

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA ATENUAÇÃO DA  
RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE POR  
DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS**

CAROLINA LOTUFO BUENO

Campinas  
1998

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO  
SOLAR INCIDENTE POR DIFERENTES  
ESPÉCIES ARBÓREAS

CAROLINA LOTUFO BUENO

Orientadora: LUCILA CHEBEL LABAKI

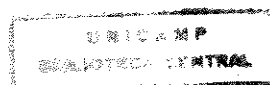
Dissertação de Mestrado apresentada à  
Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP,  
para a obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Civil, Área de Concentração em  
Saneamento.

Atesto que esta é a versão definitiva  
da dissertação/tese. 03/08/98

Prof. Dr. *L. Labaki*  
Matrícula: 148059

Campinas, SP

1998



28.27.842

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	TUNICAMP
	P 862 e
V.	Ex.
TOMBO BC/	35755
PROC.	395/98
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	05/11/98
N.º CPD	

CM-00118207-0

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

B862e Bueno, Carolina Lotufo  
Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas. / Carolina Lotufo Bueno.-- Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientadora: Lucila Chebel Labaki  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Conforto térmico. 2. Radiação solar. 3. Vegetação e clima. 4. Arborização das cidades. 5. Planejamento urbano - Fatores climáticos. 6. Microclimatologia. I. Labaki, Lucila Chebel. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

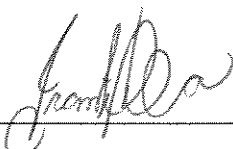
ESTUDO DA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE  
POR DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS

Dissertação defendida e aprovada, em 23 de julho de 1998, pela banca  
examinadora constituída pelos professores:



---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lucila Chebel Labaki



---

Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva



---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Doris Catharine Cornélie Knatz Kowaltowski



## DEDICATÓRIA

*Para Marcelo, meu anjo-da-guarda,  
com muito amor.*

## AGRADECIMENTOS

À Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lucila Chebel Labaki pela dedicada orientação e pelo enorme carinho e atenção dispensados durante todo o desenvolvimento desta dissertação.

À Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rozely Ferreira dos Santos pela contribuição na elaboração deste trabalho.

À Eng. Agrônoma Sandra Annes Erbolato, do Parque Ecológico da Universidade Estadual de Campinas, pela atenção com que sempre se dispôs a atender-me.

À Eng. Agrônoma - Pesquisadora Dionete Aparecida Santin, do Jardim Botânico Hermógenes de Freitas Leitão Filho (UNICAMP).

Aos funcionários do Instituto Agronômico de Campinas - IAC, pelo apoio durante o trabalho de campo.

À Priscilla Zuconi Viana pela colaboração na editoração dos gráficos.

Ao meu amigo Obadias Pereira da Silva Júnior, técnico do Laboratório de Conforto, pelo apoio moral e imprescindível colaboração na montagem dos equipamentos.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

À FAPESP pelo financiamento dos equipamentos.

Ao Marcelo, por seu amor e sua presença sempre constantes.

E, principalmente, ao meu pai, Hélio, por sua paciência, compreensão e carinho.

*Os caminhos que conduzem o homem ao saber  
são tão maravilhosos quanto o próprio saber.*

Kepler



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE QUADROS.....	xii
RESUMO.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	5
3 A VEGETAÇÃO E O CONFORTO TÉRMICO EM CIDADES.....	6
3.1 Radiação solar.....	7
3.2 Alterações do clima urbano.....	14
3.3 A vegetação e a radiação solar.....	19
3.4 Conforto térmico.....	23
3.5 Influência da vegetação no conforto térmico urbano.....	34
4 JUSTIFICATIVA.....	54

5	METODOLOGIA.....	56
5.1	Seleção das espécies.....	57
5.1.1	Caracterização geral das espécies selecionadas.....	59
5.1.2	Caracterização dos indivíduos arbóreos analisados.....	63
5.2	Seleção dos locais de medição.....	70
5.3	Equipamentos.....	73
5.3.1	Termômetros.....	74
5.3.2	Radiômetro.....	75
5.3.3	Solarímetros.....	77
5.4	Método de tratamento e análise dos resultados.....	81
5.4.1	Temperaturas.....	81
5.4.2	Umidade relativa.....	84
5.4.3	Radiação solar.....	86
6	MEDIÇÕES.....	90
6.1	Jatobá.....	93
6.2	Chuva-de-ouro.....	99
6.3	Magnólia.....	105
6.4	Ipê Roxo.....	111
6.5	Sibipiruna.....	117
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	122
7.1	Observações finais.....	132
8	CONCLUSÕES.....	133
9	GLOSSÁRIO.....	135

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
ANEXO A.....	145
ANEXO B.....	166
ABSTRACT.....	177

## LISTA DE FIGURAS

1- Irradiância espectral padrão da NASA/ASTM, na distância média entre o Sol e a Terra, e constante solar de $1353\text{W/m}^2$ .....	8
2 - Passagem da radiação pela atmosfera.....	9
3 - Latitude de um local e massa atmosférica atravessada pela radiação.....	10
4 - Massa atmosférica atravessada pela radiação ao meio dia e ao pôr-do-sol.....	11
5 - Posição da Terra em relação ao Sol, nos solstícios.....	12
6 - Diagrama da trajetória do Sol.....	12
7 - Variação nos mecanismos fotossintéticos das plantas.....	22
8 - Equilíbrio térmico do homem.....	24
9 - Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve.....	27
10 - Porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD) em função do voto médio estimado (PMV).....	33
11 - Absorção, reflexão e transmissão da radiação no meio ambiente.....	34
12 - Efeito da oxigenação pela vegetação. A radiação solar é seu principal agente.....	38
13 - Efeito do umedecimento do ar por uma área com vegetação.....	39
14 - Necessidade de água de diversos vegetais em valores relativos.....	40
15 - Desvio dos raios solares.....	42

16 - Definição da posição solar com a altitude e o azimute.....	42
17 - Formas de árvores.....	44
18 - Configuração do sistema de medições de radiação utilizado.....	47
19 - Jatobá analisado ( <i>Hymenaea courbaril</i> ).....	64
20 - Chuva-de-ouro analisada ( <i>Cassia fistula</i> ).....	65
21 - Magnólia analisada ( <i>Michelia champacca</i> ).....	66
22 - Ipê Roxo analisado ( <i>Tabebuia impetiginosa</i> ).....	67
23 - Sibipiruna analisada ( <i>Caesalpinia peltophoroides</i> ).....	68
24 - Integrador, modelo DL2 da marca DELTA-T Devices.....	73
25 - Termômetro de globo e psicrômetro a ventilação natural.....	74
26 - Esquema de montagem dos equipamentos que inflam o radiômetro.....	76
27 - Compressor de ar e recipiente de secagem com sílica gel.....	76
28 - Radiômetro linear, modelo TRL da DELTA-T Devices.....	77
29 - Desenho esquemático de um solarímetro linear.....	78
30 - Resposta espectral de um solarímetro de tubo.....	79
31 - Solarímetro linear, modelo TSL da DELTA-T Devices.....	79
32 - Variação típica da sensibilidade de um solarímetro devido ao ângulo solar.....	80
33 - Equipamentos à sombra do Jatobá.....	95
34 - Radiação solar (Jatobá) 18/fevereiro/1998.....	96
35 - Temperaturas (Jatobá) 18/fevereiro/1998.....	97
36 - Umidade relativa (Jatobá) 18/fevereiro/1998.....	98
37 - Equipamentos montados à sombra da Chuva-de-ouro.....	100
38 - Radiação solar (Chuva-de-ouro) 02/maio/1998.....	102
39 - Temperaturas (Chuva-de-ouro) 02/maio/1998.....	103
40 - Umidade relativa (Chuva-de-ouro) 02/maio/1998.....	104
41 - Equipamento exposto ao sol.....	106

42 - Radiação solar (Magnólia) 19/março/1998.....	108
43 - Temperaturas (Magnólia) 19/março/1998.....	109
44 - Umidade relativa (Magnólia) 19/março/1998.....	110
45 - Radiação solar (Ipê Roxo) 08/abril/1998.....	114
46 - Temperaturas (Ipê Roxo) 08/abril/1998.....	115
47 - Umidade relativa (Ipê Roxo) 08/abril/1998.....	116
48 - Radiação solar (Sibipiruna) 21/abril/1998.....	119
49 - Temperaturas (Sibipiruna) 21/abril/1998.....	120
50 - Umidade relativa (Sibipiruna) 21/abril/1998.....	121
51 - Médias das variações relativas da temperatura ambiente.....	124
52 - Médias das variações relativas da temperatura de globo.....	125
53 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Jatobá).....	126
54 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Chuva-de-ouro).....	127
55 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Magnólia).....	127
56 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Ipê Roxo).....	128
57 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Sibipiruna).....	128
58 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Jatobá).....	129
59 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Chuva-de-ouro).....	129
60 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Magnólia).....	130

61 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Ipê Roxo).....	130
62 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Sibipiruna).....	131

## LISTA DE TABELAS

1 - Atenuação da radiação solar pelo Jatobá.....	94
2 - Atenuação da radiação solar pela Chuva-de-ouro.....	100
3 - Atenuação da radiação solar pela Magnólia.....	106
4 - Atenuação da radiação solar pelo Ipê Roxo.....	112
5 - Atenuação da radiação solar pela Sibipiruna.....	117



## LISTA DE QUADROS

1 - Espécies arbóreas mais utilizadas pela Prefeitura Municipal de Campinas.....	57
2 - Características das espécies arbóreas analisadas.....	69
3 - Locais das medições.....	72
4 - Condição horária do tempo nos dias analisados para o Jatobá.....	94
5 - Condição horária do tempo nos dias analisados para a Chuva-de-ouro.....	101
6 - Condição horária do tempo nos dias analisados para a Magnólia.....	107
7 - Condição horária do tempo nos dias analisados para o Ipê Roxo.....	113
8 - Condição horária do tempo nos dias analisados para a Sibipiruna.....	118

## RESUMO

Bueno, Carolina Lotufo. Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1998. 177 p. Dissertação (Mestrado).

Este trabalho propõe uma metodologia para o estudo da atenuação da radiação solar por diferentes espécies arbóreas, a partir de medições de radiação solar, temperaturas de globo e ambiente, e umidade relativa. São analisadas cinco espécies (Jatobá, Chuva-de-ouro, Magnólia, Ipê Roxo e Sibipiruna) quanto à melhoria do microclima proporcionado à sombra das mesmas. Dados de radiação solar incidente são obtidos por meio de solarímetros lineares, que medem a irradiância média ( $\text{kW/m}^2$ ) em situações onde a distribuição da energia radiante não é uniforme. A coleta desses dados é feita com os equipamentos dispostos simultaneamente ao sol e à sombra dos indivíduos analisados. Com os dados obtidos, são calculadas as porcentagens de atenuação da radiação solar para cada árvore e as variações relativas das temperaturas de globo e ambiente. Analisando-se os resultados, pode-se observar que a Sibipiruna, o Jatobá e a Chuva-de-ouro apresentam o melhor desempenho, seguidos da Magnólia e do Ipê Roxo respectivamente. Tomando-se por base esses resultados, conclui-se que a metodologia proposta é perfeitamente adequada ao estudo em questão.

Palavras Chave: Conforto térmico; Radiação solar; Vegetação e clima; Microclimatologia.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1 INTRODUÇÃO

O conforto ambiental está relacionado à qualidade de vida das pessoas. A preocupação com essa qualidade tem se manifestado fortemente nos últimos anos, com o desenvolvimento da consciência ambiental.

Conforto ambiental significa sensação de bem-estar, relacionada aos fatores ambientais. SATTLER (1992) afirma que "... a sensação de conforto ou desconforto representa a integração de respostas de nossos sentidos a estímulos ambientais". Entretanto, é necessário lembrar que todos esses fatores são subjetivos, ou seja, variam de pessoa para pessoa.

O conforto térmico pode ser estudado sob duas formas: os ambientes internos e os externos. O meio externo urbano é fruto das condições ambientais, mas sofre grande influência das atividades exercidas pelo homem, ou seja, é alterado através de intervenções, voluntárias ou não, como por exemplo a poluição gerada pelos automóveis que contribui para a formação das ilhas de calor. Já os internos são influenciados pelo meio externo estando, portanto, as duas formas diretamente relacionadas.

Ao longo dos anos, as cidades vem abrigando um número cada vez maior de pessoas. Estima-se que, atualmente, quase a metade da população do planeta viva nesses locais e que em vários países, entre eles o Brasil, esse valor ultrapasse 75% (MILANO, 1992).

Os grandes centros urbanos são, geralmente, considerados símbolos de desenvolvimento e progresso, como também sinônimo de conforto e bem-estar. Porém, a grande maioria deles não oferece condições ambientais adequadas para que seus habitantes tenham uma boa qualidade de vida. A explicação para essa contradição está na transformação tanto do ambiente natural quanto do construído.

A ausência de planejamento tem gerado um crescimento desordenado das cidades. As edificações são construídas levando-se em conta fatores como efeito visual, custo e utilização de materiais que estejam “na moda”, a exemplo dos vidros; causando problemas não só para quem habita ou transita por esses locais, mas também contribuindo para a maior influência dos raios solares no meio em que estão inseridas.

O aumento da temperatura nas áreas urbanas, ou seja, a formação de ilhas de calor se deve à grande impermeabilização do solo, tanto pelas construções como pavimentações; ao aumento da concentração de poluentes, fruto das atividades humanas; à falta de umidificação do ambiente; aos materiais utilizados nas edificações, altamente refletores, absorventes e emissores de energia; e principalmente ao descaso com a vegetação, onde as áreas verdes foram simplesmente legadas a segundo plano ou até mesmo banidas, causando desequilíbrio no ecossistema dessas regiões.

A falta de vegetação, aliada aos materiais utilizados, tem alterado significativamente o clima dos agrupamentos urbanos devido à incidência direta da radiação solar nas construções. Da porção de radiação de onda curta absorvida, grande parte retorna ao meio externo sob a forma de calor, ou melhor, radiação de onda longa, que tendo sua dissipação reduzida devido à poluição, transforma as

idades em verdadeiras estufas. Esse fenômeno tem feito com que o consumo de energia para o resfriamento de interiores aumente consideravelmente nos últimos tempos.

Um outro problema relacionado à falta de cobertura vegetal é a diminuição das temperaturas no inverno devido à facilidade com que os materiais das edificações perdem calor para o meio, onde não existem barreiras naturais para retê-lo (AKBARI & TAHA, 1992). Cabe ressaltar que, no Brasil, esse tipo de situação não é predominante, pois os invernos desse país apresentam temperaturas amenas.

O elevado consumo de energia (tanto para resfriar ambientes no verão, como para aquecê-los no inverno), tem gerado vários estudos no sentido de se economizar recursos através da utilização de formas naturais de climatização de cidades (SCHANZER & MASCARÓ, 1993). Entre eles, pode-se citar um estudo de AKBARI & TAHA (1992), onde foi analisado o potencial de uso de vegetação e materiais de alto albedo, em algumas cidades do Canadá, para modificar o microclima urbano a fim de se diminuir o consumo de energia tanto para resfriar quanto aquecer residências.

O método mais natural, e pouco explorado tecnicamente, de se controlar esses efeitos é através da arborização. O planejamento da arborização urbana leva em conta diferentes critérios, como forma e disposição das raízes (a fim de que calçamentos, fundações e redes de água e esgoto não sejam prejudicados com seu desenvolvimento), altura da árvore adulta (para que a rede elétrica seja preservada), estética e outros (MILANO, 1987), mas praticamente não se tem considerado o conforto térmico urbano como parte dessa análise. A radiação solar é um dos principais fatores que influem no conforto térmico, tanto em ambientes externos como internos. Alguns pesquisadores têm se dedicado a estabelecer, por meio de medições de campo ou simulações em laboratório, valores médios de radiação global e difusa, transmitidos através de florestas ou indivíduos arbóreos. Esses números variam

conforme a espécie, o tamanho e a forma de cada um deles, o que torna o trabalho de definição de parâmetros bastante complexo.

Devido à falta de elementos que forneçam subsídios aos projetos arquitetônicos, bioclimáticos ou não, e até mesmo que ajudem o planejamento de arborizações urbanas conscientes (preocupadas com o bem-estar da população tanto física quanto psicologicamente), é analisada, neste trabalho, a atenuação da radiação solar através de espécies comumente usadas na arborização da cidade de Campinas. Através de medições em campo, são obtidos valores de radiação solar global à sombra de indivíduos arbóreos e ao sol (campo aberto), a fim de se comparar as porcentagens atenuadas pelos mesmos.

Este trabalho é parte de um projeto maior que está sendo desenvolvido na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), sob a coordenação da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lucila Chebel Labaki, e que tem como objetivo geral estudar o papel da vegetação, em relação ao conforto térmico, dentro da área urbana, tanto sob a forma de bosques como indivíduos isolados.

## **2 OBJETIVOS**



## **2 OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo geral estudar o papel da vegetação, em relação ao conforto térmico, dentro da área urbana, proporcionado por indivíduos arbóreos isolados.

O objetivo específico é definir uma metodologia para a caracterização de espécies arbóreas em relação à atenuação da radiação solar incidente e a modificação do microclima.

### **3 A VEGETAÇÃO E O CONFORTO TÉRMICO EM CIDADES**

### 3.1 Radiação Solar

As ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol recebem o nome de radiação solar. Essas ondas se estendem por um espectro de comprimento variado e caracterizam três regiões distintas: região do ultravioleta (comprimentos de onda de 290nm a 380nm), do visível (comprimentos de onda entre 380nm e 780nm) e do infravermelho (comprimentos de onda de 780nm a 2500nm). Todo esse espectro é considerado como sendo de onda curta (DUFFIE & BECKMAN, 1980; ASSIS, 1996).

Na FIG. 1, pode-se observar que a máxima intensidade de radiação solar ocorre na região do visível, entretanto mais da metade de toda radiação emitida está no infravermelho.

Segundo BARDOU & ARZOUMANIAN (1984), a região do visível corresponde a 44% da energia solar transmitida, a do infravermelho a 53% e a do ultravioleta a 3%.

Essa energia, incidente nas camadas superiores da atmosfera, varia conforme a distância entre a Terra e o Sol devido à excentricidade da órbita terrestre. A constante solar é definida como "... a energia vinda do sol, por unidade de tempo, recebida em uma unidade de área de superfície perpendicular à direção de propagação da radiação, a uma distância média entre a Terra e o Sol, fora da atmosfera". O valor médio da constante solar, obtido através de medições, é de  $1353 \text{ W/m}^2$ , com um erro estimado em  $\pm 1,5\%$ . Existem controvérsias a respeito desse valor, mas ele é aceito

pela NASA e pelo “American Society for Testing Materials” (ASTM). As incertezas sobre todos os valores da constante solar já encontrados, são da ordem de 1%, e se comparadas com as da maioria das medições de radiação solar terrestre (que chega à Terra), os erros nos números dessa constante são inferiores, o que torna o valor acima aceitável (DUFFIE & BECKMAN, 1980).

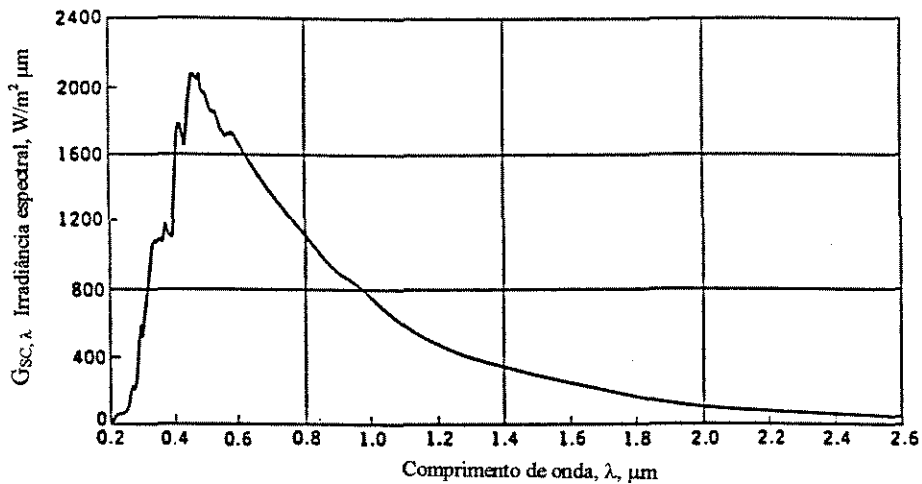


FIGURA 1 - Irradiância espectral padrão da NASA/ASTM, na distância média entre o Sol e a Terra, e constante solar de  $1353 \text{ W/m}^2$

FONTE - DUFFIE & BECKMAN, 1980. p. 5.

A intensidade da radiação solar diminui, conforme ela vai penetrando na atmosfera, devido à interação com as partículas que a compõem, além de outros materiais suspensos no ar. Esse conjunto é responsável pela absorção, refração, reflexão e difusão das ondas eletromagnéticas vindas do Sol. Na FIG. 2, pode-se observar que as porcentagens estimadas dos vários fenômenos ocorridos quando a radiação total incidente (considerada 100%) entra na atmosfera são: 5% da radiação são refletidos no solo (a), 20% pelas nuvens (b), 25% são absorvidos na atmosfera

(c), 23% difusos no solo (d), e 27% absorvidos pelo mesmo (e) (KOENIGSBERGER et al., 1980).

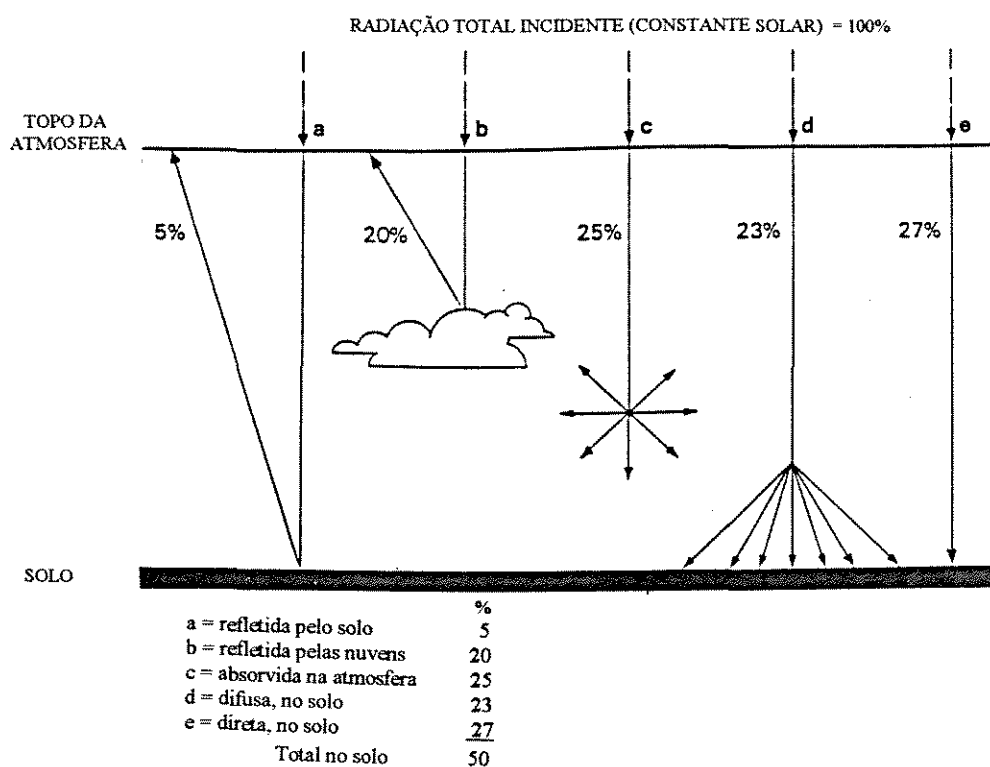


FIGURA 2 - Passagem da radiação pela atmosfera

FONTE - KOENIGSBERGER et al., 1980. p. 7.

Já BARDOU & ARZOUMANIAN (1984) afirmam que de toda radiação que chega na atmosfera aproximadamente 32% são devolvidos por difusão ao espaço e 15% absorvidos por ela. Do restante que chega ao solo (53%), 6% são perdidos por reflexão e 47% absorvidos pela superfície do solo.

Cabe lembrar algumas definições sobre radiação descritas por DUFFIE & BECKMAN (1980):

- Radiação direta: aquela recebida do Sol sem ter sido espalhada de alguma forma pela atmosfera.
- Radiação difusa: é a radiação que teve sua direção alterada por elementos presentes na atmosfera.
- Radiação de onda curta: tem seu espectro compreendido entre 300nm e 3000nm, e inclui os componentes direto e difuso.
- Radiação de onda longa: tem em seu espectro valores acima de 3000nm e sua origem em fontes com temperaturas próximas à ambiente.

Conforme BARDOU & ARZOUMANIAN (1984), o tamanho do trajeto percorrido pelas ondas eletromagnéticas vindas do Sol varia conforme a latitude do local; quanto mais próximo dos pólos, maior a massa atmosférica atravessada e, dessa forma, o fluxo energético é menos potente (FIG. 3).

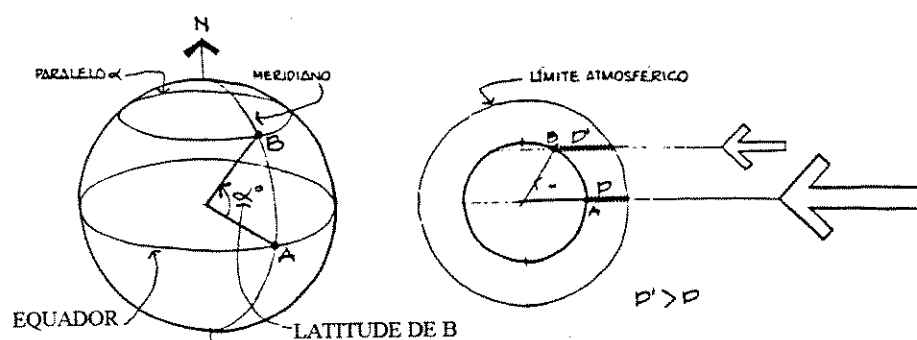


FIGURA 3 - Latitude de um local e massa atmosférica atravessada pela radiação

FONTE - BARDOU & ARZOUMANIAN, 1984. p. 18.

Para um mesmo local e determinada estação do ano, existe uma variação na intensidade dos raios solares em cada período do dia. No início ou no fim do mesmo, a espessura da camada atmosférica atravessada pela radiação é maior, sendo sua potência menor; ao meio dia, a camada é a menor possível, ocorrendo os maiores valores dessa energia (FIG. 4).

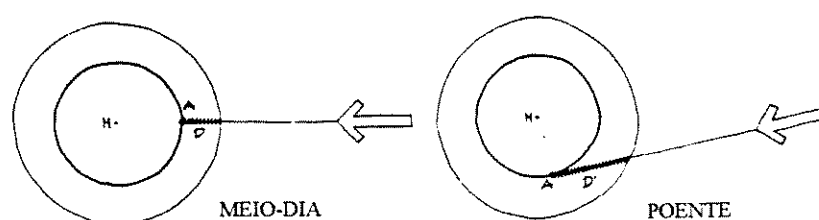


FIGURA 4 - Massa atmosférica atravessada pela radiação ao meio dia e ao pôr-do-sol

FONTE - BARDOU & ARZOUMANIAN, 1984. p. 18.

Devido ao eixo de rotação da Terra ser inclinado de aproximadamente  $23^{\circ}30'$  em relação ao seu plano de translação ao redor do Sol (plano da eclíptica), a intensidade da radiação solar que chega à superfície do planeta, varia conforme a época do ano. No dia 21 de junho, o Sol atinge perpendicularmente o Trópico de Câncer e a intensidade dos raios solares tem seu máximo no Hemisfério Norte. Já no dia 22 de dezembro, a perpendicularidade da radiação é sobre o Trópico de Capricórnio e a máxima intensidade da energia solar ocorre no Hemisfério Sul (GIVONI, 1981; LECHNER, 1991). Esses dois dias recebem o nome de solstícios (FIG. 5).

No Brasil, o solstício de verão acontece no dia 22 de dezembro e o de inverno no dia 21 de junho. Nos equinócios, dias 23 de setembro e 22 de março, o Sol atinge perpendicularmente o Equador terrestre resultando, em qualquer latitude, uma

mesma duração tanto para o dia quanto para a noite. Essa variação da radiação solar, devido à translação da Terra, é que produz o efeito das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera; FIG. 6).

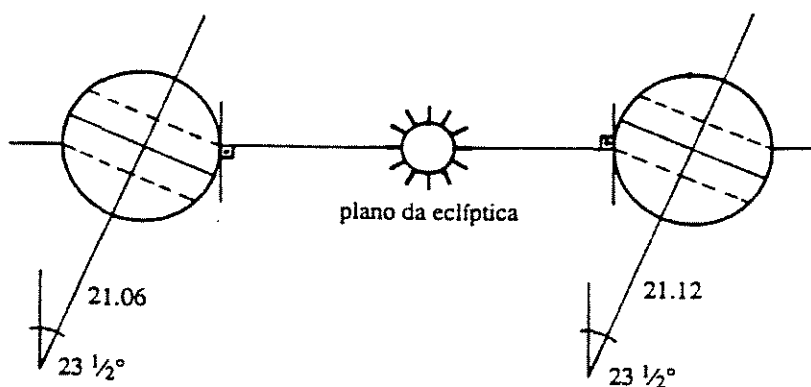


FIGURA 5 - Posição da Terra em relação ao Sol, nos solstícios

FONTE - FROTA & SCHIFFER, 1995. p. 55.

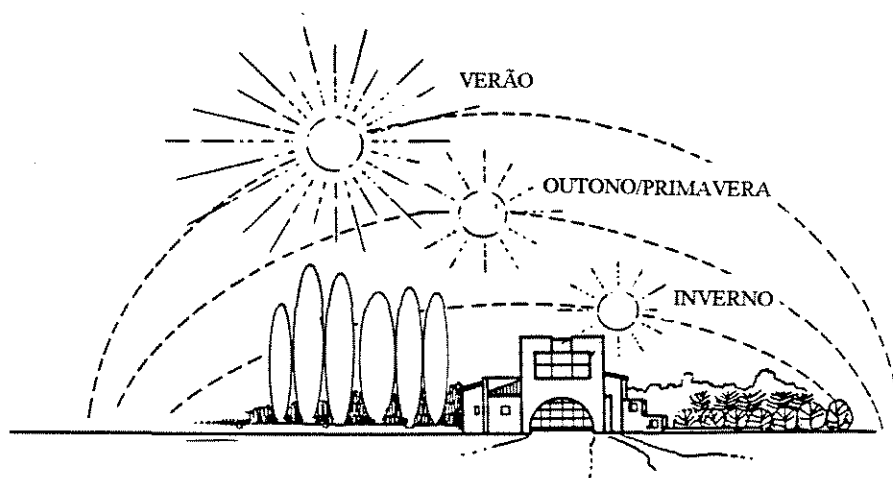


FIGURA 6 - Diagrama da trajetória do Sol

FONTE - LECHNER, 1991. p. 100.

Vários são os efeitos da radiação solar presente na atmosfera e no solo terrestre. Entre eles pode-se citar a luz e as cores, a fotossíntese das plantas (devido à



região do espectro solar visível); a ação bactericida e germicida, a pigmentação da pele e a descoloração da matéria, pela radiação ultravioleta; e ainda o calor em que toda radiação absorvida, principalmente a infravermelha, é transformada (ASSIS, 1996).

### **3.2 Alterações do clima urbano**

As alterações no clima urbano têm ficado mais evidentes a cada dia. Segundo ROMERO (1988), “a prática do desenho urbano tem se dado sem levar em conta os impactos que provoca no ambiente, repercutindo não só no desequilíbrio do meio como também no conforto e salubridade das populações urbanas”.

Esses impactos são decorrentes das mudanças das características térmicas das superfícies, das taxas de evaporação e dos novos padrões de circulação do ar, tendo como consequência denunciadora a formação das chamadas ilhas de calor, que corresponde ao aumento de temperatura de uma determinada área urbana em relação aos seus arredores. O fenômeno tem sido identificado em diversas cidades, por métodos e técnicas diferenciadas e em várias escalas de trabalho (LABAKI & SANTOS, 1996).

DETWYLER & MARCU (1974), citados por ROMERO (1988), afirmam que as mudanças climáticas provocadas pela urbanização são três:

1 - alteração, através da densa construção e pavimentação, da superfície física do solo, impermeabilizando-a, aumentando sua capacidade térmica e sua rugosidade, ao mesmo tempo em que transforma o movimento do ar;

2 - “aumento da capacidade armazenadora de calor com a diminuição do albedo” (ROMERO, 1988);

3 - modificação da transparência da atmosfera devido à emissão de “contaminantes” (poeira, poluição etc).

Um estudo realizado por LOMBARDO (1988), utilizando-se imagens de satélites na faixa do infravermelho termal (infravermelho longínquo), analisou as temperaturas na capital paulista. Essa análise mostrou que a ilha de calor formada “... segue o modelo clássico em forma de domo, onde o maior gradiente horizontal de temperatura ocorre no centro da cidade”. Para uma melhor interpretação dos dados, foi realizado também um levantamento de campo sobre o uso do solo. As conclusões desse trabalho mostraram que as temperaturas mais elevadas se localizavam exatamente nas áreas onde existem grandes concentrações de edificações e pouca cobertura vegetal. As diferenças entre o centro e a área rural chegaram a ser superiores a 10°C. O replanejamento do uso do solo e a introdução de vegetação, nas áreas mais densamente ocupadas pelas construções, foram apontadas como “... medidas fundamentais para a melhoria do conforto térmico e, conseqüentemente, da qualidade de vida dos habitantes.”

ASSIS (1991) desenvolveu um processo de verificação do comportamento da ilha de calor em Belo Horizonte (MG), nos períodos de inverno e verão (considerados mais críticos), através de dados climáticos como temperatura, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos e insolação, disponíveis nas estações meteorológicas locais. Uma de suas conclusões foi que a “... tipologia de ocupação, além das propriedades térmicas das superfícies, produz *diretamente* a variação de temperatura.”

O método de medidas móveis de temperaturas foi utilizado, por HASENACK & BECKE (1991), para a avaliação da distribuição noturna das mesmas, na cidade de Porto Alegre (RS). Os resultados dessas medições mostraram a formação de ilhas de calor por toda a cidade, sendo que a formada no centro foi a mais característica. Um fato muito interessante, também descrito pelos autores, foi a presença de “Ilhas de Frio” nas áreas onde a concentração de vegetação era mais

intensa, pois as temperaturas nesses locais eram inferiores àquelas observadas no seu entorno.

CARVALHO (1993) discutiu os aspectos relacionados à ocupação urbana e à tecnologia mais adequada ao ambiente construído, baseando-se num estudo sobre os impactos da urbanização nas transformações do clima no sítio do Abaeté, cidade de Salvador - BA. Nesse estudo foram realizadas análises em três escalas: "...mesoclimática, topoclimática e microclimática". Na escala mesoclimática, comparou-se valores de médias climáticas e ocupação do solo em dois pontos de medições, um nos arredores do Abaeté e outro próximo ao centro de Salvador (distantes 21 km). O estudo topoclimático foi baseado em dados micrometeorológicos, diários e horários, medidos no centro das áreas de um pré-zoneamento que considerava aspectos como insolação, ventilação e condições do ecossistema, também realizado pela autora. Já a análise microclimática, comparou o comportamento do clima nas diversas áreas do pré-zoneamento.

O interesse pelas alterações nos ambientes dos centros populacionais é grande também em outros países.

Segundo BERNATZKY (1982), a formação das ilhas de calor ocorre devido:

- às massas de edificações horizontais e verticais;
- ao fato dos materiais das construções e vias públicas absorverem grande quantidade de radiação solar;
- à redução da velocidade do vento pelos prédios;
- à poluição, que reduz a perda de radiação de onda longa pelas superfícies, causando aquecimento atmosférico;

- à drenagem, pelo sistema de captação de águas pluviais, de grande parte das precipitações;
- à não infiltração de água no solo, como consequência da utilização de revestimentos impermeáveis;
- à redução da energia utilizada nos processos de evapotranspiração realizados pela vegetação.

O autor afirma também que, seguindo-se os padrões da norma alemã (DIN 1936) para drenagem de águas pluviais, uma média de 60% de toda precipitação é removida via bueiros, reduzindo a porção evaporada dentro das áreas urbanas. Um índice pluviométrico de 600 mm/ano corresponde a 360 l.ano/m<sup>2</sup> ou 3600000 l.ano/ha (ou 3600 m<sup>3</sup>/ha). Para evaporar um litro de água são consumidos 600 kcal, isto significa que numa cidade com área de 300 km<sup>2</sup>, sem vegetação, 6x10<sup>12</sup> kcal da radiação solar incidente deixam de ser utilizados, retornando ao ambiente em forma de calor.

Parâmetros como poluição do ar, direção e intensidade do vento, umidade, radiação de onda curta e longa, temperatura e balanço da energia urbana, foram considerados, por DUFNER et al. (1993), para a comparação das variações climáticas entre as áreas rurais e metropolitanas, a fim de se desenvolver um modelo de simulação urbana que pudesse ser generalizado, ou seja, utilizado em qualquer cidade. Nesse artigo, que os autores chamam de “fase I”, foi apenas dado início ao trabalho de estruturação do modelo não fornecendo, portanto, nenhum resultado concreto.

Algumas características físicas dos centros urbanos tem efeito sobre o clima desses locais. Entre elas, GIVONI (1994) cita a localização dos mesmos numa determinada região; a densidade da área urbana; a orientação e largura das ruas; a altura e a altura relativa das edificações; os parques urbanos e áreas verdes particulares.

LOMBARDO (1985) comprovou em seus estudos sobre a cidade de São Paulo que existe uma estreita relação entre os tipos de uso do solo urbano e a variação das temperaturas superficiais. As altas temperaturas são verificadas em áreas com crescimento vertical intenso, altas densidades demográficas (consideradas pela autora como acima de trezentos habitantes por hectare) e pouca quantidade de vegetação, principalmente nos setores industriais e residenciais. Por outro lado, as regiões que possuem uma maior concentração de espaços livres, com vegetação ou próximos a reservatórios de água, sofrem acentuados declínios de temperaturas. Como explicação, a autora cita que as massas de água interferem no balanço de energia devido à sua alta capacidade calorífica e pelo consumo de calor latente pela evaporação. Além disso, uma maior quantidade de vegetação também muda o balanço de energia do local, já que as plantas absorvem a radiação solar através dos processos de fotossíntese e transpiração.

Analisando-se os resultados dos trabalhos citados, pode-se observar a relevância da vegetação como reguladora das temperaturas das cidades. E a melhoria do clima, através da arborização, é um ponto comum entre eles.

### **3.3 A vegetação e a radiação solar**

A radiação solar, como visto no item 3.2, causa alguns efeitos adversos nos centros urbanos. Vários autores mencionam que a vegetação, além de bloquear sua incidência, absorve a maior parte dessa radiação e contribui para o equilíbrio do balanço de energia nas cidades.

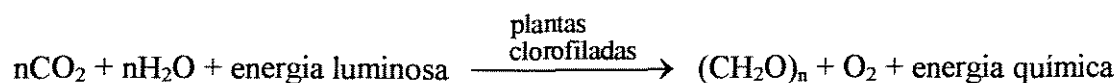
ROMERO (1988) afirma que “...em geral, a vegetação deve proporcionar sombra quando esta é necessária, sem no entanto interferir com as brisas e, essencialmente, auxiliar na diminuição da temperatura, a partir do consumo do calor latente por evaporação”.

De acordo com RIVERO (1986), a vegetação absorve, aproximadamente, 90% da radiação visível e 60% da infravermelha; o restante é transmitido por entre as folhas ou refletido.

A fotossíntese é um processo de síntese de compostos orgânicos, que servem de sustentação para a vida na Terra. Através deste processo, desencadeado com a luz solar, cerca de 100 bilhões de toneladas de carbono são fixadas anualmente. Os principais organismos fotossintéticos são as plantas e as algas, apesar de algumas bactérias também realizarem a fotossíntese.

Segundo MORAES [s.d.], o processo de fotossíntese nos organismos clorofilados consiste na síntese, iniciada com a absorção da luz, de carboidratos,

utilizando-se dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água do ambiente, com a subsequente liberação de oxigênio molecular. Essa molécula de oxigênio é proveniente da quebra da ligação química do CO<sub>2</sub>. A energia útil (aquela efetivamente utilizada) está vinculada à formação química dos carboidratos, segundo a equação:



Essa equação é uma forma simplificada de demonstrar o processo de fotossíntese, que na verdade engloba uma série de ciclos bioquímicos complexos. Por não haver necessidade desse grau de detalhe, neste contexto optou-se por não descrevê-los.

A energia luminosa é absorvida por um grupo de moléculas, denominadas pigmentos, próprias para tal finalidade. Os principais pigmentos são as clorofilas, que podem ser divididas em clorofila *a*, *b*, *c* e *d*, diferindo entre si na estrutura da molécula e nos organismos em que se localizam; sendo a clorofila *a* a principal, estando presente em todos os organismos fotossintetizantes, com exceção das bactérias.

Outros pigmentos, chamados acessórios, também absorvem luz e transmitem essa energia para a clorofila *a*. São os carotenóides, que auxiliam ainda na proteção das clorofilas contra a foto-oxidação destrutiva pelo oxigênio altamente reativo liberado durante a absorção da luz (MORAES, [s.d.] ).

A luz é absorvida na região visível (380 nm a 780 nm), principalmente no azul (436 nm a 495 nm) e no verde (495 nm a 566 nm) do espectro solar. Assim, as cores predominantemente refletidas ou transmitidas pelas folhas são o verde e o amarelo. O espectro de absorção da clorofila apresenta duas bandas principais, sendo uma em 430 nm (azul) e outra em 672 nm (vermelho).



Desde a absorção do ambiente, até a transformação definitiva em carboidratos (assimilação do  $\text{CO}_2$ ), o carbono participa de uma série de reações bioquímicas no interior das células das folhas. Se na primeira reação ocorre formação de um ácido carboxílico composto de três átomos de carbono, denomina-se de fotossíntese C3, ou Ciclo de Calvin (LAWLOR, 1987).

No processo evolutivo, muitas plantas desenvolveram sistemas metabólicos adicionais, a fim de aumentar a eficiência da fotossíntese em condições ambientais adversas. Um grupo de plantas absorve  $\text{CO}_2$  do ambiente para produzir, inicialmente, um ácido carboxílico com quatro átomos de carbono, que posteriormente será assimilado pelo ciclo C3. Este processo é chamado de fotossíntese C4, e está vinculado à luz intensa e baixa concentração atmosférica de carbono.

Outra importante modificação, ocorrida nos vegetais, foi o desenvolvimento da fotossíntese CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), que ocorre em plantas da família das Crassuláceas, e em algumas Cactáceas, Orquidáceas e Bromeliáceas. Como na fotossíntese C4, forma-se um ácido carboxílico com quatro átomos de carbono, mas esta síntese ocorre durante o período escuro, utilizando a energia luminosa previamente acumulada. Esse processo está relacionado à conservação de água. Cerca de três mil espécies de planta apresentam fotossíntese C4, e apenas duzentas e cinquenta exibem fotossíntese CAM, em comparação a trezentas mil espécies com ciclo C3. Algumas das diferenças bioquímicas entre os três tipos de fotossíntese podem ser observadas na FIG. 7.

Supunha-se que os mecanismos e a taxa de fotossíntese não apresentassem variações. Entretanto, as plantas mostram uma grande diversidade de resposta ao ambiente, particularmente ao principal fator determinante do crescimento, a luz. Plantas com altas taxas de fotossíntese e crescimento em condições de luz muito intensa, chamadas plantas de sol, ou heliófitas, são ineficientes em regiões de luz fraca. Já as plantas de sombra, ou umbrófilas, realizam fotossíntese e sobrevivem em

condições de luz pouco intensa, mas são incapazes de sobreviver eficientemente sob luz forte. As plantas heliófitas ou umbrófilas, geneticamente adaptadas, são incapazes de se ajustar à outra condição. Todavia, muitas espécies apresentam flexibilidade na resposta à intensidade luminosa, e são chamadas de facultativas, podendo crescer sob luminosidade alta ou baixa, mas não se adaptam aos extremos (LAWLOR, 1987).

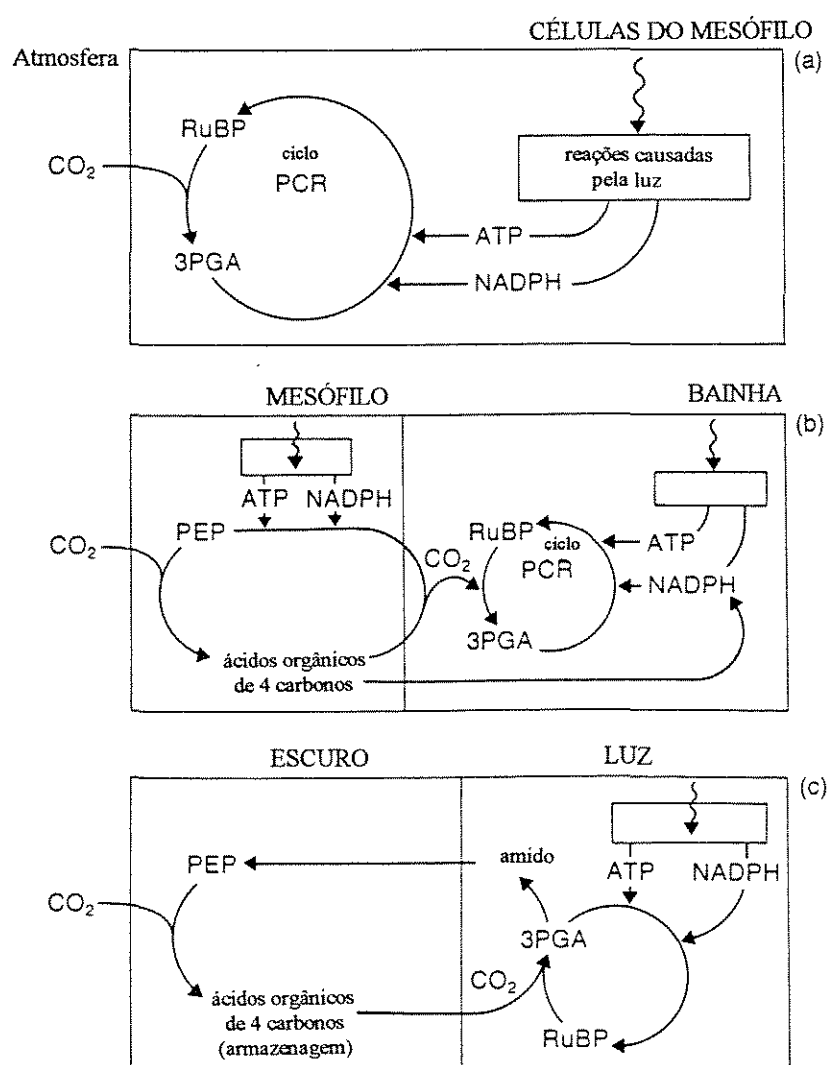


FIGURA 7 - Variação nos mecanismos fotossintéticos das plantas;

(a) fotossíntese C<sub>3</sub>; (b) fotossíntese C<sub>4</sub>; (c) fotossíntese CAM

FONTE - LAWLOR, 1987. p. 183.

### 3.4 Conforto térmico

A radiação solar, a temperatura, a umidade relativa e a movimentação do ar influem na percepção térmica do homem. Segundo ROMERO (1988), o ser humano possui dois mecanismos de regulação térmica que lhe permitem adaptar-se às variações desses elementos do clima:

- mecanismo fisiológico  $\Rightarrow$  como batidas cardíacas, suor, dilatação dos vasos, variações do fluxo sanguíneo, contração dos músculos, arrepios e ereção dos pêlos;
- mecanismo comportamental  $\Rightarrow$  como redução da capacidade de trabalho, prostração e sono.

A fim de se estabelecer um equilíbrio com o meio e manter sua temperatura interna em torno dos 37 °C, vários processos de trocas térmicas ocorrem entre o corpo humano e o ambiente: trocas por radiação, condução e convecção, fazendo um indivíduo ganhar ou perder calor dependendo das condições higrotérmicas do local (FIG. 8).

ROMERO (1988) afirma que “a quantidade de calor que é produzida pelo organismo, em um dado ambiente, depende principalmente do tipo e intensidade da atividade e da estrutura do indivíduo e, em menor escala, da idade, do sexo e da adaptação ao clima da região.”

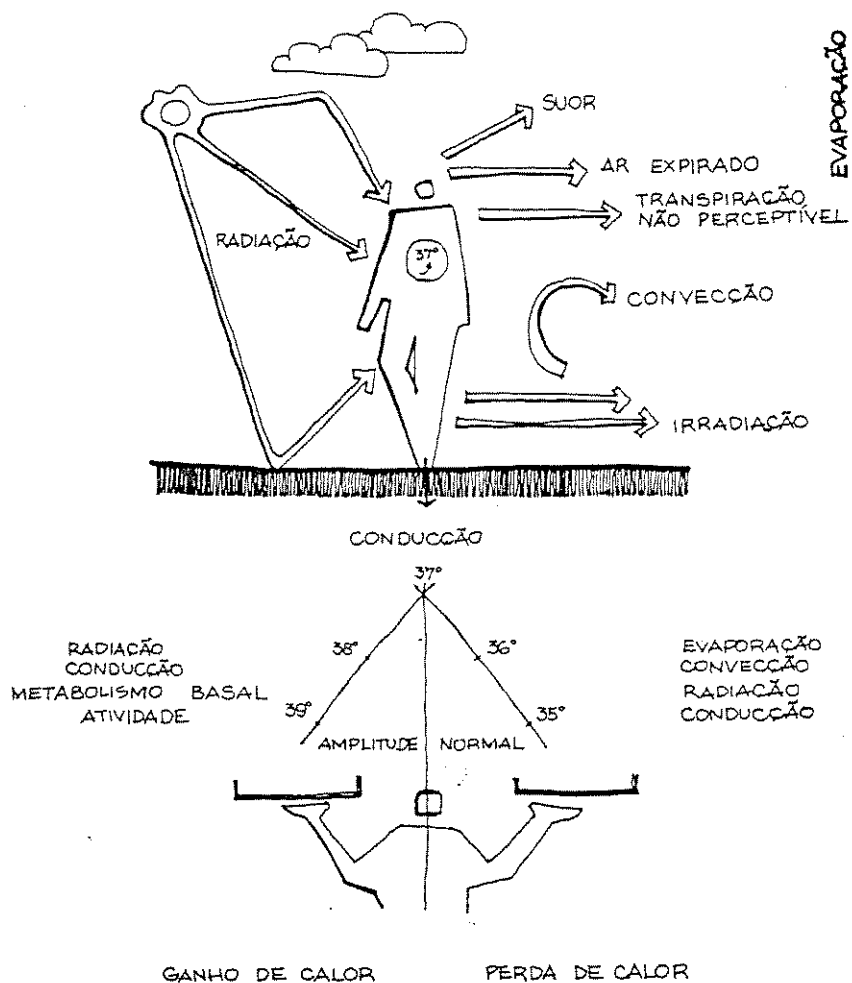


FIGURA 8 - Equilíbrio térmico do homem.

FONTE - ROMERO, 1988. p. 49.

Segundo GIVONI (1981), por ser impossível expressar as reações humanas ao ambiente térmico em função de um único fator, como temperatura do ar, umidade ou velocidade do ar, pois estes afetam o corpo humano simultaneamente, torna-se necessário avaliar o efeito combinado destes fatores e expressá-lo como um único parâmetro. Todas as variáveis são então combinadas em uma única fórmula, conhecida como Índice Térmico.

Muitas tentativas foram feitas para desenvolver os índices térmicos de acordo com as diferentes reações fisiológicas e sensoriais. A princípio, os índices estavam limitados ao efeito combinado da temperatura, umidade e velocidade do ar na sensação térmica subjetiva (ou conforto) do homem em repouso ou em atividade sedentária. Mais tarde, foram levadas em consideração a taxa de metabolismo, a vestimenta e a radiação solar. Como resultado deste esforço, um grande número de índices foi criado, sendo que os primeiros se preocupavam principalmente com a sensação térmica, e os mais recentes apontam para as respostas fisiológicas aos efeitos combinados entre os fatores climáticos e o trabalho, e particularmente a reação às taxas de suor.

O estudo quantitativo da influência das condições térmicas de um ambiente, no ser humano, depende de medições das variáveis desse ambiente e da análise da reação das pessoas à ação dessas variáveis; além disso, é necessário expressar a relação entre causa e efeito, quando possível, com um único valor numérico. De acordo com TOLEDO (1973), citado por ROMERO (1988), a elaboração dos índices ou escalas de conforto térmico, que “já ultrapassam a casa das quatro dezenas”, seguiram essas diretrizes.

As diferenças entre os diversos índices se encontram na aproximação de cada um ao problema, nas unidades usadas como base para expressar a combinação dos fatores, na faixa de condições de aplicação e na importância relativa atribuída a cada uma das variáveis e suas interdependências (GIVONI, 1981).

Portanto, as condições de conforto térmico são função de uma série de variáveis. FROTA & SCHIFFER (1995) lembram que para se avaliar essas condições, a pessoa deve estar vestida adequadamente e sem problemas de saúde ou aclimatação. E também que as condições ambientais capazes de proporcionar sensação de conforto térmico são diferentes para habitantes de clima quente e úmido, de clima quente e seco, e principalmente de clima temperado ou frio.

Alguns dos principais índices de conforto térmico são:

A) Índice de Temperatura Efetiva (E.T.)

O índice de Temperatura Efetiva foi desenvolvido por Houghten, Yaglou e Miller entre 1923 e 1925. Este índice leva em consideração a temperatura e velocidade do ar, assim como a umidade.

Segundo GIVONI (1981), foram desenvolvidas duas escalas: uma para homens seminus e outra para pessoas vestidas com roupas de verão. A resposta humana usada como critério para se determinar os efeitos de tais fatores climáticos foi a sensação térmica experimentada quando se entra num determinado ambiente. Nas experiências desenvolvidas para a elaboração do índice, as pessoas entravam e saíam de dois cômodos sob diferentes combinações de fatores ambientais, mas as condições nessas salas eram ajustadas de forma que produzissem a mesma sensação térmica quando os indivíduos passassem de uma para outra.

O índice de Temperatura Efetiva foi elaborado de tal forma que seu valor pode ser determinado por qualquer combinação de temperaturas de bulbo seco e úmido e velocidade do ar. Qualquer combinação de temperatura ambiente, umidade e velocidade do ar, possuindo um mesmo valor de Temperatura Efetiva, produz, supostamente, a mesma sensação térmica.

Em 1932, Vernon e Warner apresentaram uma proposta de correção para o índice de Temperatura Efetiva. Devido às alterações na sensação de conforto provocadas pela diferença entre a temperatura de radiação e a temperatura seca do ar, os pesquisadores sugeriram a utilização da temperatura do termômetro de globo ao invés da temperatura do termômetro de bulbo seco para base dos cálculos. Na FIG. 9 são observadas indicações das duas escalas no nomograma. A zona de conforto térmico delimitada sobre ele para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve e se

referindo a habitantes de clima quente, foi adaptada por KOENIGSBERGER et al. (1977), citado por FROTA & SCHIFFER (1995).

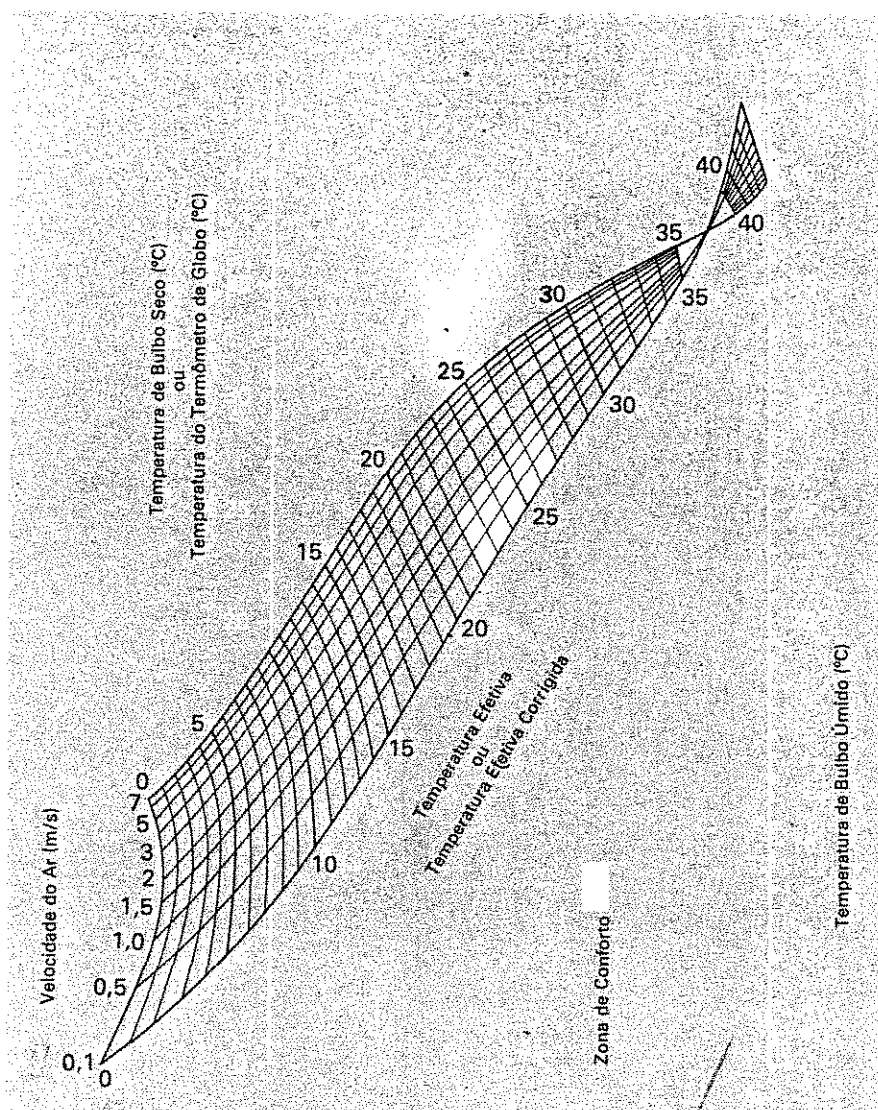


FIGURA 9 - Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve

FONTE - FROTA & SCHIFFER, 1995. p. 179.

GIVONI (1963), citado por GIVONI (1981), examinou a importância atribuída, no índice de Temperatura Efetiva, à influência da velocidade do ar e da umidade na sensação térmica. Seus resultados indicaram que o peso dado à velocidade do ar, para valores de E.T. abaixo de 32 °C, estavam de acordo com as reações fisiológicas e sensoriais; enquanto que acima desse limite existia uma discrepância entre os resultados experimentais e o prognóstico fornecido pelo índice. Com valores altos de temperatura, o aumento na velocidade do ar produzia um efeito de aquecimento muito maior que aquele assumido a partir do índice de Temperatura Efetiva. Em relação à umidade, os resultados confirmaram os estudos prévios sobre a superestimação de seu efeito.

### **B) Índice de Stress Térmico (I.T.S.)**

O índice de Stress Térmico é um modelo biofísico que descreve o mecanismo de troca de calor entre o corpo e o ambiente, a partir do qual o stress térmico total do mesmo (metabólico e ambiental) pode ser calculado. Acima da zona de conforto, a taxa de suor, necessária para manter o balanço térmico, também pode ser observada desde que o corpo mantenha-se em equilíbrio (com uma temperatura elevada, mas constante). Abaixo da zona de conforto, o índice tem um valor negativo indicando o stress devido ao frio (GIVONI, 1981).

O I.T.S. é baseado na suposição que, dentro de uma série de condições, onde é possível se manter o equilíbrio térmico, o suor é secretado a uma taxa suficiente para a obtenção do resfriamento através da evaporação necessária para balancear a produção de calor pelo organismo e a troca com o ambiente. A relação entre a secreção de suor e o adequado resfriamento por evaporação depende da eficiência da transpiração. Quando esta eficiência é reduzida, o corpo secreta suor a



uma taxa maior que a equivalente ao calor latente de resfriamento, a fim de compensar essa deficiência.

Segundo GIVONI (1981), a primeira versão do índice I.T.S. era destinada apenas para ambientes internos e um tipo de vestimenta (roupa leve de verão). Posteriormente, foi estendido para ambientes externos, com a inclusão, entre outros fatores, da radiação solar, cobrindo também outros tipos de vestimenta. Ao mesmo tempo, os valores numéricos de vários coeficientes foram revisados baseados em dados experimentais adicionais.

A faixa de valores coberta pelo Índice de Stress Térmico é:

- temperatura do ar: 20-50 °C
- pressão de vapor: 5-40 mmHg
- velocidade do ar: 0,10-3,5 m/s
- radiação solar: alcance total 600 kcal/h
- taxa metabólica: 100-600 kcal/h
- vestimenta: seminu, roupa leve de verão, uniforme industrial ou militar.

A fórmula geral do Índice de Stress Térmico (I.T.S.) é:

$$S = [(M - W) \pm C \pm R] (1/f) \quad [1]$$

onde

S  $\Rightarrow$  taxa de suor necessária, em equivalente kcal/h;

M  $\Rightarrow$  taxa metabólica, kcal/h;

W  $\Rightarrow$  energia metabólica transformada em trabalho mecânico, kcal/h;

C  $\Rightarrow$  troca de calor convectiva, kcal/h;

R  $\Rightarrow$  troca de calor radiante, kcal/h;

$f \Rightarrow$  eficiência de resfriamento da transpiração, adimensional.

### C) Temperatura Neutra ao Exterior ( $T_{ne}$ )

A Temperatura Neutra ( $T_n$ ), temperatura ambiente considerada pela população “nem quente nem fria”, proposta por HUMPHREYS (1975), põe em evidência, segundo AROZTEGUI (1995), a lógica correlação entre as expectativas da população diante de ambientes condicionados naturalmente, refletidas nos hábitos de vida, vestimentas e nível de atividades. Uma relação linear, válida para ambientes interiores, se comprova entre a temperatura média mensal ( $T_{mm}$ ) e a Temperatura Neutra, onde a velocidade do ar é baixa e as temperaturas médias radiantes não se afastam excessivamente das temperaturas do ar.

Para a análise de ambientes externos deve-se considerar duas variáveis de difícil apreciação: a radiação solar e a velocidade do vento. A primeira reúne o efeito da temperatura radiante orientada pela posição do Sol e toda a complexidade do aspecto do céu, e as reflexões do entorno. Já a velocidade do vento é caracterizada por uma acentuada agitação e por ser bastante afetada, no espaço e no tempo, ao nível do pedestre. Dessa forma, é necessário aceitar simplificações enquanto se tenta dominar essas variáveis.

A Temperatura Neutra ao Exterior ( $T_{ne}$ ) é definida com base nas mesmas variáveis que compõem a Temperatura Neutra interna mais os efeitos dos principais agentes térmicos externos.

Baseando-se no Índice de Stress Térmico (I.T.S.) (GIVONI, 1981), AROZTEGUI (1995) desenvolveu uma equação que soma os efeitos dos agentes exteriores à temperatura neutra interior. A expressão foi desenvolvida para uma taxa

de suor nula em atividade sedentária e arbitrando-se condições médias para as características do entorno (roupas 0,8 clo, atividade sedentária, umidade relativa entre 35% e 65%). Dessa forma, a equação da Temperatura Neutra ao Exterior é apresentada como:

$$T_{nc} = 3,6 + 0,31 T_{mm} + \frac{100 + 0,1 R_{dn} (1 - 0,52(V^{0,2} - 0,88))}{11,6 V^{0,3}} \quad [2]$$

onde

$T_{nc}$   $\Rightarrow$  Temperatura Neutra ao Exterior ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{mm}$   $\Rightarrow$  temperatura média mensal ( $^{\circ}\text{C}$ );

$R_{dn}$   $\Rightarrow$  radiação solar direta normal ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$V$   $\Rightarrow$  velocidade do ar ( $\text{m}/\text{s}$ ).

#### **D) Crítério de conforto térmico de Fanger**

Devido à grande dificuldade que envolve a condução de experimentos para se determinar índices de conforto ambiental, a maioria das hipóteses fica restrita a indivíduos em atividade sedentária, vestidos com roupas leves, o que torna imprudente estender a faixa de aplicação desses índices além daquela coberta experimentalmente.

FANGER (1972), citado por AWBI (1991), aproximou-se de um índice ambiental universal partindo do princípio que uma pessoa sente sua própria temperatura e não a do ambiente. Ele estipulou três requisitos para atingir o conforto térmico:

- o corpo deve estar em equilíbrio térmico com o ambiente, isto é, a taxa de calor perdido para o ambiente deve equilibrar a taxa de calor produzido pelo organismo. Isto implica em um estado estacionário dinâmico.

- a sensação térmica está relacionada à temperatura da pele, e portanto a temperatura média da pele,  $t_s$ , deve estar em um nível apropriado. As medidas demonstram que  $t_s$  decresce com o aumento da taxa metabólica.

- deve haver uma taxa de transpiração adequada, ou seja, pessoas em atividade sedentária tendem a não suar. A taxa de transpiração aumenta com a taxa metabólica.

Segundo AWBI (1991), estes requisitos podem ser resumidos pela definição de conforto térmico da ASHRAE: ‘aquela condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico’.

Fanger utilizou a equação de balanço de calor para determinar um valor para os diferentes graus de sensação, usando além de seus próprios dados experimentais, outros dados publicados para diferentes níveis de atividade. O índice de sensação térmica adotado por Fanger é baseado em uma escala psicofísica de sete pontos:

- muito frio: -3
- frio: -2
- pouco frio: -1
- neutro: 0
- pouco quente: +1
- quente: +2
- muito quente: +3

Este índice é chamado de voto médio estimado (PMV), que é uma média dos votos da sensação térmica de um grupo de pessoas em um determinado ambiente.

A partir da análise de seus dados experimentais, Fanger propôs uma correlação entre a porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico e o voto médio estimado. Esta taxa foi chamada de porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD) e é mostrada na FIG. 10. A figura mostra uma curva simétrica com um valor mínimo de 5% correspondendo à menor porcentagem de indivíduos insatisfeitos, mesmo em um ambiente ideal (AWBI, 1991).

Apesar do índice de conforto térmico de Fanger ser o mais abrangente, ainda apresenta algumas deficiências. O índice produz bons resultados para as condições padrões de atividade sedentária e vestimenta leve (representando as condições nas quais os dados experimentais foram obtidos), mas não é tão satisfatório em condições mais extremas de atividade e vestimenta pesada.

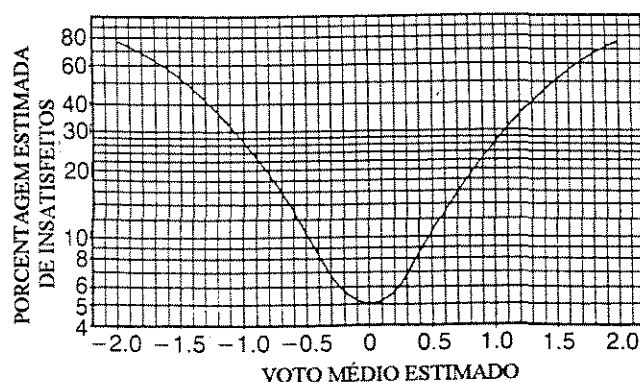


FIGURA 10 - Porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD) em função do voto médio estimado (PMV)

FONTE - AWBI, 1991. p. 12.

### 3.5 Influência da vegetação no conforto térmico urbano

O comportamento dos diferentes materiais em relação à absorção, reflexão (albedo) e transmissão da radiação solar, é bastante variável no meio ambiente, e também quando comparado com a vegetação (FIG. 11).

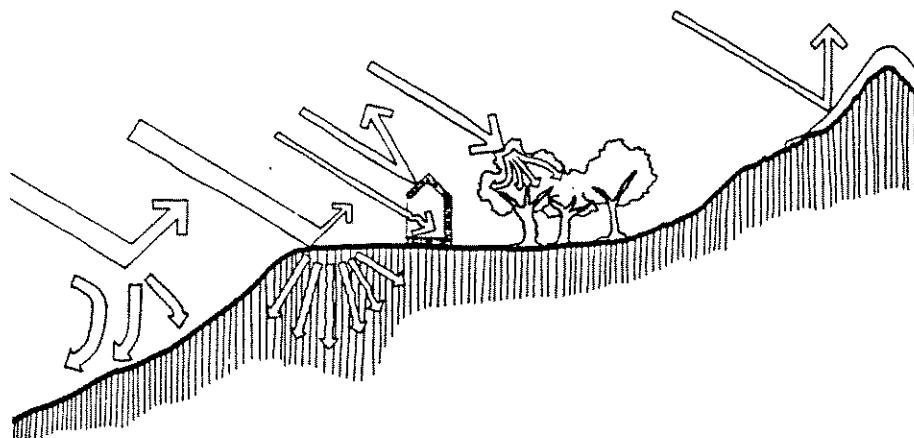


FIGURA 11 - Absorção, reflexão e transmissão da radiação no meio ambiente  
FONTE - BARDOU & ARZOUMANIAN, 1984. p. 26.

Essas variações, como já foi visto, causam consideráveis alterações no clima das cidades. As alterações climáticas são, geralmente, responsáveis pelo aumento na demanda energética. AKBARI & TAHA (1992) realizaram um estudo, em quatro cidades canadenses (Toronto, Edmonton, Montreal e Vancouver), sobre o potencial de uso da vegetação e de materiais de alto albedo na redução do consumo

de energia, tanto para resfriar quanto aquecer ambientes internos. Os autores simularam as mudanças microclimáticas, associadas ao aumento da cobertura vegetal e do albedo das superfícies nas áreas urbanas, usando modelos que eles mesmos desenvolveram. Os balanços de energia e de umidade proporcionados pelas árvores, juntamente com os efeitos das mudanças nos albedos das superfícies urbanas foram considerados nesses modelos. Para a análise do uso da energia nas edificações utilizou-se um programa de computador (DOE-2.1D). Este simula o funcionamento dos sistemas de resfriamento e aquecimento, assim como as condições ambientais internas de uma construção. Através dos resultados, foi observado que o consumo de energia para aquecimento, em Toronto, pode ser reduzido em média 10% nas áreas urbanas e 20% nas rurais. Já o consumo para resfriar ambientes pode diminuir 40% nas cidades e 30% nas áreas rurais. Em Edmonton, Montreal e Vancouver, os valores médios na redução do consumo de energia para aquecimento foram 8%, 11% e 10% respectivamente. A energia para resfriamento, em Edmonton e Vancouver, pode ser totalmente compensada e, em Montreal, reduzida em 35%.

Outras estratégias para a redução no consumo de energia foram propostas por BAJWA (1995). Nesse estudo, o autor analisou, através de um protótipo, como a paisagem ao redor das residências, na região do Golfo (Arábia), influi nos ambientes internos. A vegetação foi considerada como controladora ou amenizadora das temperaturas nos interiores. Cada tipo de cobertura vegetal foi observado: árvores, arbustos, trepadeiras e gramados. Segundo ele, as plantas (particularmente as árvores) demoram um tempo considerável para amadurecer e, conseqüentemente, o impacto total de uma “paisagem conservadora de energia” pode ser notado somente depois de anos de contínuo monitoramento. Todavia, as medições iniciais apontaram como tendência uma redução de pelo menos 65% no consumo de energia em residências isoladas (sem a influência de outras construções), naquela região.

Essa economia não é o único benefício trazido pela presença da arborização nas cidades. A vegetação também colabora positivamente para a saúde

física e mental do homem. Isso se deve ao fato dela contribuir para a melhoria de vários aspectos presentes na vida urbana.

Segundo PEIXOTO, LABAKI & SANTOS (1995) a vegetação desempenha um importante papel no controle da temperatura ambiente, velocidade e direção predominante dos ventos, umidade do ar, radiação solar e precipitações.

Dessa forma, o efeito das árvores e áreas verdes deve ser analisado no contexto da constante deterioração climática (BERNATZKY, 1982).

As árvores, em grupos ou até mesmo isoladas, atenuam grande parte da radiação incidente, impedindo que sua totalidade atinja as construções. Segundo FURTADO (1994), “a vegetação propicia resfriamento passivo em uma edificação através de dois meios:

- 1) Através do sombreamento lançado pela vegetação, que reduz a conversão da energia radiante em calor sensível, conseqüentemente reduzindo as temperaturas de superfície dos objetos sombreados.

- 2) Através da evapotranspiração na superfície da folha, resfriando a folha e o ar adjacente devido à troca de calor latente (MCPHERSON, 1984).”

Dessa forma, ocorre uma diminuição tanto das temperaturas internas quanto externas, amenizando o clima da cidade.

SATTLER (1992) afirma que a vegetação pode ser utilizada para a interceptação da radiação direta e difusa, como também daquela refletida pelo solo ou edificações próximas. Porém, o desempenho de cada indivíduo arbóreo varia conforme a densidade de sua folhagem ao longo do ano (ciclo fenológico de cada espécie); as condições de transparência do céu e a posição relativa do Sol. Segundo ele, as alterações no regime de ventos, produzidas pelos “agrupamentos de



edificações altas, em particular”, produzem condições de desconforto tanto nas vias de circulação urbana quanto nas áreas próximas às edificações e em seu interior. “Embora a vegetação, tão-somente, não possa controlar totalmente tais condições de desconforto (e, no caso de pedestres, até de segurança), ela pode, eficientemente, abrandar a sua intensidade”.

Segundo BERNATZKY (1982), a influência dos indivíduos arbóreos no ambiente, em resumo, envolve:

- “(i) resfriamento do ar;
- (ii) aumento da umidade relativa do ar;
- (iii) suprimento de ar fresco;
- (iv) filtração do ar;
- (v) absorção de ruídos;
- (vi) produção de oxigênio.”

“O resfriamento do ar é indubitável e incontestável” (BERNATZKY, 1982). De acordo com o autor, ele não é somente resultado do sombreamento proporcionado pelas árvores, mas principalmente, do seu consumo de energia para evaporação e outros processos fisiológicos. Ele afirma que, em média, 60% a 75% da energia solar incidente na vegetação são consumidos nos processos fisiológicos. A vegetação não armazena calor nas células, por isso ocorre o equilíbrio nas trocas de calor por radiação nas regiões onde está presente; esse tipo de equilíbrio geralmente não acontece nos materiais de construção. Um efeito adicional, consequência da evapotranspiração, é o aumento da umidade relativa. O resfriamento e a filtração do ar realizados pelas árvores são mais efetivos do que aqueles realizados pelos gramados, pois a área de folhagem das primeiras é, em média, dez vezes maior que a área ocupada por sua copa; ou seja, o volume de folhas é que controla esses efeitos (resfriamento e filtração do ar) e não o tamanho das áreas verdes. Para ilustrar, o autor comenta que nos parques, 85% das partículas presentes na atmosfera são filtradas; nas árvores das ruas e avenidas, acima de 70%. Cabe ressaltar que os gases aderem na matéria particulada e são absorvidos pelos vegetais. Gases venenosos, em

doses sub-letais, tornam-se inócuos no decorrer de seu metabolismo de oxidação; mas, em excesso, podem matá-los.

Quanto à absorção de ruídos, esta é geralmente superestimada. A vegetação dá um efeito 'óptico' e psicológico mais efetivo que a real redução de ruídos. Em relação à produção de oxigênio, BERNATZKY (1982) afirma que esta é, principalmente, fruto do metabolismo das plantas (FIG. 12) e, em pequena parte, da dissociação do vapor de água presente na atmosfera. Nas cidades, as áreas verdes não podem produzir tanto oxigênio quanto é consumido. Mas, os gramados e indivíduos arbóreos produzem um suprimento emergencial bastante útil quando a ausência de ventos impede que o oxigênio, das camadas mais elevadas, desça a uma altura onde possa ser "respirado". Para o autor, o planejamento das áreas verdes deve ser afastado da esfera de decoração. A biosfera na qual o homem vive é um sistema complexo aberto. Nenhuma mudança, mesmo que pequena, é sem significado.

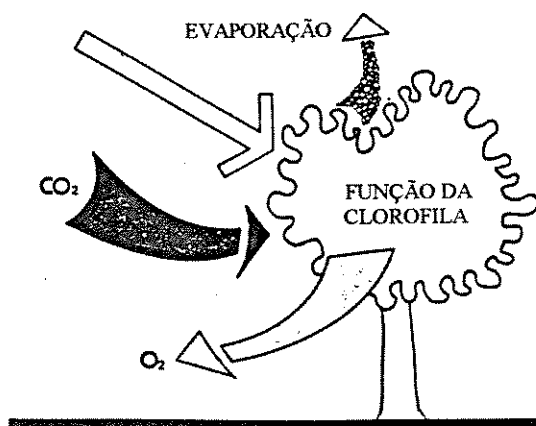


FIGURA 12 - Efeito da oxigenação pela vegetação. A radiação solar é seu principal agente

FONTE - IZARD & GUYOT, 1983. p. 46.

A vegetação, de acordo com IZARD & GUYOT (1983), produz numerosos efeitos no microclima tanto do meio natural quanto do urbano. Além de

confirmarem as relações entre as plantas e o meio, citadas anteriormente, esses autores fornecem algumas informações adicionais, como o fato de um hectare de bosque produzir, por evapotranspiração, cerca de 5000 toneladas de água por ano; e que medições comparativas de temperatura mostraram a existência de 3,5°C de diferença entre o centro de uma cidade e os bairros próximos a uma faixa de vegetação com largura entre 50m e 100m. Além disso, a umidade relativa aumenta em 5% devido à presença da área verde (FIG. 13). Deve-se lembrar que as diferenças topográficas e a presença de água (como por exemplo de um rio) nos centros urbanos também influem na temperatura e umidade desses locais.

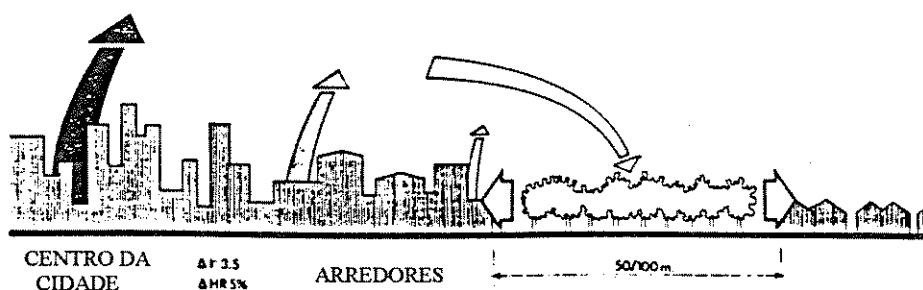


FIGURA 13 - Efeito do umedecimento do ar por uma área com vegetação  
 FONTE - IZARD & GUYOT, 1983. p. 47.

O fenômeno da retenção de partículas em suspensão também foi comentado por IZARD & GUYOT (1983), afirmando que, segundo alguns pesquisadores, para uma mesma superfície projetada no solo, as árvores retêm dez vezes mais que os gramados, e de trinta a sessenta vezes mais que uma superfície asfaltada. Segundo os autores, são necessários alguns requisitos para que a vegetação possa cumprir sua função microclimática: o elemento vegetal deve representar pelo menos 30% da superfície urbanizada (lembrando-se sempre que essa porcentagem varia conforme o tipo de clima e a localização do centro urbano), e deve ser suprido com água suficiente para sua sobrevivência e realização da evapotranspiração (FIG. 14), entre outras condições.

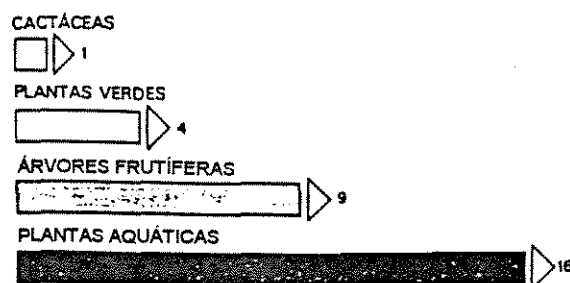


FIGURA 14 - Necessidade de água de diversos vegetais em valores relativos  
 FONTE - IZARD & GUYOT, 1983. p. 51.

OKE (1973), citado por SATTLER (1992), estima que um índice na faixa de 30% de cobertura vegetal seja o recomendável para que ocorra um adequado balanço térmico nas áreas urbanas, e que índices menores que 5% determinem características semelhantes às de um deserto a esses locais.

DETZEL (1992) relaciona alguns benefícios proporcionados pela presença da vegetação. Além dos já mencionados, são lembrados o controle de erosões; a formação de barreiras físicas e visuais (“na formação de barreiras ou “paredes”, as plantas funcionam como articuladoras dos espaços, definindo ou obstruindo passagens, dividindo ambientes e limitando a visão”); e a utilização das áreas verdes para recreação. Esta última também foi apresentada por MORERO (1996) em um trabalho onde são caracterizadas as praças do distrito sede do município de Campinas e propostas diretrizes, de caráter espacial, para a implantação de novas áreas verdes nesse local.

A fim de se conhecer a real situação das áreas verdes e da arborização das ruas, vários estudos têm sido feitos sobre a caracterização e análise da vegetação no meio urbano. Entre as cidades pesquisadas estão: Curitiba - PR (MILANO, 1984), Moji-Mirim - SP (TOLEDO FILHO & PARENTE, 1985), Maringá - PR (MILANO,

1988), Botucatu - SP (SOUSA, FIORAVANTE & CRUZ, 1992) e Jaboticabal - SP (BIANCHI & GRAZIANO, 1992).

Essa caracterização é de extrema importância para a preservação e manutenção da cobertura vegetal existente, para futuras implantações de parques e praças, além da melhoria da arborização das ruas e avenidas.

A realização de planejamento urbano adequado ou mesmo de projetos arquitetônicos, bioclimáticos ou não, preocupados com o bem estar físico e psicológico de seus usuários, é dificultada pela falta de informações técnicas e de parâmetros relacionados à influência da vegetação nas cidades. Um exemplo dessa situação é a quase inexistência de valores que quantifiquem a atenuação da radiação solar pelos indivíduos arbóreos.

Alguns estudos sobre o comportamento das sombras, de grande importância para a coleta de dados em campo, têm sido desenvolvidos.

HAYMAN (1989) desenvolveu um trabalho sobre os limites de precisão dos estudos gráficos das sombras. Segundo ele, o Sol não é uma fonte pontual. Seu diâmetro tem 32' de arco resultando em um desvio máximo de 16' ou 0,27°, gerando uma penumbra e sombras não paralelas (FIG. 15). A penumbra tem o efeito de produzir indefinições nas bordas de qualquer sombra. Essas indefinições aumentam na largura conforme a extensão da sombra. A rotação da Terra produz uma variação na posição da sombra durante o dia. Simultaneamente, devido à inclinação de seu eixo em relação ao plano de translação, o tamanho da sombra varia durante o ano de um máximo no solstício de inverno a um mínimo no de verão. Para quantificar essa variação é comum especificar a posição solar num ponto através de dois ângulos, altitude ( $\gamma$ ) e azimute ( $\alpha$ ) (FIG. 16). A altitude é o ângulo vertical medido entre o Sol e o horizonte; o azimute é o ângulo horizontal entre o plano de projeção da posição do Sol e o norte verdadeiro. Eles podem ser calculados para qualquer local, baseando-se na latitude do mesmo, e qualquer horário do dia. O autor ainda afirma

que vários guias sobre esses ângulos têm sido publicados, mas sempre considerando o paralelismo dos raios solares. Sua pesquisa é sobre os erros dessa aproximação. Depois de analisar os vários tipos, possíveis de ocorrer nesses guias, ele conclui que os erros dependem do tamanho da sombra amostrada e da escala em que o estudo é apresentado; e, como princípio geral, quanto maior o projeto menor deve ser a escala utilizada.

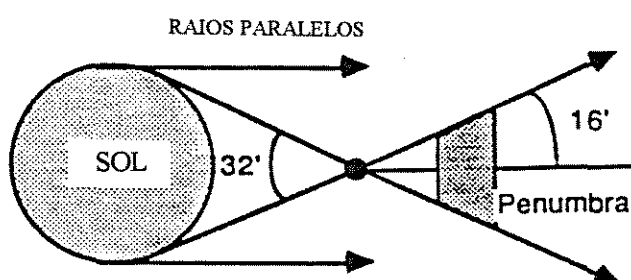


FIGURA 15 - Desvio dos raios solares

FONTE - HAYMAN, 1989. p. 16.

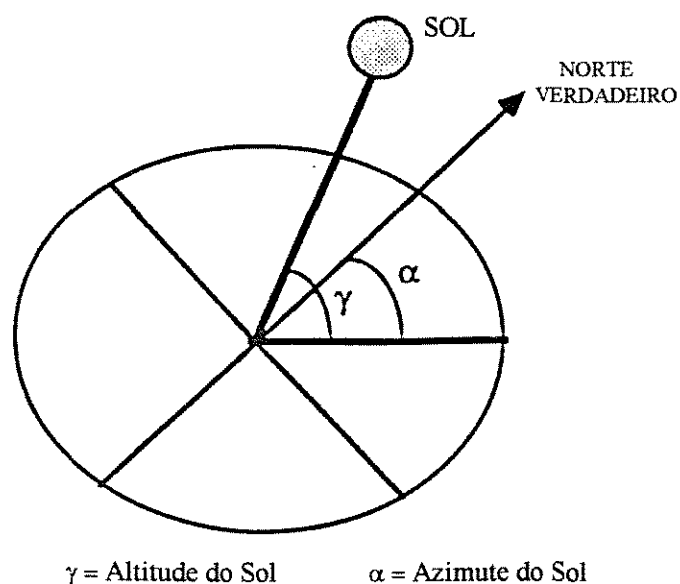


FIGURA 16 - Definição da posição solar com a altitude e o azimute

FONTE - HAYMAN, 1989. p. 16.

Um modelo matemático para o cálculo das sombras foi desenvolvido por BUDIN & BUDIN (1982). Através dele foram derivadas expressões compactas para o posicionamento da sombra de um ponto isolado, em uma superfície plana, com orientação arbitrária. Pelo método de projeções paralelas, essas expressões podem ser aplicadas no cálculo de sombras de objetos relativamente complexos.

Deve-se, entretanto, considerar as observações feitas por HAYMAN (1989) quanto ao paralelismo dos raios solares.

As geometrias das sombras, proporcionadas por várias formas diferentes de copas de árvores, foram apresentadas por SATTler, SHARPLES & PAGE (1987). Eles descreveram uma ferramenta de projeto, mais especificamente, um programa de computador, que avalia os efeitos das sombras das árvores em relação às edificações. O programa determina a área e a posição da sombra de um indivíduo arbóreo ou um grupo de árvores, em uma superfície com qualquer orientação e inclinação; fornecendo dados numéricos e gráficos, horários, entre o nascer e o pôr-do-sol, para qualquer dia do ano, qualquer lugar da Terra e qualquer posição relativa entre a árvore e a edificação. São reconhecidos quatro tipos de sombra diferentes: esférica, cilíndrica, cone vertical e cone invertido; além da combinação entre elas (FIG. 17). Em suas conclusões, os autores afirmam que os resultados obtidos com esse programa podem ser usados tanto para prevenir o sombreamento de janelas, paredes e coletores solares, quando os ganhos com a radiação devem ser maximizados; quanto para se beneficiar dele, utilizando-se as árvores como mecanismos para sombreamento em locais onde o clima o requer. Lembram, porém, que em ambos os casos são necessárias informações adicionais sobre a transparência das árvores em relação à radiação solar.

A permeabilidade, ou ainda, a transparência das árvores com relação à radiação solar tem gerado grande interesse entre os pesquisadores. Esse fato se deve à falta de valores confiáveis, como dito anteriormente, para se planejar o meio urbano ou projetar edificações visando o bem-estar dos usuários.

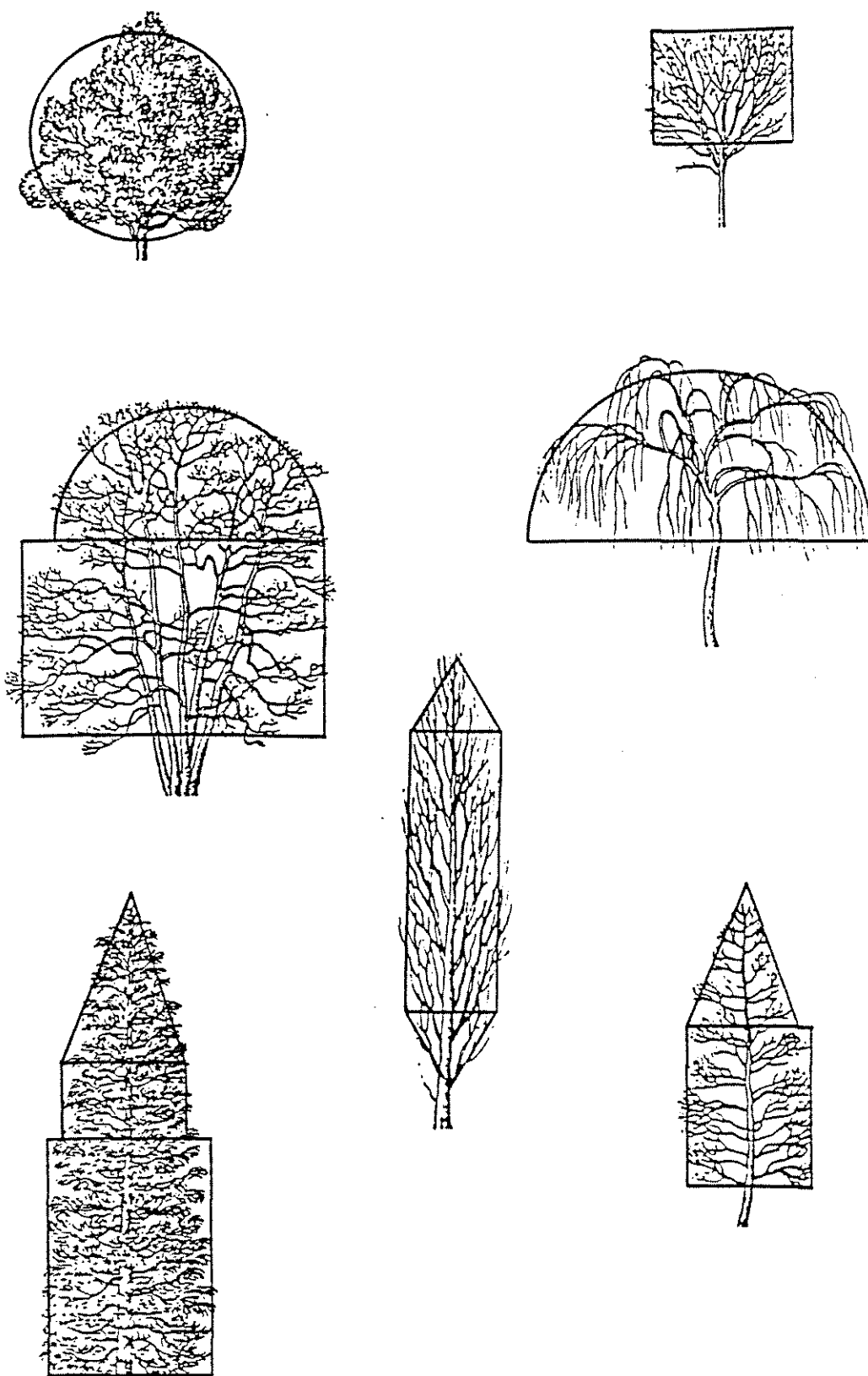


FIGURA 17 - Formas de árvores

FONTE - SATTLE, SHARPLES & PAGE, 1987. p. 190.



HEISLER, HALVERSON & ZISA [198-] realizaram um estudo em que as radiações de onda curta, global e difusa, foram medidas à sombra de indivíduos arbóreos isolados, para se determinar as diferenças entre as espécies e o efeito do tamanho e fenologia da árvore na transmissão da radiação. Foram medidas: radiação global e difusa, em campo aberto; e radiação global e difusa sob a sombra dos elementos amostrados (árvores decíduas); em dias claros ou parcialmente nublados. Para a obtenção dos valores foram utilizados piranômetros com coeficientes de temperatura de  $-0,2\%$  por  $^{\circ}\text{C}$  e constante de tempo de 4 s. Nas medições da radiação difusa, cada piranômetro foi equipado com uma proteção contra a incidência direta dos raios solares, e os valores conseguidos foram devidamente corrigidos para se levar em conta a porção do céu obstruída pelas mesmas. Uma parte dos aparelhos (cinco deles) era sempre mantida no centro da sombra da árvore amostrada, a fim de se medir a radiação à sombra; e observada dez vezes em um período de cinco minutos. O valor da radiação total daquele elemento era calculado fazendo-se a média dos dados coletados. A outra parte do equipamento (dois piranômetros) era colocada em campo aberto. As árvores, que numa inspeção visual aparentavam ter copas similares, apresentaram variações na transmissão da radiação. E, quando perdem as folhas, esses indivíduos ainda continuam interceptando boa parte dessas ondas.

Num outro trabalho feito por HEISLER (1982) também utilizou-se piranômetros para medir radiação global e difusa. Uma árvore por dia era analisada, com um conjunto deles colocado a aproximadamente 40 cm acima do solo à sombra dela, e outro em campo aberto. Em algumas medições os aparelhos acompanhavam o movimento das sombras, em outras ficava fixo. A maioria dos indivíduos amostrados eram “London Plane”, “Pin Oak” ou “Norway Maple”, todas com características representativas de suas espécies. Em dias de céu claro, as árvores “Pin Oak”, com folhas, reduziram a radiação global acima de 70% e as “London Plane” acima de 86%. Quando estavam sem folhas e o Sol com um ângulo de elevação de  $60^{\circ}$ , estas reduziram respectivamente 37% e 54%.

SATTLER (1991) investigou a influência de parâmetros como a densidade de copa e sua variação sazonal, a transparência do céu e a altitude solar, sobre a quantidade de radiação solar transmitida através de um indivíduo arbóreo. Nesse experimento foram utilizados solarímetros para medir a radiação, e os valores, fornecidos por eles, comparados com os obtidos através de uma técnica fotográfica. Os indivíduos amostrados, em vários dias entre julho de 1985 e setembro de 1986, eram duas árvores decíduas, de mesma espécie (*Prunus* "Kanzan"), mas com diferentes densidades de copa, e se encontravam na cidade de Sheffield (UK). Possuíam 6m de altura e aproximadamente 22 anos. As medições eram obtidas através de dois solarímetros colocados à sombra da árvore (a duas alturas diferentes: 1,30 m e 2,12 m do solo), e um terceiro à luz do sol (1,5 m do solo). Na outra técnica, foram tiradas várias fotografias, em preto e branco, das copas das árvores em estudo. Os dias eram de céu claro e a câmara utilizada (SLR 35mm) equipada com zoom. A partir das fotos foram feitas transparências impressas em filmes 102 x 107 mm ("fine-grain, orthochromatic, medium contrast film"). Essas transparências foram, posteriormente, analisadas por um fotômetro equipado com detetor de luz de silício, capaz de emitir luminância sob um campo circular de 1°. Os resultados das medições mostraram que comparando-se os valores médios de transmissão, referentes à condição de céu claro, as duas técnicas proporcionam dados muito próximos. No entanto, a menos que um número significativo de solarímetros seja utilizado, para que se tenha um grande número de leituras, a técnica fotográfica proporciona uma estimativa mais realista para o valor médio de transmissão de radiação.

Outra quantificação da permeabilidade das árvores com relação à radiação solar foi realizada por CANTON, CORTEGOSO & de ROSA (1994). Analisou-se quatro espécies: *Fraxinus excelsior* ("European ash"), *Morus alba* ("White mulberry"), *Melia azedarach* ("China berry") e *Platanus acerifolia* ("London plane"). Nas medições de campo, um solarímetro ficou disposto, ao nível do solo, sob céu aberto; e o segundo, também ao nível do solo, sob a sombra do indivíduo amostrado. Foram obtidos valores de radiação global e difusa. A cada leitura à sombra, o instrumento foi movido ao longo dos eixos de uma grade com 2,0m x 2,0m, num total

de 25 pontos de medições (FIG. 18); além disso a grade também era movida ao longo da sombra da árvore em questão (parte superior, média e inferior). O equipamento permanecia em cada ponto até que o sinal se estabilizasse.

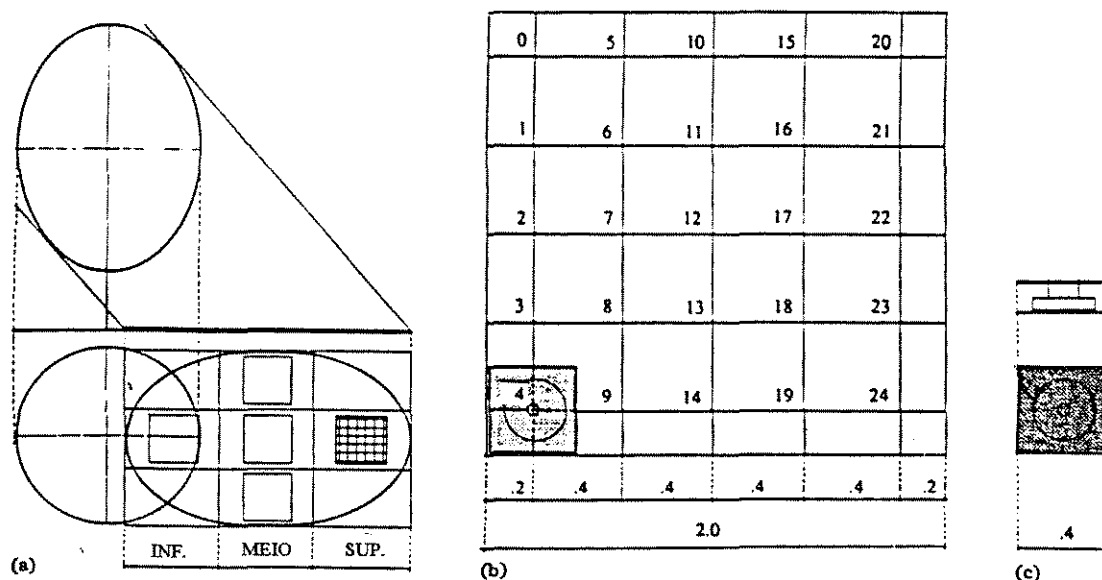


FIGURA 18 - Configuração do sistema de medições de radiação utilizado

(a) posição da grade, no solo, nas diferentes zonas da sombra da copa da árvore

(b) grade para colocação dos solarímetros em cada ponto de leitura

(c) solarímetro e difusor, vista e planta

FONTE - CANTON, CORTEGOSO & de ROSA, 1994. p. 221.

Para a obtenção dos valores de radiação difusa, CANTON, CORTEGOSO & de ROSA (1994) utilizaram um difusor acrílico translúcido a fim de impedir a incidência direta dos raios solares. As observações foram realizadas quatro vezes por ano, coincidindo com os ciclos de folhagem das espécies consideradas. Dois grupos de medições foram feitos diariamente, um no meio da manhã e outro às 12:00 horas; não foi realizada nenhuma leitura no período da tarde, assumindo-se a situação de

simetria aproximada com as leituras da manhã. Para as condições de inverno (sem folhas), a “European ash” bloqueou 16,7% da radiação através do topo de sua copa, e menos de 29,5% na média de toda a copa. As mais baixas permeabilidades, no inverno, foram observadas na “White mulberry”, onde 19,2% da radiação global é interceptada pelo topo de sua copa; e 33,6% pela copa como um todo. De acordo com os autores, para sombreamento de verão a “London plane” é a melhor escolha: somente 9,8% da radiação global atravessa sua copa. E a “China berry” fica em segundo lugar, bloqueando quase 74% da radiação global.

Uma pesquisa, sobre valores da temperatura ambiente, umidade relativa e temperatura de globo, à sombra de indivíduos arbóreos e em campo aberto, foi realizada por BUENO, LABAKI & SANTOS (1997). O objetivo desse trabalho foi qualificar a melhoria, através da arborização, das condições climáticas dos ambientes externos.

Foram escolhidas três árvores adultas: Cassia Carnaval (*Senna spectabilis* var. *exelsa*), Chuva-de-ouro (*Cassia fistula*) e Escova-de-garrafa (*Callistemon viminalis*).

Sob cada uma delas, foi instalado um tripé no qual um termômetro de globo e um psicrômetro estavam fixados a uma altura de 1,30 m. Um quarto módulo foi disposto em campo aberto com o propósito de se medir temperaturas sob exposição direta da radiação solar, mantendo-se porém os bulbos dos termômetros protegidos da mesma.

O conjunto, colocado sob a sombra da Cassia Carnaval, ficou fixo durante todo o tempo, pois permanecia numa área sombreada o dia todo. Já para a Chuva-de-ouro houve a necessidade de se deslocar o equipamento, durante as duas primeiras coletas de dados do dia, ao longo de sua sombra, ou seja, às 7:00 horas estava posicionado num determinado ponto, às 9:00 horas num outro e, a partir desse horário, ficava fixo, num terceiro local, até às 18:00 horas. A mudança dos

termômetros foi necessária para que fossem mantidas as condições básicas do experimento. As Escovas-de-garrafa, por sua vez, não proporcionavam, à primeira vista, muita sombra; por isso decidiu-se colocar o tripé no meio do triângulo formado por elas, fixo durante todo o dia.

Todas as medidas foram coletadas a cada duas horas, no intervalo das 7:00 às 17:00 horas, com uma medição extra às 18:00 horas, horário em que começava o anoitecer. O experimento foi realizado em oito dias do mês de agosto de 1997.

Os gráficos de temperatura ambiente mostraram que os valores, medidos sob as copas das árvores, são semelhantes. Pequenas variações ocorreram após as 13:00 horas durante todo o período de observações. Em campo aberto, as temperaturas se elevavam até atingir o máximo, às 15:00 horas e, em seguida, voltavam a cair até se tornarem as menores temperaturas no período das 18:00 horas.

Nas temperaturas de globo, as variações durante todo o dia foram superiores àquelas citadas anteriormente. Entretanto, as temperaturas de globo, em campo aberto, estiveram, em média, superiores às demais.

Quanto à umidade relativa, foi possível verificar que as máximas, em todos os pontos amostrados, ocorreram às 7:00 horas. A análise dos gráficos também mostra a tendência no comportamento da umidade, ao longo de um dia: valores maiores que 80% na primeira hora de leitura, os quais foram decrescendo ao longo da manhã até o meio da tarde (15:00 horas) e a partir daí, começaram a se elevar novamente.

Os resultados mostraram a necessidade de se aprofundar os estudos sobre o desempenho dos indivíduos arbóreos como atenuadores da radiação solar. Os dados referentes à temperatura de globo mereceram especial atenção, evidenciando que a copa menos densa e o tamanho das folhas influem diretamente no calor radiante. A

Cassia Carnaval e a Chuva-de-ouro forneceram melhores condições de conforto térmico.

Existem, no meio científico do Brasil, outros trabalhos com a mesma preocupação sobre o desempenho dos indivíduos arbóreos quanto a atenuação da radiação solar, mas trata-se de pesquisas ligadas ao conforto térmico de animais, principalmente de gado em pastagens.

O interesse por esse tipo de estudo está ligado diretamente ao aumento de produção, ou seja, "...fornecer ao animal as condições de conforto necessárias para a expressão de seu potencial genético..." (SILVA et al.; 1996). Além da diminuição da produção, o estresse térmico pode causar uma redução na eficiência reprodutiva e tornar o animal mais vulnerável às doenças em geral.

Algumas quantificações do ganho de produção em rebanhos, devido ao uso de sombreamento, já foram realizadas. Como, por exemplo, o trabalho de HAHN (1981), citado por GHELFI FILHO et al. (1996), onde constatou-se um aumento de 20% na média de produção do gado de leite que tinha acesso à sombra.

Com o objetivo de se determinar o tipo de sombreamento adequado à pastagens, GHELFI FILHO et al. (1996) apresentaram uma avaliação térmica das sombras de duas espécies arbóreas: Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) e Sapucaia (*Lecythis pisonis*). Para a escolha foi levado em conta o tempo de crescimento, a qualidade da copa e a projeção da sombra.

O experimento foi realizado no período de verão, do dia 03 de janeiro a 17 de fevereiro de 1995, no município de Piracicaba - São Paulo. A coleta dos dados deu-se às 9:00, 12:00, 15:00 e 18:00 horas, e os parâmetros analisados foram: velocidade do vento, temperatura de globo, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido. A partir desses

valores (obtidos em campo e medidos a 1,60 m do solo), as sombras foram analisadas quantitativamente através de índices de conforto térmico.

Os índices utilizados foram: Índice de Temperatura e Umidade Relativa (THI), Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), Carga Térmica Radiante (CTR), Temperatura Efetiva (TE), e também Índice de Globo negro e Umidade (BGHU).

Considerando-se os valores médios da temperatura de globo e da carga térmica radiante, a Sibipiruna apresentou uma menor temperatura em relação à Sapucaia. Os efeitos ficaram ainda mais evidentes quando analisou-se o horário de maior incidência solar (15:00 horas) nos dias de maior desconforto do período de estudo.

Segundo os autores, o comportamento dos dados de campo comprova os resultados obtidos por WALDIGE (1994), citado por SILVA et al. (1996) onde “...árvores de copa ampla, baixa e muito densa, como Mangueiras, e neste caso, Sapucaia, são inadequadas, do ponto de vista do conforto térmico.”

Uma observação bastante relevante, nesse mesmo trabalho, é que a qualidade da sombra está relacionada diretamente à ventilação local, tanto em função da localização geográfica quanto da ventilação proporcionada pela própria espécie. Dessa forma, os índices de conforto que não consideram a velocidade do vento na composição de seus valores não são bons indicativos para esse tipo de análise.

Nas conclusões finais do artigo, GHELFI FILHO et al. (1996) afirmam que para a quantificação do nível de conforto das sombras, deve-se utilizar índices que considerem a energia radiante através da temperatura de globo e principalmente a velocidade do vento.

Também no trabalho de SILVA et al. (1996), foi estudada a redução da carga térmica radiante devido ao sombreamento proporcionado por indivíduos arbóreos. Foram amostradas três espécies arbóreas, e os resultados comparados com os obtidos em um galpão coberto com telhas de fibrocimento (tipo canaleta 90) e a céu aberto.

As espécies estudadas foram: Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*), Sapucaia (*Lecythis pisonis*) e Tipuana (*Tipuana speciosa*). A escolha foi feita em função da velocidade de crescimento, do nível de isolamento e do grau de toxidez; tendo sempre em mente que o objetivo principal é fornecer sombra para o gado no pasto.

As medições foram realizadas no período de 06 de abril a 07 de junho de 1995, no município de Piracicaba - São Paulo. Foram instalados um termômetro de globo e um higrômetro sob cada indivíduo arbóreo analisado, sob o galpão e ao sol. Os equipamentos ficaram a 1,60 m do nível do solo para simular a altura média dos animais. Os dados climáticos foram coletados às 8:00, 12:00, 14:00 e 18:00 horas; e consideravam velocidade do vento, temperatura média e umidade relativa.

Os autores afirmam que "...não existe na literatura uma indicação para quantificar a sombra proporcionada pelas espécies arbóreas...". Dessa forma, adotaram alguns índices de conforto térmico para realizar um estudo comparativo.

Os índices utilizados foram os mesmos de GHELFI FILHO et al. (1996): Índice de Temperatura e Umidade Relativa (THI), Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), Carga Térmica Radiante (CTR), Temperatura Efetiva (TE), e também Índice de Globo negro e Umidade (BGHU).

Os resultados da comparação dos índices, entre as medições realizadas sob as copas das três árvores, mostraram que indivíduos de copa densa e baixa e folhas largas não são recomendados sob o ponto de vista do conforto térmico. Isso ocorre



devido à estrutura da copa dificultar a ventilação em função da ascensão do ar quente, tornando mais difícil a sua dissipação. Esses resultados reforçaram aqueles obtidos por GHELFI FILHO et al. (1996).

Já na comparação entre Sibipiruna, galpão e ar livre (ao sol), os autores observaram que não houve uma diferença significativa entre a árvore e o telhado de fibrocimento, como barreiras à carga térmica de radiação, comparando-se os índices de temperatura de globo e carga térmica radiante.

Como conclusões finais, das três espécies analisadas a que proporciona a sombra com a melhor qualidade térmica é a Sibipiruna, em segundo lugar a Tipuana, e por último a Sapucaia.

## **4 JUSTIFICATIVA**

#### 4 JUSTIFICATIVA

A preocupação com o bem-estar do homem é um dos objetivos das pesquisas científicas. Através delas são descobertas curas para determinadas doenças, formas para aumentar a produção de alimentos e, ultimamente, maneiras de se preservar o meio.

Devido ao desenvolvimento das cidades e a conseqüente destruição da vegetação, as condições naturais do meio urbano foram significativamente alteradas. O grande volume de construções provocou uma elevação nas temperaturas e uma diminuição das umidades dos centro urbanos.

Nenhum ser vivo, animal ou vegetal, consegue ter uma vida normal sob condições de *stress* térmico. Como visto no item 3.5, a produtividade do gado diminui em situações de temperatura elevada. O homem, assim como qualquer outro organismo vivo, também tem seu rendimento prejudicado nessas circunstâncias.

Uma das soluções encontrada para diminuir o excesso de calor nas edificações foi o desenvolvimento de sistemas artificiais de condicionamento de ar. Porém, nos últimos tempos, a necessidade de economizar energia tem levado ao estudo de alternativas que substituam ou reduzam o uso de tais equipamentos.

Torna-se então premente a necessidade da utilização de elementos da natureza, ou seja, da vegetação, para se restabelecer condições adequadas de conforto térmico, respeitando-se os princípios da arquitetura bioclimática, tanto em ambientes internos quanto nos externos.

A falta de informações sobre a qualidade e a quantidade de radiação solar incidente atenuada pela vegetação dificulta a sua utilização para esse fim. Esses dados são necessários para o planejamento de áreas verdes visando o restabelecimento dos microclimas urbanos.

O conhecimento desses problemas tem levado pesquisadores à busca de soluções. Vários trabalhos enfocam as ilhas de calor; o estudo das sombras; a diminuição das temperaturas pela vegetação; a utilização da vegetação como anteparo à radiação solar, enfocando diferenças qualitativas; mas quase não se tem analisado quantitativamente os valores de radiação solar realmente atenuados pelas árvores.

Surge assim, a proposta de desenvolvimento de um projeto que tem como objetivo geral estudar o papel da vegetação, em relação ao conforto térmico, dentro da área urbana, tanto sob a forma de bosques como indivíduos isolados (LABAKI & SANTOS, 1996).

Esta dissertação é parte desse projeto e tem como objetivo específico estabelecer uma metodologia para a caracterização qualitativa e, principalmente, quantitativa da atenuação da radiação solar incidente e modificação do microclima por indivíduos arbóreos.

## **5 METODOLOGIA**

## 5 METODOLOGIA

Para o estudo da vegetação como atenuadora da radiação solar é necessário considerar-se as relações entre os indivíduos arbóreos, o meio e a radiação incidente, com especial atenção às características de cada espécie (LABAKI & SANTOS, 1996).

Conforme descrito no item 2, o estabelecimento de uma metodologia para esse tipo de estudo foi o objetivo específico deste trabalho.

Para o seu desenvolvimento foram cumpridas as seguintes etapas:

- levantamento e seleção das espécies arbóreas a serem amostradas;
- seleção dos locais de medição;
- medições de campo;
- análise dos resultados obtidos.

## 5.1 Seleção das espécies

Para dar início ao trabalho de campo foi realizado um levantamento, junto à Prefeitura Municipal de Campinas - PMC, para a obtenção dos nomes das espécies arbóreas mais utilizadas, pela mesma, para a arborização da cidade e do sub-distrito de Barão Geraldo.

Por meio de entrevistas com funcionários do viveiro municipal, chegou-se a uma lista das espécies fornecidas para a arborização urbana (QUADRO 1).

QUADRO 1

Espécies arbóreas mais utilizadas pela Prefeitura Municipal de Campinas

Nome Popular	Nome Científico	Nome Popular	Nome Científico
Skinus Moles	<i>Schinus molle</i>	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>
Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i>	Pau-ferro	<i>Caesalpinia ferrea</i>
Chuva-de-ouro	<i>Cassia fistula</i>	Jacarandá	<i>Jacaranda cuspidifolia</i>
Sabão-de-soldado	<i>Sapindus saponaria</i>	Pelthoferon	<i>Peltophorum dubium</i>
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	Aldrago	<i>Pterocarpus violaceus</i>
Mirindiba	<i>Lafoensiva glyptocarpa</i>	Cassia Grande	<i>Cassia grandis</i>
Munguba	<i>Pachira aquatica</i>	Triplaris	<i>Triplaris brasiliana</i>
Ipê Amarelo	<i>Tabebuia sp.</i>	Tamarindeiro	<i>Tamarindus indica</i>
Ipê Roxo	<i>Tabebuia sp.</i>	Tuia	<i>Thuia orientalis</i>
Sibipiruna	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	Magnólia	<i>Michelia champacca</i>
Cassia Speciosa	<i>Senna macranthera</i>	Murta	<i>Myrciaria tenella</i>
Bauínia	<i>Bauhinia forficata</i>	Caviúna	<i>Dalbergia villosa</i>

É interessante ressaltar aqui algumas informações, também fornecidas pelos funcionários do viveiro municipal, a respeito da arborização urbana de Campinas.

A escolha das espécies a serem plantadas nas ruas é feita em função da presença, ou não, de fiação (rede elétrica ou telefônica, por exemplo) no local. Na presença dessas redes, recomenda-se o plantio de espécies que não cresçam demasiadamente, a fim de que a fiação não seja danificada ou não se aumente demais os gastos com a manutenção, tanto das árvores quanto dos fios.

Conforme as mudas atingem determinado tamanho no viveiro, são colocadas à disposição para o plantio nos parques, praças ou ruas. Muitas vezes, os próprios moradores requisitam determinadas espécies. Neste caso a Prefeitura apenas observa a adequação da espécie ao local do pedido (como por exemplo a presença da rede telefônica ou elétrica citadas acima).

Em face dos dados e informações obtidas, e do tempo disponível para a realização das medições ser limitado, optou-se por trabalhar com cinco espécies arbóreas. Dessa forma, com a lista em mãos (QUADRO 1), foi dado início à procura dos indivíduos arbóreos que cumprissem determinados requisitos como:

- serem consideradas adultas (idade biológica);
- as características físicas das mesmas serem representativas em relação à espécie;
- estarem situadas em locais de acordo com os critérios adotados para seleção dos locais de medição (item 5.2).

Levando-se em consideração os aspectos acima, foram selecionadas as seguintes espécies: Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Chuva-de-ouro (*Cassia fistula*),



Magnólia (*Michelia champacca*), Ipê Roxo (*Tabebuia impetiginosa*) e Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*).

### 5.1.1 Caracterização geral das espécies selecionadas

Como características gerais de três das cinco espécies selecionadas (lembrando-se que essas três são nativas do Brasil), LORENZI (1992) fornece as seguintes informações:

#### A) JATOBÁ (*Hymenaea courbaril*)

Características morfológicas: Altura de 15-20 m, tronco com diâmetro de até 1m. Folhas compostas de dois folíolos brilhantes, de 6-14 cm de comprimento.

Informações ecológicas: Árvore semidecídua, heliófita ou esciófita, seletiva xerófila, característica da floresta latifoliada semidecídua. Pouco exigente em fertilidade e umidade do solo, geralmente ocorrendo em terrenos bem drenados. Produz anualmente grande quantidade de sementes.

Fenologia: Floresce durante os meses de outubro-dezembro. Os frutos amadurecem a partir do mês de julho.

Madeira: Muito dura ao corte, pesada, de média resistência ao ataque de insetos xilófagos sob condições naturais. Alburno branco-amarelado, espesso e nitidamente diferenciado do cerne.

Utilidade: Árvore de fácil multiplicação, não pode faltar na composição de reflorestamentos heterogêneos e na arborização de parques e grandes jardins. Os frutos contém uma farinha comestível e muito nutritiva, consumida tanto pelo homem como pelos animais silvestres.

Ocorrência: Piauí até o norte do Paraná na floresta semidecídua, tanto em solos de alta como de média fertilidade (cerradões).

## **B) IPÊ ROXO (*Tabebuia impetiginosa*)**

Características morfológicas: Altura de 8-12 m (20-30 m no interior da floresta), tronco com diâmetro de 60-90 cm. Folhas compostas de 5-folioladas; folíolos coriáceos, pubescentes em ambas as faces, de 9-18 cm de comprimento por 4-10 cm de largura.

Informações ecológicas: Árvore decídua durante o inverno, heliófita, característica das florestas semidecídua e pluvial. Possui dispersão ampla, porém bastante esparsa. Ocorre tanto no interior da floresta primária densa, como nas formações abertas e secundárias.

Fenologia: Floresce durante os meses de maio até agosto, totalmente despida de sua folhagem. A frutificação ocorre nos meses de setembro até o início de outubro.

Madeira: Muito pesada, muito dura ao corte, resistente ao ataque de organismos xilófagos.

Utilidade: Devido à beleza de sua floração, é uma das espécies mais populares em uso no paisagismo em geral, especialmente útil para arborização de ruas e avenidas. É ótima para reflorestamentos mistos destinados à recomposição de áreas degradadas de preservação permanente.

Ocorrência: Piauí e Ceará até Minas Gerais, Goiás e São Paulo, tanto na mata pluvial atlântica como na floresta semidecídua. Ocasional no cerrado e na caatinga.

### **C) SIBIPIRUNA (*Caesalpinia peltophoroides*)**

Características morfológicas: Altura de 8-16 m, tronco de 30-40 cm de diâmetro. Folhas compostas bipinadas de 20-25 cm de comprimento, com 17-19 pares de pinas; folíolos em número de 13-27 por pina, de 10-12 mm de comprimento.

Informações ecológicas: Árvore semidecídua, heliófita, indiferente às condições físicas do solo. É característica da mata pluvial atlântica. Produz anualmente grande quantidade de sementes.

Fenologia: Floresce a partir do fim de agosto até meados de novembro. Os frutos amadurecem desde o final de julho até meados de setembro.

Madeira: Dura, moderadamente pesada, textura média e não muito boa durabilidade natural.

Utilidade: Por sua copa ser bastante ornamental, é, atualmente, uma das espécies nativas mais cultivadas para arborização de ruas do centro-sul do país. Árvore de médio a rápido crescimento, também é indicada para plantios mistos em áreas degradadas de preservação permanente.

Ocorrência: Mata atlântica do Rio de Janeiro, sul da Bahia e Pantanal Mato-grossense. Ocorre tanto no interior da mata primária como em formações abertas.

As outras duas espécies analisadas (Chuva-de-ouro e Magnólia) são exóticas, ou seja, foram trazidas de outros países para o Brasil. Como características gerais dessas espécies pode-se citar:

#### **D) MAGNÓLIA (*Michelia champacca*)**

Características morfológicas: Árvore média a grande; ramos novos pubescentes; folhas alternas, grandes, com margens levemente onduladas, na face leve e no verso densamente pubescente, de 20-28 cm de comprimento e 8-10 cm de largura, com pecíolo de 2-4 cm de comprimento (CORRÊA, 1984).

Informações ecológicas: Tem queda intensa de folhas e sementes.

Madeira: De pequenas dimensões, mas muito resistente.

Utilidade: Árvore de crescimento rápido, é muito usada na arborização de ruas e praças. Na época de maturação dos frutos, as sementes (que são oleaginosas) atraem grande quantidade de pássaros, principalmente sabiás.

Origem: Nativa da Ásia, mais precisamente da Índia.

### **E) CHUVA-DE-OURO (*Cassia fistula*)**

Características morfológicas: Atinge em média 10 m de altura. Folhas compostas, com 4-8 pares de folíolos de 5-15 cm de comprimento.

Informações ecológicas: Árvore decídua, heliófita.

Fenologia: Floresce de setembro até o início do verão (dezembro).

Utilidade: Árvore de crescimento rápido, é indicada para a composição de parques, praças, ruas e avenidas.

Origem: Nativa da Ásia, principalmente Índia e Sri Lanka (PARQUE ECOLÓGICO - UNICAMP, 97; GRAF, 1992).

### **5.1.2 Caracterização dos indivíduos arbóreos analisados**

Através das observações realizadas em campo, chegou-se a algumas características particulares dos indivíduos arbóreos analisados. Essa caracterização é apresentada no QUADRO 2.

As árvores estudadas são apresentadas nas FIG. 19, 20, 21, 22 e 23. É importante observar na FIG. 23 que o tronco da Sibipiruna é composto por quatro

partes, ou seja, ainda ao nível do solo ele se ramificou em quatro. A medida do diâmetro do tronco, fornecida no QUADRO 2, foi feita naquele de maior espessura.



FIGURA 19 - Jatobá analisado (*Hymenaea courbaril*)



FIGURA 20 - Chuva-de-ouro analisada (*Cassia fistula*)



FIGURA 21 - Magnólia analisada (*Michelia champacca*)





FIGURA 22 - Ipê Roxo analisado (*Tabebuia impetiginosa*)



FIGURA 23 - Sibipiruna analisada (*Caesalpinia peltophoroides*)

**QUADRO 2**  
Características das espécies arbóreas analisadas

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>ESPÉCIES ARBÓREAS</b>				
	<b>Jatobá</b>	<b>Magnólia</b>	<b>Ipê Roxo</b>	<b>Sibipiruna</b>	<b>Chuva-de-ouro</b>
Altura aproximada da árvore (m)	15	9	11	8	7
Altura do fuste (m)	3,1	1,7	2,8	3,0	1,7
Diâmetro do tronco (cm)	76	27	38	19	20
Cor do tronco	marrom claro	acinzentado	acinzentado	marrom claro	marrom claro
Rugosidade do tronco	pouco rugoso	pouco rugoso	muito rugoso	pouco rugoso	pouco rugoso
Diâmetro da copa (m)	23	8	10	6	7
Densidade da copa	média	densa	rala	média	média
Comprimento da folha (cm)	5,0	23,0	17,0	0,9	11,5
Largura da folha (cm)	2,0	7,0	9,0	0,5	4,5
Cor da folha	verde médio	verde escuro	verde claro	verde médio	verde médio

## 5.2 Seleção dos locais de medição

A escolha dos sítios de medição ficou estritamente ligada às espécies utilizadas pela Prefeitura e a fatores físicos relacionados ao meio. Esses dois aspectos foram considerados quase que simultaneamente, ou seja, ao mesmo tempo em que uma espécie da lista era procurada, o local onde ela se localizava também era analisado quanto à sua adequação ao experimento.

Cabe ressaltar aqui a enorme dificuldade de se encontrar indivíduos em condições consideradas ideais para a realização das medições.

Nessa procura, foram observados os seguintes pontos:

- disposição desses indivíduos em relação ao entorno que permitisse a correta realização das medições: ausência de sombra de edificações ou outras árvores, topografia do terreno ao redor da árvore etc.
- local acessível, que ao mesmo tempo restringisse a interferência de terceiros nos equipamentos;
- uniformidade das condições em torno das árvores, relacionada à ausência de pavimentação e construções próximas.

Devido a essas restrições, a escolha dos indivíduos arbóreos e conseqüentemente dos locais de medição ficou bastante limitada.

As medições não podiam ser realizadas nas ruas, pois havia o perigo de pessoas mexerem nos equipamentos, alterando resultados, ou até mesmo roubá-los. Dessa forma optou-se por locais não tão públicos.

A Fazenda Santa Elisa, do Instituto Agronômico de Campinas - IAC, foi um dos locais escolhidos. Nela foram encontradas várias espécies do QUADRO 1, mas somente três forneciam condições adequadas para a realização do experimento. Entre as restrições quanto ao local podemos citar:

- sombra de outras árvores ou edificações no indivíduo selecionado, interferindo nas medições;
- terreno com desníveis acentuados impedindo que os solarímetros e o radiômetro ficassem corretamente nivelados;
- grande proximidade de construções de modo que as medidas de temperatura seriam afetadas pela reflexão ou emissão de radiação dessas edificações.

Como somente três indivíduos (Jatobá, Magnólia e Ipê Roxo), no IAC, cumpriam todos os requisitos necessários para a realização das medições, buscou-se outros locais onde se pudesse encontrar as outras duas árvores.

Um outro experimento com árvores já havia sido realizado dentro do campus da UNICAMP (BUENO, LABAKI & SANTOS, 1997). Dessa forma, com o prévio conhecimento do local e das plantas analisadas, optou-se pela quarta espécie (Chuva-de-ouro).

O quinto e último indivíduo arbóreo (Sibipiruna) foi encontrado em um condomínio fechado, chamado Vinhas da Vista Alegre, localizado na cidade de Vinhedo. A explicação para esse fato está na dificuldade, já citada anteriormente, de

se encontrar árvores em condições ideais para as medições, e ao tempo restrito para a realização das mesmas.

Embora a localização do quinto indivíduo seja em outra cidade (Vinhedo), a proximidade com Campinas faz com que as condições climáticas sejam bastante semelhantes, não afetando a legitimidade do experimento nem influenciando os resultados obtidos.

No QUADRO 3 estão listadas as espécies arbóreas selecionadas e os respectivos locais de medição.

QUADRO 3  
Locais das medições

INDIVÍDUO	LOCAL
Jatobá	Fazenda Santa Elisa - IAC
Chuva-de-ouro	UNICAMP
Magnólia	Fazenda Santa Elisa - IAC
Sibipiruna	Condomínio Vista Alegre - Vinhedo
Ipê Roxo	Fazenda Santa Elisa - IAC

### 5.3 Equipamentos

As medições da radiação solar foram realizadas com dois solarímetros lineares, modelo TSL, da DELTA-T Devices; e um radiômetro linear, modelo TRL, também da DELTA-T Devices. Os sensores desses equipamentos foram conectados a um integrador da mesma marca (FIG. 24), modelo DL2, para a coleta automática dos dados.

Também foram utilizados dois termômetros de globo e dois psicrômetros a ventilação natural para as medições de temperatura e umidade relativa.

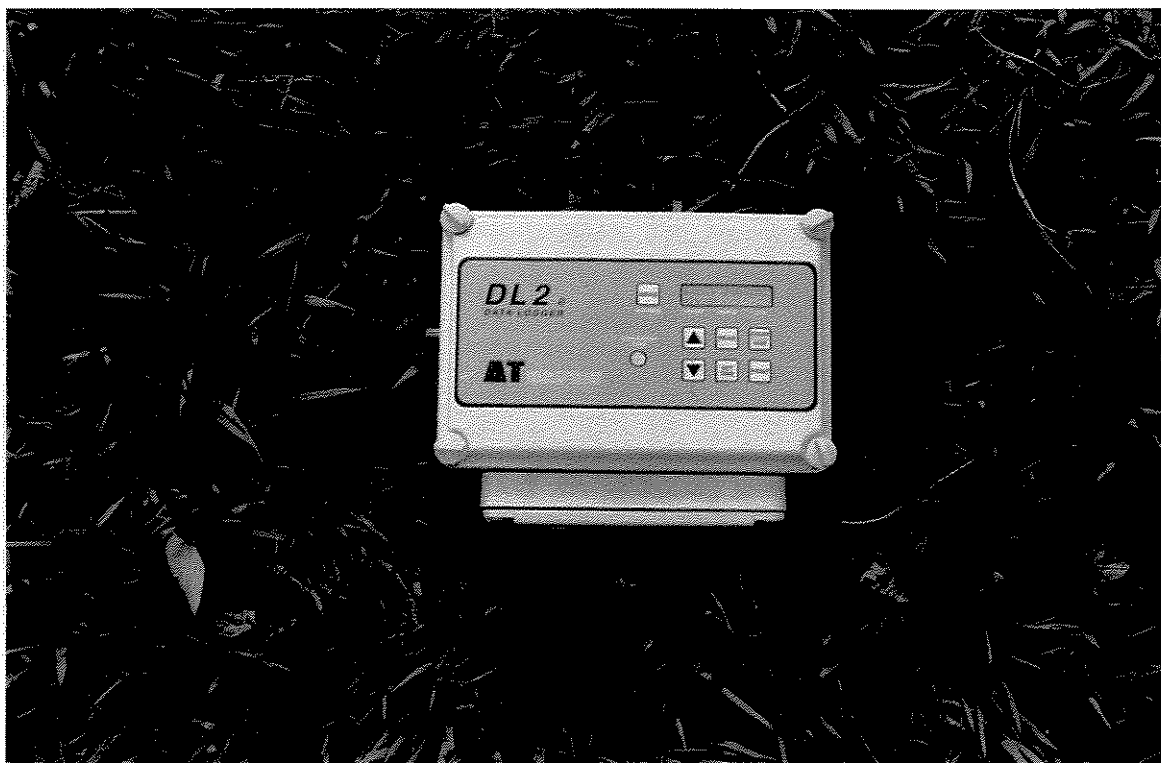


FIGURA 24 - Integrador, modelo DL2 da marca DELTA-T Devices.

### 5.3.1 Termômetros

Para as medições de temperatura ambiente foram utilizados dois termômetros de bulbo seco, com escalas de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a menor divisão correspondendo a  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Esses dois termômetros, e mais os termômetros de bulbo úmido, fazem parte dos dois psicrômetros a ventilação natural utilizados para o cálculo, a partir de suas leituras, da umidade relativa.

Os termômetros de bulbo úmido também possuem uma variação de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a menor divisão da escala correspondendo a  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (FIG. 25).

Foram utilizados ainda dois termômetros de globo, com diâmetro de  $11,7\text{ cm}$  cada um. Sua escala varia de  $0\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com menor divisão de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (FIG. 25).

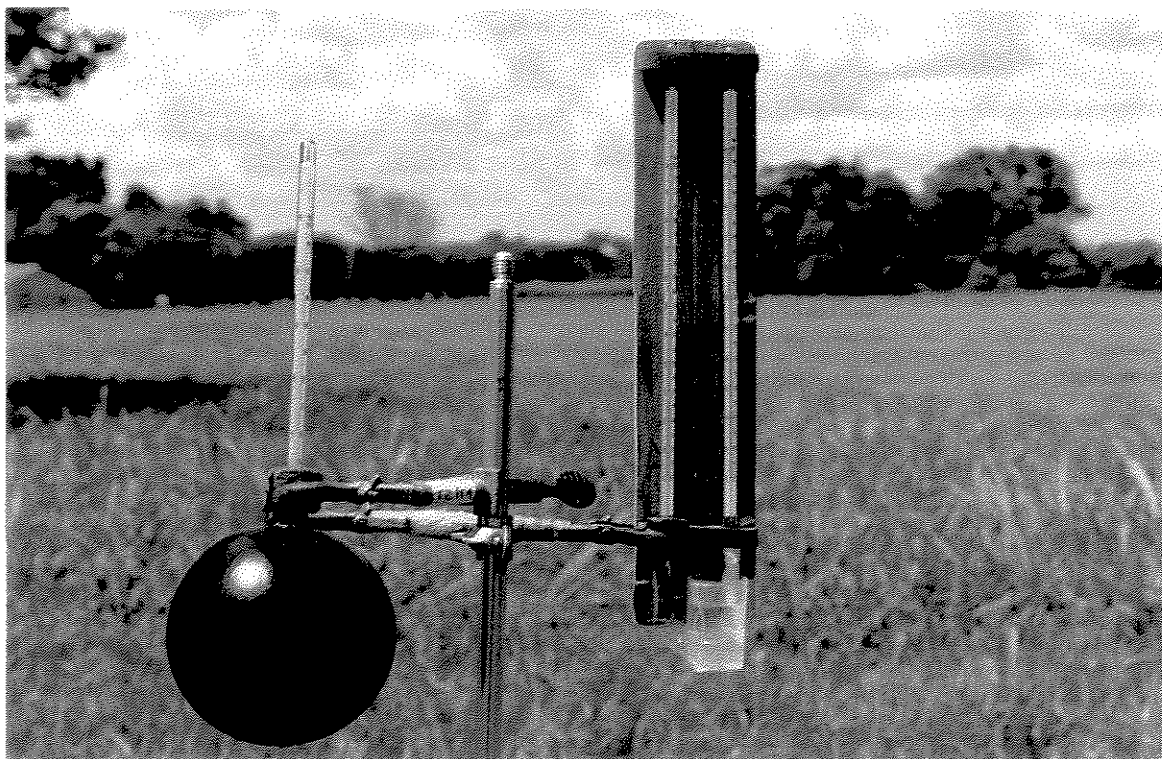


FIGURA 25 - Termômetro de globo e psicrômetro a ventilação natural.



### 5.3.2 Radiômetro

A coleta de dados relativos à radiação solar incidente, na faixa de 350 nm a 100000 nm, foi realizada com um radiômetro linear. A sua resposta espectral é uniforme sobre todo o espectro solar de onda curta (com exceção da ultravioleta) e de onda longa terrestre (DELTA-T, [199-]).

O radiômetro tem sua saída regulada para 15 mV por  $\text{kW/m}^2$  de radiação solar captada. A calibração foi feita a partir da comparação com um radiômetro de domo padrão, tipo Funk, sob condições de luz difusa (à luz do dia), ainda na fábrica.

O equipamento possui pequenos níveis de bolha, nas extremidades, para que seu posicionamento horizontal seja facilitado. Além disso, tensores longitudinais ajudam a mantê-lo reto, sem flecha.

Uma fina camada de polieteno cobre o sensor a fim de protegê-lo. Esse polieteno deve ser inflado com ar seco para estabilizar sua forma e prevenir a condensação de vapor no seu interior. A taxa de fluxo e a pressão de ar seco necessárias nesse caso são muito baixas. Um esquema da montagem do equipamento próprio para esse fim está na FIG. 26. E aquele utilizado nas medições na FIG. 27.

As especificações do radiômetro linear utilizado (FIG. 28) são:

- Saída: 15 ( $\pm 10\%$ ) mV por  $\text{kW/m}^2$ ;
- Resistência: 280  $\Omega$  aproximadamente;
- Tempo de resposta: 9 s (63%), 45 s (99%);
- Tamanho total: 990  $\times$  60 mm;
- Diâmetro do tubo: 29 mm;
- Tamanho do sensor: 800  $\times$  22 mm.

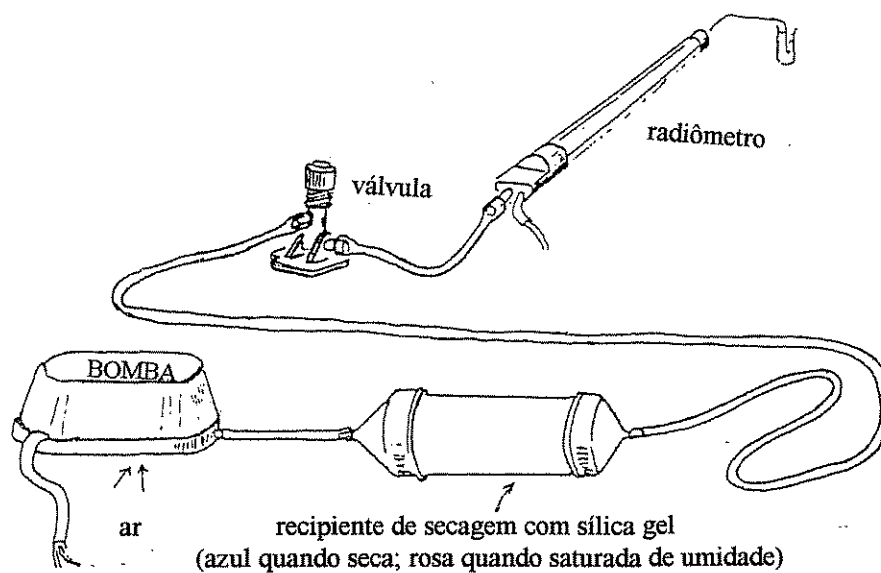


FIGURA 26 - Esquema de montagem dos equipamentos que inflam o radiômetro

FONTE - DELTA-T, 1993 (a). p. 2.

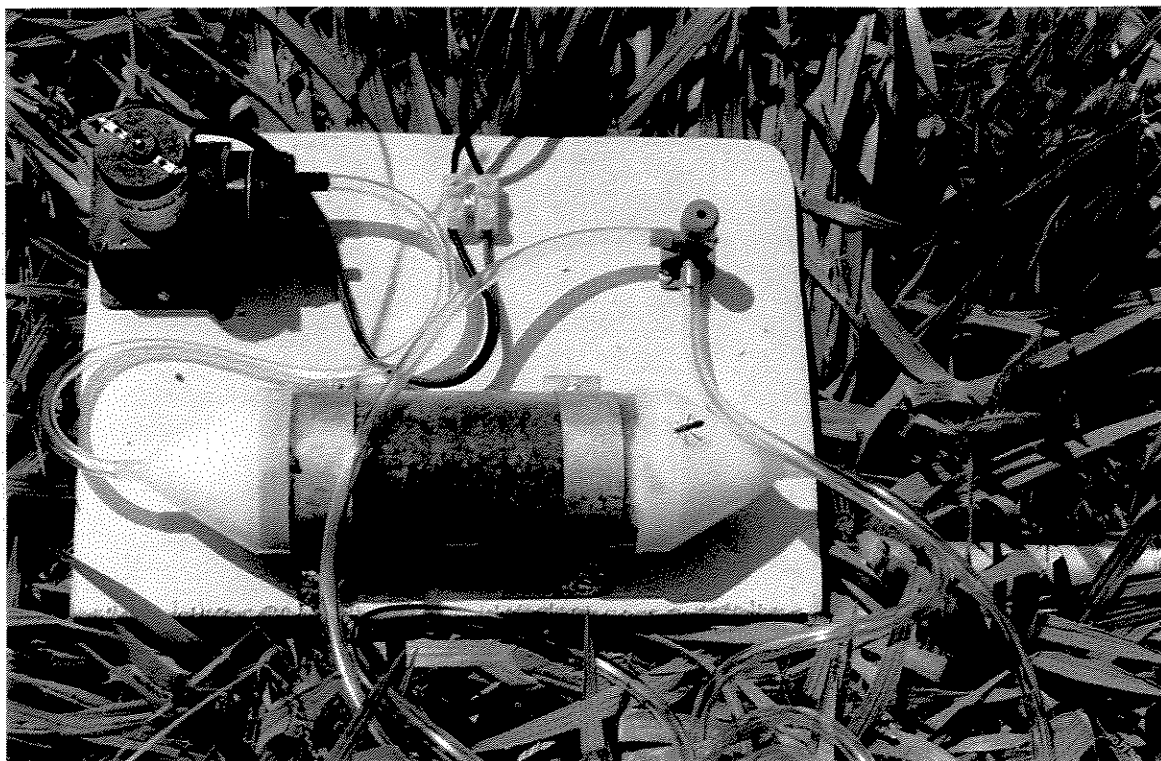


FIGURA 27 - Compressor de ar e recipiente de secagem com sílica gel.

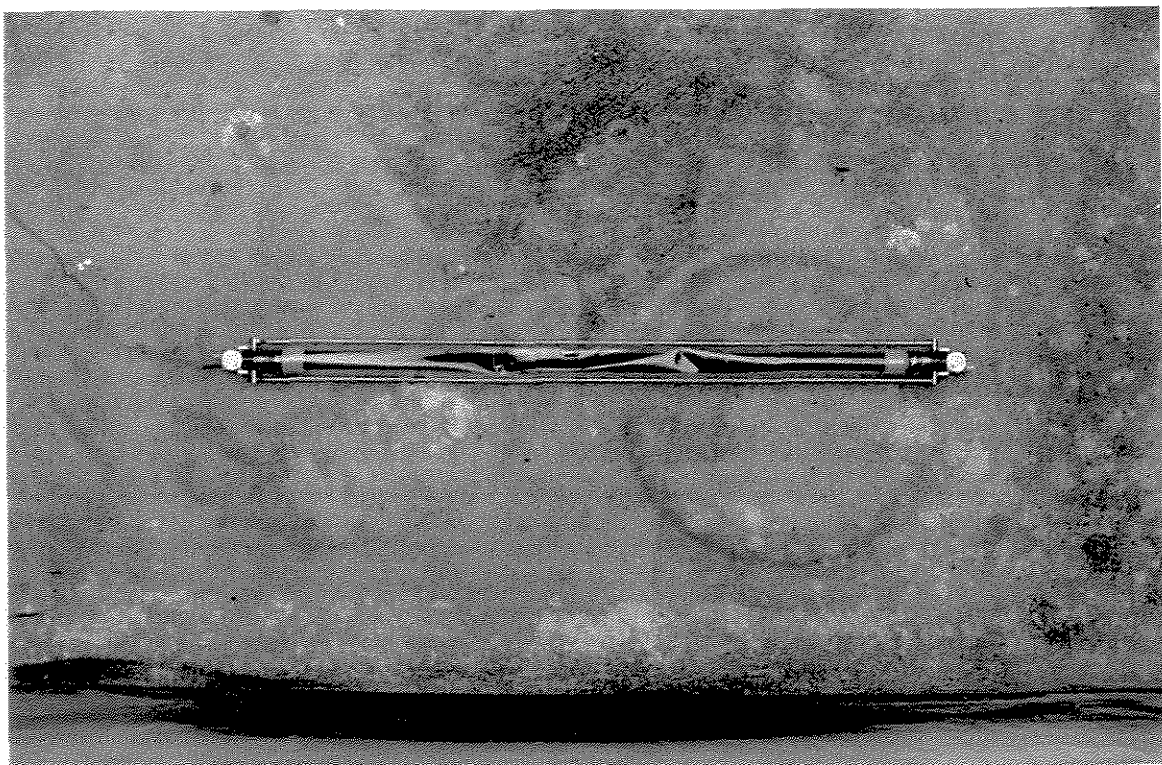


FIGURA 28 - Radiômetro linear, modelo TRL, da DELTA-T Devices.

### 5.3.3 Solarímetros

Os solarímetros lineares foram desenvolvidos para medir a irradiância média (em  $\text{kW/m}^2$ ) em situações onde a distribuição de energia radiante não é uniforme, isto é, sob folhagens, em estufas etc. Seu desenho tubular proporciona a média espacial necessária para minimizar a movimentação das folhagens das plantas (DELTA-T, 1993 (b)). Na FIG. 29 pode-se observar um esquema do solarímetro linear.

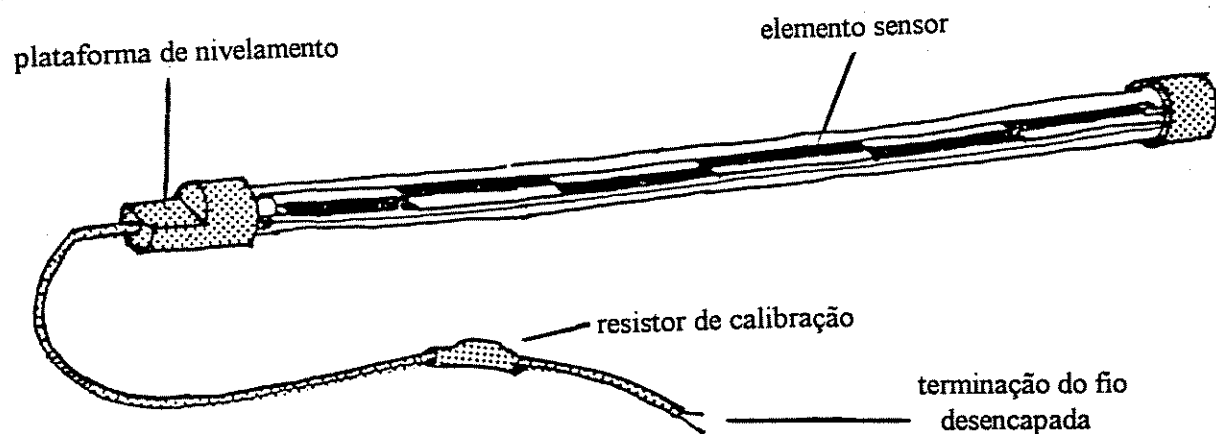


FIGURA 29 - Desenho esquemático de um solarímetro linear

FONTE - DELTA-T, 1993 (b). p. 4.

A fim de se obter dados sobre a radiação solar incidente, na faixa de 350 nm a 2500 nm, foram utilizados dois solarímetros lineares (um ao sol e outro à sombra dos indivíduos arbóreos analisados). Sua resposta espectral abrange a região do visível e do infravermelho de onda curta (FIG. 30). A calibração desses solarímetros lineares é feita na fábrica, sob condições de luz difusa, e tem uma regulagem de saída (*output*) de 15 mV por  $\text{kW/m}^2$ , ou seja:

$$\text{Irradiância (kW/m}^2\text{)} = \frac{\text{voltagem medida (mV)}}{15} \quad [3]$$

O elemento sensor de cada aparelho é protegido por um tubo de vidro Pyrex. Os solarímetros são supridos de ar seco e selados (FIG. 31).

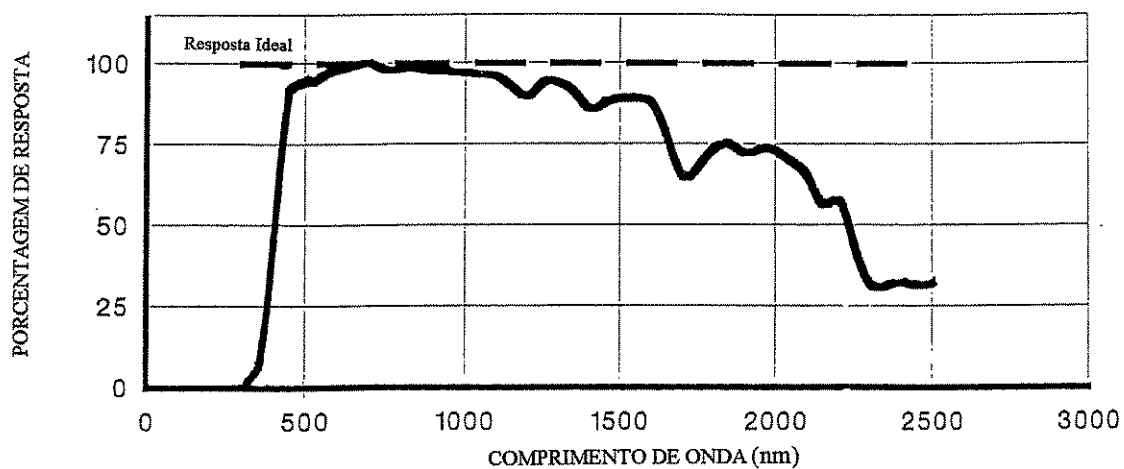


FIGURA 30 - Resposta espectral de um solarímetro de tubo. Adaptado de DELTA-T, 1993 (b). p. 5.

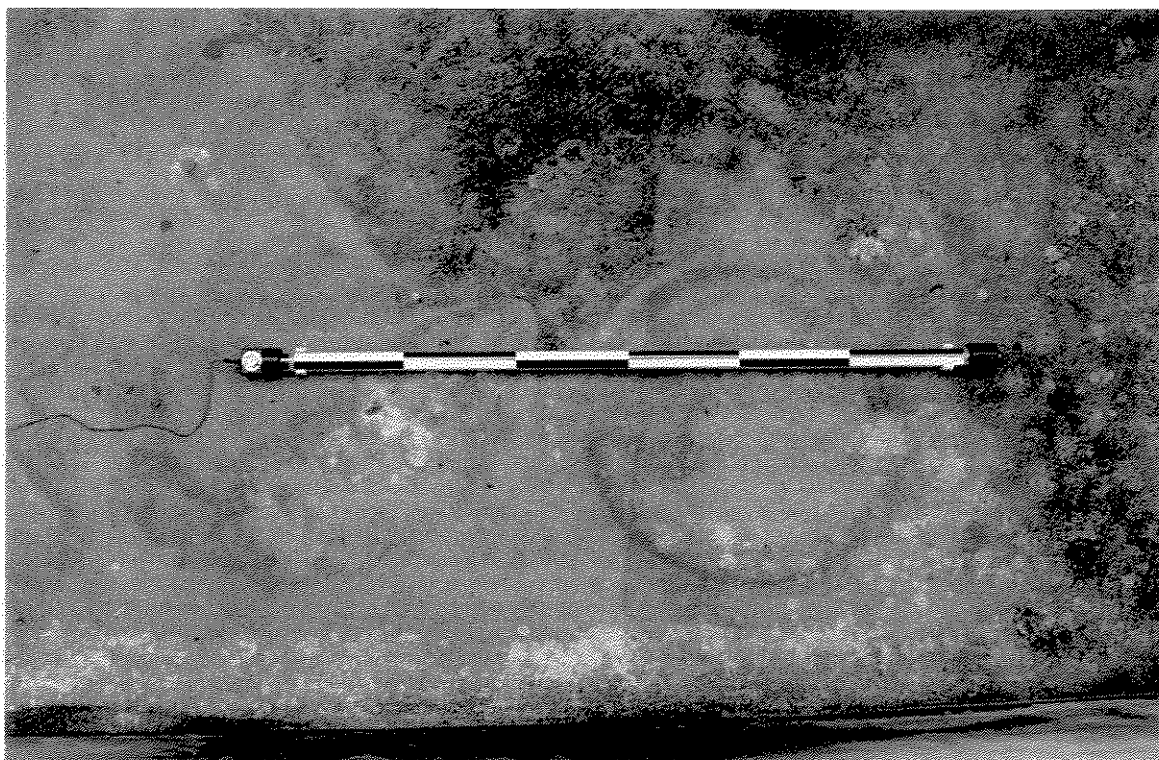


FIGURA 31 - Solarímetro linear, modelo TSL, da DELTA-T Devices.

O funcionamento do equipamento se baseia na pequena diferença de temperatura entre as áreas brancas e pretas, resultante do fluxo de energia incidente,

que é transformada em voltagem por um sensor de cobre. As áreas brancas e pretas são alternadas a fim de que quando a radiação atingir um lado do tubo mais do que o outro, a diferença média da temperatura entre essas áreas não seja afetada.

Esses solarímetros lineares têm uma variação direcional na sensibilidade, devido ao sua forma. Eles têm a sensibilidade ligeiramente maior quando os raios solares incidem em ângulos retos em relação ao eixo do tubo, e menor sensibilidade com a incidência dos raios em ângulos oblíquos (FIG. 32). Para ângulos solares maiores que  $30^\circ$  (relativo ao eixo do tubo) esta variação na sensibilidade é menor que  $\pm 3\%$ . Os erros devido à sensibilidade direcional podem ser minimizados pela orientação do equipamento no sentido Norte-Sul.

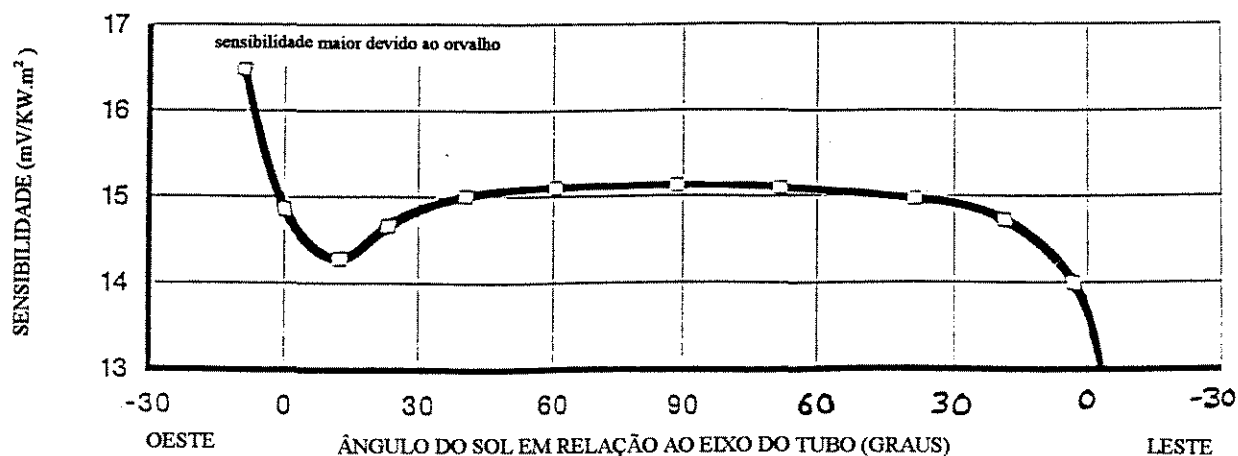


FIGURA 32 - Variação típica da sensibilidade de um solarímetro devido ao ângulo solar (eixo maior direcionado no sentido Leste-Oeste)

FONTE - DELTA-T, 1993 (b). p. 5.

## **5.4 Método de tratamento e análise dos resultados**

Para melhor visualização e análise dos dados obtidos foram elaborados vários gráficos (ANEXO A) com os resultados das medições de temperatura e radiação solar, além daqueles com os valores de umidade relativa. As umidades foram calculadas através de expressões matemáticas que consideram as medidas dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido (psicrômetro a ventilação natural).

### **5.4.1 Temperaturas**

A análise das temperaturas dos termômetros de globo e bulbo seco (temperatura ambiente) foi baseada, principalmente, em gráficos. A partir dos dados de campo foram traçados os gráficos, um para cada dia de medição, onde constam os valores de temperatura ambiente e temperatura de globo, ao sol e à sombra (ANEXO A). Cada um deles, portanto, é composto de quatro curvas.

Como as medições dos diferentes indivíduos arbóreos foram realizadas em dias diferentes, adotou-se como parâmetro de normalização a temperatura ao sol, pois o objetivo é justamente quantificar o efeito da sombra de cada indivíduo.

Para essa normalização, propõe-se o cálculo das variações relativas da temperatura ambiente pela expressão:

$$VR_{T_A} = \frac{T_{A_{sol}} - T_{A_{sombra}}}{T_{A_{sol}}} \cdot 100 \quad [4]$$

onde

$VR_{T_A}$   $\Rightarrow$  variação relativa da temperatura ambiente (%);

$T_{A_{sol}}$   $\Rightarrow$  temperatura ambiente ao sol (°C);

$T_{A_{sombra}}$   $\Rightarrow$  temperatura ambiente à sombra do indivíduo arbóreo analisado (°C).

E da temperatura de globo por:

$$VR_{T_G} = \frac{T_{G_{sol}} - T_{G_{sombra}}}{T_{G_{sol}}} \cdot 100 \quad [5]$$

onde

$VR_{T_G}$   $\Rightarrow$  variação relativa da temperatura de globo (%);

$T_{G_{sol}}$   $\Rightarrow$  temperatura de globo ao sol (°C);



$T_{G_{sombra}}$   $\Rightarrow$  temperatura de globo à sombra do indivíduo arbóreo analisado ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Com os valores em mãos, calculou-se a média horária dessas variações relativas, tanto para as temperaturas ambiente como de globo, para cada árvore analisada:

$$M_V = \frac{VR1 + VR2 + VR3 + VR4 + VR5}{5} \quad [6]$$

onde

$M_V \Rightarrow$  média das variações relativas (%);

$VRN \Rightarrow$  variação relativa de temperatura no dia N analisado(%).

Dessa forma, foram elaborados dois gráficos que dão uma idéia geral da variação relativa das temperaturas (ambiente e globo) nos cinco indivíduos arbóreos analisados.

### 5.4.2 Umidade relativa

Os valores de umidade relativa foram calculados a partir das temperaturas de bulbo seco ( $T_s$ ) e bulbo úmido ( $T_u$ ) dos psicrômetros a ventilação natural.

Esses cálculos foram feitos utilizando-se a expressão:

$$f = 100 \times \frac{e}{e_{ps}} \quad [7]$$

onde

$f$   $\Rightarrow$  umidade relativa (%);

$e$   $\Rightarrow$  tensão de vapor do ar (mb);

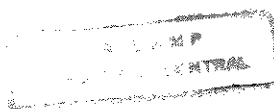
$e_{ps}$   $\Rightarrow$  tensão de vapor calculada com a temperatura de bulbo seco (mb).

Para a obtenção dos valores da tensão de vapor ( $e_{ps}$ ) utilizou-se a equação de Tetens, citado por ZUFFO (1998):

$$e_{ps} = 6,11 \times 10^{\left(\frac{7,5T_s}{237,3+T_s}\right)} \quad [8]$$

onde

$e_{ps}$   $\Rightarrow$  tensão de vapor calculada com a temperatura de bulbo seco (mb);



$T_s$   $\Leftrightarrow$  temperatura de bulbo seco, isto é temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Já o valores da tensão de vapor do ar ( $e$ ), foram calculados a partir da expressão fornecida por BARTH et al. (1987):

$$e_u^* - e = A \frac{P}{1000} (T_s - T_u) \quad [9]$$

onde

$e_u^*$   $\Leftrightarrow$  tensão de saturação, função de  $T_u$  (mb);

$e$   $\Leftrightarrow$  tensão de vapor do ar (mb);

$P$   $\Leftrightarrow$  pressão atmosférica do ar (mb), valor adotado: 961,574 mb  
(cidade de Campinas - obtido no CEPAGRI da UNICAMP);

$T_s$   $\Leftrightarrow$  temperatura de bulbo seco, isto é temperatura do  
ar ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_u$   $\Leftrightarrow$  temperatura de bulbo úmido ( $^{\circ}\text{C}$ );

$A$   $\Leftrightarrow$  constante psicrométrica, valendo 0,79 para psicrômetros a  
ventilação natural.

O cálculo do valor de " $e_u^*$ " também é feito utilizando-se a expressão [8], porém ao invés de " $T_s$ ", usa-se " $T_u$ ":

$$e_{pu} = e_u^* = 6,11 \times 10^{\left( \frac{7,5T_u}{237,3 + T_u} \right)} \quad [10]$$

onde

$e_{pu}$   $\Rightarrow$  tensão de saturação calculada com a temperatura de bulbo úmido (mb);

$T_u$   $\Rightarrow$  temperatura de bulbo úmido ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Depois de obtidos, “ $e$ ” e “ $e_{ps}$ ” foram substituídos na equação [7].

Com todos os valores de umidade relativa calculados, foram elaborados os gráficos correspondentes a cada dia de medição.

### 5.4.3 Radiação solar

A partir das listagens fornecidas pelo integrador (ANEXO B), os dados provenientes dos solarímetros e do radiômetro foram transformados em gráficos. Cada um deles contém: uma curva com os dados do solarímetro ao sol, outra com os dados do solarímetro à sombra e uma terceira com os dados do radiômetro.

Com as curvas em mãos, as integrais de todos os gráficos foram calculadas para que se pudesse comparar as porcentagens diárias de atenuação da radiação solar de cada indivíduo arbóreo analisado, de acordo com a expressão:

$$At = \frac{S_{sol} - S_{sombra}}{S_{sol}} \cdot 100 \quad [11]$$

onde

$At$   $\Rightarrow$  atenuação da radiação solar (%);

$S_{sol}$   $\Rightarrow$  área do gráfico, que fornece a energia total incidente ( $\text{kW.h/m}^2$ ), coletada pelo solarímetro ao sol, no intervalo de tempo considerado (o dia todo);

$S_{sombra}$   $\Rightarrow$  área do gráfico, que fornece a energia total incidente ( $\text{kW.h/m}^2$ ), coletada pelo solarímetro à sombra, no intervalo de tempo considerado (o dia todo).

A fim de se obter uma análise mais adequada das atenuações da radiação solar, foram calculados os erros padrões das médias dessas atenuações. Assim, para cada árvore foi calculada a média das atenuações, correspondente ao período de medições (cinco dias), e o seu respectivo erro padrão (TOPPING, 1972):

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad [12]$$

onde

$\alpha$   $\Rightarrow$  erro padrão da média;

$\sigma$   $\Rightarrow$  desvio padrão;

$n$   $\Rightarrow$  número de elementos.

Dessa forma, foi possível comparar as espécies e observar qual oferece melhores condições de conforto térmico devido à maior atenuação da radiação solar.

Para avaliar a relação entre os dados de radiação solar, radiação de onda longa e temperatura (ambiente e globo) de cada dia de medição, foram adotados os seguintes procedimentos:

1) com os dados dos solarímetros e do radiômetro, calculou-se a integral, para cada hora de medição, de cada um deles (solarímetro ao sol, solarímetro à sombra e radiômetro). A partir dessas áreas dos gráficos dos solarímetros, calculou-se a atenuação horária da radiação:

$$VR_{SS} = \frac{I_{sol} - I_{sombra}}{I_{sol}} \cdot 100 \quad [13]$$

onde

$VR_{SS}$   $\Rightarrow$  variação relativa entre os valores de radiação medidos ao sol e à sombra pelos solarímetros (%);

$I_{sol}$   $\Rightarrow$  área do gráfico, que fornece a energia total incidente ( $\text{kW.h/m}^2$ ), coletada pelo solarímetro ao sol em uma hora;

$I_{sombra}$   $\Rightarrow$  área do gráfico, que fornece a energia total incidente ( $\text{kW.h/m}^2$ ), coletada pelo solarímetro à sombra em uma hora.

2) a partir desses novos dados foram traçados dois tipos de gráficos de dispersão diferentes. Um com a variação relativa de temperatura ambiente ( $VR_{T_A}$ , equação [4] ) e variação relativa entre os valores de radiação medidos ao sol e à sombra pelos solarímetros ( $VR_{SS}$ , equação [13] ); e o outro com as temperaturas de

globo lidas e os valores horários de radiação, coletados pelo radiômetro, e calculados através da integração do gráfico. É importante lembrar que para cada dia analisado foi observada a posição do radiômetro; se o aparelho estivesse na sombra eram adotadas as temperaturas de globo à sombra e vice-versa.

## **6      MEDIÇÕES**



## 6 MEDIÇÕES

As medições de campo foram realizadas entre os meses de fevereiro a maio de 1998, em dias em que as condições do céu podiam ser: aberto, parcialmente nublado ou nublado, mas nunca em dias chuvosos.

Os equipamentos (dois solarímetros, um radiômetro, dois psicrômetros e dois termômetros de globo) foram colocados em suportes que permitiram sua fixação a uma altura de 1,30 m, altura aproximada do tórax de uma pessoa, e dispostos da seguinte maneira:

- expostos ao sol: um solarímetro e um conjunto de psicrômetro mais termômetro de globo;
  
- à sombra da árvore analisada: outro solarímetro e outro conjunto de psicrômetro mais termômetro de globo.

Os equipamentos colocados à sombra eram, em geral, deslocados ao longo do dia, acompanhando a sombra da árvore. Devido à isso, a distância do equipamento à árvore não é constante.

A intenção de se dispor os equipamentos, ao mesmo tempo, sob a sombra dos indivíduos arbóreos e ao sol, foi comparar os valores coletados.

O radiômetro por sua vez foi posicionado, alternadamente, ao sol e à sombra ao longo dos cinco dias de medição de cada indivíduo arbóreo; ou seja, no primeiro dia era colocado ao sol, no segundo à sombra e assim por diante. Tanto ele quanto os solarímetros foram conectados a um integrador configurado para registrar os dados a cada dez minutos. Ligados por volta das 7:10 h e desligados aproximadamente às 17:30 h, foram aproveitados 59 valores coletados por dia de medição, num total de 1475 pontos. A fim de que o intervalo de cada gráfico diário de radiação solar fosse semelhante, adotou-se como ponto inicial o primeiro dado coletado após às 7:20 h; e como ponto final, o primeiro valor obtido depois das 17:00 h. Algumas listagens de dados fornecidas pelo integrador estão no ANEXO B.

O integrador ficou dentro de um automóvel para proteção contra intempéries ou acidentes, não registrando as temperaturas ao sol nem à sombra, mas sim a do interior do veículo. Dessa forma, as medidas de temperatura coletadas por ele, através de um sensor interno, foram desprezadas, pois não tinham nenhum significado para este trabalho.

Também é conveniente lembrar que as medições dos dias: 17, 18, 21 e 23 de fevereiro e 11, 12 e 13 de março, foram realizadas com o integrador configurado para o horário de verão (ver listagem do dia 18 de fevereiro fornecida pelo próprio aparelho, ANEXO B). Esse detalhe não teve influência nos intervalos utilizados para análise, pois antes da confecção dos gráficos os horários foram corrigidos.

As medições de temperatura ambiente, de globo e de bulbo úmido, tanto ao sol quanto à sombra, foram realizadas a cada hora a partir das 7:15 h até às 17:15 h. Com isso, foram obtidos 11 pontos para a confecção dos gráficos.

Esses termômetros serviram para que fosse possível comparar o efeito térmico da radiação solar incidente ao sol e à sombra dos indivíduos arbóreos, assim como calcular, através da expressão [9] fornecida por BARTH et al. (1987), a tensão de vapor do ar a partir das leituras dos psicrômetros e, conseqüentemente, as umidades relativas.

## 6.1 Jatobá

As medições no Jatobá foram realizadas nos dias 17 e 18 de fevereiro, e 11, 12 e 13 de março de 1998.

Os equipamentos dispostos à sombra (FIG. 33) ficaram fixos ao longo do dia durante todo o período de medições devido ao tamanho da sombra, proporcionada pela árvore, ser suficiente para manter as condições pré-estabelecidas para o experimento.

Como ilustração são apresentados neste item os gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa apenas do dia 18 de fevereiro (FIG. 34, 35 e 36); o resultados dos demais dias estão no ANEXO A.

Conforme descrito no item 5.4.3, a atenuação da radiação solar foi calculada através da equação [11], para cada dia de medição. Os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e erro padrão da média das atenuações ( $\alpha$ ) estão na TAB. 01.

Para se observar melhor a variação das condições climáticas, ao longo do dia, nos horários medidos, foi elaborado o QUADRO 04. As condições de vento citadas baseiam-se na sensação do observador.

TABELA 01

Atenuação da radiação solar pelo Jatobá

<b>JATOBÁ</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 1 (sombra)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 2 (sol)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Radiômetro</b>	<b>Atenuação da radiação solar (%)</b>
17/02/98	0,03115	0,18854	0,01651	83,5
18/02/98	0,02660	0,24708	0,17689	89,2
11/03/98	0,02588	0,15545	0,01976	83,4
12/03/98	0,02187	0,24243	0,19005	91,0
13/03/98	0,02662	0,23769	0,18682	88,8
			<b>Média</b>	<b>87,2</b>
			$\alpha$	$\pm 1,6$

QUADRO 04

Condição horária do tempo nos dias analisados para o Jatobá

<b>HORÁRIO</b>	<b>DIAS ANALISADOS</b>				
	<b>17/02/1998</b>	<b>18/02/1998</b>	<b>11/03/1998</b>	<b>12/03/1998</b>	<b>13/03/1998</b>
7:15	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento forte	Céu aberto, vento fraco
8:15	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento forte	Céu aberto, vento fraco
9:15	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu aberto, vento fraco
10:15	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu aberto, vento fraco
11:15	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu aberto, vento fraco
12:15	Céu nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu aberto, vento fraco
13:15	Céu nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento fraco
14:15	Céu nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento médio
15:15	Céu nublado, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu aberto, vento fraco
16:15	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu nublado, vento médio	Céu aberto, vento fraco
17:15	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento forte	Céu nublado, vento médio	Céu nublado, sem vento



FIGURA 33 - Equipamentos à sombra do Jatobá.

**Radiação solar (Jatobá)  
18/fevereiro/1998**

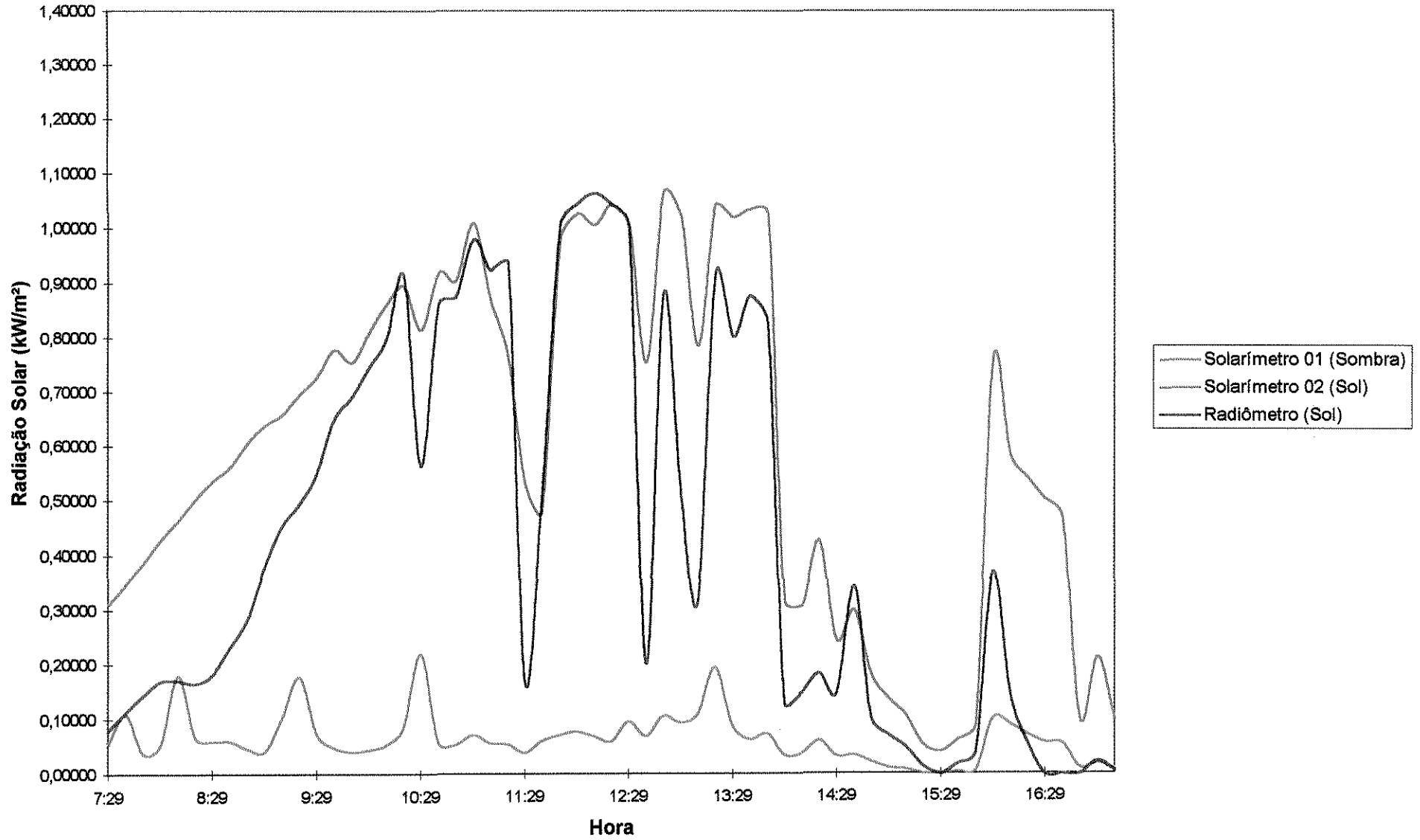


FIGURA 34 - Radiação solar (Jatobá) 18/fevereiro/1998.

**Temperaturas (Jatobá)  
18/fevereiro/1998**

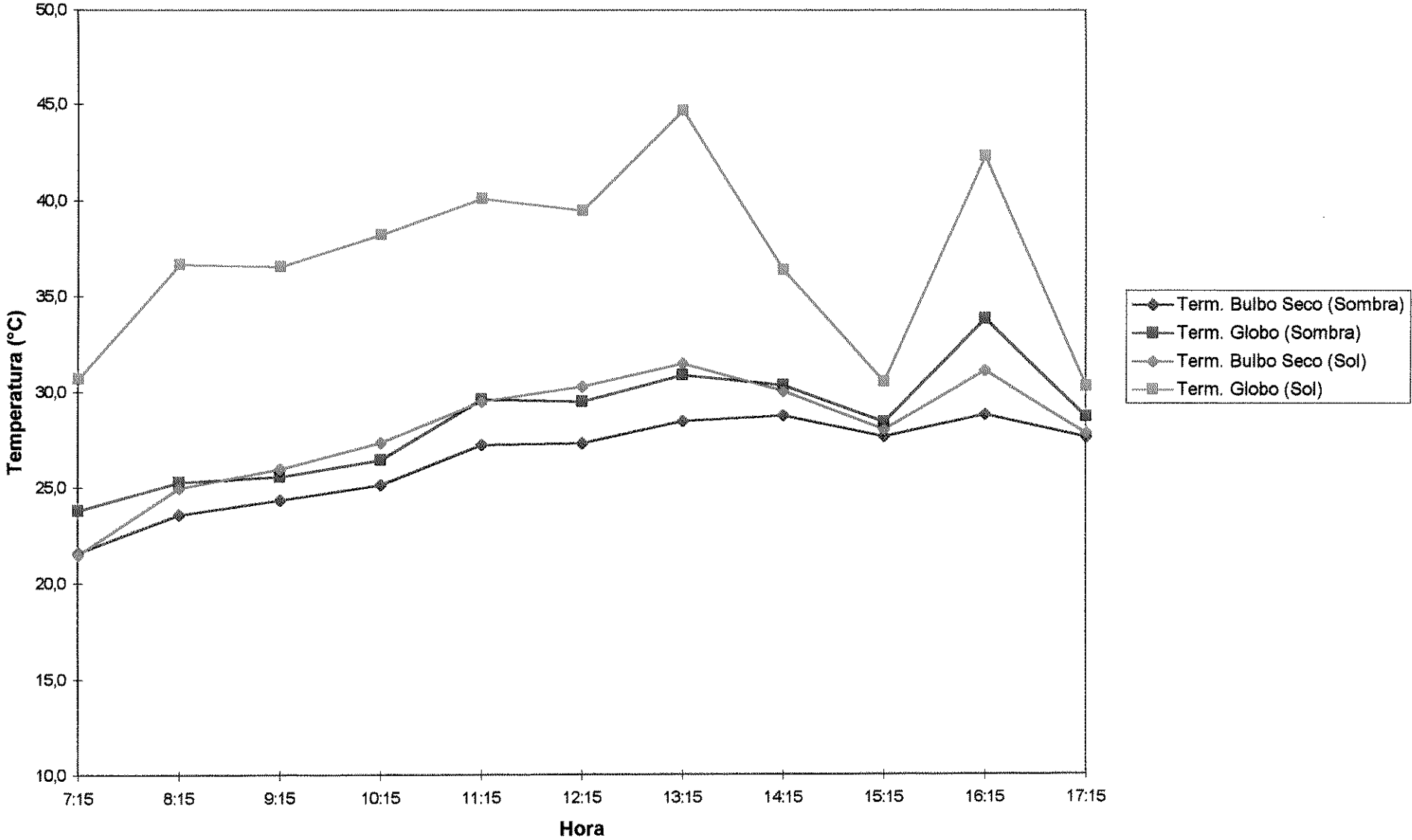


FIGURA 35 - Temperaturas (Jatobá) 18/fevereiro/1998.



Umidade relativa (Jatobá)  
18/fevereiro/1998

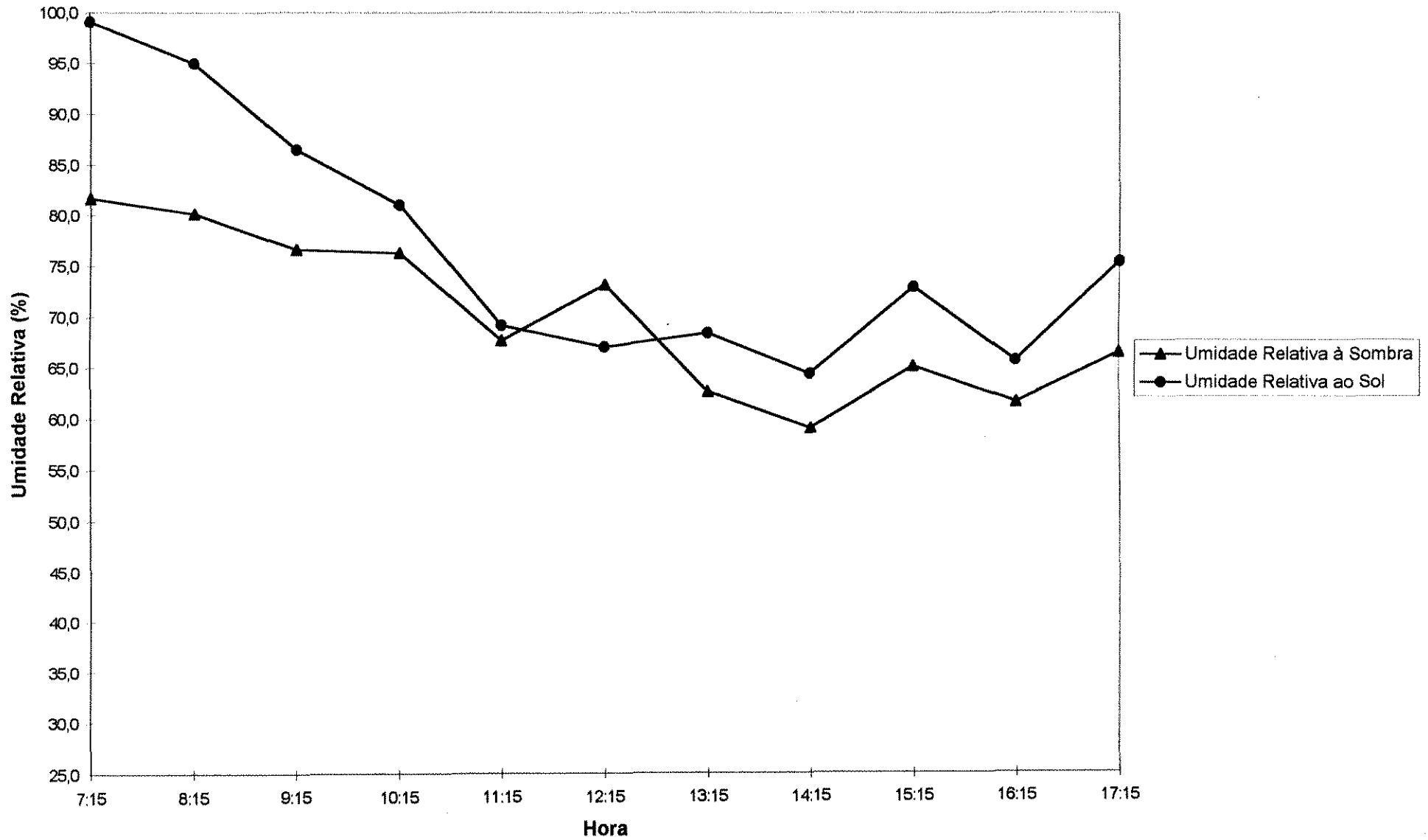


FIGURA 36 - Umidade relativa (Jatobá) 18/fevereiro/1998.

## 6.2 Chuva-de-ouro

As medições na Chuva-de-ouro foram realizadas nos dias 21 e 22 de fevereiro, 04 de abril e 01 e 02 de maio de 1998. Devido a essa árvore estar localizada dentro do campus da UNICAMP, optou-se por realizar as medições apenas nos finais de semana, quando o movimento de pessoas era consideravelmente menor, a fim de se evitar a interferência de terceiros. Isso explica o grande espaço de tempo entre os dias de medição.

Os equipamentos, montados à sombra da árvore (FIG. 37), foram movidos duas vezes ao longo do dia (às 8:30 h e às 13:30 h), a fim de que permanecessem completamente sombreados. É importante ressaltar que essas posições eram sempre as mesmas nos cinco dias de medições.

Como ilustração são apresentados nas FIG. 38, 39 e 40, os gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa do dia 02 de maio. Os demais estão no ANEXO A.

Os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e erro padrão da média das atenuações ( $\alpha$ ) estão na TAB. 02.

Para uma melhor observação da variação das condições climáticas, ao longo dos dias, nos horários medidos, foi elaborado o QUADRO 05.

TABELA 02

Atenuação da radiação solar pela Chuva-de-ouro

<b>CHUVA- DE- OURO</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 1 (sombra)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 2 (sol)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Radiômetro</b>	<b>Atenuação da radiação solar (%)</b>
21/02/98	0,03538	0,25662	0,18575	86,2
23/02/98	0,03812	0,25753	0,02158	85,2
04/04/98	0,03007	0,26175	0,18507	88,5
01/05/98	0,02517	0,21790	0,01332	88,4
02/05/98	0,02450	0,20826	0,13889	88,2
			<b>Média</b>	<b>87,3</b>
			$\alpha$	$\pm 0,7$



FIGURA 37 -  
Equipamentos  
montados à sombra da  
Chuva-de-ouro

## QUADRO 05

Condição horária do tempo nos dias analisados para a Chuva-de-ouro

HORÁRIO	DIAS ANALISADOS				
	21/02/1998	23/02/1998	04/04/1998	01/05/1998	02/05/1998
7:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento forte	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, sem vento
8:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento forte	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco
9:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento forte	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco
10:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento forte	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco
11:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento forte	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
12:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento forte	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
13:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
14:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
15:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
16:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
17:15	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco

**Radiação solar (Chuva-de-ouro)  
02/maio/1998**

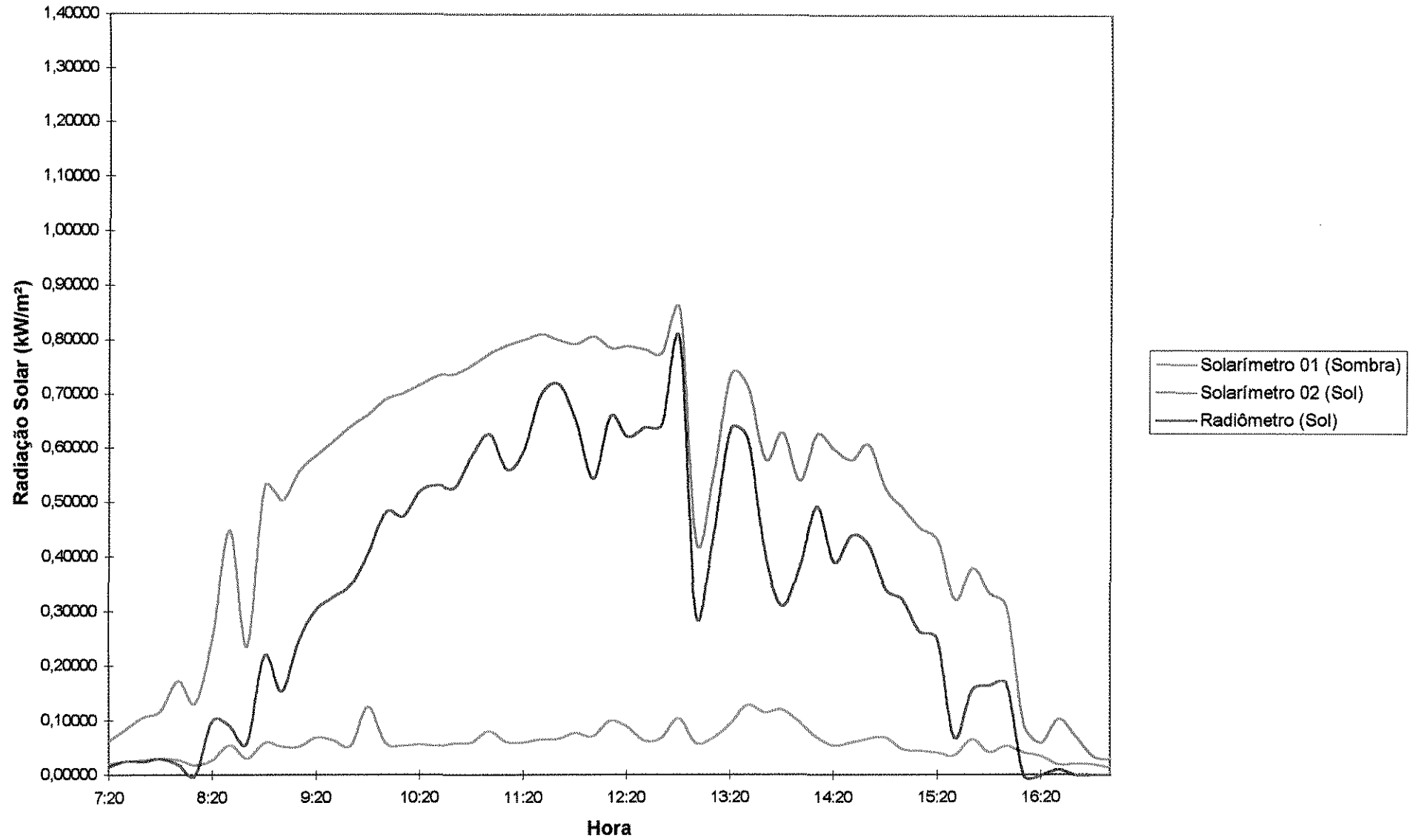


FIGURA 38 - Radiação solar (Chuva-de-ouro) 02/maio/1998.

Temperaturas (Chuva-de-ouro)  
02/maio/1998

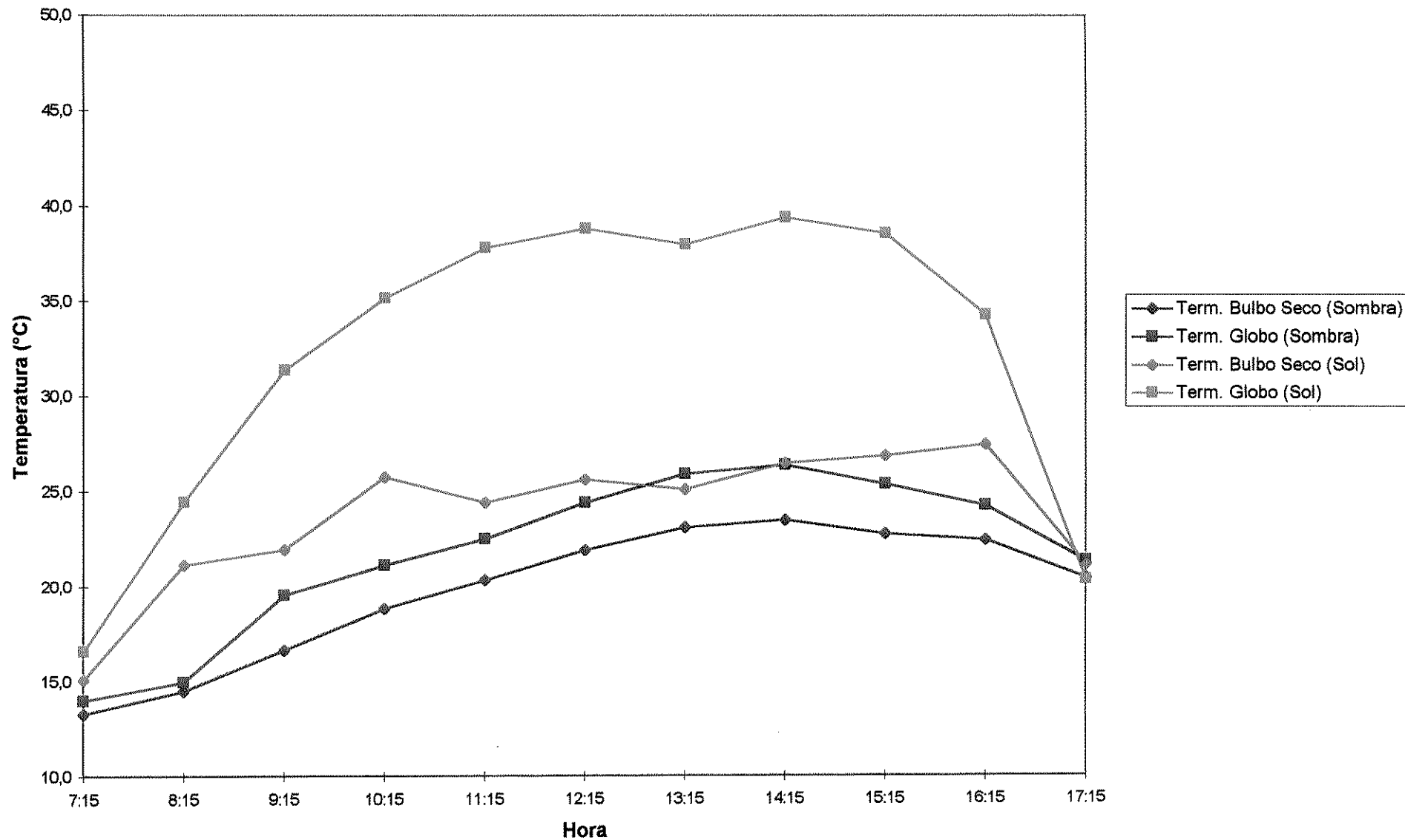


FIGURA 39 - Temperaturas (Chuva-de-ouro) 02/maio/1998.

Umidade relativa (Chuva-de-ouro)  
02/maio/1998

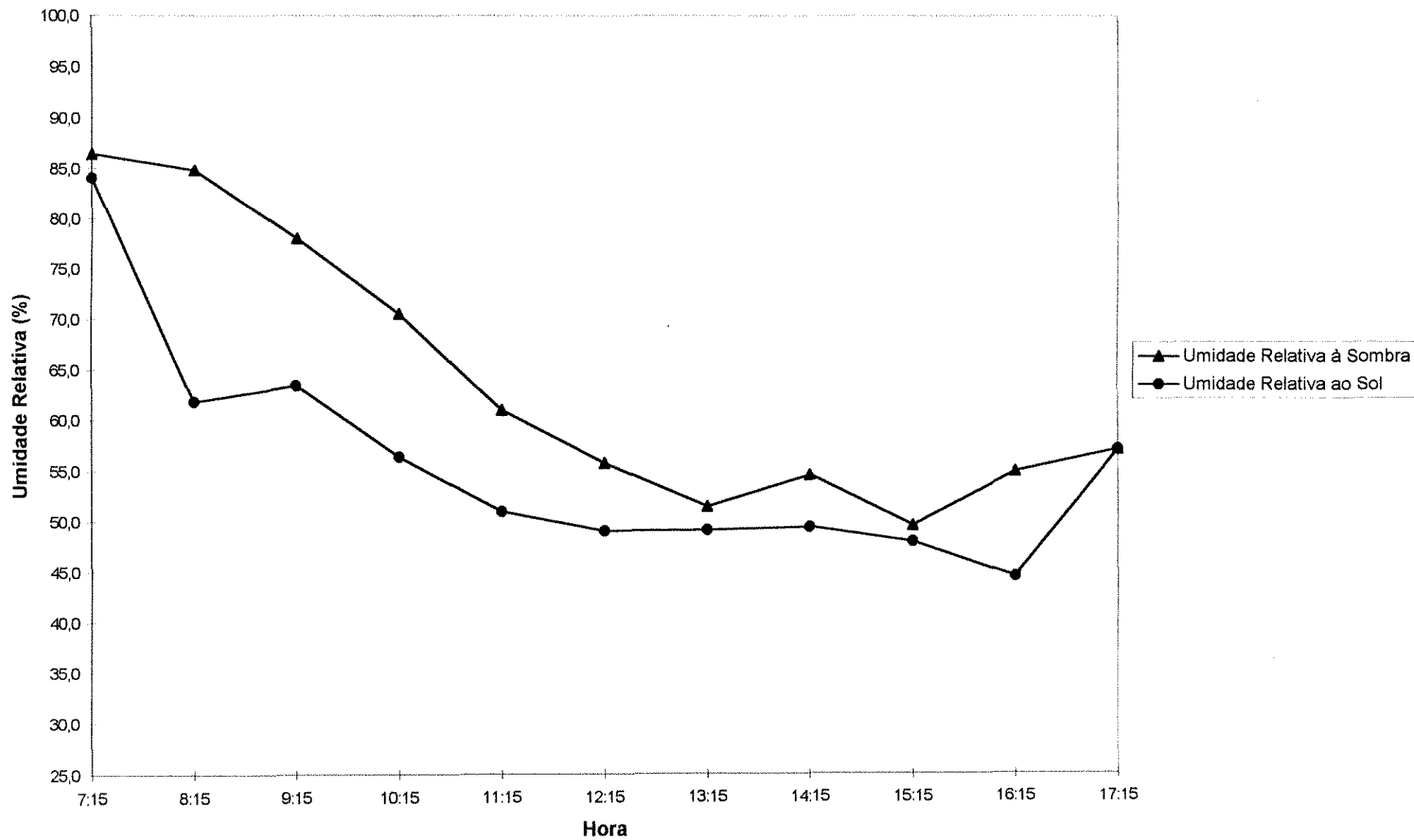


FIGURA 40 - Umidade relativa (Chuva-de-ouro) 02/maio/1998.

### **6.3 Magnólia**

Os dias escolhidos para as medições na Magnólia foram: 19, 23, 24, 25 e 26 de março de 1998.

Os equipamentos, que estavam à sombra da árvore, foram deslocados duas vezes ao longo do dia, uma às 12:30 h e outra às 14:30 h. Dessa forma, permaneceram sombreados o dia todo. Já aqueles que ficaram ao sol (FIG. 41), permaneceram fixos durante todo o dia.

Os gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa, do dia 19 de março, são apresentados nas FIG. 42, 43, 44. O restante faz parte do ANEXO A.

Na TAB. 03, pode-se observar os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e do erro padrão da média das atenuações ( $\alpha$ ). E no QUADRO 06, as condições de vento e do céu nos dias analisados.



TABELA 03

Atenuação da radiação solar pela Magnólia

<b>MAGNÓLIA</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 1 (sombra)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 2 (sol)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Radiômetro</b>	<b>Atenuação da radiação solar (%)</b>
19/03/98	0,03935	0,15446	0,13676	74,5
23/03/98	0,03338	0,17902	0,12819	81,4
24/03/98	0,02791	0,21641	0,01042	87,1
25/03/98	0,03886	0,16295	0,12567	76,2
26/03/98	0,02127	0,29283	0,00311	92,7
			<b>Média</b>	<b>82,4</b>
			$\alpha$	$\pm 3,4$



FIGURA 41 - Equipamento exposto ao sol.

## QUADRO 06

Condição horária do tempo nos dias analisados para a Magnólia

HORÁRIO	DIAS ANALISADOS				
	19/03/1998	23/03/1998	24/03/1998	25/03/1998	26/03/1998
7:15	Céu nublado, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, sem vento	Céu aberto, vento forte
8:15	Céu nublado, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento forte
9:15	Céu nublado, vento fraco	Céu nublado, vento médio	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, sem vento	Céu aberto, vento forte
10:15	Céu nublado, vento fraco	Céu nublado, vento médio	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, sem vento	Céu aberto, vento médio
11:15	Céu nublado, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento médio	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento médio
12:15	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
13:15	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu aberto, vento fraco
14:15	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento forte	Céu aberto, vento fraco
15:15	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu aberto, vento fraco
16:15	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu aberto, vento fraco
17:15	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco

**Radiação solar (Magnólia)  
19/março/1998**

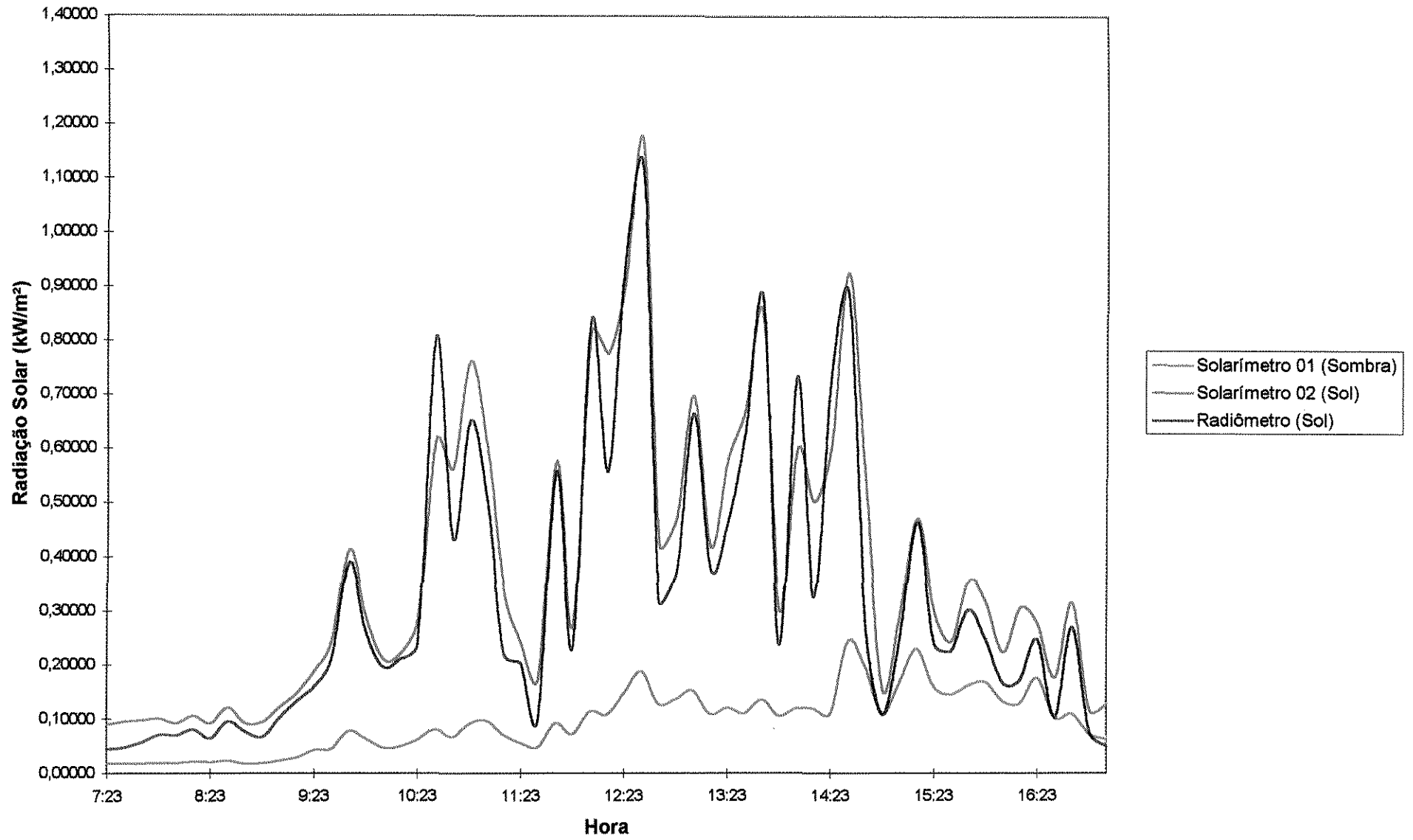


FIGURA 42 - Radiação solar (Magnólia) 19/março/1998.

Temperaturas (Magnólia)  
19/março/1998

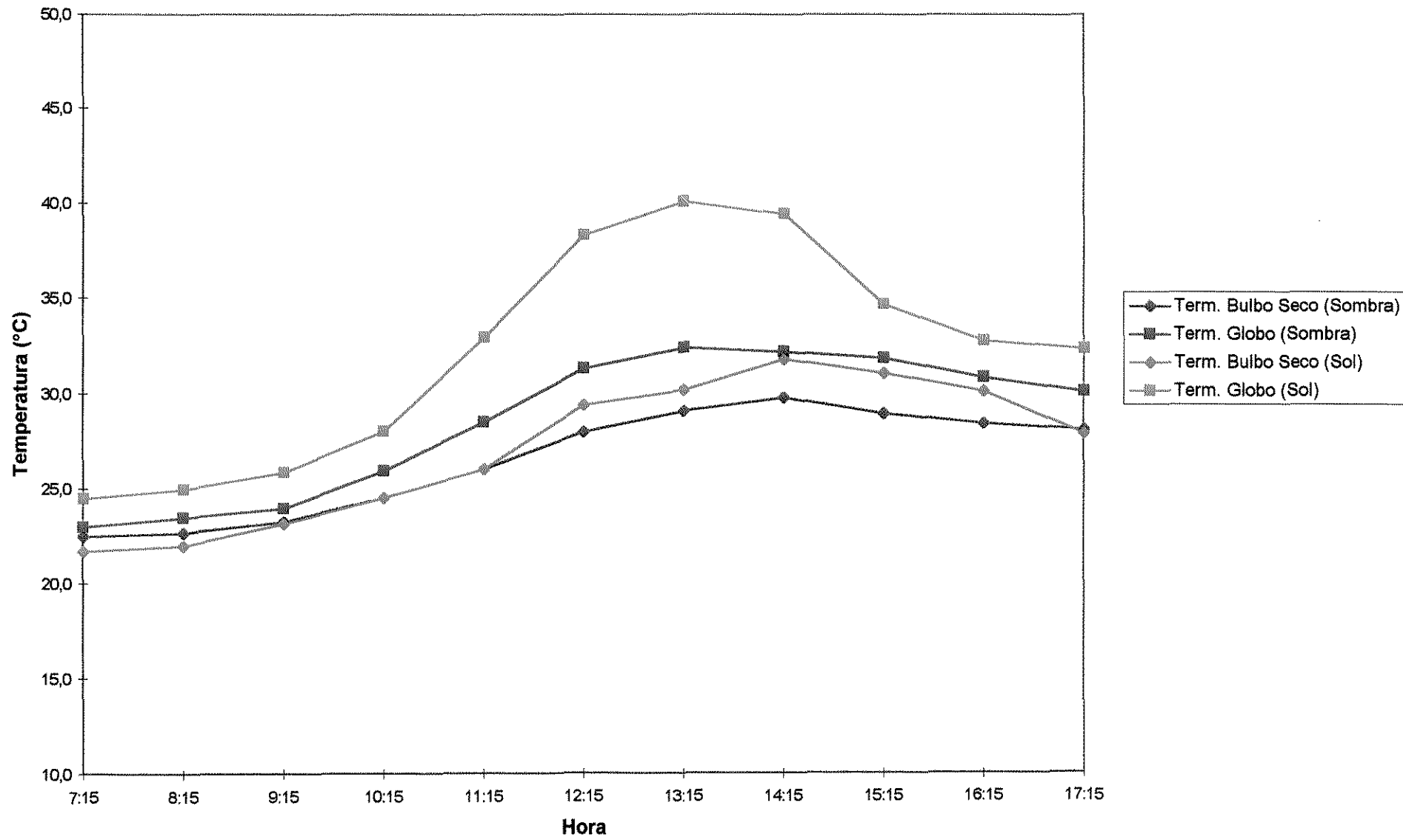


FIGURA 43 - Temperaturas (Magnólia) 19/março/1998.

Umidade relativa (Magnólia)  
19/março/1998

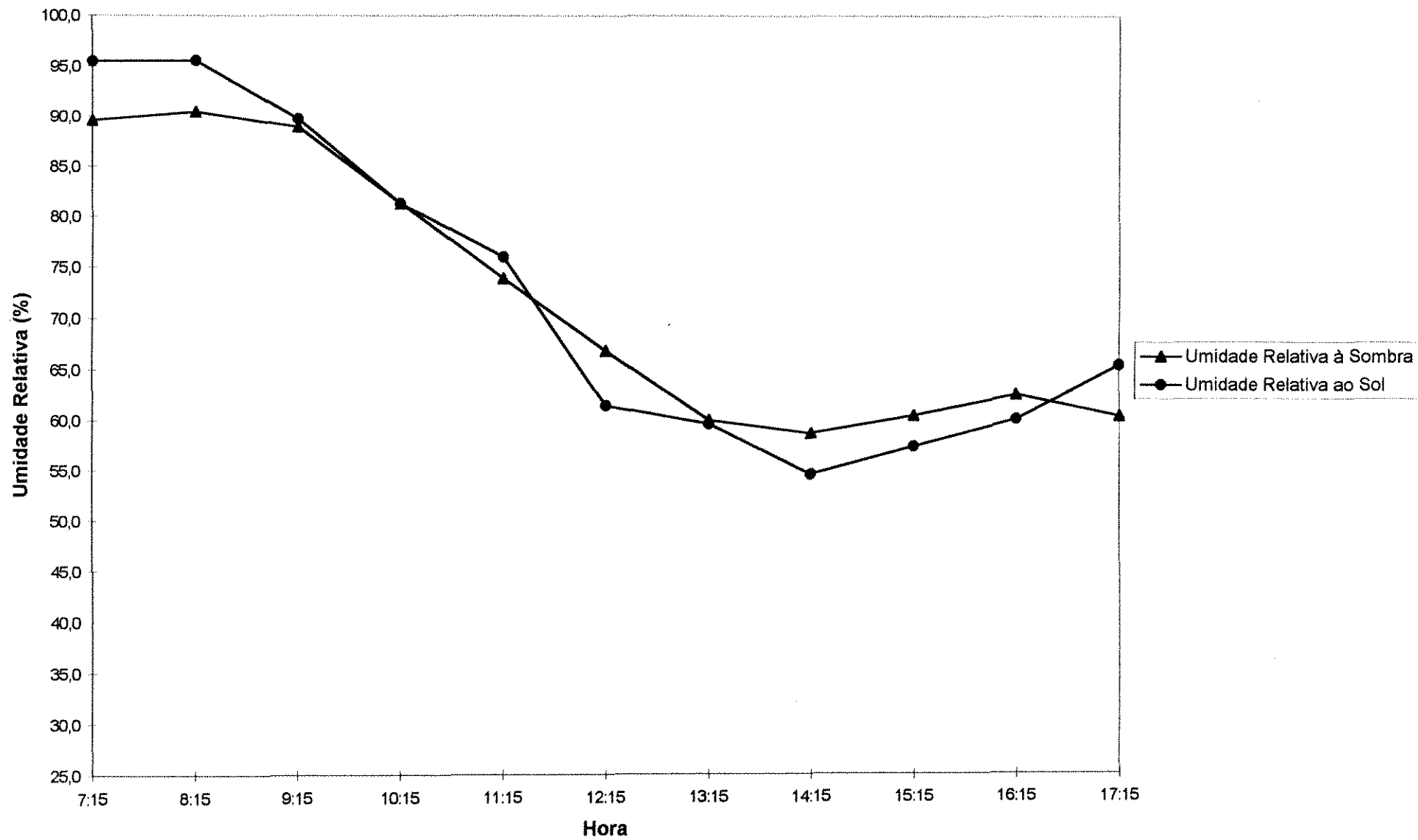


FIGURA 44 - Umidade relativa (Magnólia) 19/março/1998.

## 6.4 Ipê Roxo

No Ipê Roxo, as medições de radiação solar e temperatura foram realizadas nos dias 30 e 31 de março, 02, 08 e 14 de abril de 1998.

Os equipamentos, dispostos à sombra, foram movidos apenas uma vez durante o dia de medição. Essa única mudança foi suficiente para manter as condições pré-estabelecidas para o experimento.

Os dados obtidos em campo no dia 08 de abril são apresentados sob a forma de gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa (FIG. 45, 46 e 47) neste item. Já os gráficos referentes aos demais dias de medição estão no ANEXO A.

A TAB. 04 apresenta os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e do erro padrão da média das atenuações ( $\alpha$ ).

Para uma melhor observação da variação das condições climáticas, ao longo dos dias, nos horários medidos, foi elaborado o QUADRO 07.

TABELA 04

Atenuação da radiação solar pelo Ipê Roxo

<b>IPÊ ROXO</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 1 (sombra)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 2 (sol)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Radiômetro</b>	<b>Atenuação da radiação solar (%)</b>
30/03/98	0,02455	0,11975	0,07689	79,5
31/03/98	0,04289	0,18590	0,02585	77,4
02/04/98	0,06773	0,24108	0,20041	71,9
08/04/98	0,04487	0,14384	0,01471	68,8
14/04/98	0,04349	0,22454	0,16450	80,6
			<b>Média</b>	<b>75,6</b>
			$\alpha$	<b>± 2,3</b>

## QUADRO 07

Condição horária do tempo nos dias analisados para o Ipê Roxo

HORÁRIO	DIAS ANALISADOS				
	30/03/1998	31/03/1998	02/04/1998	08/04/1998	14/04/1998
7:15	Céu nublado, sem vento	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento forte	Céu nublado, sem vento	Céu aberto, vento fraco
8:15	Céu nublado, sem vento	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento forte	Céu nublado, sem vento	Céu aberto, vento fraco
9:15	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento forte	Céu nublado, sem vento	Céu aberto, vento fraco
10:15	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu nublado, vento forte	Céu nublado, sem vento	Céu aberto, vento fraco
11:15	Céu nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu nublado, sem vento	Céu aberto, vento fraco
12:15	Céu nublado, vento forte	Céu parcialmente nublado, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
13:15	Céu nublado, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
14:15	Céu nublado, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
15:15	Céu nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco
16:15	Céu nublado, vento médio	Céu parcialmente nublado, sem vento	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu aberto, sem vento	Céu parcialmente nublado, vento fraco
17:15	Céu nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, sem vento	Céu parcialmente nublado, vento forte	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco



**Radiação solar (Ipê Roxo)**  
**08/abril/1998**

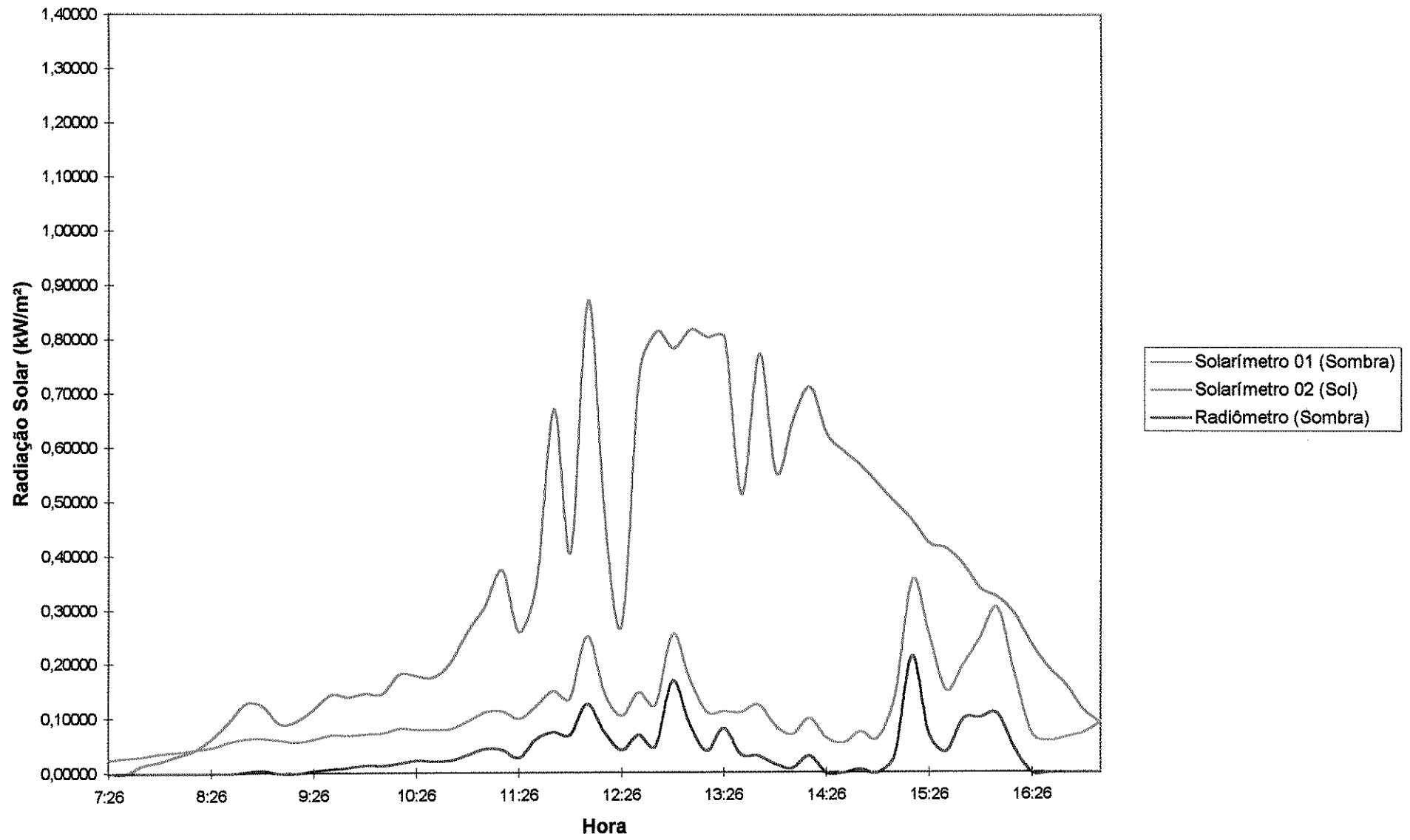


FIGURA 45 - Radiação solar (Ipê roxo) 08/abril/1998.

### Temperaturas (Ipê Roxo) 08/abril/1998

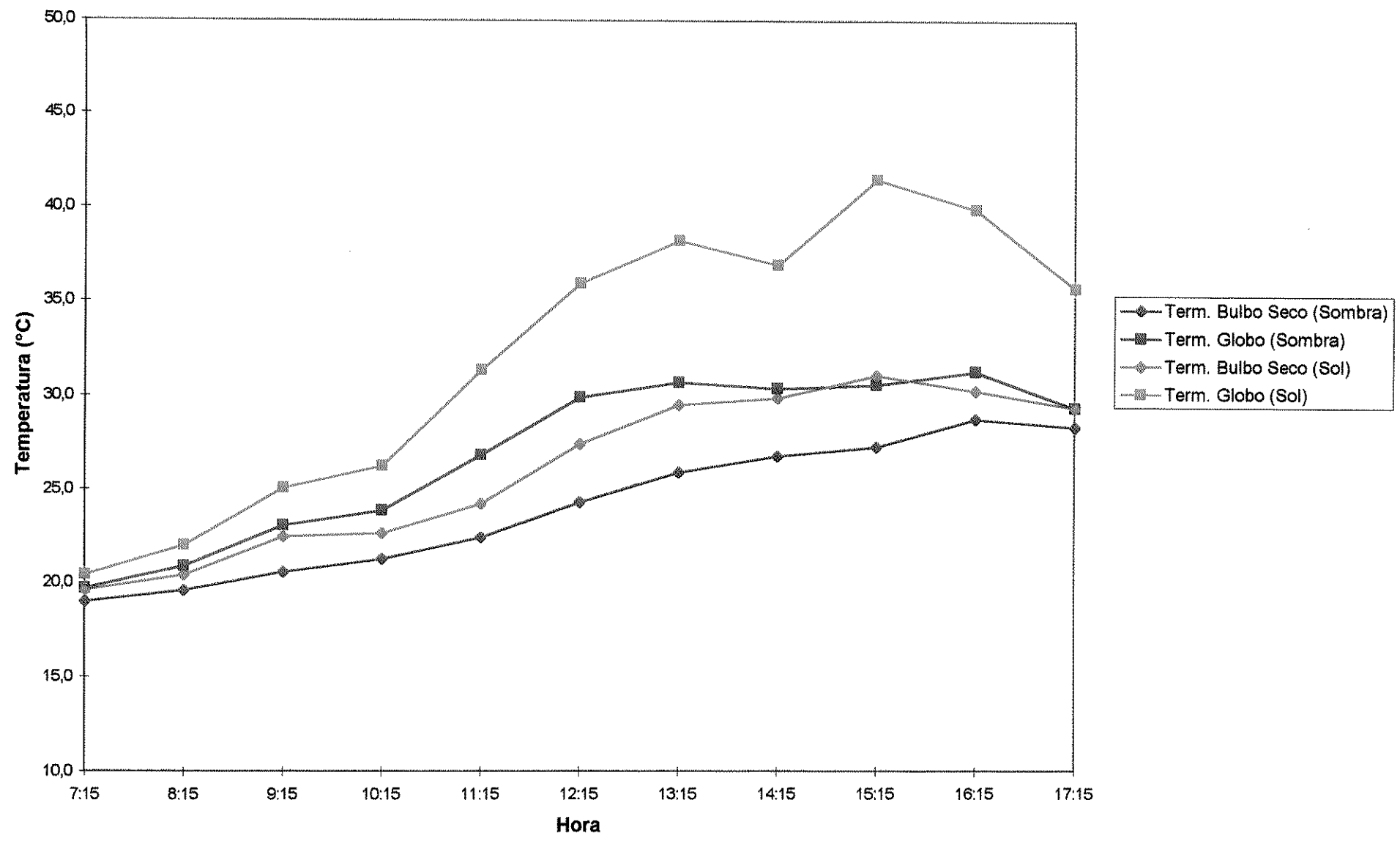


FIGURA 46 - Temperaturas (Ipê roxo) 08/abril/1998.

Umidade relativa (Ipê Roxo)  
08/abril/1998

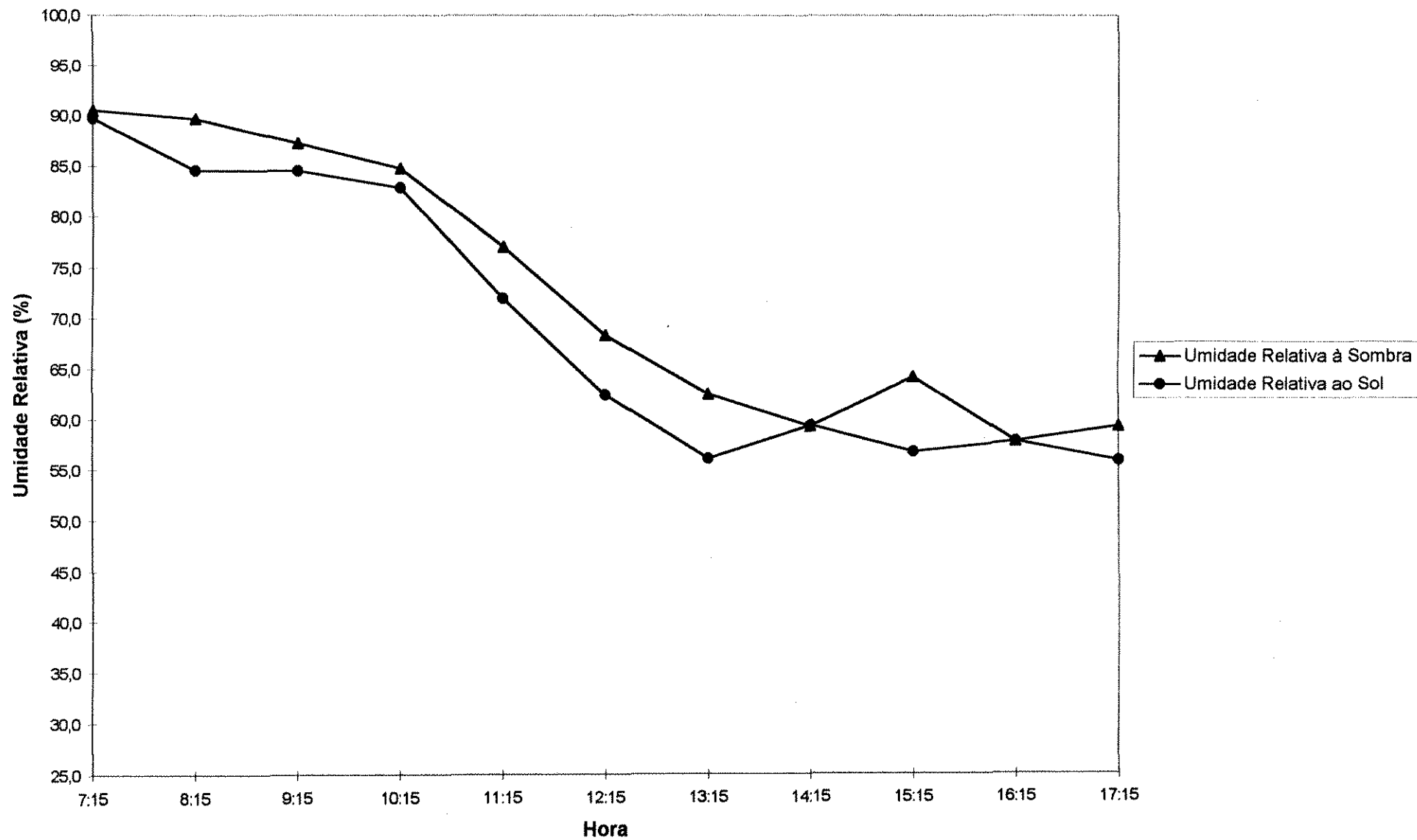


FIGURA 47 - Umidade relativa (Ipê roxo) 08/abril/1998.

## 6.5 Sibipiruna

As medições na Sibipiruna foram realizadas nos dias 19, 20, 21, 23 e 30 de abril de 1998.

Para as medições na Sibipiruna, foi necessário deslocar os equipamentos às 11:30 h e às 14:30 h, a fim de mantê-los à sua sombra.

Os gráficos aqui apresentados (FIG. 48, 49 e 50) são referentes ao dia 21 de abril. Na TAB.05 estão os valores de energia total incidente e atenuação da radiação solar, assim como o erro padrão da média das atenuações ( $\alpha$ ); e no Quadro 08, as condições do céu e de vento.

TABELA 05

Atenuação da radiação solar pela Sibipiruna

<b>SIBIPIRUNA</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 1 (sombra)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Solarímetro 2 (sol)</b>	<b>Energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>) Radiômetro</b>	<b>Atenuação da radiação solar (%)</b>
19/04/98	0,02317	0,24786	0,17181	90,7
20/04/98	0,23800	0,02193	0,15906	90,8
21/04/98	0,02817	0,23040	0,00515	87,8
23/04/98	0,03142	0,19685	0,01495	84,0
30/04/98	0,02312	0,21145	0,00663	89,1
			<b>Média</b>	<b>88,5</b>
			$\alpha$	$\pm 1,2$

## QUADRO 08

Condição horária do tempo nos dias analisados para a Sibipiruna

HORÁRIO	DIAS ANALISADOS				
	19/04/1998	20/04/1998	21/04/1998	23/04/1998	30/04/1998
7:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, sem vento	Céu aberto, sem vento	Céu parcialmente nublado, vento médio
8:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, sem vento	Céu aberto, sem vento	Céu parcialmente nublado, vento médio
9:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, sem vento	Céu parcialmente nublado, vento médio
10:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
11:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento fraco
12:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento fraco
13:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento médio	Céu parcialmente nublado, vento fraco
14:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento médio	Céu aberto, vento médio
15:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
16:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu parcialmente nublado, vento fraco	Céu aberto, vento fraco
17:15	Céu aberto, vento fraco	Céu aberto, vento fraco	Céu parcialmente nublado, sem vento	Céu parcialmente nublado, sem vento	Céu aberto, vento fraco

**Radiação solar (Sibipiruna)  
21/abril/1998**

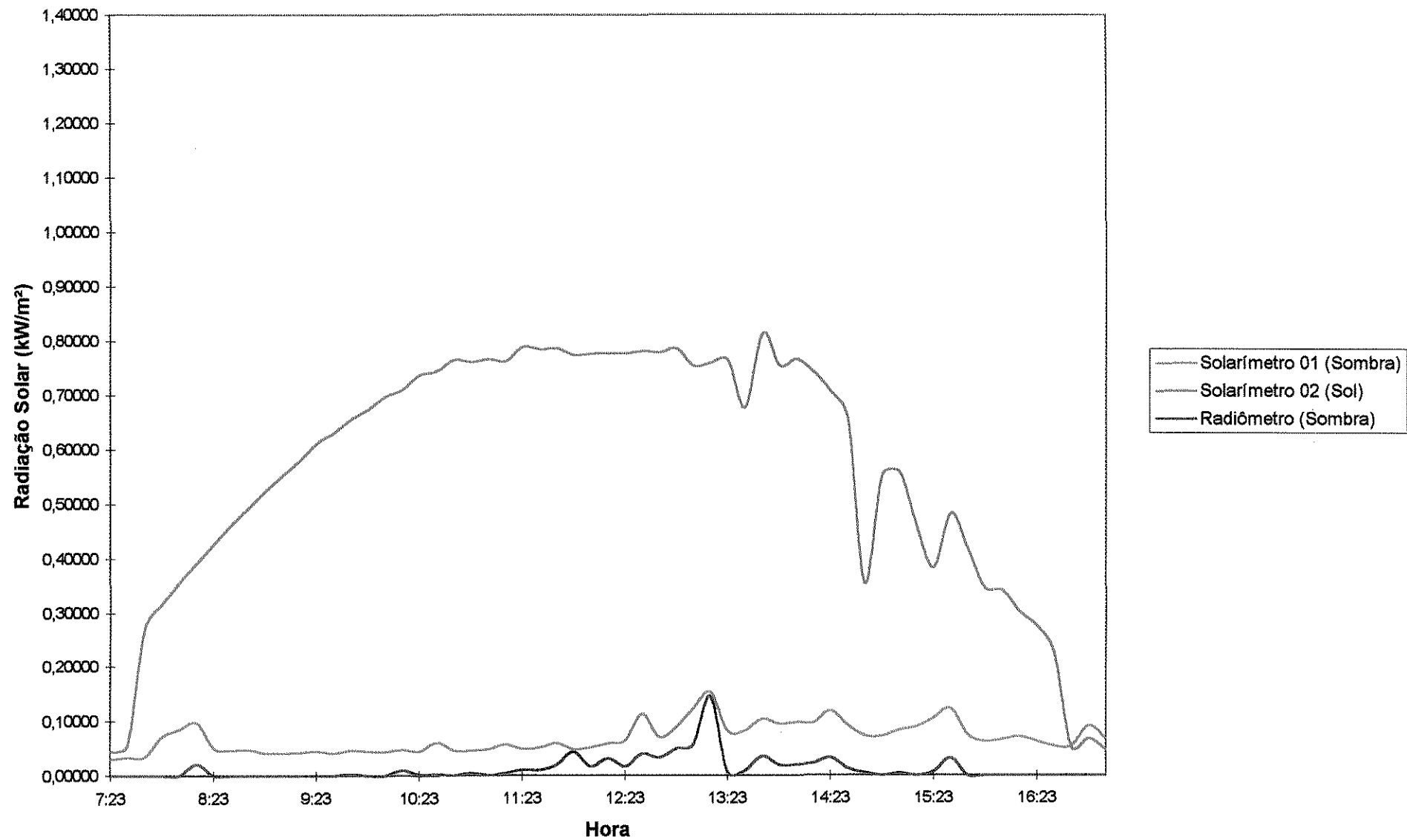


FIGURA 48 - Radiação solar (Sibipiruna) 21/abril/1998.

### Temperaturas (Sibipiruna) 21/abril/1998

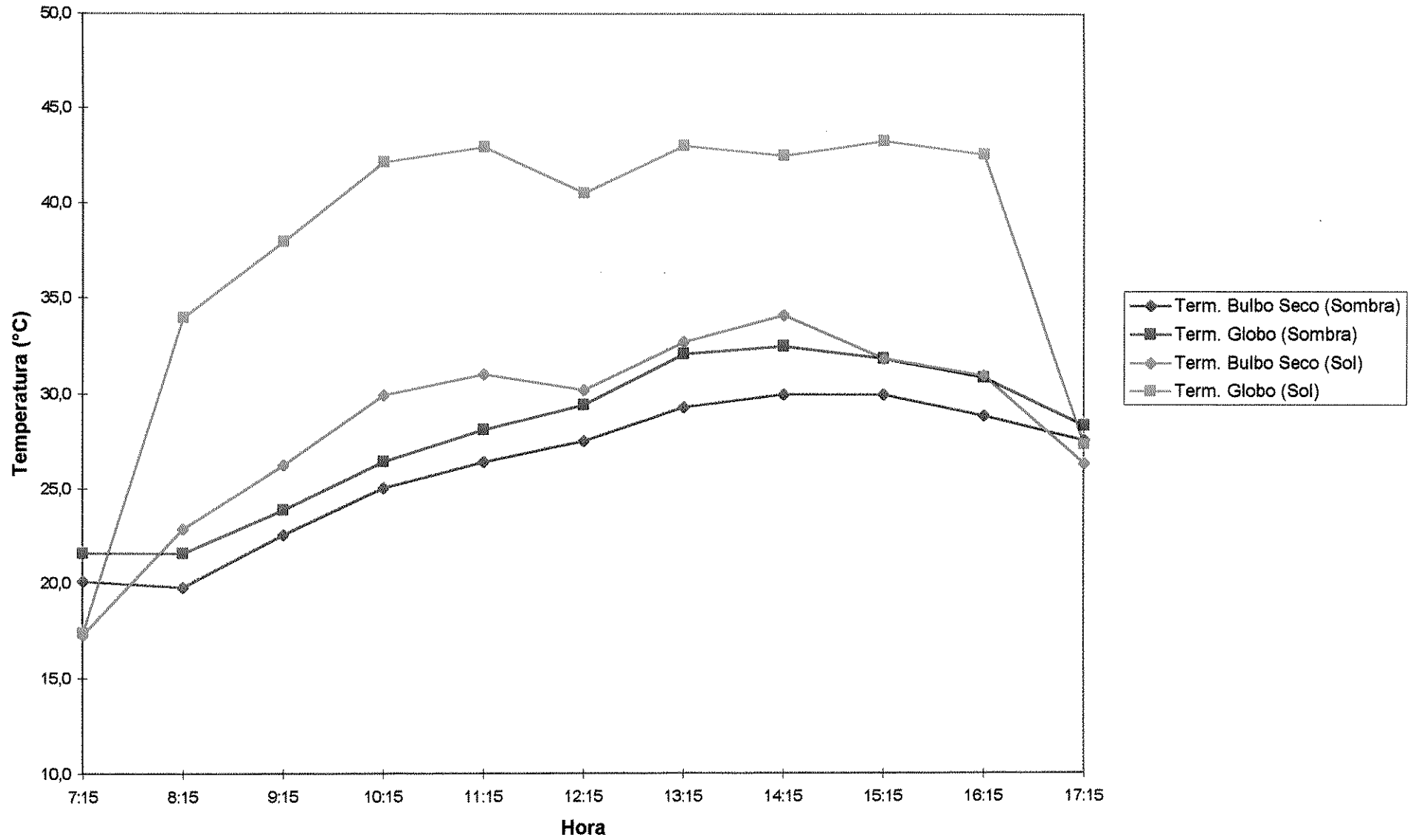


FIGURA 49 - Temperaturas (Sibipiruna) 21/abril/1998.

Umidade relativa (Sibipiruna)  
21/abril/1998

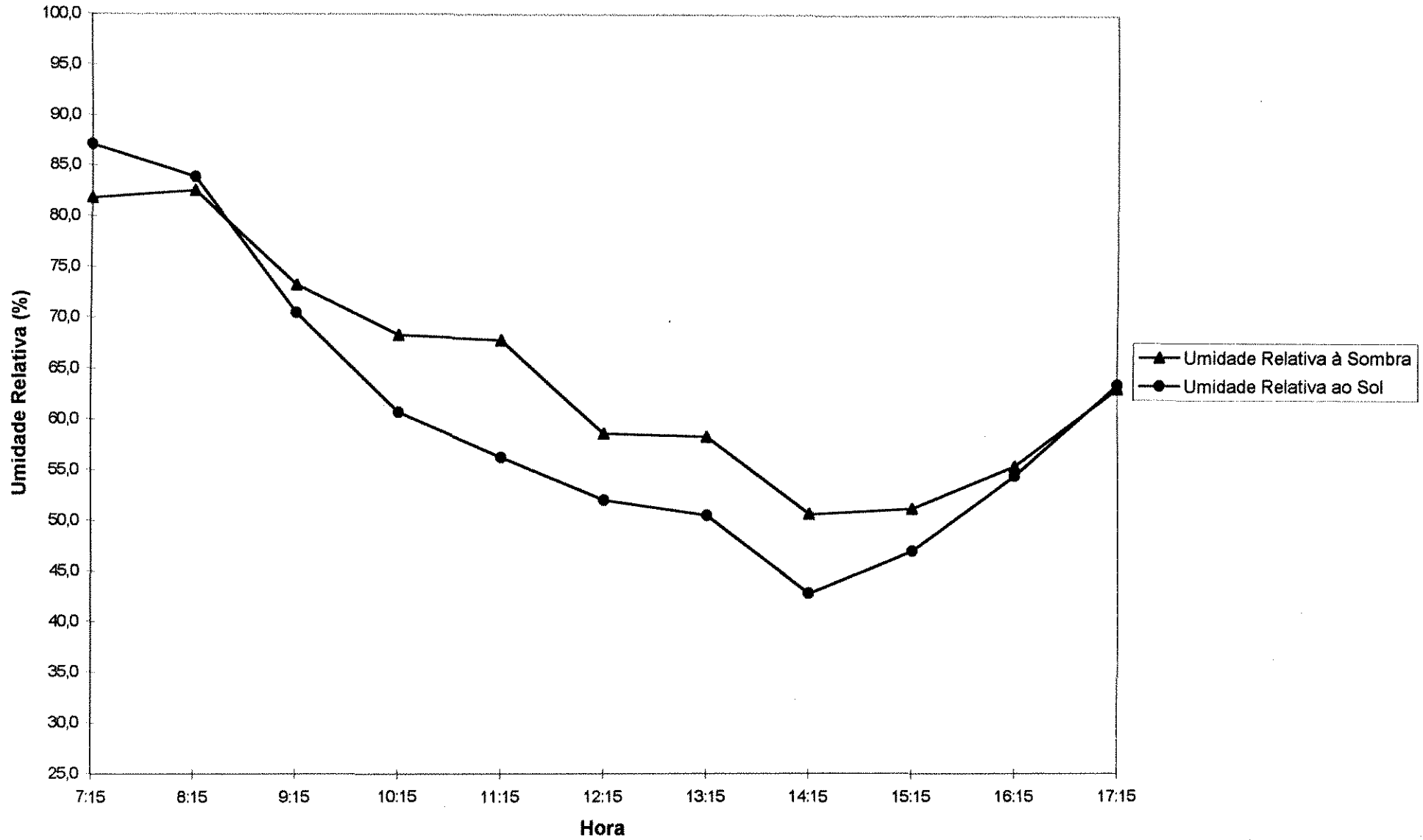


FIGURA 50 - Umidade relativa (Sibipiruna) 21/abril/1998.



## **7 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

## 7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando-se os gráficos de radiação solar (ANEXO A) pode-se observar a coerência dos dados obtidos através dos equipamentos utilizados. Os valores da radiação ao sol são sempre bem superiores àqueles obtidos à sombra. As curvas do solarímetro e do radiômetro, quando submetidos à mesma situação (sol ou sombra), apresentam-se bastante próximas e seguem sempre a mesma tendência.

É importante ressaltar que, para a maioria dos dias analisados, as três curvas (solarímetro 01, solarímetro 02 e radiômetro) apresentam o mesmo padrão de comportamento, ou seja, quando a curva do equipamento ao sol apresenta um pico ou uma depressão, a curva do equipamento à sombra mostra o mesmo efeito. Os picos e depressões observados nos gráficos são atribuídos às variações da condição do céu, por exemplo, a presença ou não de nuvens e sua quantidade (ver capítulo 6).

Outro fato bastante relevante, pode ser observado quando os gráficos de radiação solar são comparados aos de temperatura (ANEXO A). Na maioria deles, quando ocorre uma diminuição dos valores de radiação solar, as curvas de

temperatura, tanto de globo quanto ambiente, sofrem, com um certo atraso, ligeira queda e vice versa.

Nos gráficos de temperatura, pode-se notar que estas também apresentam valores coerentes. As temperaturas de globo ao sol são sempre as mais elevadas, seguidas pelas temperaturas ambiente ao sol ou de globo à sombra (alternando-se conforme o dia observado), e por último as temperaturas ambiente à sombra.

Cabe comentar que a tendência de comportamento das temperaturas ao longo do dia pode ser constatada: valores relativamente mais baixos no início da manhã, elevação dos mesmos ao longo do dia e queda no fim da tarde. Os picos das temperaturas ocorrem geralmente entre 14:15 h e 15:15 h.

Os gráficos de umidade relativa (ANEXO A) apresentam certas variações. Alguns deles, com as umidades ao sol maiores que à sombra, não correspondem ao esperado (umidade maior à sombra), pois a diferença entre elas está fora do erro experimental (em torno de 5%). Uma outra parte também mostrou esse comportamento, mas no caso a diferença entre os valores está dentro desse erro. Já os que têm os resultados previstos seguem a tendência natural de variação durante o período: umidades elevadas pela manhã, queda ao longo do dia (com os menores valores durante o início e meio da tarde), e nova elevação ao final do mesmo.

Nas FIG. 51 e 52, são apresentados, respectivamente, os gráficos de média da variação relativa da temperatura ambiente e média da variação relativa da temperatura de globo, em intervalos horários (ver item 5.4.1), referentes a todo o período (cinco dias de cada árvore). Neles pode-se notar que o comportamento das variações é semelhantes ao dos valores das atenuações solares obtidas no capítulo 6. A Sibipiruna, a Chuva-de-ouro e o Jatobá apresentam os maiores valores de atenuação da radiação solar e também as maiores variações relativas das temperaturas de globo. A Magnólia mostra resultados mais baixos tanto para a atenuação da radiação solar como para a variação relativa das temperaturas de globo. Quanto ao

Ipê Roxo, a atenuação da radiação solar proporcionada por ele é a menor de todas, fato também verificado na variação relativa das temperaturas de globo. Entretanto, é importante observar que para a variação relativa das temperaturas ambiente o comportamento não é o mesmo. Na FIG. 51, o Ipê Roxo apresenta a terceira maior variação, e a Magnólia a menor delas.

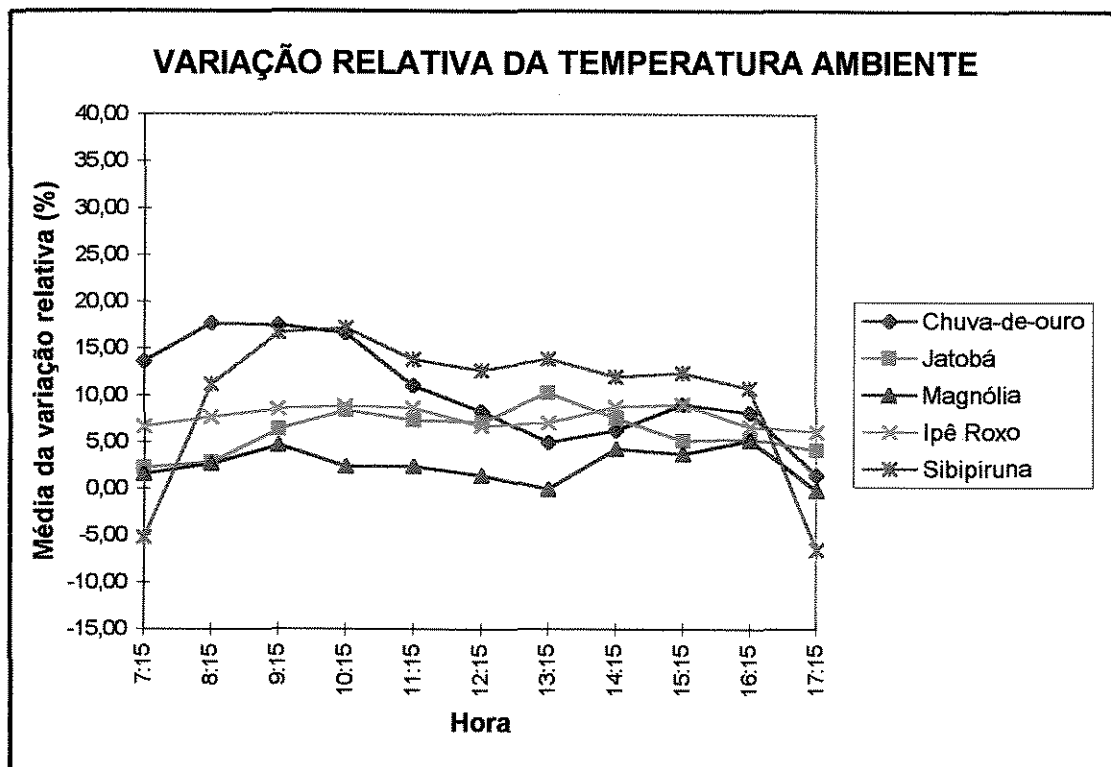


FIGURA 51 - Médias das variações relativas da temperatura ambiente.

Nas FIG. 53 a 57 estão os gráficos de variação relativa da temperatura ambiente em função da variação relativa da radiação solar. Nos gráficos é possível observar que, para todas as espécies analisadas, o comportamento da linha de tendência é praticamente o mesmo: conforme aumentam os valores da variação da temperatura, os da radiação também se elevam. Isso significa que quanto maior a atenuação da radiação solar incidente, maior a variação das temperaturas ambiente, ou seja, menores as temperaturas sob as copas das árvores analisadas. A única exceção é a Magnólia que mostrou resultados contrários (ver FIG. 55).

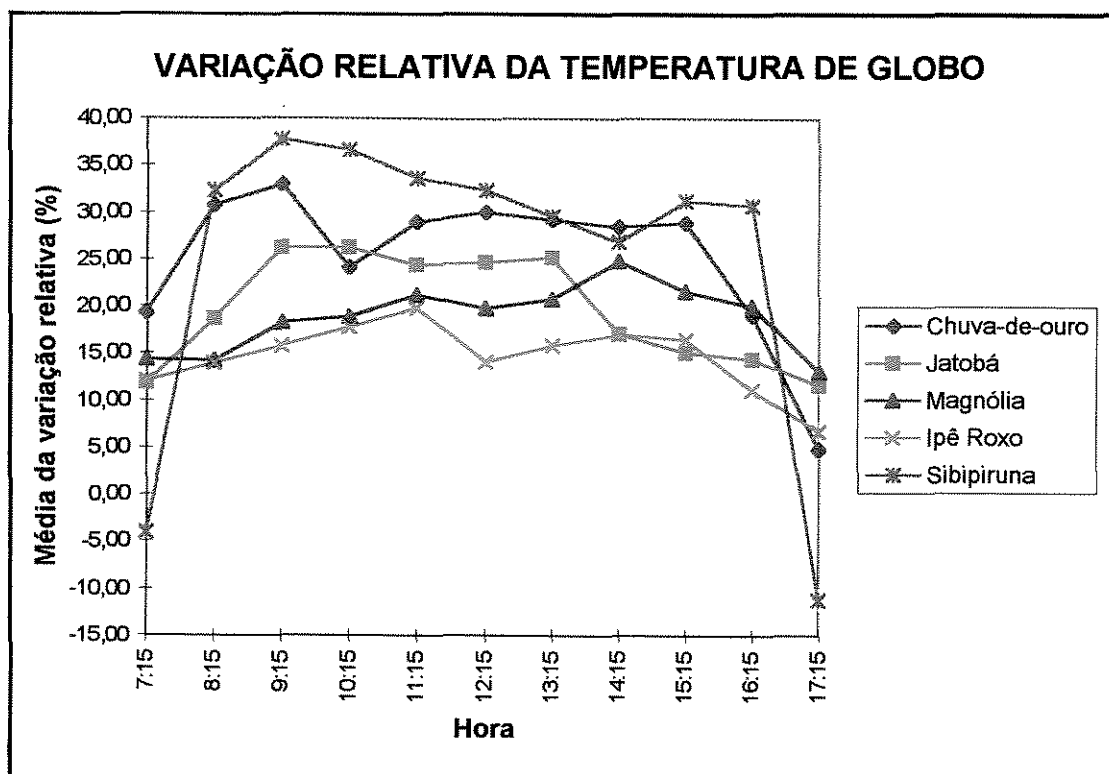


FIGURA 52 - Médias das variações relativas da temperatura de globo.

Para a análise dos dados do radiômetro pode-se observar as FIG. 58 a 62. Em todos esses gráficos, inclusive no da Magnólia, conforme aumenta a quantidade de radiação absorvida pelo radiômetro (tanto solar quanto terrestre) as temperaturas de globo também se elevam, o que ajuda a comprovar a coerência da metodologia aplicada neste experimento.

Baseando-se na avaliação feita até agora, pode-se constatar algumas necessidades para trabalhos futuros:

- o uso de um segundo radiômetro, a fim de que se possa comparar os valores da radiação global (solar mais terrestre) ao sol e à sombra simultaneamente;
- a coleta de dados sobre a velocidade do ar, que é de extrema importância para qualquer avaliação de conforto térmico. Cabe ressaltar que essa coleta só não foi realizada por falta de equipamento adequado;

- o aumento no número de dias analisados de cada espécie, a fim de se obter um número maior de dados e, conseqüentemente, uma avaliação mais precisa da influência da radiação solar no meio ambiente;

- o aumento dos períodos do ano analisados, a fim de que o ciclo fenológico da árvore possa ser observado, para as espécies que apresentam diferenças significativas com folhas, sem folhas, com flores.

É muito importante frisar que a metodologia aqui proposta e utilizada se mostrou bastante coerente. Essa constatação abre novas perspectivas a respeito de como se realizar medições da radiação solar transmitida pela vegetação, para que se tenha uma caracterização dos indivíduos arbóreos em relação a esse comportamento.

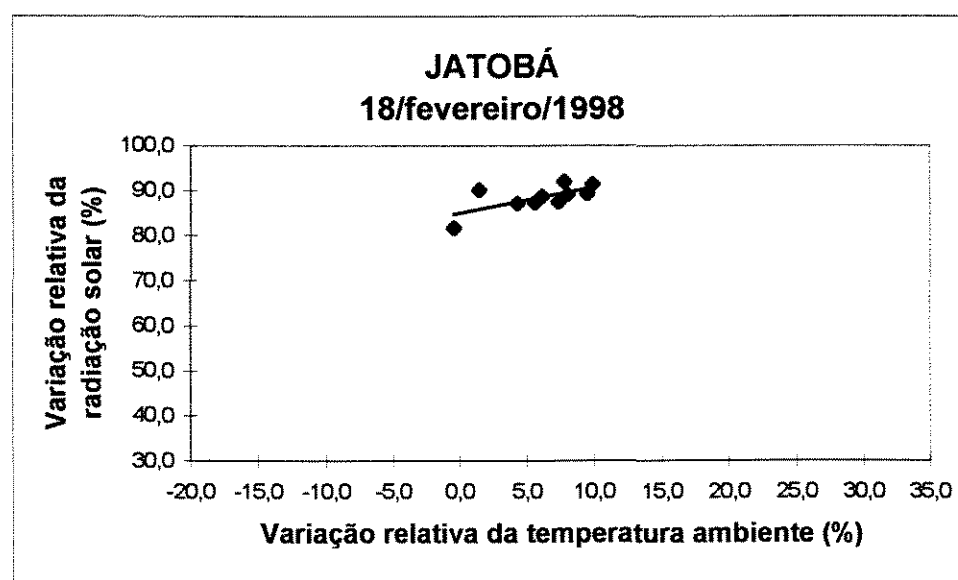


FIGURA 53 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Jatobá)

Correlação = 0,68049

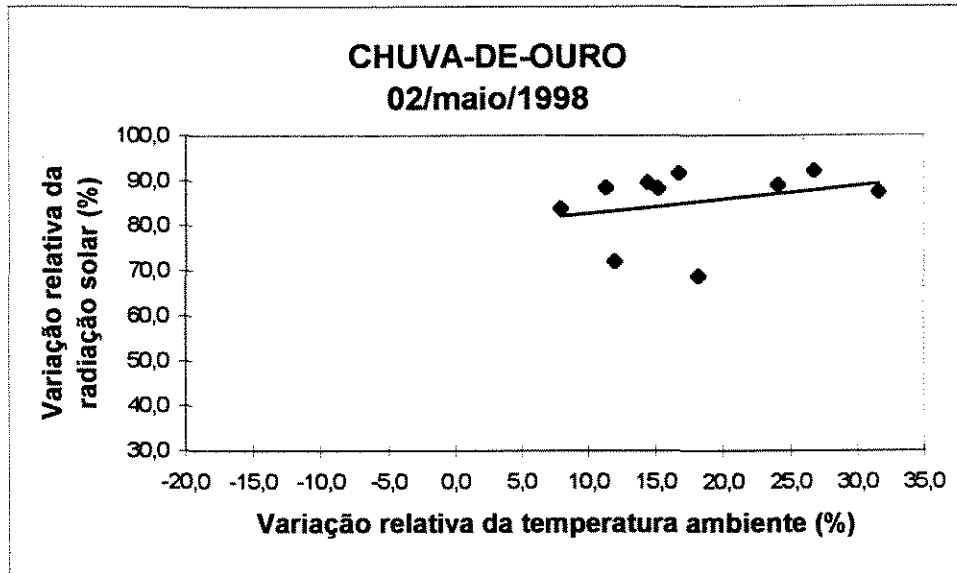


FIGURA 54 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Chuva-de-ouro)  
Correlação = 0,27454.

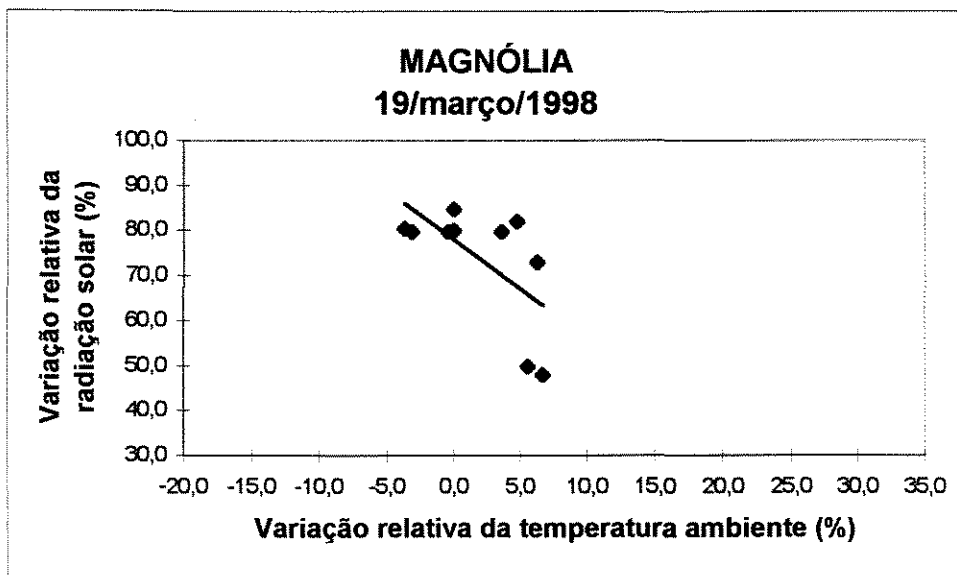


FIGURA 55 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Magnólia)  
Correlação = - 0,63237.

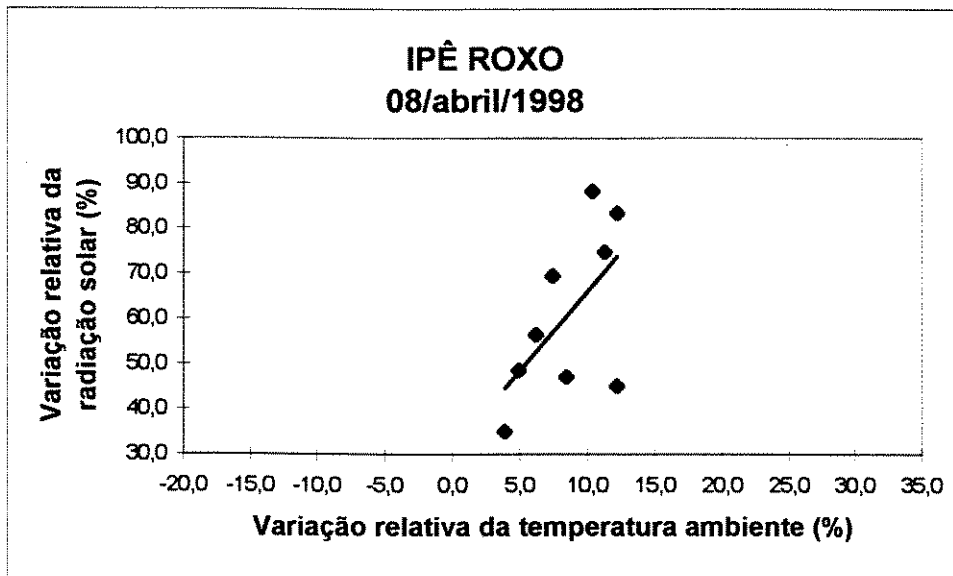


FIGURA 56 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Ipê Roxo)  
Correlação = 0,59132.

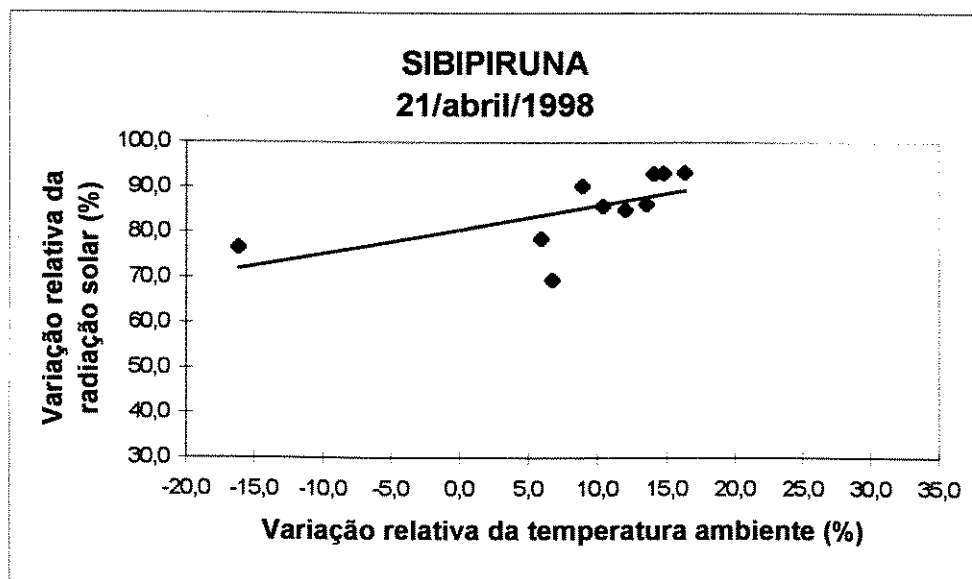


FIGURA 57 - Variação relativa da radiação solar em função da variação relativa da temperatura ambiente (Sibipiruna)  
Correlação = 0,61956.



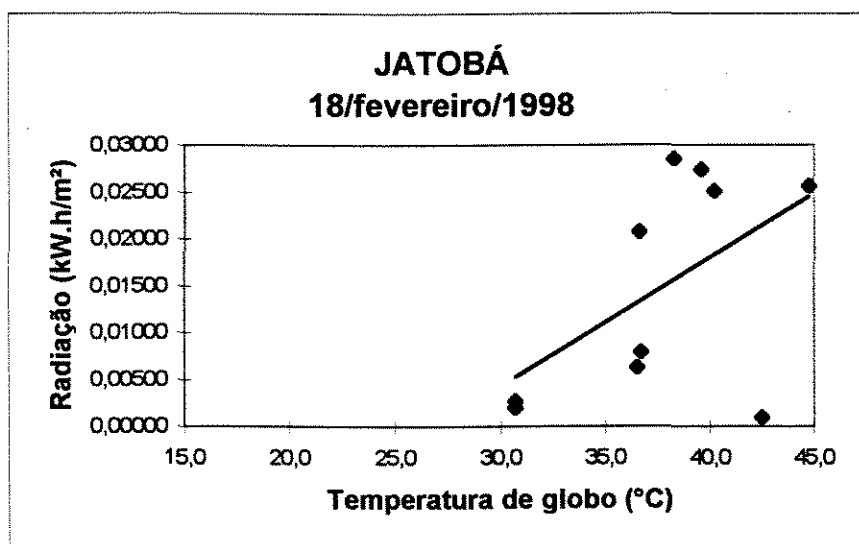


FIGURA 58 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Jatobá)

Correlação = 0,53016.

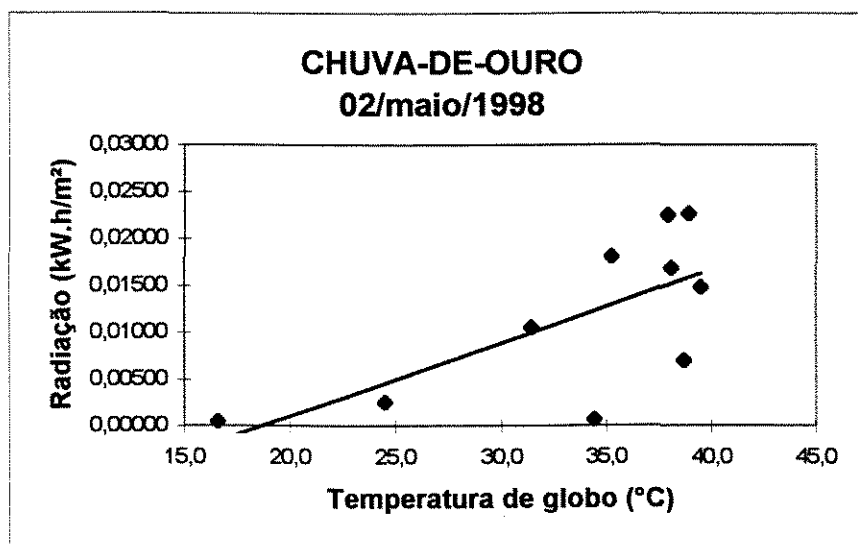


FIGURA 59 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Chuva-de-ouro)

Correlação = 0,68516.

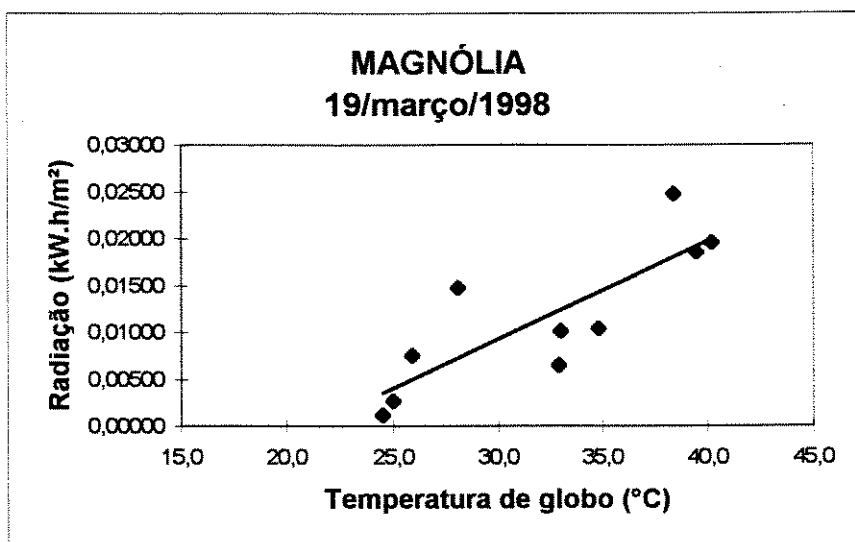


FIGURA 60 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Magnólia)  
Correlação = 0,82563.

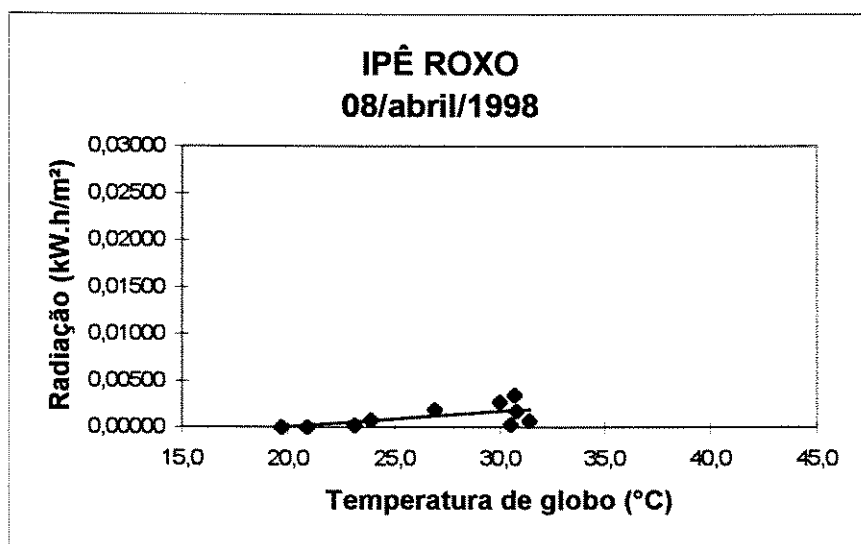


FIGURA 61 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Ipê Roxo)  
Correlação = 0,61943.

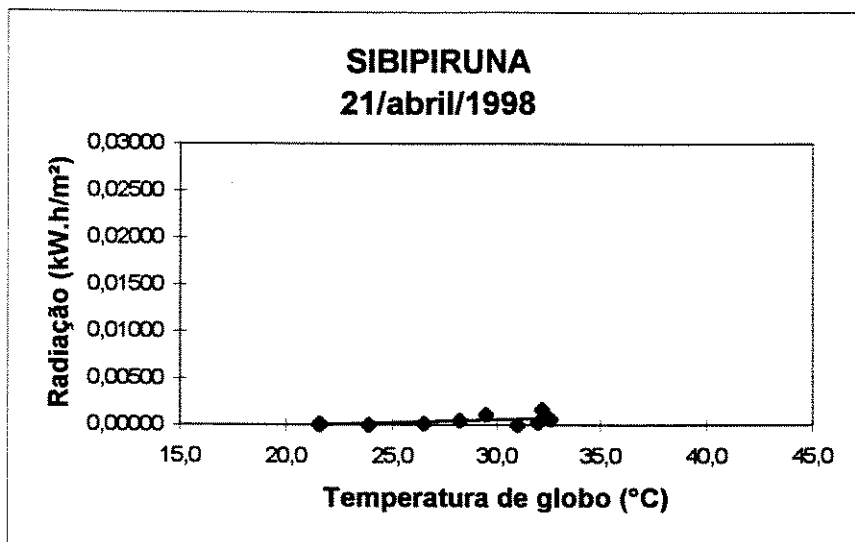


FIGURA 62 - Valores horários de energia incidente em função das temperaturas de globo (Sibipiruna)  
Correlação = 0,55494.

## **7.1 Observações finais**

Todas as espécies forneceram dados de temperatura ambiente, temperatura de globo e umidade relativa que seguiram bem de perto a tendência esperada. A única árvore que mostrou resultados aparentemente incoerentes foi a Magnólia. A proposta no caso seria aumentar o número de dias de medição, a fim de se obter resultados mais conclusivos a respeito desse indivíduo.

A coleta de dados sobre a velocidade do ar é de extrema importância para qualquer avaliação de conforto térmico. Cabe ressaltar novamente que essa coleta só não foi realizada por falta de equipamento adequado.

## **8 CONCLUSÕES**

## 8 CONCLUSÕES

- É proposta uma metodologia para a caracterização dos indivíduos arbóreos no que se refere à atenuação da radiação solar incidente e ao microclima proporcionado à sombra das mesmas.

- Com base nos resultados obtidos, observa-se que entre as espécies estudadas, as que apresentam melhor desempenho quanto à atenuação da radiação solar são a Sibipiruna (88,5% de atenuação), o Jatobá (87,2%) e a Chuva-de-ouro (87,3%). Em segundo lugar ficou a Magnólia com 82,4% de atenuação e, por último, o Ipê roxo com 75,6%.

- As variações relativas da temperatura ambiente e da temperatura de globo, para as cinco espécies analisadas, seguiram de perto o comportamento das mesmas em relação à atenuação da radiação solar.

- A utilização dos solarímetros lineares, com medidas simultâneas das temperaturas e umidade, ao sol e à sombra das árvores, abre novas perspectivas para

o estudo da transparência dos indivíduos arbóreos à radiação solar, e conseqüentemente, do conforto térmico por eles proporcionado.

- Para uma determinação mais precisa da quantidade de radiação atenuada por certas espécies, deve-se realizar medições de radiação solar, temperaturas ambiente e de globo, e da velocidade do ar ao longo de todo o ciclo fenológico das mesmas. Dessa forma, os dados também podem fornecer as condições de cada árvore em períodos característicos do ano, como inverno, primavera etc.

- Estudos utilizando essa técnica devem ter seus resultados divulgados, de modo a poderem influenciar no planejamento de áreas verdes nos centros urbanos, e contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população.





## 9 GLOSSÁRIO

**Alburno:** A parte externa, funcional do xilema.

**Alternas:** Diz-se das folhas que se inserem, isoladamente, em diferentes níveis do caule.

**Bainha:** Parte basal e achatada da folha, que a prende ao caule envolvendo-o total ou parcialmente.

**Cerne:** A parte interna não funcional do xilema.

**Composta:** Diz-se da folha cuja lâmina (limbo) é formada por dois ou mais folíolos que podem, por sua vez, subdividir-se.

**Coriácea:** Se refere à folha com textura quebradiça ou de couro.

**Decídua:** Planta que perde todas as folhas durante um período do ano, geralmente durante o inverno ou períodos de estiagem.

**Esciófita:** Planta adaptada ao crescimento na sombra.

**Foliolada:** Que possui folíolos.

**Folíolo:** Cada uma das partes laminares de uma folha (pinada); neste caso, o mesmo que pina; também cada uma das partes de uma folha digitada; o mesmo que dígito (dedo).

**Fuste:** Eixo principal da árvore, ou tronco desprovido de ramos.

**Heliófita:** Planta adaptada ao crescimento em ambiente aberto ou exposto à luz direta.

**Latifoliada:** De folhas largas.

**Pecíolo:** Parte da folha que prende o limbo (lâmina) ao caule, diretamente ou por meio de uma bainha.

**Pina:** O mesmo que fóliolo de uma folha composta (pinada).

**Pubescente:** Revestido com qualquer tipo de pelo.

**Semidecídua:** Planta que perde total ou parcialmente as folhas durante um período do ano, porém nunca ficando totalmente desfolhada.

**Xerófita:** Planta que é capaz de crescer em solos com pouca umidade disponível.

**Xilema:** Conjunto de vasos, traqueídes, parênquima lenhoso (axial e radial) e fibras: o mesmo que lenho.

**Xilófagos:** Diz-se do inseto que rói madeira.

**10      REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI, Hashem, TAHA, Haider. Impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. *Energy (Oxford)*, v. 17, n. 2, p. 141-149, Feb. 1992.

AROSZTEGUI, José Miguel. Cuantificación del impacto de las sombras de los edificios. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, 1995, Gramado. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 1995. p. 341-346.

ASSIS, Eleonora Sad de. Avaliação da influência do uso e ocupação do solo urbano sobre a formação da ilha de calor na cidade de Belo Horizonte, MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, 1990, Gramado. *Anais...* Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1991. p. 53-57.

ASSIS, Rosana Maria Caram de. *Vidros e conforto ambiental: indicativos para o emprego na construção civil*. São Carlos: Departamento de Arquitetura da EESC-USP, 1996. 131 p. (Dissertação, Mestrado em Arquitetura)

AWBI, H.B. *Ventilation of buildings*. London: E & FN Spon, 1991. 313 p.

BAJWA, Mohammad Maqsood. Role of integrated landscape design in energy conservation in detached dwellings in the Arabian Gulf region. *Renewable Energy*, v. 6, n. 2, p. 139-150, Mar. 1995.

BARDOU, Patrick, ARZOUMANIAN, Varoujan. *Tecnología y Arquitectura - Sol y Arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili, 1984. 171 p.

BARTH, Flávio Terra et al. *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo: Nobel, ABRH, 1987. (Coleção ABRH de recursos hídricos).

BERNATZKY, Aloys. The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings*, v. 5, p. 1-10, 1982.

BIANCHI, Cynthia Guimarães, GRAZIANO, Tais Tostes. Caracterização e análise das áreas verdes urbanas de Jaboticabal - SP. In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO DE CIDADES, 1, 1992, Vitória. *Anais...* Vitória: 1992. p. 225-237.

BUDIN, R., BUDIN, L. A mathematical model for shading calculations. *Solar Energy*, v. 29, n. 4, p. 339-349, 1982.

BUENO, Carolina Lotufo, LABAKI, Lucila Chebel, SANTOS, Rozely Ferreira dos. Caracterização das espécies arbóreas e sua contribuição para o conforto térmico urbano do sub-distrito de Barão Geraldo, Campinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4, 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: FAUFBA, LACAM - ANTAC, 1997. p. 93-96.

CANTON, M.A., CORTEGOSO, J.L., de ROSA, C. Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings*, v. 20, n. 3, p. 219-230, 1994.

CARVALHO, Maria Lúcia A.M. de. Impacto do ambiente construído sobre o clima. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, 1993, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ANTAC, ABERGO, SOBRAC, 1993. p. 233-238.

- CORRÊA, M. Pio. *Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1926-1978. 6 v.
- DELTA-T DEVICES. *Tube net radiometer user manual*. London, 1993 (a). 3 p.
- DELTA-T DEVICES. *Tube solarimeter user manual*. London, 1993 (b). 20 p.
- DELTA-T DEVICES. Catálogo de produtos. London, [199-]. p. 1-36.
- DETWYLER, T.R., MARCU, M.G. *Urbanization and environment*. California: Duxbury Press, 1974. apud ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. São Paulo: Projeto, 1988. 128 p.
- DETZEL, Valmir Augusto. Arborização urbana: importância e avaliação econômica. In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO DE CIDADES, 1, 1992, Vitória. *Anais...* Vitória: 1992. p. 39-52.
- DUFFIE, John A., BECKMAN, William A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: John Wiley & Sons, 1980. p. 1-196.
- DUFNER, K.L. et al. Determination of climate variation within metropolitan areas, Phase I summary. *ASHRAE Transactions*, Atlanta, v. 99, pt. 1, p. 430-449, 1993.
- FANGER, P.O. *Thermal comfort*. New York: McGraw-Hill, 1972. apud AWBI, H.B. *Ventilation of buildings*. London: E & FN Spon, 1991. 313 p.
- FERRI, M.G., MENEZES, N.L., MONTEIRO, W.R. *Glossário ilustrado de botânica*. São Paulo: Nobel, 1981. 198 p.
- FROTA, Anésia Barros, SCHIFFER, Sueli Ramos. *Manual de Conforto Térmico*. 2.ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 243 p.

- FURTADO, Adma Elias. *Simulação e análise da utilização da vegetação como anteparo às radiações solares em uma edificação*. Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ, 1994. 144 p. (Dissertação, Mestrado em Ciências de Arquitetura).
- GIVONI, B. Urban design for hot humid regions. *Renewable Energy*, v. 5, n. 5/8, p. 1047-1053, Aug. 1994.
- GIVONI, B. *Man, Climate and Architecture*. 2.ed. London: Applied Science, 1981. 483 p.
- GIVONI, B. Estimation of the effect of climate on man: development of a new thermal index. *Research Report to UNESCO*, Building Research Station, Haifa. 1963. apud GIVONI, B. *Man, Climate and Architecture*. 2.ed. London: Applied Science, 1981. 483 p.
- GHELFI FILHO, Hugo et al. Sombreamento natural: avaliação de algumas espécies arbóreas através de índices de conforto térmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, 1996, Bauru. *Anais...* Bauru: SBEA, 1996. paper n.395-96. 8 p.
- GRAF, Alfred Byrd. *Hortica - color cyclopedia of garden flora*. East Rutherford: Roehrs Company, 1992.
- HAHN, L.G. Housing and management to reduce climatic impacts on livestock. *Journal of Animal Science*, Menasha, v. 52, n. 1, p. 175-186, 1981. apud GHELFI FILHO, Hugo et al. Sombreamento natural: avaliação de algumas espécies arbóreas através de índices de conforto térmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, 1996, Bauru. *Anais...* Bauru: SBEA, 1996. paper n.395-96. 8 p.
- HASENACK, Heinrich, BECKE, Vera Luise. Distribuição noturna da temperatura em Porto Alegre, RS utilizando o método de medidas móveis. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, 1990, Gramado. *Anais...* Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1991. p. 139-145.
- HAYMAN, S. Limits of accuracy of graphical solar access and shadow studies. *Architectural Science Review*, v. 32, n. 1, p. 15-20, Mar. 1989.

HEISLER, Gordon M. Reductions of solar radiation by tree crowns. p. 133-138. 1982.

HEISLER, Gordon M., HALVERSON, Howard G., ZISA, Robert P. Solar radiation measurements beneath crowns of open-grown trees. [198-]. p. 162-165.

HUMPHREYS, M.A. *Field studies of thermal comfort compared and applied*. London, 1975. BRE Current Paper 76/75. apud AROZTEGUI, José Miguel. Cuantificación del impacto de las sombras de los edificios. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, 1995, Gramado. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 1995. p. 341-346.

IZARD, Jean-Louis, GUYOT, Alain. *Tecnología y Arquitectura - Arquitectura bioclimática*. Mexico, D.F.: Gustavo Gili, 1983. 191 p.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. *Manual of tropical housing and building*; Part one: Climatic design. New York: Longman, 1980. 320 p.

KOENIGSBERGER, O. et al. *Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Trad. Emilio Romero Ros. Madrid: Paraninfo, 1977. apud FROTA, Anésia Barros, SCHIFFER, Sueli Ramos. *Manual de Conforto Térmico*. 2.ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 243 p.

LABAKI, Lucila Chebel, SANTOS, Rozely Ferreira dos. *Conforto térmico em cidades: efeito da arborização no controle da radiação solar*. Projeto FAPESP. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP. Fev. 1996.

LAWLOR, D.W. *Photosynthesis: metabolism, control and physiology*. London: Longman Group Limited, 1987. 262 p.

LECHNER, Norbert. *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects*. New York: John Wiley & Sons, 1991. 524 p.



- LOMBARDO, Magda Adelaide. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985. 244 p.
- LOMBARDO, Magda Adelaide. A ilha de calor de São Paulo. *Ambiente*, v. 2, n. 1, p. 14-18, 1988.
- LORENZI, Harri. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 368 p.
- MCPHERSON, E.G. *Planting Design for Solar Control. Energy Conserving Site Design*. E. G. Washington, D.C.: American Society of Landscape Architects, 1984. apud FURTADO, Adma Elias. *Simulação e análise da utilização da vegetação como anteparo às radiações solares em uma edificação*. Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ, 1994. 144 p. (Dissertação, Mestrado em Ciências de Arquitetura).
- MILANO, Miguel Serediuk. A cidade, os espaços abertos e a vegetação. In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO DE CIDADES, 1, 1992, Vitória. *Anais...* Vitória: 1992. p. 3-14.
- MILANO, Miguel Serediuk. *Avaliação quali-quantitativa e manejo da arborização urbana: exemplo de Maringá - PR*. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias da UFPR, 1988. 120 p. (Tese, Doutorado em Ciências Florestais ).
- MILANO, Miguel Serediuk. Planejamento e replanejamento de arborização de ruas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2, 1987, Maringá. *Anais...* p. 1-8.
- MILANO, Miguel Serediuk. *Avaliação e análise da arborização de ruas de Curitiba - PR*. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias da UFPR, 1984. 130 p. (Dissertação, Mestrado em Ciências Florestais ).
- MORAES, J.A.P.V. *Fisiologia vegetal 2: IV - Metabolismo* (Apostila da Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR). Departamento de Ciências Biológicas - UFSCAR. São Carlos, [s.d.]. 50 p.
- MORERO, Andrea María. *Planejamento ambiental de áreas verdes - estudo de caso: distrito sede do município de Campinas - SP*. Campinas: Faculdade

de Engenharia Civil da UNICAMP, 1996. 156 p. ( Dissertação, Mestrado em Hidráulica e Saneamento ).

PEIXOTO, Maria Clara, LABAKI, Lucila C., SANTOS, Rozely F. Conforto Térmico em cidades: avaliação do efeito da arborização no controle da radiação solar. In: ENTAC 95 - TECNOLOGIA E QUALIDADE NA HABITAÇÃO, 1995, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: 1995. p. 629-634.

RIVERO, R. *Arquitetura e clima. Acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: D. C. Luzzatto, 1986.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. São Paulo: Projeto, 1988. 128 p.

SATTLER, Miguel Aloysio. Arborização urbana e conforto ambiental. In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO DE CIDADES, 1, 1992, Vitória. *Anais...* Vitória: 1992. p. 15-28.

SATTLER, Miguel Aloysio. Medições de campo da transmissão de radiação solar através de árvores. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, 1990, Gramado. *Anais...* Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1991. p. 93-96.

SATTLER, M.A., SHARPLES, S., PAGE, J.K. The geometry of the shading of buildings by various tree shapes. *Solar Energy*, v. 38, n. 3, p. 187-201, 1987.

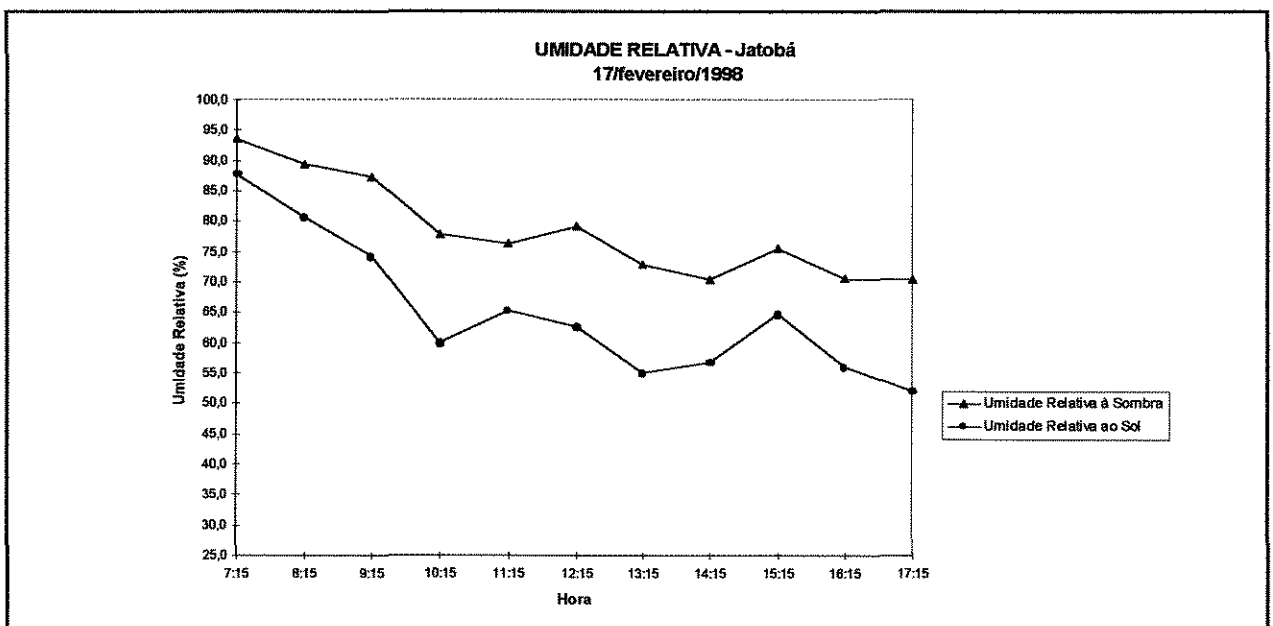
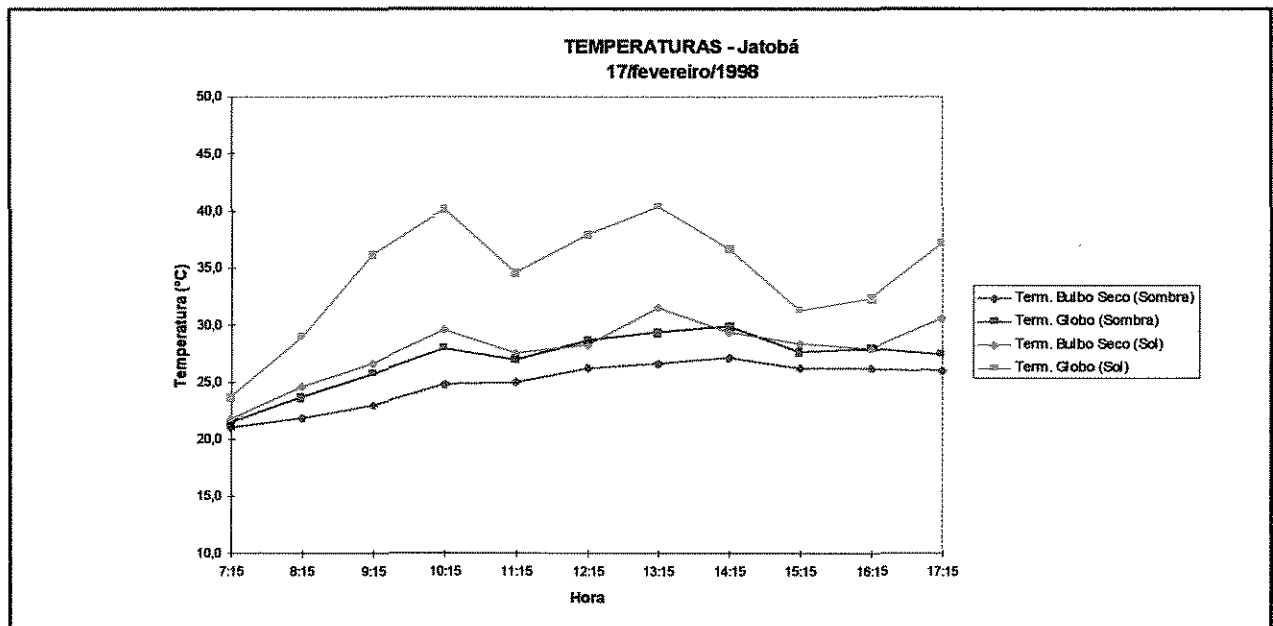
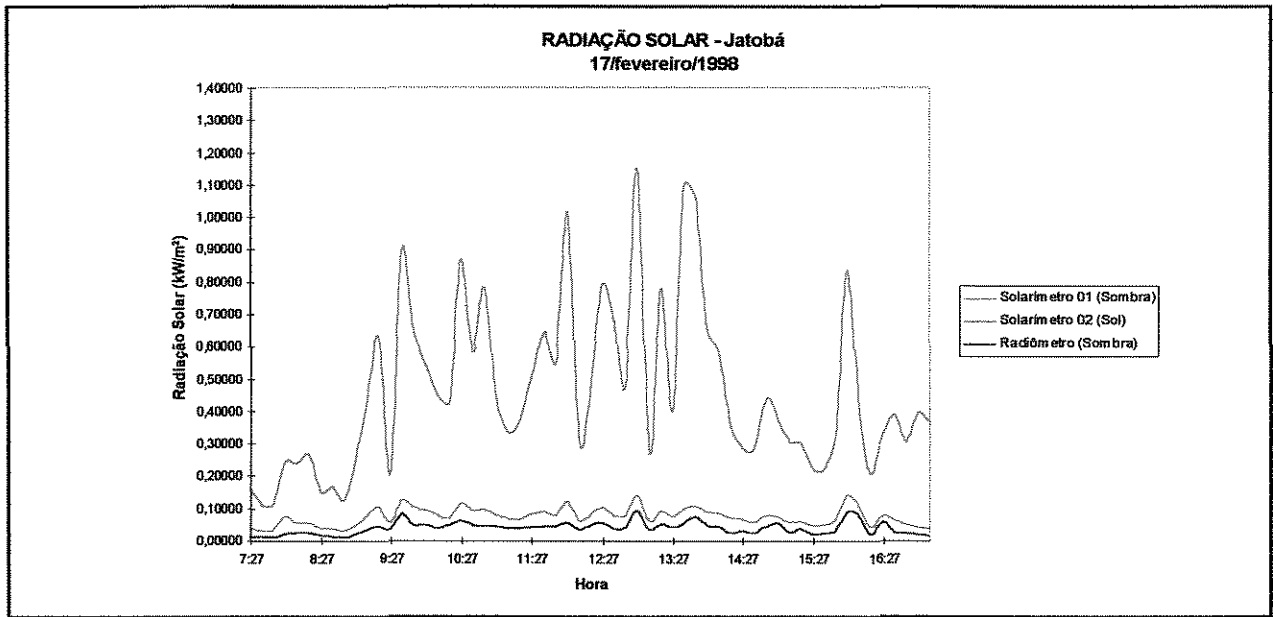
SCHANZER, Dora Wachsmann, MASCARÓ, Lúcia E.R. de. O uso de fontes passivas de energia para a climatização de espaços urbanos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, 1993, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ANTAC, ABERGO, SOBRAC, 1993. p. 99-105.

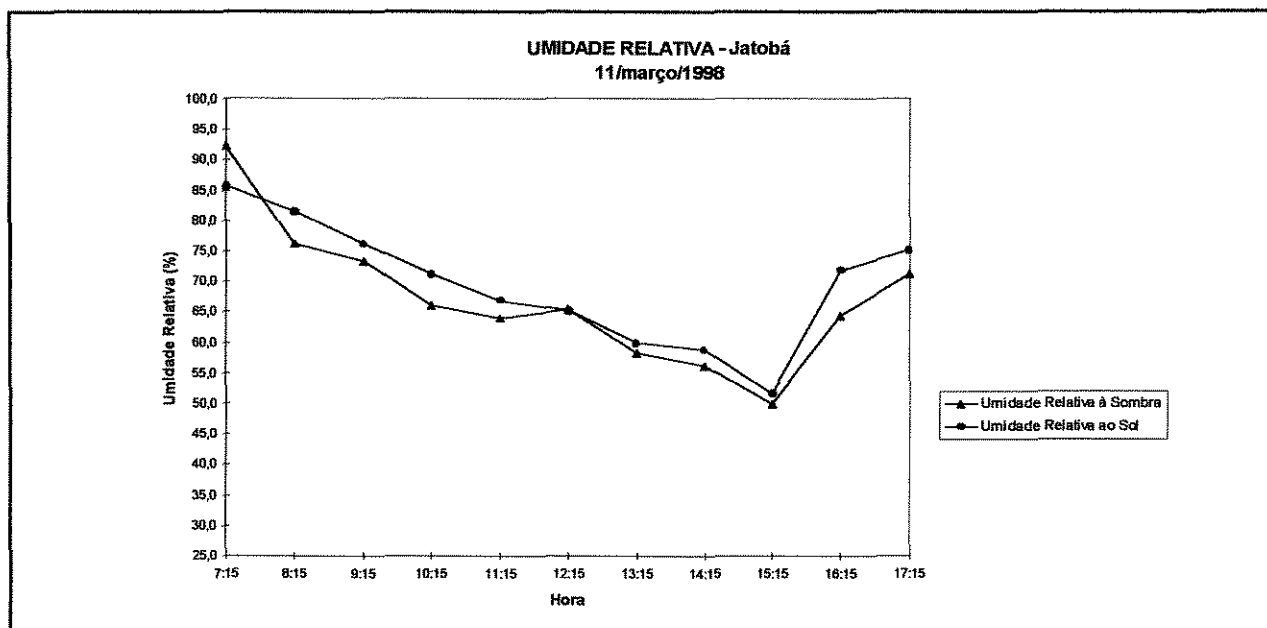
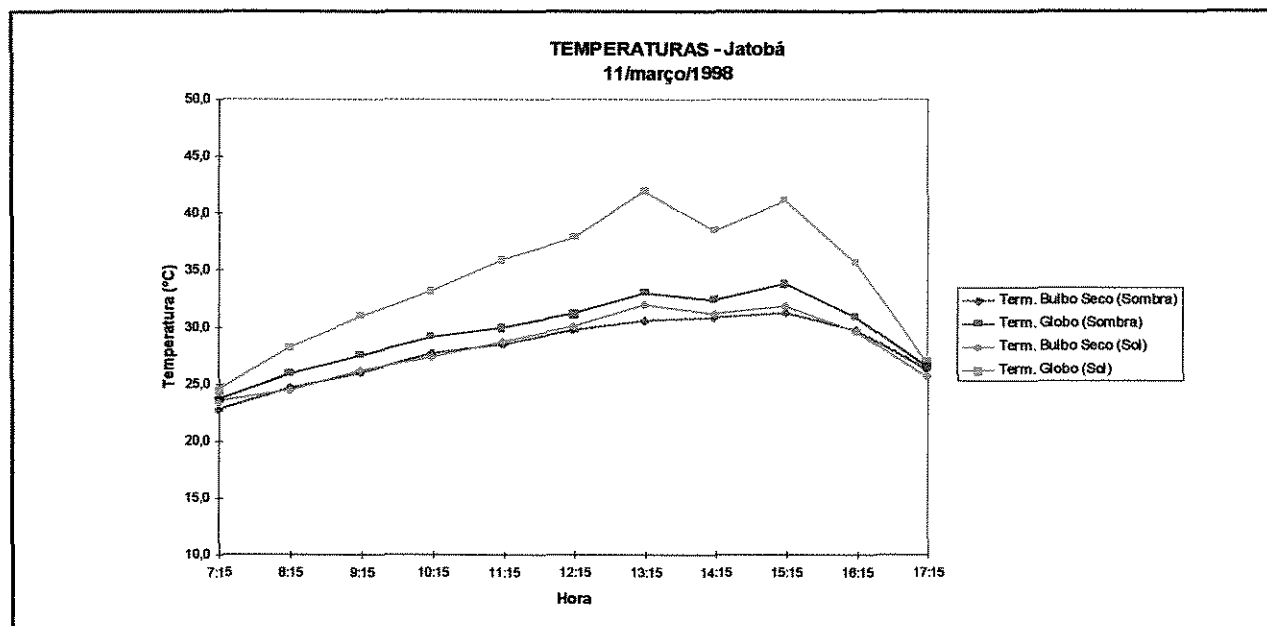
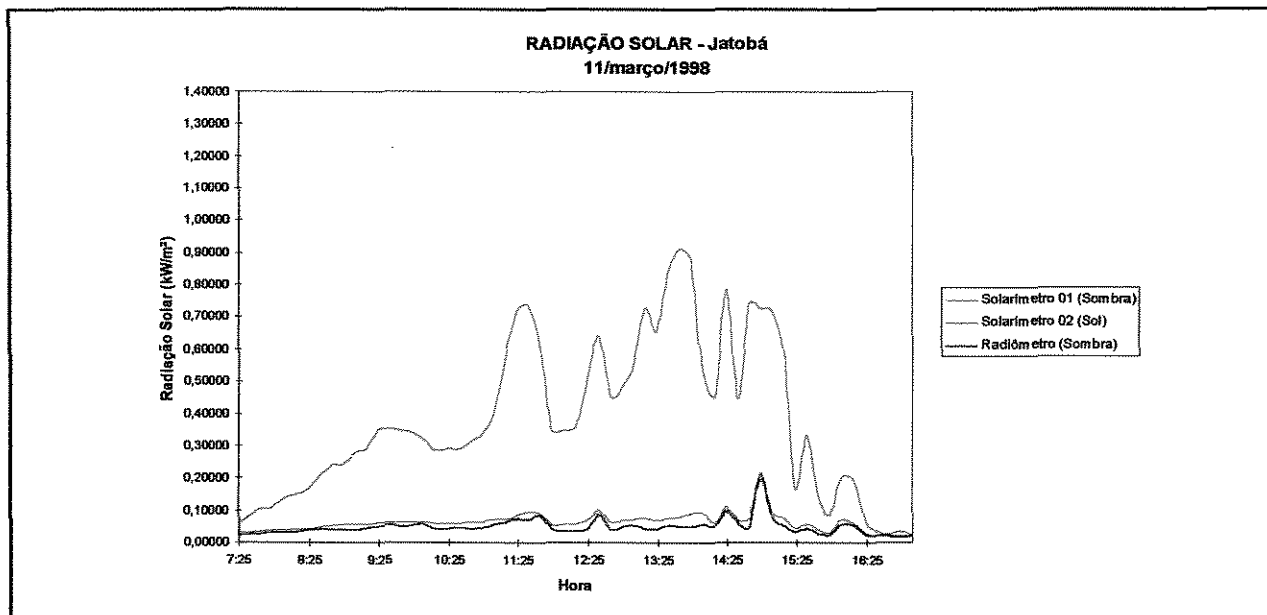
SILVA, Iran J. O. da et al. Redução da carga térmica de radiação através do sombreamento natural. In: CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 4, CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA RURAL, 2, 1996, Neuquen. *Memorias...* Neuquen: Universidad Nacional del Comahue,

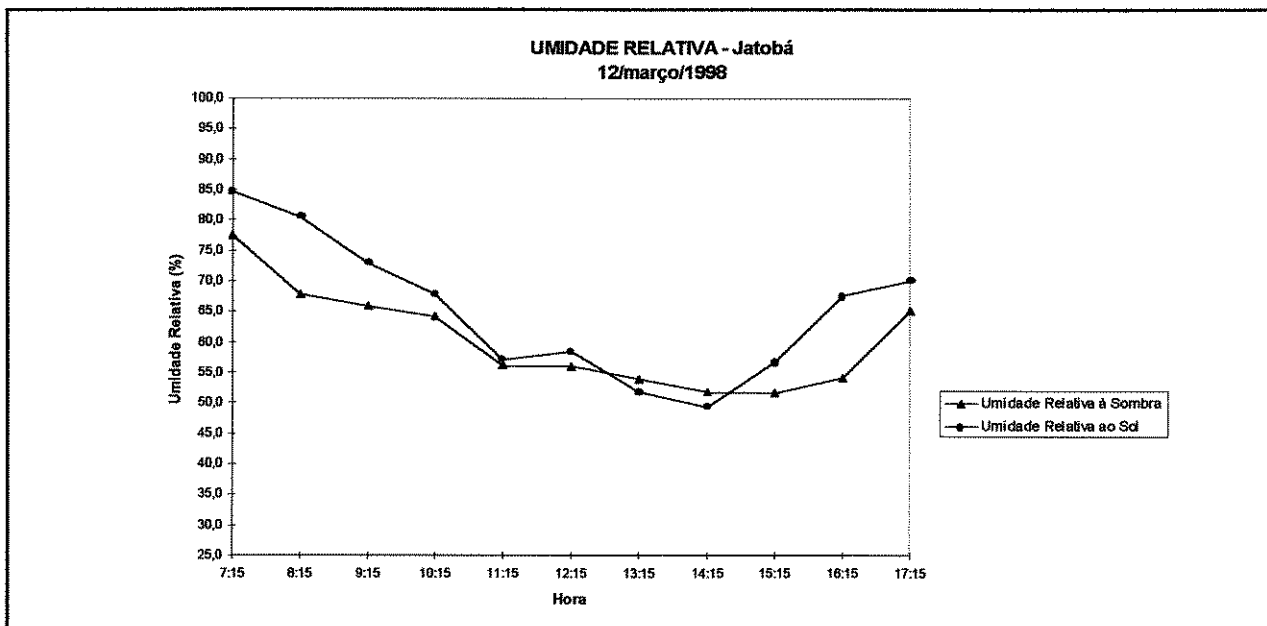
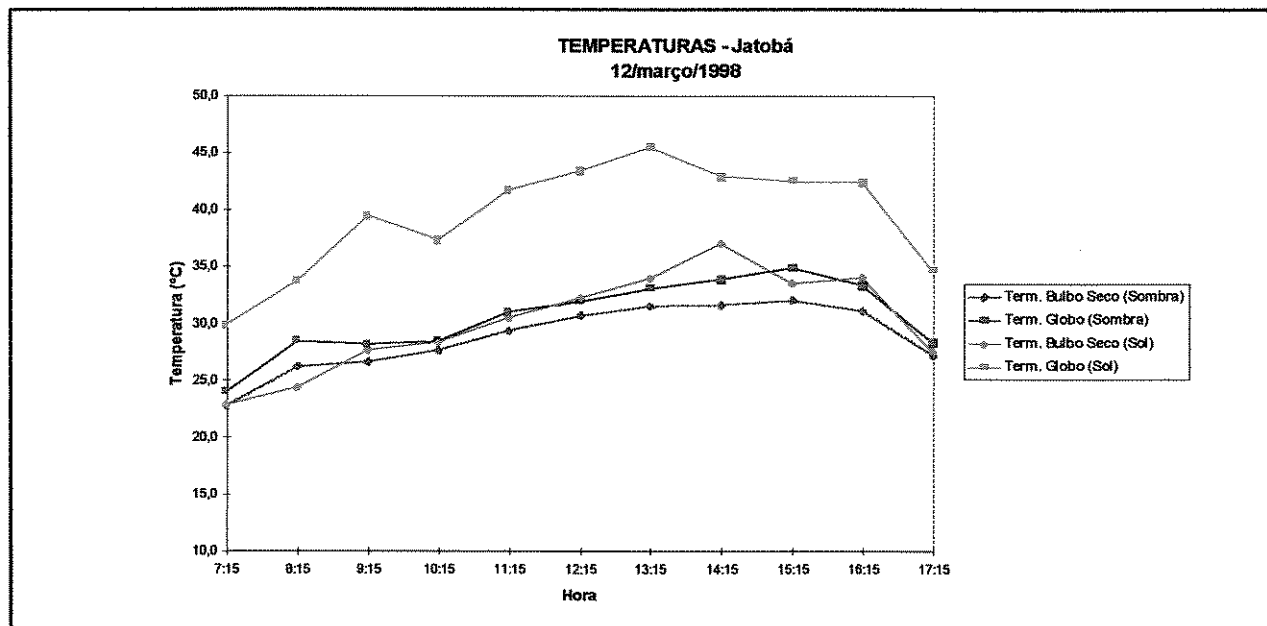
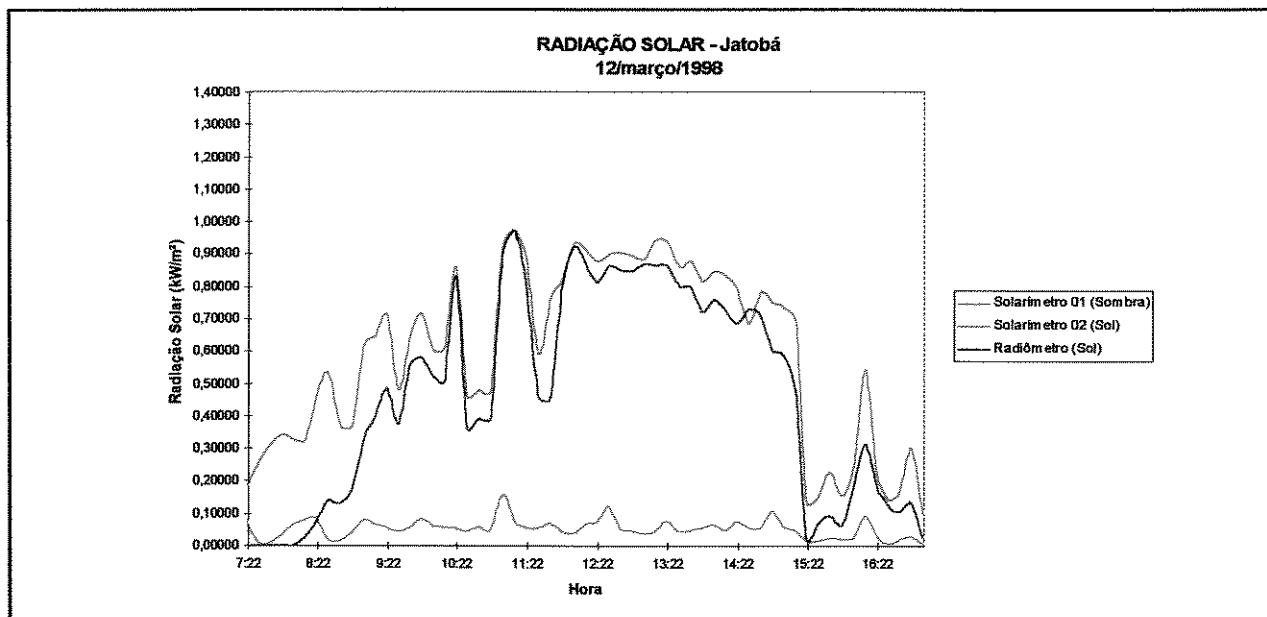
- Universidad Nacional de La Plata, INTA Centro Regional Patagonia Norte, 1996. p. 799-807.
- SOUSA, M.A.L.B., FIORAVANTE, A.P., CRUZ, R.A. Levantamento e classificação das áreas verdes da zona urbana de Botucatu, SP. In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO DE CIDADES, 1, 1992, Vitória. *Anais...* Vitória: 1992. p. 239-252.
- TOLEDO, Eustáquio. Departamento de Arquitetura da UnB, 1973. (Notas de aula). apud ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. São Paulo: Projeto, 1988. 128 p.
- TOLEDO FILHO, Demetrio Vasco de, PARENTE, Paulo Roberto. Aspectos da arborização urbana de uma cidade do interior do Estado de São Paulo - Moji-Mirim. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1985, Porto Alegre.
- TOPPING, J. *Errors of observation and their treatment*. 4.ed. London: Science Paperbacks, 1972. 120 p.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Parque Ecológico. *Poesia viva*. Campinas, 1997. 28 p.
- WALDIGE, V. *Avaliação do sombreamento proporcionado por alguns tipos de árvores em pastagem*. Jaboticabal: UNESP, 1994. apud SILVA, I.J.O., GHELFI FILHO, H., NÄÄS, I.A., GARBOGGINI, I.L.A. Redução da carga térmica de radiação através do sombreamento natural. In: CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 4, CONGRESSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA RURAL, 2, 1996, Neuquen. *Memorias...* Neuquen: Universidad Nacional del Comahue, Universidad Nacional de La Plata, INTA Centro Regional Patagonia Norte, 1996. p. 799-807.
- ZUFFO, Antonio Carlos. Prof. da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP. Comunicação pessoal. 1998.

**ANEXO A**

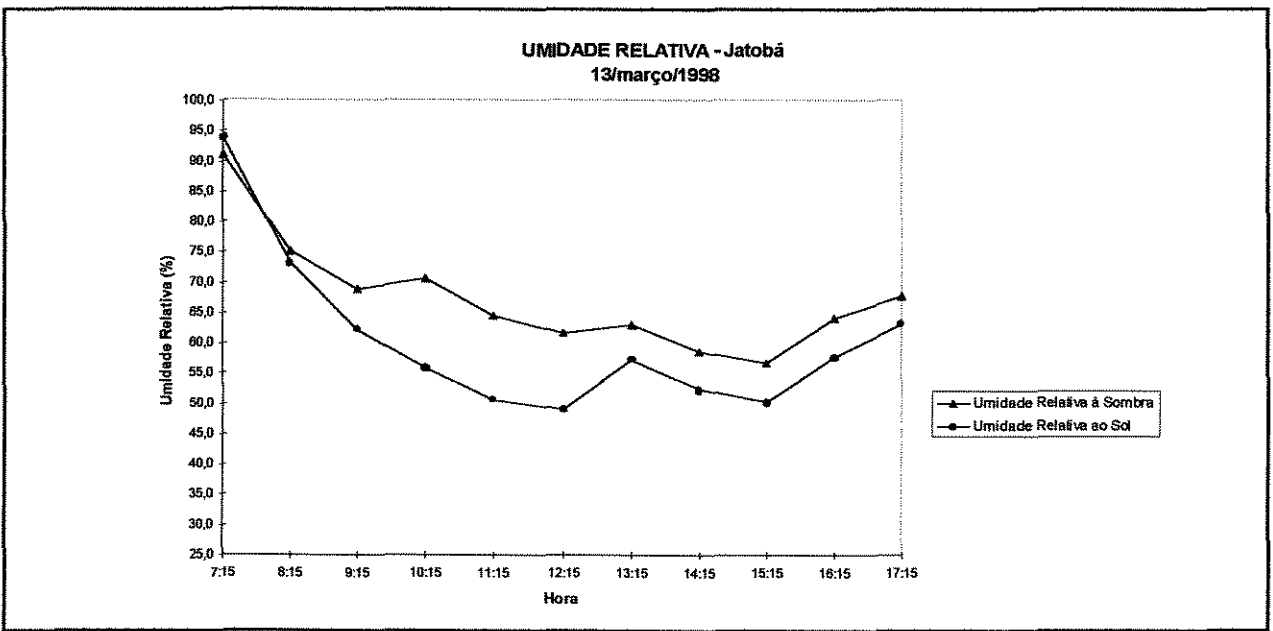
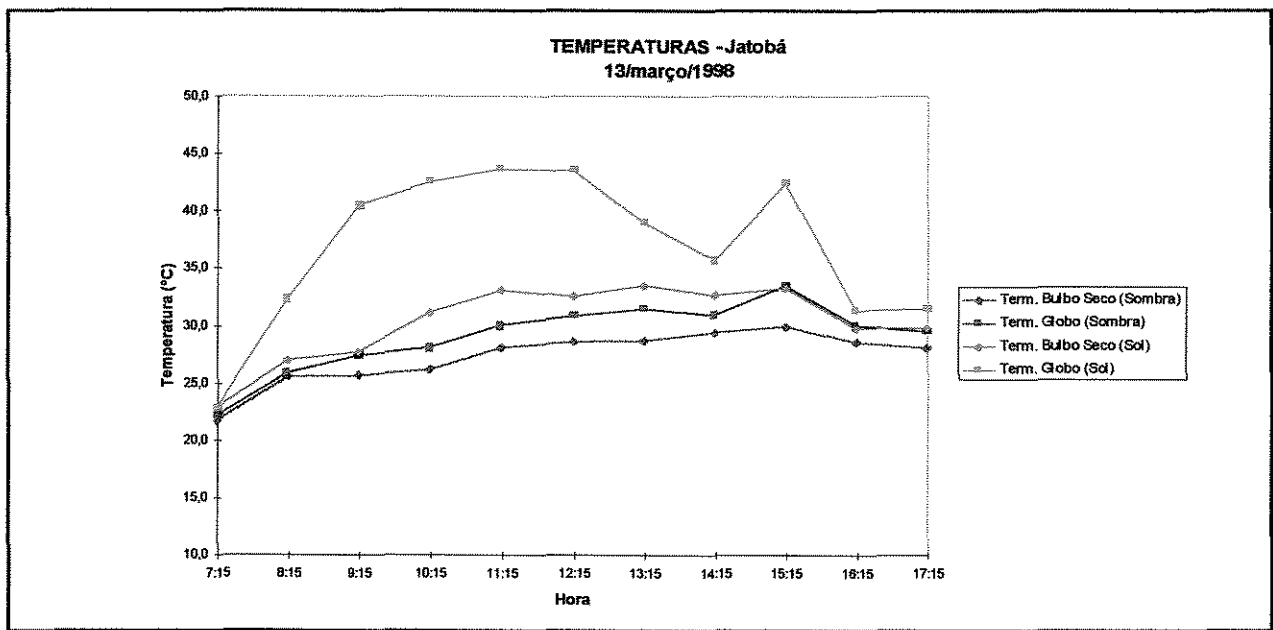
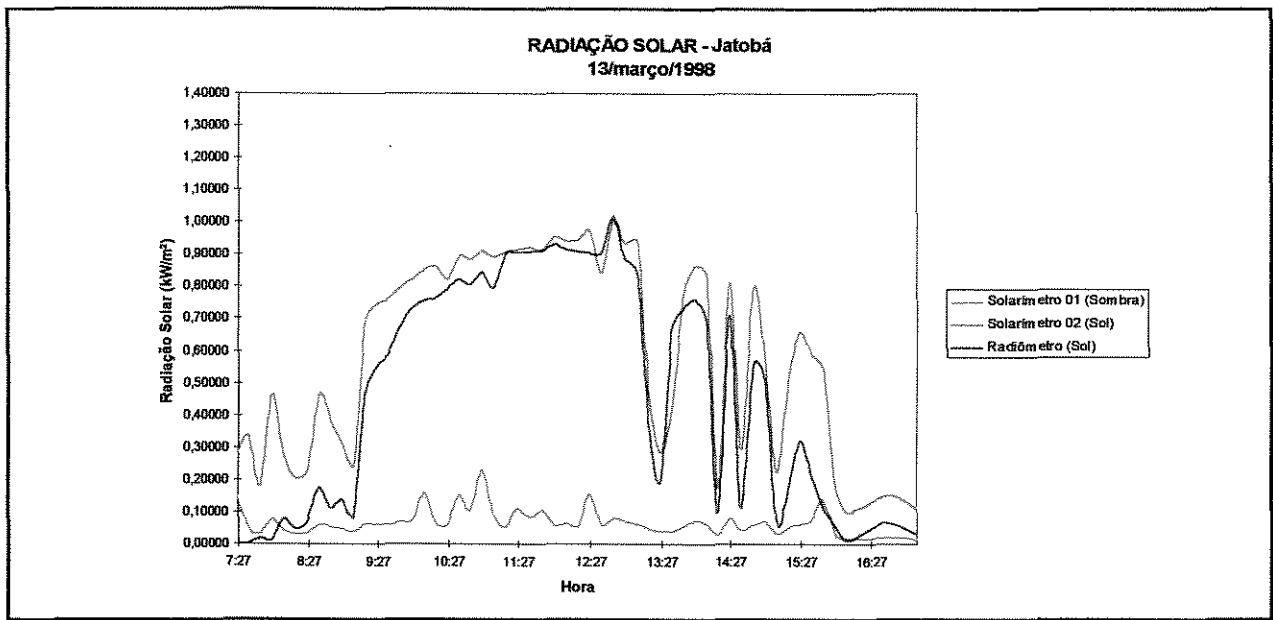
## **ANEXO A**

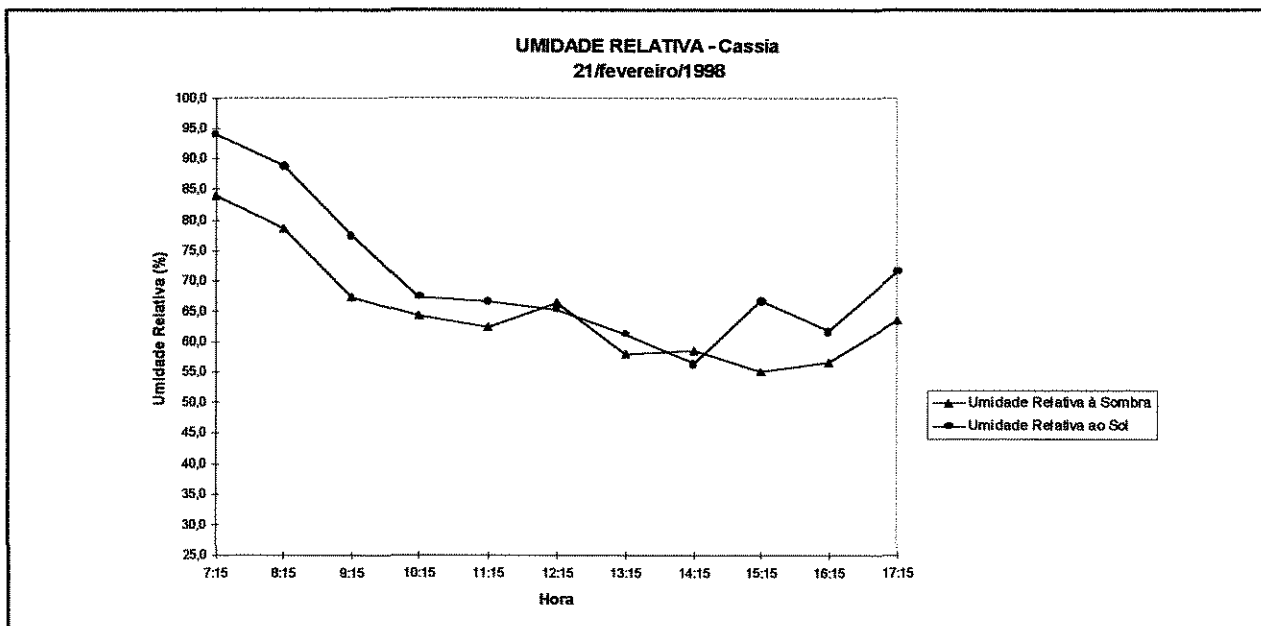
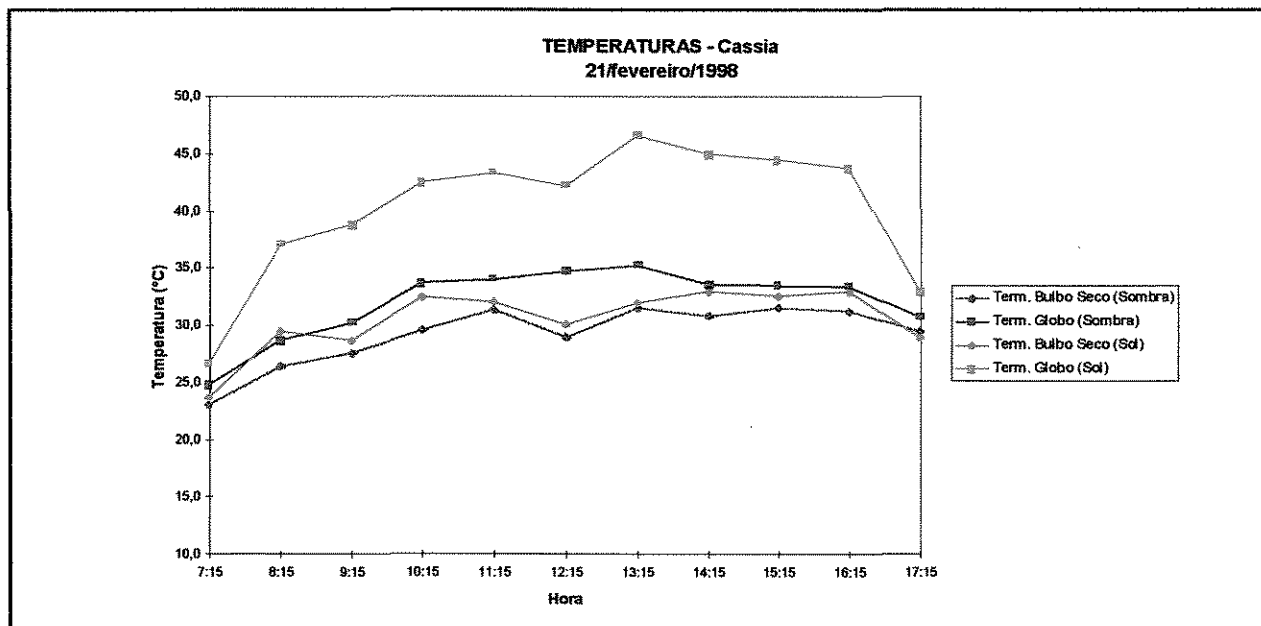
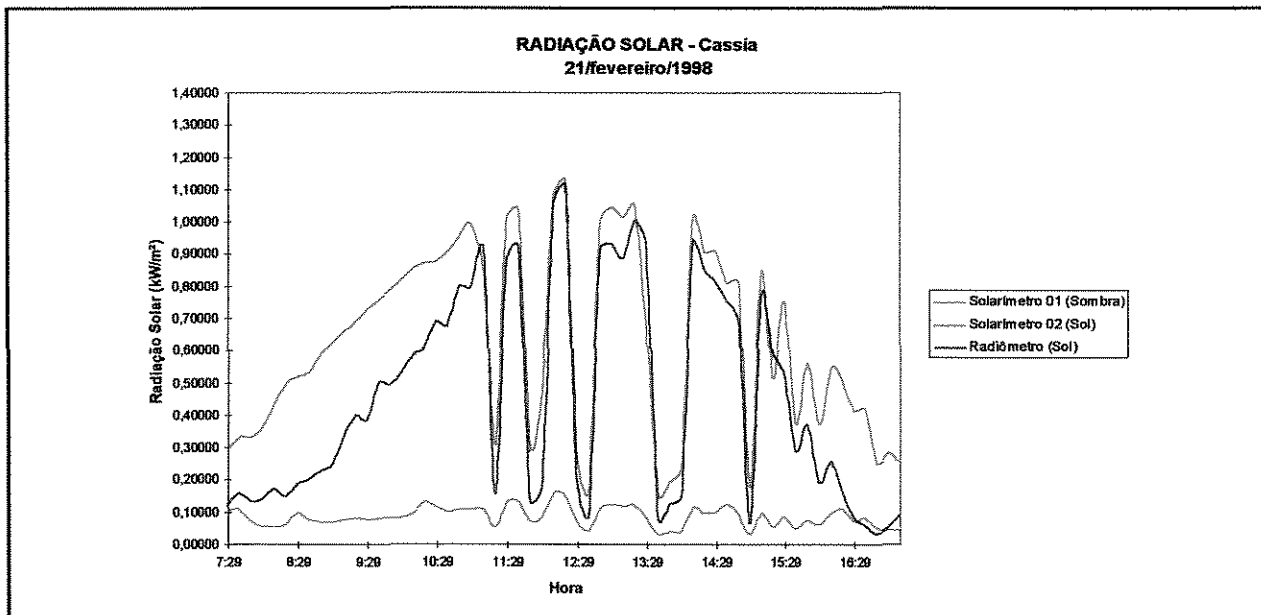


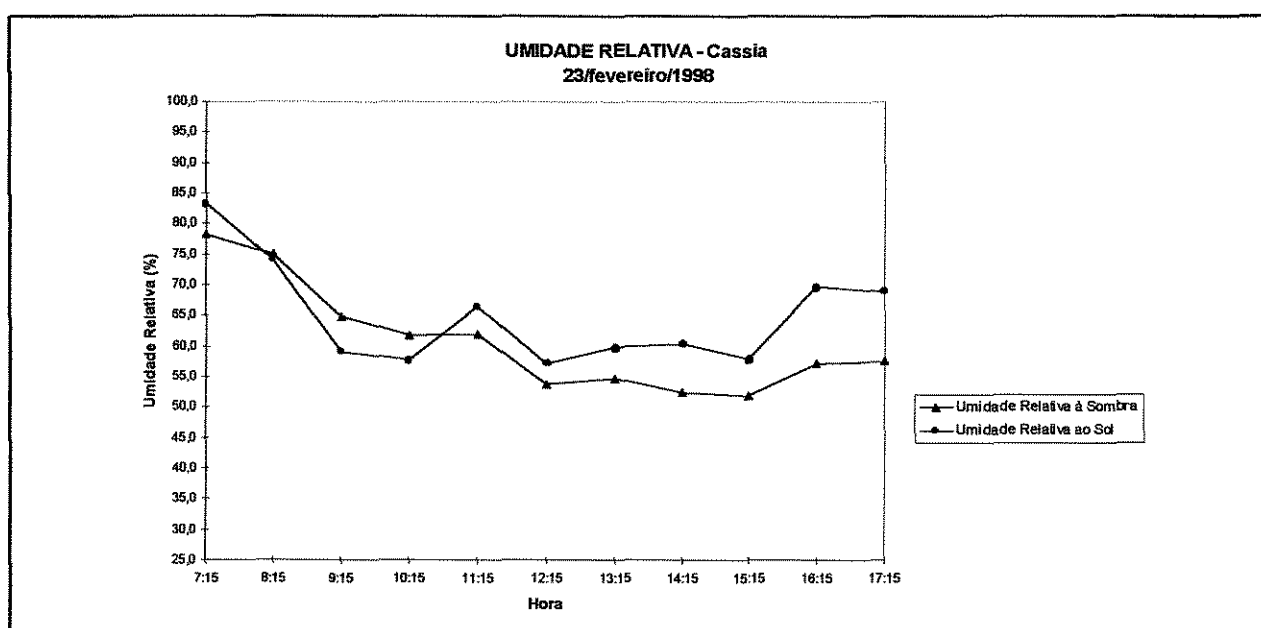
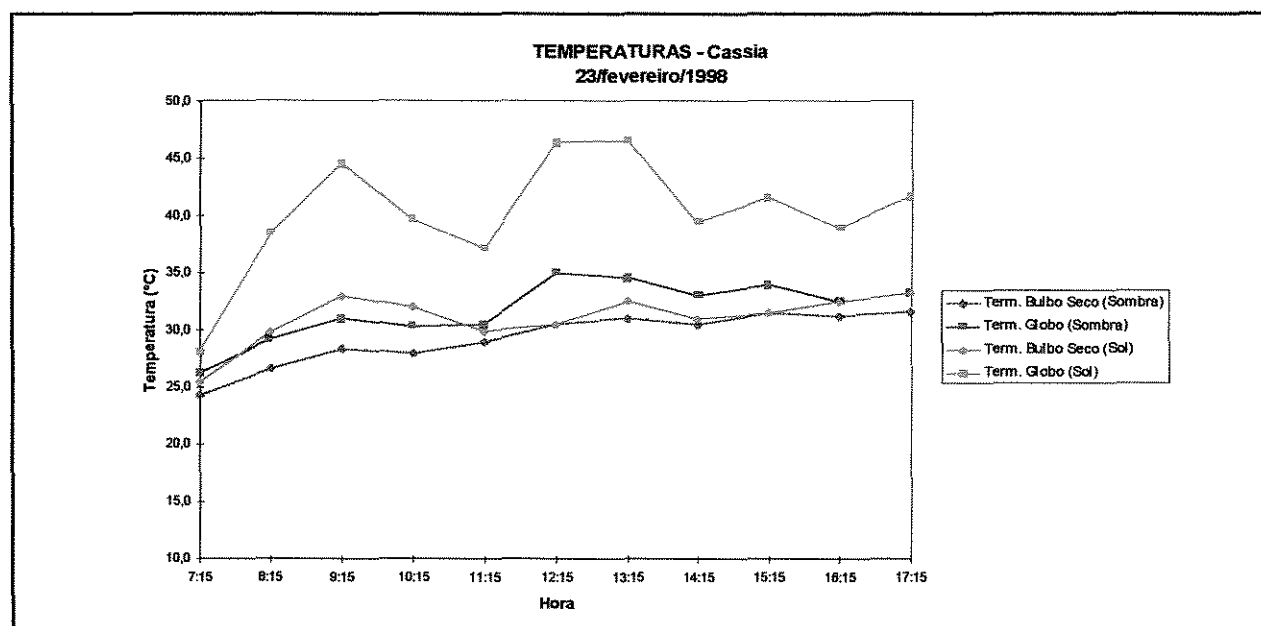
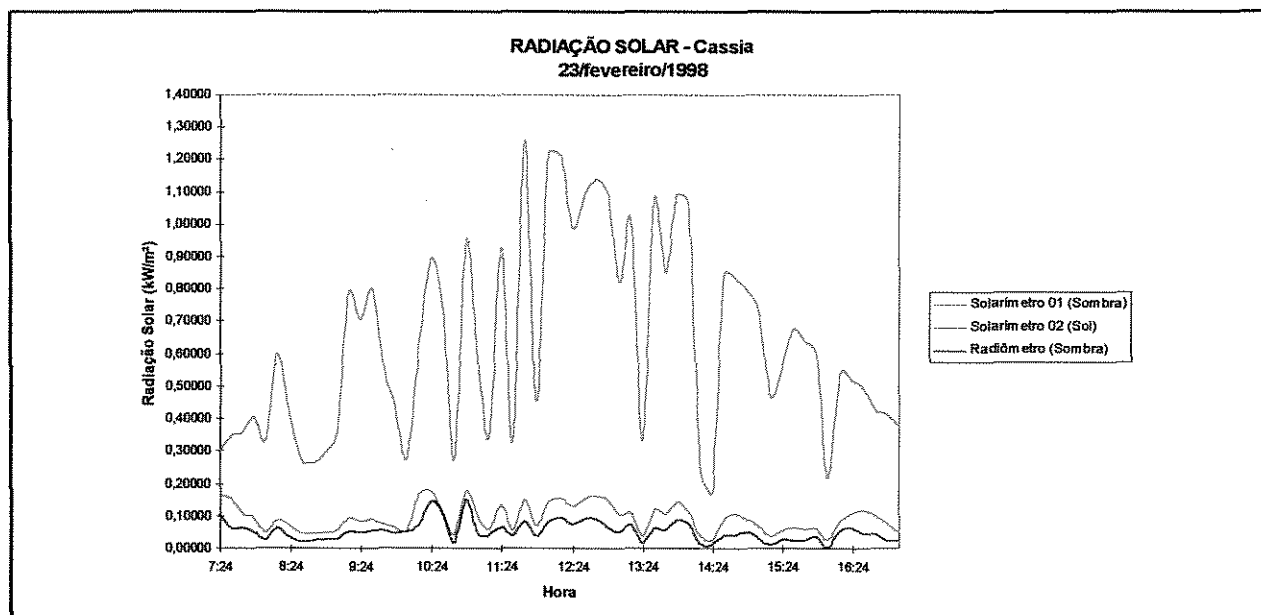




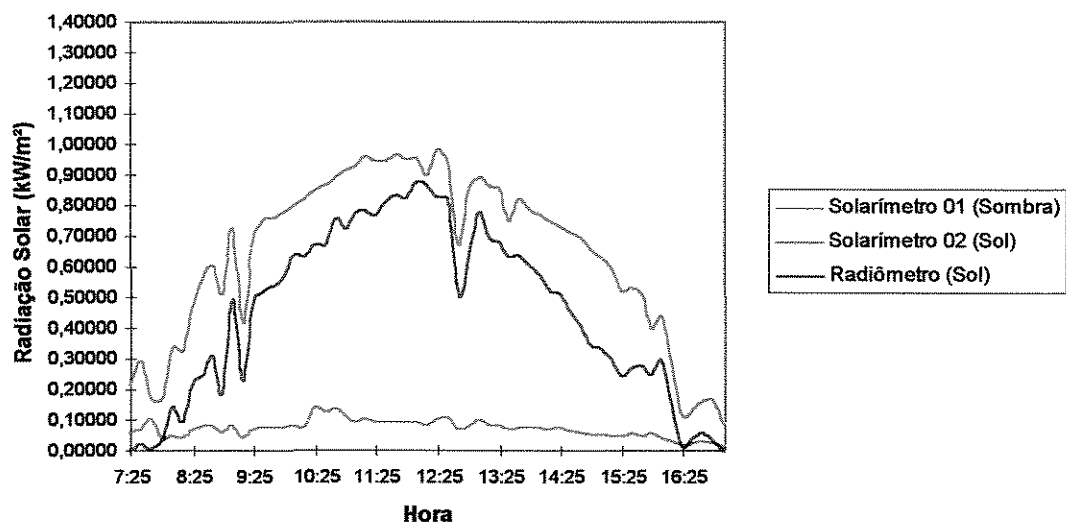




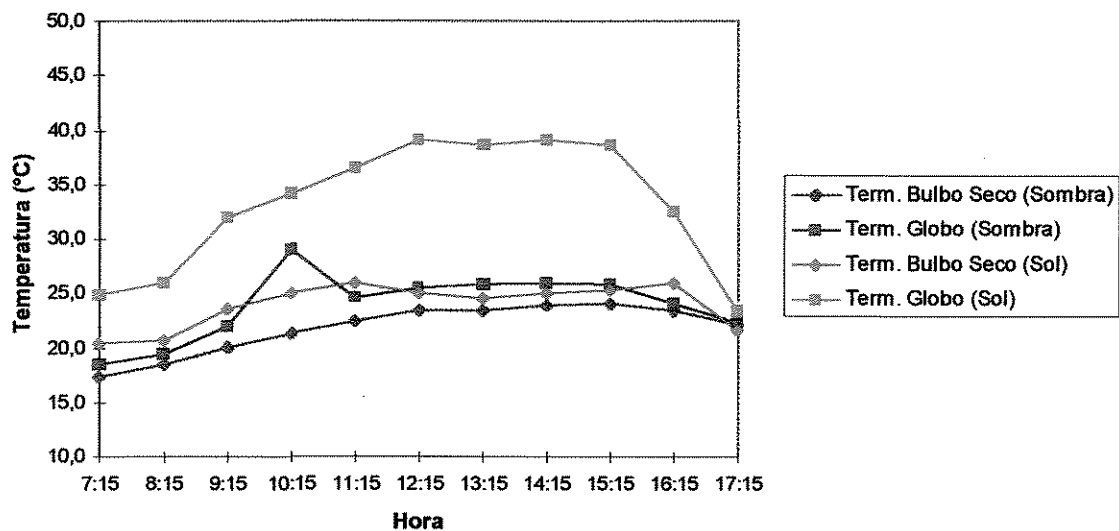




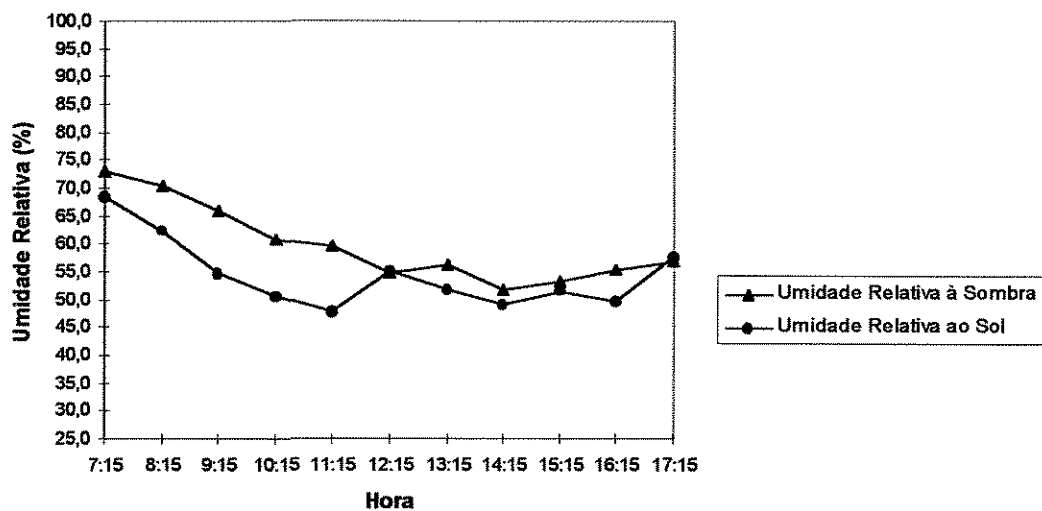
### RADIAÇÃO SOLAR - Cassia 04/abril/1998



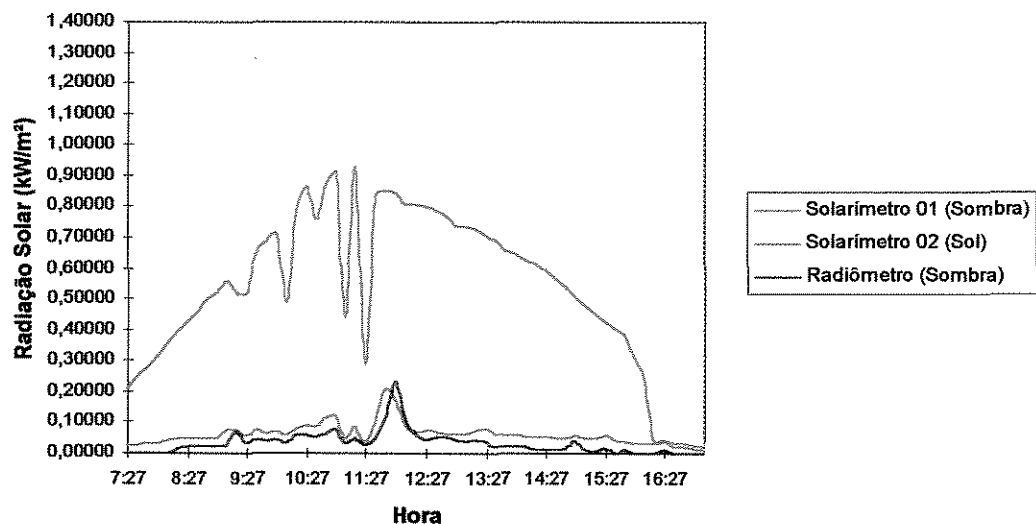
### TEMPERATURAS - Cassia 04/abril/1998



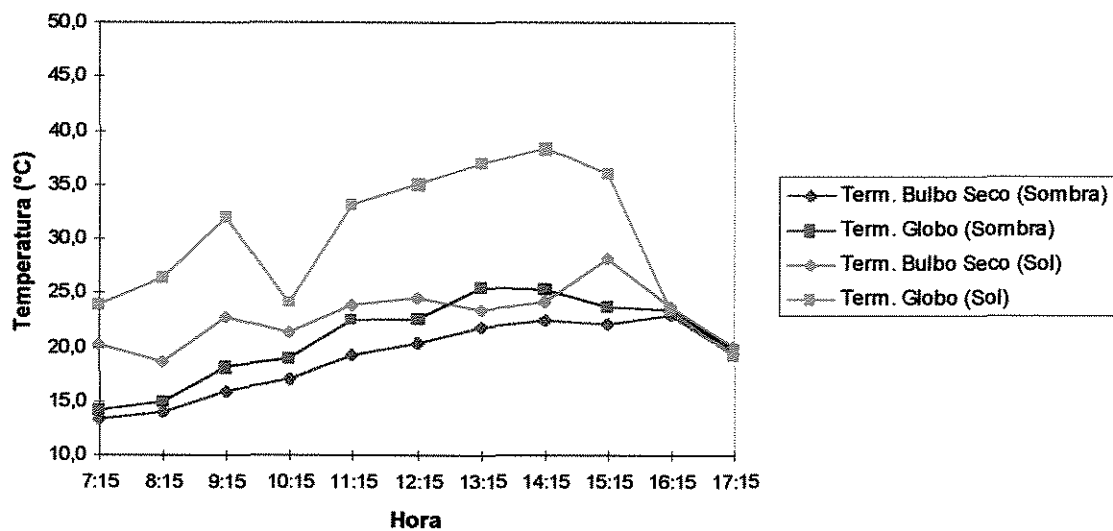
### UMIDADE RELATIVA - Cassia 04/abril/1998



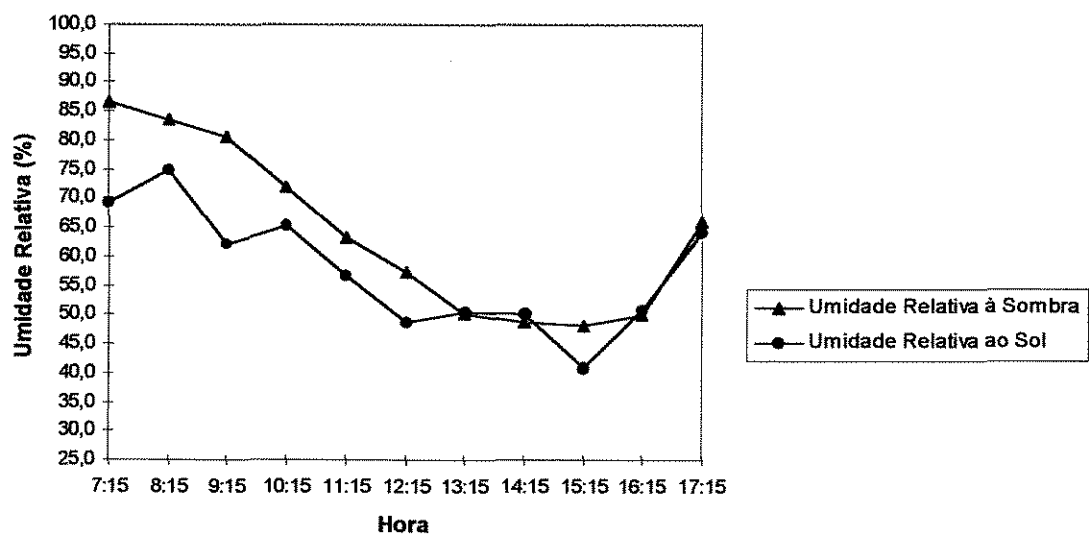
### RADIAÇÃO SOLAR - Cassia 01/maio/1998

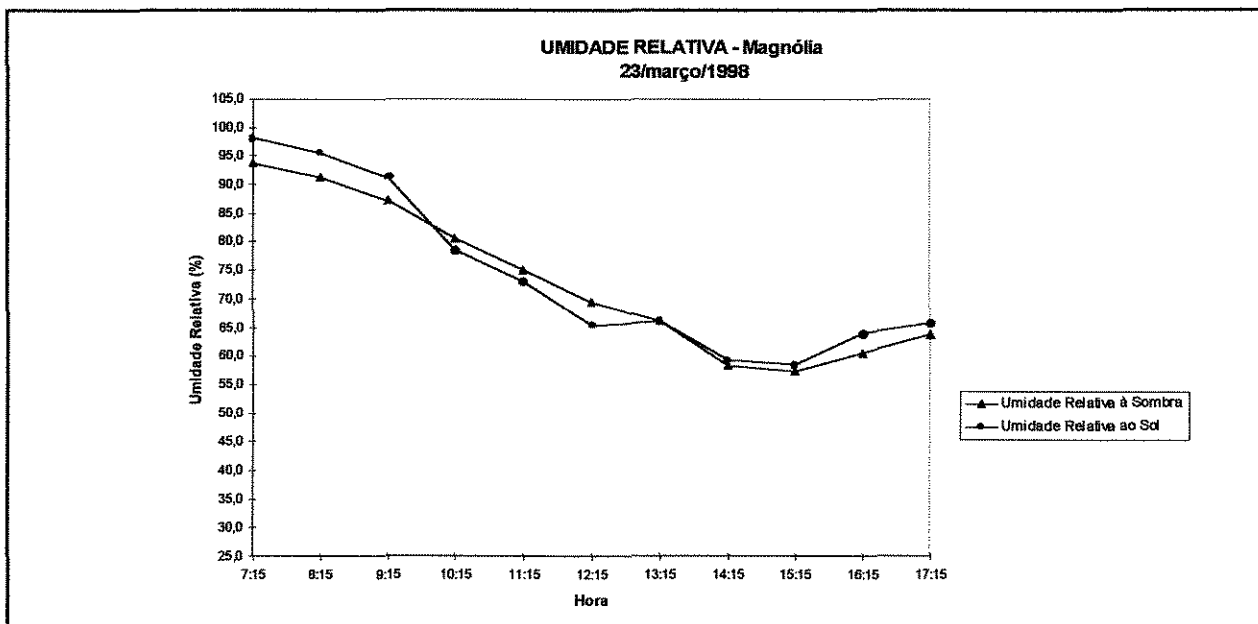
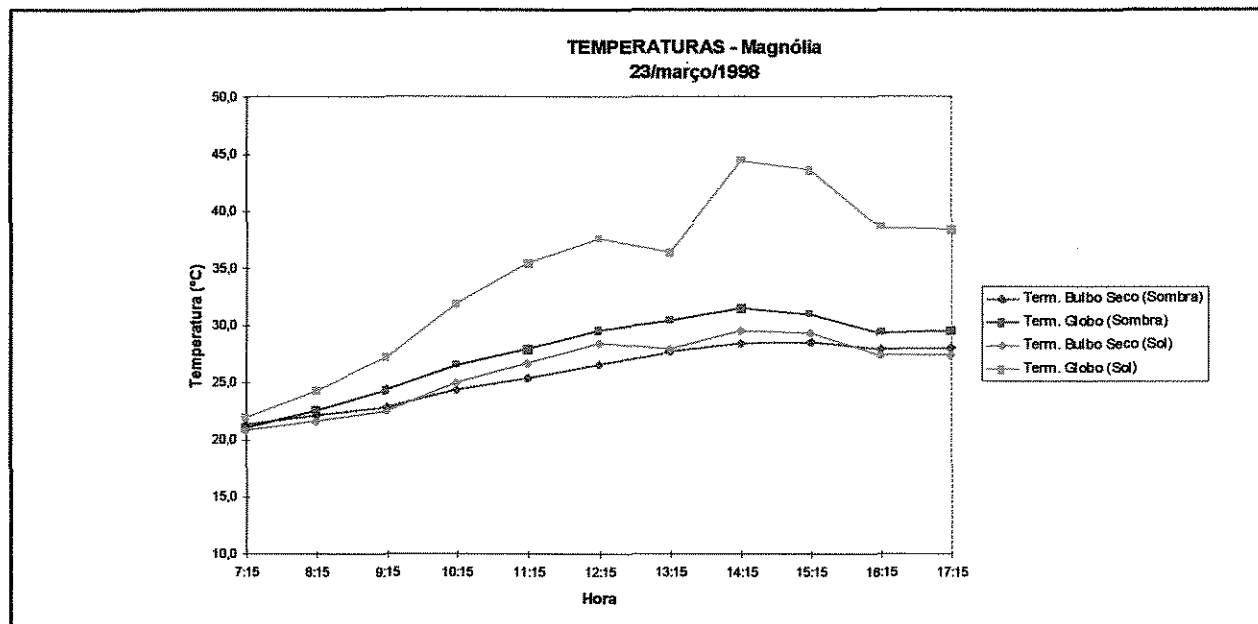
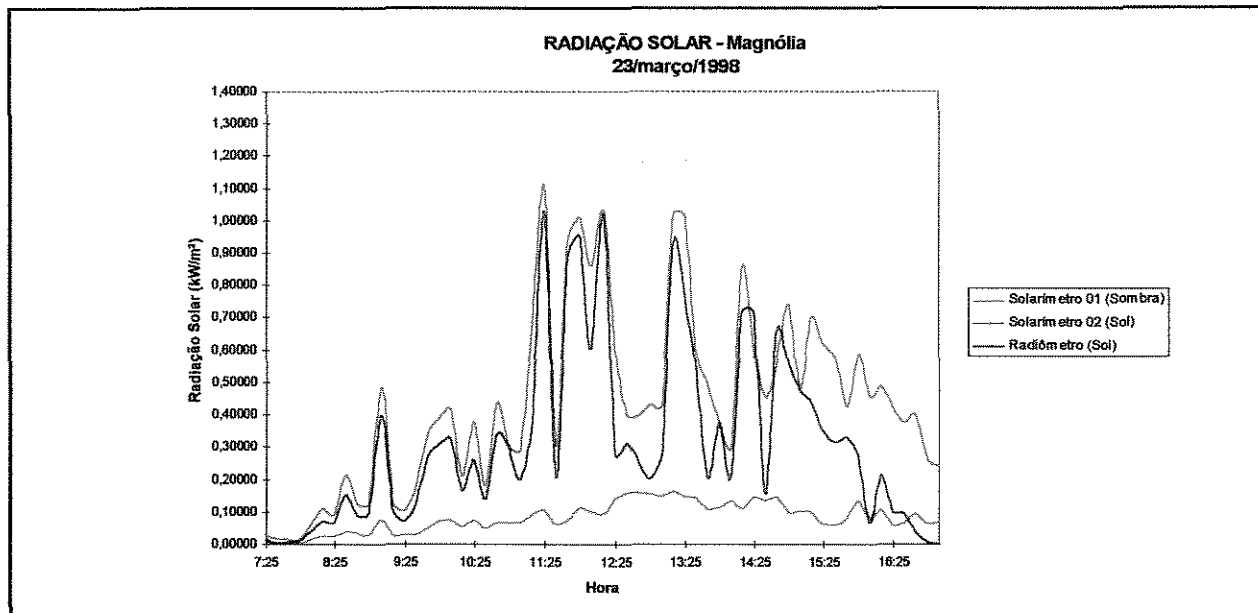


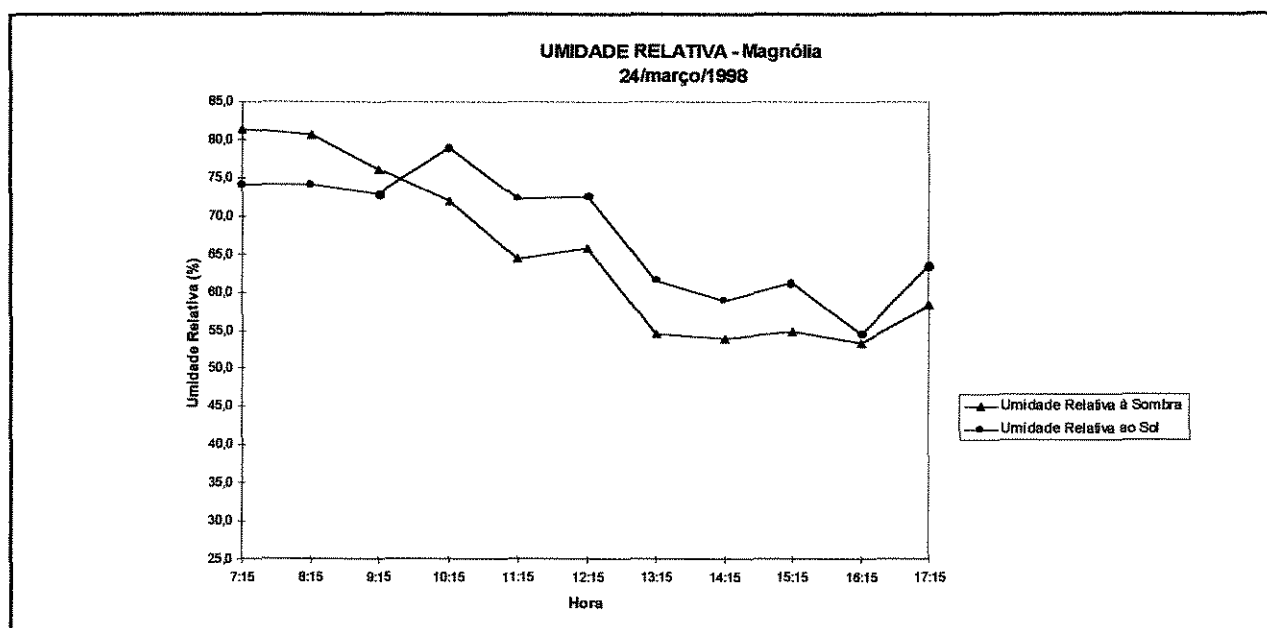
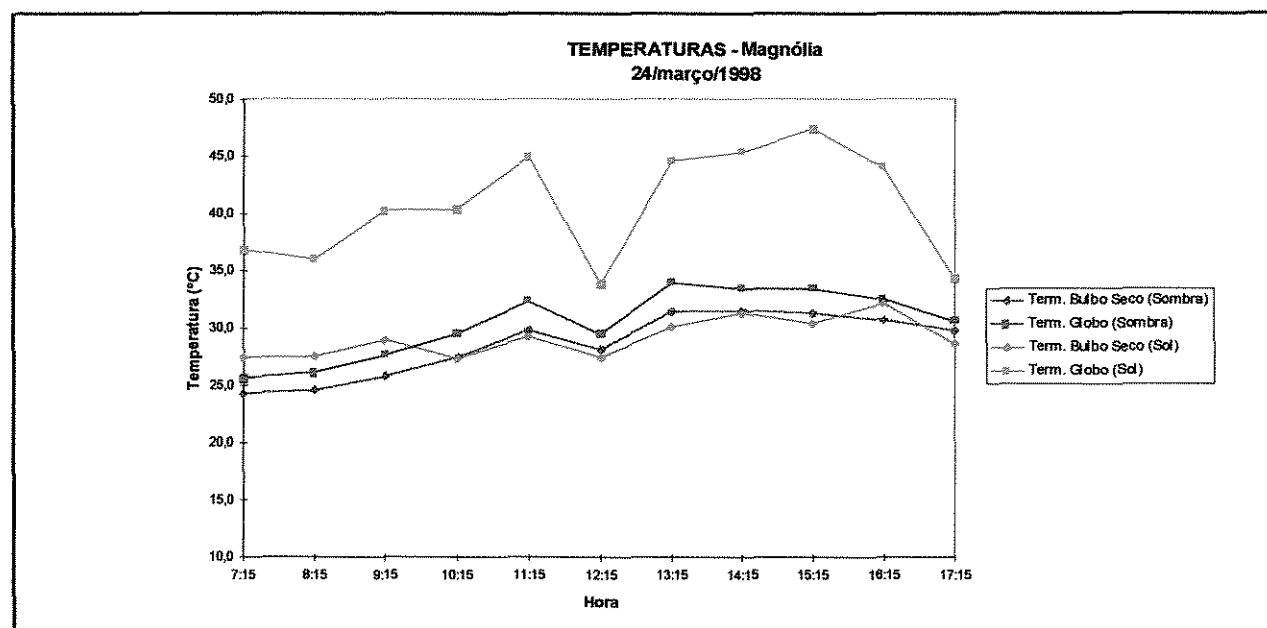
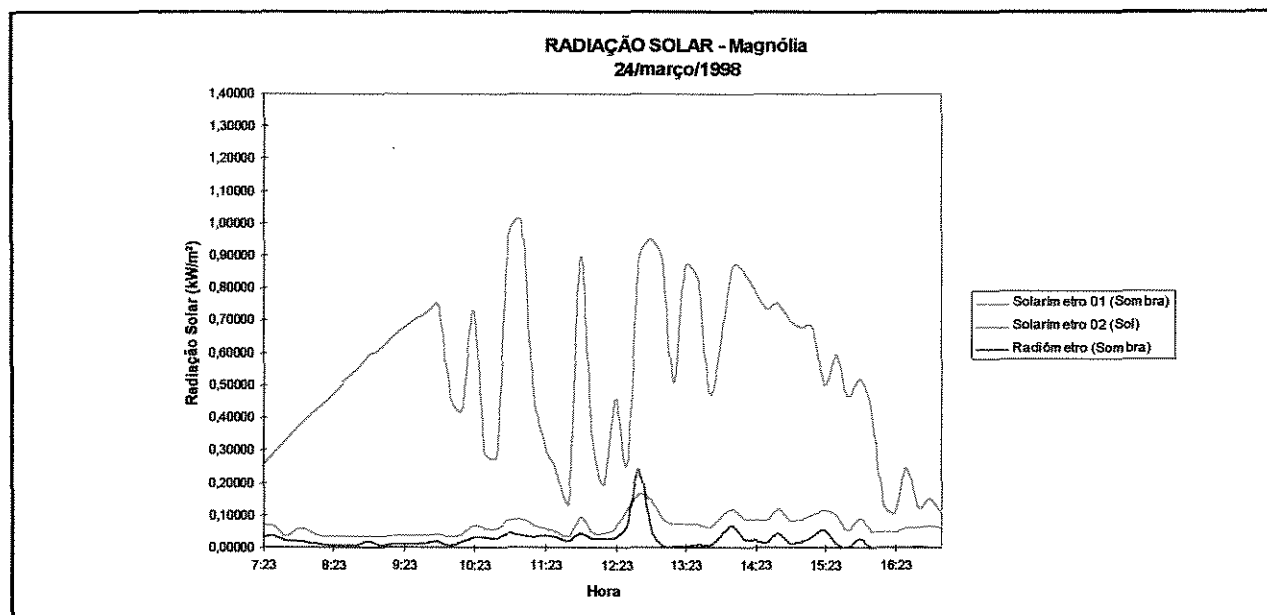
### TEMPERATURAS - Cassia 01/maio/1998

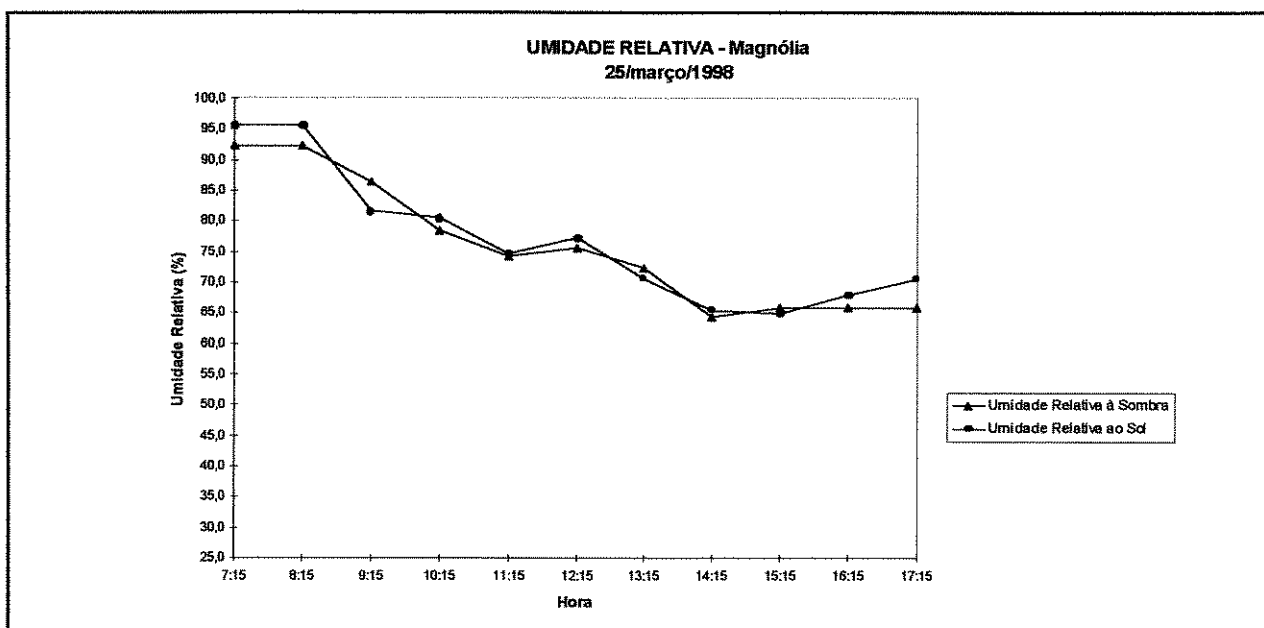
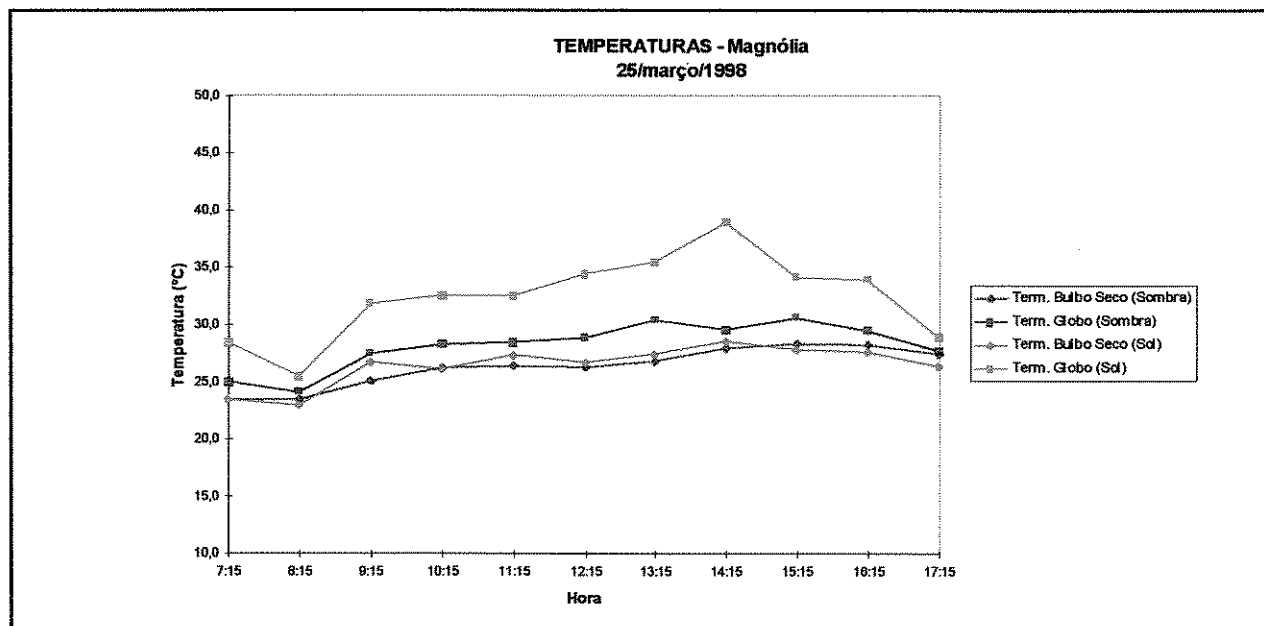
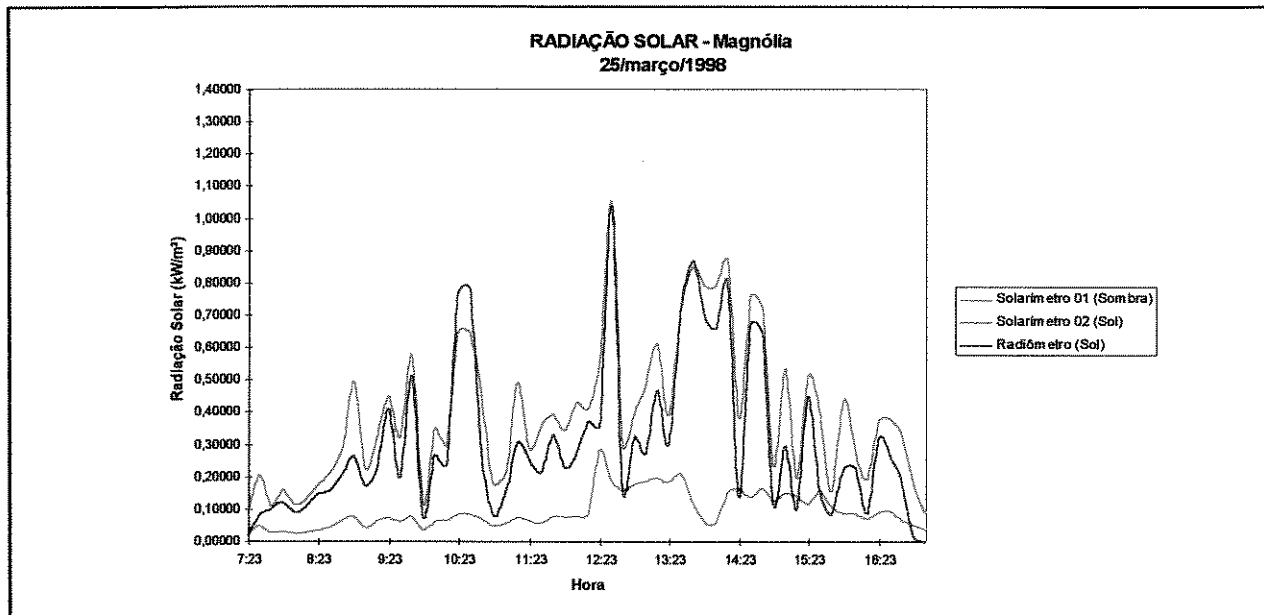


### UMIDADE RELATIVA - Cassia 01/maio/1998

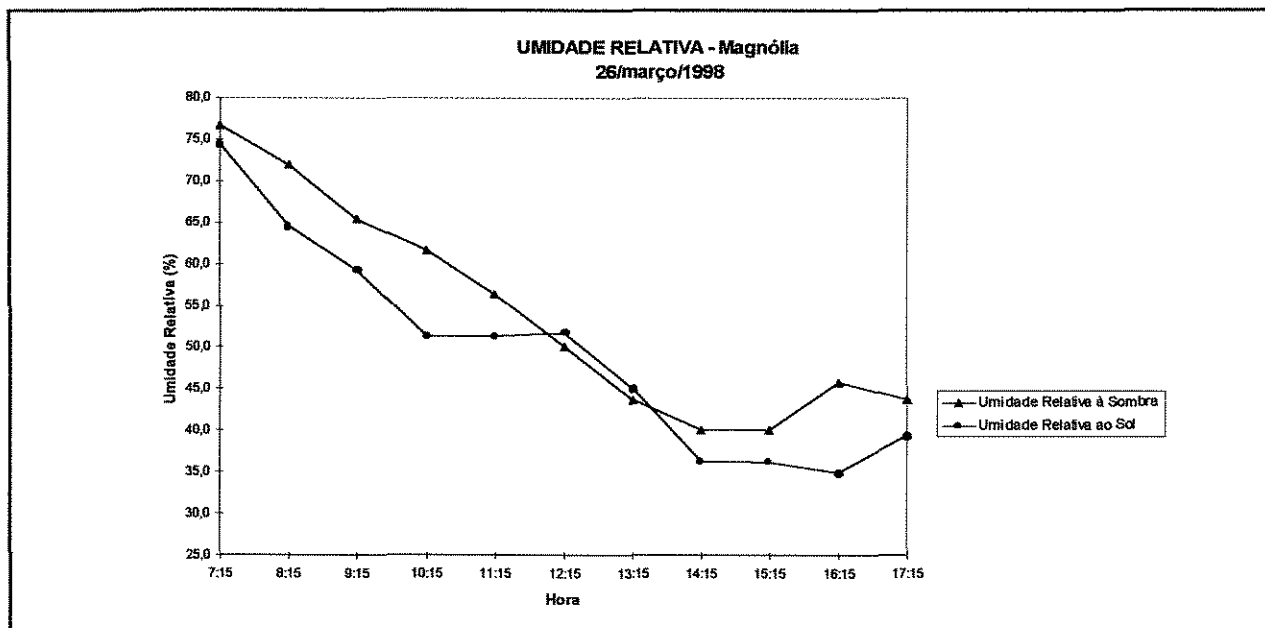
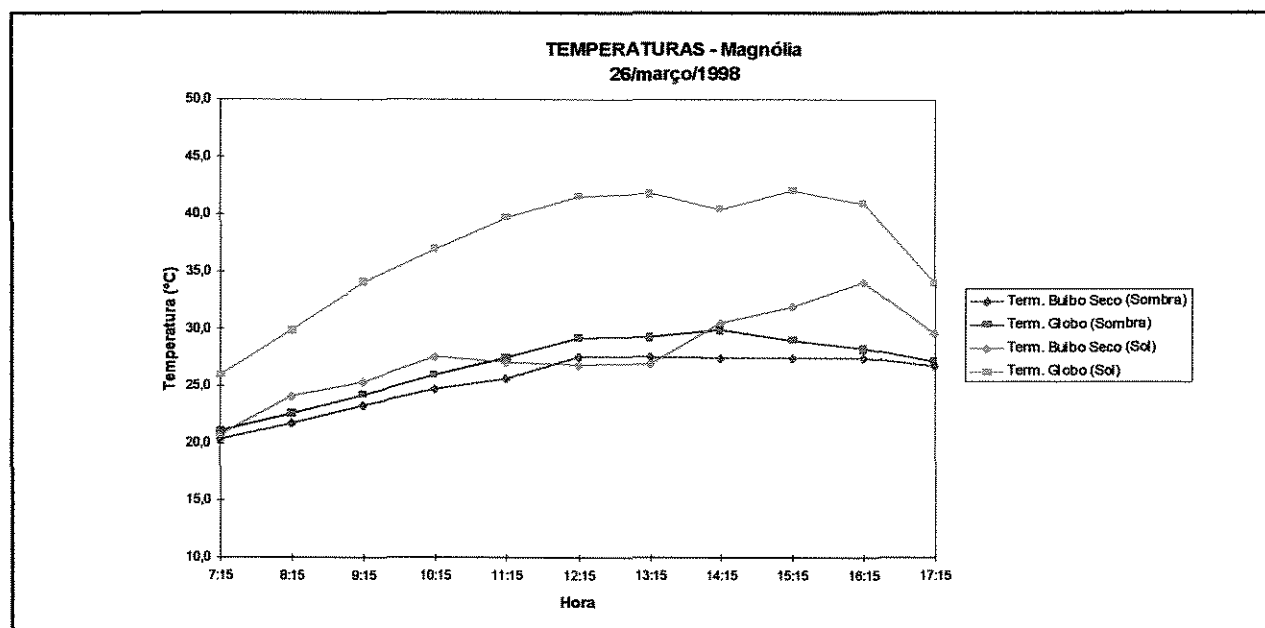
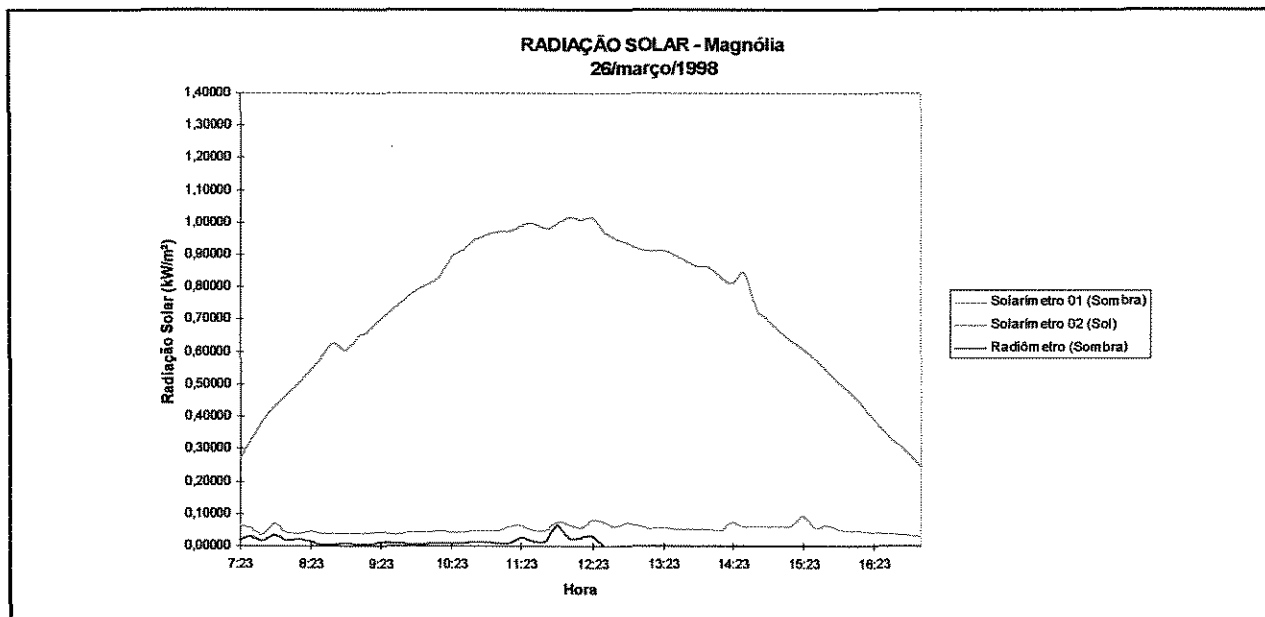


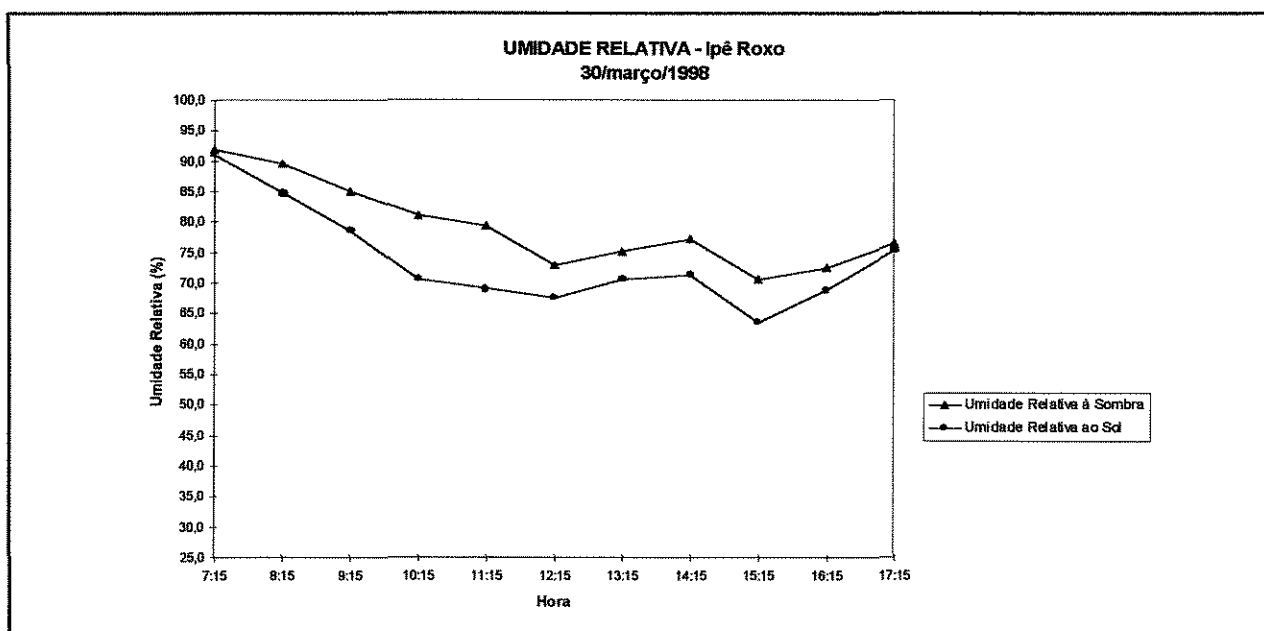
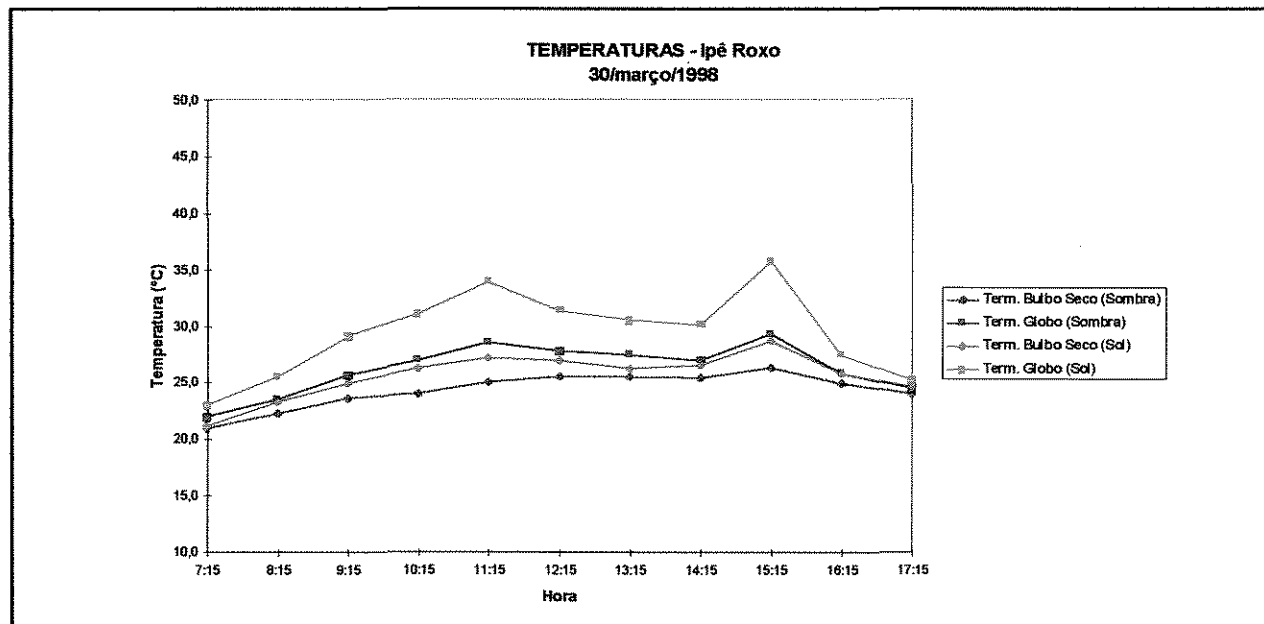
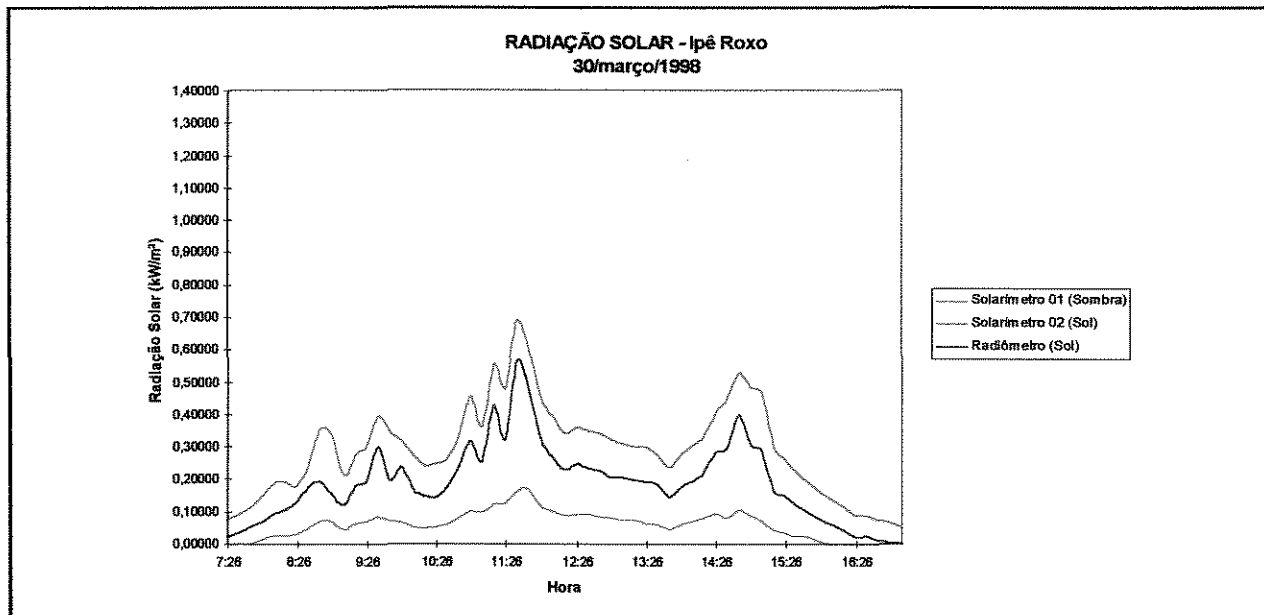


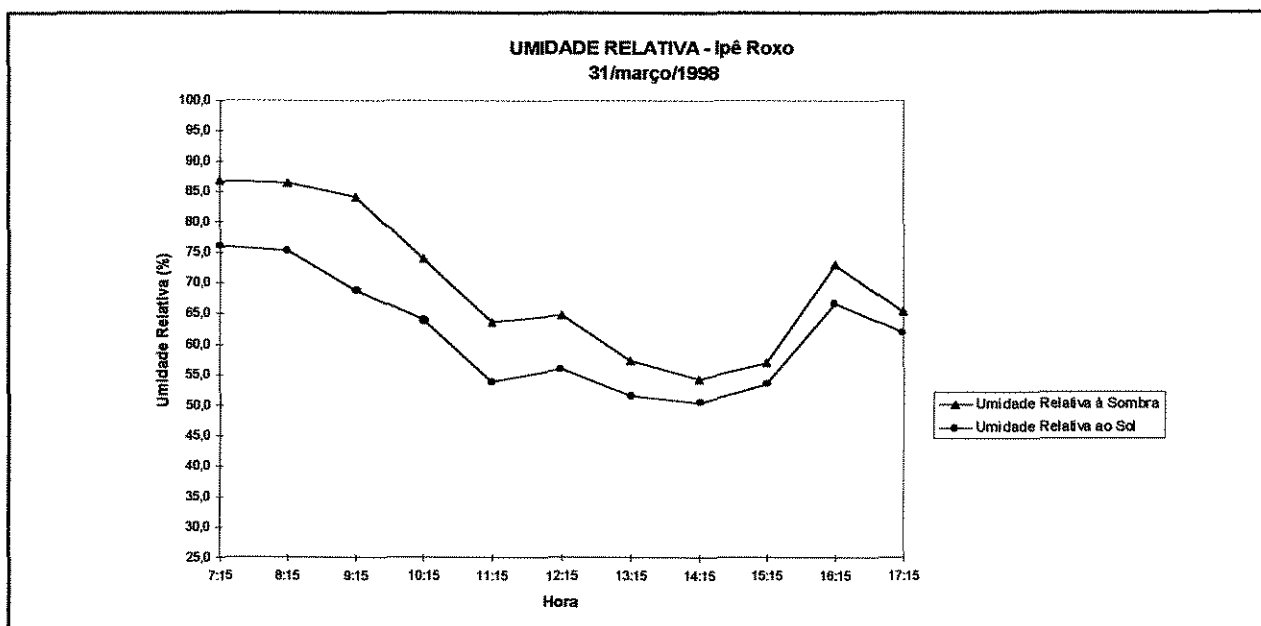
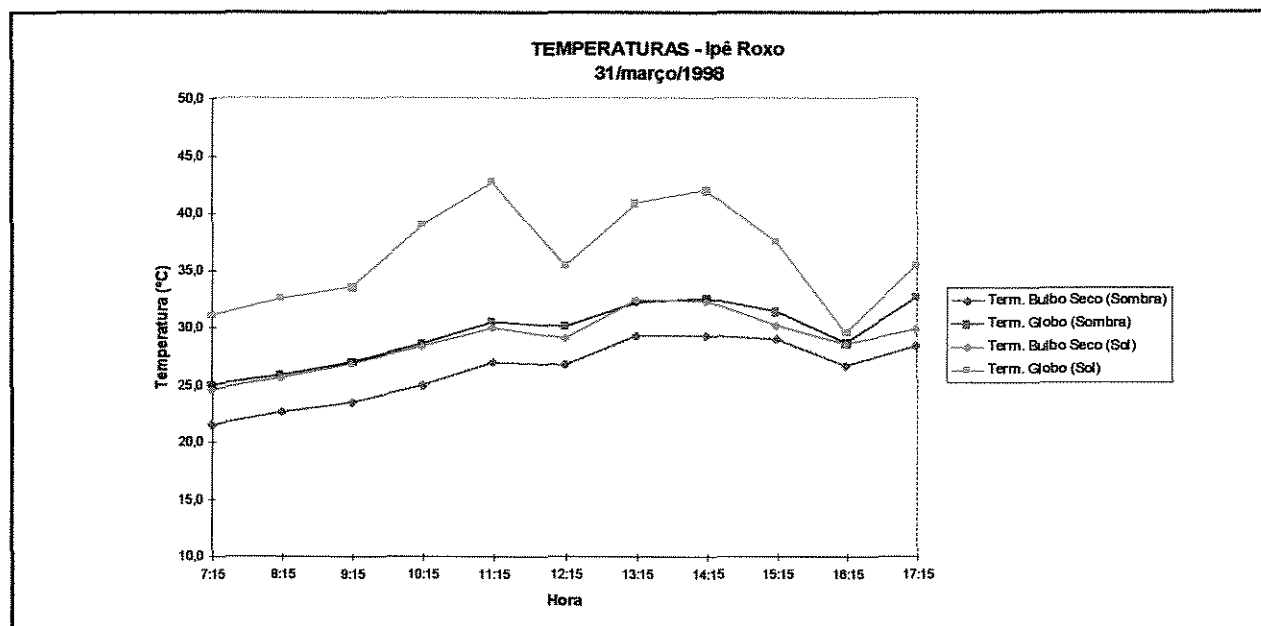
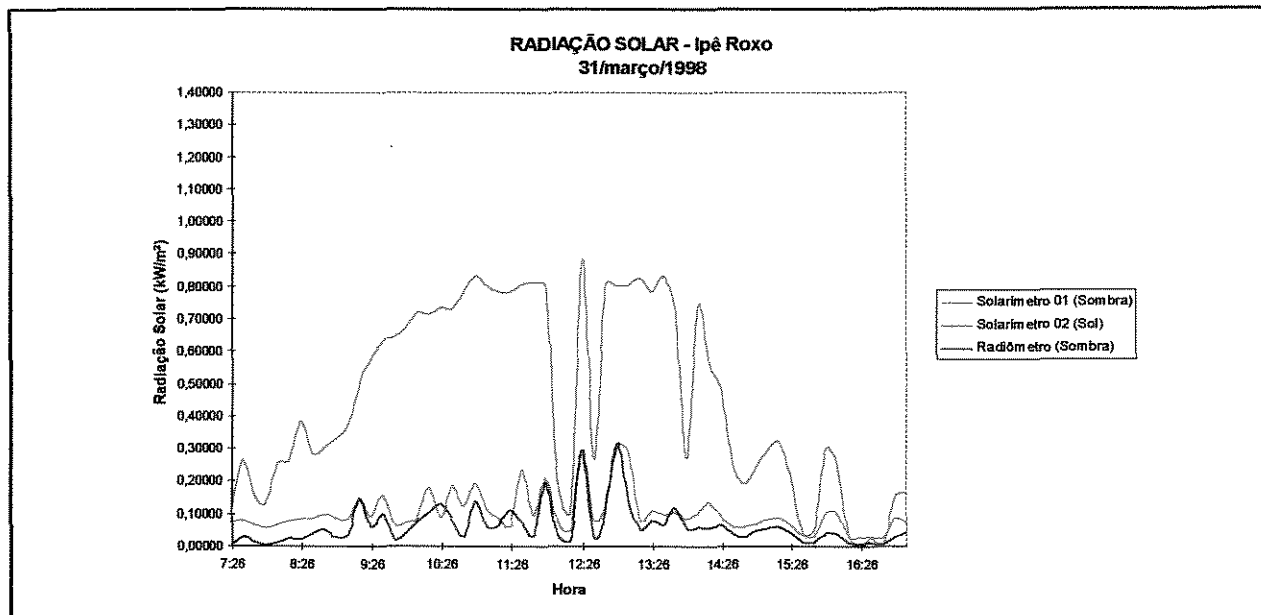


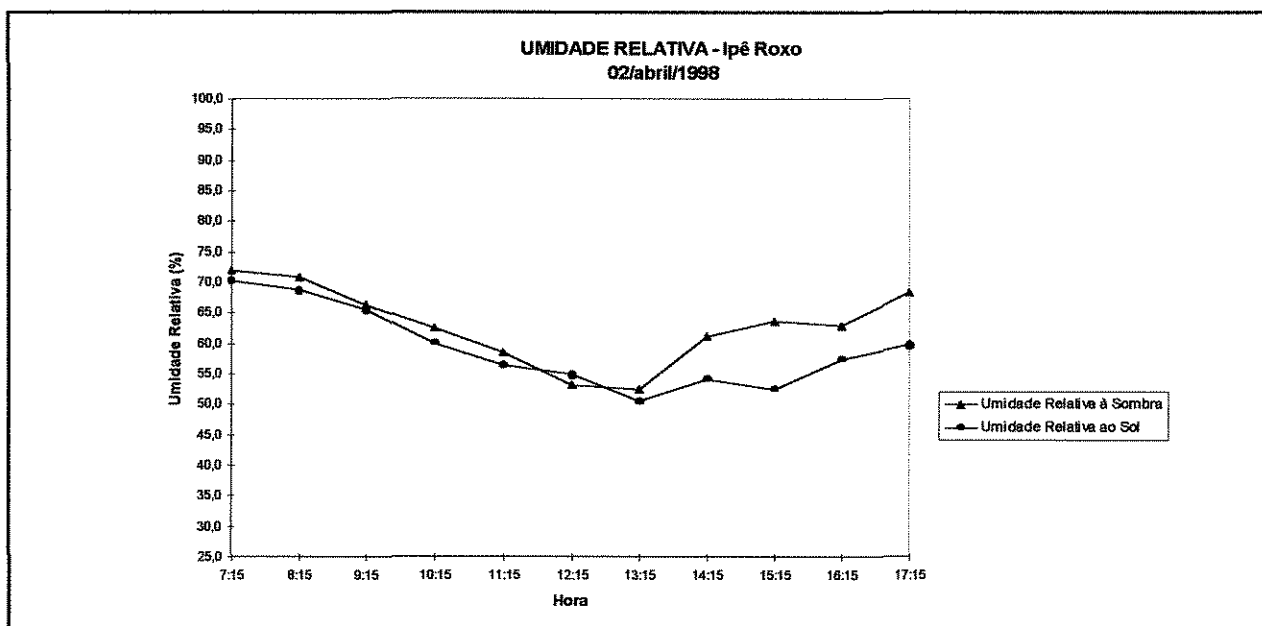
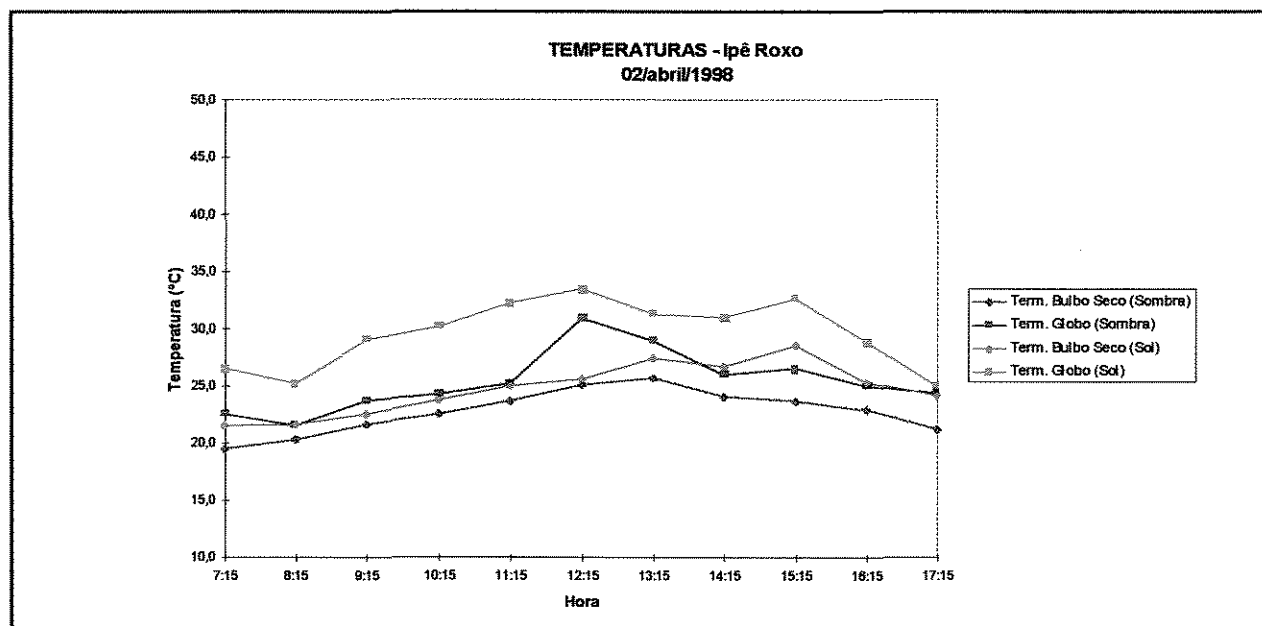
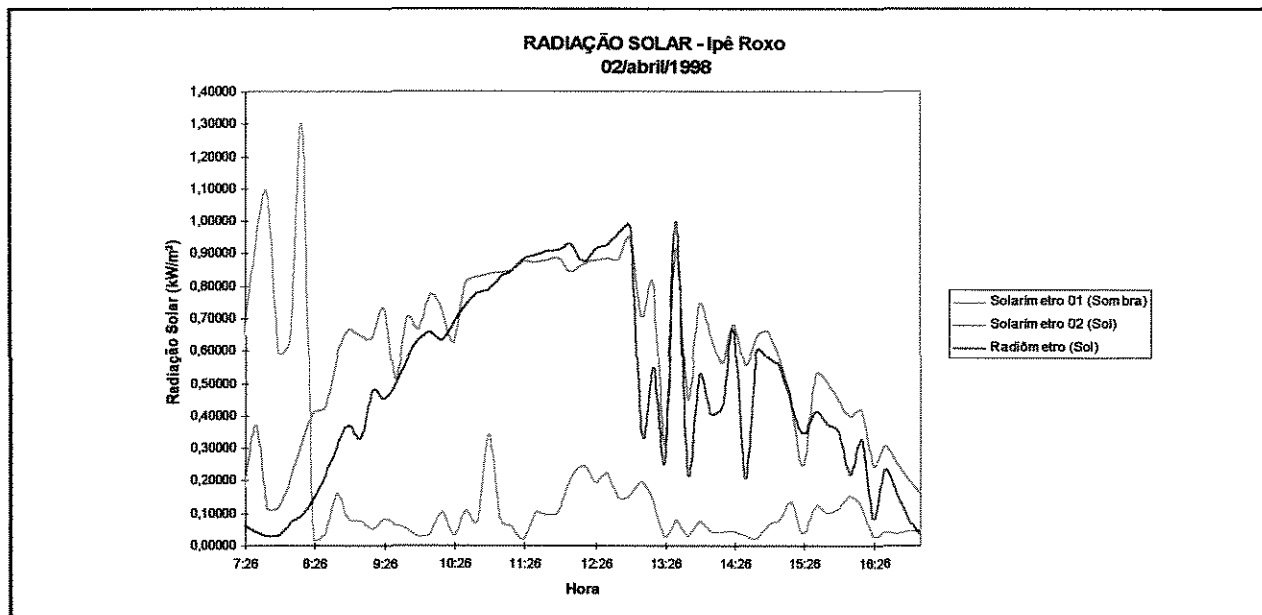


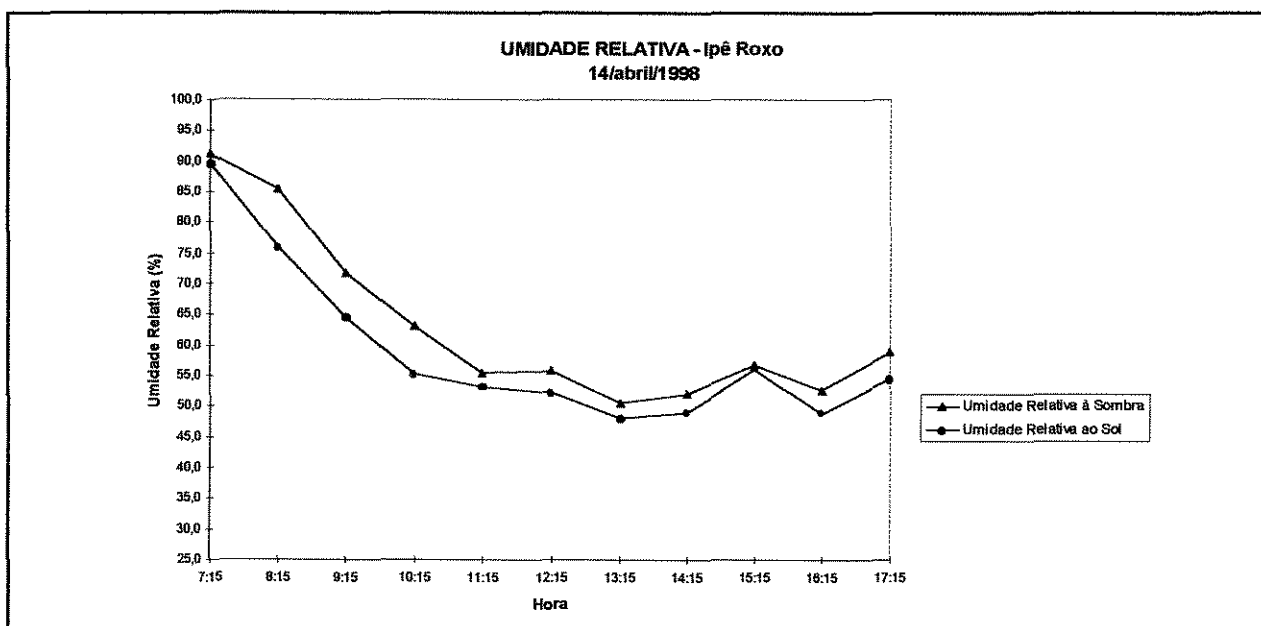
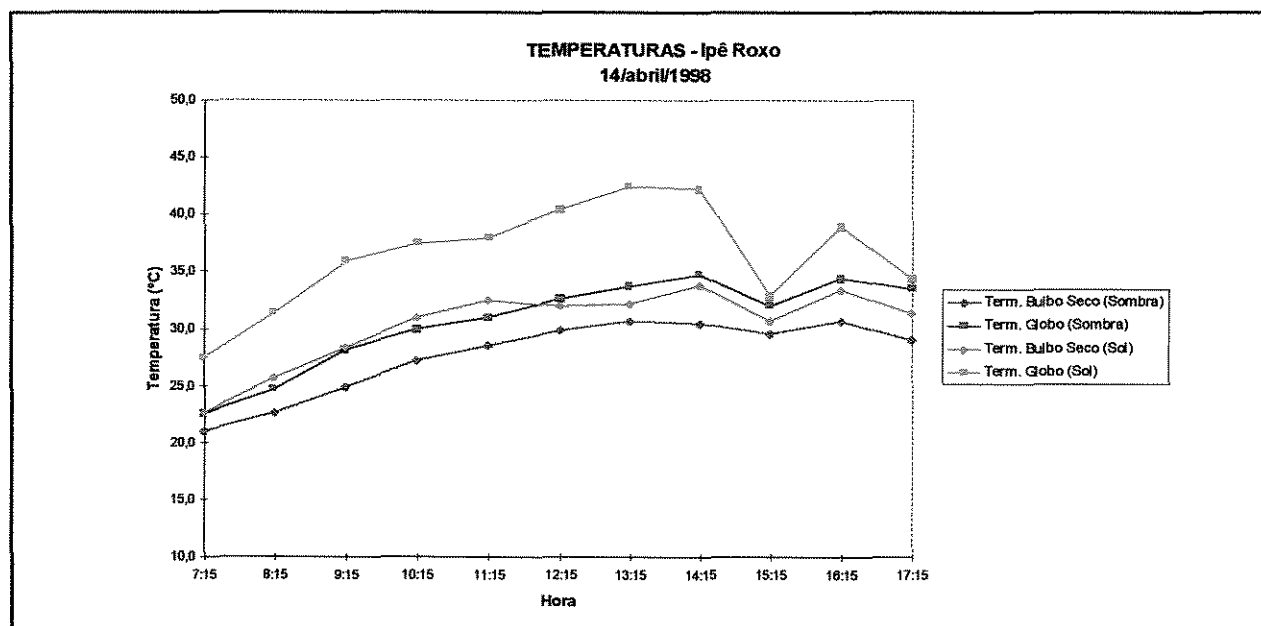
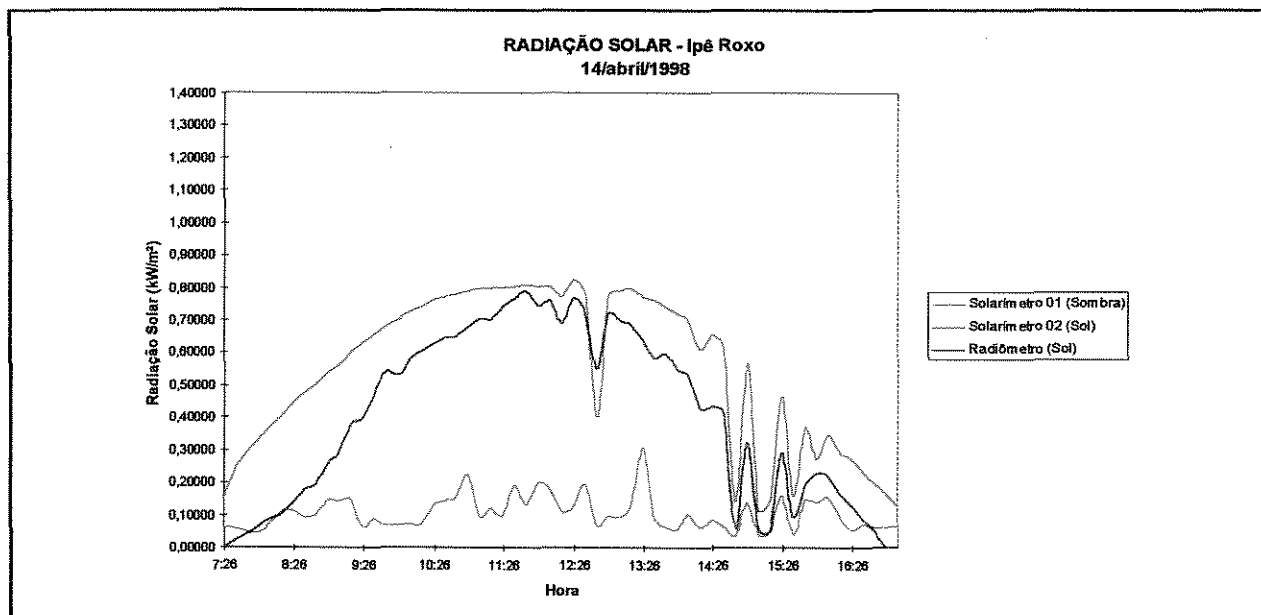


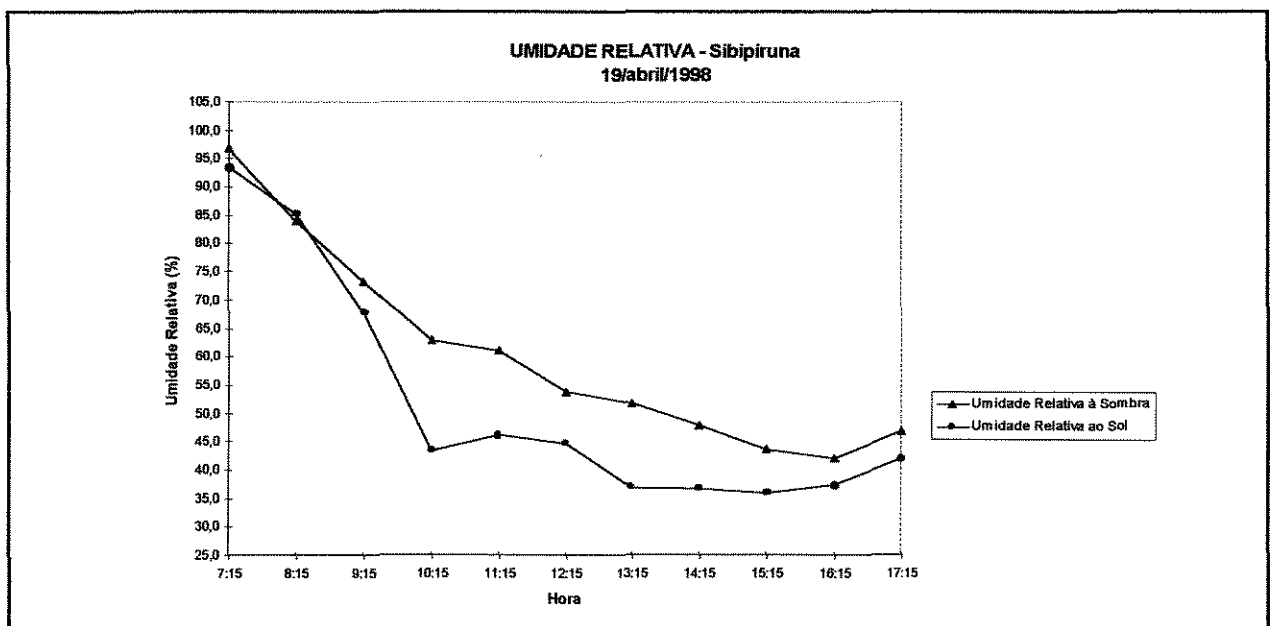
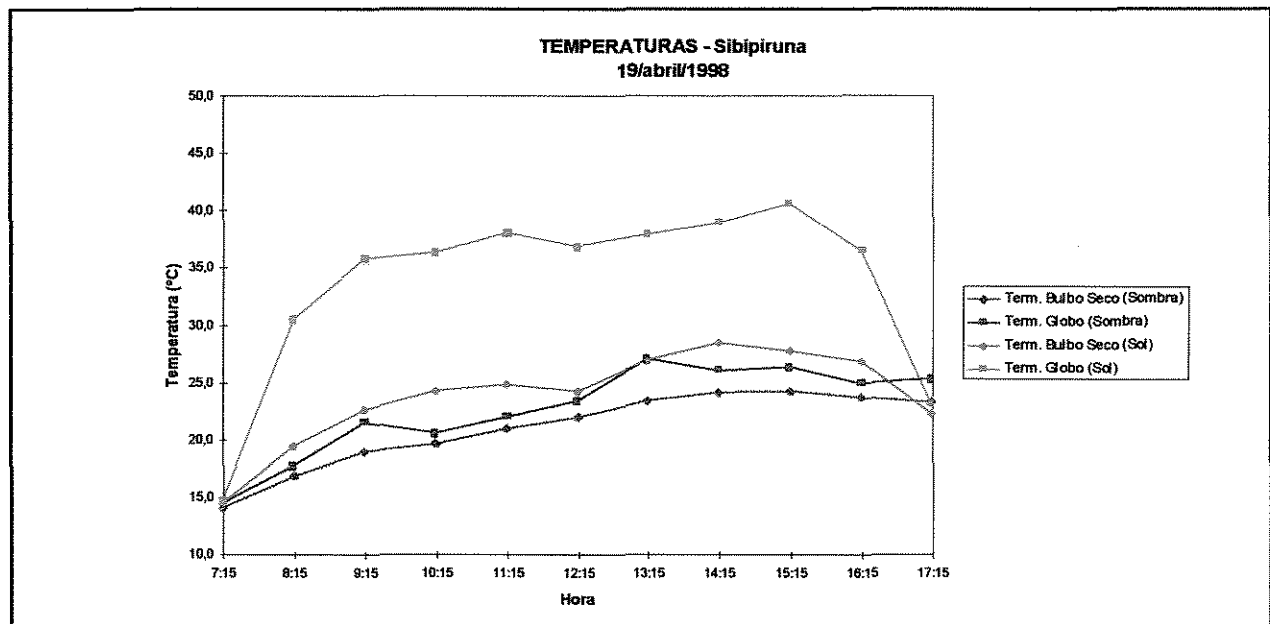
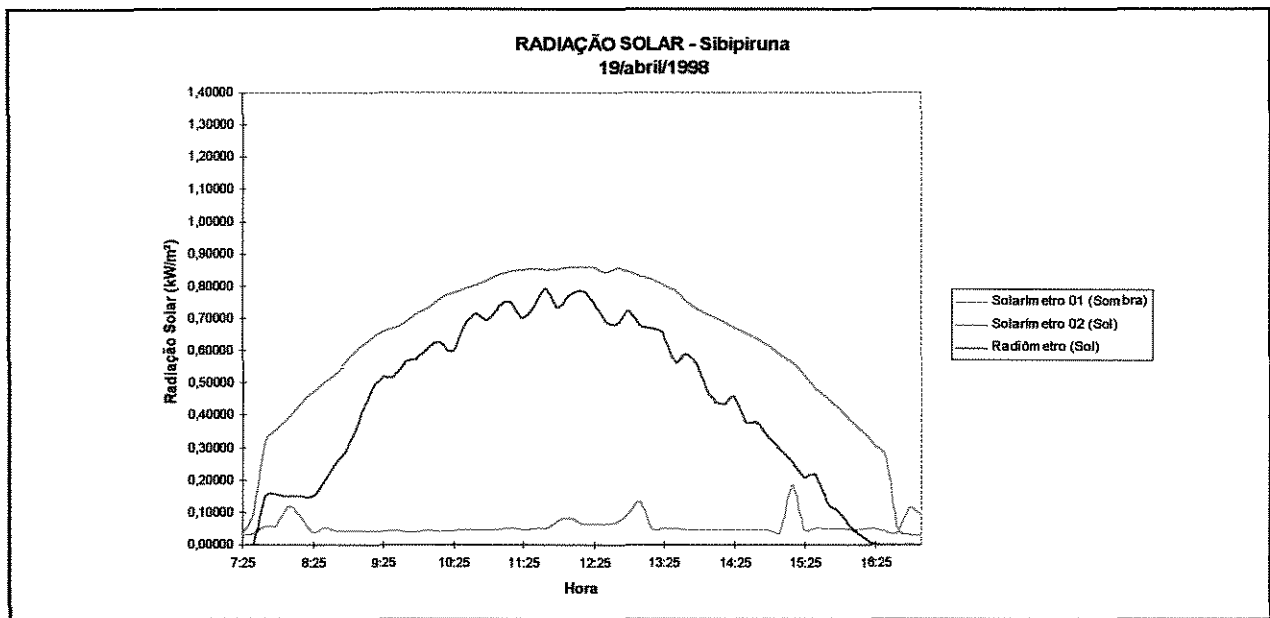


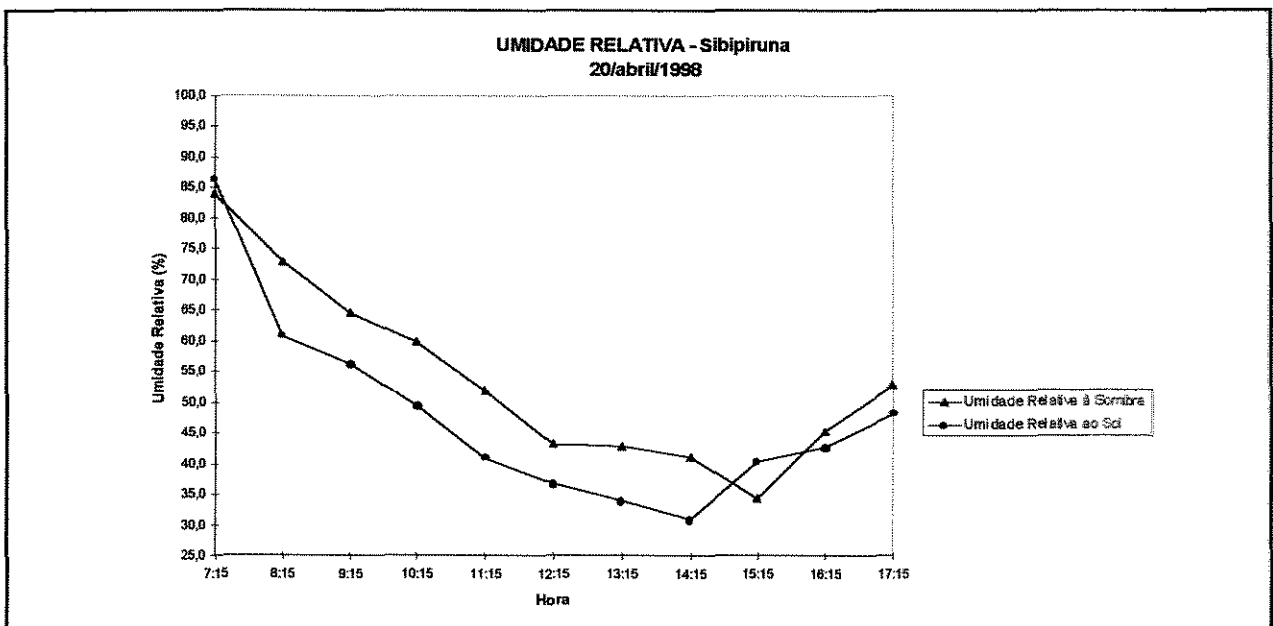
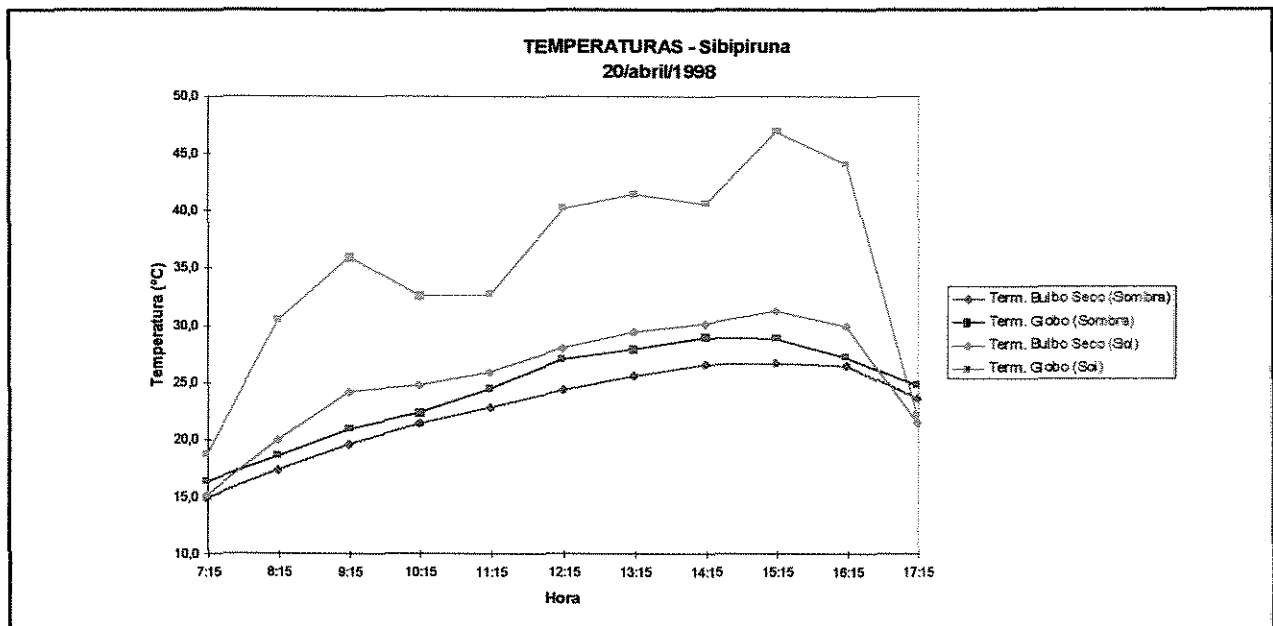
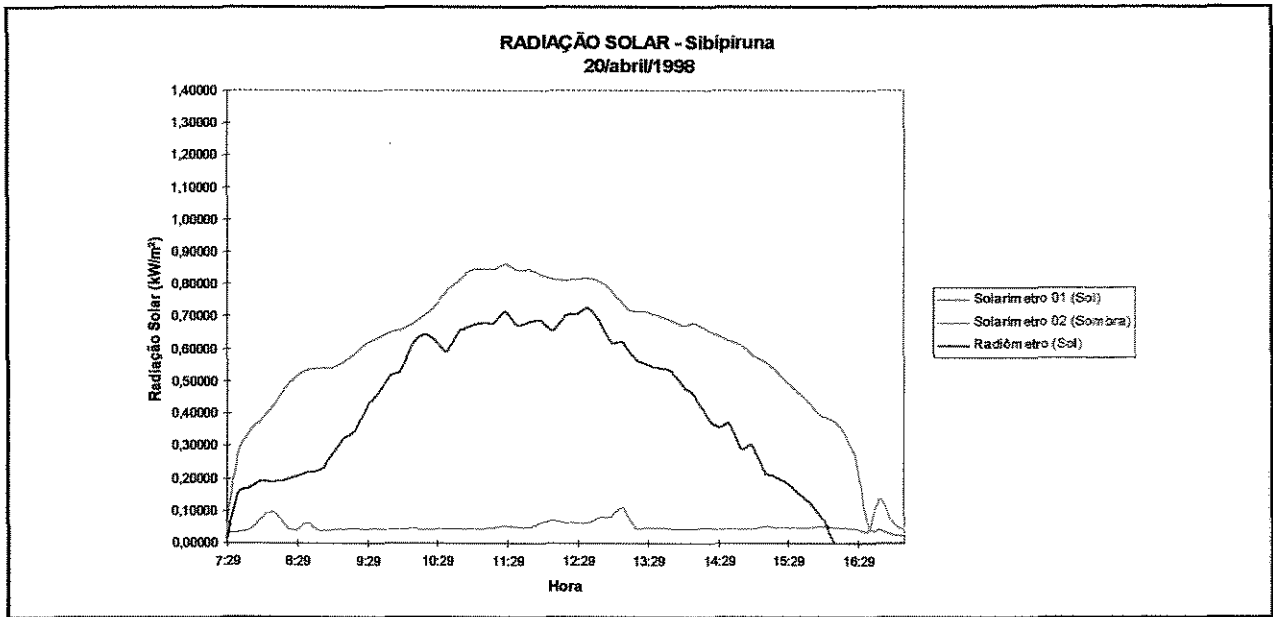


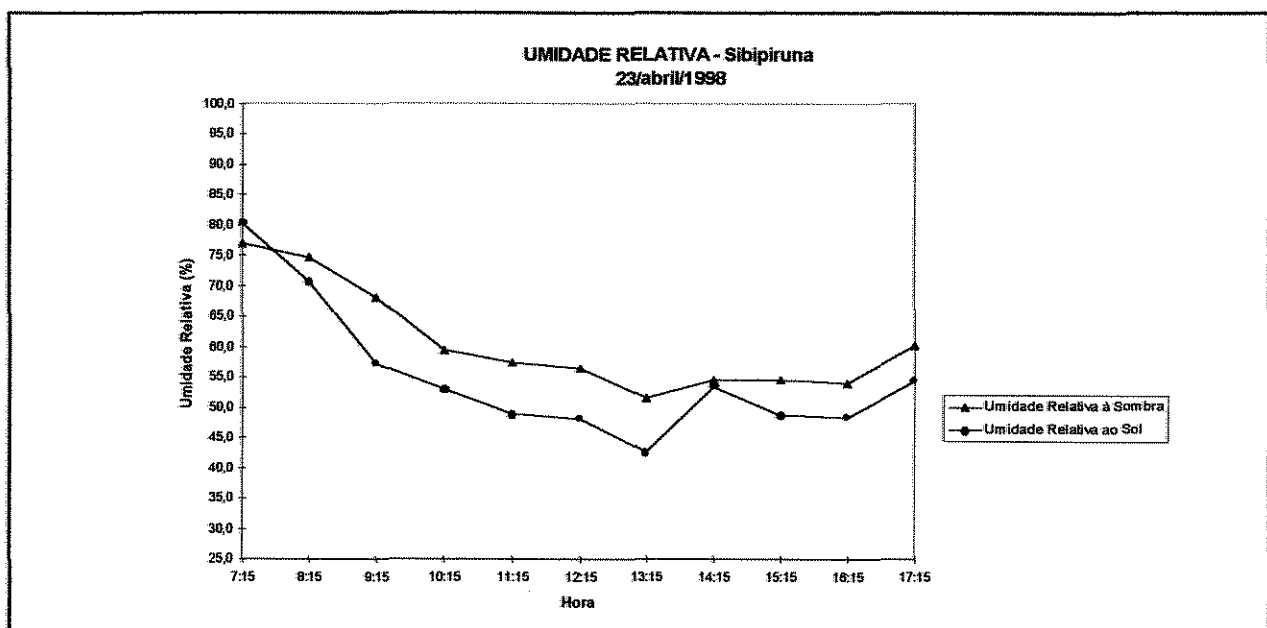
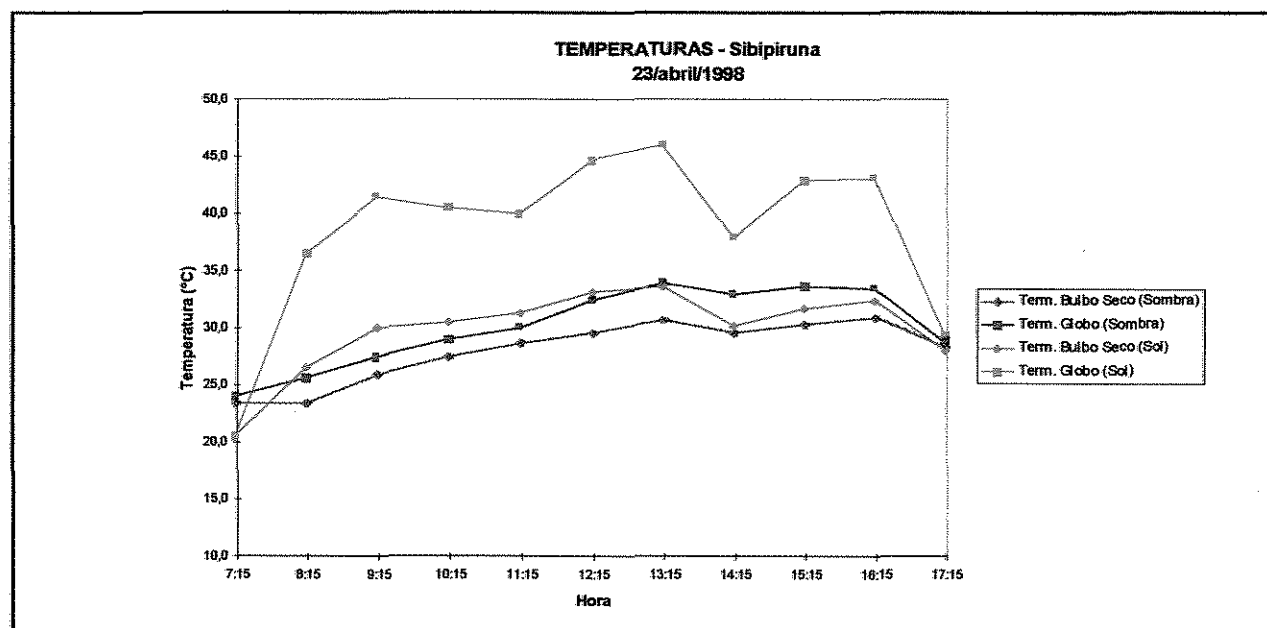
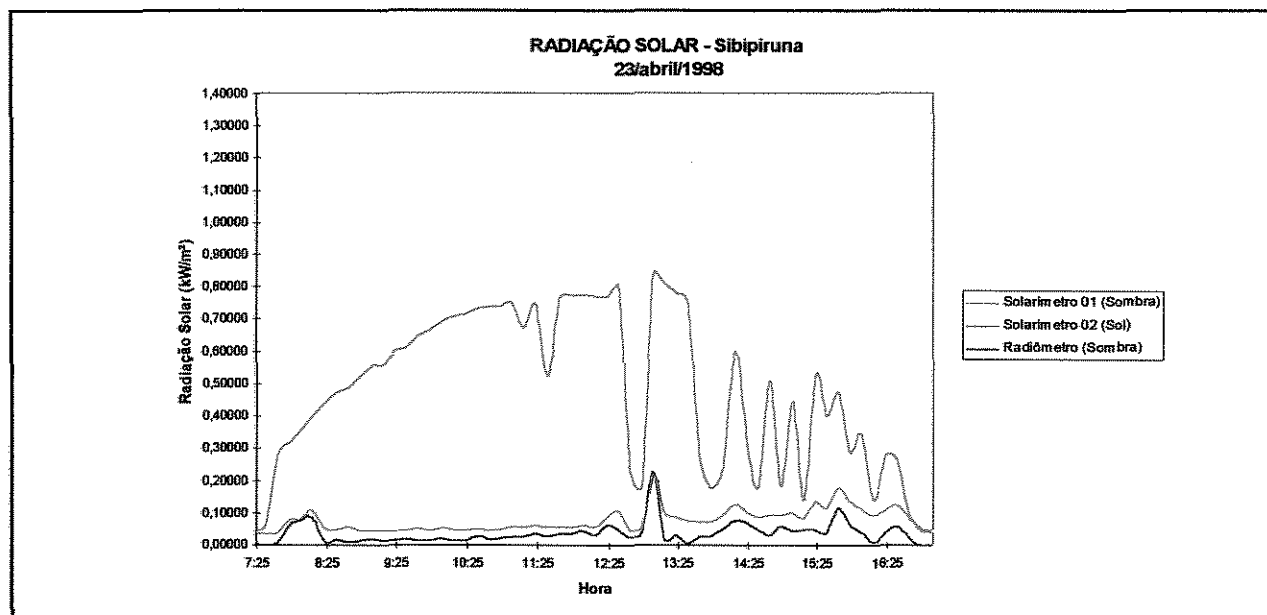




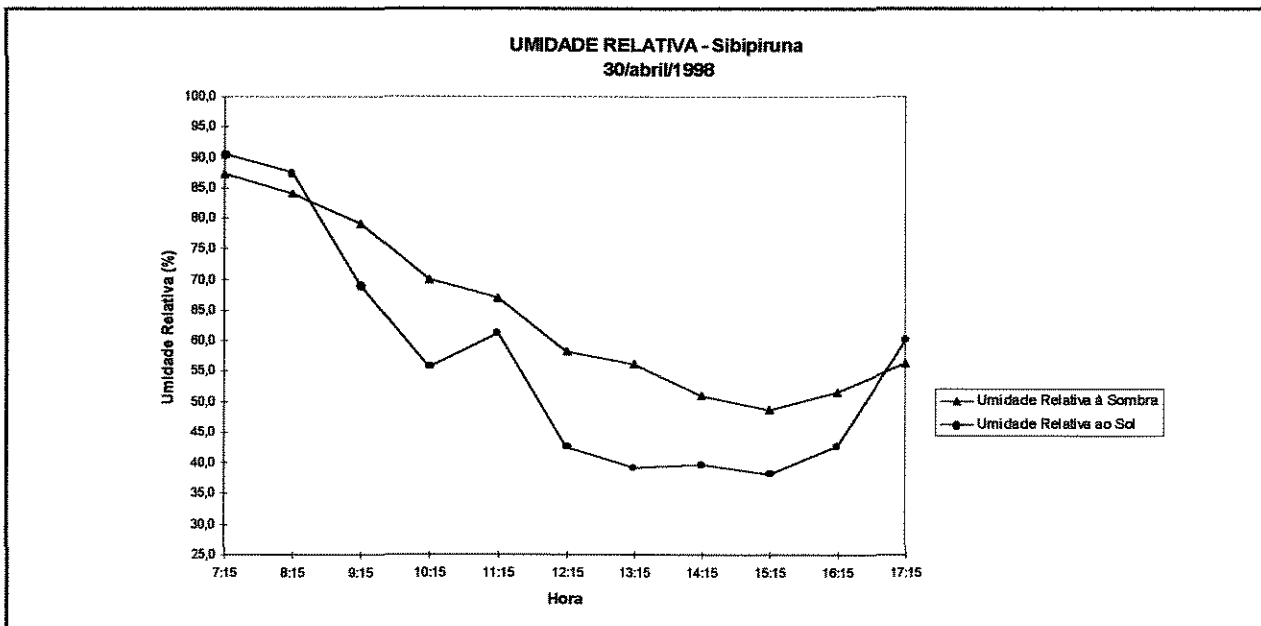
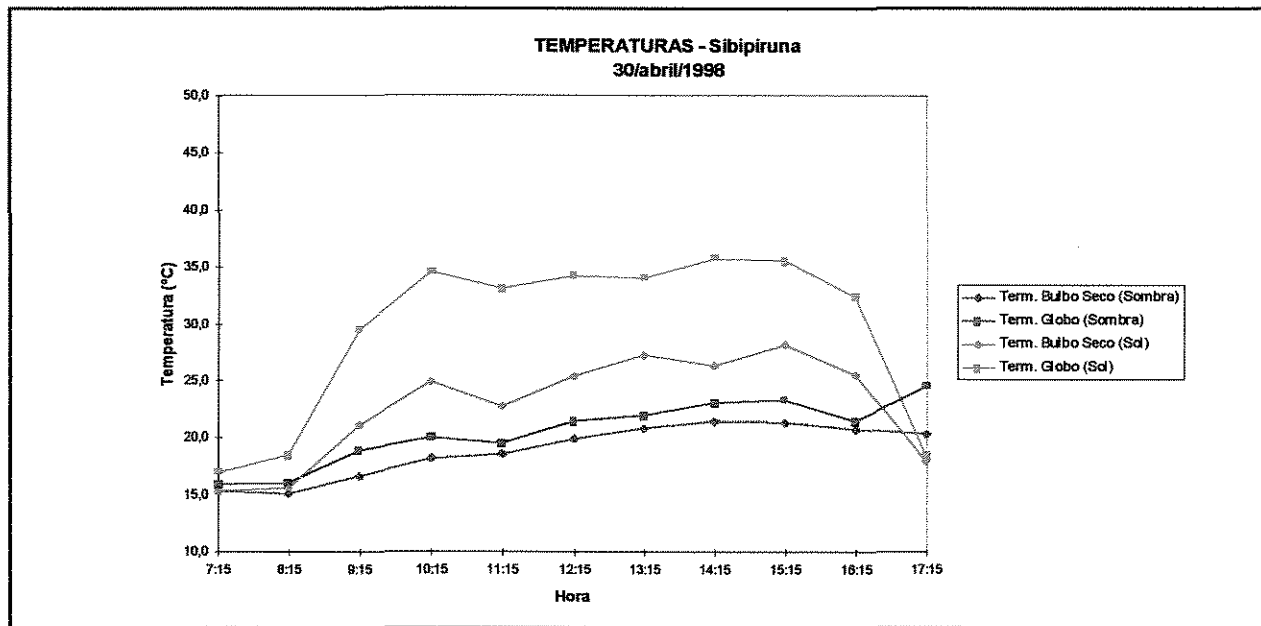
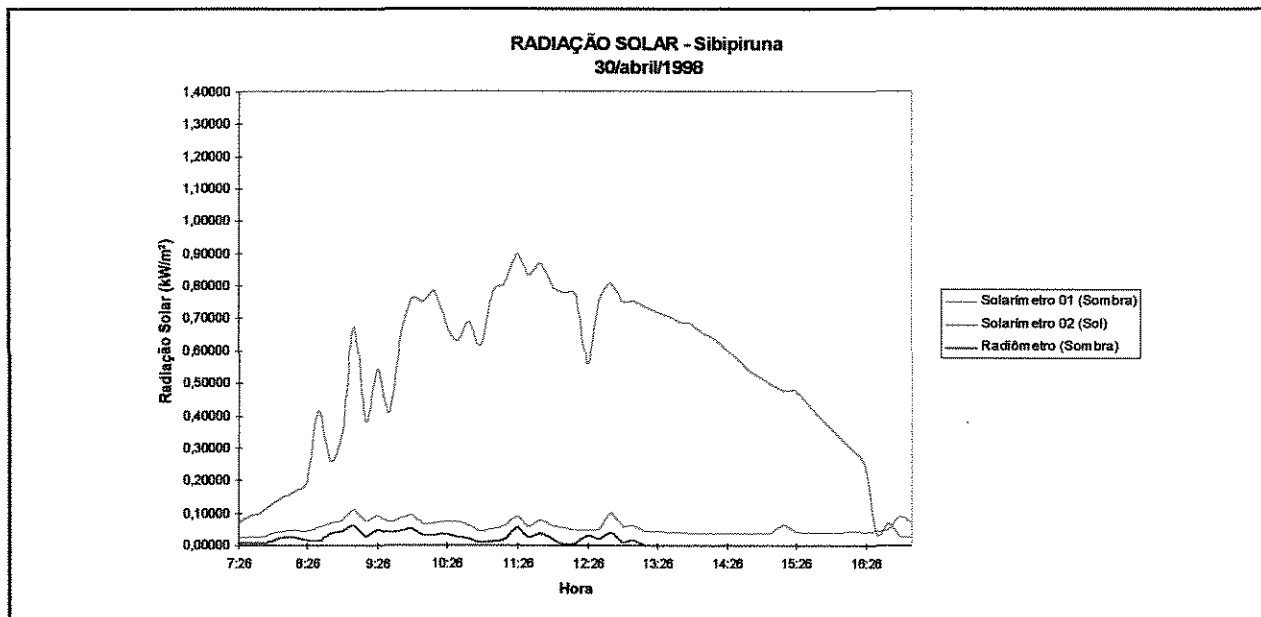












**ANEXO B**

**ANEXO B**

Data file: JATO1802.DAT

Configuration: carolina

Logging started: 18/02 08:09:13

Data collected: 18/02 19:54:57

Data type: TIMED

# - over-run

\$ - noisy reading

% - outside limits read

&amp; - over-range reading

channel number	1	2	3	4
sensor code	TM1	TS	TS	TR
label	tempamb	solari01	solari02	radiomet
unit	deg C	kWm-2	kWm-2	kWm-2
minimum value	21.42	0.00047	0.02440	0.00073
maximum value	30.57	0.22133	1.0677	1.0672
8/02 08:09:15	21.42	0.03967	0.23300	-0.00787%
8/02 08:19:15	21.54	0.04767	0.27247	0.04067
8/02 08:29:15	21.76	0.05600	0.3115	0.08053
8/02 08:39:15	21.97	0.11033	0.3472	0.11393
8/02 08:49:15	22.21	0.03840	0.3861	0.14420
8/02 08:59:15	22.45	0.05300	0.4277	0.17040
8/02 09:09:15	22.65	0.18067	0.4635	0.17200
8/02 09:19:15	22.82	0.06847	0.5029	0.16713
8/02 09:29:15	23.13	0.06133	0.5365	0.18293
8/02 09:39:15	23.33	0.06140	0.5632	0.23353
8/02 09:49:15	23.57	0.04800	0.6064	0.2837
8/02 09:59:15	23.68	0.04220	0.6400	0.3797
8/02 10:09:15	23.85	0.10340	0.6597	0.4544
8/02 10:19:15	24.05	0.17893	0.6976	0.4960
8/02 10:29:15	24.22	0.07427	0.7301	0.5520
8/02 10:39:15	24.29	0.04980	0.7803	0.6512
8/02 10:49:15	24.39	0.04207	0.7573	0.6928
8/02 10:59:15	24.50	0.04540	0.8117	0.7472
8/02 11:09:15	24.63	0.05500	0.8645	0.8011
8/02 11:19:15	24.80	0.08680	0.8976	0.9147
8/02 11:29:15	24.94	0.22133	0.8176	0.5664
8/02 11:39:15	25.09	0.05960	0.9221	0.8651
8/02 11:49:15	25.21	0.05473	0.9077	0.8779
8/02 11:59:15	25.36	0.07293	1.0123	0.9824
8/02 12:09:15	25.56	0.05787	0.8731	0.9264
8/02 12:19:15	25.71	0.05607	0.7696	0.9397
8/02 12:29:15	25.94	0.03993	0.5355	0.17293
8/02 12:39:15	26.18	0.06193	0.4848	0.5120
8/02 12:49:15	26.37	0.07267	0.9819	1.0085
8/02 12:59:15	26.57	0.07893	1.0299	1.0469
8/02 13:09:15	26.76	0.06973	1.0101	1.0672
8/02 13:19:15	27.00	0.06147	1.0475	1.0480
8/02 13:29:15	27.15	0.09727	1.0117	1.0075
8/02 13:39:15	27.35	0.07133	0.7589	0.20440
8/02 13:49:15	27.59	0.10860	1.0677	0.8853
8/02 13:59:15	27.81	0.09573	1.0261	0.5243
8/02 14:09:15	28.16	0.11233	0.7899	0.3232
8/02 14:19:15	28.94	0.19760	1.0448	0.9205
8/02 14:29:15	29.16	0.08913	1.0251	0.8064
8/02 14:39:15	29.60	0.06440	1.0389	0.8821
8/02 14:49:15	30.29	0.07580	1.0357	0.8315
8/02 14:59:15	30.57	0.03587	0.3195	0.13100

8/02 15:09:15	30.52	0.03893	0.3125	0.15293
8/02 15:19:15	30.39	0.06267	0.4315	0.18687
8/02 15:29:15	30.36	0.03347	0.24833	0.15007
8/02 15:39:15	30.13	0.03507	0.3029	0.3488
8/02 15:49:15	29.96	0.02333	0.18587	0.10547
8/02 15:59:15	29.81	0.01187	0.13973	0.07280
8/02 16:09:15	29.61	0.00927	0.10913	0.05027
8/02 16:19:15	29.42	0.00047	0.05500	0.01407
8/02 16:29:15	29.16	-0.00387%	0.04280	0.00073
8/02 16:39:15	28.90	0.00427	0.06487	0.01927
8/02 16:49:15	28.68	0.00713	0.09153	0.04027
8/02 16:59:15	28.55	0.10373	0.7627	0.3744
8/02 17:09:15	28.72	0.09240	0.5893	0.14680
8/02 17:19:15	28.94	0.07327	0.5477	0.05793
8/02 17:29:15	29.12	0.05920	0.5088	-0.01800%
8/02 17:39:15	29.21	0.05653	0.4752	-0.06280%
8/02 17:49:15	29.25	0.01140	0.10320	-0.02600%
8/02 17:59:15	29.25	0.02073	0.21753	0.02413
8/02 18:09:15	29.21	0.00760	0.10113	0.00553
8/02 18:19:15	29.12	-0.00013%	0.06600	0.00780
8/02 18:29:15	28.99	-0.00413%	0.06720	0.00687
8/02 18:39:15	28.86	0.00153	0.10693	0.01540
8/02 18:49:15	28.72	0.00167	0.09187	0.01413
8/02 18:59:15	28.59	0.01387	0.04053	-0.01827%
8/02 19:09:15	28.38	0.00860	0.02440	-0.03320%

Data file: CASS0205.DAT

Configuration: carolina

Logging started: 02/05 07:10:02

Data collected: 02/05 18:21:48

Data type: TIMED

# - over-run

\$ - noisy reading

% - outside limits reading

&amp; - over-range reading

channel number	1	2	3	4
sensor code	TM1	TS	TS	TR
label	tempamb	solari01	solari02	radiomet
unit	deg C	kWm-2	kWm-2	kWm-2
minimum value	15.45	0.00313	0.01140	0.00820
maximum value	36.40	0.13027	0.8603	0.8059
2/05 07:10:04	15.85	0.01687	0.04980	0.00820
2/05 07:20:04	15.94	0.02073	0.06287	0.01613
2/05 07:30:04	15.68	0.02593	0.08533	0.02567
2/05 07:40:04	15.57	0.02713	0.10767	0.02473
2/05 07:50:04	15.45	0.03120	0.11887	0.03040
2/05 08:00:04	15.52	0.02807	0.17373	0.01920
2/05 08:10:04	15.50	0.01853	0.13267	-0.00813%
2/05 08:20:04	15.47	0.02873	0.24940	0.10020
2/05 08:30:04	15.54	0.05620	0.4507	0.09147
2/05 08:40:04	15.82	0.03133	0.23720	0.05920
2/05 08:50:04	16.10	0.06040	0.5312	0.22093
2/05 09:00:04	16.38	0.05360	0.5051	0.15527
2/05 09:10:04	16.69	0.05353	0.5616	0.25047
2/05 09:20:04	17.02	0.07027	0.5899	0.3061
2/05 09:30:04	17.46	0.06493	0.6160	0.3291
2/05 09:40:04	17.91	0.05540	0.6448	0.3520
2/05 09:50:04	18.49	0.12647	0.6661	0.4107
2/05 10:00:04	19.18	0.06000	0.6944	0.4853
2/05 10:10:04	19.79	0.05507	0.7045	0.4768
2/05 10:20:04	20.57	0.05800	0.7211	0.5243
2/05 10:30:04	21.72	0.05527	0.7376	0.5344
2/05 10:40:04	23.54	0.05947	0.7408	0.5312
2/05 10:50:04	24.50	0.06153	0.7584	0.5925
2/05 11:00:04	24.39	0.08240	0.7792	0.6299
2/05 11:10:04	24.77	0.06167	0.7947	0.5643
2/05 11:20:04	25.63	0.06147	0.8048	0.6011
2/05 11:30:04	26.41	0.06687	0.8149	0.7045
2/05 11:40:04	26.92	0.06753	0.8043	0.7227
2/05 11:50:04	27.15	0.07900	0.7973	0.6549
2/05 12:00:04	27.19	0.07233	0.8117	0.5483
2/05 12:10:04	27.31	0.10087	0.7904	0.6645
2/05 12:20:04	27.46	0.09113	0.7931	0.6256
2/05 12:30:04	28.07	0.06507	0.7877	0.6437
2/05 12:40:04	29.25	0.06893	0.7819	0.6501
2/05 12:50:04	30.75	0.10620	0.8603	0.8059
2/05 13:00:04	30.48	0.06020	0.4336	0.3024
2/05 13:10:04	30.62	0.06947	0.5531	0.4389
2/05 13:20:04	31.71	0.09580	0.7429	0.6416
2/05 13:30:04	32.75	0.13027	0.7184	0.6219
2/05 13:40:04	31.74	0.11713	0.5845	0.4117
2/05 13:50:04	32.30	0.12213	0.6352	0.3147
2/05 14:00:04	32.86	0.10027	0.5451	0.3861

05 14:10:04	35.11	0.07207	0.6315	0.4987
05 14:20:04	35.88	0.05627	0.6037	0.3952
05 14:30:04	35.43	0.06160	0.5845	0.4448
05 14:40:04	35.23	0.06800	0.6123	0.4272
05 14:50:04	35.52	0.07087	0.5301	0.3467
05 15:00:04	35.12	0.04907	0.4944	0.3275
05 15:10:04	35.49	0.04607	0.4581	0.26767
05 15:20:04	36.40	0.04260	0.4357	0.25360
05 15:30:04	35.87	0.03740	0.3269	0.07127
05 15:40:04	35.35	0.06740	0.3851	0.15893
05 15:50:04	33.50	0.04333	0.3387	0.16733
05 16:00:04	31.24	0.05527	0.3141	0.16987
05 16:10:04	29.42	0.04287	0.09547	-0.02360%
05 16:20:04	28.72	0.03613	0.06053	-0.04387%
05 16:30:04	27.76	0.02000	0.10533	0.01100
05 16:40:04	26.64	0.02160	0.07240	-0.04413%
05 16:50:04	25.87	0.01980	0.03487	-0.05773%
05 17:00:04	25.09	0.01373	0.02867	-0.05987%
05 17:10:04	24.50	0.00927	0.02353	-0.06253%
05 17:20:04	23.88	0.00547	0.01747	-0.06467%
05 17:30:04	23.33	0.00313	0.01140	-0.06920%

Data file: MAGN1903.DAT

Configuration: carolina

Logging started: 19/03 07:23:15

Data collected: 19/03 18:51:49

Data type: TIMED

# - over-run

\$ - noisy reading

% - outside limits reading

&amp; - over-range reading

Channel number	1	2	3	4
Sensor code	TM1	TS	TS	TR
Label	tempamb	solari01	solari02	radiomet
Unit	deg C	kWm-2	kWm-2	kWm-2
Minimum value	22.75	0.01833	0.09007	0.00320
Maximum value	34.02	0.24840	1.1685	1.1211
19/03 07:23:18	22.75	0.01893	0.09007	0.04487
19/03 07:33:18	22.86	0.01900	0.09613	0.04773
19/03 07:43:18	22.89	0.01887	0.09860	0.05807
19/03 07:53:18	22.96	0.01907	0.10193	0.07187
19/03 08:03:18	23.09	0.01967	0.09280	0.07067
19/03 08:13:18	23.20	0.02180	0.10747	0.08180
19/03 08:23:18	23.37	0.02093	0.09340	0.06600
19/03 08:33:18	23.54	0.02360	0.12253	0.09633
19/03 08:43:18	23.68	0.01833	0.09440	0.07813
19/03 08:53:18	23.81	0.01933	0.09613	0.06847
19/03 09:03:18	23.95	0.02400	0.12313	0.10333
19/03 09:13:18	24.12	0.03013	0.14940	0.13507
19/03 09:23:18	24.33	0.04473	0.18973	0.16113
19/03 09:33:18	24.63	0.04653	0.24360	0.21113
19/03 09:43:18	25.09	0.07893	0.4160	0.3915
19/03 09:53:18	25.67	0.06453	0.2928	0.26293
19/03 10:03:18	25.87	0.04780	0.21280	0.19787
19/03 10:13:18	26.06	0.05080	0.22260	0.21253
19/03 10:23:18	26.22	0.06333	0.2837	0.24013
19/03 10:33:18	27.11	0.08307	0.6176	0.8096
19/03 10:43:18	28.20	0.06793	0.5653	0.4363
19/03 10:53:18	29.03	0.09347	0.7648	0.6539
19/03 11:03:18	29.64	0.09820	0.6053	0.5056
19/03 11:13:18	29.64	0.07147	0.3403	0.22247
19/03 11:23:18	29.51	0.05667	0.24407	0.20533
19/03 11:33:18	29.29	0.04967	0.17533	0.10087
19/03 11:43:18	29.16	0.09387	0.5803	0.5611
19/03 11:53:18	29.47	0.07340	0.2741	0.23433
19/03 12:03:18	29.99	0.11620	0.8203	0.8416
19/03 12:13:18	30.89	0.11000	0.7797	0.5621
19/03 12:23:18	31.66	0.15027	0.9061	0.9488
19/03 12:33:18	32.26	0.19060	1.1685	1.1211
19/03 12:43:18	32.17	0.13067	0.4267	0.3248
19/03 12:53:18	31.53	0.13913	0.4752	0.3755
19/03 13:03:18	31.41	0.15533	0.7019	0.6683
19/03 13:13:18	31.64	0.11173	0.4229	0.3803
19/03 13:23:18	31.74	0.12280	0.5861	0.4709
19/03 13:33:18	31.90	0.11247	0.6747	0.6309
19/03 13:43:18	31.92	0.13873	0.8549	0.8832
19/03 13:53:18	31.89	0.10853	0.3056	0.24240
19/03 14:03:18	31.68	0.12233	0.6027	0.7397
19/03 14:13:18	32.00	0.12267	0.5072	0.3307



9/03 14:23:18	32.34	0.11293	0.6053	0.7387
9/03 14:33:18	32.49	0.24840	0.9312	0.8891
9/03 14:43:18	33.63	0.20173	0.5477	0.2885
9/03 14:53:18	34.02	0.11480	0.16087	0.11053
9/03 15:03:18	33.51	0.17027	0.2939	0.24960
9/03 15:13:18	33.44	0.23447	0.4768	0.4699
9/03 15:23:18	32.90	0.16287	0.3061	0.24387
9/03 15:33:18	32.76	0.14907	0.24753	0.23047
9/03 15:43:18	32.56	0.16613	0.3616	0.3077
9/03 15:53:18	32.41	0.17213	0.3221	0.25207
9/03 16:03:18	32.38	0.13587	0.22820	0.17040
9/03 16:13:18	32.21	0.13280	0.3109	0.17760
9/03 16:23:18	31.86	0.17987	0.2816	0.25213
9/03 16:33:18	31.64	0.10593	0.18100	0.10673
9/03 16:43:18	31.63	0.11233	0.3211	0.2752
9/03 16:53:18	31.32	0.07407	0.11900	0.07807
9/03 17:03:18	31.03	0.06460	0.13147	0.05160
9/03 17:13:18	30.83	0.06220	0.10187	0.03413
9/03 17:23:18	30.44	0.05633	0.11027	0.00320

ata file: IPER0804.DAT

Configuration: carolina

Logging started: 08/04 07:06:53

Data collected: 08/04 23:10:42

Data type: TIMED

# - over-run

\$ - noisy reading

% - outside limits read

&amp; - over-range reading

channel number	1	2	3	4
sensor code	TM1	TS	TS	TR
label	tempamb	solari01	solari02	radiomet
unit	deg C	kWm-2	kWm-2	kWm-2
minimum value	19.47	0.01753	0.01513	0.00240
maximum value	31.06	0.3605	0.8747	0.21793
8/04 07:06:55	19.47	0.01753	0.02007	-0.02547%
8/04 07:16:55	19.55	0.02207	-0.01827%	-0.02467%
8/04 07:26:55	19.50	0.02360	-0.01267%	-0.02493%
8/04 07:36:55	19.55	0.02827	-0.00467%	-0.02387%
8/04 07:46:55	19.63	0.03100	0.01513	-0.02547%
8/04 07:56:55	19.73	0.03600	0.02147	-0.01933%
8/04 08:06:55	19.92	0.03873	0.03173	-0.01693%
8/04 08:16:55	20.15	0.04373	0.04280	-0.01560%
8/04 08:26:55	20.39	0.04753	0.06380	-0.01027%
8/04 08:36:55	20.66	0.05740	0.09413	-0.00440%
8/04 08:46:55	20.97	0.06380	0.12887	0.00240
8/04 08:56:55	21.27	0.06487	0.12407	0.00493
8/04 09:06:55	21.57	0.06100	0.09113	-0.00467%
8/04 09:16:55	21.82	0.05780	0.09660	-0.00067%
8/04 09:26:55	22.03	0.06273	0.11873	0.00447
8/04 09:36:55	22.24	0.07113	0.14573	0.00807
8/04 09:46:55	22.51	0.07007	0.14060	0.01020
8/04 09:56:55	22.75	0.07293	0.14773	0.01520
8/04 10:06:55	22.99	0.07460	0.14720	0.01400
8/04 10:16:55	23.20	0.08327	0.18247	0.01900
8/04 10:26:55	23.33	0.08087	0.18007	0.02433
8/04 10:36:55	23.40	0.08080	0.17733	0.02173
8/04 10:46:55	23.61	0.08240	0.20453	0.02360
8/04 10:56:55	23.85	0.09693	0.26320	0.03460
8/04 11:06:55	24.19	0.11320	0.3109	0.04480
8/04 11:16:55	24.57	0.11553	0.3765	0.04380
8/04 11:26:55	24.91	0.10067	0.26160	0.02853
8/04 11:36:55	25.24	0.12373	0.3483	0.06287
8/04 11:46:55	25.63	0.15233	0.6747	0.07653
8/04 11:56:55	26.18	0.13900	0.4101	0.07053
8/04 12:06:55	26.57	0.25413	0.8747	0.12813
8/04 12:16:55	27.15	0.14800	0.4656	0.07507
8/04 12:26:55	27.42	0.10667	0.2763	0.04300
8/04 12:36:55	27.54	0.15013	0.7435	0.07073
8/04 12:46:55	27.68	0.12767	0.8181	0.05020
8/04 12:56:55	27.98	0.25827	0.7877	0.17080
8/04 13:06:55	28.46	0.17507	0.8219	0.09173
8/04 13:16:55	29.29	0.11327	0.8075	0.04100
8/04 13:26:55	29.86	0.11487	0.8064	0.08307
8/04 13:36:55	30.39	0.11367	0.5184	0.03453
8/04 13:46:55	30.58	0.12687	0.7787	0.03160
8/04 13:56:55	30.80	0.08767	0.5579	0.01627

/04 14:06:55	31.06	0.07153	0.6571	0.00927
/04 14:16:55	31.06	0.10180	0.7173	0.03220
/04 14:26:55	30.91	0.06573	0.6304	-0.00120%
/04 14:36:55	30.86	0.05547	0.5984	-0.01053%
/04 14:46:55	30.94	0.07680	0.5717	0.00687
/04 14:56:55	30.97	0.06467	0.5381	-0.00600%
/04 15:06:55	30.95	0.14373	0.5035	0.03427
/04 15:16:55	30.96	0.3605	0.4704	0.21793
/04 15:26:55	30.88	0.25827	0.4288	0.07113
/04 15:36:55	30.71	0.15460	0.4192	0.03967
/04 15:46:55	30.83	0.20187	0.3893	0.10080
/04 15:56:55	30.96	0.25380	0.3451	0.10387
/04 16:06:55	30.98	0.3083	0.3291	0.11040
/04 16:16:55	30.91	0.18567	0.2971	0.04593
/04 16:26:55	30.77	0.07267	0.23913	-0.02893%
/04 16:36:55	30.65	0.05993	0.19540	-0.01613%
/04 16:46:55	30.58	0.06653	0.16327	-0.00867%
/04 16:56:55	30.51	0.07427	0.11720	-0.02440%
/04 17:06:55	30.29	0.09427	0.09227	-0.01880%
/04 17:16:55	29.99	0.07273	0.05800	-0.05053%
/04 17:26:55	29.76	0.04880	0.01747	-0.04813%

Data file: SIBP2104.DAT

Configuration: carolina

Logging started: 21/04 07:13:43

Data collected: 21/04 18:02:45

Data type: TIMED

# - over-run

\$ - noisy reading

% - outside limits reading

&amp; - over-range reading

channel number	1	2	3	4
sensor code	TM1	TS	TS	TR
label	tempamb	solari01	solari02	radiomet
unit	deg C	kWm-2	kWm-2	kWm-2
minimum value	18.89	0.01453	0.01627	0.00000
maximum value	47.84	0.15540	0.8187	0.14733
1/04 07:13:45	20.12	0.03393	0.03987	0.00233
1/04 07:23:45	19.55	0.03027	0.04460	-0.00387%
1/04 07:33:45	19.07	0.03347	0.05713	-0.00413%
1/04 07:43:45	18.89	0.03493	0.27213	-0.00627%
1/04 07:53:45	18.97	0.07173	0.3173	0.00040
1/04 08:03:45	19.18	0.08480	0.3557	-0.00093%
1/04 08:13:45	19.55	0.09760	0.3915	0.02147
1/04 08:23:45	20.03	0.05013	0.4272	-0.01747%
1/04 08:33:45	20.60	0.04700	0.4619	-0.00733%
1/04 08:43:45	21.18	0.04773	0.4933	-0.00280%
1/04 08:53:45	21.79	0.04180	0.5253	-0.00653%
1/04 09:03:45	22.45	0.04180	0.5531	-0.00520%
1/04 09:13:45	23.20	0.04220	0.5808	-0.00413%
1/04 09:23:45	23.88	0.04480	0.6128	-0.00627%
1/04 09:33:45	24.60	0.04160	0.6331	-0.00040%
1/04 09:43:45	25.28	0.04687	0.6581	0.00227
1/04 09:53:45	26.06	0.04553	0.6752	-0.00120%
1/04 10:03:45	26.57	0.04427	0.6992	0.00000
1/04 10:13:45	27.27	0.04833	0.7131	0.01027
1/04 10:23:45	28.02	0.04553	0.7397	0.00187
1/04 10:33:45	28.55	0.06140	0.7456	0.00253
1/04 10:43:45	29.12	0.04627	0.7669	-0.00040%
1/04 10:53:45	29.51	0.04653	0.7632	0.00433
1/04 11:03:45	29.90	0.04920	0.7691	0.00073
1/04 11:13:45	30.71	0.05780	0.7648	0.00480
1/04 11:23:45	31.55	0.04980	0.7915	0.01073
1/04 11:33:45	32.61	0.05213	0.7877	0.01027
1/04 11:43:45	34.64	0.06033	0.7888	0.01973
1/04 11:53:45	37.96	0.04853	0.7765	0.04413
1/04 12:03:45	39.56	0.05240	0.7797	0.01680
1/04 12:13:45	41.04	0.05907	0.7803	0.03167
1/04 12:23:45	40.59	0.06580	0.7803	0.01707
1/04 12:33:45	41.60	0.11473	0.7851	0.04107
1/04 12:43:45	42.56	0.07167	0.7829	0.03387
1/04 12:53:45	45.44	0.09080	0.7899	0.05093
1/04 13:03:45	47.84	0.12527	0.7579	0.05827
1/04 13:13:45	45.20	0.15540	0.7643	0.14733
1/04 13:23:45	41.04	0.08313	0.7685	0.00587
1/04 13:33:45	39.13	0.08447	0.6821	0.00913
1/04 13:43:45	39.29	0.10540	0.8187	0.03673
1/04 13:53:45	44.32	0.09647	0.7589	0.01913
1/04 14:03:45	46.48	0.09967	0.7717	0.02020

L/04 14:13:45	47.44	0.09873	0.7477	0.02293
L/04 14:23:45	47.44	0.12020	0.7109	0.03380
L/04 14:33:45	46.64	0.09433	0.6624	0.01353
L/04 14:43:45	43.04	0.07473	0.3579	0.00553
L/04 14:53:45	40.44	0.07380	0.5568	-0.00333%
L/04 15:03:45	39.62	0.08547	0.5627	0.00480
L/04 15:13:45	38.39	0.09167	0.4645	-0.01213%
L/04 15:23:45	36.89	0.10707	0.3872	0.00733
L/04 15:33:45	35.84	0.12540	0.4880	0.03273
L/04 15:43:45	35.23	0.07647	0.4229	-0.01960%
L/04 15:53:45	34.67	0.06353	0.3504	-0.03107%
L/04 16:03:45	34.37	0.06747	0.3451	-0.02573%
L/04 16:13:45	34.05	0.07307	0.3061	-0.01960%
L/04 16:23:45	33.40	0.06413	0.2784	-0.02600%
L/04 16:33:45	32.64	0.05540	0.22880	-0.03293%
L/04 16:43:45	31.94	0.05500	0.05240	-0.03507%
L/04 16:53:45	31.21	0.09347	0.06887	-0.01880%
L/04 17:03:45	30.59	0.06927	0.04753	-0.04093%
L/04 17:13:45	29.88	0.07480	0.03333	-0.06920%
L/04 17:23:45	29.29	0.02527	0.02493	-0.05507%
L/04 17:33:45	28.59	0.01453	0.01627	-0.05933%

**ABSTRACT**

## ABSTRACT

Bueno, Carolina Lotufo. Study of reduction of incident solar radiation by different tree species. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1998. 177 p. Degree of Master.

This work proposes a methodology to study reduction of solar radiation by different tree species, from experimental data relating to solar radiation, air and globe temperatures, as well as relative humidity. Five species are analysed (Jatobá, Chuva-de-ouro, Magnólia, Ipê Roxo and Sibipiruna) relating to improvement of microclimate by tree shading. Incident solar radiation data are obtained by means of tube solarimeters, these measure average irradiance (in  $\text{kW/m}^2$ ) in situations where the distribution of radiant energy is not uniform. Data are collected beneath crowns of studied trees and in the open simultaneously. Percentage of reduction of solar radiation by each tree are calculated, as well as relative variations of air and globe temperatures. Results show that Sibipiruna, Jatobá and Chuva-de-ouro have the best performance, followed by Magnólia and Ipê Roxo respectively. These results allow to conclude that the proposed methodology is appropriate for this kind of study.

Key words: Thermal comfort; Solar radiation; Vegetation and climate;  
Microclimatology.