

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

***A Influência da Vegetação no Conforto
Térmico do Ambiente Construído***

ROBERTA ZAKIA RIGITANO DE PAULA

Campinas – SP
2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

***A Influência da Vegetação no Conforto
Térmico do Ambiente Construído***

ROBERTA ZAKIA RIGITANO DE PAULA

Orientadora: Prof^a Dr^a LUCILA CHEBEL LABAKI

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo da UNICAMP, para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo, área de
concentração em Edificações.

Campinas – SP
2004

UNIDADE	BC
CHAMADA	T/UNICAMP
	P281i
V	EX
TOMBO BC/	67118
PROC.	16.123-06
C	☐
D	☒
PREÇO	11,00
DATA	02/03/06

Bib. id. 375775

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

P281i Paula, Roberta Zakia Rigitano de
A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído / Roberta Zakia Rigitano de Paula.-
-Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Lucila Chebel Labaki.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Conforto térmico. 2. Vegetação e clima. 3.
Conforto humano. 4. Homem - Influência do meio
ambiente. I. Labaki, Lucila Chebel. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: The influence of vegetation on thermal confort of the built.

Palavras-chave em Inglês: Thermal confort, Vegetation and climate, Human confort e
Man influence of environmental.

Área de concentração: Edificações.

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Ariovaldo Denis Granja, Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

Data da defesa: 03/12/2004

III
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

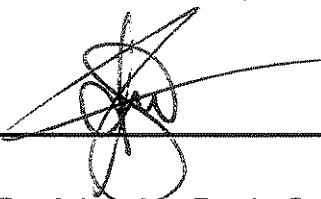
A Influência da Vegetação no Conforto Térmico do Ambiente Construído

Roberta Zakia Rigitano de Paula

Dissertação de mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Profª Drª Lucila Chebel Labaki
Presidente e Orientadora
FEC - Unicamp

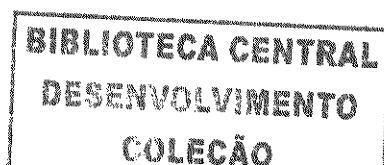


Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja
FEC – Unicamp



Profª Drª Maria Solange Gurgel de Castro Fontes
Unesp – Bauru

Campinas, 3 de dezembro de 2004



220 60 4663

DEDICATÓRIA

Para meu marido Marcel.

AGRADECIMENTOS

À Prof^a Dr^a Lucila Chebel Labaki pela dedicada orientação e atenção dispensadas durante o desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

À minha amiga e bolsista de iniciação científica Michelle dos Santos Rodrigues, pelo enorme auxílio na execução deste trabalho.

A meus amigos Obadias Pereira da Silva Junior e Daniel Celente, técnicos do Laboratório de Conforto, pela ajuda quanto a montagem dos equipamentos.

À Fapesp pela bolsa de mestrado (processo: 02/05235-1).

Ao Engenheiro Joaquim Domingos de Souza e a Mestra Engenharia pela disposição em ajudar na procura das residências a serem estudadas.

À Empresa Tree pela doação das mudas de ipê roxo.

Ao estatístico Douglas D'Alessandro Salgado, por sua contribuição nos cálculos estatísticos.

À minha irmã e grande amiga Fernanda Zakia Rigitano pelo apoio e pela presença sempre constante.

E principalmente ao meu marido Marcel Rodrigo Francisco de Paula, por seu amor e sua dedicação sempre presentes em minha vida.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	IV
AGRADECIMENTOS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	XI
RESUMO.....	XII
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVOS.....	05
3. CONFORTO TÉRMICO.....	07
3.1. Radiação Solar.....	13
3.1.1. A vegetação e a radiação solar.....	15
3.2. Ilhas de Calor.....	18
3.2.1. Vegetação e o contexto urbano.....	27
3.3. A Vegetação e o Conforto Térmico no Ambiente Construído.....	34
3.3.1. Conforto térmico na habitação popular.....	46
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
4.1. Conjunto Habitacional (Conjunto Residência Cosmos)	49
4.1.1. Seleção da espécie arbórea.....	55
4.1.2. Parâmetros analisados e respectivos equipamentos.....	57

4.1.3. Primeira fase de medições.....	60
4.1.4. Segunda fase de medições.....	61
4.2. Protótipos.....	62
4.2.1. Caracterização dos protótipos.....	63
4.2.2. Estação meteorológica.....	64
4.2.3. Medições.....	66
4.3. Análise dos Resultados.....	68
4.3.1. Cosmos: tabelas e gráficos, análise estatística, cálculo do VME.....	68
4.3.2. Protótipos: tabelas e gráficos.....	84
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
6. CONCLUSÃO.....	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXO.....	105

LISTA DE FIGURAS

01 – Equilíbrio térmico do homem.....	08
02 – Porcentagem estimada de insatisfeitos.....	11
03 – Relação entre temperatura ambiente e temperatura de conforto dos ocupantes.....	13
04 – Irradiância espectral padrão da Nasa/ASTM, na distância média entre o Sol e a Terra, e constante solar de 1353 w/m2.....	14
05 – Latitude de um local massa atmosférica atravessada pela radiação.....	15
06 – Variação nos mecanismos fotossintéticos das plantas.....	17
07– O efeito das ilhas de calor.....	20
08 – A diferença máxima entre temperaturas urbanas e rurais em cidades americanas e européias.....	23
09 – Posição das estações medidoras em Atenas.....	26
10 – Absorção, reflexão e transmissão da radiação no meio ambiente.....	30
11 – Efeito da oxigenação pela vegetação. A radiação solar é seu principal agente.....	31
12 – Efeito do umedecimento do ar por uma área com vegetação.....	35
13 – Necessidade de água de diversos vegetais em valores relativos.....	36
14 – As formas mais comuns representativas das copas das árvores.....	38
15 – Orientação e afastamentos.....	39
16 – Escalonamento do quebra vento construído a partir das espécies vegetais com porte diferenciado.....	40
17 – Quebra ventos integrados a declividade do terreno.....	40

18 – Efeitos básicos da barreira vegetal.....	41
19 – Planta do Conjunto Residencial Cosmos.....	51
20 – Planta do térreo das residências.....	52
21 – Planta do segundo pavimento das residências.....	53
22 – Foto das residências utilizadas nas medições.....	54
23 – Foto das residências utilizadas na segunda fase das medições.....	54
24 – Mudas utilizadas e ipê roxo já adulto.....	57
25 – Temperatura do ar e umidade.....	58
26 – Temperatura de globo Testo.....	59
27 – Temperatura de globo Sato.....	59
28 – Termoanemômetro.....	59
29 – Equipamento para medição da temperatura superficial.....	60
30 – Sala da residência 1, vista externa da residência 1.....	61
31 – Equipamentos montados na sala da residência.....	61
32 – Residências utilizadas na segunda fase de medições.....	62
33 - Vista dos protótipos com mudas para medição.....	64
34 - – Vista da estação meteorológica.....	66
35 – Vista da casa A, com mudas na fachada oeste.....	67
36 – Vista da casa A, com mudas na fachada norte.....	67
37 – Gráfico de temperatura de globo para 1ª fase de medições.....	68
38 - Gráfico de temperatura superficial da parede interna para 1ª fase de medições.....	69

39 - Gráfico de umidade para 1ª fase de medições.....	69
40 - Gráfico de velocidade do ar para 1ª fase de medições.....	70
41 - Gráfico de temperatura do ar para 1ª fase de medições.....	70
42 – Gráfico de temperatura de globo para 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).....	72
43 - Gráfico de temperatura superficial da parede interna para 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).....	72
44 - Gráfico de umidade para 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).....	73
45 - Gráfico de velocidade do ar para 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).....	73
46 - Gráfico de temperatura do ar para 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).....	74
47 – Gráfico de temperatura de globo para 2ª fase de medições (13 a 24 de maio).....	75
48 - Gráfico de temperatura superficial da parede interna para 2ª fase de medições (13 a 24 de maio).....	76
49 - Gráfico de umidade para 2ª fase de medições (13 a 24 de maio).....	76
50 - Gráfico de velocidade do ar para 2ª fase de medições (13 a 24 de maio).....	77
51 - Gráfico de temperatura do ar para 2ª fase de medições (13 a 24 de maio)....	77
52 -Temperatura do ar, comparação da casa A nos dois períodos de medições...	79
53 -Temperatura do ar, comparação da casa B nos dois períodos de medições...	80
54 - Gráfico de temperatura superficial da parede para a fachada oeste.....	84
55 - Gráfico de temperatura superficial interna do vidro para fachada oeste.....	85
56 - Gráfico de temperatura do ar para a fachada oeste.....	85
57 - Gráfico de temperatura superficial da parede para a fachada norte.....	87
58 – Gráfico de temperatura superficial interna do vidro para fachada norte.....	87
59- Gráfico de temperatura do ar para a fachada norte.....	88

LISTA DE TABELAS

01 – O efeito das ilhas de calor em algumas cidades.....	22
02 – Intensidade das ilhas de calor e correspondência com velocidade do vento em Paris.....	24
03 – Tabela geral da atenuação da radiação solar incidente para todas as árvores analisadas.....	55
04 – Dados para elaboração do gráfico de temperatura do ar (out. 2003).....	71
05 – Dados para elaboração do gráfico de temperatura do ar (3 a 12 de maio de 2004).....	74
06 – Dados para elaboração do gráfico de temperatura do ar (13 a 24 de maio de 2004).....	78
07 – Porcentagem estimada de insatisfeitos para outubro de 2003.....	81
08 - Porcentagem estimada de insatisfeitos para 3 a 12 de maio de 2004.....	82
09 - Porcentagem estimada de insatisfeitos para 13 a 24 de maio de 2004.....	83
10 – Dados para elaboração do gráfico de temperatura do ar (fachada oeste)...	86
11 – Dados para elaboração do gráfico de temperatura do ar (fachada norte)..	88

RESUMO

Paula, Roberta Zakia Rigitano de. A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 100p. Tese (Mestrado).

É fato conhecido que a vegetação tem um papel preponderante na atenuação da radiação solar incidente e na obtenção de um microclima que proporcione maiores condições de conforto térmico. O presente trabalho apresenta estudos para avaliação da atenuação do ganho de calor solar, por espécies arbóreas, no ambiente construído. Na pesquisa foram realizadas medições dos parâmetros ambientais: temperatura, umidade relativa, temperatura de globo, no interior de duas residências de um conjunto habitacional, comparando-se as situações com e sem sombreamento proporcionado por mudas de ipê roxo. As medições foram realizadas em ambientes com fachadas sujeitas a alta incidência de radiação solar, e praticamente idênticas. Posteriormente, foram realizadas medições em protótipos construídos na Unicamp com outra espécie arbórea, a acácia, com o objetivo de corroborar os primeiros resultados obtidos. Dois protótipos, um com a fachada envidraçada sombreada e o outro com a fachada exposta à radiação foram analisadas. Fachadas orientadas a Norte e a Oeste foram analisadas em períodos distintos. Nesse experimento foram medidas também as temperaturas superficiais dos vidros das fachadas. Observou-se que, em geral, as temperaturas do ar interno na situação sombreada são menores que na situação sem sombreamento, e principalmente as temperaturas superficiais. Os resultados demonstraram que o sombreamento com vegetação pode trazer uma contribuição significativa para o conforto térmico em ambientes internos.

Palavras Chave: Conforto térmico; Vegetação e clima; Conforto humano; Homem – Influência do meio ambiente.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente urbano deveria ser um local onde as necessidades de bem estar para o indivíduo fossem contempladas. Em alguns casos, porém, não oferece condições ambientais adequadas para que seus habitantes tenham uma qualidade de vida satisfatória. Existem estudos desenvolvidos em várias regiões do mundo, com diferentes climas, voltados a aumentar esta qualidade de vida e o conforto ambiental que a ela está associado.

O conforto ambiental pode ser explicado como o conjunto de sensações subjetivas das pessoas, em relação a determinadas características do ambiente. Essas podem ser representadas pelo conforto acústico, luminoso, visual, psicológico, espacial e térmico (Castro, 1999), sendo que este último terá maior enfoque no estudo a ser realizado.

O conforto térmico aplica-se tanto em relação aos ambientes internos como aos 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, como a poluição de automóveis e a produção de energia pelas

edificações, que contribui para a formação das ilhas de calor. Os ambientes internos são influenciados pelo externo, estando as duas formas relacionadas. (Bueno, 1998).

Para Bernatzky (1982), a formação das ilhas de calor ocorre devido às massas de edificações, aos materiais das construções e vias públicas que absorvem 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 para o céu, causando aquecimento atmosférico, à drenagem insuficiente pelo sistema de captação de águas pluviais, à não filtração de água no solo como consequência da utilização de revestimentos impermeáveis e à redução da energia utilizada nos processos de evapotranspiração realizados pela vegetação.

O conforto térmico é então, influenciado pelas condições ambientais, que vêm sendo ameaçadas também pela impermeabilização do solo (característica das grandes cidades) e mais especificamente pela ausência de vegetação, além das transformações requeridas pelas necessidades do homem no espaço urbano.

A ausência de vegetação, aliada a materiais que são utilizados sem planejamento prévio, tem alterado significativamente o clima dos agrupamentos urbanos devido à incidência direta da radiação solar nas construções. Como consequência desse fenômeno, que tem transformado as cidades em verdadeiras estufas, o consumo de energia para resfriamento de interiores vem aumentando consideravelmente nos últimos anos.

Outro problema que a falta de vegetação tem causado é a diminuição da temperatura no inverno, devido à facilidade com que os materiais de construção perdem calor para o meio, onde não existem barreiras naturais para detê-lo. (Akbari & Taha,

1992). Porém, no Brasil, esta situação, não é determinante devido aos invernos com temperaturas mais amenas.

Levando em conta estes fatores, podemos dizer que a vegetação é um meio natural que deve ser explorado para controlar os efeitos nocivos da radiação, e diminuir o consumo de energia em ambientes que necessitam de refrigeração.

Assim sendo, esse trabalho tem como objetivo avaliar a contribuição da vegetação para atenuação do ganho de calor no interior de edificações. A partir daí, espera-se que seus desdobramentos indiquem a possibilidade de desenvolver projetos mais coerentes para o bem estar do indivíduo, com planejamento de áreas arborizadas, criando um maior equilíbrio climático e um conforto térmico adequado, no interior dos ambientes, através da atenuação da radiação solar que incide diretamente sobre as construções.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é realizar o levantamento do conjunto de dados relacionados à utilização da vegetação para a melhoria da qualidade térmica do ambiente construído, com fim de que se obtenha condições adequadas de conforto para o usuário do espaço edificado.

Como objetivos específicos, o desenvolvimento de um trabalho experimental em edificações com condições controladas de sombreamento ou exposição ao sol:

- medições em campo de parâmetros ambientais, num conjunto habitacional na região de Campinas, para avaliação do efeito da vegetação no desempenho térmico de habitações idênticas do ponto de vista construtivo.
- avaliação de conforto térmico, através do método do Voto Médio Estimado, comparando-se os resultados para as condições com e sem sombreamento.
- medições em protótipos, para análise do efeito do sombreamento, em fachadas com diferentes orientações.

3. CONFORTO TÉRMICO

A temperatura do ar, a temperatura radiante, a umidade relativa e a movimentação do ar influem na sensação térmica do homem. O ser humano é homeotérmico, isso é, mantém a temperatura corpórea num valor praticamente constante, próximo de 37°C, e possui um mecanismo de termorregulação que lhe permite adaptar-se às variações climáticas. A termorregulação, apesar de ser o meio natural de controle das perdas e ganhos de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, por conseguinte, uma queda de potencialidade de trabalho (Ruas, 1999).

O organismo humano experimenta a sensação de conforto térmico quando seu organismo está em equilíbrio térmico com o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação. A quantidade de calor que é produzida por nosso corpo, em certo ambiente, depende do tipo e intensidade da atividade e estrutura do indivíduo, e em menor escala, da idade, sexo e adaptação ao clima. (Romero, 1988).

A fim de se estabelecer um equilíbrio com o meio e manter sua temperatura interna em torno de 37°C, vários processos de trocas térmicas ocorrem entre o homem

e o meio ambiente (evaporação, radiação, condução e convecção). A Figura 01 representa alguns destes processos:

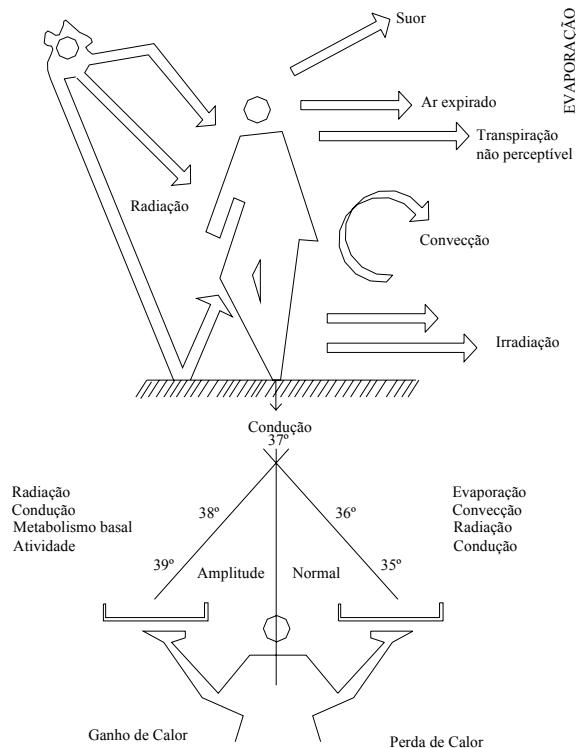


Figura 01 – Equilíbrio térmico do homem.

Fonte – Romero, 1988. p.49.

Segundo Givoni (1981), por ser impossível expressar as reações humanas ao ambiente térmico em função de um único fator, torna-se necessário avaliar o efeito combinado dos fatores (temperatura, umidade, temperatura radiante média e velocidade do ar) e expressá-los como um único parâmetro. Todas as variáveis são então combinadas no assim denominado Índice Térmico. Existem vários estudos sobre o Índice Térmico, que combinam muitos fatores diferentes, porém as diferenças entre os diversos índices se encontram na aproximação de cada um ao problema, nas

unidades usadas para expressar a combinação dos fatores, na faixa de condição de aplicação e na importância relativa atribuída a cada uma das variáveis e suas interdependências.

A avaliação de conforto térmico nos dias atuais tem freqüentemente se baseado nos trabalhos de Fanger (1972), que estabeleceu o método do Voto Médio Estimado, adotado pelas normas internacionais (ISO 7730, 1994). Também o modelo adaptativo (Humphreys, 1975) tem sido bastante utilizado em pesquisas sobre conforto térmico.

● **Índice do Voto Médio Estimado**

Fanger (1972), ao concluir que a pessoa sente sua própria temperatura e não a do ambiente, aproximou-se de um índice ambiental universal, estipulando três requisitos para atingir o conforto térmico (Ruas, 1999):

- O corpo deve estar em equilíbrio térmico com o ambiente, ou seja, a taxa de calor perdido para o ambiente deve equilibrar a taxa de calor produzida pelo organismo, que implica em um estado estacionário dinâmico.
- A temperatura média da pele, t_{sk} , deve estar em um nível apropriado, já que a sensação térmica está relacionada à temperatura da pele. As medidas demonstram que t_{sk} decresce com o aumento da taxa metabólica.
- A taxa de transpiração deve ser adequada, por exemplo, pessoas em atividade sedentária não tendem a suar. A taxa de transpiração aumenta com a taxa metabólica.

Fanger (1972) determinou diferentes graus de sensação, através do balanço de calor, utilizando-se de seus dados experimentais e de outros publicados. Este índice de

sensação térmica é baseado em uma escala de sete pontos e denominado voto médio estimado:

- - 3: Muito frio
- -2: Frio
- -1: Pouco frio
- 0: Neutro
- +1: Pouco quente
- +2: Quente
- +3: Muito quente

A partir daí Fanger (1972) propôs uma relação entre a porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico e o voto médio estimado. Esta taxa foi chamada de porcentagem estimada de insatisfeitos, e a relação entre as duas grandezas se encontra na Figura 02.

Mesmo sendo este índice de conforto térmico o mais abrangente, apresenta algumas limitações, devido ao uso apenas para condições de atividades sedentárias e ambientes térmicos moderados. (Bueno, 1998).

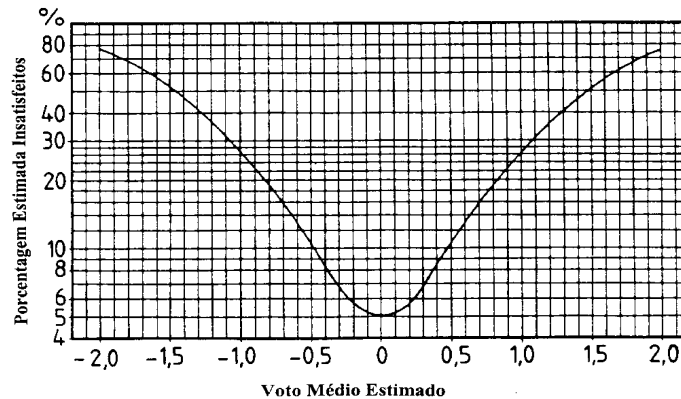


Figura 02 – Porcentagem estimada de insatisfeitos (PEI) em função do voto médio estimado (VME)

Fonte: ISO 7730, 1994.

- **Método Adaptativo de Humphreys**

De acordo com Dear & Brager (1998), o método adaptativo se baseia inicialmente no seguinte princípio adaptativo:

“Se uma mudança climática ocorre de maneira a produzir desconforto, as pessoas reagem de maneira que possam restaurar o conforto”.

Esta relação depende da natureza das pessoas e se refere à adaptação, portanto, para entendê-la deve-se englobar os meios psicológicos, fisiológicos, sociais, tecnológicos, culturais ou quaisquer estratégias usadas pelas pessoas para garantir conforto.

Como o principal sistema termorregulador do corpo humano se encontra no cérebro, as ações adaptativas são iniciadas para que, mesmo o cérebro se desviando do ponto principal, o conforto em partes localizadas do corpo seja assegurado, sejam elas nos pés, mãos, faces,...

Alguns autores afirmam que as ações adaptativas podem ser iniciadas em resposta ao frio ou ao calor, gerando inúmeras formas de ações conservativas

(tremores, colocar ou tirar roupas, suar,...). (Dear & Brager, 1998). Estas ações conservativas adaptativas podem ser classificadas em cinco categorias:

1. Regulação da taxa de calor gerada internamente.
2. Regulação da taxa de perda de calor do corpo.
3. Regulação da temperatura do meio ambiente.
4. Seleção das diferentes temperaturas do meio.
5. Modificação das condições fisiológicas de conforto do corpo.

Existem, porém, algumas circunstâncias que restringem as ações adaptativas: o clima, a cultura, as condições de trabalho e contexto social, o controle térmico operado por outro, requisições conflitantes, personalidade, moda, gênero e saúde. Como esses fatores influenciam na vida das pessoas, tendem a gerar uma grande, porém bem definida restrição, influenciando os níveis dos números das ações conservativas. Um fator importante na restrição das ações adaptativas é o tempo, pois mudanças climáticas mais drásticas podem restringir mais uma ação adaptativa do que mudanças mais prolongadas, como de uma estação do ano, por exemplo.

Deve-se considerar ainda que as edificações podem ser projetadas de maneira a se tornar confortáveis para seus ocupantes. Para tanto, arquitetos e engenheiros devem seguir alguns pontos que tendem a facilitar o sucesso da ação adaptativa: prognóstico e normalidade, variabilidade da temperatura no espaço, e uma escolha correta para que esta não imponha variações nas atitudes dos ocupantes.

Pelo princípio adaptativo, é esperado que as temperaturas de conforto se assemelhem às da acomodação. A Figura 03 mostra a relação entre as temperaturas ambientes e as temperaturas de conforto de seus ocupantes. Cada ponto representa o resultado de uma população distinta. A figura inclui algumas coletâneas de Humphreys

(1975) e os números de estudos mais recentes. A relação mostra o funcionamento do princípio adaptativo.

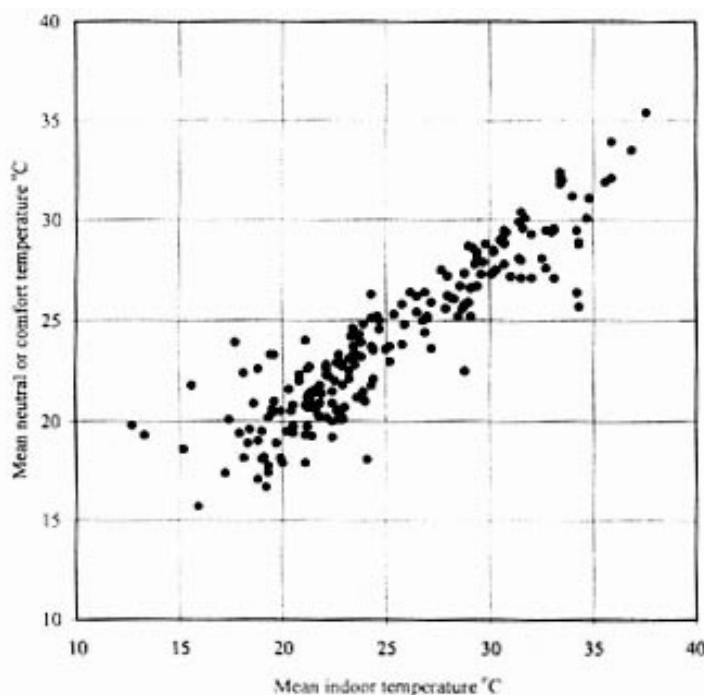


Figura 03 – Relação entre temperatura ambiente e temperatura de conforto dos ocupantes.

Fonte – Humphreys, 1975.

3.1. Radiação Solar

A radiação solar, radiação eletromagnética emitida pelo Sol, se estende por um espectro que é caracterizado por três regiões distintas: a região do ultravioleta (comprimento de onda de 290nm a 380nm), do visível (comprimento de onda entre 380nm e 780nm) e do infravermelho próximo (comprimento de onda 780nm a 2500nm), sendo que esta região do espectro eletromagnético é considerada como onda curta. A

figura 04 a seguir mostra o espectro solar, observando-se que a máxima intensidade da radiação emitida está na região do visível (Duffie & Beckman, 1980).

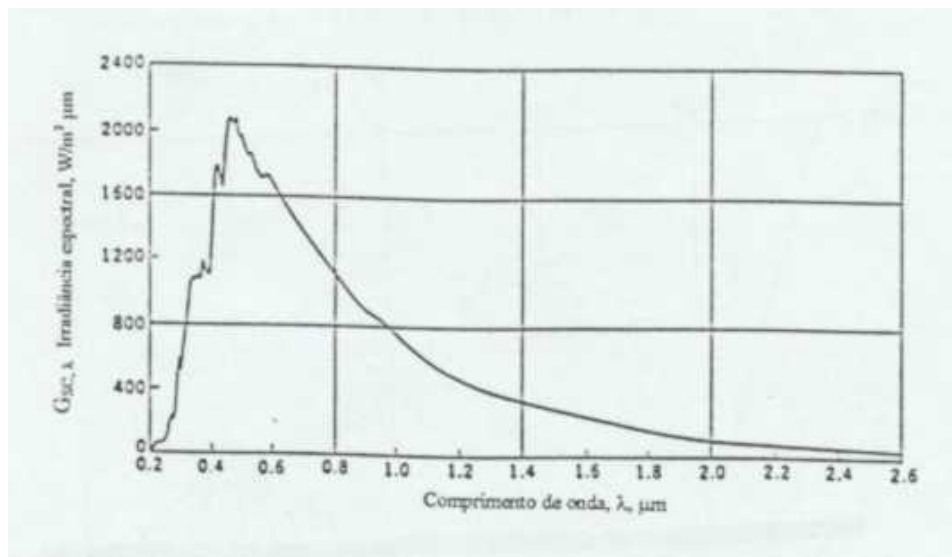


Figura 04 – Irradiância espectral padrão da Nasa/ASTM, na distancia media entre o Sol e a Terra, e constante solar de 1353 w/m^2 .

Fonte – modificada de Duffie & Beckman, 1980. p.5

Para se estudar a radiação solar, é preciso ainda ter presente as seguintes definições (Duffie & Beckman, 1980):

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

De acordo com estudos feitos por Bardou & Arzoumanian (1984), de toda radiação que chega à atmosfera, aproximadamente 15% são absorvidos por ela e 32% devolvidos por difusão ao espaço. Dos 50% restantes que atingem o solo, 6% são perdidos por reflexão e 47% absorvidos pela superfície do solo. A trajetória percorrida pelas ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol, na atmosfera terrestre, varia conforme a latitude do local; quanto mais próximos do pólo, maior a massa atmosférica atravessada e dessa forma, o fluxo energético é menos potente.

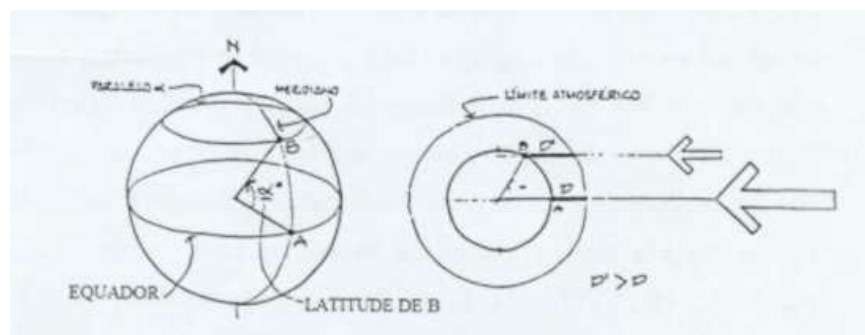


Figura 05 – Latitude de um local e massa atmosférica atravessada pela radiação.

Fonte – modificada de Bardou & Arzoumanian, 1984. p.18.

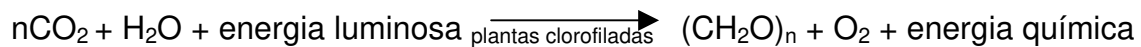
Como o eixo de rotação da Terra é inclinado em aproximadamente $23^{\circ}30'$ em relação ao plano de translação da Terra em torno do Sol (plano da eclíptica), a intensidade da radiação solar que chega a superfície do planeta, varia de acordo com a época do ano e com a latitude do local.

3.1.1. A vegetação e a radiação solar.

A radiação solar causa muitos efeitos nos centros urbanos e a vegetação é um dos elementos que pode ser utilizado para bloquear sua incidência e contribuir para o equilíbrio do balanço da energia nas cidades.

Rivero (1986) afirma que a vegetação absorve 90% da radiação visível e 60% da infravermelha, sendo o restante transmitido entre as folhas ou refletido.

Segundo Moraes (s. d.) citado por Bueno (1998), a fotossíntese é um processo de síntese de compostos orgânicos por organismos clorofilados, que servem de sustentação para a vida na Terra, e que se inicia com a absorção da luz e de carboidratos, utilizando-se de dióxido de carbono (CO_2), água do ambiente e com liberação de oxigênio molecular (proveniente da quebra da ligação química do CO_2). A energia útil (efetivamente utilizada), está vinculada à formação química dos carboidratos de acordo com a equação abaixo:



A energia luminosa é absorvida por moléculas conhecidas como pigmentos, sendo que os principais pigmentos são clorofilas divididas em **a**, **b**, **c**, e **d**, sendo a clorofila **a** a principal, estando presente em todos os organismos. Outros pigmentos chamados de acessórios, também absorvem luz e transmitem essa energia para a clorofila **a**. São os carotenóides, que auxiliam na proteção das clorofilas contra a foto-oxidação destrutiva pelo oxigênio altamente reativo liberado durante a absorção da luz.

Para Lawlor (1987), desde a absorção do ambiente até a transformação em carboidratos, o carbono participa de uma série de reações bioquímicas no interior das células das folhas. No processo evolutivo, as plantas desenvolveram sistemas metabólicos adicionais, a fim de aumentar a eficiência da fotossíntese em condições ambientais adversas. Um deles é o desenvolvimento da fotossíntese CAM (metabolismo ácido das crassuláceas, apresentado por 250 plantas), onde se forma um

ácido carboxílico com quatro átomos de carbono, no escuro, utilizando energia luminosa previamente acumulada (processo relacionado à conservação de H₂O). Outro processo conhecido é o C₄ (apresentado por três mil plantas) onde um grupo absorve CO₂ do ambiente para produzir ácido carboxílico com quatro átomos de carbono, que posteriormente será assimilado pelo ciclo C₃ (300 mil plantas). A Figura 06 representa este processo:

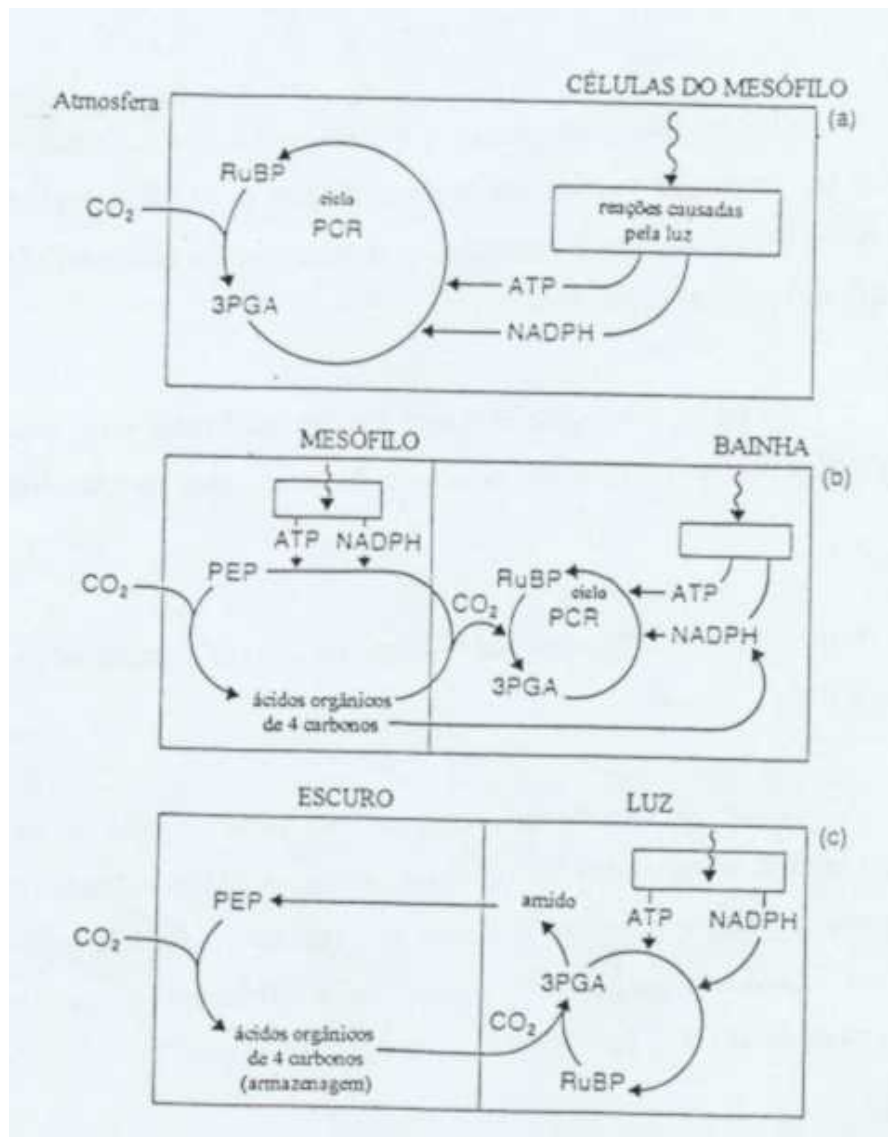


Figura 06 – Variação nos mecanismos fotossintéticos das plantas.

Fonte – modificado de Lawlor, 1987. p.183.

3.2. As Ilhas de Calor

A cidade é um grande modificador do clima. A camada de ar mais próxima ao solo é mais aquecida nas cidades do que nas áreas rurais. A atividade humana, o grande número de veículos, indústrias, prédios, o asfalto das ruas e a diminuição das áreas verdes criam mudanças muito profundas na atmosfera local, modificando também a temperatura e o regime de chuvas da região. A cidade tem formas complexas como prédios e ruas, que alteram tanto a quantidade de calor absorvido pela região como a direção e a velocidade dos ventos.

O aumento do calor na cidade modifica a circulação dos ventos, a umidade e até as chuvas. Materiais impermeáveis como asfalto e concreto fazem a água da chuva evaporar do solo rapidamente. As partículas lançadas na atmosfera pelos carros e indústrias propiciam o aumento da quantidade de nuvens e conseqüentemente de chuvas.

A substituição dos materiais naturais pelos urbanos provoca mudanças nas características da atmosfera local, observando-se um aumento de temperatura nos grandes centros, fenômeno chamado de ilhas de calor. Ilha de calor é uma anomalia térmica, onde o ar da cidade se torna mais quente que o das regiões vizinhas. Os efeitos das ilhas de calor são um bom exemplo das modificações causadas pelo homem na atmosfera. Pode-se observar que a ilha de calor costuma atingir maiores temperaturas se o céu está limpo e claro e o vento calmo, apesar de ocorrer também à noite.

Para Bernatzky (1982), o estudo da formação das ilhas de calor foi prioridade, mostrando que estas ocorrem 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 dos ventos 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 das águas no solo como consequência da utilização de revestimentos impermeáveis; à redução da energia utilizada nos processos de evapotranspiração realizados pela vegetação.

O fenômeno das ilhas de calor é caracterizado por importantes variações espaciais e temporais relacionadas à topografia, *layout* e condições do clima. A seguir apresenta-se uma descrição dos fatores mais importantes que influenciam as ilhas de calor, também representado na figura 07: (Santamouris, 2001)

- A geometria dos *canyons* urbanos contribui para a redução da radiação de onda longa nos *canyons* das ruas trazendo uma complexa diferença entre as edificações e as condições do céu. A radiação emitida pelas edificações é fator importante de aquecimento nos centros urbanos.
- As propriedades térmicas dos materiais podem aumentar o armazenamento do calor sensível fabricado nas cidades durante o dia e liberá-los para a atmosfera urbana após o pôr do sol.
- O calor antropogênico está relacionado com o calor liberado pelo metabolismo animal.
- O efeito estufa contribui para o aumento das radiações de onda longa devido aos poluentes urbanos na atmosfera. Esta radiação extra nas cidades reduz a drenagem da radioatividade.

- A turbulência reduzida e transferida entre as ruas numa zona de ilha urbana.
- A utilização de condicionadores de ar e refrigeradores e a fumaça dos automóveis e das indústrias provocam o aumento de calor na área urbana.
- A retirada da vegetação e a redução de superfícies líquidas diminuem a evapotranspiração e aumentam o calor.

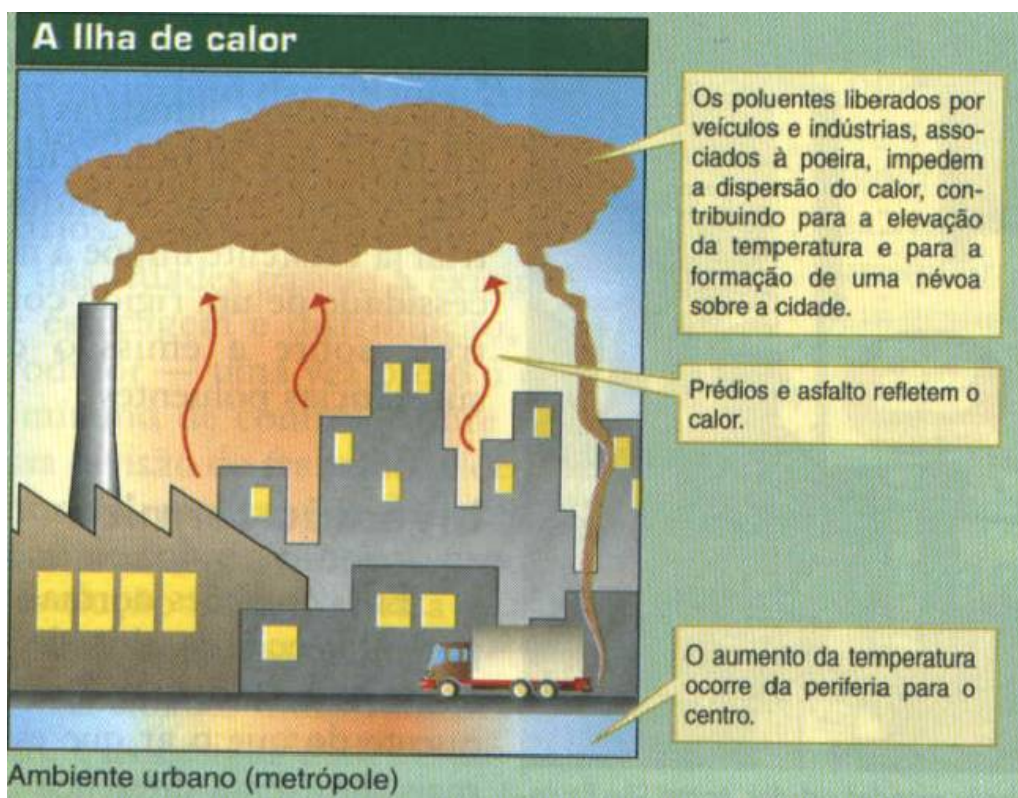


Figura 07 – O efeito das ilhas de calor

Fonte - www.sites.uol.com.br/jakespaulo/ilhacalor.html

A intensidade da ilha de calor está relacionada com o tamanho da cidade e sua população. Ou seja, cidades mais populosas sofrem maiores efeitos da ilha de calor. Porém considerar apenas a população não é suficiente para explicar esse fenômeno

físico. A geometria das ruas e dos prédios nas áreas urbanas centrais influencia na máxima intensidade da ilha, em relação às áreas livres vegetadas.

Seria desejável que arquitetos e engenheiros urbanos utilizassem, em seus projetos, os resultados das pesquisas dos meteorologistas e climatologistas. Os estudos sobre clima urbano podem auxiliar na elaboração das leis de parcelamento, uso e ocupação do solo e no código de obras da cidade. Dessa forma, os problemas gerados pela formação das ilhas de calor poderiam ser amenizados. É importante a conscientização social, para a implantação de áreas verdes e a realização de campanhas para a ampliação e o monitoramento da vegetação urbana.

Na cidade de São Paulo em situação de estabilidade atmosférica, com ausência de ventos, e inversão térmica freqüentes no inverno, o fenômeno chamado ilha de calor aparece na sua plenitude, podendo ocorrer variação térmica horizontal de até 10°C, entre o centro da cidade e sua periferia (Lombardo, 1985).

Em lugares com grande intensidade de vegetação, como é o caso do parque do Ibirapuera, a temperatura é menor que nos bairros com elevado índice de área construída e intensa verticalização.

Este fenômeno, ilha de calor, está associado também aos maiores índices de poluição da atmosfera. Esta anomalia térmica associada à alta intensidade de poluição possibilita a ocorrência de doenças respiratórias à população mais idosa que pode sofrer riscos fatais, principalmente nos que possuem problemas cardíacos.

No verão as variações térmicas horizontais são menores, entretanto o aquecimento basal do ar interfere na condensação possibilitando uma intensidade maior de precipitação e, com a impermeabilização do solo, podem ocorrer enchentes prejudicando a vida dos cidadãos.

O fenômeno das ilhas de calor pode ocorrer durante o dia ou à noite. A intensidade das ilhas de calor pode ser determinada pelo balanço térmico das regiões urbanas, resultando em alguns casos em diferenças de temperatura consideráveis. A tabela 01 a seguir mostra a diferença de temperatura em grandes cidades:

Tabela 01 – O efeito das ilhas de calor em algumas cidades.

Cidades	Elevação das temperaturas (K)
30 cidades inglesas	1.1
Nova York	2.9
Moscou	3-3.5
Tóquio	3.0
Shanghai	6.5

Fonte – modificada de Santamouris, 2001.

Levando em conta a variação das temperaturas ambientes com as áreas rurais e o centro das cidades, fica claro que a cidade sem nuvens ou ventos, após o pôr do sol, cria limites para as áreas rurais e urbanas, o que gera gradações no gradiente de temperatura para as ilhas de calor, o restante das áreas urbanas aparece em um platô caracterizado pelo aumento da temperatura, e finalmente o centro com o pico máximo da temperatura. A diferença entre o pico máximo e o mínimo é definida como a “intensidade das ilhas de calor” (Santamouris, 2001).

Os estudos sobre ilhas de calor se concentram no tamanho e na população das cidades, condições do tempo de acordo com a presença de nuvens, velocidade do vento, umidade, características dos *canyons* urbanos.

Oke (1981) estudou a relação das ilhas de calor com a densidade demográfica em cidades norte-americanas e européias. O estudo mostrou que quanto maior a

população, maior a temperatura; porém a correlação é diferente para as cidades dos dois continentes, sendo o aumento mais pronunciado para as americanas (Figura 08). O autor explica que as temperaturas maiores em cidades americanas ocorrem devido a maior concentração de prédios e pessoas.

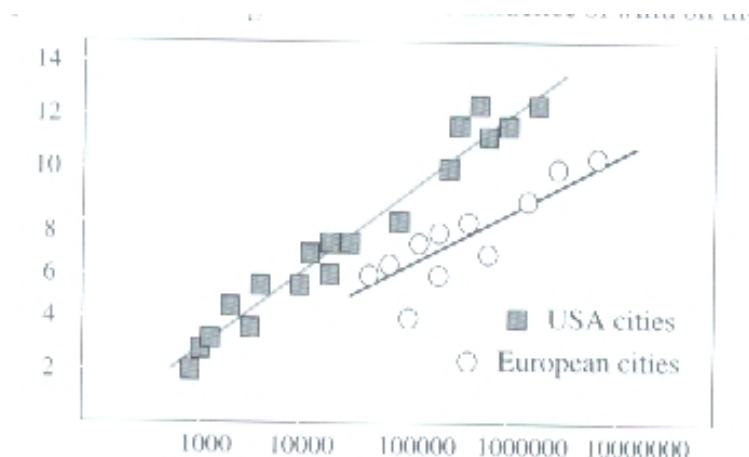


Figura 08 – A diferença máxima entre temperaturas urbanas e rurais em cidades americanas e europeias.

Fonte – Santamouris, 2001.

A seguir apresenta-se a fórmula proposta por Oke (1981) para calcular a intensidade das ilhas de calor, para céu claro com poucas nuvens, em função da população e da velocidade regional do vento:

$$Dt = p^{0,25} / (4v)^{0,5} \text{ m/s}$$

Onde:

Dt = intensidade das ilhas de calor

P = população

V = velocidade regional do vento (média)

Em outro estudo, desenvolvido por Escourrou (1991) foi analisada a influência do vento nas ilhas de calor para a cidade de Paris e percebeu –se que com o aumento da velocidade do vento a intensidade da ilha de calor diminui.

Tabela 02 – Intensidade das ilhas de calor e correspondência com velocidade do vento em Paris.

Velocidade do vento em áreas rurais (m/s)	Intensidade das Ilhas de Calor (K)
1	4.5
2	3.4
3	3.4
4	2.6
5	2.2

Fonte – modificada de Santamouris, 2001.

Para complementar os estudos de Oke (1981), muitas outras fórmulas foram propostas, utilizando-se diferentes tipos de enfoques, sendo que para complementar sua primeira fórmula ele correlacionou também velocidade do vento e população, com a geometria dos *canyons* urbanos de acordo com a altura dos edifícios (H) e a distância entre eles (W) (Santamouris, 2001):

$$Dt = 7,54 + 3,97 \ln (H/W)$$

Em termos de visão de céu (ysky):

$$Dt = 115,27 - 13,888 \text{ ysky}$$

Esta fórmula mostra que as ilhas de calor urbanas são causadas pela redução do calor radiante no céu e de acordo com a densidade dos prédios, com resultado restrito de acordo com a visibilidade.

Em Atenas, Santamouris (2001) realizou um experimento onde 30 estações medidoras automáticas de temperatura e umidade foram instaladas na maior área durante a primavera de 1996 (Figura 09). As medidas foram realizadas de acordo com as regras estabelecidas pela organização meteorológica mundial. Para a sua realização alguns estudos e critérios foram tomados:

- Obter informações sobre o entorno da base
- Estudar a densidade dos prédios de acordo com a maior intensidade de tráfego
- Estudar a densidade dos prédios de acordo com a baixa intensidade de tráfego
- Estudar as condições das áreas verdes no centro
- Estudar a densidade média das áreas edificadas

Para a realização do experimento foram instaladas 07 estações na área central, 22 em áreas urbanas e radiais em torno de Atenas e 01 em área rural.



Figura 09 – Posições das estações medidoras em Atenas

Fonte – Santamouris, 2001.

Durante inverno e verão as maiores temperaturas foram verificadas nas áreas centrais em Atenas, especialmente durante o dia.

Com a análise dos dados obtidos chega-se a algumas conclusões:

- O conforto nas áreas centrais é sempre menor que nos subúrbios.
- A intensidade máxima da ilha de calor está concentrada no centro e é aproximadamente 16K.
- A temperatura máxima nas áreas centrais é 15K maior que nos subúrbios, enquanto que a temperatura mínima absoluta é 3K maior no centro.
- O oeste da cidade de Atenas é caracterizado por pouca vegetação e muita densidade de edifícios, portanto sempre está mais quente que áreas ao norte ou ao sul.

- A intensidade das ilhas de calor em parques centrais é 6.1K, enquanto em estações urbanas próximas é de 10K, mostrando que em áreas verdes esta intensidade é 40% menor.

Enfim, para ter-se uma cidade mais confortável, é necessária a conscientização dos profissionais da área para a incorporação destes conceitos. Nota-se que, quanto maior a presença de vegetação, menor será a intensidade das ilhas de calor, sendo que estas, associadas à poluição ambiental, provocam maior consumo energético e mais precipitação e, com a impermeabilização do solo, mais enchentes.

3.2.1. A Vegetação e o Contexto Urbano

As cidades são diferentes entre si, mas apresentam alguns elementos em comum, como as zonas residenciais, industriais e comerciais, o sistema viário, as praças e espaços livres. Com o desenvolvimento dos centros urbanos, as áreas construídas se expandem, ocupando espaços antes pertencentes à vegetação (Bueno, 1998).

Para Romero (1988), as principais mudanças climáticas provocadas por esta urbanização desordenada são: “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 de ar; aumento da capacidade armazenadora de calor com a diminuição do albedo; modificação da transparência da atmosfera devido à emissão de poeira, poluição, etc...”

Pode-se constatar a forte relação entre a formação de ambientes térmicos urbanos e a morfologia do entorno (Torres, 2003). Além disso, a arborização também incrementa a biodiversidade, filtra a luz e, psicologicamente, traz ao homem uma

ligação com o campo, à medida que traz elementos de escala natural entre ruas e prédios e a percepção da mudança de estações (Pouey, 2003).

A troca da cobertura vegetal pela pavimentação e pelas construções tem trazido problemas, como o desconforto, stress, e danos tanto para a saúde física quanto mental dos habitantes, repercutindo na salubridade das populações urbanas (Romero, 1988).

Observamos, então, muitos estudos sobre as alterações nos ambientes dos centros populacionais e a influência da vegetação neste contexto.

Podemos citar, por exemplo, o estudo realizado por Lombardo (1985), onde ficou comprovado, para a cidade de São Paulo, a existência de uma relação entre os tipos de solo urbano e a variação das temperaturas superficiais. As temperaturas mais altas puderam ser observadas em áreas com alta densidade demográfica, crescimento vegetal intenso e pouca vegetação. Por outro lado, as regiões com maior concentração de espaços livres, com vegetação ou próximas a reservatórios de água, sofrem acentuados declínios de temperatura. Isto ocorre porque a água interfere no balanço de energia devido a sua alta capacidade térmica e pelo consumo de calor latente pela evaporação, além de uma maior quantidade de vegetação também mudar o balanço de energia local, já que as plantas absorvem a radiação solar através dos processos de fotossíntese e transpiração.

No estudo realizado por Modma (2003), foram analisadas as diferenças de temperatura e umidade do ar em dois locais da região central de São Carlos, com características distintas, destacando-se pela diferença de vegetação arbórea; onde as medições realizadas nas áreas arborizadas mostraram menores valores de temperatura do ar e amplitudes térmicas em relação às observadas na praça sem vegetação.

Contudo o que podemos perceber nesta nova paisagem é a desarmonia da arquitetura em relação aos fatores climáticos e ambientais. Uma vez que o clima, pelo menos por enquanto, não pode ser alterado e a arquitetura já está mal implantada, faz-se necessário apresentar soluções aditivas para a obtenção do conforto. Nada mais adequado, portanto, do que buscá-las na própria natureza, utilizando-se, por exemplo, da vegetação. Para Mascaró (1996), a árvore é a forma vegetal mais característica da paisagem urbana, a qual tem-se incorporado em estreita relação com a arquitetura ao longo da história, criando uma ambiência urbana agradável. Exatamente por este motivo, deve-se pensar seriamente no desenho dos jardins, como disse Keeble (1991), justamente porque eles podem influenciar no microclima dentro das construções e trazer a satisfação dos usuários.

A partir daí, pode-se citar alguns efeitos particulares causados pela vegetação, os quais são o umedecimento do ar através da emissão de vapor d'água pelas folhas, proteção contra ventos fortes, o efeito acústico sobre os ambientes e a dosagem das radiações de curto e grande comprimento de onda. (Izard & Guiyot, 1983).

Na Figura 10 pode-se ver como diferentes materiais se comportam em relação à absorção, reflexão e transmissão de radiação solar, e notar a variação principalmente comparada com a vegetação:

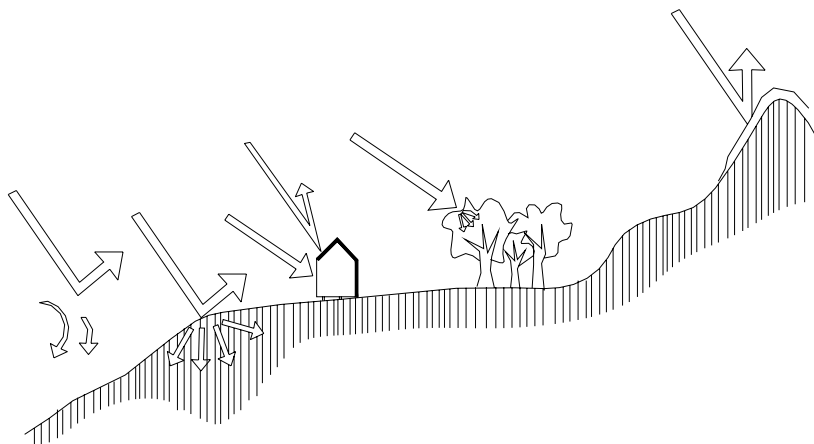


Figura 10 – Absorção, reflexão e transmissão da radiação no meio ambiente.

Fonte – modificado de Bueno, 1998. p.34

Como estudaram Akbari & Taha (1992), estas variações causam algumas alterações no clima das cidades, sendo responsáveis pelo aumento da demanda energética. O estudo foi realizado no Canadá, sobre o potencial de uso da vegetação e de materiais de alto albedo na redução de consumo de energia, tanto para resfriar como para aquecer ambientes internos. A simulação das mudanças microclimáticas foi associada ao aumento da cobertura vegetal e do albedo das superfícies nas áreas urbanas, utilizando-se de modelos desenvolvidos por eles. Para análise do uso de energia nas edificações utilizou-se um programa de computador, o DOE – 2.1D, que simulou o funcionamento do sistema de resfriamento e aquecimento, assim como as condições 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 e Vancouver os valores médios para reduzir energia foram 8% e 10% respectivamente. A energia para resfriamento em Edmonton e Vancouver pode ser totalmente compensada e em Montreal, reduzida em 35%.

Segundo Furtado (1994), ao utilizar a vegetação para sombreamento, possibilita-se não só economizar energia como também criar espaços externos agradáveis à permanência humana. Além disso, a vegetação fornece uma forma de resfriamento passivo por meio de dois mecanismos: primeiro o sombreamento lançado pelas plantas reduz a conversão de energia radiante em calor sensível, conseqüentemente reduz as temperaturas de superfície dos objetos sombreados. Em segundo, a evapotranspiração da superfície da folha resulta em resfriamento da folha e do ar adjacente devido à troca de calor latente. (Figura 11)

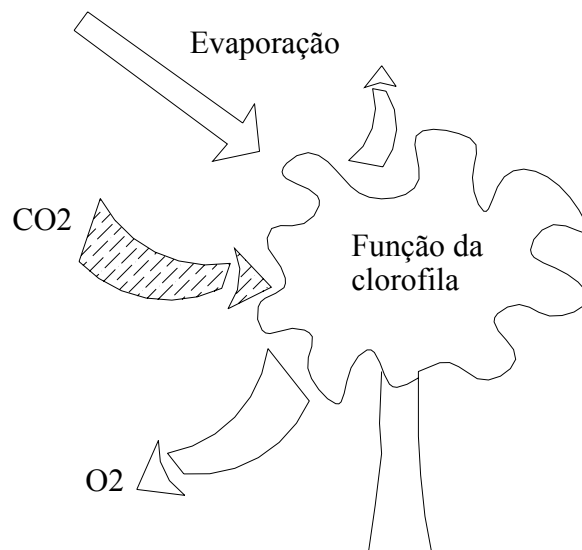


Figura 11 – Efeito da oxigenação pela vegetação. A radiação solar é seu principal agente.

Fonte – modificado de Izard & Guyot, 1983. p.46.

Para Bernatzky (1982), a produção de oxigênio pela vegetação é fruto do metabolismo das plantas, e em parte, da dissociação do vapor de água presente na atmosfera. Nas cidades, as áreas verdes, muito restritas, não podem produzir tanto oxigênio quanto é consumido, porém, a vegetação pouco densa (gramados e indivíduos arbóreos) produz um suprimento emergencial bastante útil quando a ausência de vento impede que o oxigênio, das camadas mais elevadas, desça a uma altura onde possa ser respirado. Para o autor, o planejamento das áreas verdes não deve ser feito só sob o ponto de vista do paisagismo.

No estudo realizado por Barbosa (2003), foram feitas medições de variáveis climáticas em áreas verdes urbanizadas e em áreas desprovidas de vegetação, no ambiente urbano de Maceió-AL. Constatou-se que a presença da vegetação influenciou nos resultados esperados no que tange aos valores da temperatura e da umidade relativa do ar, da direção dos fluxos de ventos, de modo a determinar microclimas favoráveis ao conforto, o que confirma o impacto positivo da vegetação urbana na melhoria das condições climáticas.

Para Mascaró (1996), “A planta poderá obstruir ou filtrar a radiação incidente e refletida. A obstrução se caracteriza pelo bloqueio da radiação, sendo proporcional a sua absorção. A filtragem se caracteriza pela interceptação parcial da radiação. A interseção desses efeitos relacionados às características de cada espécie determina a influência da vegetação nas características climáticas do ambiente construído”.

Sattler (1992), afirma que a vegetação pode ser utilizada para a interceptação da radiação difusa e direta, e da refletida pelo solo ou edificações próximas. Porém o desempenho de cada indivíduo arbóreo varia conforme a densidade de sua folhagem (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 como nas áreas próximas das edificações e em seu interior. Embora a vegetação não possa controlar as condições de desconforto, ela pode, eficientemente, abrandar sua intensidade.

De acordo com Labaki & Santos (1996), o aumento da temperatura dos centros urbanos em relação às áreas rurais adjacentes, tem sido apontado como o efeito denunciador das alterações climáticas produzidas pelo ambiente construído, onde as grandes responsáveis por essas alterações são as diferenças existentes entre as características térmicas dos materiais de construção e da vegetação, e os efeitos provocados pela incidência da radiação solar. Vários autores mencionam que a vegetação, além de bloquear a incidência, absorve a maior parte desta radiação e contribui para o balanço de energia nas cidades. De acordo com Rivero, (1986), a vegetação absorve, aproximadamente, 90% da radiação visível e 60% da infravermelha, o restante é transmitido entre as folhas ou refletido.

Estudos citados por Sattler (1992), dizem que as áreas desprovidas de vegetação tornam-se quentes de dia e frias à noite; já as áreas densamente vegetadas não apresentam grandes variações diurnas, sendo consideravelmente mais frescas que as anteriores; enquanto que as áreas confinadas entre edifícios são as mais frias ao meio-dia e não variam consideravelmente em relação às anteriores, à noite. Configura-se, pois, uma variabilidade considerável nos climas urbanos, os quais, por sua vez, dependendo da quantidade de radiação solar recebida, bem como do regime de ventos e de precipitação da umidade, e, em conseqüência, da temperatura resultante, definirão climas mais ou menos confortáveis ao homem.

3.3. A Vegetação e o Conforto Térmico no Ambiente Construído

De acordo com o exposto na seção anterior, observa-se que o uso da vegetação como dispositivo de sombreamento e gerador de umidade pode vir a ser bastante eficiente. A seleção da vegetação adequada para sombreamento de uma edificação dependerá da orientação da fachada que se deseja sombrear, dos ventos dominantes, da qualidade do solo, do espaço disponível no terreno e principalmente da altura e do azimute do sol nos períodos de maior radiação solar, que correspondem aos dias mais quentes do ano.

Para Izard & Guyot (1983), a vegetação produz muitos efeitos no microclima tanto no meio natural quanto nas cidades. Além de confirmarem a relação entre as plantas e o meio, um hectare de bosque pode produzir por evapotranspiração, cerca de 5000 toneladas de água por ano, e que medições 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 das áreas verdes, devendo-se levar em conta também às diferenças topográficas e a presença de água de rios e lagos. A figura 12 ilustra este efeito do umedecimento do ar por uma área com vegetação.

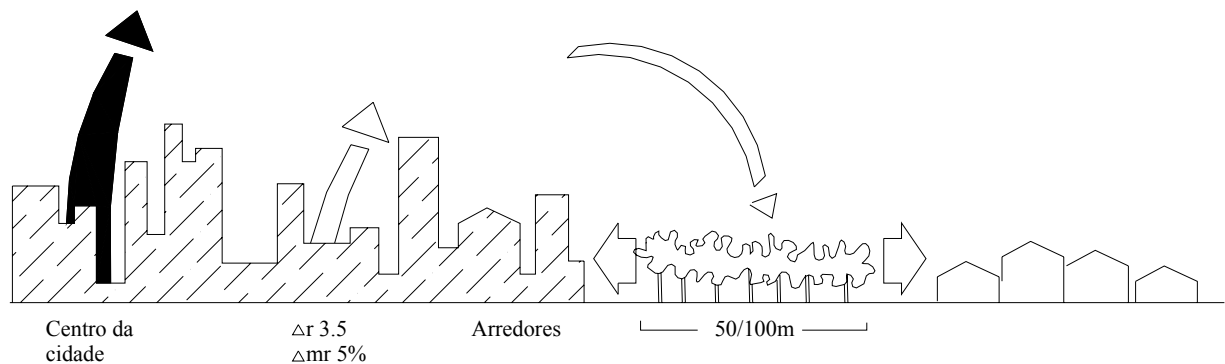


Figura 12 – Efeito do umedecimento do ar por uma área com vegetação.

Fonte – modificado de Izard & Guyot, 1983. p.47.

O fenômeno da retenção de partículas em suspensão para uma mesma superfície projetada no solo tem as árvores como retentoras dez vezes maiores que os gramados e de trinta a sessenta vezes maior que uma superfície asfaltada. Mas para que a vegetação cumpra sua função microclimática, é necessário que o elemento vegetal represente pelo menos 30% da superfície urbanizada, sendo que este deve ser suprido com água suficiente para sua sobrevivência e a realização da evapotranspiração, entre outras condições.

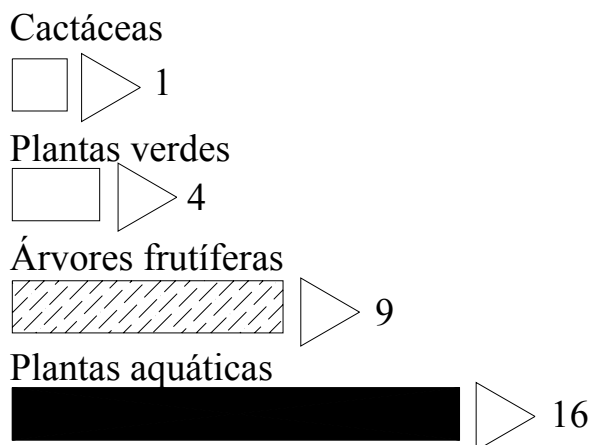


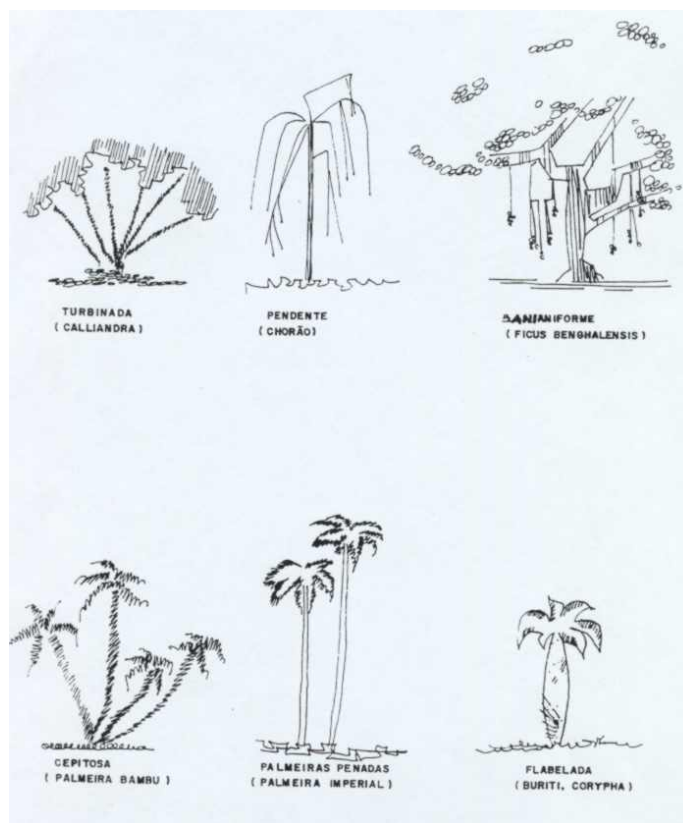
Figura 13 – Necessidade de água de diversos vegetais em valores relativos.

Fonte – modificado de Izard & Guyot, 1983. p. 51.

Como afirma Furtado (1994), a escolha da localização da vegetação para controle da radiação solar não deve ser feita aleatoriamente. Não cabe, porém um procedimento idêntico para todos os casos, visto que os fatores críticos variarão em cada situação. Graças à identificação através dos Diagramas Solares das diferentes trajetórias do Sol durante o ano, há condições de maximizar o sombreamento no verão e, se necessário, minimizá-lo no inverno através de uma disposição correta de árvores, arbustos e arvoretas.

O porte e a forma de uma árvore afetam diretamente a área coberta por sua sombra. Arbustos ou arvoretas, dependendo da orientação e época do ano que se deseja sombrear, podem ter uma área de sombreamento igual ao de uma árvore de grande porte.

Árvores de forma esférica lançam amplas sombras que são ideais para o controle solar. Ao contrário, árvores altas e estreitas têm suas sombras reduzidas devido ao porte. Uma vez que o sombreamento de uma árvore é resultado da área da superfície sombreada, a interação do porte e forma da planta com a trajetória solar diária nas estações do ano deve ser utilizada para determinar o melhor sombreamento da mais ampla área, como mostra a Figura 14.



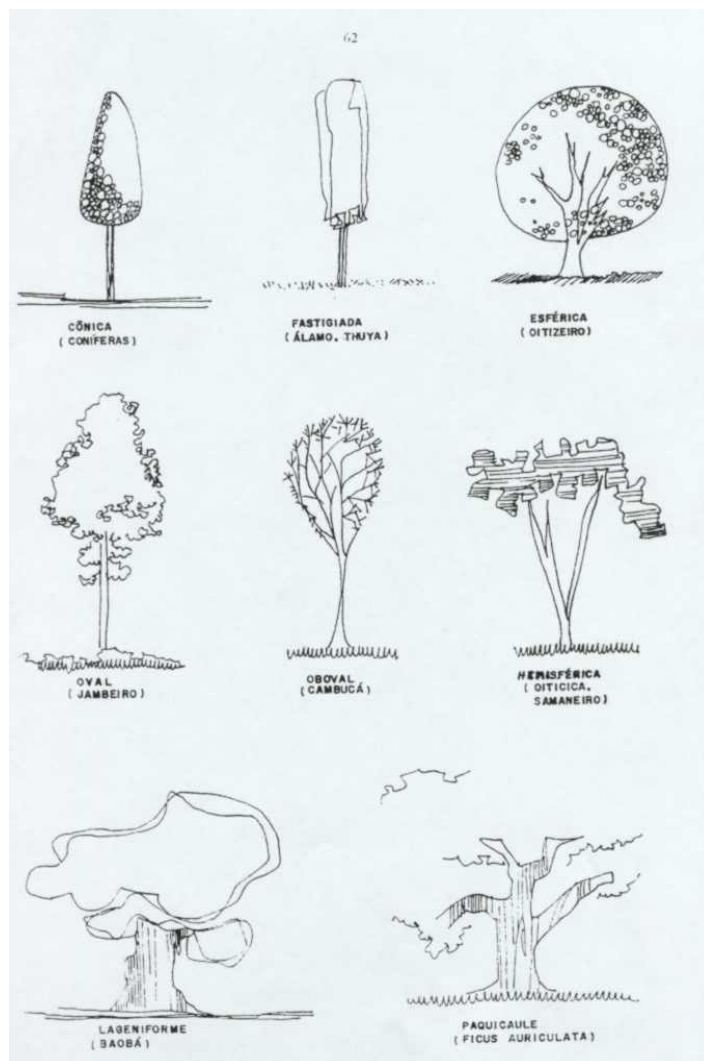


Figura 14 – As formas mais comuns representativas das copas das árvores.

Fonte – Furtado, 1994. p.62 e 63.

Dada uma edificação e uma determinada espécie arbórea, pode-se buscar a melhor forma de posicioná-la, segundo a metodologia estabelecida por Furtado (1994), relacionada a seguir:

- Deve-se posicionar a árvore onde se possa maximizar as condições de bem estar do homem no interior da edificação, sendo necessária a utilização de conceitos de programação matemática.

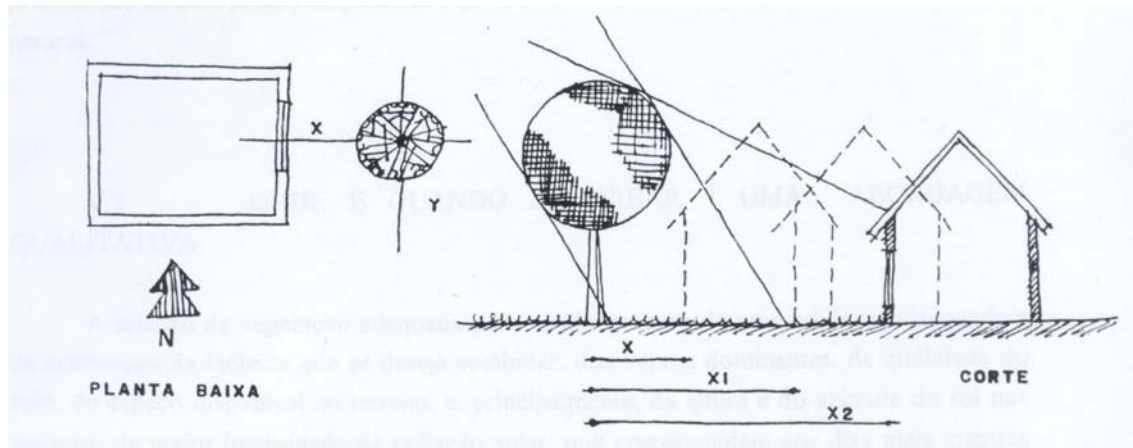


Figura 15 – Orientação e afastamentos.

Fonte – Furtado 1994.

- Para uma dada árvore, obter os valores situacionais (distância do eixo da copa da árvore à fachada – x; e distância do eixo à aresta vertical direita da fachada – y) buscando maximizar o bem estar do Homem no interior da edificação. Assim tem-se a função C (função de conforto definida pelo diagrama bioclimático) considerando-se a função de B-E (Função de bem estar, definida pela função $B-E = f(\text{temperatura efetiva, conforto acústico, iluminação natural, efeitos psicológicos, efeitos biofísicos, condicionamento cultural})$):

$$\text{Max. } C = f(C) \text{ c } f(B-E)$$

Este modelo daria a posição “ótima” da árvore. O problema maior a considerar é a mensuração de todos os componentes da função. Por isso certos parâmetros foram avaliados apenas qualitativamente, mas sugerindo situações e condições capazes de auxiliar o arquiteto no sentido de melhor posicionar a vegetação, priorizando os dois principais parâmetros de conforto: o de sombreamento e o de ventilação natural.

No trabalho de Mascaró (1996), coloca-se que em determinados períodos a incidência do vento pode ser indesejável ou insuficiente para o condicionamento térmico

do ambiente, sendo necessário controlá-lo com quebra – ventos, utilizando-se da heterogeneidade das plantas ou ainda integrando-a com a topografia, como mostram as Figuras 16 e 17:

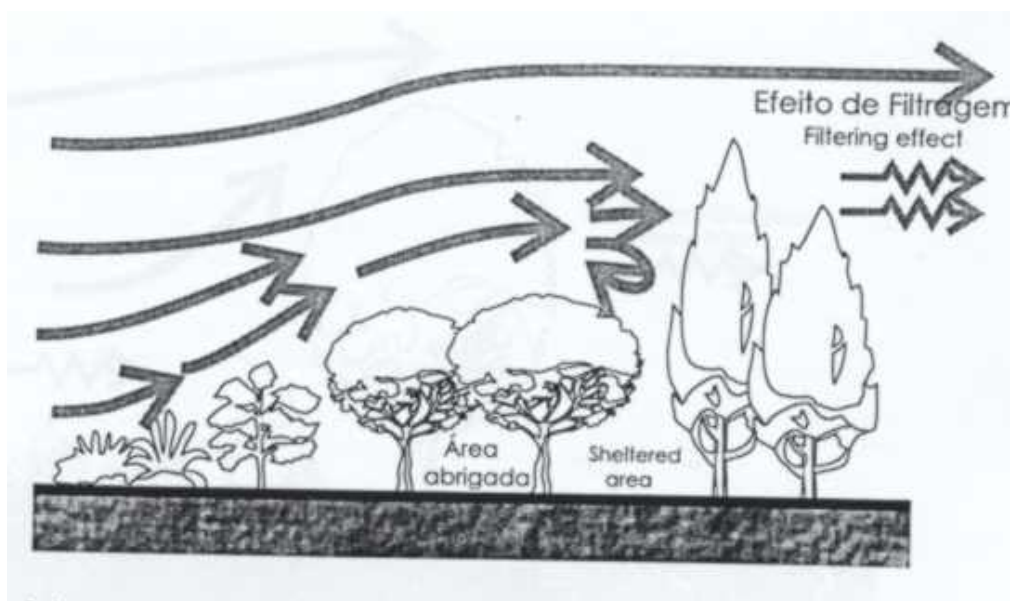


Figura 16 – Escalonamento do quebra vento construído a partir das espécies vegetais com porte diferenciado.

Fonte – Mascaró, 1996. p.84.

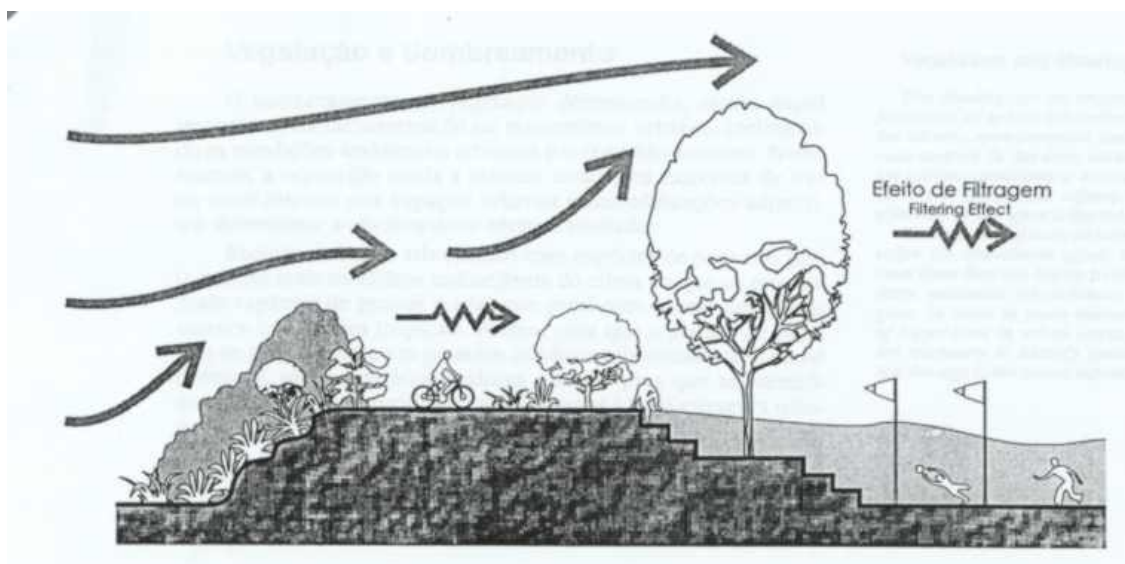


Figura 17 – Quebra ventos integrados a declividade do terreno.

Fonte – Mascaró, 1996. p.85.

Diz-se ainda que os efeitos básicos de uma barreira podem ser a obstrução (bloqueia o fluxo de ar), a filtragem (reduz a velocidade do vento conforme a barreira), a deflexão (desvia a direção e a velocidade do fluxo de ar) e a condução (direciona o fluxo de ar), como na Figura 18:

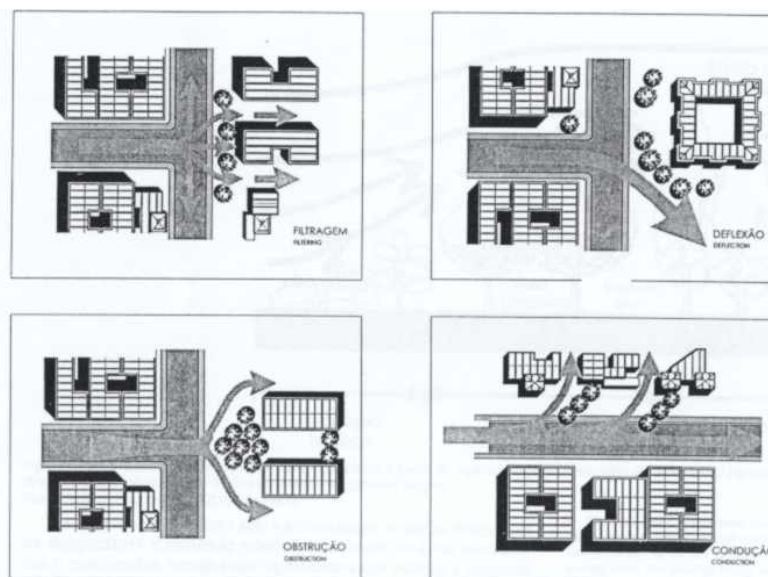


Figura 18 – Efeitos básicos da barreira vegetal.

Fonte – Mascaró, 1996. p.83.

Já para Hoyano (1988), para que os arquitetos desenhem um projeto termicamente correto com o auxílio da vegetação, deve-se levar em conta os efeitos climatológicos do uso destas plantas. O uso da vegetação para controle da radiação solar é um bom exemplo prático; em baixas latitudes, o controle solar é um dos métodos básicos para a construção de um edifício confortável termicamente no seu interior e exterior ou ainda para a diminuição da temperatura.

Nestas circunstâncias, Hoyano (1988), desenvolveu experimentos dos efeitos do clima usando a vegetação; cinco tipos de plantas foram escolhidos e a elas aplicadas

medições, conforme suas necessidades (transmitância solar, distribuição de temperaturas de superfícies, microclimas criados no entorno, variação solar ao longo do dia nas janelas, efeitos em relação à ventilação, entre outros). Para a análise dos resultados das medições, os dados coletados foram transformados em gráficos conduzindo ao uso correto de determinadas plantas para o controle solar em edifícios.

Em 1997, Simpson & Mcpherson desenvolveram um trabalho de simulação do impacto das formas arbóreas no uso energético residencial (em Sacramento, Califórnia), e descobriram que o formato das copas pode reduzir a incidência de radiação diminuindo o uso de ar condicionado no verão e ajudando a aumentar a temperatura no inverno, de acordo com a interseção da energia solar. As simulações foram feitas em 254 casas, de acordo com o número, tamanho e orientação das árvores, sendo que a redução no ganho solar foi calculada pela forma árvore + edificação.

Neste mesmo ano (1997), Sailor estudou as diferenças de temperatura nos impactos do dia de acordo com o aumento da vegetação urbana; pode-se notar que para diminuir o período de consumo energético nas cidades, basta implementar programas urbanos de plantio. Enquanto o efeito direto destes programas possibilita a refrigeração de edifícios individualmente e a diminuição do uso de ar condicionado, tem-se um efeito indireto regional de frescor associado ao aumento de vegetação total.

No trabalho de Bueno (1998), foram estabelecidas as seguintes etapas para seu desenvolvimento: levantamento e seleção das espécies arbóreas a serem amostradas (jatobá, ipê roxo, chuva de ouro, sibipiruna e magnólia); seleção dos locais de medição; medições em campo de temperatura, umidade relativa, radiação solar incidente, com o uso de solarímetros de tubo, ao sol e à sombra dos indivíduos arbóreos analisados e

análise dos resultados (para melhor visualização e análise dos dados foram elaborados gráficos com os resultados de temperatura, umidade relativa e radiação solar. Dando continuidade a esse trabalho, Bueno-Bartholomei (2003), analisou ainda as espécies: cássia, aroeira salsa, pata de vaca, jambolão, sombreiro, cedro rosa e fícus. A localização da vegetação para controle solar dependerá de cada situação em particular. Entre os fatores a serem considerados destacam-se as características ornamentais, custos, disponibilidade e adequação ao uso. Em qualquer caso, o problema da arborização das cidades no Brasil, cuja flora é dotada de uma excepcional diversidade, oferece inúmeras aberturas para estudos quanto aos impactos de energia solar sobre as habitações humanas.

Está claro que o conforto térmico em ambientes internos é um direito de todos, devido a este fator ele vem sendo muito estudado para a garantia de bem estar do homem.

A importância de respeitar jardins e valores ambientais na arquitetura e desenho urbano faz parte de estudo realizado por Afonso (2001). Durante a pesquisa a autora observou que jardins e meio ambiente não são levados em conta com frequência nos projetos, como por exemplo, plantio em áreas ao longo de rios, pavimentação de ruas e calçadas com superfícies mais leves, estabelecimento de até 30 casas por hectare para áreas desflorestadas e 2 casas por hectare para áreas vegetadas. Assim, foram identificadas algumas tipologias que são mais adequadas para encostas, vales de rios e áreas verdes servindo de sugestões de projeto.

Para Axarli e Eumorfopoulou (2001), a vegetação pode ser um importante modificador do microclima dentro e fora dos edifícios. As plantas externas ao edifício podem afetar a exposição do sol e vento e conseqüentemente as condições de conforto

no interior, diminuindo o uso da energia. A eficiência energética de acordo com o desenho das edificações e seus jardins, deve ser baseada no sol e vento, as duas forças maiores que influenciam no funcionamento do edifício. Este estudo foi realizado na Grécia, na cidade de Thessaloniki, que possui nas proximidades mar, montanhas e rios para influência do clima local.

O desenho do uso da vegetação para eficiência energética, priorizou o controle do movimento do ar e a proteção dos edifícios dos ventos frios, com passagem do sol no inverno e o oferecimento de sombra deixando as brisas no verão. Foram estudados o desempenho da vegetação para proteção solar e o dos ventos separadamente e depois combinadas as duas estratégias. Chegou-se à conclusão que a escolha das espécies pode ser muito difícil, devido à grande variedade existente, porém seu uso para a obtenção de conforto é incontestável. Recomenda-se então, o uso de plantas nativas.

Kauffman *et al* (2001), estudaram na cidade de Maracaibo, Venezuela (considerada de clima quente e úmido), a árvore “cuji” (*Prosoja floriflora*), por ser muito utilizada naquela região. A pesquisa monitorou o microclima com temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, foram consideradas também, as radiações de onda longa e curta, convecção, condução, evapotranspiração e perda de calor sensível e latente pela respiração. Foram feitas simulações de computador comparando o efeito de sombra da árvore e telhados comumente utilizados na cidade, além do conforto humano. Chegou-se à conclusão que o uso da árvore é muito eficiente em áreas de atividades humanas intensas, melhorando o efeito do microclima durante o dia em até 25%, enquanto que à noite mantém mais ou menos as condições externas.

Propõe-se então que o uso espontâneo da planta seja assumido como prática pela cidade, o que causaria impactos positivos para o meio ambiente.

Já Bueno (2003), apresentou em seu trabalho estudos sobre melhoria do conforto térmico em duas salas de aula, depois da colocação de algumas árvores na área externa. Foram feitas medidas dos parâmetros de conforto ambiental primeiramente sem vegetação e depois se colocando quatro mudas de *Ficus Benjamina*, protegendo as fachadas mais expostas ao sol. Foi observado que, em média, as temperaturas na situação com árvores foram 1,5°C menores que na situação sem árvores.

O projeto desenvolvido por Rogora e Néri (2001), prevê a renovação de um edifício situado na cidade de Lignano na Itália, recentemente transformado em escritório. No seu desenvolvimento muitos materiais e soluções diferentes foram testados, porém o uso de plantas mediterrâneas e tropicais foi muito valorizado para recriar uma simbiose entre homem e natureza, controlando as condições térmicas internas. As plantas cobriam 25% do piso na face sul e 10% na face norte, sendo que a escolha das espécies foi decidida com a ajuda de um agrônomo. Durante dois anos, mudanças foram feitas com a posição das plantas, devido à posição solar, falta de adaptação e ataque de parasitas. Durante o estudo no ateliê Rogora, a equipe trabalhou nas condições da arquitetura solar verde e o efeito da vegetação em espaço com boa luminosidade e com uso de materiais ecológicos, proporcionou maior rendimento no trabalho e qualidade de vida.

3.3.1. Conforto térmico na habitação popular

Existe uma série de trabalhos que enfocam o ambiente construído em geral, mas principalmente em relação aos conjuntos habitacionais, já que nestes a concentração humana é sempre intensa e muitas vezes desordenada.

Kruger e Dumke (2001), realizaram estudos na Vila Tecnológica da cidade de Curitiba, que consiste em 100 moradias habitadas e 20 casas em exposição para o público, com diferentes materiais e sistemas construtivos para cada uma delas. Foram avaliados 18 sistemas construtivos com dataloggers do tipo HOBO no inverno e no verão, para moradias ocupadas. Os autores chegaram à conclusão que para o verão, as características termofísicas da envoltória são determinantes no desempenho térmico das moradias e para o inverno outros fatores, como área de ventilação, ganho solar por aberturas, material e orientação das esquadrias e padrão de uso das residências também tem sua importância.

O desempenho térmico das casas populares mais comumente encontradas nas periferias da cidade de Campinas, SP, é avaliado em estudos feitos por Chvatal et. al. (1995). A pesquisa constituiu de aplicação de questionários, observações e medições *in loco*, sendo realizadas em casas, modificadas ou não, de conjuntos habitacionais no inverno e verão. Em todos os casos foram observadas situações de extremo desconforto podendo-se estabelecer uma correlação entre elementos construtivos e de implantação e o conforto térmico dos projetos estudados. Para solucionar estes problemas propõe-se a proteção das áreas envidraçadas, paredes externas pintadas de cor clara e plantio de árvores nas calçadas e áreas externas da residência.

No estudo de Fontana (1999) as técnicas, sistemas construtivos e parâmetros de projetos arquitetônicos influenciam diretamente no conforto térmico de habitações

populares. No trabalho que desenvolveu na Vila Tecnológica da cidade de Bauru (desenvolvida pela Cohab), foram analisadas 85 unidades habitacionais térreas através de um método derivado da capacidade e da resistência térmica equivalentes, complementado por estudos de ventilação e insolação, ficando demonstrado que a técnica está associada ao projeto arquitetônico, sendo que individualmente não garantem o bom desempenho da edificação.

Um interessante estudo de Kowaltowski (1995), analisa as transformações das casas populares de conjuntos habitacionais de Campinas após sua ocupação. Os resultados mostram que apesar da grande ocorrência de alterações, o nível de conforto e satisfação não é necessariamente aprimorado. Normalmente, as alterações estão relacionadas ao tipo de projeto original e ao dimensionamento dos cômodos. Recomenda-se um apoio técnico ao auto-construtor e uma revisão dos projetos habitacionais, para evitar desperdícios, propiciar aumento de satisfação e ordenar a evolução da construção de casas populares.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, estabeleceu-se um roteiro, compreendendo a caracterização detalhada das residências e árvores e a descrição do procedimento experimental, adotado em campo para obtenção dos resultados. Inicialmente foram previstas as medições num conjunto habitacional, pela possibilidade de análise de construções idênticas, de modo que o único parâmetro diferenciador fosse o sombreamento. Com o decorrer do experimento, e devido às dificuldades encontradas, que serão listadas posteriormente, decidiu-se também pelo estudo em protótipos. Todas as construções encontram-se na cidade de Campinas que localiza-se de acordo com as seguintes coordenadas geográficas: 22°54'S de latitude, 47°3'O de longitude e 854 m de altitude. Localiza-se sobre um terreno levemente ondulado, numa zona de planície. Devido a sua altitude, a cidade está sujeita a intensa ventilação e insolação.

A umidade relativa do ar é de 77% nos meses de outubro a março, e de 65% de abril a setembro. A seguir apresenta-se um resumo da metodologia adotada:

4.1. Conjunto Habitacional (Conjunto Residencial Cosmos)

A opção por conjuntos habitacionais populares para a pesquisa foi adotada com o intuito de se comparar habitações idênticas, para a realização adequada do estudo, com a possibilidade de fornecer subsídios para melhoria do conforto térmico dessas

habitações aproveitando-se a vegetação. Há a dificuldade de se encontrar pessoas dispostas a deixar os equipamentos de medição dentro de suas residências.

Na procura, foram observadas as localizações, o fato do conjunto habitacional ser para população de baixa renda e a uniformidade nas edificações.

Como as medições seriam realizadas no interior das residências, foi necessário conversar e explicar a situação aos proprietários, evitando causar transtornos e para que os aparelhos não sofressem nenhum dano.

O Conjunto Residencial Cosmos – projeto de fundo social, foi o local selecionado, através da construtora Mestra engenharia. A figura 19 a seguir mostra uma planta de todo o conjunto.

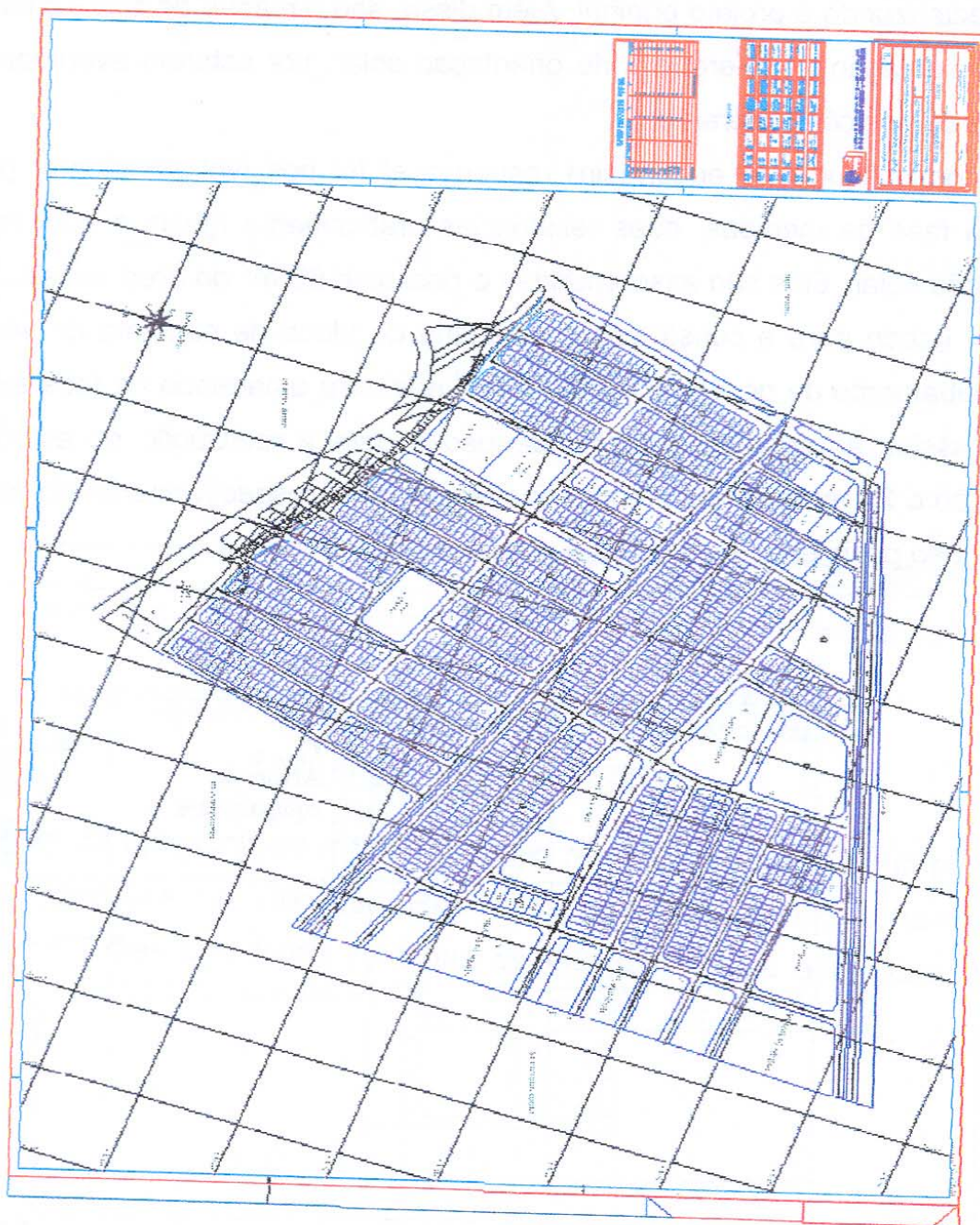


Figura 19 – Planta do Conjunto Residencial Cosmos

Fonte: Arquivos da Mestra Engenharia.

A seleção das residências para o experimento foi mais complicada, pois apesar dos projetos serem iguais, muitas delas já haviam sido reformadas, descaracterizando o projeto original. Além disso, são pintadas de cores diferentes e na implantação há diferenças de orientação solar, por estarem eventualmente em ruas ou posições diferentes.

Com a ajuda do engenheiro responsável foi possível selecionar, para a primeira fase de medidas, duas residências praticamente iguais e com mesma orientação solar. Elas são assobradadas e possuem 60 m² de área construída. O material usado para a construção é alvenaria de bloco de concreto de vedação com acabamento de gesso na parte interna e textura amarelada na face externa. Sendo assim, as condições ficam adequadas para a realização do estudo. As figuras 20 e 21 mostram as plantas das residências, respectivamente do térreo e do segundo pavimento, bem como a colocação das árvores:

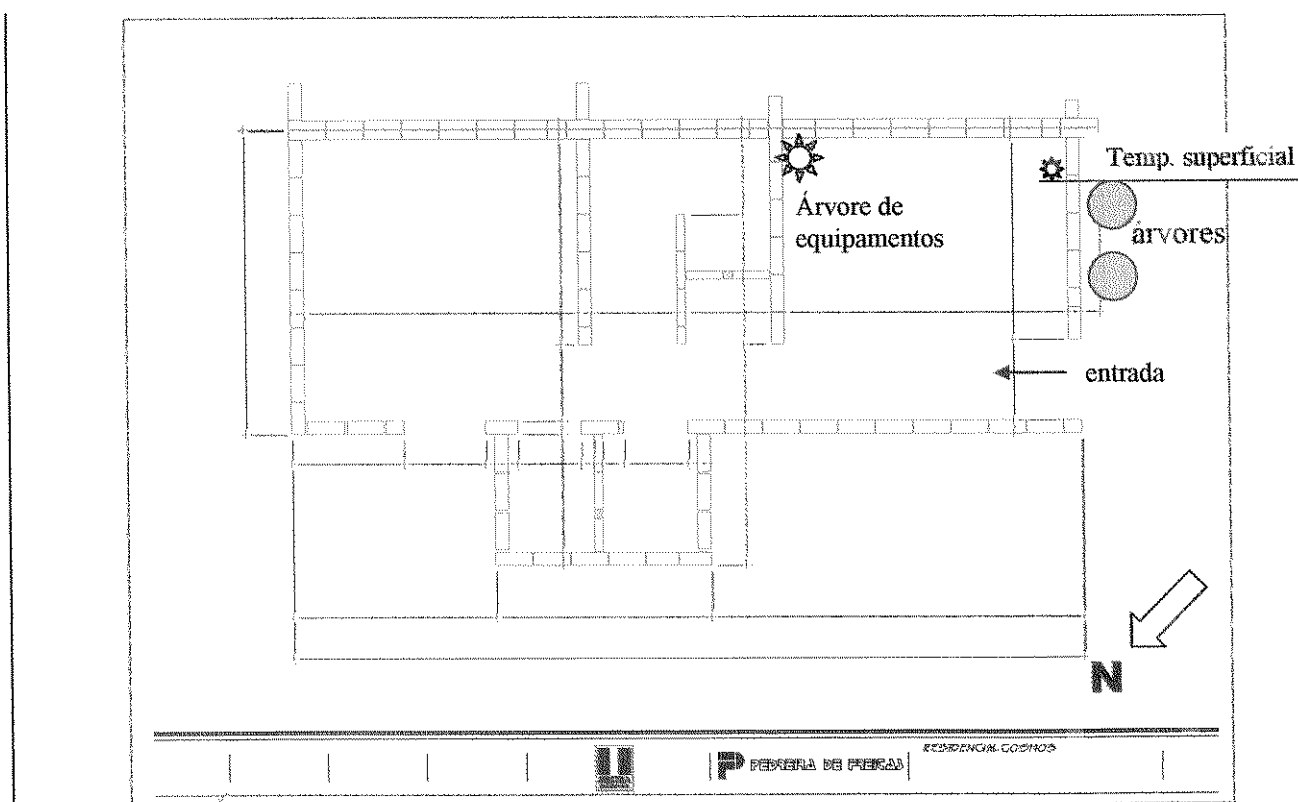


Figura 20 – Planta do térreo das residências.

Fonte – Arquivos da Mestra engenharia.

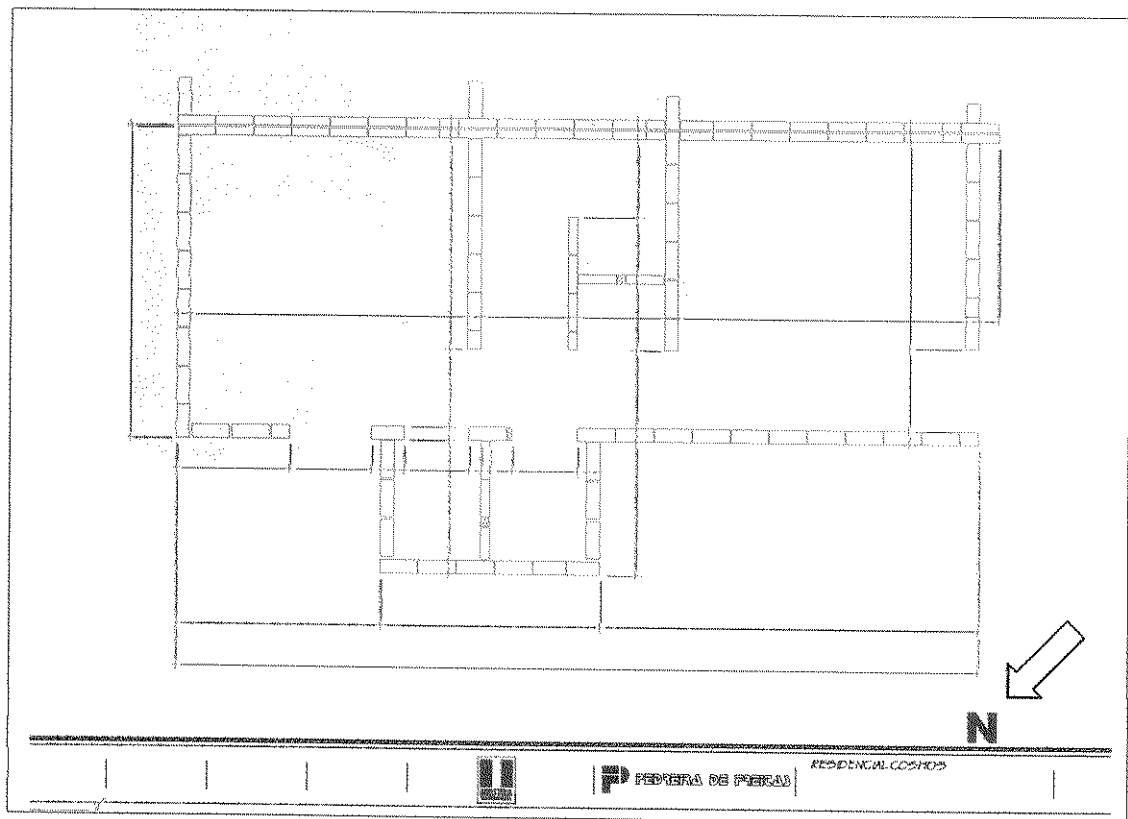


Figura 21 – Planta do segundo pavimento das residências.

Fonte – Arquivos da Mestra engenharia.

Na figura 22 apresenta-se a foto das duas residências utilizadas na primeira fase das medições no Conjunto Residencial Cosmos, devido a condições diferentes nos dias que foram retiradas as fotografias, elas aparentam cores diferentes:



Figura 22 – Foto das residências utilizadas na primeira fase das medições.

Na segunda fase de medidas, foram utilizadas outras residências, devido a problemas com reformas e instalações de toldos na frente das residências utilizadas na primeira fase.

As casas utilizadas pertenciam à construtora, que as utiliza para demonstração a compradores. Têm a mesma planta das utilizadas na primeira fase de medidas (Figuras 20 e 21) e são idênticas quanto à cor (alaranjada) e orientação (noroeste), mas geminadas, como mostra a figura 23.



Figura 23 – Foto das residências utilizadas na segunda fase das medições.

4.1.1 Seleção da espécie arbórea

Para dar início ao trabalho seria necessário selecionar a espécie a ser colocada no local. Como a presença de vegetação não era significativa no local, as espécies arbóreas foram selecionadas a partir do trabalho de Bueno (1998 e 2003), que selecionou algumas espécies, tendo como critério sua utilização na arborização urbana em Campinas. Os resultados obtidos sobre a atenuação da radiação solar pelas diferentes espécies são indicados na Tabela 03.

Tabela 03 – Tabela geral da atenuação da radiação solar incidente para todas as árvores analisadas.

Árvores Analisadas	Atenuação da Radiação Solar (%)	Erro Padrão da Média (α)
<i>Hymenaea courbaril</i> (Jatobá)	87,2	$\pm 1,6$
<i>Cassia fistula</i> (Chuva-de-ouro)	87,3	$\pm 0,7$
<i>Michelia champacca</i> (Magnólia)	82,4	$\pm 3,4$
<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Ipê roxo)	75,6	$\pm 2,3$
<i>Caesalpinia peltophoroides</i> (Sibipiruna)	88,5	$\pm 1,2$
<i>Senna spectabilis</i> (Cassia)	88,6	$\pm 1,3$
<i>Schinus molle</i> (Aroeira salsa)	73,6	$\pm 1,3$
<i>Bauhinia variegata</i> (Pata-de-vaca)	81,7	$\pm 2,0$
<i>Cringium jambolana</i> (Jambolão)	92,8	$\pm 0,4$
<i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) - sem folhas	70,2	$\pm 2,6$
<i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) - com folhas	78,6	$\pm 0,8$

<i>Cedrela fissilis</i> (Cedro-rosa) - sem folhas	29,9	$\pm 1,9$
<i>Cedrela fissilis</i> (Cedro-rosa) - com folhas	75,6	$\pm 1,2$
<i>Ficus benjamina</i> (Ficus)	86,3	$\pm 1,3$

Fonte: Bueno, 2003

A partir daí optou-se por escolher uma destas espécies. A empresa Trees, que possui viveiro de mudas localizado na cidade de Amparo S.P., cultiva espécies arbóreas e doou 02 ipês roxos com aproximadamente 2m de altura e 0,50cm de diâmetro (Figura 24). O ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa*), tem as seguintes características (Lorenzi, 2000):

- 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-foliadas; 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 a 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.



Figura 24 – Mudas utilizadas e Ypê roxo já adulto.

Fonte – Lorenzi, 2000. p.51

4.1.2. Parâmetros analisados e respectivos equipamentos

Os parâmetros ambientais – temperatura e umidade relativa do ar, temperatura do globo, velocidade do ar e temperaturas superficiais internas das paredes foram medidos, utilizando-se os seguintes equipamentos:

- temperatura do ar e umidade

Para a obtenção destas duas variáveis, foram utilizados dois termômetros digitais da marca Testo – Testotestor 1752. O termômetro, após acionado, faz o registro automático dos valores. (Figura 25):



Figura 25 – Temperatura do ar e umidade.

- temperatura de globo

O termômetro de globo é um equipamento muito utilizado para determinar a temperatura radiante média e pode ser observado nas Figuras 26 e 27. Foram utilizados 02 registradores para a temperatura de globo, um para cada casa, mas de marcas diferentes (Sato e Testo). Foi verificada a calibração dos mesmos. O termômetro de globo é composto dos seguintes elementos:

- esfera oca de cobre de aproximadamente 1 mm de espessura e com diâmetro de 152,4 mm, pintada de preto fosco, com emissividade mínima de 0,95 e com abertura na direção radial, completada por duto cilíndrico de aproximadamente 25 mm de comprimento e 18 mm de diâmetro, destinado a inserção do termômetro digital.
- duas rolhas de borracha, na cor preta, vazada no centro, na direção de seu eixo, por orifício que permite uma fixação firme e hermética do termômetro.
- 01 termômetro Sato – Datalogger SK L200TH.
- 01 termômetro Testo – Testotestor 1751 logger, com sonda de temperatura 0613 1711.

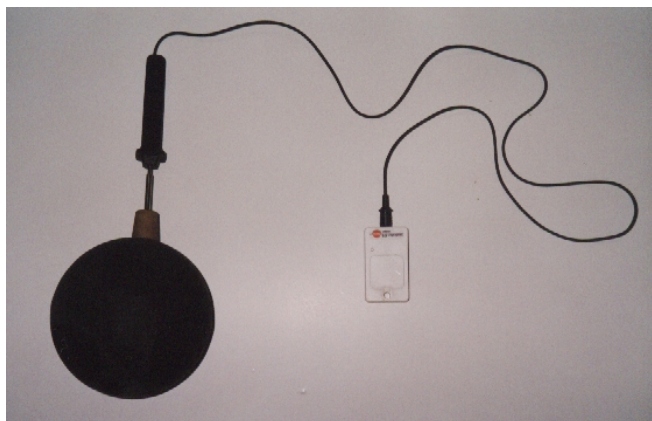


Figura 26 – Termômetro de globo Testo.



Figura 27 – Termômetro de globo Sato.

- Termoanemômetro

A velocidade do ar é um parâmetro que influencia o grau de conforto dos indivíduos ao interferir nas trocas térmicas. É uma variável difícil de medir devido às oscilações rápidas em direção e intensidade. Nos ambientes internos é indicado o uso de anemômetros térmicos.



Figura 28 – Termoanemômetro.

O termoanemômetro da Figura 28 é da marca Testo 445, com sonda de bola quente 0635 1549 e mede a temperatura do ar e velocidade do vento simultaneamente.

- temperatura superficial

A temperatura superficial interna das paredes das residências é medida para que se observe o efeito do sombreamento proporcionado pela planta. Para estas medidas foram utilizados 02 Testo – Testotestor 1751 com sonda superficial 0628 7507, fixada na parede. O equipamento é apresentado na Figura 29.



Figura 29 – Equipamento para medição da temperatura superficial

4.1.3. Primeira fase de medições

A primeira fase de medidas no Conjunto Residencial Cosmos realizou-se no período de 29/10/2003 a 12/11/2003, sendo que, por problemas de instalação de vidros nas janelas de uma das residências, só foram utilizados os dados obtidos a partir do dia 07/11/2003, ficando então com cinco dias para análises.

Para a realização do experimento, os equipamentos foram instalados nas salas das duas residências, localizados na fachada frontal voltada para sudeste. As medições ocorreram simultaneamente.



Figura 30 – Sala da residência 1, vista externa da residência 1.

Os equipamentos foram dispostos em um único tripé, para não atrapalhar o cotidiano das famílias instaladas nas casas (Figura 31), e foram colocados no canto oposto a janela, como Figuras 20 e 21; na parede da janela foram colocados apenas os equipamentos para medidas da temperatura superficial.



Figura 31 – Equipamentos montados na sala da residência.

4.1.4. Segunda fase de medições

Esta segunda fase de medidas no Conjunto Residencial Cosmos realizou-se no período de 03/05/2004 a 24/05/2004.

Essa mudança foi necessária, devido a problemas com as residências utilizadas na primeira fase (uma foi completamente reformada e a outra com um toldo instalado), foi necessário buscar outras casas que satisfizessem as condições definidas para o experimento (Figura 32).



Figura 32 – Residências utilizadas na segunda fase de medidas.

Utilizaram-se duas casas que são da construtora, de mesma cor e orientação noroeste, porém geminadas. Esse fato poderia significar que o experimento não seria conclusivo, pois o que se pretendia é que a única diferença fosse a presença da vegetação.

Para solucionar este problema foram feitas medidas alternadas; nos primeiros dias (03/05/2004 a 12/05/2004) a casa A, da esquina, foi medida com a presença das árvores, simultaneamente à casa B, sem árvores; no período seguinte (13/05/2004 a 24/05/2004) as árvores foram trocadas: casa A da esquina sem árvores e casa B com árvores.

As árvores utilizadas foram os mesmos ipês roxos, mas que com o tempo estavam um pouco maiores. Como a planta das residências era a mesma da primeira fase, os equipamentos foram colocados em tripés da mesma forma e posição que na primeira fase.

4.2. Protótipos

Para complementação das medições, realizadas no Conjunto Residencial Cosmos, realizou-se medidas em dois protótipos que foram construídos no campus da Unicamp (que são usados em diversas pesquisas), com duas novas mudas (Acácias), mudas estas um pouco mais robustas (por este motivo foram

escolhidas para as medições); nesta fase foram recolhidas medidas de temperaturas do ar, temperaturas superficiais internas das paredes e vidros, utilizando-se os equipamentos já existentes no local. As medições ocorreram no período de 22/07/2004 a 05/08/2004 para as mudas sombreando a janela da fachada oeste e de 07/08/2004 a 22/08/2004 para as mudas sombreando a janela da fachada norte, assim as comparações de acordo com a orientação solar também poderão ser observadas.

Os protótipos que foram analisados encontram-se no campus da UNICAMP e apesar de dispormos dos dados gerais para a cidade de Campinas, durante as medições o microclima local foi constantemente avaliado, através do monitoramento das seguintes variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade do ar, direção e velocidade dos ventos predominantes, radiação solar incidente e índice pluviométrico, devido à existência de uma estação meteorológica no local.

4.2.1. Caracterização dos protótipos

Os protótipos foram construídos sobre uma base de radier de concreto desempenado (3,20 x 3,70m), e paredes de tijolos de barro maciço sem revestimento ($\frac{1}{2}$ tijolo / 10,0 cm espessura), assentados com argamassa comum de cimento e pintados na cor branca (interna e externamente). As dimensões externas são 2,20 x 2,70 m e internas 2,00 x 2,50 m, com uma área interna de 5,00 m², e pé direito de 2,40 m.

Estão orientados com as fachadas de 2,70 m ao Norte e ao Sul e as de 2,20 m ao Leste e ao Oeste.

Na face superior há uma laje pré-moldada (cerâmica e concreto), também pintada de branco, com ático ventilado por aberturas em trama de tijolos de barro nos oitões das faces leste/oeste. A cobertura é de telha fibrovegetal, pintada externamente de branco, contando, junto ao caibramento de sustentação, com um filme de alumínio polido (isolante térmico tipo “foil”), reduzindo a influência da superfície mais exposta à radiação solar nos resultados das medições.

As duas aberturas para análise estão voltadas para as faces norte e oeste, com dimensões de 1,20 x 1,00 m, e peitoril de 1,10 m. Quando uma das fachadas está sendo avaliada a outra tem sua abertura vedada por um painel com resistência térmica equivalente à parede de tijolos, estando ambas totalmente seladas para evitar a interferência da ventilação. Para facilitar o manuseio e troca das árvores e painéis equivalentes, optou-se por colocar o vidro numa moldura de madeira sobre batente, com alças e fechos de travamento, ficando o local envidraçado efetivo com as dimensões de 0,86 x 1,06 m, e área de 0,91 m².

Os protótipos estão distanciados de forma que não haja sombreamento das paredes ou sombras de vento, a fim de garantir as mesmas condições de implantação para todos, como na Figura 33.



Figura 33 – Vista dos protótipos com mudas para medições.

4.2.2. Estação meteorológica

No terreno onde estão localizados os protótipos, há uma estação meteorológica para coleta de dados. Esta estação é da marca Campbell Scientific, e é composta por:

- 1 “Data Logger CR 10x Measurement and control system” (com bateria, cabo conector, módulo de memória e teclado);
- 1 sensor de temperatura (-34 a 50°C) e umidade relativa do ar (0 a 90%);

- Para radiação solar: Piranômetro LI200x (400 a 700 nM);
- Para velocidade e direção dos ventos; conjunto 03001 (wind sentry) com anemômetro (velocidade de 0 a 60m/s) e sensor direção do vento;
- Para pluviosidade: TB4 - L pluviômetro (rain gage), o qual não está montado no tripé (possui um apoio próprio);
- 1 painel solar para suprimento de energia da bateria do data-logger CR10x.
- 1 bateria recarregável de 12 V (PS12 LA) – reguladores de voltagem, filtros e proteção contra queda de raios;
- 1 abrigo meteorológico para sensor de temperatura e umidade relativa, não aspirado, RMYoung.

O sistema de aquisição de dados referentes ao desempenho térmico dos protótipos é composto de duas unidades básicas: um datalogger CR10x e um multiplexador AM416, com 32 canais de aquisição de dados, que fazem a coleta automática e o armazenamento dos dados registrados pelo sistema de aquisição, que coleta os dados de temperaturas no interior dos protótipos.

As medições de temperaturas internas são feitas com termopares (baseia-se no efeito termoelétrico) do tipo T (cobre - constantan), 24 awg, ANSI (padrão americano), conectados ao multiplexador AM 416 (multiplexador é um aparelho que tem diversas entradas e uma saída, e efetua um roteamento dos dados de saída conforme a configuração do intervalo de aquisição de dados).

O software utilizado para entrada dos dados no computador (via cabo conector), é o PC 208W Campbell Scientific.

Os registros são feitos pela estação a cada 30 segundos, com totalizações a cada 10 minutos.



Figura 34 – Vista da Estação meteorológica

4.2.3. Medições

Em cada protótipo foram fixados cinco sensores (termopares tipo T), distribuídos da seguinte maneira:

- 1 termopar no centro do protótipo, a uma altura de aproximadamente 1,30m;
- 1 termopar na superfície interna do vidro;
- 1 termopar na superfície externa do vidro;
- 1 termopar na superfície interna da parede que contém o elemento estudado (vidro);
- 1 termopar na superfície externa da parede que contém o vidro.

Deste modo, tem-se dados de temperaturas superficiais da parede e do vidro, bem como a temperatura de bulbo seco do ambiente. utilizadas foram as temperaturas superficiais internas da parede e do vidro na fachada em estudo, além das temperaturas de bulbo seco. A casa A é aquela com as mudas de acácias e a casa C é tomada como referência.

As mudas foram colocadas bem em frente às janelas para que o sombreamento fosse o maior possível, como nas Figuras 35 e 36, uma delas foi

colocada sobre um suporte, como os vidros são removíveis, quando trocou-se as mudas da fachada oeste para a norte, trocou-se também as janelas de lugar.



Figura 35 – Vista da Casa A, com mudas na fachada oeste.



Figura 36 – Vista da Casa A com as mudas na fachada norte.

4.3. Análise dos Resultados

4.3.1. Cosmos: tabelas e gráficos, análise estatística, cálculo do VME.

Na primeira fase de medidas já se pode observar a coerência dos dados obtidos através dos equipamentos que foram utilizados. As diferenças de temperaturas para a casa que possui as mudas de ipê roxo puderam ser observadas.

É importante ressaltar que a atenuação de calor não é tão grande (variando de 0,5 a 1,0 °C), devido provavelmente, ao porte das mudas utilizadas.

Para apresentação dos resultados foram elaborados gráficos tomando-se as médias das horas inteiras para todos os dias, dos períodos de 07/11/2003 a 12/11/2003, para ambas residências e comparados os resultados nas diferentes situações.

Observou-se que os resultados da casa A, sem as árvores, estão quase sempre ligeiramente mais elevadas que as da casa B, com as árvores. A seguir seguem os gráficos desta primeira fase:

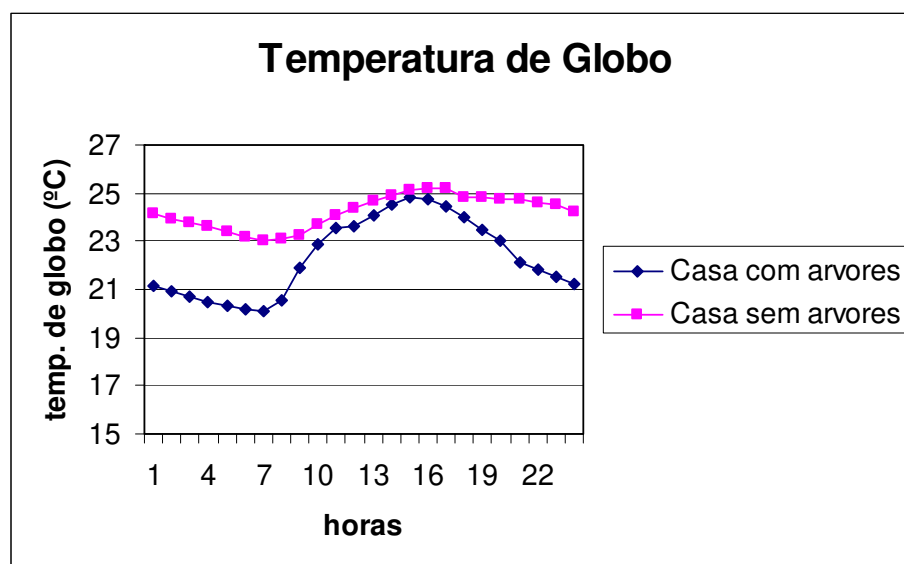


Figura 37 – Gráfico de temperatura de globo para a 1ª fase de medições.

Neste gráfico observa-se a diferença entre as duas medidas nos dois casos, estando a residência sombreada com temperaturas sempre mais baixas.

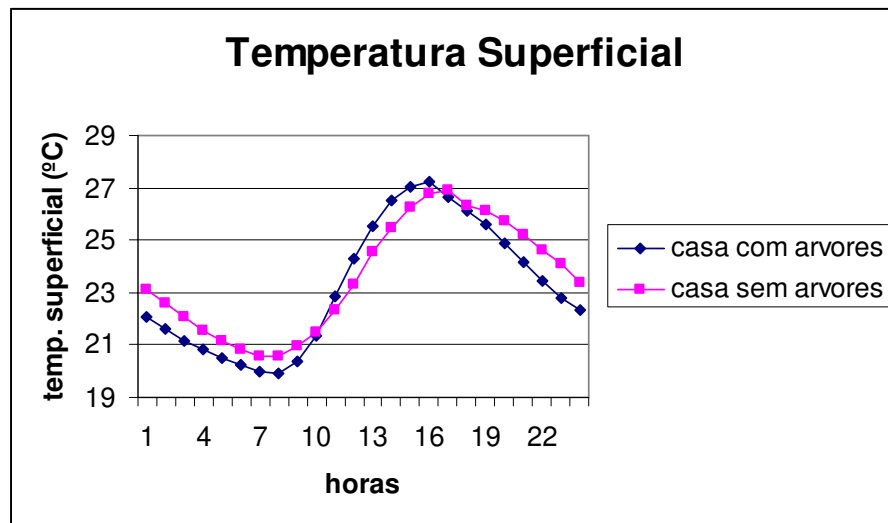


Figura 38 – Gráfico de temperatura superficial da parede interna para a 1ª fase de medições.

Observa-se uma inversão das linhas no período entre aproximadamente 11:00 as 15:00 horas, supõem-se que esta tenha ocorrido devido a orientação solar associada a pouca robustez das copas das mudas, causando uma insolação direta na parede neste período.

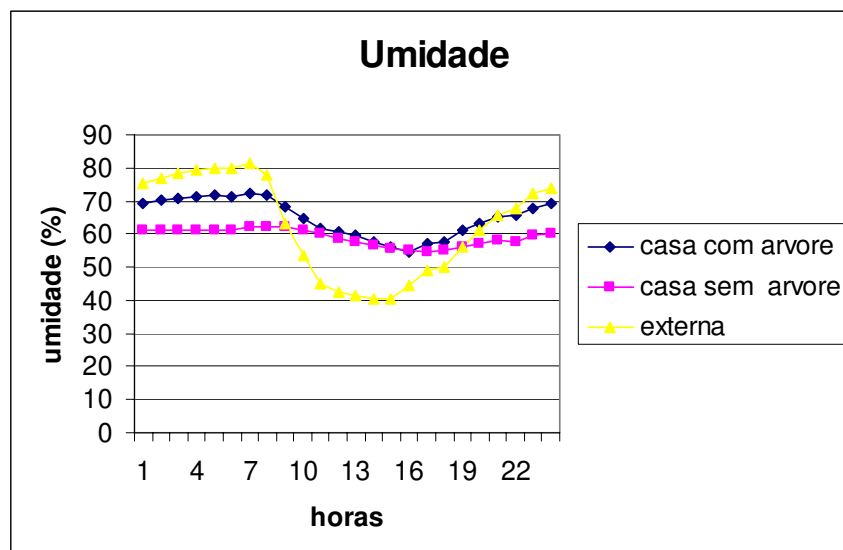


Figura 39 – Gráfico de umidade relativa para a 1ª fase de medições.

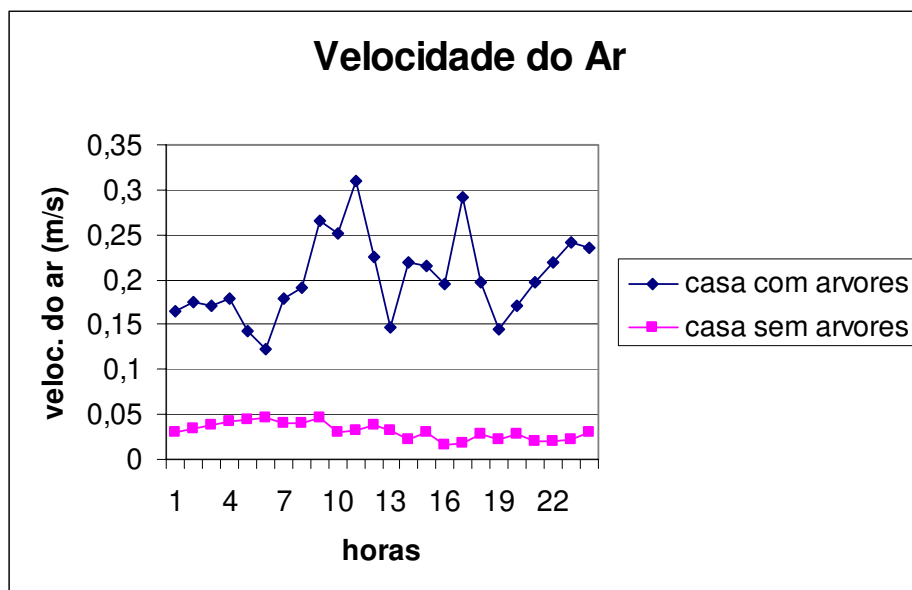


Figura 40 – Gráfico de velocidade do ar para a 1ª fase de medições.

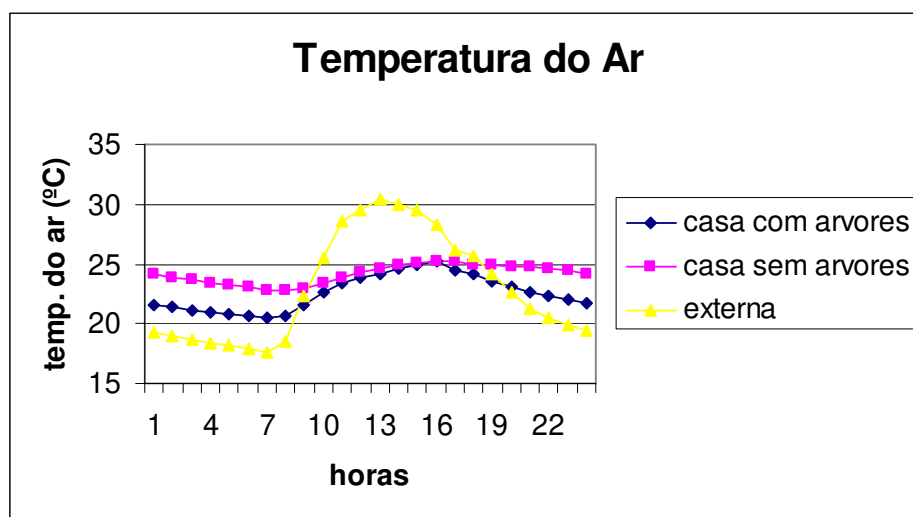


Figura 41 – Gráfico de temperatura do ar para a 1ª fase de medidas.

Para a temperatura do ar, nota-se que a casa com árvores manteve-se sempre abaixo da casa sem árvores. A tabela 04 a seguir auxilia a visualização destas diferenças.

Tabela 04 – Dados para execução a elaboração do gráfico de temperatura do ar (outubro 2003)

Horas	casa c/ arvores	casa s/ arvores	externa
1	21,6	24,0	19,2
2	21,3	23,8	18,9
3	21,1	23,6	18,6
4	20,9	23,4	18,3
5	20,7	23,2	18,1
6	20,6	23,0	17,9
7	20,4	22,8	17,6
8	20,5	22,8	18,5
9	21,5	23,0	22,3
10	22,5	23,3	25,5
11	23,4	23,8	28,6
12	23,8	24,2	29,4
13	24,1	24,6	30,4
14	24,6	24,8	29,9
15	24,9	25,0	29,4
16	25,2	25,2	28,3
17	24,4	25,2	26,1
18	24,2	24,8	25,7
19	23,6	24,8	24,1
20	23,1	24,8	22,6
21	22,6	24,7	21,2
22	22,3	24,6	20,5
23	22,0	24,4	19,9
24	21,7	24,2	19,4

As medições seguiram a tendência esperada, a única que mostrou resultados aparentemente diferentes foi a temperatura superficial, com leves tendências, em alguns horários, de temperaturas maiores para a casa A, provavelmente devido à copa pouco robusta das mudas. Na tabela 06 temos os dados que deram origem ao gráfico de temperatura do ar para melhor visualização das diferenças de temperatura, que chega a quase 3 graus.

Já os resultados para a segunda fase foram ainda melhores, conforme apresentado a seguir: com diferenças de temperatura maiores em relação às duas casas (variando de 1 a 2,5°C aproximadamente).

Neste caso os gráficos foram elaborados tomando-se as médias das horas inteiras para todos os dias, para ambas as situações, onde as medidas das casas com árvores estão sempre abaixo das sem árvores, como abaixo:

Gráficos dos dias 03/05/2004 a 12/05/2004

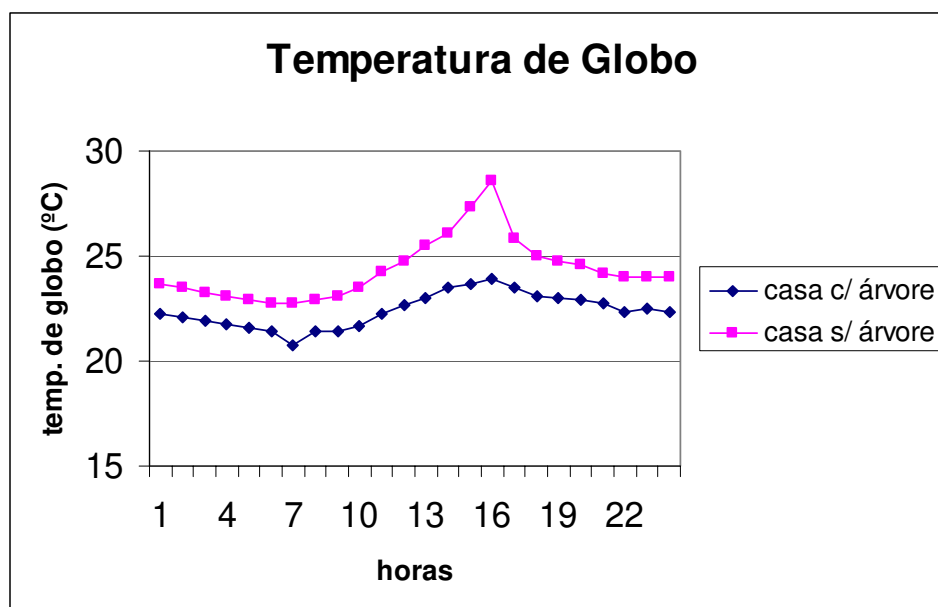


Figura 42 – Temperatura de globo para a 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).

Para as medidas de temperatura de globo realizadas de 3 a 12 de maio de 2004 no Residencial Cosmos, a residência com árvores manteve as temperaturas mais amenas.

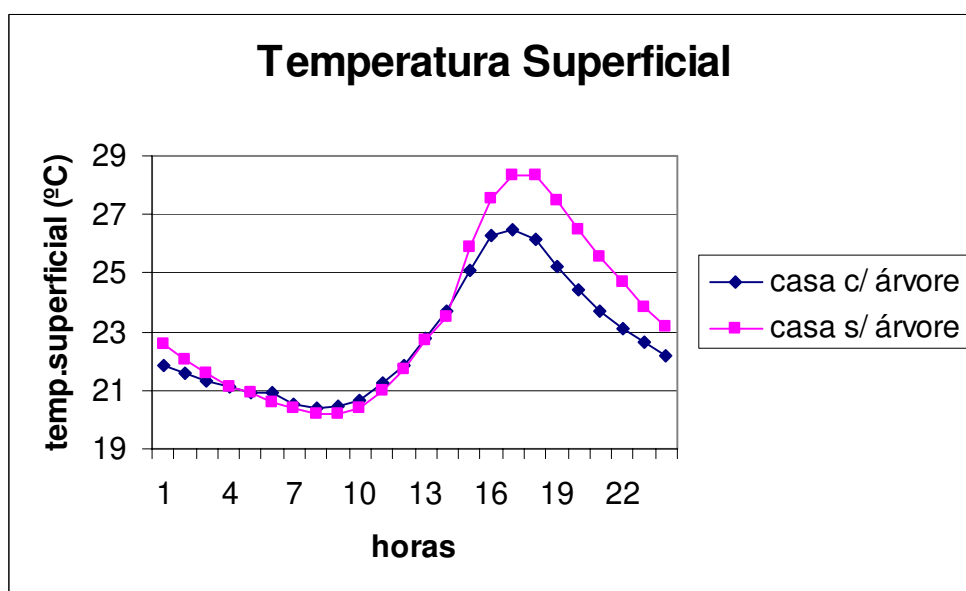


Figura 43 – Temperatura superficial da parede interna para a 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).

Para a temperatura superficial a casa com árvore continuou mantendo as temperaturas mais baixas.

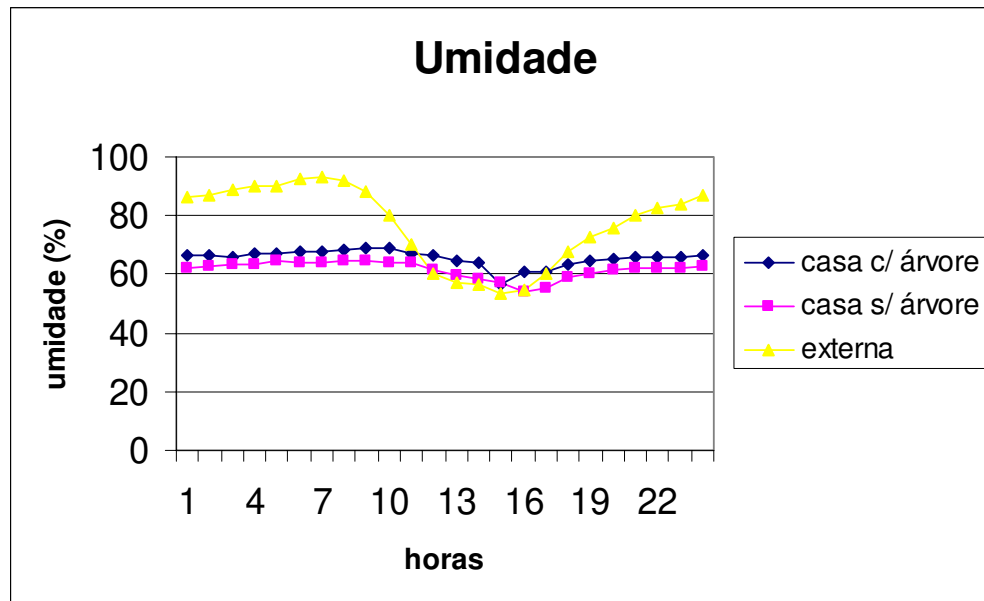


Figura 44 – Umidade relativa para a 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).

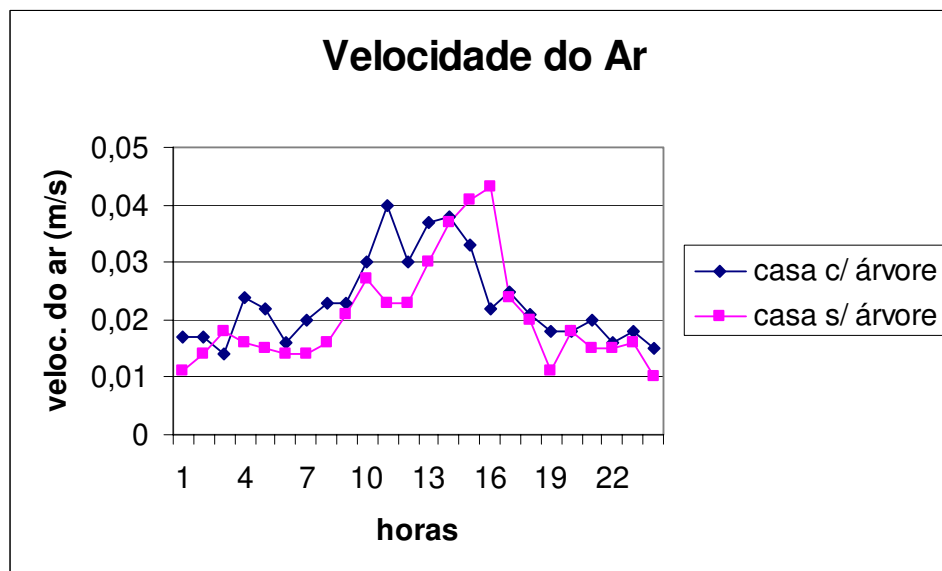


Figura 45 – Velocidade do ar para a 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).

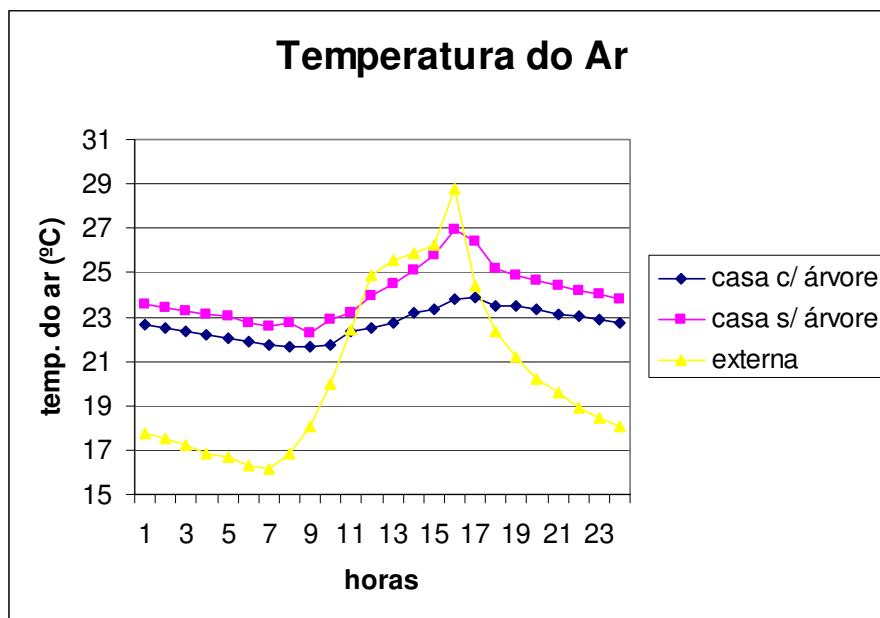


Figura 46 – Temperatura do ar para a 2ª fase de medições (3 a 12 de maio).

Diferenças de aproximadamente 1 a 1,5°C podem ser notadas para a temperatura do ar neste período, observando-se detalhes na tabela 04:

Tabela 05 – Dados para execução elaboração do gráfico de temperatura do ar (3 a 12 de maio de 2004)

horas	casa c/ árvore	casa s/ árvore	externa
1	22,6	23,6	17,7
2	22,4	23,4	17,4
3	22,3	23,2	17,2
4	22,2	23,0	16,8
5	22,0	23,0	16,7
6	21,8	22,7	16,3
7	21,7	22,6	16,1
8	21,6	22,7	16,8
9	21,6	20,2	18,0
10	21,7	22,8	19,9
11	22,3	23,2	22,4
12	22,5	23,9	24,8
13	22,7	24,5	25,5
14	23,1	25,1	25,8
15	23,3	25,7	26,2
16	23,7	26,9	28,7
17	23,8	26,4	24,3
18	23,4	25,2	22,3
19	23,4	24,9	21,2

20	23,3	24,6	20,2
21	23,1	24,4	19,5
22	23,0	24,2	18,8
23	22,9	24,0	18,4
24	22,7	23,8	18,0

Gráficos dos dias 13/05/2004 a 24/05/2004

Para as figuras que veremos a seguir, com medidas realizadas de 13 a 24 de maio de 2004, verifica-se que todas as diferenças de temperatura mantiveram-se mais baixas para a residência sombreada.

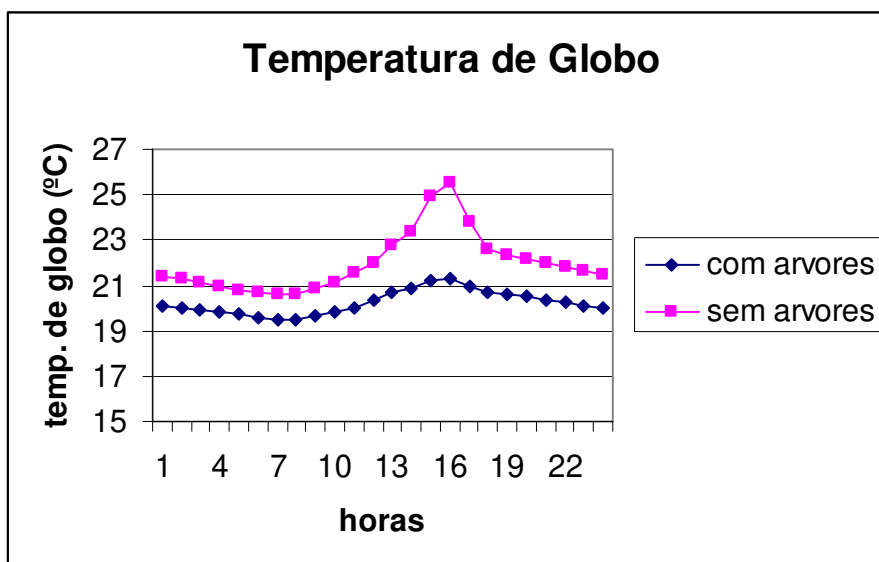


Figura 47 – Temperatura de globo para a 2ª fase de medições (13 a 24 de maio).

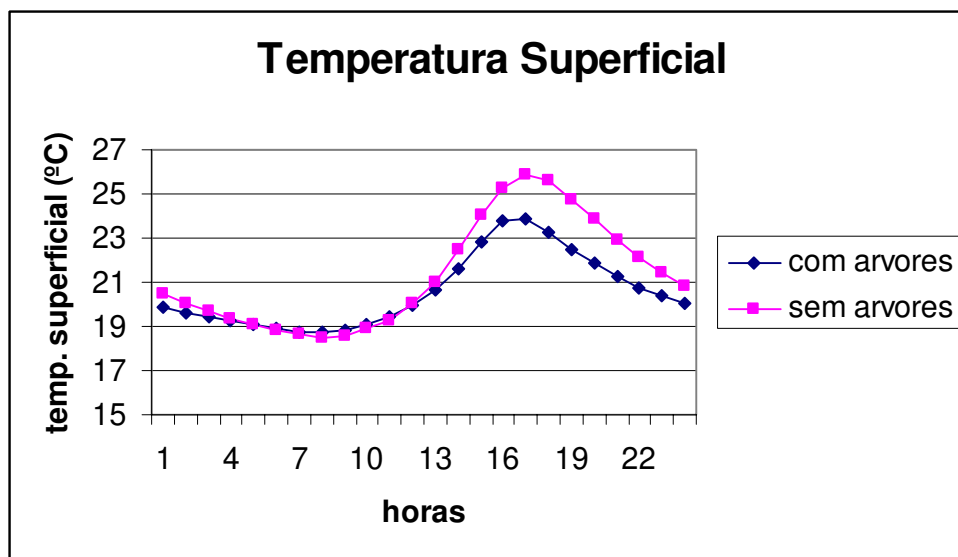


Figura 48 – Temperatura superficial para a 2ª fase de medições (13 a 24 de maio).

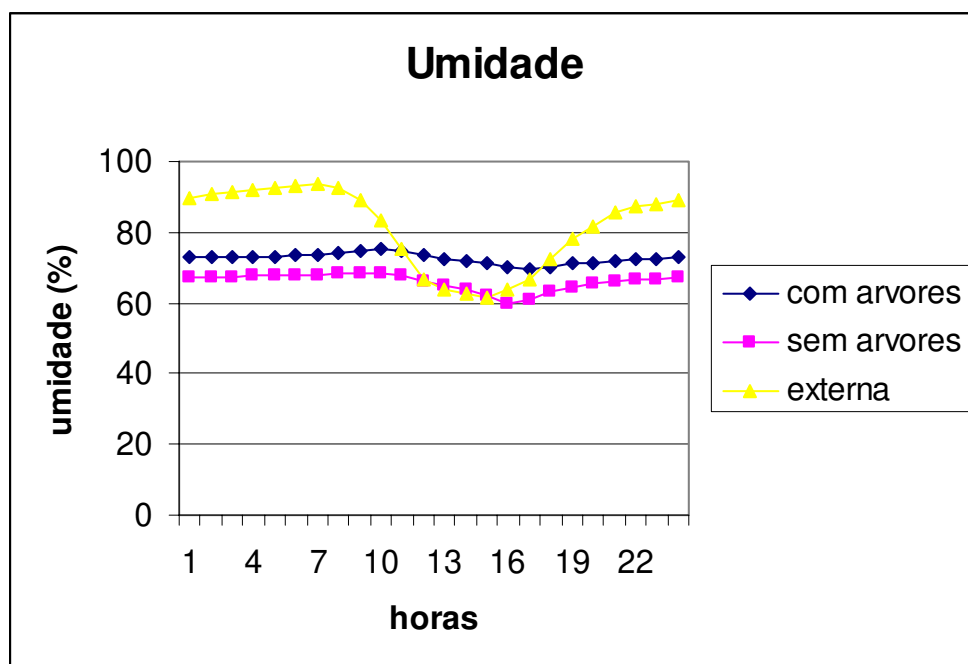


Figura 49 – Umidade relativa para 2ª fase de medições (13 a 24 de maio).

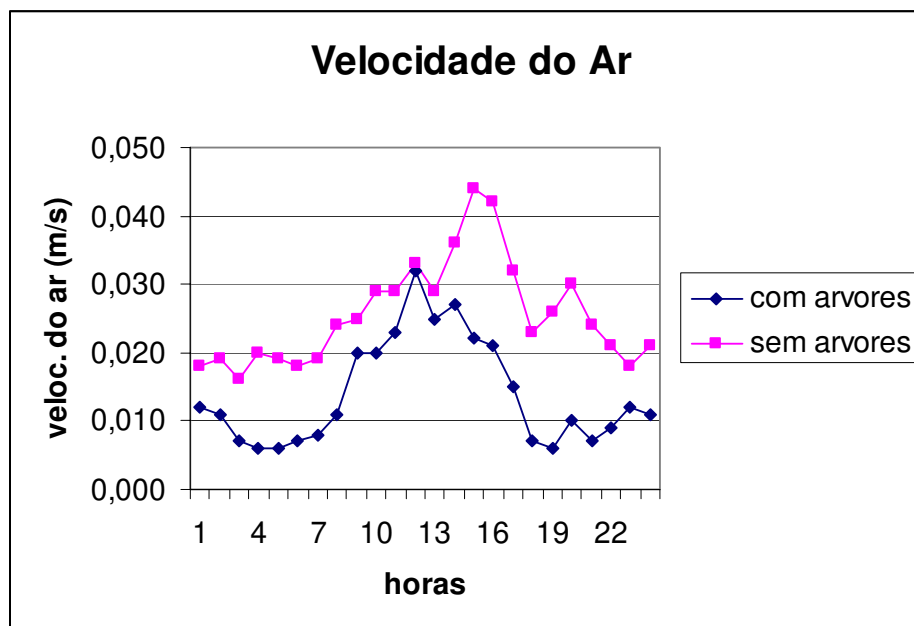


Figura 50 – Velocidade do ar para 2ª fase de medições (13 a 24 de maio).

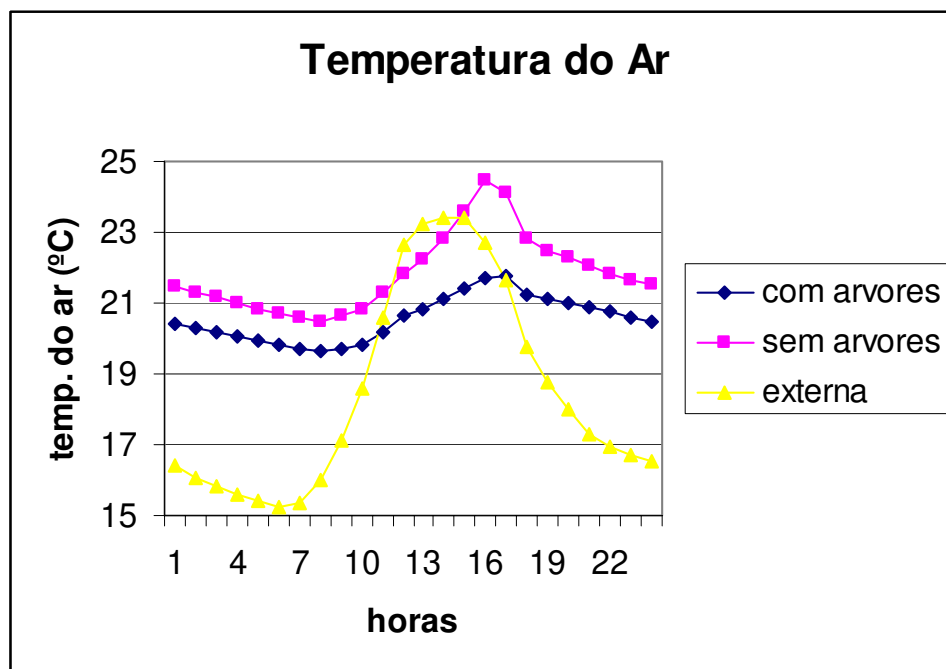


Figura 51 – Temperatura do ar para 2ª fase de medições (13 a 24 de maio).

Tabela 06 – Dados para elaboração do gráfico de temperatura do ar (13 a 24 de maio de 2004)

horas	casa c/ arvores	casa s/ arvores	externa
1	20,43	21,46	16,4
2	20,3	21,3	16,05
3	20,17	21,15	15,81
4	20,05	20,99	15,59
5	19,94	20,85	15,42
6	19,81	20,69	15,25
7	19,71	20,57	15,34
8	19,66	20,49	16,02
9	19,69	20,65	17,11
10	19,82	20,83	18,59
11	20,17	21,32	20,61
12	20,63	21,8	22,62
13	20,82	22,26	23,25
14	21,11	22,8	23,4
15	21,42	23,6	23,43
16	21,68	24,45	22,7
17	21,79	24,09	21,66
18	21,25	22,85	19,79
19	21,13	22,49	18,78
20	21,01	22,27	17,98
21	20,88	22,05	17,32
22	20,74	21,83	16,93
23	20,6	21,67	16,69
24	20,47	21,53	16,53

- **Análise estatística**

Neste estudo o interesse principal era a constatação da viabilidade do experimento e da comparação simultânea das casas utilizadas na segunda fase de medições, nos dois períodos, no Conjunto Residencial Cosmos (03 a 24 de maio de 2004). Foi realizada a avaliação das temperaturas e umidades internas da casa A (com e sem árvore, para os dois períodos medidos) e da casa B (com e sem árvore, para os dois períodos medidos) levando-se em conta a possível influência da temperatura, umidade relativa externa e arborização durante o período de coleta.

Foi realizado, pois, a Análise de Variância com o incremento de duas (2) covariáveis – Temperatura e Umidade relativa externa. Nesta análise se possibilita

verificar as diferenças médias de temperatura e umidade internas das casas discriminando-se os possíveis efeitos da temperatura e umidade externas, durante o período de coleta. Ou seja, verifica-se, assim, se as 4 diferentes condições - casa A com árvore (a_c), casa B sem árvore (b_s), casa A sem árvore (a_s) e casa B com árvore (b_c) – influenciam a umidade e temperatura interna, considerando-se, de ante mão, o possível efeito da temperatura e umidade externa.

O programa usado para a realização desta avaliação foi o “mini tab”, com análises através da correlação Pearson e do teste de Tukey, para a significância de 5%, em anexo segue a avaliação estatística detalhada.

Concluiu-se que a influência da arborização, assim como, da temperatura e umidade externas são muito significativas nas diferenças de temperatura encontradas para as casas A e B, e que as casas podem ser comparadas mesmo para medições em dias diferentes. Seguem as figuras 52 e 53 com esta comparação:

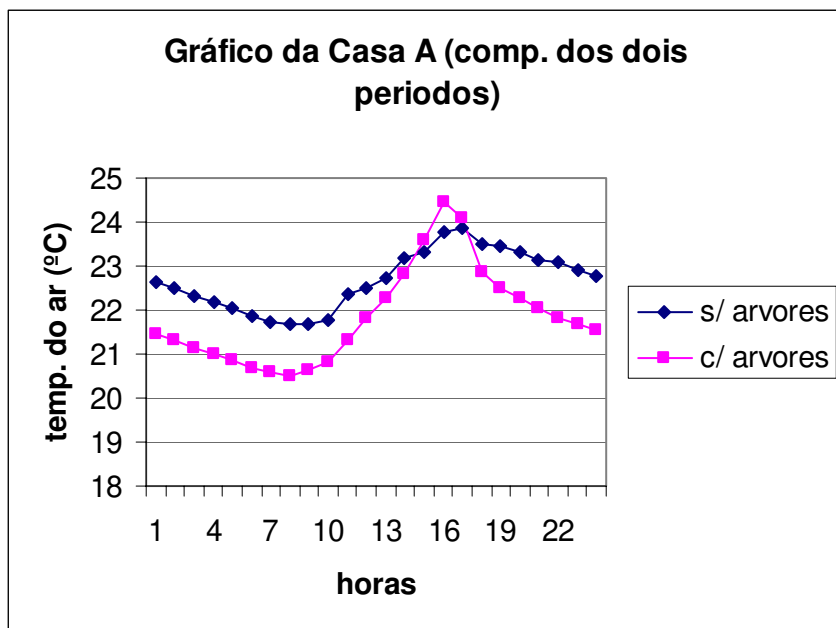


Figura 52 – Temperatura do ar, comparação da casa A nos dois períodos de medições.

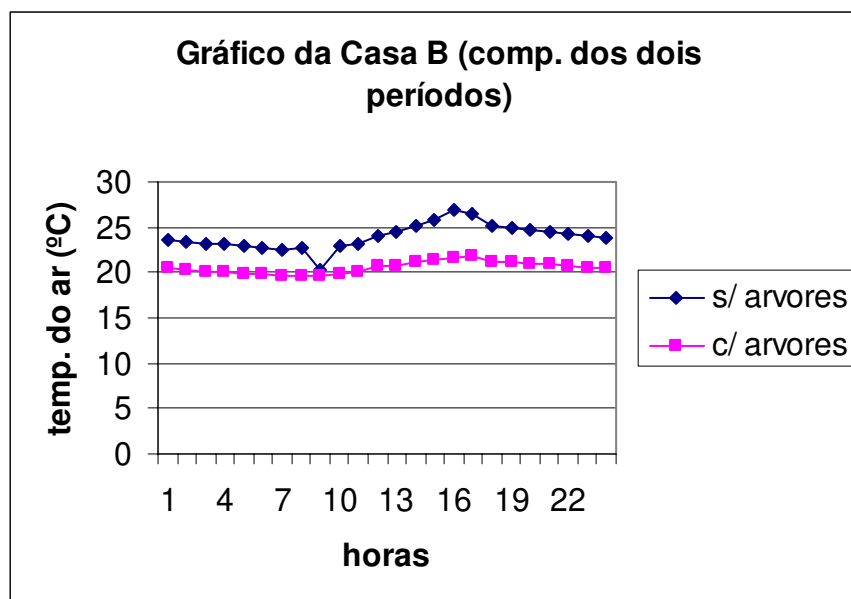


Figura 53 – Temperatura do ar, comparação da casa B nos dois períodos de medições.

- **Avaliação de conforto térmico**

Foram feitas também, tabelas de avaliação de conforto térmico para todos os períodos de medição no Conjunto Residencial Cosmos. Sua realização foi através do programa computacional Conforto 2.02 criado por Ruas (2002), onde pode-se obter a porcentagem estimada de insatisfeitos.

Em todos os períodos foram feitas simulações para as 8, 12, 15, 18 e 21 horas, no dia mais quente e no dia mais frio para a residência com árvore (casa 1) e sem árvore (casa 2). Estipulou-se que os indivíduos estariam sentados e em repouso, já que as medidas foram tomadas nas salas, com televisão; além disso, considerou-se que estariam com roupas mais leves em períodos mais quentes e um pouco mais pesadas para os dias mais frios.

As simulações foram realizadas para o período de outubro de 2003 e maio de 2004, sendo que esta última foi dividida em duas partes (03 a 12 de maio e 13 a 24 de maio), devido à mudança de fachada das árvores, como explicado anteriormente.

Observou-se que em todos os casos a porcentagem de insatisfeitos é muito grande, mesmo que a casa com árvore apresente uma porcentagem menor, principalmente em dias mais quentes, não melhora a situação inadequada em

relação ao conforto térmico para a permanência dos moradores. Além disso, observou-se que em alguns casos para dias mais frios, a porcentagem de insatisfeitos aumente, isto pode ocorrer pelo fato das vestimentas utilizadas nas medições ou ainda pelo estado de repouso do indivíduo. A seguir temos as tabelas de avaliação de conforto:

Tabela 07 – Porcentagem estimada de insatisfeitos para outubro de 2003.

CONJUNTO RESIDENCIAL COSMOS – OUTUBRO 2003

Ponto: DIA QUENTE CASA A (c/ árvore)	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	25,2 °C	26,8 °C	28 °C	28,6 °C	28,8 °C
Temperatura radiante média(°C):	25,2 °C	26,8 °C	27,7 °C	28,3 °C	28,4 °C
Velocidade relativa do ar:	0,04 m/s	0,03 m/s	0,03 m/s	0,04 m/s	0,02 m/s
Umidade relativa:	57,20%	52,60%	50,60%	47%	54,10%
Taxa de metabolismo:	1,0 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimentas:	0,37 clo	0,37 clo	0,37 clo	0,37 clo	0,37 clo
Voto Médio Estimado:	-0,55	0,1	0,53	0,75	0,88
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	11%	5%	10%	16%	21%

Ponto: DIA FRIO CASA A	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	18,9 °C	21,6 °C	22,2 °C	22,7 °C	22,5 °C
Temperatura radiante média(°C):	20,8 °C	21,9 °C	22,5 °C	22,7 °C	22,6 °C
Velocidade relativa do ar:	0,05 m/s	0,06 m/s	0,05 m/s	0,02 m/s	0,03 m/s
Umidade relativa:	58,60%	53,50%	49,10%	48,90%	54,50%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimentas:	0,47 clo	0,47 cl	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo
Voto Médio Estimado:	-2,48	-1,7	-1,49	-1,35	-1,37
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	93%	61%	50%	42%	43%

Ponto: DIA QUENTE CASA B (s/ árvore)	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	23,5 °C	26,8 °C	28 °C	28,6 °C	28,9 °C
Temperatura radiante média(°C):	23,4 °C	26,7 °C	31,1 °C	27,8 °C	26,9 °C
Velocidade relativa do ar:	0,03 m/s	0,03 m/s	0,01 m/s	0,04 m/s	0 m/s
Umidade relativa:	62,30%	52,60%	50,60%	47%	54,10%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimentas:	0,37 clo	0,37 clo	0,37 clo	0,37 clo	0,37 clo
Voto Médio Estimado:	-1,27	0,08	1,21	0,65	0,61
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	38%	5%	35%	13%	12%

Ponto: DIA FRIO CASA B	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	16,5 °C	21,7 °C	23,5 °C	23,3 °C	19,5 °C
Temperatura radiante média(°C):	17,1 °C	21,5 °C	22,6 °C	21,5 °C	18,6 °C
Velocidade relativa do ar:	0,26 m/s	0,34 m/s	0,31 m/s	0,46 m/s	0,3 m/s
Umidade relativa:	70,70%	52,20%	40,90%	44,30%	63,70%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimentas:	1,18 clo	0,63 clo	0,63 clo	0,63 clo	0,63 clo
Voto Médio Estimado:	-1,62	-1,93	-1,35	-1,73	-2,71
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	57%	73%	42%	63%	96%

Tabela 08 – Porcentagem estimada de insatisfeitos para 3 a 12 de maio de 2004.

CONJUNTO RESIDENCIAL COSMOS - 03 A 12 DE MAIO DE 2004

Ponto: DIA QUENTE CASA A (c/ árvore)	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	25,4 °C	25,9 °C	29 °C	28,3 °C	27,4 °C
Temperatura radiante média(°C):	25,7 °C	26,2 °C	30,2 °C	27,9 °C	27,4 °C
Velocidade relativa do ar:	0,01 m/s	0,01 m/s	0,04 m/s	0,01 m/s	0,02 m/s
Umidade relativa:	60,40%	54,40%	47,20%	48,90%	53,10%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimenta:	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo
Voto Médio Estimado:	-0,13	0,02	1,34	0,79	0,55
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	5%	5%	42%	18%	11%

Ponto: DIA FRIO CASA A	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	20,7 °C	22 °C	25,3 °C	25,6 °C	24 °C
Temperatura radiante média(°C):	21,5 °C	24,8 °C	38,3 °C	24,0 °C	23,5 °C
Velocidade relativa do ar:	0,02 m/s	0,02 m/s	0,05 m/s	0,06 m/s	0,03 m/s
Umidade relativa:	63,90%	62,50%	55,40%	53,60%	59%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimentas:	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo
Voto Médio Estimado:	-1,91	-1,05	2,13	-0,44	-0,84
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	72%	28%	82%	9%	19%

Ponto: DIA QUENTE CASA B (s/ árvore)	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	24,1 °C	20 °C	26,7 °C	26 °C	25,8 °C
Temperatura radiante média(°C):	23,8 °C	19,6 °C	26,2 °C	25,3 °C	25,1 °C
Velocidade relativa do ar:	0,02 m/s	0,04 m/s	0,02 m/s	0,02 m/s	0,01 m/s
Umidade relativa:	66%	69,60%	51,20%	54,20%	57,10%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimentas:	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo
Voto Médio Estimado:	-0,71	-2,35	0,16	-0,12	-0,18
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	15%	89%	5%	5%	5%

Ponto: DIA FRIO CASA B	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	20 °C	20,5 °C	21,8 °C	22,5 °C	22,1 °C
Temperatura radiante média(°C):	19,6 °C	20,9 °C	22,9 °C	21,8 °C	21,4 °C
Velocidade relativa do ar:	0,04 m/s	0,03 m/s	0,03 m/s	0,03 m/s	0,03 m/s
Umidade relativa:	69,60%	70,30%	63,90%	59,50%	64,20%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimentas:	0,63 clo	0,63 clo	0,63 clo	0,63 clo	0,63 clo
Voto Médio Estimado:	-1,75	-1,45	-0,92	-0,98	-1,08
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	64%	48%	22%	25%	29%

Tabela 09 – Porcentagem estimada de insatisfeitos para 13 a 24 de maio de 2003.

CONJUNTO RESIDENCIAL COSMOS - 13 A 24 DE MAIO DE 2004

Ponto: DIA QUENTE CASA A (c/ árvore)	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	22,6 °C	22,7 °C	23 °C	23 °C	22,5 °C
Temperatura radiante média(°C):	23,1 °C	23,1 °C	23,4 °C	23,0 °C	22,6 °C
Velocidade relativa do ar:	0,02 m/s	0,01 m/s	0,04 m/s	0 m/s	0,01 m/s
Umidade relativa:	65,50%	65,40%	67,10%	66,10%	68,30%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimenta:	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo
Voto Médio Estimado:	-1,18	-1,16	-1,03	-1,1	-1,27
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	34%	33%	27%	30%	38%

Ponto: DIA FRIO CASA A	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	17,8 °C	20 °C	23,3 °C	23,3 °C	22 °C
Temperatura radiante média(°C):	18,6 °C	20,8 °C	27,4 °C	22,8 °C	22,0 °C
Velocidade relativa do ar:	0,02 m/s	0,03 m/s	0,06 m/s	0,01 m/s	0,02 m/s
Umidade relativa:	52,20%	59%	51,60%	48,40%	55,90%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimenta:	0,63 clo	0,63 clo	0,63 clo	0,47 clo	0,47 clo
Voto Médio Estimado:	-2,45	-1,64	-0,02	-1,2	-1,57
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	92%	58%	5%	35%	54%

Ponto: DIA QUENTE CASA B (s/ árvore)	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	21,4 °C	21,5 °C	21,8 °C	21,9 °C	21,6 °C
Temperatura radiante média(°C):	21,0 °C	21,2 °C	21,4 °C	21,2 °C	21,1 °C
Velocidade relativa do ar:	0,01 m/s	0,02 m/s	0,02 m/s	0,01 m/s	0 m/s
Umidade relativa:	72,80%	71,70%	76,80%	74,50%	75,50%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimenta:	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo	0,47 clo
Voto Médio Estimado:	-1,77	-1,72	-1,58	-1,6	-1,68
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	65%	62%	55%	56%	60%

Ponto: DIA FRIO CASA B	8H	12H	15H	18H	21H
Temperatura ambiente:	17,6 °C	18,3 °C	20,2 °C	20,5 °C	20 °C
Temperatura radiante média(°C):	17,2 °C	18,3 °C	20,2 °C	19,8 °C	19,5 °C
Velocidade relativa do ar:	0 m/s	0,03 m/s	0,03 m/s	0 m/s	0,01 m/s
Umidade relativa:	63,50%	65,20%	60,60%	59,80%	61,10%
Taxa de metabolismo:	1 met	1 met	1 met	1 met	1 met
Isolamento térmico das vestimenta:	0,63 clo	0,63 clo	0,63 clo	0,63 clo	0,63 clo
Voto Médio Estimado:	-2,63	-2,32	-1,67	-1,68	-1,81
Porcentagem Estimada Insatisfeitos:	95%	88%	60%	60%	67%

4.3.2. Protótipos: tabelas e gráficos.

Nesta fase de medidas, pode-se observar a coerência dos dados obtidos em relação aos conseguidos anteriormente. As diferenças de temperaturas para a casa que possui as mudas de acácia, foram similares aos resultados no Conjunto Residencial Cosmos diferenças bem significativas para as duas orientações.

Os gráficos foram elaborados tomando-se as médias dos dados de cada dia por horário inteiro para todos os dias.

Comparando-se os gráficos observou-se que as medidas da casa C, sem as árvores, estão sempre ligeiramente mais elevadas que as da casa A, com as árvores, para as duas situações de orientação, oeste e norte. (os protótipos já possuem nomeação previa, por isso utilizaremos A e C, neste caso).

Gráficos dos dias 22/07/2004 a 05/08/2004 (fachada oeste)

Os gráficos realizados através dos dados coletados das medições nos protótipos para a fachada oeste tiveram uma variação brusca durante o dia, provavelmente devido a proximidade da copa das mudas às áreas envidraçadas causando bom sombreamento.

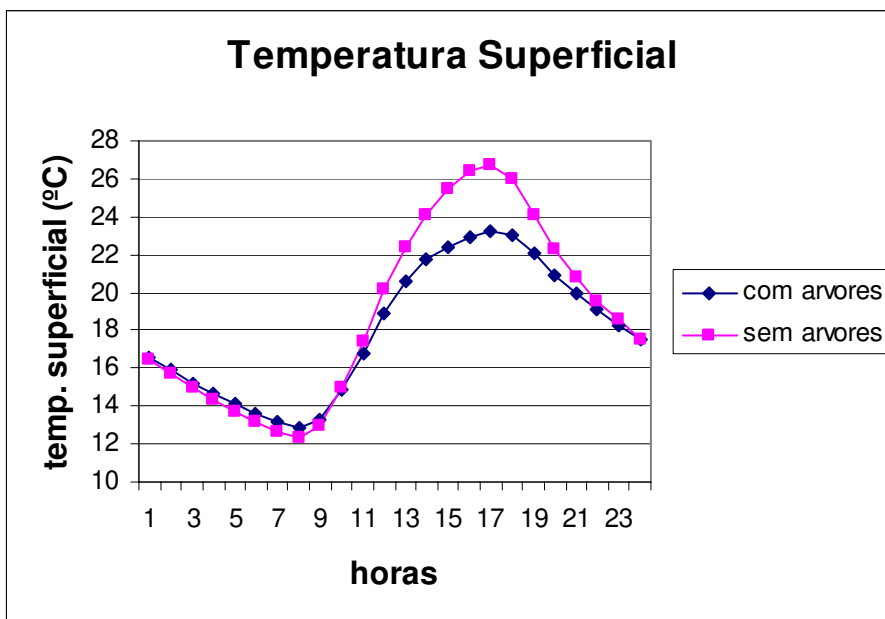


Figura 54– Gráfico de temperatura superficial da parede para a fachada oeste.

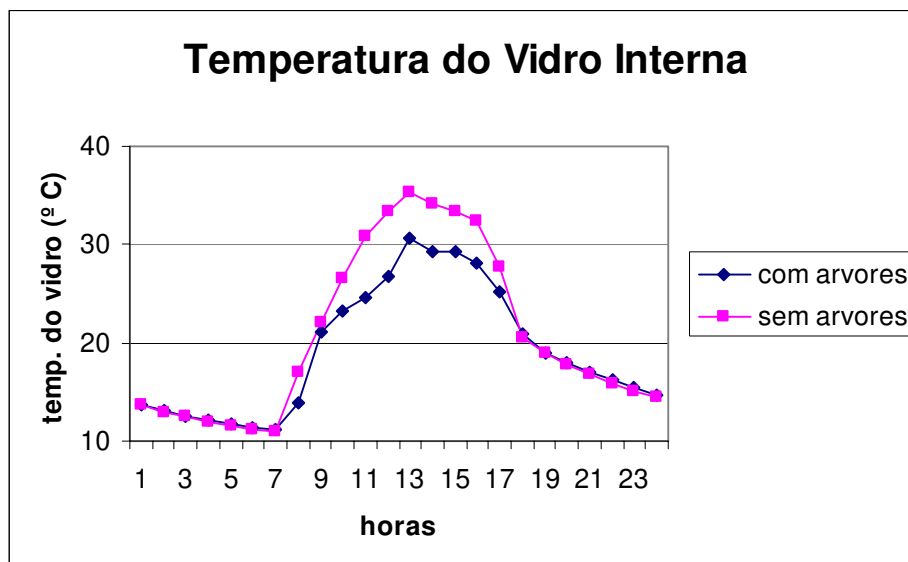


Figura 55 – Gráfico de temperatura superficial interna do vidro para a fachada oeste.

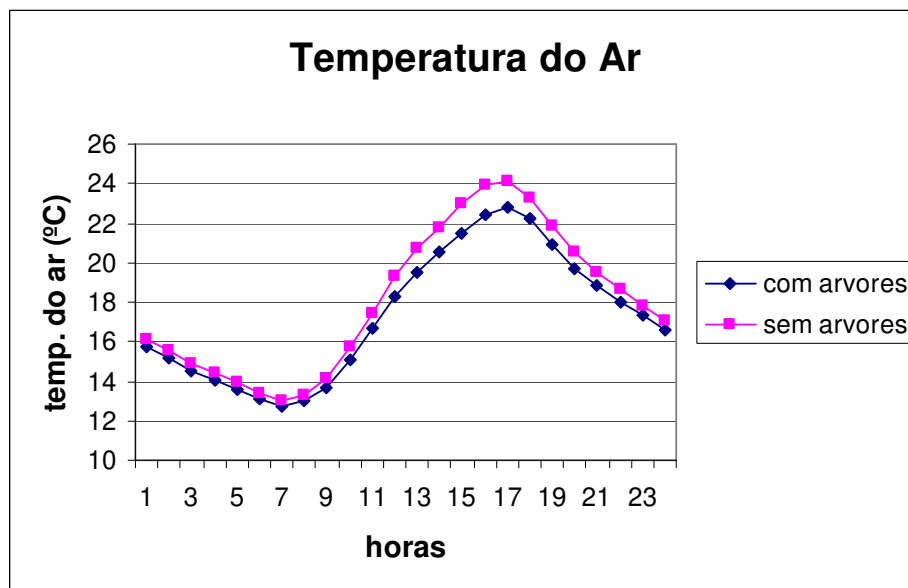


Figura 56– Gráfico de temperatura do ar para a fachada oeste.

Tabela 10 - Dados para elaboração do gráfico de temperatura do ar (fachada oeste)

horas	casa c/ arvores	casa s/ arvores
1	15,7	16,1
2	15,1	15,5
3	14,5	14,8
4	14,0	14,3
5	13,5	13,9
6	13,1	13,3
7	12,7	12,9
8	13,0	13,2
9	13,6	14,1
10	15,0	15,7
11	16,6	17,4
12	18,2	19,3
13	19,5	20,7
14	20,5	21,7
15	21,5	22,9
16	22,4	23,9
17	22,8	24,1
18	22,2	23,2
19	20,9	21,8
20	19,7	20,5
21	18,8	19,5
22	17,9	18,6
23	17,3	17,8
24	16,5	17,0

Gráficos dos dias 07/08/2004 a 22/08/2004 (fachada norte)

Mesmo sendo menos significativa, devido à orientação solar, os gráficos realizados para a fachada norte também mostraram diferenças significativas em relação ao sombreamento.

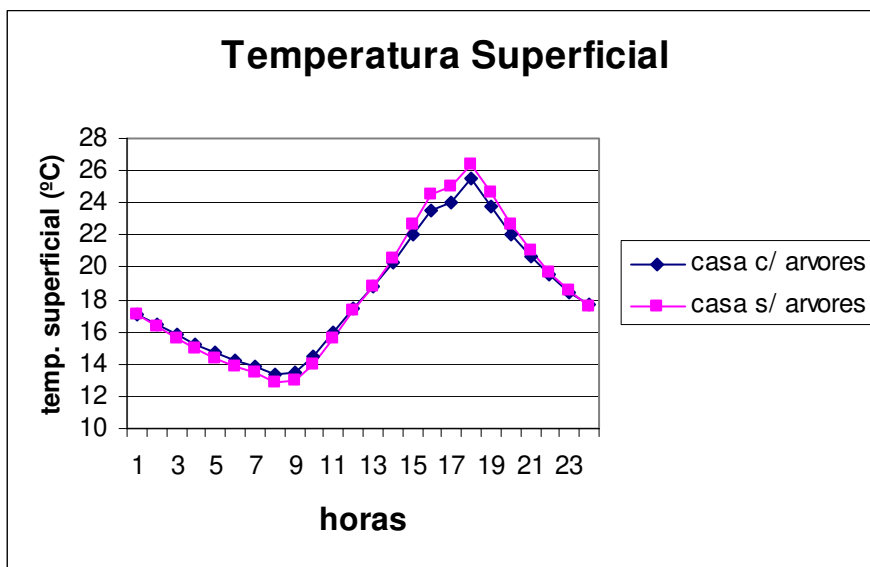


Figura 57 – Gráfico de temperatura superficial da parede para a fachada norte.

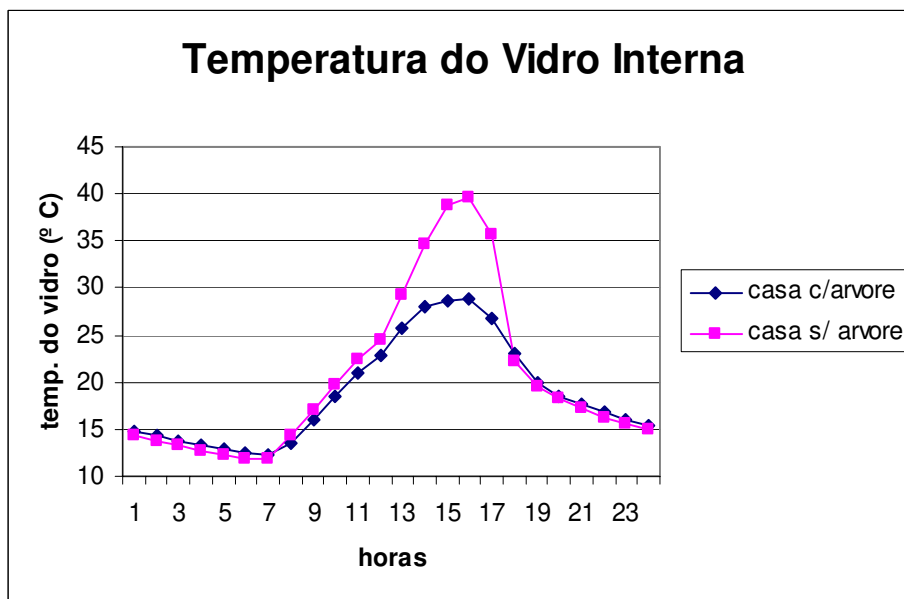


Figura 58 – Gráfico de temperatura interna do vidro para a fachada norte.

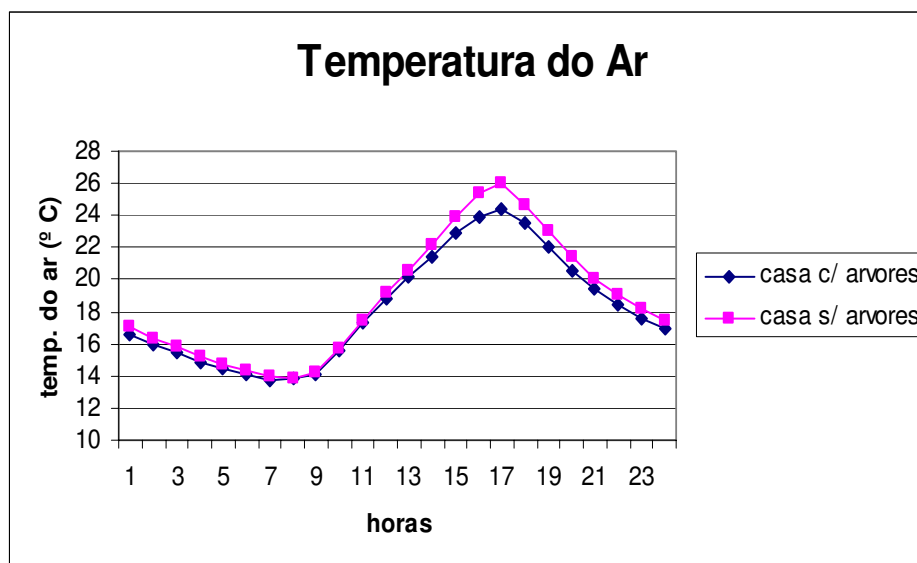


Figura 59 – Gráfico de temperatura do ar para a fachada norte.

Tabela 11 - Dados para elaboração do gráfico de temperatura do ar (fachada norte)

horas	casa c/ arvores	casa s/ arvores
1	16,5	17,0
2	15,9	16,3
3	15,4	15,8
4	14,9	15,2
5	14,4	14,7
6	14,1	14,3
7	13,7	14,0
8	13,8	13,8
9	14,1	14,2
10	15,5	15,6
11	17,2	17,4
12	18,8	19,2
13	20,1	20,5
14	21,4	22,1
15	22,9	23,9
16	23,9	25,4
17	24,3	25,9
18	23,4	24,6
19	22,0	22,9
20	20,5	21,3
21	19,4	20,1
22	18,4	19,0
23	17,6	18,1
24	16,9	17,4

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, espera-se que se consiga caracterizar espécies vegetais de acordo com sua capacidade de atenuar calor dentro de uma edificação, quantificando estes valores, uma vez que a capacidade de manusear a aproximação do elemento vegetal para o estabelecimento de um microclima possa amenizar as condições térmicas de um ambiente construído, contribuindo então, para as futuras concepções arquitetônicas.

Esta claro que raramente encontramos uma espécie vegetal que se enquadre em todos os critérios desejados para a concepção de um projeto arquitetônico (estética, resistência, exigência de manutenção e principalmente, neste caso, adequação para controle solar), portanto o arquiteto deverá avaliar aqueles fatores que julgar mais importante.

6. CONCLUSÃO

A partir dos dados coletados tem-se a indicação que a arborização contribui de forma significativa para a melhoria do conforto térmico dos ambientes internos.

Há uma atenuação do calor mesmo com indivíduos arbóreos jovens. A atenuação é mais significativa em fachadas orientadas para oeste.

Na avaliação do conforto térmico, a vegetação contribuiu para melhoria quando se refere ao calor, porém o desconforto devido ao frio foi mais acentuado.

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se citar medições com outras espécies arbóreas, bem como a análise da densidade da copa da árvore e sua distância da fachada.

7. 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.

AFONSO, Sonia. **Landscape and environment in architecture and urban design.** In: 18^o International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis. 2001.

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fulvio; KANACIRO, Cristina. **Tratamento Estatístico de Dados Climáticos para a Definição de Períodos de Verão e Inverno.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, s.a.

ASSIS, Eleonora Sad de; FROTA, Anésia Barros. **Urban bioclimatic design strategies for a tropical city.** Atmospheric Environment, 1999.

AXARLI, Kleo; EMORFOPOULOU, Ekaterini. **Energy efficient vegetation design for temperate climate.** In: 18^o International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis. 2001.

BARBOSA, Ricardo V. R.; BARBIRATO, Gianna, M.; VECCHIA, Francisco A. S. **Vegetação Urbana: análise experimental em uma cidade quente e úmida.** In: Anais do Encac – Cotedi . Promoção Antac, 2003.

BARDOU, Patrick; ARZOUMANIAN, Varoujan. **Tecnologia y Arquitectura – Sol y Arquitectura.** Barcelona: Gustavo Gili, 1984.

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, Taís Tostes. **Caracterização e Análise das Áreas Verdes Urbanas de Jaboticabal – SP.** In: Anais do I Congresso de Arborização de Cidades. Vitória, ES. 1992.

BONAN, Gordon B. **The microclimates of suburban Colorado (USA) landscape and implications for planning design.** Boulder: National Center for Atmospheric Research, 2000.

BUENO, Carolina Lotufo; LABAKI, Lucila Chebel; VIANNA, Priscila Zuconi. **Comportamento de diferentes espécies arbóreas quanto à atenuação da**

radiação solar. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro: Promoção Antac, 2001.

BUENO, Carolina Lotufo. **Estudo da Atenuação da Radiação Solar Incidente por Diferentes Espécies Arbóreas.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 1998. (Dissertação de Mestrado).

BUENO, Carolina Lotufo. **A Influência da Vegetação no Conforto Térmico Urbano e no Ambiente Construído.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 2003. (Tese de Doutorado).

CASTRO, Larissa Lemos Fonseca de Lima e. **Estudo de Parâmetros de Conforto Térmico em Áreas Verdes Inseridas no Ambiente Urbano.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 1999. (Dissertação de Mestrado).

CHVATAL, Karin; LABAKI, Lucila C.; KOWALTOWISKI, Doris. **Casas Populares de Campinas: Estudo de sua Atenuação ao Conforto Térmico.** In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS. 1995.

DEAR, Richard J. de; BRAGER, Gail S. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort Field Experiments.** In: Ashare, Technical Data Bulletin, volume

14, number 1. A Collection of Papers from the Ashare Winter Meeting in San Francisco. California. 1998

DUFFIE, John A., BECKMAN, William A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. New York: John Wiley & Sons, 1980.

ESCOURROU, G. **Le Climat et la Ville**. Editins Nathan, Paris, France. 1991.

FANGER, P.O. **Thermal Confort**. New York: McGraw-Hill, 1972. apud AWIB, H.B. **Ventilation of Buildings**. London: E & FN Spon, 1991. 313 p.

FELICIANO, Ana Lícia Patriota; et.al. **Uso de Espécies Arbóreas Nativas da Mata Atlântica na Arborização da Cidade de Recife**. In: Anais do I Congresso de Arborização de Cidades. Vitória, ES. 1992.

FERREIRA, Rinaldo L.C.; et.al. **Arborização Urbana em Assentamentos Habitacionais da Região Metropolitana de Recife**. In: Anais do I Congresso de Arborização de Cidades. Vitória, ES. 1992.

FONTANA, Ártemis Rodrigues. **A Influência da Tecnologia Construtiva no Conforto Térmico: O Caso da Vila Tecnológica de Bauru- SP**. V Encontro Nacional e II Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, 1999.

FONTES, Maria Solange G. de Castro; MELO, Luciana Fonseca de. **Influência do Desenho e do Microclima Nos Usos de Espaços Públicos**. In: Anais do Encac – Cotedi . Promoção Antac, 2003.

FROTA, Anésia Barros, SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 2ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

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. (Dissertação Mestrado em Ciências da Arquitetura).

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2ed. London: Applied Science, 1981.

HOPE, Peter. **Improving indoor thermal confort by canging outdoor contions**. Munich: University of Munich. In: Kyoto, Jpn Conference, 1991.

HOYANO, Akira. **Climatological uses of plants for solar control and effects on the thermal environment of a building**. **Energy and Buildings**. Tokyo Institute of Technology, v. 11, p.181-199, 1988.

HUMPHREYS, Michael A.; NICOL, J. Fergus. **Understanding the adaptative approach to Thermal Confort**. In: ASHARE. **Fill studies of Thermal Confort and Adaptation**. Techninical Data Bulletin, volume 14, number 1. 1975

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION: Geneva. **Isso 7730; moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD índices and specification of the conditions for thermal comfort.** Geneva, 1994.

IZARD, Jean-Louis, GUYOT, Alain. **Tecnología y Arquitectura – Arquitectura Bioclimática.** México, D.F.: Gustavo Gili, 1983.

KAUFFMAN, Marina Gonzalez de; MACHADO, Maria V.; BARROSO, Helen. **Quantifying incidence of the vegetation on the microclimatic variables in hot – humid climates: “the cují tree”.** In: 18^o International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis. 2001.

KEEBLE, E. J., COLLINS, M., RYSER, J. **Potencial of land-use planning and development control to help achieve favourable microclimates around buildings. A European review.** Waterford: Building Research Establishment, 1991. (Internacional Conference on Urban Climate, Planning and Building Part 4, in Kyoto, Jpn).

KOENIGSBERGER, O. H.; et. al. **Vivendas y Edifícios em zonas cálidas y tropicales.** Madrid: Paraninfo, S.A., 1997.

KRUGER, Eduardo L.; DUMKE, Eliane M. S. **Avaliação de Desempenho Térmico na Vila Tecnológica de Curitiba.** In: ENCAC-COTEDI 2001. São Pedro, 2001.

KOWALTOWSKI, Doris C.; PINA, Silvia A. M. **Transformações de Casas Populares: uma avaliação.** In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS. 1995.

LABAKI, Lucila Chebel, SANTOS, Rosely 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: Longon Group Limited, 1987.

LOIS, Érika; LABAKI, Lucila Chebel. **Conforto térmico em espaços externos: uma revisão.** In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro: Promoção Antac, 2001.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo.** São Paulo: Hucitec, 1985.

LORENZI, Harri. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Vol. 1. 3.ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2000.

LORUSSO, Dayse Cristina Senna; SÁ, Rosemari de Fátima R. **Preservação de Fundos de Vale e Matas Ciliares – adequação da legislação federal com legislação municipal em vigor**. In: Anais do I Congresso de Arborização de Cidades. Vitória, ES. 1992.

MASCARÓ, Lúcia Raffo de. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre. Sagra: DC Luzzatto, 1996.

MODMA, Daniela; VECCHIA, Francisco. **Calor e áreas Verdes: um estudo preliminar do clima de São Carlos, SP**. In: Anais do Encac – Cotedi . Promoção Antac, 2003.

MORAIS, Caroline Santana de; Roriz, Maurício. **Comparação entre os Desempenhos Térmicos de Cobertura Ajardinada e Laje Comum em Guaritas**. In: Anais do Encac – Cotedi . Promoção Antac, 2003.

NERY, Jussana Maria Fahel Guimarães; ANDRADE, Telma C. Q.; LIRA, Ivens Soares. **Temperatura do Ar e Padrões de Ocupação em Salvador**. In: Anais do Encac – Cotedi . Promoção Antac, 2003.

OKE, TR. **City Size and Urban Heat Island**. Atmospheric Environment, Oxford, Inglaterra, vol 7, pág 769- 779. 1973

OKE, TR. **Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: comparison of scale model and field observations**. Journal of Climatology, vol.1, pág. 237-254. 1981.

PRATA, Alessandra Rodrigues. **O microclima local gerado pela influencia dos conjuntos habitacionais verticais: o caso da cidade de Campinas**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro: Promoção Antac, 2001.

POUEY, Maria Teresa; FREITAS, Ruskin; SATTLER, Miguel A. **Arborização e Sustentabilidade**. In: Anais do Encac – Cotedi . Promoção Antac, 2003.

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

ROGORA, Alessandro; NERI, Maddalena. **Green solar architecture At Legnano: renovation of an old factory with an ecological and low energy approach**. In: 18^o International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis. 2001.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura bioclimática dos espaços públicos**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

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

RORIZ, Maurício. **Conforto Térmico e economia de energia em edificações: Um modelo simplificado de avaliação**. Universidade Federal de São Carlos, 1991.

RUAS, Álvaro Cesar. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. Fundacentro. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e medicina do Trabalho, 1999.

RUAS, Álvaro Cesar. **Sistematização da Avaliação de Conforto Térmico em Ambientes Edificados e sua Aplicação num Software**. 183p. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, 2002.

SAILOR, David J. **Simulations of annual degree day impacts of urban vegetative augementation**. New Orleans: Mechanical Engeneering Depatament, Tulane University, 1997.

SANTAMOURIS, M. Ed., **Energy and climate in the urban environment**. James & james, Londres, 2001.

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 da radiação solar através de árvores.** In: Encontro Nacional de Conforto Térmico no Ambiente Construído, 1, 1990, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 1991.

SIMPSON, J. R.; McPHERSON, E. G. **Simulations of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento.** Davis: Pacific Southwest. Research Station, USDA Forest Service, c/o Department of Environment Horticulture, University of California, 1997.

SOUZA, Maria Alice de Lourdes Bueno; FIORAVANTE, Ana Paula; CRUZ, Rosivani de Araújo. **Levantamento e Classificação da Áreas Verdes da Zona Urbana de Botucatu, SP.** In: Anais do I Congresso de Arborização de Cidades. Vitória, ES. 1992.

TORRES, Simone C.; LISBÔA, Thaísa A.; BARBIRATO, Gianna, M. **Microclimas em ruas e praças em Maceió-Al.** In: Anais do Encac – Cotedi . Promoção Antac, 2003.

VERGARA, Lizandra G. Lupi.; LAMBERTS, Roberto. **Influência das Taxas Metabólicas do Conforto Térmico da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis.** In: Anais do Encac – Cotedi 2001. São Pedro, 2001.

ANEXO

Análise Estatística

Este estudo tem como interesse principal a avaliação das temperaturas e umidades internas de 4 casas: 2 com arborização e 2 sem levando-se em conta a possível influência da temperatura, e umidade relativa externa, durante o período de coleta.

Foi realizado, pois, a Análise de Variância com o incremento de duas (2) covariáveis – Temperatura e Umidade relativa externa. Nesta análise se possibilita verificar as diferenças médias de temperatura e umidade internas das casas discriminando-se os possíveis efeitos da temperatura e umidade externas, durante o período de coleta. Ou seja, verifica-se, assim, se as 4 diferentes condições - casa A com árvore (a_c), casa B sem árvore (b_s), casa A sem árvore (a_s) e casa B com árvore (b_c) – influenciam a umidade e temperatura interna, considerando-se, de ante mão, o possível efeito da temperatura e umidade externa.

1- Análise Descritiva

Segue na tabela 1 o quadro de estatística descritiva

Tabela 1 – Estatística descritiva

Variable	Arborização	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum
Temperatura inte	a_c	1296	0	24,046	0,0667	2,402	20,060
	a_s	1762	0	21,915	0,0378	1,588	17,850
	b_c	1762	0	20,607	0,0292	1,226	17,530
	b_s	1301	0	22,683	0,0552	1,992	19,410
Umidade interna	a_c	1296	0	61,542	0,164	5,891	37,500
	a_s	1762	0	65,815	0,154	6,462	41,200
	b_c	1762	0	72,464	0,136	5,698	55,100
	b_s	1301	0	67,156	0,167	6,041	50,800
Variable	Arborização	Q1	Median	Q3	Maximum		
Temperatura inte	a_c	22,020	23,690	25,780	32,830		
	a_s	20,860	21,740	22,660	28,980		
	b_c	19,890	20,590	21,370	24,650		
	b_s	20,970	22,540	24,310	26,760		
Umidade interna	a_c	58,300	61,300	64,500	73,400		
	a_s	62,500	66,500	70,000	81,300		
	b_c	69,875	73,400	75,700	85,800		
	b_s	62,500	66,100	70,600	81,900		

2- Análises prévias: verificação do efeito das variáveis externas sobre as internas, através do índice de associação – Correlação de Pearson.

Tabela 2 - Cruzamento de variáveis de interesse

	Temp interna	Umidade interna
Temp externa	0,665 0,000***	-0,259 0,000***
Umidade externa	-0,390 0,000***	0,603 0,000***

Todas as correlações são significativas, para um nível de significância de 5%, apesar de nem todas serem de grande influencia.

Pela tabela 2 nota-se:

- **Uma baixa associação linear negativa** (e significativa para um nível de significância de 5%) entre **Temperatura externa e Umidade interna**; ou seja, o aumento de **Temperatura externa** está associado com a diminuição de baixa intensidade de **Umidade interna**;
- **Uma baixa associação linear negativa** (e significativa para um nível de significância de 5%) entre **Umidade externa e Temperatura interna**; ou seja, o aumento de **Umidade externa** está associado com a diminuição de baixa intensidade de **Temperatura interna**;
- Nota-se pelos resultados **uma moderada associação linear positiva** (e significativa para um nível de significância de 5%) entre **Temperatura externa e Temperatura interna**; ou seja, o aumento de **Temperatura externa** está associado com o aumento moderado de **Temperatura interna**;
- **Uma moderada associação linear positiva** (e significativa para um nível de significância de 5%) entre **Umidade externa e Temperatura interna**; ou seja, o aumento de **Umidade externa** está associado com o aumento moderado de **Temperatura interna**.

Comentários:

- **Em amarelo a Correlação de Pearson:**

O valor da correlação varia entre **-1 e 1**; valores próximos de zero denotam baixa associação entre as variáveis, quando alta, denotam alta associação;

Se for negativo significa que com o acréscimo dos valores de uma variável resulta no decréscimo de outra; se for positivo, então com o acréscimo dos valores de uma variável resulta no

acréscimo de outra – ou ainda, o decréscimo dos valores de uma variável resulta no decréscimo de outra.

- **Em negrito o valor-p referente ao teste que avalia a significância da correlação:**
 - Se o valo-p for menor que 5% (**Ns**) então a correlação é significativa a um nível de significância de 5%, ou seja, a hipótese de não haver associação linear entre as variáveis foi rejeitada, portanto a associação linear entre as variáveis é significativa;
 - Se o valo-p for maior que 5% (*******) então a correlação não é significativa a um nível de significância de 5%, ou seja, a hipótese de não haver associação linear entre as variáveis não foi rejeitada, portanto a associação linear entre as variáveis não é significativa;

3- Análise confirmatória: Análise de variância para Temperatura interna com covariáveis temperatura e umidade externas

Factor	Type	Levels	Values
Arborização	fixed	4	a_c; a_s; b_c; b_s

Tabela 3- ANOVA para Temperatura interna

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperatura externa	1	12831,2	7847,3	7847,3	5641,77	0,000
Umidade externa	1	1720,8	1335,9	1335,9	960,47	0,000
Arborização	3	5981,1	5981,1	1993,7	1433,35	0,000
Error	6115	8505,5	8505,5	1,4		
Total	6120	29038,6				

Na Tabela 3 é verificado, através dos p-valores a influência significativa (para $\alpha = 5\%$) da arborização nas diferentes casas e das variáveis externas (temperatura e umidade relativa) sobre a Temperatura interna (pois os p-valores são menores que 5%).

S = 1,17938 **R-Sq = 70,71%** R-Sq(adj) = 70,69%

Tabela 4- Coeficientes das covariáveis

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9,4824	0,2317	40,93	0,000
Temp-externa	0,461960	0,006150	75,11	0,000
Umid-externa	0,048562	0,001567	30,99	0,000

O Coeficiente de ajuste, R^2 , denota um ótimo ajuste deste modelo (aproximadamente 71%).

Na tabela 4 verifica-se especificamente a análise das covariáveis e suas influências individuais sobre a temperatura interna. Nota-se, através dos coeficientes a magnitude da influência dessas variáveis, sendo a temperatura externa a mais influente.

3.1- Teste para Comparações Múltiplas para Temperatura Interna: averiguando qual tratamento é diferente de qual.

Tukey Simultaneous Tests Response Variable Temperatura interna

All Pairwise Comparisons among Levels of Arborização
Arborização = a_c subtracted from:

Arborização	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
a_s	-1,541	0,04366	-35,31	0,0000
b_c	-2,849	0,04366	-65,27	0,0000
b_s	-1,366	0,04629	-29,51	0,0000

Arborização = a_s subtracted from:

Arborização	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
b_c	-1,308	0,03973	-32,92	0,0000
b_s	0,175	0,04361	4,02	0,0003

Arborização = b_c subtracted from:

Arborização	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
b_s	1,483	0,04361	34,01	0,0000

Os resultados dos testes Tukey de comparações múltiplas pode ser informado pela Tabela 5

Tabela 5 – Resultados dos testes Tukey para temperatura interna

--Temperatura-- ----interna----		
Arborização	Mean	SE Mean
a_c	23,71A	0,03298

b_s	22,34^B	0,03292
a_s	22,17^C	0,02824
b_c	20,86^D	0,02824

MÉDIAS COM LETRAS DIFERENTES SÃO SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES (PARA $\alpha = 5\%$).

4- Análise confirmatória: Análise de variância para Umidade Relativa interna com covariáveis temperatura e umidade externas

Tabela 6 - ANOVA para Temperatura interna

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperatura externa	1	21232	60232	60232	6196,94	0,000
Umidade externa	1	139862	151135	151135	15549,60	0,000
Arborização	3	96213	96213	32071	3299,64	0,000
Error	6115	59435	59435	10		
Total	6120	316743				

S = 3,11762 **R-Sq = 81,24%** R-Sq(adj) = 81,22%

Na Tabela 6 é verificado, através dos p-valores a influência significativa (para $\alpha = 5\%$) da arborização nas diferentes casas e das variáveis externas (temperatura e umidade relativa) sobre a umidade relativa interna (pois os p-valores são menores que 5%).

Tabela 7- Coeficientes das covariáveis

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,0372	0,6125	1,69	0,090
Temperatura	1,27984	0,01626	78,72	0,000
Umidade exte	0,516518	0,004142	124,70	0,000

O Coeficiente de ajuste, R^2 , denota um ótimo ajuste deste modelo (aproximadamente 81%).

Na tabela 5 verifica-se especificamente a análise das covariáveis e suas influências individuais sobre a temperatura interna. Nota-se, através dos coeficientes a magnitude da influência dessas variáveis, sendo a temperatura externa a mais influente.

4.1- Teste para Comparações Múltiplas para Umidade Relativa: averiguando qual tratamento é diferente de qual.

Tukey Simultaneous Tests**Response Variable Umidade interna**

All Pairwise Comparisons among Levels of Arborização

Arborização = a_c subtracted from:

Arborização	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
a_s	4,564	0,1154	39,55	0,0000
b_c	11,212	0,1154	97,16	0,0000
b_s	5,632	0,1224	46,03	0,0000

Arborização = a_s subtracted from:

Arborização	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
b_c	6,648	0,1050	63,297	0,0000
b_s	1,068	0,1153	9,264	0,0000

Arborização = b_c subtracted from:

Arborização	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
b_s	-5,580	0,1153	-48,40	0,0000

Os resultados dos testes Tukey de comparações múltiplas pode ser informado pela Tabela 8.

Tabela 8- Resultados dos testes Tukey para Umidade relativa interna

----Umidade----		
----interna----		
Arborização	Mean	SE Mean
b_c	72,58 ^A	0,07464
b_s	67,00 ^B	0,08702
a_s	65,93 ^C	0,07464
a_c	61,37 ^D	0,08718

MÉDIAS COM LETRAS DIFERENTES SÃO SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES (PARA PARA $\alpha= 5\%$).