_{T_{3-6}}$ (°C)	N
RÇO	18,7	±1,6	22,6	34,8	±2,2	38,0	-	-	-	-
RIL	17,5	±1,8	21,0	31,4	±2,6	37,0	-	-	-	-
IO	18,3	±2,5	29,5	30,0	±2,6	35,5	33,5	±5,5	41,0	31
NHO	12,2	±2,1	21,0	27,5	±2,8	36,0	32,1	±3,2	39,0	28
LHO	13,3	±3,0	21,5	28,3	±3,1	37,5	32,0	±4,7	39,0	23
OSTO	14,4	±3,0	20,0	28,5	±3,6	34,0	31,2	±4,0	46,0	24
TEMBRO	15,2	±2,7	24,0	27,4	±3,7	34,0	33,9	±4,9	42,0	26
TUBRO	17,3	±2,6	21,0	30,2	±3,8	37,5	31,7	±3,9	42,0	19

BELA 5.2.2. Valores das Temperaturas de Máxima e Mínima, Temperatura de Globo Preto, Desvio Padrão e Valores Máximos Encontrados Durante o Número de Dias Observados por Mês, para o Protótipo nº 7

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-7}}$	$S_{T_{1-7}}$	$V_{T_{1-7}}$	$\bar{X}_{T_{2-7}}$	$S_{T_{2-7}}$	$V_{T_{2-7}}$	$\bar{X}_{T_{3-7}}$	$S_{T_{3-7}}$	$V_{T_{3-7}}$	N
	(°C)		(°C)	(°C)		(°C)	(°C)		(°C)	
MARÇO	19,7	1,6	23,0	36,0	1,9	39,0	-	-	-	13
ABRIL	18,6	1,8	21,5	32,2	2,7	39,0	-	-	-	30
MAIO	18,6	2,1	27,5	30,0	2,0	32,5	35,3	4,4	43,0	31*
JUNHO	12,4	3,4	18,5	27,8	3,6	35,0	33,3	4,6	42,0	28
JULHO	13,3	2,3	23,5	28,5	3,0	35,0	30,5	5,1	40,0	23
AGOSTO	14,4	3,0	20,0	28,5	3,6	34,0	31,2	5,0	46,0	24
SETEMBRO	13,5	2,4	24,0	29,4	3,8	35,0	35,3	4,7	46,0	26
OUTUBRO	18,5	2,7	25,0	32,1	4,0	38,0	33,6	3,7	42,0	19

TABELA 5.2.3. Valores das Temperaturas de Máxima e Mínima, Temperatura de Globo Preto, Desvios Padrão e Valores Máximos Encontrados Durante o Número de Dias Observados por Mês, para o Protótipo nº 8

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-8}}$ (°C)	$S_{T_{1-8}}$	$V_{T_{1-8}}$ (°C)	$\bar{X}_{T_{2-8}}$ (°C)	$S_{T_{2-8}}$	$V_{T_{2-8}}$ (°C)	$\bar{X}_{T_{3-8}}$ (°C)	$S_{T_{3-8}}$	$V_{T_{3-8}}$ (°C)	N
MARÇO	19,2	1,5	22,0	35,7	2,2	38,5	-	-	-	13
ABRIL	17,8	1,9	22,0	31,8	3,2	39,5	-	-	-	30
MAIO	17,0	2,8	30,0	29,6	2,2	32,5	32,2	3,6	42,0	31*
JUNHO	11,7	3,4	19,0	27,6	3,1	37,0	30,1	3,3	39,0	28
JULHO	13,6	2,9	21,0	28,3	3,6	33,0	30,3	3,9	35,0	23
AGOSTO	15,0	3,5	22,0	30,3	3,7	37,0	31,6	3,9	40,0	24
SETEMBRO	15,1	2,9	31,0	28,7	3,4	33,0	33,1	3,2	40,0	26
OUTUBRO	19,2	2,4	25,0	29,3	3,9	36,0	31,7	3,6	42,0	19

* $N_{T_{3-8}} = 22$

Como os resultados apresentados nas Tabelas anteriores, tornou-se possível a obtenção dos dados mais importantes.

São apresentadas a seguir as Tabelas 5.2.4. a 5.2.6. que representam, com maiores detalhes, a comparação dos resultados obtidos dos protótipos 6, 7 e 8 para as temperaturas de máxima, temperaturas de mínima e temperatura de Globo Preto, respectivamente.

Nestas Tabelas encontram-se, através de uma simbologia descrita no início deste trabalho, as temperaturas e seus respectivos desvios padrão juntamente com a média geral das leituras de todo o experimento para os protótipos que se utilizou para o estudo do efeito do tipo de cobertura na sombra de abrigo das estruturas.

Através destas Tabelas é possível uma melhor visualização dos resultados obtidos, e conseqüentemente, pode ser feita uma comparação mais adequada.

TABELA 5.2.4. Valores das Temperaturas de Máxima, Desvios Padrão e Média Geral dos Protótipos 6,7 e 8

MÊS	$\bar{X}_{T_{2-6}}$	$S_{T_{2-6}}$	$\bar{X}_{T_{2-7}}$	$S_{T_{2-7}}$	$\bar{X}_{T_{2-8}}$	$S_{T_{2-8}}$
MARÇO	34,8 ± 2,2		36,0 ± 1,9		35,7 ± 2,2	
ABRIL	31,4 ± 2,6		32,2 ± 2,7		31,8 ± 3,2	
MAIO	30,0 ± 2,6		30,0 ± 2,0		29,6 ± 2,2	
JUNHO	27,5 ± 2,8		27,8 ± 3,6		27,6 ± 3,1	
JULHO	28,3 ± 3,1		28,5 ± 3,0		28,3 ± 3,6	
AGOSTO	28,5 ± 3,6		28,5 ± 3,6		30,3 ± 3,7	
SETEMBRO	27,4 ± 3,7		29,4 ± 3,8		28,7 ± 3,4	
OUTUBRO	30,2 ± 3,8		32,1 ± 4,0		29,3 ± 3,9	
M G	29,8 ± 2,5		30,6 ± 2,7		30,2 ± 2,6	

TABELA 5.2.5. Valores das Temperaturas de Mínima, Desvios Padrão e Média Geral dos Protótipos 6,7 e 8

MES	$\bar{X}_{T_{1-6}}$	$S_{T_{1-6}}$	$\bar{X}_{T_{1-7}}$	$S_{T_{1-7}}$	$\bar{X}_{T_{1-8}}$	$S_{T_{1-8}}$
MARÇO	18,7 ± 1,6		19,7 ± 1,6		19,2 ± 1,5	
ABRIL	17,5 ± 1,8		18,6 ± 1,8		17,8 ± 1,9	
MAIO	18,3 ± 2,5		18,6 ± 2,1		17,0 ± 2,8	
JUNHO	12,2 ± 2,1		12,4 ± 3,4		11,7 ± 3,4	
JULHO	13,3 ± 3,0		13,3 ± 2,3		13,6 ± 2,9	
AGOSTO	14,4 ± 3,0		14,4 ± 3,0		15,0 ± 3,5	
SETEMBRO	15,2 ± 2,7		13,5 ± 2,4		15,1 ± 2,9	
OUTUBRO	17,3 ± 2,6		18,5 ± 2,7		19,2 ± 2,4	
M G	15,9 ± 2,4		16,1 ± 3,0		16,1 ± 2,7	

TABELA 5.2.6. Valores das Temperaturas de Globo Preto, Desvios Padrão e Média Geral dos Protótipos 6,7,8

MÊS	$\bar{X}_{T_{3-6}}$	$S_{T_{3-6}}$	$\bar{X}_{T_{3-7}}$	$S_{T_{3-7}}$	$\bar{X}_{T_{3-8}}$	$S_{T_{3-8}}$
MAIO	33,5 ± 5,5		35,3 ± 4,4		32,2 ± 3,6	
JUNHO	32,1 ± 3,2		33,3 ± 4,6		30,1 ± 3,3	
JULHO	32,0 ± 4,7		30,5 ± 5,1		30,3 ± 3,9	
AGOSTO	31,2 ± 4,0		31,2 ± 5,0		31,6 ± 3,9	
SETEMBRO	33,9 ± 4,9		35,3 ± 4,7		33,1 ± 3,2	
OUTUBRO	31,7 ± 3,9		33,6 ± 3,7		31,7 ± 3,6	
M G	32,4 ± 1,1		33,2 ± 2,0		31,5 ± 1,1	

Partindo-se destes resultados foi possível determinar através de um Gráfico, o comportamento das coberturas utilizadas durante o experimento, obtendo-se um melhor conforto ambiental, como pode ser observado na Figura 5.3., na qual foi usada para cobertura, telha de cerâmica tipo paulista com capa e canal em relação as demais testadas.

5.1.3. Efeito do Posicionamento do Protótipo com Relação ao Sol

Para o estudo da influência do posicionamento da estrutura em relação ao Sol, na quantidade de radiação à estrutura utilizou-se os protótipos 2 e 3.

Através dos resultados fornecidos pelas Tabelas 5.1.2. e 5.1.3., foi possível construir as Tabelas 5.3.1. e 5.3.2., que utilizam uma simbologia, já descrita, para demonstrar, com melhor visualização, a comparação dos resultados entre as temperaturas de mínima, para os protótipos 2 e 3, e as temperaturas de máxima para os mesmos protótipos, respectivamente.

TABELA 5.3.1. Comparação dos Valores das Temperaturas de Mínima com os Desvios Padrão e Média Geral, entre os Protótipos 2 e 3

MÊS	$\bar{X}_{T_{1-2}}$ (°C)	$S_{T_{1-2}}$	$\bar{X}_{T_{1-3}}$ (°C)	$S_{T_{1-3}}$	N
MARÇO	18,2	± 1,5	18,2	± 1,8	13
ABRIL	17,0	± 1,9	18,0	± 2,7	30
MAIO	13,4	± 3,2	13,6	± 3,3	31
JUNHO	9,4	± 3,3	9,5	± 3,4	28
JULHO	11,0	± 2,2	10,8	± 2,9	23
AGOSTO	12,2	± 2,9	12,1	± 2,7	24
SETEMBRO	11,7	± 3,0	11,8	± 3,1	26
OUTUBRO	15,7	± 3,3	15,3	± 3,3	19
M G	13,6	± 3,1	13,7	± 3,2	

TABELA 5.3.2. Comparação dos Valores das Temperaturas de Máxima com os Desvios Padrão e Média Geral, entre os Protótipos 2 e 3

MÊS	$\bar{X}_{T_{2-2}}$ (°C)	$S_{T_{2-2}}$	$\bar{X}_{T_{2-3}}$ (°C)	$S_{T_{2-3}}$	N
MARÇO	50,8	± 2,4	50,3	± 2,7	13
ABRIL	45,9	± 4,3	44,9	± 4,3	30
MAIO	43,9	± 4,2	42,7	± 4,6	31
JUNHO	42,4	± 4,0	41,9	± 3,8	28
JULHO	43,5	± 3,0	42,3	± 3,7	23
AGOSTO	44,1	± 4,5	42,5	± 4,1	24
SETEMBRO	43,7	± 4,4	43,0	± 4,6	26
OUTUBRO	47,0	± 3,6	45,1	± 3,5	19
M G	45,2	± 2,7	44,1	± 2,8	

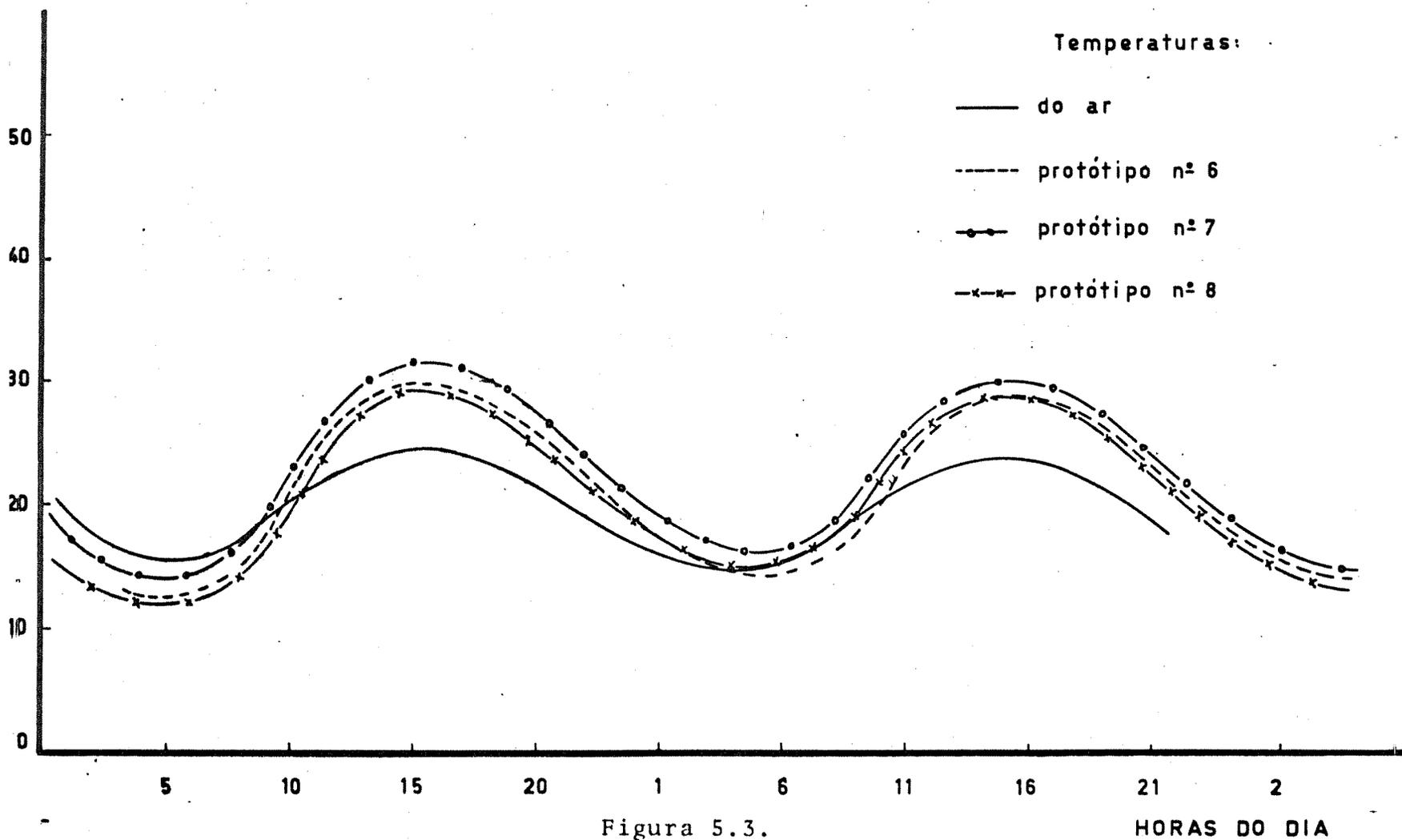


Figura 5.3.

Gráfico comparativo do comportamento entre as temperaturas de máxima e mínima dos protótipos 6, 7 e 8

5.2. Discussões

Através das Tabelas e Figuras, apresentadas anteriormente, chegou-se a alguns resultados para os objetivos pretendidos neste trabalho de pesquisa.

Com os resultados obtidos pode-se promover as discussões apresentadas a seguir.

5.2.1. Efeito da forma geométrica

Como pode ser observado nas Tabelas 5.17. e 5.18. e nas Figuras 5.1. e 5.2., das formas geométricas testadas nos quatro diferentes tipos de protótipos, àquela que apresentou melhores resultados, quanto ao fornecimento de conforto ambiental, isto é, temperaturas máximas mas próximas das temperatura do ar, foi a forma geométrica apresentada pelo protótipo número 3.

Pode-se dizer, em termos estatísticos, que o protótipo nº 3 apresentou uma temperatura máxima média de 1,39 vezes superior à temperatura máxima média do ar durante os experimentos, enquanto o protótipo nº 4, também em relação a temperatura do ar, demonstrou ter uma temperatura máxima média de 1,40 vezes superior. Já o protótipo nº 5 com os resultados obtidos mostra ser a terceira forma geométrica em termos de conforto ambiental, uma vez que sua temperatura máxima média esteve 1,41 vezes superior a temperatura de comparação (temperatura máxima média do ar) e, finalmente, o protótipo nº 1 evidenciou-se ser a forma geométrica que pior conforto ambiental apresenta em relação a outras, pois seu coeficiente de comparação atingiu o valor de 1,42 vezes superior à temperatura tomada como padrão.

Analisando-se as temperatura de mínima dos protótipos

1, 3, 4 e 5 observa-se que, numa análise de conforto ambiental, os melhores protótipos são, em ordem decrescente, o protótipo "4", o protótipo "3", o protótipo "5", e finalmente, o protótipo "1", respectivamente.

Apesar dos resultados não serem altamente significativos devido a diversos fatores pode-se considerar que tais resultados são representativos para ter-se uma idéia do tipo de forma geométrica a ser utilizada num projeto de instalação animal.

5.2.2. Efeito do tipo de cobertura

Fazendo-se o mesmo tipo de análise estatística do item anterior observou-se que a temperatura de Globo, do protótipo "8", que apresenta como cobertura a telha de cerâmica, demonstrou ser superior a temperatura máxima do ar em 1,15 vezes, enquanto o protótipo com cobertura de alumínio mostrou através da sua temperatura de Globo, ser o segundo protótipo em termos de possuir um conforto ambiental uma vez que seu coeficiente de temperatura foi de 1,17 vezes superior a temperatura máxima média do ar, utilizada como padrão.

O protótipo nº 7, que utilizou cobertura de cimento amianto foi o pior protótipo no que diz respeito a conforto ambiental já que apresentou um coeficiente de relação no valor de 1,19 vezes superior a temperatura do ar.

Em relação as temperaturas de mínima não houve diferença significativas entre os protótipos, mas mesmo assim os protótipos 7 e 8 apresentaram melhor coeficiente de relação em comparação com o protótipo nº 6.

Apesar das porcentagens não terem grande diferença po-

foi aquele que demonstrou melhor comportamento no que diz respeito ao tipo de cobertura utilizada.

5.2.3. Efeito do posicionamento da estrutura em relação ao Sol

O estudo do posicionamento da estrutura em relação ao Sol, durante este trabalho permitiu certas observações interessantes, partindo-se dos resultados obtidos.

Analisando-se primeiramente as temperaturas de máxima em comparação com a temperatura máxima do ar, obteve-se que o protótipo nº 2, cuja estrutura estava voltada para o sentido Leste-Oeste, apresentou um coeficiente de relação superior em 1,41 vezes; enquanto o protótipo nº 3 apresentou um coeficiente de relação de 1,39 vezes.

Para as temperaturas de mínimas os coeficientes mostraram praticamente iguais não possibilitando portanto uma avaliação, através desta temperatura do comportamento dos protótipos para o conforto ambiental.

Com relação as temperaturas de máxima, hipoteticamente o protótipo número 2 deveria apresentar um melhor conforto ambiental que o protótipo número 3. Porém se somente a análise da temperatura for feita esta hipótese estaria errada, mas o que acontece é que sendo os protótipos utilizados como um corpo negro, a área de recebimento de irradiação tem grande influência sobre o efeito da temperatura.

E o que observou-se é que o protótipo nº 2 possui uma área de exposição direta ao Sol de 1,12 vezes superior ao protótipo nº 3, levando-se em conta as paredes laterais.

Então é possível que esta superioridade, em relação as

o experimento, pois a diferença entre os coeficientes de relação foi de apenas 0,02.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas discussões apresentadas no capítulo anterior, são apresentadas as seguintes conclusões:

- Com relação a forma geométrica pode-se dizer que a estrutura que apresenta uma forma paralelepípeda com telhado em duas águas possibilitou um melhor conforto ambiental em relação aos demais protótipos testados durante o trabalho de pesquisa.

- No estudo do tipo de cobertura usado nas estruturas testadas, a telha cerâmica tipo paulista de capa e canal apresentou um melhor coeficiente de conforto ambiental em relação aos demais utilizados, fazendo com que se opte por este tipo de cobertura em estruturas para a produção animal, sem levar em conta o fator econômico.

- Para se concluir alguma coisa a respeito do estudo do posicionamento da estrutura em relação ao Sol deve-se levar em conta que os resultados obtidos não foram significativamente muito diferentes, entretanto pode-se dizer que uma estrutura tendo paredes e telhados com material de cor que possibilitem um baixo índice de absorção o melhor posicionamento para um prédio é aquele que for orientado no sentido Leste-Oeste e ainda que possibilite a incidência de radiação solar nas paredes diagonais opostas para aquecimento do corredor central, pois sabe-se que é nesta faixa que há grande quantidade de calor, isto porque a estrutura não recebe incidência solar na faixa central do prédio.

7. SUGESTÕES

Tendo-se em vista os propósitos e as conclusões do presente trabalho, assim como a experiência adquirida, apresentamos as seguintes sugestões:

- Construção de um Termômetro de Globo Preto esférico, metálico, utilizando como medidor de temperatura termopares fixados no centro da esfera oca. O termômetro deve ser pintado uniformemente de preto fosco em duas demão.

- Seja projetado protótipos com dimensões maiores a fim de obter-se medidas mais precisas da influência dos mesmos sobre o microclima interno.

- Seja desenvolvida uma pesquisa com protótipos de outras formas geométricas e outros tipos de cobertura.

- Que os dados climatológicos sejam obtidos numa mesma área experimental, para se obter maior precisão nos resultados.

- Em trabalhos futuros deve ser feita a repetição da tomada de dados no mesmo protótipo em vários períodos do dia.

- Devem ser construídos e realizadas tomadas de dados com protótipos de mesmas dimensões.

8. BIBLIOGRAFIA

1. BECKETT, F.E. Effective temperature as a means of evaluating and designing hog environments. St. Joseph, ASAE, 1964. (Transaction of the ASAE - Paper n° 64-911)
2. BEDFORD, T. & WARNER, C.G. The globe thermometer in studies of heating and ventilation. Journal of Hygiene, 34:458-473, 1934.
3. BOND, T.E. Microclimate and livestock performance in hot climates. Ground level climatology. In: ANNUAL MEETING of A.A.A.S., California, 1965.
4. _____. & KELLY, C.F. The globe thermometer in agricultural research. Agricultural Engineering 36: 251-255, 1955.
5. _____. & _____. Studies of methods for protecting livestock from thermal stress. California, U.S.D.A. University of California, 1960.
6. _____. ; _____. & ITTNER, N.R. Radiation studies of painted shade materials. Agricultural Engineering, 35 (6): 389-392, 1954.
7. _____. ; _____. ; MORRISON, S.R. & PEREIRA, N. Solar atmospheric, and terrestrial radiation received by shaded and unshaded animals. Transactions of the ASAE, 10(5): 622-627, 1967.
8. _____. ; _____. ; GARRET, W.N. & HAHN, R. Livestock

shades evaluations of materials. California Agriculture Journal, 1961.

9. BOND, T.E.; MORRISON, S.R. & GIVENS, R.L. Influence of surroundings on radiant heat load of animals. Transaction of the ASAE, 12(2): 246-248, 1969.
10. BRADLEY, L.E. Low costing of livestock shelters. In: ASAE MEETING, Michigan, 1957. Michigan State University, 1957.
11. CHAPMAN, A.J. Heat transfer. 2.nd edition. New York, MacMillan Campany, 1967.
12. DIEDERICKS, H. & ANDREA, W.C. Experimental mechanical engineering. New York, John Wiley e Sons Publications, 1936 v.1.
13. ESMAY, M.L. Principles of animals environment. Westport, AVI, 1969.
14. HEITMAN Jr., H.; BOND, T.E. & KELLY, C.F. The zone - thermoneutrality in swine on full. Elmsford, Pergamon Press, 1963. (Biometeorology, 2).
15. HINKLE, C.N. & STEWART. Theoretical aspects of radiation cooling using cold plates. In: ASAE WINTER MEETING, Michigan, 1958. St. Joseph, ASAE, 1958.
16. HOLMAN, J.P. Experimental methods for engineers. New York McGraw-Hill Book Company, 1971.
17. INGRAM, J.A. Introductory statistics. Menlo Park, Cumming Publishing Company, 1974.
18. KELLY, C.F. & BOND, T.E. Thermal design of livestock shade

19. KELLY, C.F. & BOND, T.E. Design of Livestock shades - construction and location. California Agricultural Journal, 1954.
20. _____.; _____ & HEITMAN Jr.; H. The role of thermal radiation in animal ecology. Ecology Magazine, v. 35, nº 4, 1954.
21. LANDI, F.R. A adaptação térmico-fisiológica do homem ao meio e as imprecisões das medidas das condições de conforto fisiológico. São Paulo, Escola Politécnica - USP, 1976.
22. MORRISON, S.R.; HEITMAN Jr., H. & BOND, T.E. Effect of humidity at temperatures above optimum. In: INTERNATIONAL BIOMETEOROLOGICAL CONGRESS, 5., 1969. Paper.
23. _____; BOND, T.E. & HEITMAN Jr., H. Effect of humidity on swine at high temperature. St. Joseph, ASAE, 1968. (Transaction of the ASAE. Paper nº 67-420).
24. NAAS, I.A. Computer simulation to predict inside temperature and heat production in swine housing for tropical conditions. East Lansing, Department of Agricultural Engineering, 1980. 163p. (Thesis PhD) - Michigan State University, U.S.A.
25. NEUBAUER, L.W. & CRAMER, R.D. Effect of shape of building on interior air temperature. St. Joseph, ASAE, 1966. (ASAE report, nº 66-913).
26. OLIVEIRA, J.L. Hot weather livestock housing analyses. Michigan, Department of Agricultural Engineering, 1980. (Thesis PhD) - Michigan State University, USA.

27. ROLLER, W.L. & GOLDMAN, R.F. Response of swine to actue heat exposure. St. Joseph, ASAE, 1969. (Transaction of the ASAE. Paper nº 68-433).
28. ROSSENBERG, N.J. Microclimate: the biological environment. Somerset, Willey-Interscience Publications, 1974.
29. SIEGEL, R. & HOWELL, J.R. Thermal radiation heat transfer. New York, McGraw-Hill Book Company, 1971.
30. SILVA, R.B. Manual de Termodinâmica e Transmissão de calor São Paulo, Gremio Politécnico - EPUSP, 1972.
31. _____. Manual de refrigeração e ar condicionado. São Paulo, Gremio Politécnico - EPUSP, 1975.
32. SILVA, R.S.N. Conforto, ventilação e insolação. Campinas, PUCC, 1979. Publicação interna.
33. VERNON, H.M. The measurement of radiant heat in relation to human confort. Journal of Physiology, Proc. 70, p. 117, 1930.