

Daniela Modna

INFLUÊNCIA DAS ÁREAS VERDES URBANAS NA  
TEMPERATURA E NA UMIDADE DO AR EM SÃO  
CARLOS – SP.

Dissertação apresentada à Escola de  
Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo, como parte  
dos requisitos para obtenção do Título  
de Mestre em Ciências da Engenharia  
Ambiental.

DEDALUS - Acervo - EESC



31100048907

Orientador: Prof. Dr. Francisco Vecchia



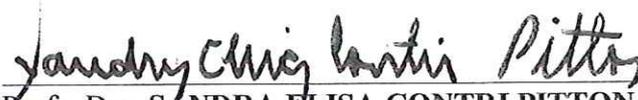
São Carlos  
2004

**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidata: Licenciada **DANIELA MODNA**

Dissertação defendida e julgada em 05-04-2004 perante a Comissão Julgadora:

   
Prof. Dr. **FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA** (Orientador)  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

   
Profa. Dra. **SANDRA ELISA CONTRI PITTON**  
(UNESP/Campus de Rio Claro)

   
Prof. Dr. **ODO MARIA ARTUR SIEGMUND PEDRO RUDOLFO BARÃO PRIMAVESI**  
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA)

  
Prof. Associado **IVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Ciências da Engenharia Ambiental

  
Prof. Assoc. **MARIA DO CARMO CALMURI**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Aos meus pais, Jane e Gilberto.

Agradeço,

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro a este trabalho;

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento, do CRHEA e do Departamento de Arquitetura da USP, pela presteza e competência; e à secretária Claudete Poianas (CRHEA), por ter feito de mim uma pessoa mais forte;

Aos Drs. Eduardo Mário Mëndiondo, Osny Ferreira e Sílvio Pereira Neto, por terem gentilmente cedido dados de suas respectivas pesquisas a este trabalho; ao Prof. Dr. Carlos Monteiro de Andrade, pelas contribuições dadas no exame de qualificação;

À Dra. Ana Honda e à Profa. Esmeralda (Escola Paulino Carlos), pela permissão de instalação dos equipamentos em seus locais de moradia e trabalho, respectivamente;

Ao orientador e amigo Prof. Dr. Francisco Vecchia, por ter aceitado o desafio de trilhar comigo este difícil caminho e pelas valiosas lições de vida;

Aos meus pais, Jane e Gilberto, meus irmãos Letícia, Alice e Felipe, e sobrinho Pedro, pelo amor e pelos incentivos; gratidão especial ao Felipe, por ter me cedido seu computador e, assim, facilitado a realização deste trabalho;

À Vó Cida, à Tia Nena e ao Vô Orlando, pelos incentivos e conselhos;

Aos amigos-colegas Adeildo Cabral da Silva, Ricardo Victor Barbosa, Érico Masiero, Rita de Cássia de Almeida e Jair Schmitt, pela solidariedade;

Aos amigos de república Sabrina Laurito, Anelise Assumpção, Daniel Motheo, e à Equipe Éden, pela amizade, pelos bons momentos e pelo incentivo;

À Família Petrucelli, em especial à D. Cleusa, ao Daniel, ao Érico e ao Cassiano, pelo carinho e pelo apoio;

Ao André Masiero, por todas as formas de apoio já citadas e, sobretudo, por ser o amor da minha vida.

“As árvores são poemas  
que a terra escreve para o céu,  
Nós as derrubamos e  
as transformamos em papel  
para registrar todo o nosso vazio”.

Gibran Kalil Gibran

## RESUMO

MODNA, D. (2004) *Influência das áreas arborizadas na temperatura e umidade do ar do ambiente urbano de São Carlos - SP*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

A remoção da vegetação para dar lugar a edificações e superfícies pavimentadas implica na anulação de diversos serviços ambientais. Entre eles está o sombreamento, que impede o aquecimento do ar derivado da re-emissão da radiação solar pelas superfícies. O ar quente e seco contribui para o aumento da sensação de desconforto e favorece a incidência de doenças respiratórias. O objetivo deste trabalho foi analisar valores de temperatura e umidade do ar, comparando-se dados coletados por estações meteorológicas automáticas instaladas em regiões arborizadas e áridas da cidade, durante a ocorrência de episódios representativos do clima da região. Os procedimentos metodológicos, baseados na Climatologia Dinâmica, consistiram em relacionar a sucessão de tipos de tempo meteorológico de escala regional às diferenças observadas entre os pontos de estudo, provocadas por fenômenos provenientes das atividades humanas. Isto permitiu a clara identificação de variações climáticas críticas para o conforto e a saúde humanos, tais como grandes amplitudes térmicas e baixos valores de umidade do ar. Os resultados mostraram amplitudes térmicas menores nas áreas arborizadas (em média 3°C) e, em alguns casos, umidade do ar mais elevada em comparação aos valores observados nas partes áridas estudadas. Estas verificações reforçam a afirmação da necessidade de ampliação das áreas verdes de São Carlos, que contribuem na atenuação das condições climáticas de desconforto e insalubridade. Em consequência, aumentam a qualidade de vida da população e as condições de sustentabilidade do ambiente urbano. Tal afirmação vem ao encontro da legislação ambiental brasileira e dos anseios da população são-carlense. Espera-se que as constatações deste trabalho sejam um elemento adicional na adoção de políticas públicas mais comprometidas com a saúde humana e ambiental.

Palavras-chave: clima urbano; áreas verdes; ecologia urbana.

## ABSTRACT

MODNA, D. (2004) *Influence of wooded areas on air temperature and humidity in the urban environment of São Carlos - SP*. M. Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

Removal of vegetation giving place to buildings and pavement involves the cancellation of many environmental services. One of them is shading effect, which avoids the air heating due to solar radiation re-emitted by surfaces. Hot and dry air promotes human discomfort and rise on incidence of respiratory diseases. The aim of this study was to analyze temperature and air humidity values, comparing data from automatic meteorological stations installed on wooded and arid areas of the city, during representative climatic episodes. Methodological procedures were based on the Dynamic Climatology principles. They allow relating the enchaining of weather patterns (at zonal scale) with differences observed in the urban sites (considering a smaller scale) promoted by human activities. So, it was possible to specify critical climatic variations to human comfort, such as great thermal amplitudes and decrease of air humidity values. Results showed smaller thermal amplitudes in wooded areas (average of 3°C) and, in some cases, higher values of air humidity in comparison to values observed in the arid sites. These measurements reinforce the idea to improve São Carlos' green areas, since they contribute to attenuate the uncomfortable and unhealthy climatic conditions. As a consequence, life quality and urban environment sustainability conditions will also increase. This matches with Brazilian's environmental laws, as well as with the desires of São Carlos' inhabitants. The conclusions of this study will support the adoption of public policies concerned with human and environmental health.

Keywords: urban climate; green areas; urban ecology.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Representação de sistema frontal	28
FIGURA 2 – Dissipação da energia solar em uma árvore	29
FIGURA 3 – Influência de um parque na distribuição da umidade	35
FIGURA 4 – Localização do município de São Carlos	37
FIGURA 5 – Pontos de observação na parte urbana de São Carlos	38
FIGURA 6 – Sensor de temperatura e umidade relativa do ar	43
FIGURA 7 – Protetor do sensor contra radiação solar	43
FIGURA 8 – Psicrômetro	45
FIGURA 9 – <i>Datalogger</i>	46
FIGURA 10 -Estação Meteorológica instalada no Campus da USP	48
FIGURA 11.1 – Interior da floresta de <i>Pinus elliottii</i>	49
FIGURA 11.2 – Céu visto do interior da floresta de <i>Pinus elliottii</i>	49
FIGURA 12.1 – Interior do “bosque da Química”	51
FIGURA 12.2 – Céu visto através das copas das árvores	52
FIGURA 13.1 – Vista Norte da Praça Coronel Salles	52
FIGURA 13.2 – Pátio da Escola Paulino Carlos na Praça Coronel Salles	53
FIGURA 14.1 – Interior do bosque da Estância Suíça	54
FIGURA 14.2 – Céu visto através das copas das árvores	55
FIGURA 15 – Estação meteorológica instalada na Defesa Civil	55
FIGURA 16.1 – Imagem de satélite (18 de maio de 2002)	57
FIGURA 16.2 – Imagem de satélite (19 de maio de 2002)	58
FIGURA 16.3 – Imagem de satélite (20 de maio de 2002)	58
FIGURA 17.1 – Gráfico temperatura (18 de maio de 2002)	59
FIGURA 17.2 – Gráfico temperatura (19 de maio de 2002)	60
FIGURA 17.3 – Gráfico temperatura (20 de maio de 2002)	60
FIGURA 18.1 – Gráfico umidade relativa do ar (18 de maio de 2002)	61
FIGURA 18.2 – Gráfico umidade relativa do ar (19 de maio de 2002)	62
FIGURA 18.3 – Gráfico umidade relativa do ar (20 de maio de 2002)	62
FIGURA 19.1 – Gráfico radiação solar global (18 de maio de 2002)	63
FIGURA 19.2 – Gráfico radiação solar global (19 de maio de 2002)	64
FIGURA 19.3 – Gráfico radiação solar global (20 de maio de 2002)	64
FIGURA 20.1 – Gráfico velocidade do vento (18 de maio de 2002)	65

FIGURA 20.2 – Gráfico velocidade do vento (19 de maio de 2002)	66
FIGURA 20.3 – Gráfico velocidade do vento (20 de maio de 2002)	66
FIGURA 21.1 – Gráfico direção do vento (18 de maio de 2002)	67
FIGURA 21.2 – Gráfico direção do vento (19 de maio de 2002)	67
FIGURA 21.3 – Gráfico direção do vento (20 de maio de 2002)	68
FIGURA 22.1 – Imagem de satélite (25 de outubro de 2002)	69
FIGURA 22.2 – Imagem de satélite (26 de outubro de 2002)	69
FIGURA 22.3 – Imagem de satélite (27 de outubro de 2002)	70
FIGURA 22.4 – Imagem de satélite (28 de outubro de 2002)	70
FIGURA 23.1 – Gráfico TBS (25 de outubro de 2002)	71
FIGURA 23.2 – Gráfico TBS (26 de outubro de 2002)	71
FIGURA 23.3 – Gráfico TBS (27 de outubro de 2002)	72
FIGURA 23.4 – Gráfico TBS (28 de outubro de 2002)	72
FIGURA 24.1 – Gráfico TBU (25 de outubro de 2002)	73
FIGURA 24.2 – Gráfico TBU (26 de outubro de 2002)	74
FIGURA 24.3 – Gráfico TBU (27 de outubro de 2002)	74
FIGURA 24.4 – Gráfico TBU (28 de outubro de 2002)	75
FIGURA 25.1 – Imagem de satélite (18 de agosto de 2003)	76
FIGURA 25.2 – Imagem de satélite (19 de agosto de 2003)	77
FIGURA 25.3 – Imagem de satélite (20 de agosto de 2003)	77
FIGURA 25.4 – Imagem de satélite (21 de agosto de 2003)	78
FIGURA 25.5 – Imagem de satélite (22 de agosto de 2003)	78
FIGURA 25.6 – Imagem de satélite (23 de agosto de 2003)	79
FIGURA 25.7 – Imagem de satélite (24 de agosto de 2003)	79
FIGURA 26.1 – Gráfico temperatura (18 de agosto de 2003)	80
FIGURA 26.2 – Gráfico temperatura (19 de agosto de 2003)	81
FIGURA 26.3 – Gráfico temperatura (20 de agosto de 2003)	81
FIGURA 26.4 – Gráfico temperatura (21 de agosto de 2003)	82
FIGURA 26.5 – Gráfico temperatura (22 de agosto de 2003)	82
FIGURA 26.6 – Gráfico temperatura (23 de agosto de 2003)	83
FIGURA 26.7 – Gráfico temperatura (24 de agosto de 2003)	83
FIGURA 27.1 – Gráfico umidade relativa do ar (18 de agosto de 2003)	84
FIGURA 27.2 – Gráfico umidade relativa do ar (19 de agosto de 2003)	85
FIGURA 27.3 – Gráfico umidade relativa do ar (20 de agosto de 2003)	85
FIGURA 27.4 – Gráfico umidade relativa do ar (21 de agosto de 2003)	86

FIGURA 27.5 – Gráfico umidade relativa do ar (22 de agosto de 2003)	86
FIGURA 27.6 – Gráfico umidade relativa do ar (23 de agosto de 2003)	87
FIGURA 27.7 – Gráfico umidade relativa do ar (24 de agosto de 2003)	87
FIGURA 28 – Obras requeridas pela população de São Carlos (2001)	103
FIGURA 29 – Obras requeridas pela população de São Carlos (2002)	103
FIGURA 30 – Serviços requeridos pela população de São Carlos (2002)	104

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fenômenos decorrentes do processo de urbanização e suas conseqüências para o ambiente natural	19
Quadro 2 – Serviços e funções do ecossistema	22
Quadro 3 – Categorias da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano	31
Quadro 4 – Espécies mais utilizadas na arborização urbana de São Carlos	40
Quadro 5 – Pontos monitorados por estações meteorológicas automáticas	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de Áreas Verdes e Índice de Áreas Livres em algumas cidades brasileiras	39
Tabela 2 – Normais climatológicas de São Carlos	41
Tabela 3 – Umidade relativa do ar registrada a diferentes alturas	90

## SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 O valor da biodiversidade	16
2.2 O ecossistema urbano e a importância dos serviços ambientais	16
2.3 Mecanismo fisiológico da evapotranspiração vegetal	25
2.4 Clima	26
2.4.1 Balanço energético	28
2.4.2 Clima urbano	30
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
3.1 Caracterização das áreas de estudo	36
3.2 Preceitos teóricos	41
3.3 Materiais	42
3.3.1 Sistema automático de aquisição de dados: Estações meteorológicas	42
3.3.2 Sensores	43
3.3.3 Psicrômetro	44
3.3.4 Datalogger	45
3.3.5 Programa de coleta de dados	46
3.4 Medições em ambiente externo	46
3.4.1 Episódio climático representativo de outono	47
3.4.2 Episódio climático representativo de primavera	50
3.4.3 Episódio climático representativo de inverno	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1 Episódio climático representativo de outono	57
4.2 Episódio climático representativo de primavera	69

4.3 Episódio climático representativo de inverno	76
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>89</b>
5.1 Episódio climático representativo de outono	89
5.2 Episódio climático representativo de primavera	89
5.3 Episódio climático representativo de inverno	90
5.4 Conclusões gerais	91
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE - Contribuições do trabalho</b>	<b>102</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Embora os meios de comunicação abordem sistematicamente o assunto das mudanças climáticas globais, as ações humanas locais - como a retirada da vegetação arbórea e o incremento da impermeabilização de superfícies nas cidades - não demonstram conhecimento sobre as alterações climáticas em escala local. Tal desconhecimento aliado (1) à necessidade de se saber o quanto a inexistência de vegetação atua como um fator de modificação das condições iniciais do clima da cidade de São Carlos, e (2) ao fato de que mudanças bruscas nas variáveis climáticas - temperatura, umidade relativa do ar e regime de ventos - influenciam condições de conforto e saúde motivaram a realização deste trabalho.

O presente estudo pretende verificar e discutir a influência dos serviços ambientais prestados pelas áreas arborizadas do ambiente urbano na manutenção de adequadas condições microclimáticas, que influenciam a qualidade de vida humana, a saúde e as condições de trabalho.

O principal objetivo definido para este trabalho foi determinar as diferenças climáticas existentes entre locais arborizados e áridos, ambos representativos do ambiente urbano da cidade de São Carlos. Também, procurou-se cuidar que não se perdesse o viés holístico desta pesquisa e, para tanto, buscou-se discutir a importância da conservação de espaços naturais para a qualidade de vida e do ambiente, assim como os efeitos dos modelos atuais de desenvolvimento das atividades humanas no cenário urbano.

São abordados neste trabalho os seguintes assuntos:

- a importância dos serviços ambientais prestados pelos ecossistemas naturais para o ambiente urbano e seus habitantes;
- as características climáticas das cidades e a relação entre as mesmas com a existência ou não de ecossistemas naturais;
- a descrição dos métodos utilizados nos experimentos realizados; e

- os resultados e as conclusões obtidos.

As obras consultadas, assim como os resultados deste estudo, demonstraram que o caráter finito dos recursos naturais e a qualidade dos serviços ambientais prestados pelos ecossistemas às populações humanas têm sido ignorados, seja por grupos empreendedores, seja por tomadores de decisões. A partir desta constatação se formulou como ponto de partida a importância do planejamento urbano em conformidade com as características naturais locais. O clima e suas respostas frente às mudanças no uso do solo que afetam o balanço energético são importantes aspectos a serem considerados pelos planejadores. Tais aspectos devem ter alta prioridade para assegurar a sustentabilidade ambiental das atividades humanas desenvolvidas nas cidades.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. O valor da biodiversidade**

A diversidade biológica é a base da alimentação humana e animal, fonte de produtos e compostos farmacêuticos, elemento importante na troca de gases na atmosfera, na manutenção do equilíbrio climático, hídrico e ecológico. Além disto, enseja diversas atividades de recreação e lazer, conforme a Convenção sobre Diversidade Biológica<sup>1</sup> (1992). Assim, a biodiversidade possui, além de seu valor intrínseco, valor ecológico, genético, social, econômico, recreativo, educacional, cultural e estético, como lembra Wilson (1997).

A biodiversidade é o elemento central para o desenvolvimento e bem-estar da humanidade e o grande responsável pelo equilíbrio ambiental global. Os chamados "bens ambientais" são fornecedores de diversos serviços ambientais para os seres humanos. Costanza et al (1997) relatam que o valor desses serviços e do estoque de capital natural gerados por eles pode chegar a 33 trilhões de dólares por ano, fornecendo uma idéia do valor econômico do capital ambiental existente no mundo. Para comparação, destacam-se alguns ecossistemas valorados<sup>2</sup> presentes no município de São Carlos, muitos dos quais apresentando danos derivados das ações antrópicas: rios e lagos (8.498 dólares/ano/hectare), florestas tropicais (2.007 dólares/ano/hectare), campos agrícolas (92 dólares/ano/hectare) e ambiente urbano (0 dólares/ano/hectare).

### **2.2. O ecossistema urbano e a importância dos serviços ambientais**

Diversos autores afirmam ser o ambiente urbano um ecossistema. Odum (1983) considera as cidades como ecossistemas heterotróficos, uma vez que

---

<sup>1</sup> Evento realizado no Rio de Janeiro em 1992.

<sup>2</sup> Os valores foram calculados com base na soma de serviços ambientais produzidos pelas funções dos ecossistemas (listados na Tabela 2, p. 22).

dependem de grandes aportes de materiais e energia provenientes de sistemas externos a elas. Diferem de um ecossistema autotrófico pelos seguintes fatores:

- As cidades têm necessidade de grandes quantidades de energia por unidade de área (fornecida principalmente pelos combustíveis fósseis), assim como de materiais destinados a usos industriais e comerciais;
- As cidades promovem a saída de grandes quantidades de resíduos tóxicos.

Apesar de ocuparem menos de 5% da superfície terrestre, as cidades modificam rios, campos, florestas, oceanos e atmosfera, pois estes são áreas de entrada e saída de materiais e energia. Como exemplo do impacto que a cidade promove sobre as áreas naturais, o mesmo autor relata as necessidades diárias de um norte-americano habitando uma localidade urbano-industrial: 0,8 hectare para produção de alimento, 0,4 hectare de área florestal para fornecimento de papel e madeira e 7500 litros de água. Assim, Odum (1983) conclui que a cidade é um parasita dos ambientes rurais e naturais circundantes, o que justifica gestões que a tornem energeticamente mais sustentável, de modo que os impactos produzidos nos ambientes naturais sejam menores.

Gómez et al. (2001) define "ecossistema urbano" como a substituição do habitat natural por outro mais adequado às necessidades das pessoas dos tempos atuais. No entanto, o mesmo autor constata que, na maior parte das cidades, o ambiente excessivamente artificial tem criado em seus habitantes a necessidade crescente de equilíbrio envolvendo elementos naturais, tais como água e ar.

O Relatório Brundtland (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987) define desenvolvimento sustentável como aquele "que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras". Entretanto, os tomadores de decisões têm ignorado este conceito e se preocupado somente com o crescimento econômico baseado no consumo de recursos naturais limitados. Infelizmente, as políticas insustentáveis provocam a redução da qualidade do ambiente e de seus

recursos, inviabilizando práticas econômicas e, em longo prazo, o próprio modelo de desenvolvimento, conforme relatório da United Nations Convention on Human Settlements<sup>3</sup> (2001).

Loucks (1994) indaga o que pode ocorrer com a sucessão ecológica no ambiente urbano diante de tão poucas espécies adaptadas para suas condições. Esta pergunta torna-se oportuna ao se lembrar que uma certa riqueza de espécies é necessária para compor a complexidade e as funções de um ecossistema viável.

Um dos principais fatores que contribuem para a redução da biodiversidade é o avanço das ocupações e atividades humanas sobre os habitats naturais. Segundo Ehrlich (1997), se mantidas as tendências atuais de devastação, o desfecho da civilização humana pode se dar dentro dos próximos 100 anos.

Embora este cenário apocalíptico possa ser considerado exagerado, é necessário admitir o caráter fundamental de uma reflexão sobre as características do modelo atual de desenvolvimento econômico e, mais especificamente, sobre o crescimento das cidades e as relações entre o ambiente urbano e os ambientes naturais e seus recursos, que refletem bem tal modelo.

Diversos autores destacam as diversas mudanças ocorridas nos ambientes naturais derivadas do processo de urbanização responsáveis pelo empobrecimento da capacidade regenerativa do ambiente urbano. As mesmas são visualizadas no quadro a seguir:

---

<sup>3</sup> A Convenção das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos (United Nations Convention on Human Settlements – HABITAT), evento que teve lugar em Istambul, Turquia, em 2001, gerou o relatório “The state of world’s cities”, sobre os impactos do crescimento das cidades sobre os habitats naturais.

### Quadro 1 – Fenômenos decorrentes do processo de urbanização e suas conseqüências para o ambiente natural

<i>Fenômenos decorrentes do processo de urbanização</i>	<i>Conseqüências para o ambiente natural</i>
Impermeabilização das superfícies	Redução da disponibilidade hídrica do solo e do ar.
Despejo de nutrientes em corpos d'água	Eutrofização, assoreamento e anoxia, resultando em queda da qualidade da água e alteração do ciclo hidrológico.
Emissão de gases na atmosfera	Ozônio (O <sub>3</sub> ): afeta populações vegetais em áreas além da zona urbana. Poluição do ar Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ): altera populações de líquens, que são importantes como espécie pioneira devido à capacidade de fixação de nitrogênio (N <sub>2</sub> ) no substrato.
Emissão de gases na atmosfera	Aquecimento do ambiente urbano Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) e Metano (CH <sub>4</sub> ): têm capacidade de reter e refletir radiação de ondas longas.
Remoção da vegetação nativa	Alterações climáticas locais; aceleração da perda de nutrientes e sedimentos do solo (erosão); redução da diversidade biológica e das funções dos ecossistemas, tornando-o insustentável e inviável.
Deposição de resíduos em lixões ou aterros	Impedimento do retorno dos nutrientes reciclados aos locais de origem, resultando em empobrecimento do solo; acúmulo de substâncias que podem causar contaminação do solo e de águas subterrâneas.

Fonte: modificada a partir de HENKE-OLIVEIRA (1996) e MOTA (1995).

O padrão de planejamento das cidades brasileiras demonstra o descaso de parte dos tomadores de decisões com a sustentabilidade do ambiente urbano e a boa qualidade de vida da maioria de seus habitantes. Isto se reflete diretamente na existência de áreas verdes e espaços livres de construções (destinados ao lazer da população) e no acesso aos mesmos.

Levando isto em conta, Dredge (1995), em estudo realizado no México, destaca o estilo de urbanização vigente nos países em desenvolvimento, caracterizado pela rapidez, mau planejamento (sem considerar a finidade do espaço e dos recursos do ambiente) e a desconsideração das vidas humanas, postas em risco quando há o estabelecimento de pessoas em locais íngremes ou sujeitos a inundações.

A autora ainda recomenda que as ações preventivas, embora necessitem de tempo e recursos humanos disponíveis, criam situações que garantem boa qualidade de vida para a grande maioria das pessoas, estando elas em situação de risco iminente ou não. Isto ocorreria pela própria

preservação dos ecossistemas - e seus recursos naturais, que seriam incorporados ao espaço urbano - fornecedores de diversos serviços ambientais aos seres humanos, tais como a manutenção do clima, a prevenção às perdas de solos através da contenção de processos erosivos e a preservação da boa qualidade dos recursos hídricos.

Além dos problemas que envolvem o planejamento do espaço urbano, há ainda a falta de conhecimento por parte dos planejadores urbanos quanto às funções ecológicas das áreas verdes, em termos do emprego de espécies adequadas e de quantidade de indivíduos necessária ao melhoramento do ambiente (Gómez et al., 1998).

Costanza et al. (1997) identificou diversas categorias de serviços e bens provenientes dos ecossistemas (Tabela 2, p. 22), que representam para as populações humanas benefícios derivados, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas. Assim, um fluxo de materiais, energia e informação dos estoques de *capital natural*<sup>4</sup> são combinados em serviços geradores de bem-estar humano. Um grande número dos serviços dos ecossistemas não é usufruído diretamente pelos seres humanos, mas têm papel imprescindível na manutenção de uma "infraestrutura" mínima para os ecossistemas, o que permite a continuidade da produção de serviços. Mudanças na qualidade e quantidade do capital natural têm impactos sobre os serviços prestados pelos ecossistemas e, conseqüentemente, sobre os benefícios associados às atividades humanas.

Murphy (1997) alerta que a perda de populações pode resultar em uma grande desestabilização de comunidades ecológicas naturais e, em conseqüência, em decréscimo da capacidade dessas comunidades de fornecer uma boa quantidade de serviços. Assim, as razões utilitárias para a proteção da diversidade biológica em áreas urbanas levariam em conta muitos benefícios. Um deles seria o melhoramento no clima, já que é sabido que a vegetação arbórea contribui para a diminuição da temperatura do ar, da velocidade dos ventos e da evaporação da água do solo.

---

<sup>4</sup> *Capital natural* se refere a um estoque formado por minérios, atmosfera, ecossistemas e suas funções em determinado tempo e espaço, essencial à vida humana, segundo Costanza et al. (1997).

Entretanto, segundo o mesmo autor, os programas de conservação da diversidade nas cidades enfrentam diversos obstáculos. Há pressões políticas e econômicas para a conversão de habitats em áreas de usos urbanos (imobiliário, industrial, comercial, etc); em muitos casos, a degradação provocada por tais usos nas áreas não permite a sucessão ecológica, dificultando ações de recuperação. Quando ações de recuperação são implementadas, é comum observar-se somente o sucesso de espécies adaptadas aos impactos humanos, o que reduz a riqueza e a complexidade necessárias à manutenção de um ecossistema equilibrado. A introdução de espécies exóticas provoca a interrupção e a distribuição de componentes naturais da diversidade biológica, representando perdas irreparáveis.

Sobre os efeitos das áreas verdes e naturais urbanas na mente e nas condições de saúde das pessoas, Ulrich (1984) relata a recuperação acelerada de 33 pacientes operados cujas janelas de seus quartos proporcionavam a visão de paisagens naturais. Outros 23 pacientes em condições semelhantes, mas alojados em quartos com vista para uma parede, apresentaram recuperação mais lenta e maior ocorrência de dores. O autor do estudo relaciona estas diferenças de respostas ao possível efeito dos cenários naturais (envolvendo vegetação e água) na redução de estados depressivos, de ansiedade e do medo, resultando em uma melhora no estado emocional das pessoas.

**Quadro 2 – Serviços e funções do ecossistema**

<i>Serviços do ecossistema</i>	<i>Funções do ecossistema</i>	<i>Exemplos</i>
Regulação de gases	Regulação da composição química da atmosfera	Balanco O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> , camada de O <sub>3</sub>
Regulação climática	Regulação da temperatura global, precipitação e outros processos climáticos mediados biologicamente em escala global ou local	Regulação de gases estufa
Regulação de perturbações	Integridade do ecossistema frente a flutuações ambientais	Respostas do habitat a variações ambientais controladas por estruturas vegetais
Regulação das águas	Regulação dos fluxos hidrológicos	Provisões de água para uso agrícola ou industrial
Suprimento de água	Armazenamento de água	Provisões de água em aquíferos, bacias e represas
Controle de erosão e retenção de sedimentos	Retenção de solos	Prevenção de assoreamento de corpos d'água
Formação de solo	Processos de formação de solos	Desgaste de rochas e acúmulo de matéria orgânica
Ciclagem de nutrientes	Armazenamento, processamento e aquisição de nutrientes	Fixação de nitrogênio e de outros nutrientes
Tratamento de resíduos		Controle de poluição e desintoxicação
Polinização	Movimento de gametas vegetais	Polinizadores para garantir a reprodução vegetal
Controle biológico	Regulação da dinâmica trófica das populações	Equilíbrio entre populações de produtores e consumidores
Refúgio	Habitat para populações permanentes e transientes	Habitat pra espécies migratórias
Produção de alimentos	Porção da produção primária consumida como alimento	Pescado, frutos, colheitas, caça
Materiais brutos	Porção da produção primária consumida bruta	Madeira, combustíveis e forragem
Recursos genéticos	Fonte de materiais biológicos e produtos	Espécies ornamentais, medicinais e de interesse científico
Recreação	Atividades recreativas	Ecoturismo, pesca
Cultural	Usos não comerciais	Valores estéticos, artísticos, educacionais, espirituais e científicos do ecossistema

Fonte: modificada a partir de Costanza et al. (1997).

Em estudo posterior, Ulrich et al (1991) fornecem embasamento psicológico às indicações de melhora do estado mental humano em resposta à exposição a cenários naturais. Foram medidas respostas fisiológicas e verbais

de recobrimento de situações de estresse sendo os indivíduos expostos a cenas urbanas e campestres. Os resultados indicaram que um maior nível de estresse e desatenção frente às cenas urbanas, ocorrendo o contrário diante de cenas de paisagens naturais. Os autores relataram maior atividade do sistema nervoso parassimpático<sup>5</sup> dos indivíduos quando diante de cenários naturais.

Uma parte considerável dos habitantes da cidade de São Carlos tem poucas opções de contato com elementos naturais. Entre elas estão algumas praças e o Parque Ecológico que, dos 52,47 ha de área, somente 5,5 ha são acessíveis à população (Henke-Oliveira, 1996). Esse mesmo autor constatou a insuficiência de áreas verdes na zona urbana de São Carlos, sendo que a porcentagem média das mesmas é de apenas 2,46%.

Áreas urbanas são sinônimos de perturbação de ecossistemas. A diversidade biológica de áreas urbanas tem sido altamente afetada pela introdução de espécies de animais que caçam as populações nativas, competem por recursos limitados e agem como vetores para novas doenças e parasitas aos quais os organismos nativos podem ser particularmente suscetíveis (Ehrlich, 1997).

A presença de vegetação arbórea no ambiente urbano favorece a manutenção dos habitats de diversas espécies animais e vegetais importantes para a qualidade de vida dos seres humanos. A presença de alguns “refúgios” para espécies animais no ambiente urbano contribuiria para o controle de certas “pragas urbanas”, tais como ratos, baratas, mosquitos, escorpiões e pombos. Estes animais são beneficiados pela ausência de habitats naturais e, conseqüentemente, pela falta de predadores e competidores existentes nos mesmos. A atração de outras espécies, inimigas naturais daquelas espécies indesejáveis, impediria o crescimento excessivo destas populações (Miranda, 2000).

Henke-Oliveira (1996) propõe as seguintes estratégias de incremento de áreas verdes:

---

<sup>5</sup> Esta parte do sistema nervoso está ligada ao recobrimento da atenção e dos estados normais do organismo, enquanto que a parte simpática do sistema está ligada à mobilização das respostas fisiológicas frente a agentes estressores (Ulrich et al, 1991).

- Arborização de acompanhamento viário: à época de estudo (1996), somente 6,5 dos 44 ha associados ao sistema viário da cidade eram arborizados; esta medida teria, sobretudo, efeito estético e de conforto ambiental.
- Arborização de áreas potencialmente de uso coletivo: necessitariam de implantação de infra-estrutura para uso da população, para ampliação de parques, praças e jardins; destinar-se-ia a múltiplos benefícios (além dos citados acima, lazer e contemplação), acrescentando mais 47 ha às áreas verdes públicas já existentes.
- Implantação de áreas verdes com múltiplos usos em áreas devolutas e de uso não-planejado (práticas de horticultura, feiras-livres, espaços para educação ambiental etc, de acordo com as necessidades sociais e econômicas da população); mais de 100 ha estariam nesta categoria.
- Recomposição de áreas de interesse legal: seriam áreas com as funções ecológicas comprometidas pelas atividades antrópicas, embora protegidas pela legislação ambiental (Código Florestal, Resoluções CONAMA, PNMA, PNRH etc), consistindo em margens de corpos d'água, nascentes e declives. Tais áreas representam 144 ha.
- Implantação de áreas verdes em loteamentos em fase de projeto, de forma a planejar espaços verdes no sistema viário e de se incorporar remanescentes de vegetação natural, o que resultaria no incremento de quase 60 ha de área verde à cidade.

Eliasson (2000) realça a importância do uso de conhecimentos climáticos no planejamento urbano. A autora verificou, entretanto, que o mesmo ainda é exíguo. As causas para tal fato seriam principalmente (1) a existência de interesses conflitantes entre empreendedores e pesquisadores/ambientalistas, e (2) a deficiência na aplicação da legislação ambiental reguladora da adequação das cidades às características naturais da região.

### 2.3. Mecanismo fisiológico da evapotranspiração vegetal

É sabido que aproximadamente 99% da água absorvida pelas raízes das plantas é liberada para a atmosfera pela planta na forma de vapor d'água, sendo as folhas os principais órgãos da transpiração. A razão para tamanha perda de água - representando perigo de desidratação severa e morte - é a necessidade da planta em manter abertas pequenas aberturas na sua epiderme (estômatos), de maneira a possibilitar a entrada de dióxido de carbono, necessário para a realização da fotossíntese. Este é o processo através do qual a energia radiante é absorvida e transformada em energia de ligação química. Mesmo quando os estômatos estão fechados, o dióxido de carbono produzido pela sua respiração pode ser ainda processado pela planta na etapa da fotossíntese que não depende da presença de luz (LARCHER, 2000).

Os estômatos formam dentro da folha uma estrutura cheia de ar. São circundados por duas células que mudam seu formato de acordo com estímulos externos e internos, regulando a abertura e o fechamento dos poros. Alguns fatores ambientais, tais como quantidade de luz, concentração de dióxido de carbono, temperatura, umidade do ar e velocidade do vento constituem os estímulos externos que regulam os movimentos dos estômatos. Na maior parte das plantas, os estômatos se abrem durante o dia e fecham à noite. Em regiões de clima quente e seco a água representa o principal fator limitante ao crescimento das plantas. A falta deste recurso leva ao fechamento dos estômatos de forma a evitar a dessecação.

É importante destacar alguns pontos discutidos por Raven et al. (1996) sobre a ocorrência da evaporação nas plantas. Segundo os autores, a temperatura é o fator ambiental mais importante a afetar a taxa de transpiração dos vegetais. Embora a velocidade de evaporação da água seja duplicada a cada 10°C de aumento de temperatura do ar, a evaporação promove o resfriamento da superfície foliar, impedindo que a mesma se aqueça tanto quanto o ar. Temperaturas de 30° a 35°C determinam o fechamento dos estômatos, interrompendo a transpiração. Em ambiente onde o ar esteja saturado de vapor d'água, as plantas não perdem água tão facilmente, mesmo que com valores elevados de temperatura do ar.

O vento é outro fator ambiental a ser considerado, pois pode retirar o vapor d'água da superfície foliar, favorecendo o resfriamento e a evaporação, dependendo da quantidade de água contida no ar.

#### 2.4. Clima

O clima é definido por Sorre (1951) como "a ambiência constituída pela série de estados da atmosfera num local, em sucessão habitual".

Peterson (1971) define *tempo meteorológico* como as condições da atmosfera em um curto período de tempo, e *clima* como uma combinação de condições meteorológicas que caracterizam um local ou região por uma estação do ano ou mais.

Monteiro (1973) classifica a região de São Carlos como controlada por massas equatoriais e tropicais, o que caracteriza climas tropicais alternadamente secos e úmidos. O mesmo autor (1976a) afirma que o clima desta região é influenciado por massas de ar extratropicais, provenientes do Sul, que provocam instabilidade no tempo atmosférico e chuvas; há também a alternância de "penetrações anticiclônicas polares" com "correntes tropicais marítimas", que estabilizam o tempo atmosférico, juntamente com a ação menos freqüente das massas de ar de oeste e noroeste, provenientes do interior do continente, que provocam aquecimentos pré-frontais e chuvas intensas.

Miller (1951) afirma que a circulação geral da atmosfera produz em certos lugares massas de ar com características físicas especiais bem definidas, especialmente quanto à temperatura e umidade. A diferença entre duas massas de ar decorre do tempo de permanência das mesmas sobre um local, permitindo que as camadas de ar adquiram as características da superfície sobre a qual se encontram.

Os estados atmosféricos em conjunto com os elementos do clima determinam cada tipo de tempo. Os períodos considerados críticos para a percepção são aqueles definidos como Pré-Frontal (que compreende as fases de prenúncio e avanço) e Pós-Frontal (composto pelas fases de domínio e transição), em que há atuação de diferentes massas de ar sobre um determinado local. Estas duas situações, conforme Vecchia (1997), se alteram

conforme a estação do ano, sendo a magnitude das mesmas relacionadas à intensidade, à extensão e à duração da massa polar<sup>6</sup>.

A fase Pré-Frontal é marcada pela instabilidade atmosférica decorrente da aproximação de uma massa de ar proveniente da região polar. Apresenta como características: presença de nuvens altas do tipo cirros (fase de prenúncio), aumento dos valores da temperatura, diminuição da umidade relativa do ar, diminuição dos valores da pressão atmosférica (com alteração de sua senóide habitual) e predominância de ventos nas direções Noroeste e/ou Sudoeste (fase de avanço), com ocorrência de rajadas no momento da entrada da massa.

A situação que se segue é a Pós-Frontal, com o estabelecimento das condições meteorológicas características da massa de ar recém-chegada à localidade geográfica estudada (domínio), em que se verifica o retorno da estabilidade atmosférica. As características meteorológicas são aquelas determinadas pela origem da massa de ar, no caso, apresentando temperaturas menores, umidade relativa do ar mais elevada e ventos predominantemente da direção Sudeste.

A seguir, na fase de transição, a massa de ar Polar perde gradualmente sua intensidade e adquire as características climáticas locais, resultando em fenômeno chamado de fase de tropicalização. As condições de tempo meteorológico então retornam as suas condições originais, ou seja, sob a influência do anticiclone Tropical, que determina predominância de ventos de Nordeste e valores elevados de temperaturas do ar.

---

<sup>6</sup> A Frente Polar Atlântica é resultante do encontro de dois sistemas atmosféricos, o Tropical Atlântico e o Polar Atlântico. A entrada da massa de ar Polar Atlântica provoca chuvas intensas no verão e quedas de temperatura, com aumento da umidade relativa do ar, no inverno, segundo Vecchia (1997).

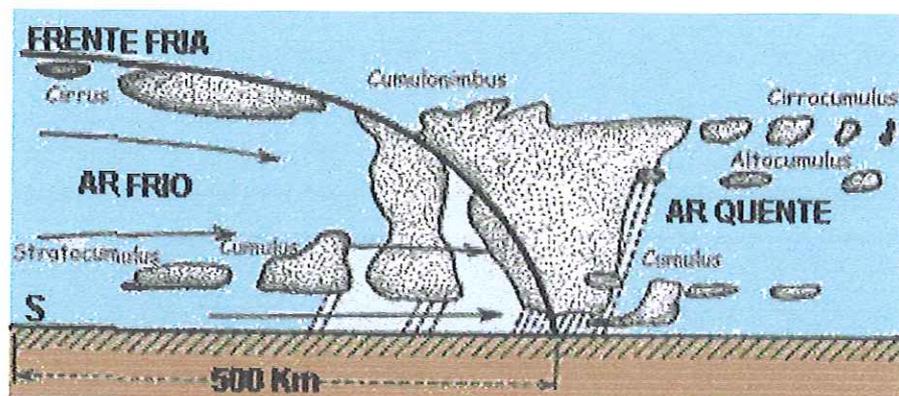


Figura 1 – Representação de sistema frontal

#### 2.4.1. Balanço energético

As regiões tropicais e subtropicais da Terra recebem de 2,4 a 4 MW/h de energia solar por metro quadrado anualmente. O processo de fotossíntese utiliza menos de 1% desta quantidade de energia. Assim, mais de 99% da energia solar que chega à Terra é refletida, absorvida e conduzida através do solo e de outros materiais, re-emitida como radiação de ondas longas pelas superfícies, despendida na ocorrência da evapotranspiração (calor latente) e percebida como calor sensível, conforme Pokorný (2001).

A Terra recebe do Sol radiação de ondas curtas. Uma parte desta sofre difusão pela atmosfera, outra é absorvida pelas superfícies das edificações, do solo e da vegetação e uma terceira é refletida. A radiação absorvida promove o aquecimento do solo, que passa a emitir radiação de ondas longas, de acordo com a lei de emissão eletromagnética<sup>7</sup>. Estas são fortemente absorvidas pelos aerossóis, pelo CO<sub>2</sub> e pelo vapor d'água presentes no ar atmosférico. Dessa maneira, dá-se o aquecimento do ar, percebido na forma de calor.

Mudanças na água e na vegetação influem na distribuição da energia solar e, conseqüentemente, no microclima e no mesoclima (dependendo da extensão do desmatamento e da área da drenagem), pois muito da energia solar é convertida em calor.

<sup>7</sup> Lei de Stefan-Boltzmann: a emissão radiante de um corpo é proporcional à quarta potência de temperatura absoluta do corpo (ARAÚJO, 1982).

Pokorný (2001) relata que a mudança na dissipação de energia em um dia ensolarado provocada pela drenagem de uma área de 100 ha é comparável à energia contida em um trem carregado com carvão. Disto resulta aumento da temperatura do ar e da amplitude térmica, queda dos valores de umidade do ar, mudanças no padrão de precipitação de chuvas e do transporte de partículas na atmosfera.

Pokorný (2001) relata também a eficiência das árvores em dissiparem a energia solar de maneira perfeita, através da evapotranspiração. O próprio crescimento das árvores contribui para a retirada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera, contribuindo globalmente para a redução do efeito estufa.

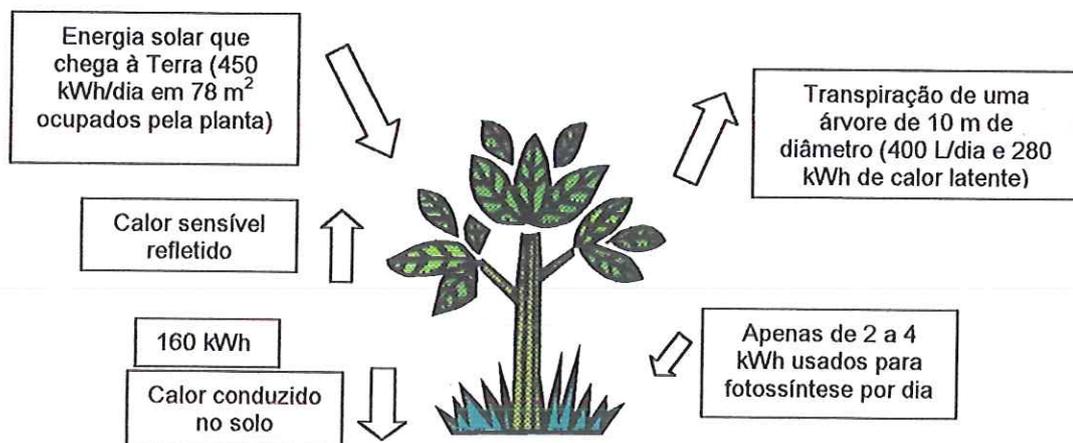


Figura 2 – Dissipação da energia solar em uma única árvore suprida com água  
Fonte: modificado a partir de Pokorný (2001)

Ometto (1981) explica que as moléculas de vapor d'água na atmosfera compõem uma estrutura que interage com a radiação emitida pelas superfícies. Ele tem a propriedade de armazenar energia e, graças à sua capacidade de movimentação junto com o ar atmosférico, exerce a função de "equalizador de energia do meio", uma vez que ameniza as trocas de energia.

Lowry (1988) destaca que a diferença do balanço energético entre o ambiente com cobertura vegetal e o ambiente urbano é que, neste último, há uma entrada adicional de energia proveniente das atividades industriais, tráfego de veículos e sistemas de ar-condicionado.

### 2.4.2. Clima urbano

O Terceiro Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas, elaborado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel of Climate Change - IPCC<sup>8</sup>) em 2001, conclui que, assim como a concentração dos chamados "gases estufa", a temperatura do ar global média aumentou nos últimos 100 anos. O relatório afirma que atividades humanas, especialmente as relacionadas com a queima de combustíveis e mudanças na cobertura do solo, têm modificado a composição da atmosfera e as propriedades da superfície da Terra ligadas à absorção e à dispersão da radiação solar.

Diversos autores apontam a modificação das variáveis climáticas no ambiente urbano em relação ao ambiente natural. As transformações ocorridas na paisagem natural, decorrentes do processo de urbanização, afetam em especial a disponibilidade hídrica no solo, sendo os fatores responsáveis, junto com diversas atividades humanas, pelas mudanças climáticas no cenário urbano (Lombardo, 1985; Mota, 1995; Oke, 1987; Ramón, 1980).

Monteiro (1976b) define como clima urbano "o sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização".

O referido autor reconhece as profundas modificações que o ambiente urbano impõe à paisagem natural:

Seja pela implosão demográfica, seja pela explosão de atividades, os espaços urbanos passaram a assumir a responsabilidade do impacto máximo da atuação humana sobre a organização na superfície terrestre e na deterioração do ambiente (MONTEIRO, 1976b, p.47).

Sobre o "sistema clima urbano", Monteiro (1976b) afirma que o mesmo visa compreender a organização climática peculiar da cidade. Tal organização seria resultado das reações da atmosfera frente aos eventos ecológicos naturais e aos fenômenos ligados à urbanização associados. Assim, o sistema clima urbano é considerado um sistema aberto, uma vez que há um intercâmbio de energia com outros sistemas.

---

<sup>8</sup> O IPCC é um organismo ligado à Organização das Nações Unidas (ONU).

Os diferentes fenômenos que têm lugar no ambiente urbano, tais como os de ordem econômica, social, termodinâmica, físico-química e biológica, fornecem uma idéia da complexidade envolvida no sistema.

São consideradas diversas escalas espaciais quando se investiga o clima. Monteiro apresenta as seguintes:

**Quadro 3 – Categorias da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano.**

Unidades de superfícies	Espaços climáticos	Espaços urbanos
$10^6$ (milhões de km)	Zonal	-
$10^4$ (milhões de km)	Regional	-
$10^2$ (centenas de km)	Sub-regional	Megalópole; grande área metropolitana.
10 (dezenas de km)	Local	Metrópole.
$10^{-2}$ (centenas de metros)	Mesoclima	Cidade grande; bairro; subúrbio de metrópole.
Dezenas de metros	Topoclima	Pequena cidade; fâcies de bairro; subúrbio.
Metros	Microclima	Edificações; setor de edificação.

Fonte: modificada a partir de Monteiro (1976b).

Em 1990, o mesmo autor afirma que o clima da cidade resulta da transferência de energia decorrente das interações entre o ar atmosférico e o ambiente urbano edificado. Assim, ele considera que o ar sofre alterações em suas propriedades na cidade, devido ao ambiente modificado segundo o que se considera como necessidades do homem em termos de recursos provenientes da natureza.

A capacidade dos materiais construtivos e de revestimento do solo em armazenar calor no clima urbano, juntamente com a forma, localização da cidade, densidade e verticalização de edificações e rugosidade da superfície são fatores também importantes de modificação do clima.

A modificação das condições iniciais do clima das cidades pode ser ocasionada pelos seguintes fatores (segundo Barry & Chorley, 1980; Lowry, 1967; Peterson, 1971):

- os materiais utilizados nas construções e na pavimentação;
- o formato das cidades;

- as atividades humanas geradoras de calor;
- a remoção das águas das superfícies;
- a presença de poluentes no ar.

Desta forma, Lowry (1988) afirma que o ambiente urbano apresenta características climáticas em escala local.

A cidade e o dinamismo urbano são mencionados por Jesus (1995) como geradores de um clima urbano. A modificação do espaço, em forma de verticalização das edificações, impermeabilização do solo e redução das áreas verdes, causa "alterações nos atributos climáticos locais", representadas por inundações, poluição do ar e ilhas de calor.

O gradiente horizontal de temperatura do ar tende a aumentar das áreas rurais e suburbanas na direção do centro da cidade, produzindo a chamada "ilha de calor", resultado da modificação da superfície e da atmosfera pela urbanização. A modificação do regime de ventos, segundo Oke (1987) que passa a ser em direção aos locais mais quentes, pode significar dificuldade de dispersão de poluentes.

As edificações e superfícies pavimentadas, conforme Peterson (1971) e Mota (1995), absorvem e armazenam grandes quantidades de radiação solar, devido à sua geometria e alta admitância térmica, ao contrário do solo coberto com vegetação das áreas rurais. Na cidade, pouca quantidade desta energia é usada para evaporação, uma vez que há baixa disponibilidade hídrica neste ambiente, decorrente do rápido escoamento das águas pluviais e ausência de vegetação. À noite, a cidade libera o calor acumulado durante o dia, fazendo com que também nesse período as temperaturas sejam mais elevadas que nas áreas de entorno.

Oke (1987) relata que as mudanças promovidas pelo processo de urbanização afetam especialmente a cobertura do solo e, devido a isso, as condições locais, envolvendo umidade, balanço hidrológico, calor e insolação.

Em seu estudo sobre as ilhas de calor na cidade de São Paulo, Lombardo (1985) observou que a grande diferença entre os valores de temperatura tomados na área central da cidade e nas áreas periféricas deve-se ao fato da existência, na primeira, de intensa verticalização de suas construções, grande tráfego de veículos (contribuindo para emissão de poluentes na atmosfera) e reduzida vegetação.

Um dos efeitos mais nefastos das ilhas de calor nos ambientes urbanos está na mudança da intensidade das chuvas. Na cidade de São Paulo foi constatada a interferência do ar quente – proveniente do aquecimento das superfícies pavimentadas urbanas – na distribuição das chuvas. A massa de ar úmido, oriunda do Oceano Atlântico, tenderia a seguir a circulação do ar quente, subindo para regiões mais altas da atmosfera. Em consequência, o vapor d'água se precipitaria sobre as regiões mais aquecidas da cidade e não sobre seus mananciais. Disto resultariam dois tão conhecidos fenômenos típicos de São Paulo: enchentes e, paradoxalmente, falta de água para abastecimento público. Uma das medidas apontadas por especialistas para minimizar o problema seria o incremento de áreas verdes nas regiões das ilhas de calor (VIVEIROS, 2004).

Taha (1997) afirma que a baixa taxa de evapotranspiração no ambientes urbanos, devido aos sistemas de drenagem, retirada da vegetação e pavimentação das superfícies, é o maior fator de incremento das temperaturas do ar durante o dia.

A ocorrência da evapotranspiração na vegetação é um dos fatores que levam à retirada de energia percebida como calor do ambiente. Por se tratar de um fenômeno endotérmico, a evapotranspiração promove um efeito de resfriamento e umidificação do ar no ambientes urbanos, segundo Mota (1995).

Os ecossistemas naturais em áreas urbanas ajudam a reduzir diferenças existentes entre o clima destas e das localidades rurais de entorno. Segundo Bolund & Hunhammar (1999), tanto áreas úmidas quanto aquelas com vegetação têm um papel significativo em amenizar as amplitudes térmicas que ocorrem no inverno e no verão. Os autores dão como exemplo o fato de uma única árvore que, ao transpirar 450 litros de água por dia, necessita consumir 1000 MJ de energia calorífica, gastos no processo de evaporação. Adiciona-se a isto o efeito do sombreamento das árvores, que impede a absorção de energia radiante das superfícies e seu aquecimento, evitando também a emissão de energia de onda longa, que aquece o ar.

Barry & Chorley (1980) expõem que o clima característico de bosques é influenciado pela geometria, morfologia, tamanho, cobertura e estratificação dos mesmos. Os efeitos no padrão de comportamento do clima são quanto à interceptação e à reflexão da radiação solar, à redução da velocidade dos

ventos e à diminuição da evaporação do solo (em consequência dos dois últimos motivos).

Segundo Akbari et al. (2001), as árvores interceptam a radiação solar antes que a mesma aqueça as edificações, além de resfriarem o ar por evapotranspiração. Isto levaria a uma economia de eletricidade usada para fins de refrigeração. Os autores relatam que a demanda por eletricidade aumenta de 2 a 4% para 1°C de elevação na temperatura do ar, estimando que 5 a 10% da eletricidade seja gasta na refrigeração de edificações.

Em estudo sobre o efeito da vegetação na atenuação do calor, Shashua-Bar & Hoffmann (2000) mostram evidências de que as principais variáveis a afetarem a temperatura do ar são áreas sombreadas por árvores, que atenuam o aquecimento do solo pela radiação solar, e o efeito secundário da temperatura do ar circundante a estas áreas. O efeito de umidificação do ar se mostra proporcional ao de resfriamento.

O estudo realizado por Dimoudi & Nikolopoulou (2003), com base em simulações do comportamento microclimático com diferentes texturas urbanas, obtiveram resultados interessantes sobre o efeito da vegetação nas temperaturas do ar de edificações. Segundo o modelo, quanto mais as dimensões da área verde são aumentadas, mais a temperatura do ar nas imediações é diminuída. Há indicações de que ocorre um decréscimo de 1K na temperatura do ar para cada 100m<sup>2</sup> de vegetação adicionada.

Em comunicação pessoal, Givoni (2003) afirma que áreas verdes podem influenciar os níveis de umidade do ar de seu entorno, conforme a figura abaixo:

A influência de um pequeno parque urbano na distribuição da umidade relativa do ar

Data: 22 de outubro de 1997

13:15 horas



Foto de Potcher, O. & Yaron, Y.

0 70 140 metros

Figura 3: Influência de um parque pequeno na distribuição da umidade relativa em uma cidade de Israel

Fonte: Givoni<sup>9</sup> (comunicação pessoal, 2003).

<sup>9</sup>Baruch Givoni, professor Arquitetura Bioclimática da Universidade da Califórnia, forneceu estas informações no evento do CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo), realizado na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP) em 2003.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1. Caracterização das áreas de estudo

O Município de São Carlos se localiza na região central do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 47°30' e 48°30'W e 21°30' e 22°30'S, segundo Henke-Oliveira (1996). Ao redor de São Carlos estão os municípios de Luís Antônio (Norte), Descalvado (Leste), Analândia (Sudeste), Itirapina (Sul), Brotas, Ribeirão Bonito (Sudoeste), Ibaté e Araraquara (Oeste). A altitude é de 850 m e a área do município corresponde a 1141 Km<sup>2</sup>, com população de 192.998 pessoas. Desse total, 95% reside na área urbana (IBGE, 2000).

A cidade de São Carlos apresenta situações em que podem ocorrer episódios de estresse térmico, influenciadas pela localização geográfica, pelas entradas de massas de ar, pelo uso do solo e atividades sócio-econômicas. A localização da cidade no topo das cuestas basálticas e no início do Planalto Ocidental favorece a penetração de ventos de escala zonal, o que contribui expressivamente para a determinação de suas características climáticas.

Esta região do Estado de São Paulo é controlada por massa equatoriais e tropicais, determinando clima tropical alternadamente seco e úmido. Vecchia (1997) relata a entrada de aproximadamente 60 massas de ar polar por ano na região de São Carlos. Tais massas de ar polar promovem a ocorrência de mudanças bruscas no tempo meteorológico da cidade, como diminuição nos valores de temperatura e aumento nos valores de umidade do ar.

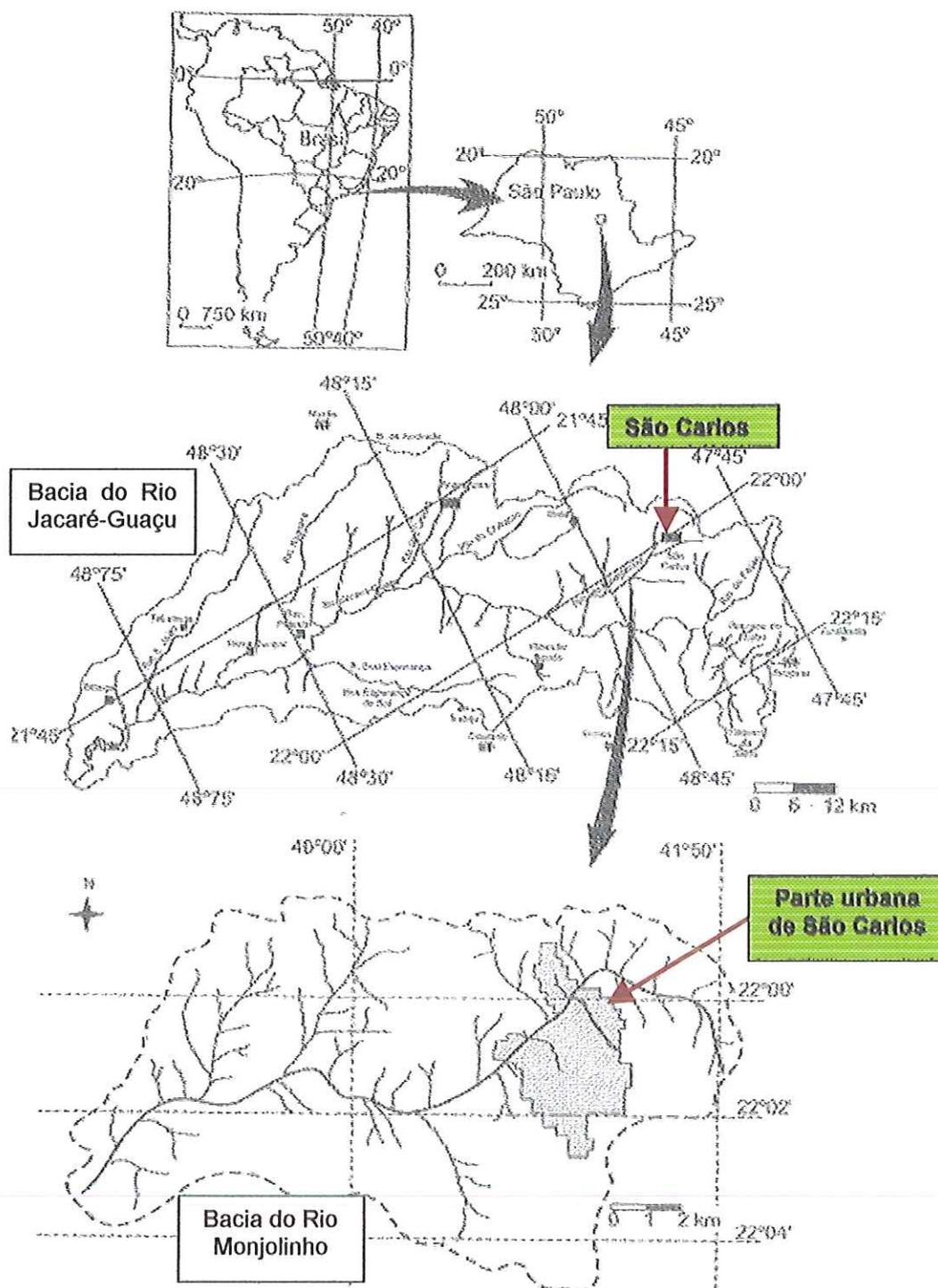


Figura 4 – Localização do município de São Carlos.  
 Fonte: Espíndola (2000) adaptado de Mattos (1982) e Sé (1999).

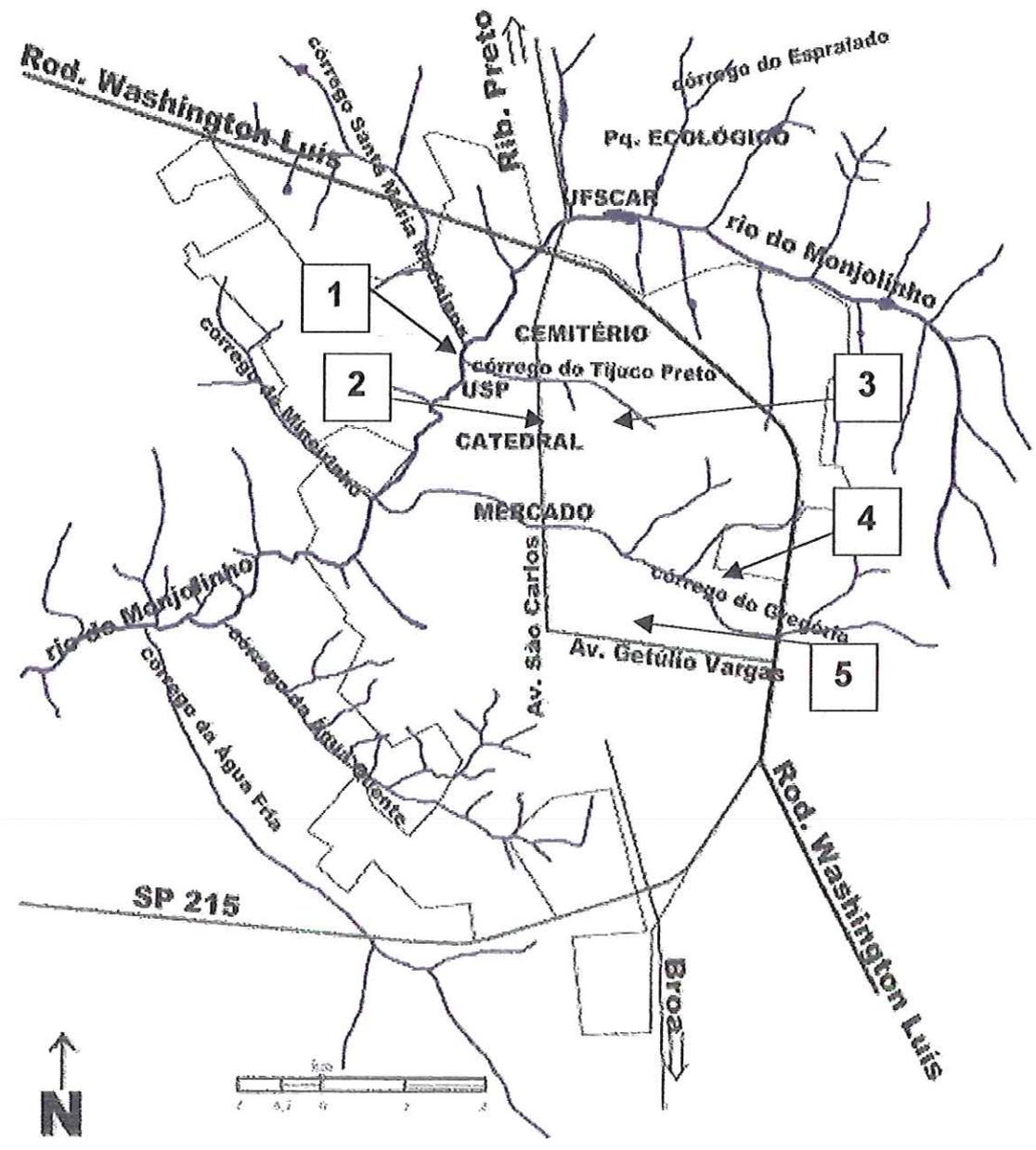


Figura 5 – Locais dos pontos amostrais de observação na parte urbana de São Carlos  
 Fonte: Lima (2003) adaptado de Sánchez & Bello (2001) e Almeida (2001).

Os locais indicados por número no mapa são:

1. Campus da USP;
2. Praça Coronel Salles;
3. Bosque do bairro Estância Suíça;
4. Faculdade de Direito (FADISC);
5. Defesa Civil.

O critério para escolha de tais pontos levou em consideração (1) a presença nos mesmos de características que representassem outros locais da

cidade e (2) a existência de estações meteorológicas instaladas em alguns deles.

Quanto ao uso do solo na cidade, verifica-se tanto tendência à verticalização das edificações, com conseqüente adensamento urbano nas regiões centrais, quanto a ocupação dos fundos de vale. A quantidade de áreas verdes é insuficiente para atenuar as conseqüências impostas ao clima pela urbanização, especialmente nas estações secas, que ocorrem entre maio e outubro. Henke-Oliveira (1996) calculou que o índice de áreas verdes de São Carlos resulta em 2,65m<sup>2</sup> por habitante. As áreas verdes ocupavam até aquele ano apenas 2,46% da área urbana total. Em estudo publicado em 1999, o referido autor relata que havia 140 áreas verdes dentre as 582 áreas públicas de São Carlos. Dessas, somente 44 eram de uso coletivo (representadas por praças e jardins), indicando a baixa oferta de espaços com elementos naturais destinados ao lazer da população.

Na tabela seguinte estão listados valores relativos ao Índice de Áreas Verdes e Índice de Áreas Livres<sup>10</sup> (considerando-se somente áreas públicas) de algumas cidades:

**Tabela 1. Índice de Áreas Verdes e Índice de Áreas Livres em algumas cidades brasileiras**

Cidade	IAV/IAL (m <sup>2</sup> /habitante)
Curitiba	9,95
Vitória	36,28
Bauru	6,29
Piracicaba	8,6
Jaboticabal	83,9
Botucatu	58,4
Maringá	28
São Carlos	2,65

Fonte: modificada a partir de HENKE-OLIVEIRA (1996)

<sup>10</sup>O primeiro termo se refere à relação entre a área de espaços com vegetação arbórea/arbustiva destinadas ao uso público e o número de habitantes da cidade. O segundo termo identifica a relação entre a área de espaços livres de construções de uso público (com ou sem vegetação) e o número de habitantes da cidade, conforme Henke-Oliveira (1996).

As espécies arbóreas mais utilizadas para arborização em São Carlos são predominantemente exóticas:

**Quadro 4 – Espécies mais utilizadas na arborização urbana de São Carlos**

Nome popular	Nome científico	Origem
Espatódea	<i>Spatodea campanulata</i>	exótica
Jambolão	<i>Syzygium jambolanum</i>	exótica
Magnólia	<i>Michaelia champaca</i>	exótica
Grevílea	<i>Grevillea robusta</i>	exótica
Alfeneiro	<i>Ligustrum lucidum</i>	exótica
Unha-de-vaca	<i>Bauhinia variegata</i>	exótica
Jerivá	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	nativa
Aleluia	<i>Senna multijuga</i>	nativa

Fonte: modificada a partir de ALBRECHT (1998).

A vegetação que circunda praticamente a totalidade do município de São Carlos é composta por pastagens, cana-de-açúcar e reflorestamento de Pinus. Quanto à vegetação original, o cerrado, são encontrados fragmentos em algumas regiões de solo geralmente arenoso (seja pela inadequação para atividades agropecuárias, seja pela observância à legislação ambiental) e na Fazenda Canchim, de propriedade da EMBRAPA.

O período compreendido entre maio e novembro é especialmente crítico para a saúde dos habitantes desta região do Estado devido às práticas de queimadas dos campos de cana-de-açúcar. Nos meses de inverno, caracterizado pela reduzida umidade do ar, observa-se um significativo aumento de internações por doenças respiratórias (DATASUS, 2003).

Na tabela a seguir está representada a variação dos valores médios de temperatura e umidade do ar no município de São Carlos ao longo do ano:

**Tabela 2 - Normais climatológicas de São Carlos entre os anos 1961 e 1990**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura do ar (° C)	21,6	21,9	21,7	20,2	18,1	16,7	16	17,8	19,6	19,7	21,1	21,4
Umidade relativa do ar (%)	76	75	73	68	67	66	61	54	58	80	67	73

Fonte: Departamento Nacional de Meteorologia (1992)

### 3.2. Preceitos teóricos

As investigações realizadas têm em comum o método baseado nos princípios da Climatologia Dinâmica, definida por Monteiro (1973) como uma abordagem que considera a gênese do clima, os processos atmosféricos e os elementos do espaço geográfico que nele interferem. A abordagem dinâmica do clima exige a observação e a compreensão do funcionamento do sistema atmosférico.

Considerando-se a situação-problema que conduziu este estudo – a modificação do clima e suas conseqüências para os seres vivos, causada por mudanças na cobertura do solo – concluiu-se que a análise rítmica do clima<sup>10</sup> deveria ser incluída entre os métodos utilizados, já que se refere aos processos atmosféricos e aos fatores de modificação, estes últimos próprios da relação entre o ser humano e o seu ambiente.

Assim, foram definidos períodos em que ocorreram fatos climáticos representativos do clima da região de estudo, o que permitiu analisá-los segundo a abordagem temporal e espacial desenvolvida por Vecchia (1997). Nela utilizam-se episódios climáticos representativos em que se considera a sucessão dos tipos de tempo meteorológico, possibilitando relacionar o sistema atmosférico atuante na região com dados meteorológicos coletados na superfície. Isto confere a riqueza de elementos necessária à análise, com a visualização dos fenômenos atmosféricos e suas repercussões no clima urbano, e a identificação das variações climáticas críticas ao conforto e à saúde humanos. Isto é importante de ser ressaltado, uma vez que dentre as diversas

<sup>10</sup> Análise rítmica do clima, proposta por Monteiro (1973), pressupõe a decomposição dos dados climáticos nas menores unidades temporais possíveis.

pesquisas consultadas sobre os efeitos da vegetação nas variáveis climáticas urbanas, constatou-se que todas foram realizadas utilizando-se métodos baseados em modelos de simulação.

Dimoudí & Nikolopoulou (2003) simulam o tipo de vegetação (através das suas características fisiológicas) e o efeito de parques, levando em conta diferentes texturas urbanas e valores de evapotranspiração, transmissão de radiação (árvores perenes ou decíduas), albedo das árvores e permeabilidade ao vento.

Shashua-Bar & Hoffman (2000) utilizam em seus modelos de simulação medidas coletadas em pontos da cidade de Tel-Aviv com diferentes características, tais como jardins e quintais, avenidas e ruas arborizadas.

Os estudos de Akbari et al. (2001) tratam principalmente da questão do uso e da economia de energia nas edificações. São realizadas simulações em protótipos levando-se em conta a cor dos telhados, o sombreamento, as características climáticas regionais e a qualidade do ar (emissões de ozônio e “smog”).

As simulações feitas por Taha (1997) relacionam-se à investigação dos efeitos do aumento do albedo das superfícies e da cobertura vegetal nas condições meteorológicas regionais, consideram-se as variáveis da equação de balanço energético da superfície.

### **3.3. Materiais**

#### **3.3.1. Sistema automático de aquisição de dados: Estações meteorológicas**

As estações meteorológicas automáticas são alimentadas por energia elétrica produzida por meio de painéis solares e armazenada em baterias. Elas permitem a aquisição contínua de dados precisos em frequência programável, bem como o seu armazenamento por alguns dias.

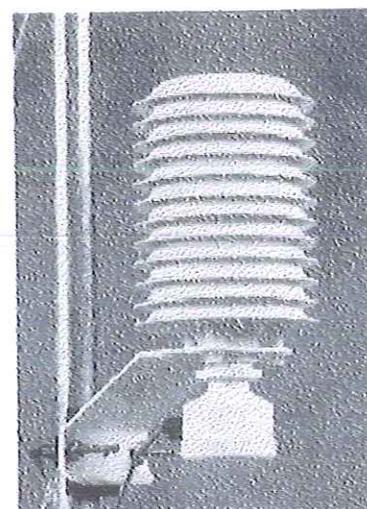
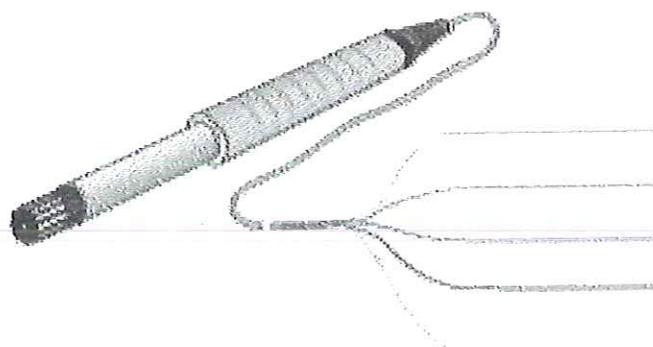
Antes de se iniciarem as medições externas, foram realizados testes em ambiente controlado com intuito de se definir e verificar o funcionamento e a precisão dos processos de medição.

### 3.3.2. Sensores

Os sensores de temperatura utilizados em todos os experimentos foram os *termopares tipo T* protegidos por teflon, que consistem em um conjunto formado por dois fios condutores de eletricidade (no caso, um fio de cobre e outro de uma liga de cobre e níquel chamada de “constantan”) unidos em uma extremidade e, na outra, conectados ao instrumento de medição (no caso, a estação). Estes dispositivos geram eletricidade quando há diferença entre os valores de temperatura de um e outro fio condutor<sup>11</sup>.

Os termopares que compõem os sensores de temperatura foram posicionados nos pontos monitorados de maneira que ficassem protegidos da radiação solar direta, o que poderia alterar as medições. Por essa razão, foram utilizados como protetores (abrigos meteorológicos – “shield”) tubos de PVC de cor branca e com dimensões 25 cm X 8 cm X 4 cm, no interior dos quais eram inseridos os sensores conforme se vê na figura 9 (p. 49).

Sensores de temperatura e umidade relativa do ar do modelo *Vaisala HMP45C* foram utilizados no primeiro e no último experimento. A precisão deste tipo de sensor é de  $\pm 2\%$  para valores de umidade entre 10 e 90%, e  $\pm 3\%$  para valores de 90 a 100%. Os mesmos são protegidos da radiação solar por “*shields*” de plástico branco, modelo 41002 *Young*.



Figuras 6 e 7– Sensor de temperatura e umidade relativa do ar *Vaisala HMP45C*; abrigo (“shield”) utilizado para proteger sensor da radiação solar.  
Fonte: Campbell Scientific Inc. (2004).

<sup>11</sup> Efeito Seebeck: a diferença de potencial proporcional à diferença de temperatura entre suas junções (MARCUS, 1964).

### 3.3.3. Psicrômetro

No segundo experimento realizado, não se dispunham de sensores de umidade relativa do ar. Para se medir a umidade e a temperatura do ar, então, foram utilizados *psicrômetros*. Estes aparelhos consistem em um conjunto composto por dois termômetros idênticos, montados lado a lado. Um deles é o chamado *termômetro de bulbo úmido*<sup>12</sup> (TBU), que tem um pedaço de gaze amarrado em torno do bulbo. O tecido deve ser molhado e, para isso, permanece mergulhado em um reservatório de água acoplado ao conjunto.

O outro termômetro que compõe o psicrômetro é o *termômetro de bulbo seco*<sup>13</sup> (TBS), que não apresenta nenhum aparato adicional.

A temperatura de bulbo úmido cai, devido ao calor retirado para evaporar a água. O seu resfriamento é diretamente proporcional à secura do ar. Quanto mais seco o ar, maior o resfriamento. Portanto, quanto maior a diferença entre as temperaturas de bulbo úmido e de bulbo seco, menor a umidade relativa; quanto menor a diferença, maior a umidade relativa. Se o ar está saturado, nenhuma evaporação ocorrerá e os dois termômetros terão leituras idênticas. Uma vez inseridas no software de relações psicrométricas, as medidas de TBU e TBS (juntamente com pressão atmosférica e altitude) permitem calcular a umidade relativa do ar.

A literatura recomenda o uso de água destilada para se embeber o tecido que recobre o termômetro de bulbo úmido (Torreira, 1976). Os testes preliminares acerca do funcionamento dos psicrômetros com reservatórios preenchidos de água destilada e de água tratada comum permitiram a observação de valores de temperatura dos sensores de bulbo úmido praticamente iguais em ambos os casos. Assim, concluiu-se que o uso de água destilada nos reservatórios é recomendado possivelmente para padronizar o método nas diversas partes do mundo. Nas medições realizadas aqui, foi adotada a utilização de água tratada comum nos reservatórios dos termômetro de bulbo úmido.

---

<sup>12</sup> A terminologia "Temperatura de Bulbo úmido" (que resulta na abreviação TBU) vem equivalente em inglês "Wet Bulb Temperature" (WBT). No entanto, em português a tradução mais exata seria "Temperatura de Bulbo Molhado" (TBM).

<sup>13</sup> Termo traduzido para o português a partir de "Dry Bulb Temperatura" (DBT).

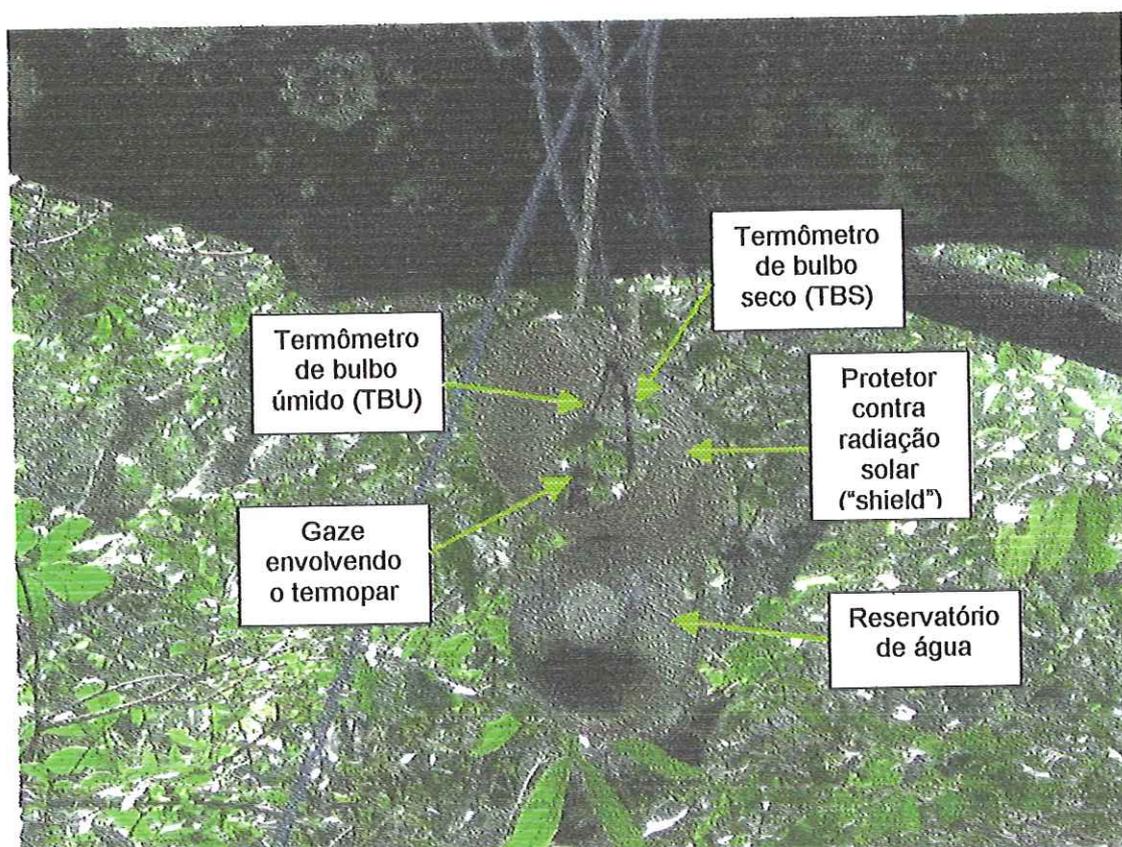


Figura 8 – Foto do psicrômetro e das partes que o compõem (Outubro/2002).

Para garantir que ambos os termômetros ficassem expostos a fluxos de ar constantes, surgiram os psicrômetros com ventilação forçada, também chamados "psicrômetros de Assmann", que trazem pequenos ventiladores unidos ao conjunto. Os experimentos preliminares incluíram testes de aspiração forçada por meio do emprego de ventoinhas movidas à eletricidade. Entretanto, os psicrômetros utilizados no experimento definitivo foram os não aspirados, uma vez que permaneceriam ao ar livre. Era interessante para o estudo verificar quaisquer alterações nos valores de temperatura e umidade do ar, que o uso de aspiração constante poderia ocultar.

#### 3.3.4. Datalogger

Os *dataloggers* (coletores/armazenadores de dados) são os equipamentos principais para a aquisição automática de dados, sendo instalados no interior da caixa ambientalmente selada que compõe a estação meteorológica. Os sensores de temperatura e umidade do ar são conectados aos datalogger, ficando os dados coletados ali armazenados.

Seu funcionamento possui autonomia de alguns dias, pois são alimentadas por eletricidade armazenada em baterias (produzidas por painéis solares). Os dados são inseridos em PC's comuns, desde que esteja instalado o *software* que permita o descarregamento (PC208W).

Os *dataloggers* utilizados nos experimentos que compõem este trabalho são do modelo CR10X fabricados pela *Campbell Scientific Inc*, pertencentes ao grupo de pesquisa "Ecotecnologias: novos materiais e procedimentos" e ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA).

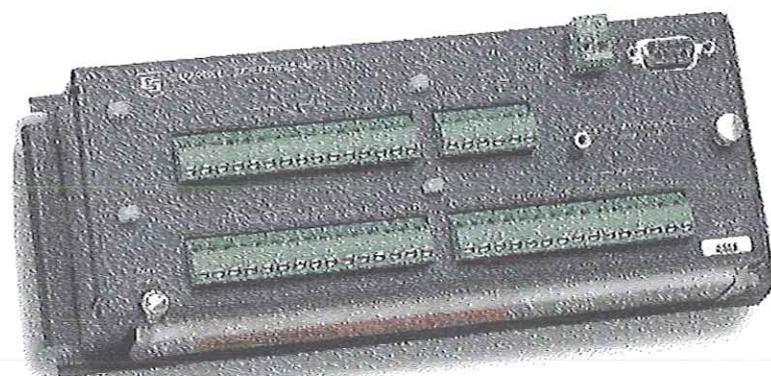


Figura 9 – *Datalogger* da marca *Campbell Scientific Inc*  
Fonte: *Campbell Scientific Inc* (2004).

### 3.3.5. Programa de coleta de dados

As funções das estações meteorológicas automáticas utilizadas nos experimentos foram dadas por programas de computador testados e instalados pelo grupo de pesquisa. Os mesmos determinam instruções diversas, tais como de frequência de leitura dos dados coletados pelos sensores e do armazenamento da média dos mesmos.

## 3.4. Medições em ambiente externo

Foram coletados dados ao longo dos anos 2002 e 2003, que permitiram a realização de três estudos de caso aqui apresentado. Neles foram comparados valores de temperatura e umidade do ar de diferentes locais de acordo com a cobertura do solo.

### 3.4.1. Episódio climático representativo de outono

Este primeiro estudo foi desenvolvido durante a disciplina “Climatologia aplicada ao meio ambiente”, no primeiro semestre de 2002, com o objetivo de verificar as diferenças existentes entre as variáveis climáticas – radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos – de dois locais distintos: o Campus da USP - São Carlos, representando o clima urbano, e um reflorestamento de *Pinus elliotii*, representando o clima de uma área rural arborizada. Desse modo, buscou-se a geração de dados que possibilitassem o conhecimento das características climáticas dos locais citados, bem como da metodologia empregada posteriormente em outros experimentos.

A aquisição dos dados foi realizada utilizando-se estações meteorológicas automáticas localizadas no Campus da Universidade de São Paulo, em São Carlos, e no reflorestamento de *Pinus elliotii* da Estação Experimental de Itirapina. As áreas de estudo apresentam entre si uma distância de aproximadamente 20 quilômetros.

As variáveis analisadas foram a temperatura e a umidade relativa do ar, a velocidade e a direção dos ventos, e a radiação solar global.

No Campus da USP, a estação automática se localiza na parte externa do Laboratório de Construção Civil do Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Os sensores distam cerca de 3 metros do solo, que é coberto por grama. No entorno deste local se encontram prédios, com fluxo de pessoas e veículos nas proximidades. A tomada de dados foi realizada a cada 20 segundos, sendo a média deles armazenada a cada 30 minutos.

Na figura seguinte, vê-se a foto da estação utilizada no Campus da USP:



Figura 10 – Estação Meteorológica instalada em frente ao Laboratório de Construção Civil (LCC), Campus da USP (Janeiro/2004).

Na floresta de *Pinus* foram instaladas duas estações meteorológicas automáticas, uma no interior da floresta e outra no alto de uma torre, em torno de 1,0 m acima do dossel da floresta. Ambas estavam equipadas com sensores de temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento e pluviosidade. As medições da temperatura e da umidade relativa do ar acima do dossel e no interior da floresta foram realizadas utilizando-se sensor *Vaisala* HMP45C com abrigo protetor de radiação solar 2,0 m acima do solo (abaixo do dossel). Um piranômetro foi utilizado para medição da radiação solar global incidente sobre o dossel. O sensor para medir a velocidade do vento foi instalado acima do dossel. A aquisição destes dados foi realizada a cada 10 segundos, sendo armazenada a média dos mesmos a cada 30 minutos.

A floresta de *Pinus elliottii* pertence à Estação Experimental de Itirapina, a qual é administrada pelo Instituto Florestal de São Paulo. A Estação Experimental apresenta em torno de 2 mil hectares de reflorestamento e localiza-se em uma área de Cerrado, entre os paralelos 22°00' e 22°15' de latitude Sul e os meridianos 47°45' e 48°00' de longitude Oeste, região central do Estado de São Paulo.



Figura 11.1 – Interior da floresta de *Pinus elliottii* (Janeiro/2004).



Figura 11.2 – Céu visto do interior da floresta de *Pinus elliottii* (Janeiro/2004).

A área de floresta analisada apresenta características representativas dos reflorestamentos da Estação Experimental como espécie, idade e árvores por hectares. O talhão apresenta uma área de 43,02 hectares de floresta de *Pinus elliottii*, implantada inicialmente (1966) com espaçamento entre as

árvores de 2,0 metros. Atualmente, após ter sido submetido a dois desbastes, o talhão apresenta 322 árvores por hectare, com altura média em torno de 18 metros, que são utilizadas economicamente para a produção de resina.

O período considerado para a análise dos dados foi do dia 18 a 20 de maio de 2002, quando se observou a passagem de uma frente fria, tendo em sua retaguarda uma massa de ar polar proveniente da região Antártica. O período considerado como crítico foi aquele registrado entre os dias 18 e 19 de maio, em que se notou grande instabilidade atmosférica durante o avanço da referida frente.

Os resultados deste experimento foram apresentados no VIII Simpósio do curso de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (2002), sendo posteriormente publicado no livro *Pesquisas em meio ambiente*, resultado do evento sob o título "Análise de um episódio climático representativo em área urbana e floresta de *Pinus*".

#### **3.4.2. Episódio climático representativo de primavera**

Este estudo foi apresentado na forma de artigo e apresentação oral no VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, em novembro de 2003. O objetivo do trabalho foi investigar a existência de diferenças nos valores de temperatura e umidade relativa do ar entre dois locais na área urbana da cidade de São Carlos, de modo a confirmar-se a hipótese de que espaços urbanos com maior volume de vegetação arbórea apresentam melhores condições de percepção do conforto térmico para os seres humanos.

O campus da USP/São Carlos se localiza na região central da cidade (porém de menor densidade de edificações), sendo um dos poucos locais públicos da cidade a apresentar áreas verdes relativamente significativas em relação à área construída. Uma das estações meteorológicas foi instalada em local conhecido como "bosque da Química", uma vez que fica próximo ao Instituto de Química de São Carlos. O bosque (22°00'16"S e 47°53'50"W, 847 metros) apresenta formato aproximadamente retangular, com 38,5m (direção leste-oeste) por 57,5m (direção norte-sul), tendo ao seu redor superfícies impermeabilizadas e prédios com dois ou mais pavimentos. O solo do bosque

não é pavimentado, sendo coberto por serapilheira<sup>14</sup>. A estação foi instalada no interior da Oficina de Manutenção Predial, próxima ao bosque.

A praça Coronel Salles (22°01'00"S e 47°53'22"W, 855 metros) também está localizada no centro da cidade. O número de árvores é reduzido, sendo insuficiente para o seu sombreamento. O solo é totalmente impermeabilizado e o entorno é caracterizado pela existência de prédios altos e trânsito intenso de veículos. Os sensores da estação meteorológica utilizada aqui permaneceram no pátio da Escola Estadual "Paulino Carlos", localizada na praça.



Figura 12.1 – Interior do “bosque da Química” (Janeiro/2004).

<sup>14</sup> Refere-se à camada superficial do solo de florestas e bosques, composta por restos vegetais (folhas, ramos etc) em decomposição em contato com a terra.



Figura 12.2 – Céu visto através das copas das árvores do bosque da Química (Janeiro/2004).

É possível visualizar nas fotos a serapilheira que compõe o piso do bosque, fator importante na diminuição do aquecimento do ar em relação a aquele promovido pela cobertura asfáltica. Os prédios que circundam o bosque, no entanto, podem contribuir para o aquecimento do ar do interior do mesmo através da re-emissão da radiação solar.



Figura 13.1 – Vista Norte (Câmara Municipal) da Praça Coronel Salles (Janeiro/2004).

A distância entre as duas áreas de estudo é de aproximadamente um quilômetro.

Foram tomadas temperaturas de bulbo seco (TBS) para o estudo da temperatura do ar. Para se verificar os valores de umidade do ar, foram utilizados termômetros de bulbo seco (TBS) e de bulbo úmido (TBU).

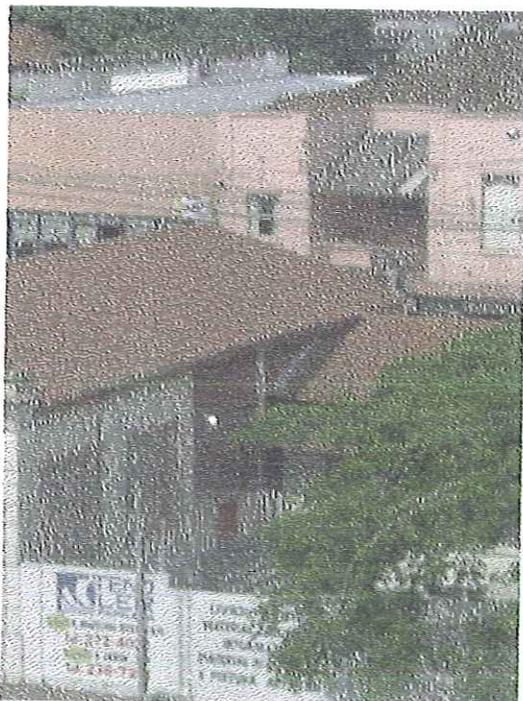


Figura 13.2 – Vista Leste (Pátio da Escola Paulino Carlos em detalhe) da Praça Coronel Salles (Janeiro/2004).

As temperaturas de bulbo úmido obtidas, conforme era esperado, foram sempre menores que as observadas nos termômetros de bulbo seco, uma vez que o processo de evaporação na superfície da gaze úmida absorvia a energia do termopar percebida como calor proporcionalmente à secura do ar.

Tanto no bosque quanto na praça, os sensores foram colocados cerca de 3 metros acima do solo, de maneira a evitar que sofressem danos ou interferências por parte de transeuntes. O registro de dados foi realizado a cada 20 segundos, sendo a média deles armazenada a cada 30 minutos.

O período representativo considerado para a análise dos dados foi do dia 25 a 28 de outubro de 2002, durante a fase de domínio de uma massa de ar tropical quente e seca.

### 3.4.3. Episódios climáticos representativos de inverno

No ano de 2003, realizou-se a tomada de dados meteorológicos em diferentes pontos da cidade.

Os dados foram coletados a partir das estações meteorológicas automáticas instaladas nos seguintes pontos:

**Quadro 5 – Pontos monitorados por estações meteorológicas**

Local	Micro-Bacia Hidrográfica	Características
USP São Carlos	Córrego do Tijuco	Fundo de vale; ausência de vegetação arbórea; estação instalada em local com edificações esparsas.
Bosque do Bairro Estância Suíça	Córrego do Tijuco	Fundo de vale; bosque plantado em área residencial com edificações baixas; espaçamento entre as árvores de cerca de três metros.
Proximidades da Faculdade de Direito	Córrego do Gregório	Divisor de águas; vegetação arbórea nas proximidades.
Defesa Civil de São Carlos	Córrego do Gregório	Divisor de águas; área impermeabilizada sem vegetação arbórea; entorno com maior densidade de edificações.



Figura 14.1 – Interior do bosque da Estância Suíça (Janeiro de 2004).

O que se pretendeu comprovar quantitativamente neste estudo foi se os pontos estudados apresentavam microclimas diferentes. Assim, aproveitou-se a oportunidade da existência de estações instaladas na maior parte dos pontos<sup>15</sup> (com exceção do bosque) para o monitoramento das variáveis de temperatura e umidade do ar.



Figura 14.2 – Céu visto através das copas das árvores do bosque da Estância Sufça (Janeiro/2004).

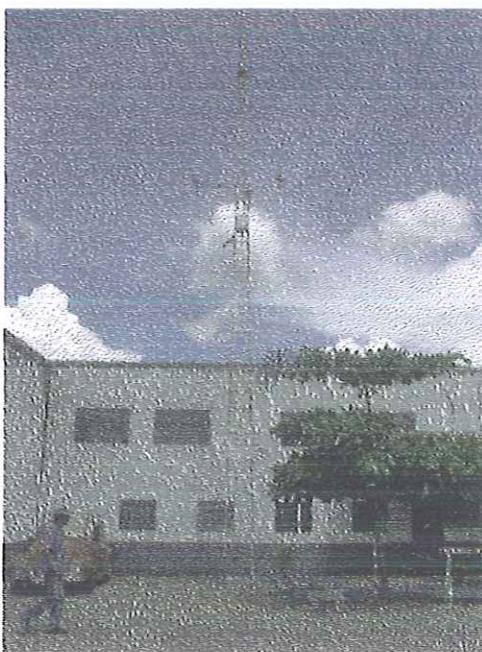


Figura 15 - Estação meteorológica instalada na Defesa Civil de São Carlos (Janeiro/2004).

<sup>15</sup> A estação meteorológica do Campus da USP pertence ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo, enquanto que aquelas localizadas nas proximidades da FADISC e na Defesa Civil servem ao Projeto Bacia Urbana Sustentável, coordenado pelo Prof. Dr. Mário Mendiondo, Departamento de Hidráulica e Saneamento (FINEP/FNDCT/CT-HIDRO, 2002).

Assim, foram analisados episódios climáticos representativos de períodos críticos para a saúde e o conforto humanos. Os mesmos foram assim definidos por apresentarem simultaneamente valores reduzidos de umidade e elevados de temperatura do ar. O último episódio escolhido para análise ocorreu no período de 18 a 24 de agosto de 2003, dias em que a umidade do ar atingiu valores menores que 20%, enquanto que as temperaturas ficaram próximas de 30° C nas horas mais quentes do dia.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As massas de ar, segundo Cuadrat & Pita (1997), são volumes de ar de centenas ou milhares de quilômetros de comprimento e vários quilômetros de altura. Suas propriedades físicas, como temperatura e umidade, são uniformes no plano horizontal. Suas características (quente, fria, úmida ou seca) são alteradas pelo contato com a superfície das regiões geográficas por onde passam. As características do tempo atmosférico dependem das propriedades iniciais da massa de ar e das mudanças que a mesma sofre ao longo de sua trajetória.

A seguir, são apresentados os resultados dos experimentos realizados durante a ocorrência de episódios climáticos representativos:

### 4.1. Estudo de caso 1: Episódio climático representativo de outono (pré-frontal)



Figura 16.1 – Imagem da América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 18 de maio de 2002.

Fonte: INPE (2002).



Figura 16.2 – Imagem da América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 19 de maio de 2002.

Fonte: INPE (2002).



Figura 16.3 – Imagem da América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 20 de maio de 2002.

Fonte: INPE (2002).

Nas figuras anteriores, é possível visualizar a chegada de uma massa de ar polar sobre a Região Sudeste do Brasil e, mais precisamente, sobre o Estado de São Paulo.

As partes mais claras das figuras representam nuvens de chuva. Pode-se ver que estas, fortemente presentes sobre a Região Sul, avançam pouco a

pouco sobre o Estado de São Paulo, configurando as fases de avanço (Pré-Frontal) no dia 18/05 e de domínio (Pós-Frontal) nos dias 19 e 20/05.

Nos gráficos seguintes, vêem-se no dia 18/05/2002 a elevação dos valores de temperatura (gráficos 16.1 a 16.3) e a queda brusca dos valores de umidade relativa do ar (gráficos 17.1 a 17.3), fato característico das entradas de frentes, que têm em suas retaguardas massas de ar mais frias e úmidas.

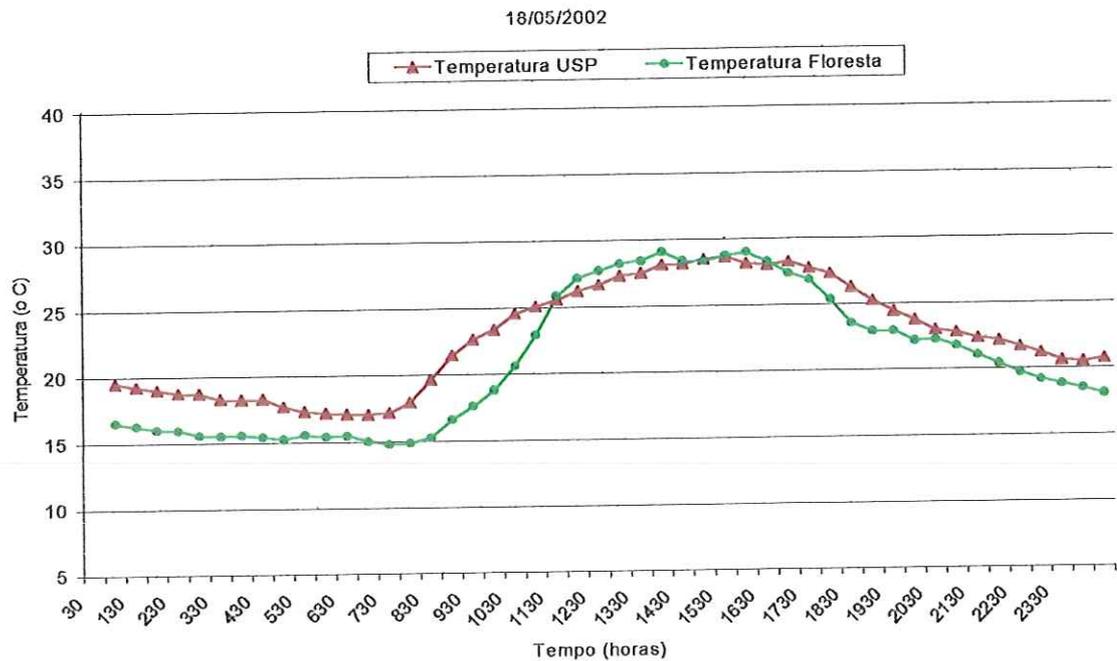


Figura 17.1 – Gráfico da temperatura do ar (°C) no campus da USP São Carlos e no interior da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina) em 18 de maio de 2002 .

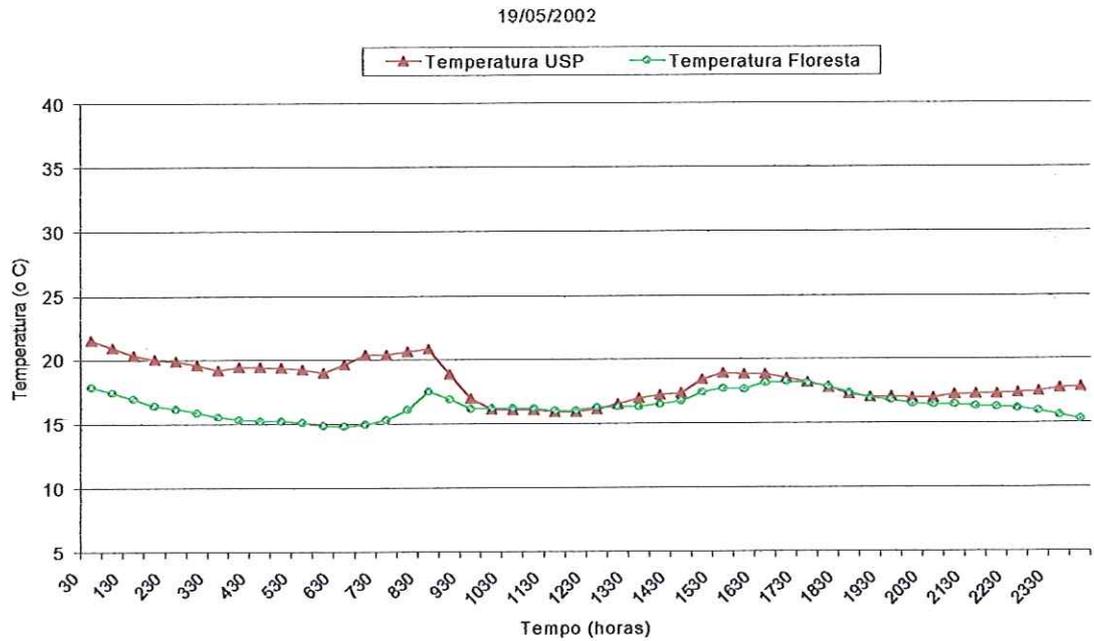


Figura 17.2. Gráfico da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) no campus da USP São Carlos e no interior da floresta de *Pinus eliottii* (Itirapina) em 19 de maio de 2002.

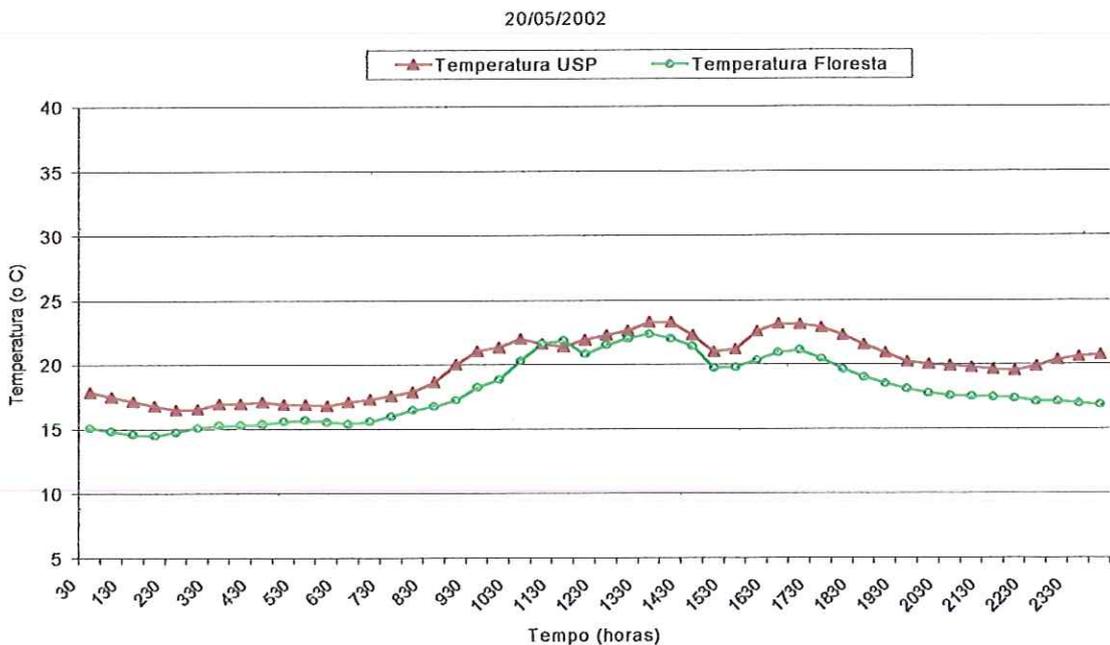


Figura 17.3. Gráfico da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) no campus da USP São Carlos e no interior da floresta de *Pinus eliottii* (Itirapina) em 20 de maio de 2002.

No gráfico 16.1, nota-se que as medidas de temperatura foram ligeiramente diferentes do esperado, uma vez que justamente no período mais crítico, ou seja, as horas da tarde do dia 18/05 (entre 12:30h e 17:00h), a temperatura da floresta ( $29^{\circ}\text{C}$ ) se apresentou semelhante à verificada na

cidade (28,5°C). A explicação encontrada para tal foi o fato da floresta se apresentar bastante desbastada no local das medições, onde a distância entre as árvores é de cerca de 6 metros. Dessa forma, o solo fica exposto aos raios solares nos horários em que o sol se encontra a pino, absorvendo radiação de ondas curtas. A radiação re-emitada pelo solo, de onda longa, aquece o ar, que tende a permanecer sob a copa das árvores.

Em muitos momentos, todavia, as temperaturas da floresta se mostraram significativamente menores que na cidade, demonstrando ser verdadeira a afirmação de que a cidade (ao menos a parte monitorada para esse estudo) tende a ser mais quente do que as áreas rurais em seu entorno.

Nos gráficos a seguir vêem-se as diferenças entre os valores de umidade relativa do ar da floresta, mais elevados, e os da cidade, menores, devido provavelmente à ocorrência de evapotranspiração das árvores e à tendência da manutenção do vapor d'água sob as copas das árvores.

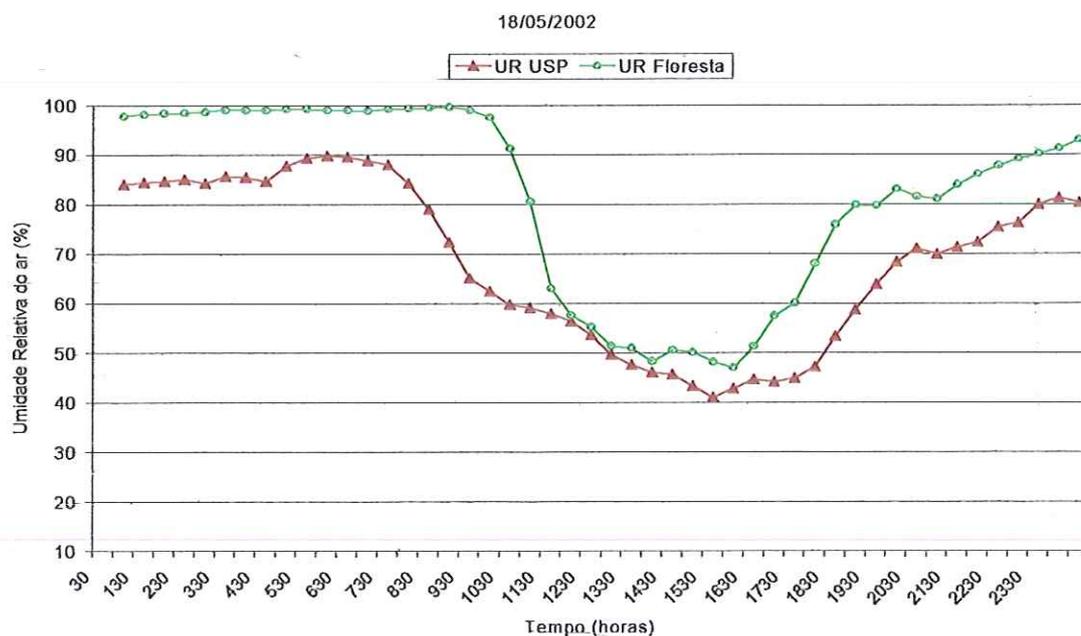


Figura 18.1. Gráfico de umidade relativa do ar (%) no campus da USP São Carlos e no interior da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina) em 18 de maio de 2002.

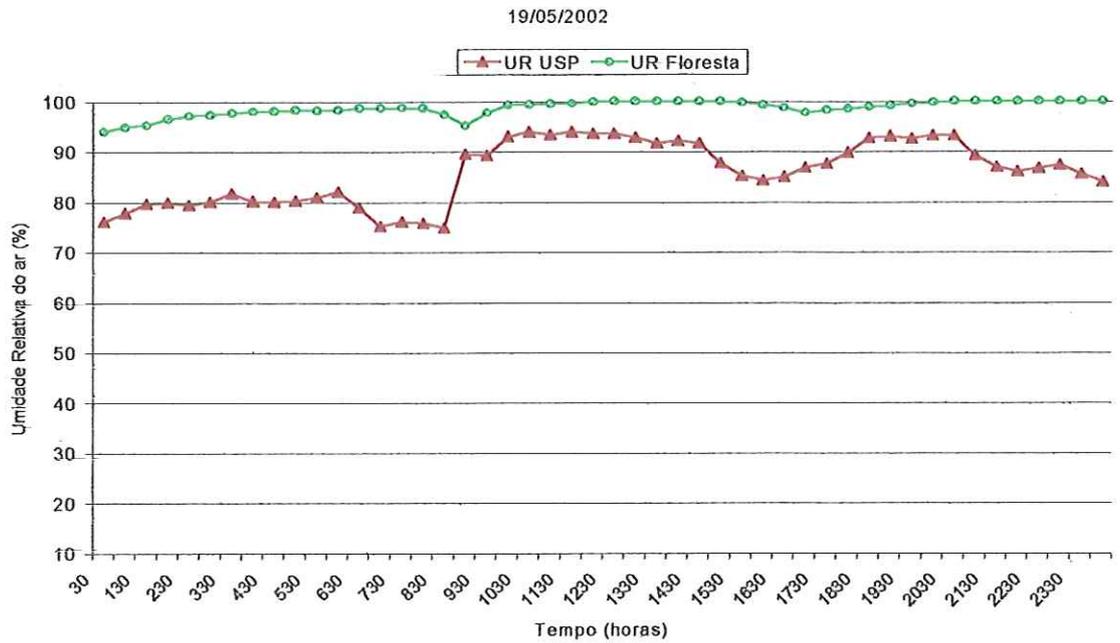


Figura 18.2. Gráfico de umidade relativa do ar (%) no campus da USP São Carlos e no interior da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina) em 19 de maio de 2002.

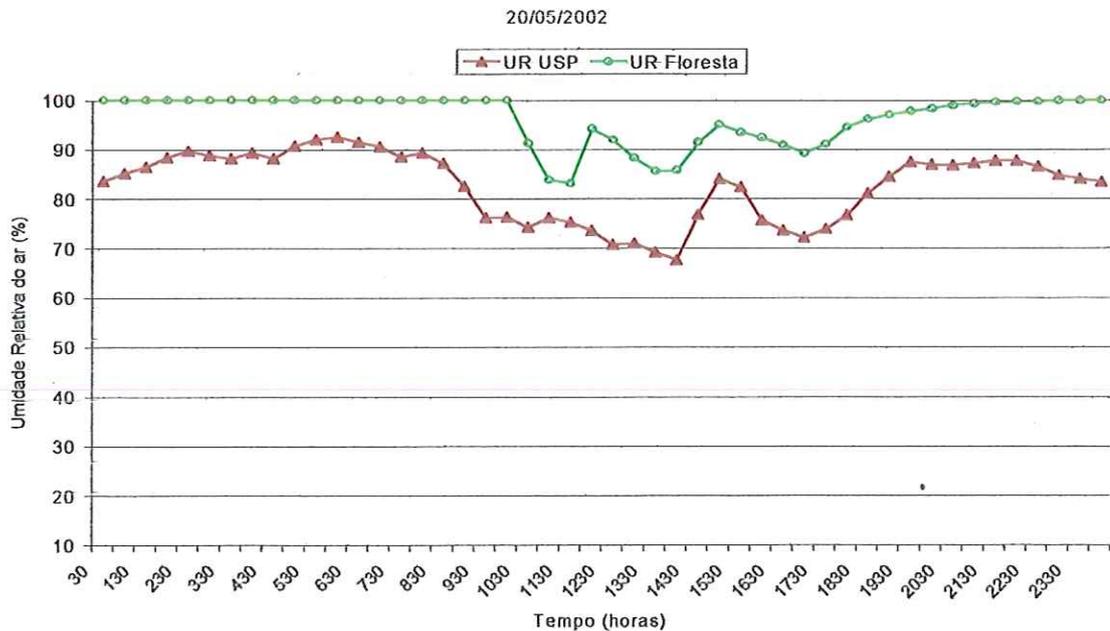


Figura 18.3. Gráfico de umidade relativa do ar (%) no campus da USP São Carlos e no interior da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina), no dia 20 de maio de 2002.

Quanto aos valores de umidade relativa do ar, conforme se verifica nos gráficos 17.1 a 17.3, a floresta apresenta maior capacidade de retenção do

18.1 a 18.3

vapor d'água produzido pelas árvores de seu interior, daí a presença de maior umidade nesta em comparação com os valores medidos na cidade.

Nos gráfico seguintes, é observada a diminuição dos valores de radiação solar global, a partir do dia 19 de maio. Isto é explicado pelo aumento da nebulosidade normalmente ocasionado pelo domínio da massa de ar polar úmida.

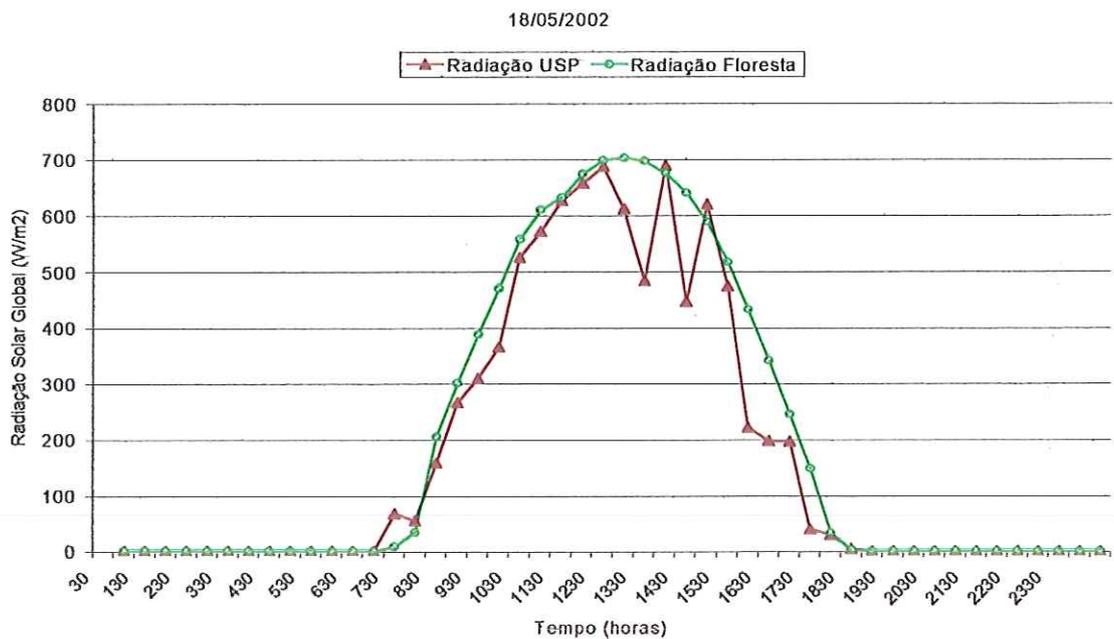


Figura 19.1. Gráfico de radiação solar global ( $W/m^2$ ) no campus da USP São Carlos e no interior da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina), no dia 18 de maio de 2002.

Nos dois próximos gráficos, vê-se que houve maior nebulosidade sobre a cidade que sobre a floresta.

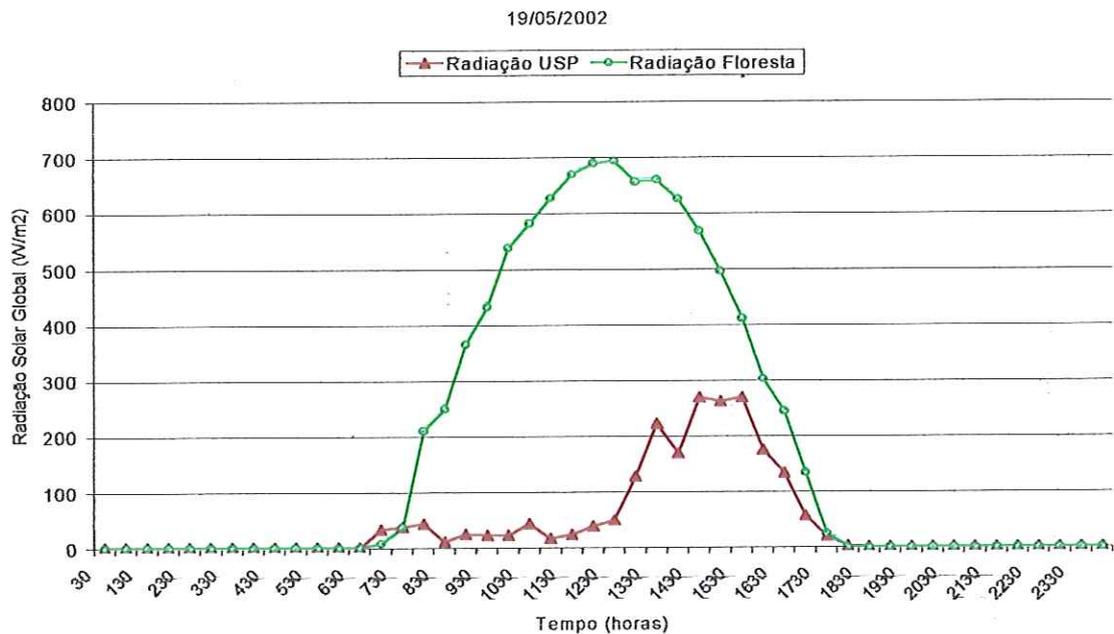


Figura 19.2. Gráfico de radiação solar global (W/m<sup>2</sup>) no campus da USP São Carlos e no interior da floresta de *Pinus Elliottii* (Itirapina), no dia 19 de maio de 2002.

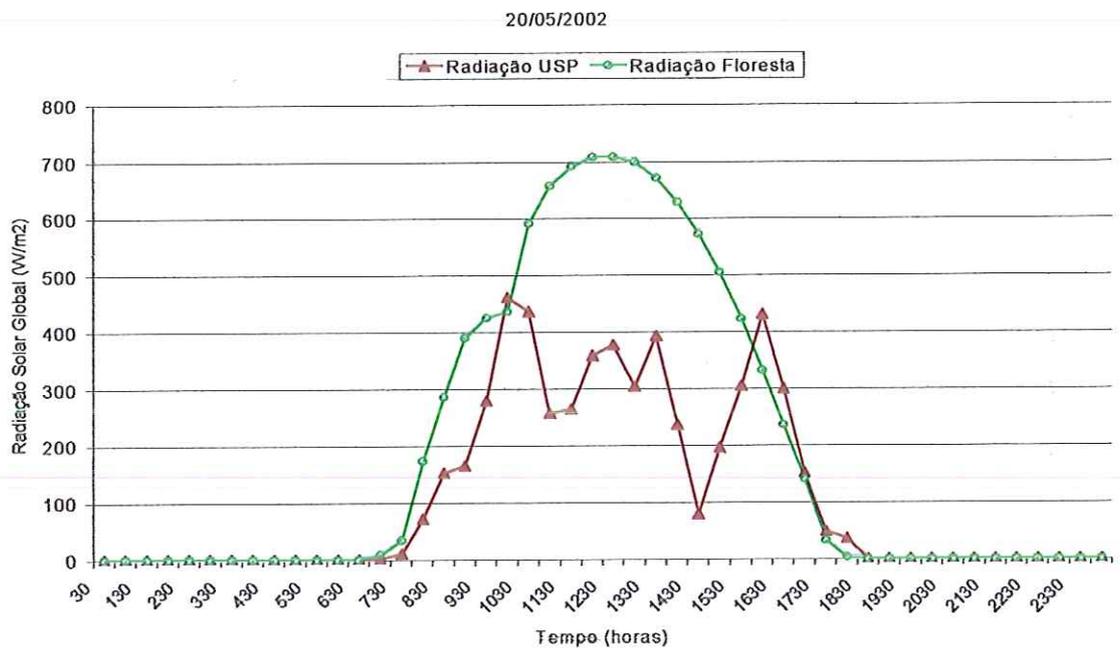


Figura 19.3. Gráfico de radiação solar global (W/m<sup>2</sup>) no campus da USP São Carlos e no interior da floresta de *Pinus Elliottii* (Itirapina), no dia 20 de maio de 2002.

Pode-se verificar a tendência, nos gráficos 19.1 a 19.3, ao aumento da velocidade de escoamento do fluxo de ar em escala local em ambos os locais de estudo, fato que tem lugar especialmente no dia 19 de maio. A instabilidade atmosférica característica da entrada de uma nova massa de ar normalmente

provoca rajadas de vento. Os valores elevados de velocidade do vento constatados na cidade se explicam pela maior turbulência no fluxo do ar, provocada pela sua superfície rugosa. O traçado das ruas e os "cânions" formados pelas edificações nas mesmas promovem a "canalização" do vento, com conseqüente aumento na sua velocidade.

As direções do vento observadas nos gráficos seguintes são interpretadas na seguinte maneira:

- Entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ : direção Nordeste (NE);
- Entre  $90^\circ$  e  $180^\circ$ : direção Sudeste (SE);
- Entre  $180^\circ$  e  $270^\circ$ : direção Sudoeste (SW);
- Entre  $270^\circ$  e  $360^\circ$ : direção Noroeste (NW).

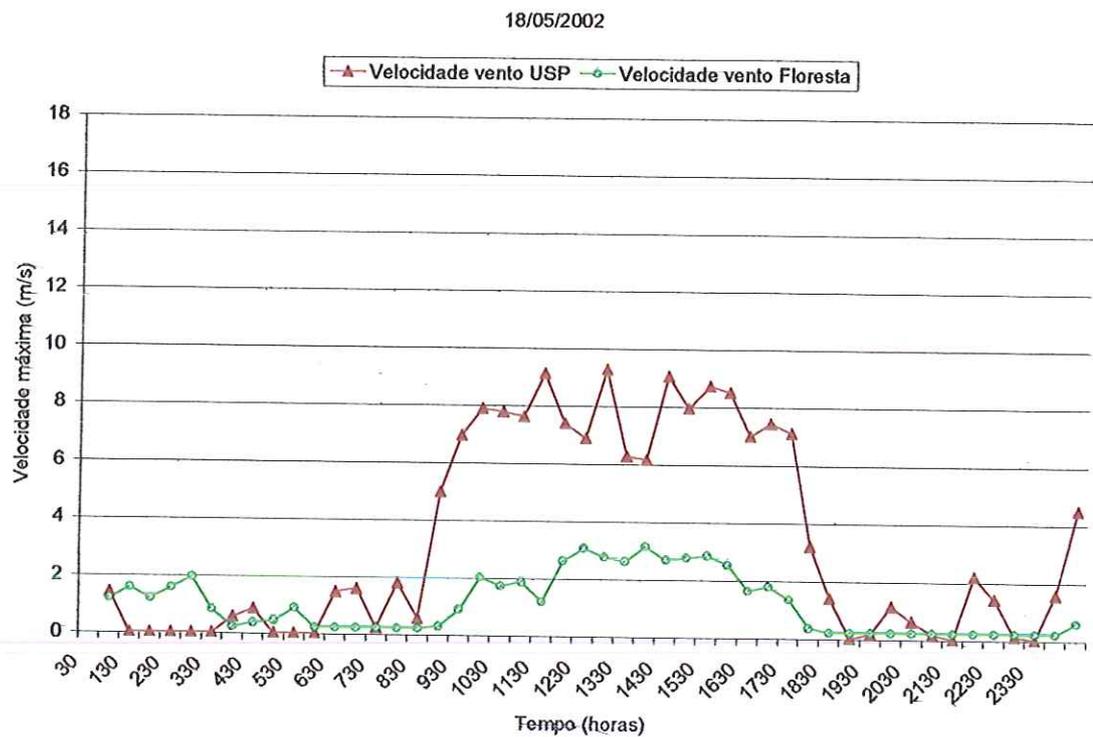


Figura 20.1. Gráfico da Velocidade do vento no campus da USP São Carlos e acima do dossel da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina) em 18 de maio de 2002.

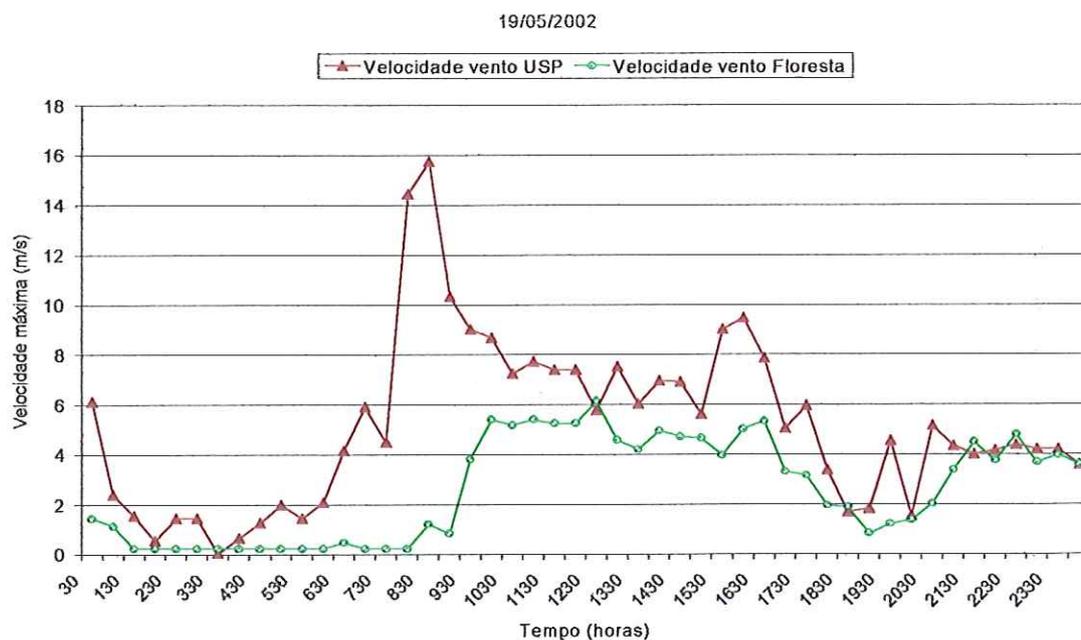


Figura 20.2. Gráfico da Velocidade do vento no campus da USP São Carlos e acima do dossel da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina) em 19 de maio de 2002.

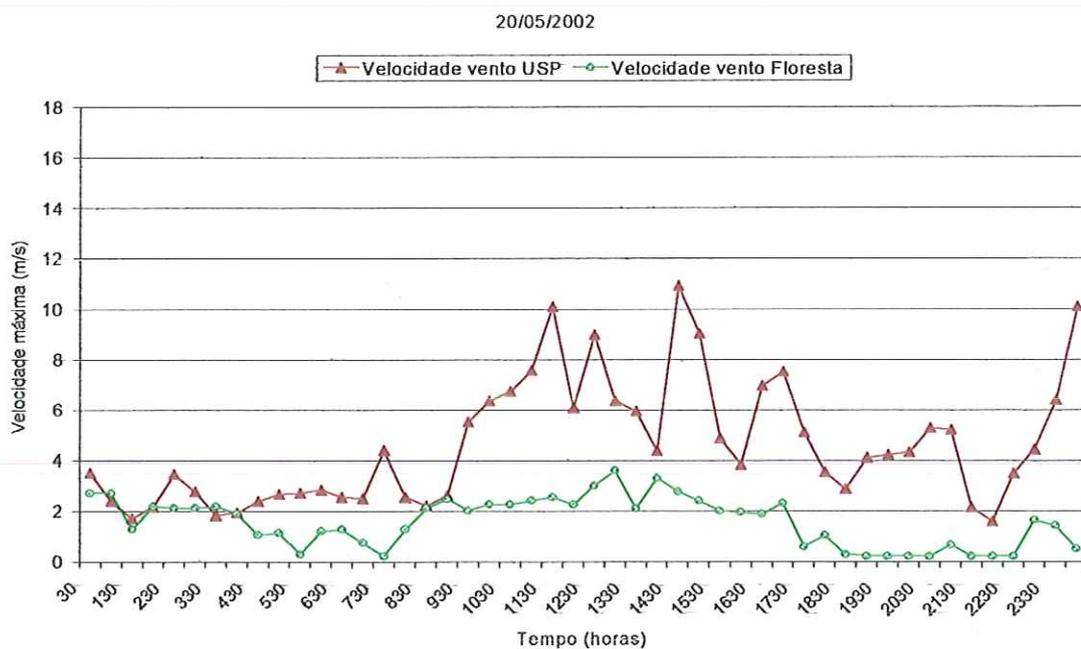


Figura 20.3. Gráfico da Velocidade do vento no campus da USP São Carlos e acima do dossel da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina) em 20 de maio de 2002.

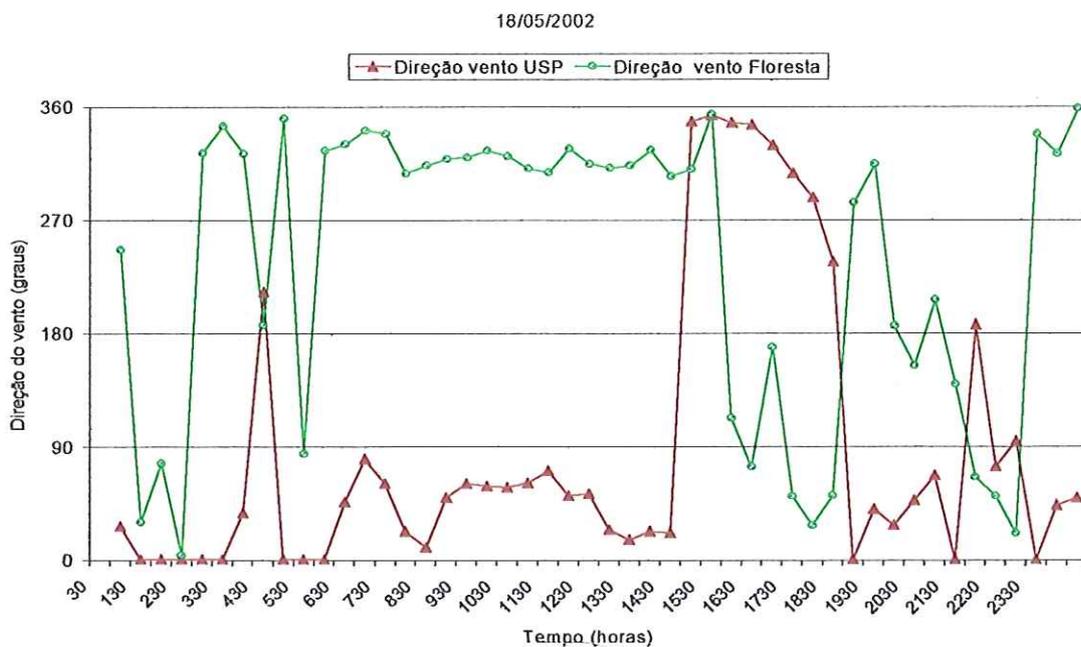


Figura 21.1. – Gráfico da Direção do vento no campus da USP São Carlos e acima do dossel da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina) em 18 de maio de 2002.

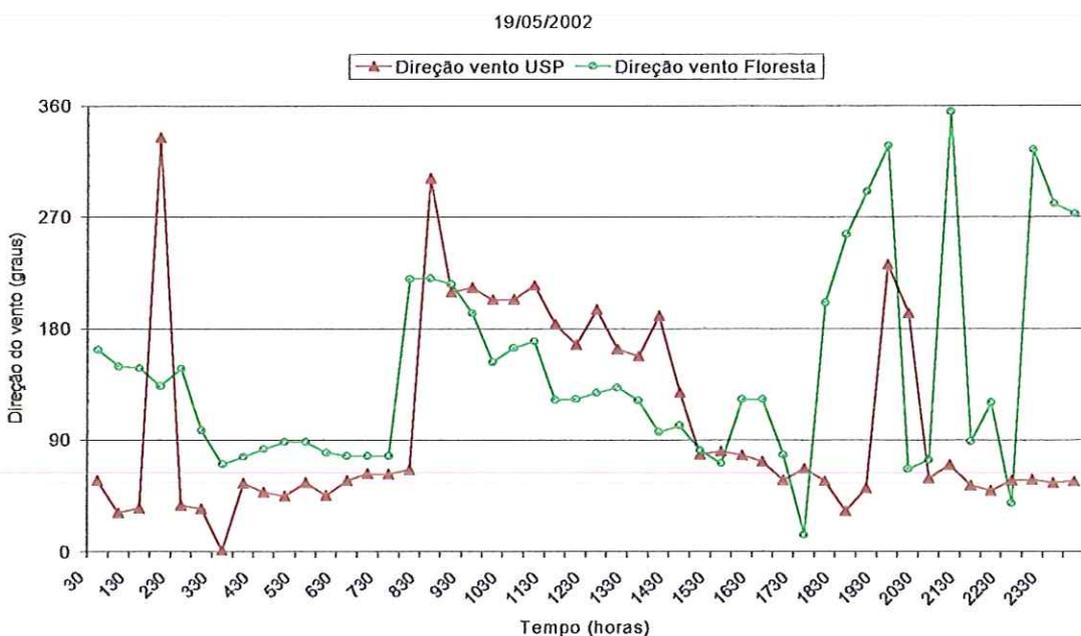


Figura 21.2. – Gráfico da Direção do vento no campus da USP São Carlos e acima do dossel da floresta de *Pinus elliottii* (Itirapina) em 19 de maio de 2002.

É oportuno lembrar que a razão da diferença entre as distintas direções observadas do vento, na cidade e na floresta, conforme dito anteriormente (p. 65), deve-se provavelmente à canalização do vento no ambiente urbano.

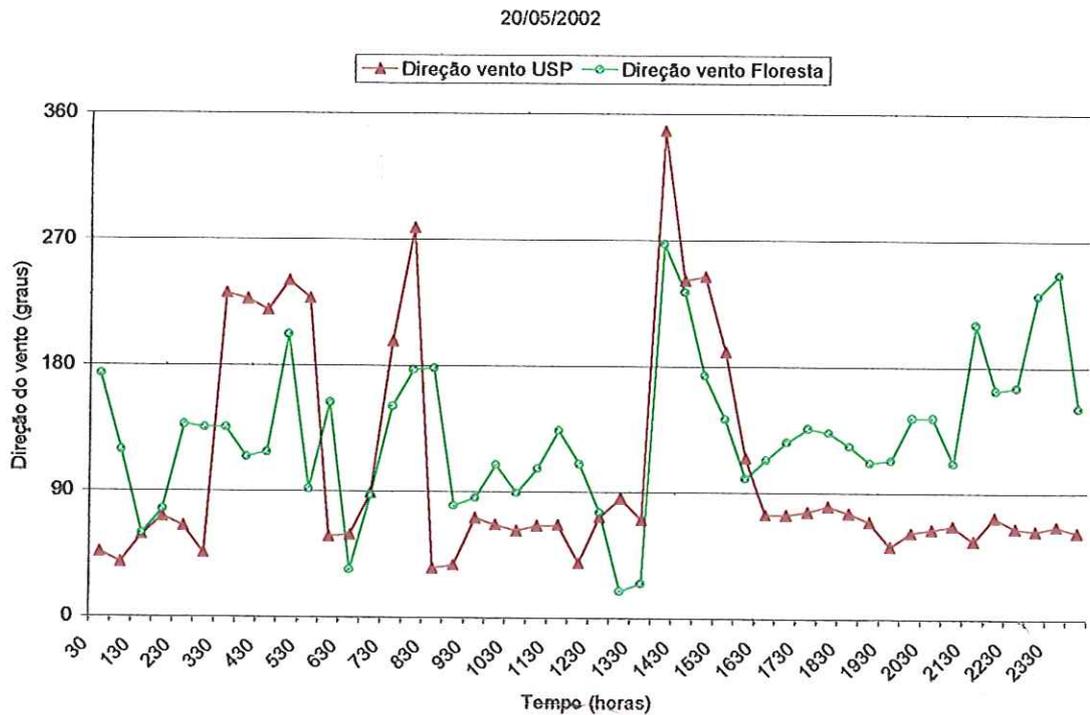


Figura 21.3. – Gráfico da Direção do vento no campus da USP São Carlos e acima do dossel da floresta de *Pinus elliotii* (Itirapina) em 20 de maio de 2002.

No dia 18 de maio, observou-se mudança de direção do fluxo de ventos, devido à instabilidade atmosférica que precede a entrada da massa de ar. O vento de NW indica a presença de uma massa de ar polar avançando sobre a região de São Carlos. Ao final do dia 18, com a entrada da massa de ar, a direção do fluxo de ventos se altera para SE. Ocorre então queda nos valores de temperatura, céu encoberto e aumento da umidade relativa do ar, confirmados pelos gráficos anteriores.

Os ventos do quadrante NE passaram a predominar no Campus da USP após a tropicalização da massa de ar Polar, nos dias 19 e 20. Isto indicou o novo domínio de uma Massa Tropical Atlântica, evidenciada pela tendência à elevação das temperaturas, que, de fato, é observada no primeiro gráfico.

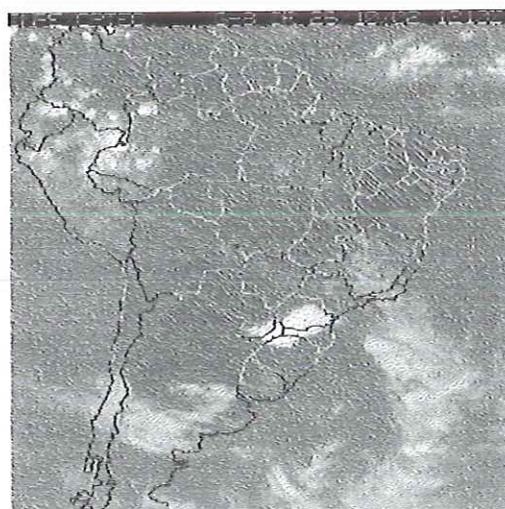
#### 4.2. Estudo de caso 2: Episódio de primavera (domínio de massa de ar quente e seca)

À época das medições, a região sudeste do Brasil atravessava um período habitual de menor índice pluviométrico que durava mais de três meses. Esse fato é evidenciado pelas imagens do satélite GOES, nas figuras seguintes:



Figura 22.1 – Imagem da América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 25 de outubro de 2002.

Fonte: INPE (2002).



Figuras 22.2 – Imagem da América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 26 de outubro de 2002.

Fonte: INPE (2002).

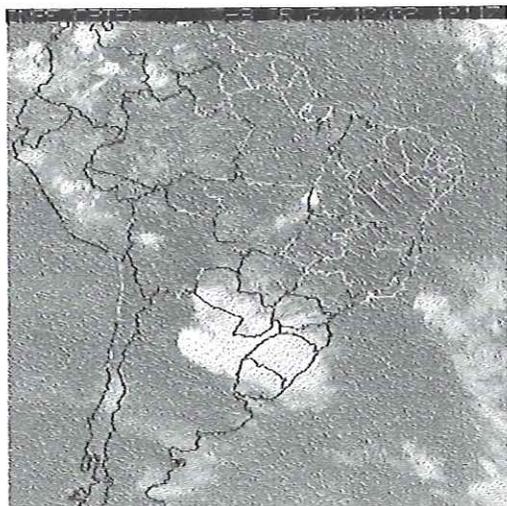


Figura 22.3 – Imagem da América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 27 de outubro de 2002.

Fonte: INPE (2002).

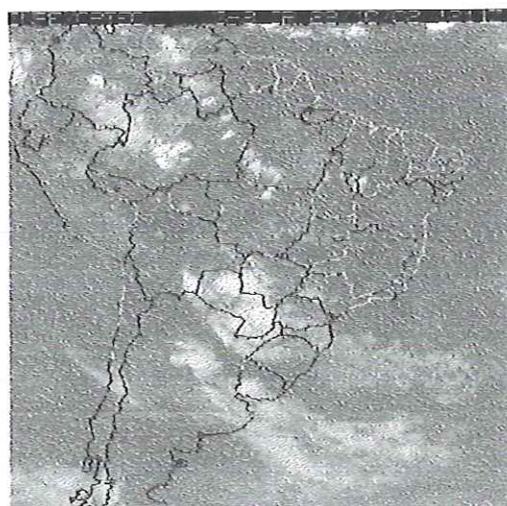


Figura 22.4 – Imagem da América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 28 de outubro de 2002.

Fonte: INPE (2002).

Nota-se que há poucas nuvens sobre o Estado de São Paulo (e também sobre o Brasil como um todo, com exceção da Região Sul). A partir da segunda imagem, vê-se que as nuvens de chuva que estavam sobre a Região Sul desviam-se em direção ao Oceano Atlântico ou se dissipam ao invés de avançarem sobre a Região Sudeste e Centro-Oeste.

Nos gráficos a seguir, verificam-se as diferenças existentes entre as temperaturas do ar no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles.

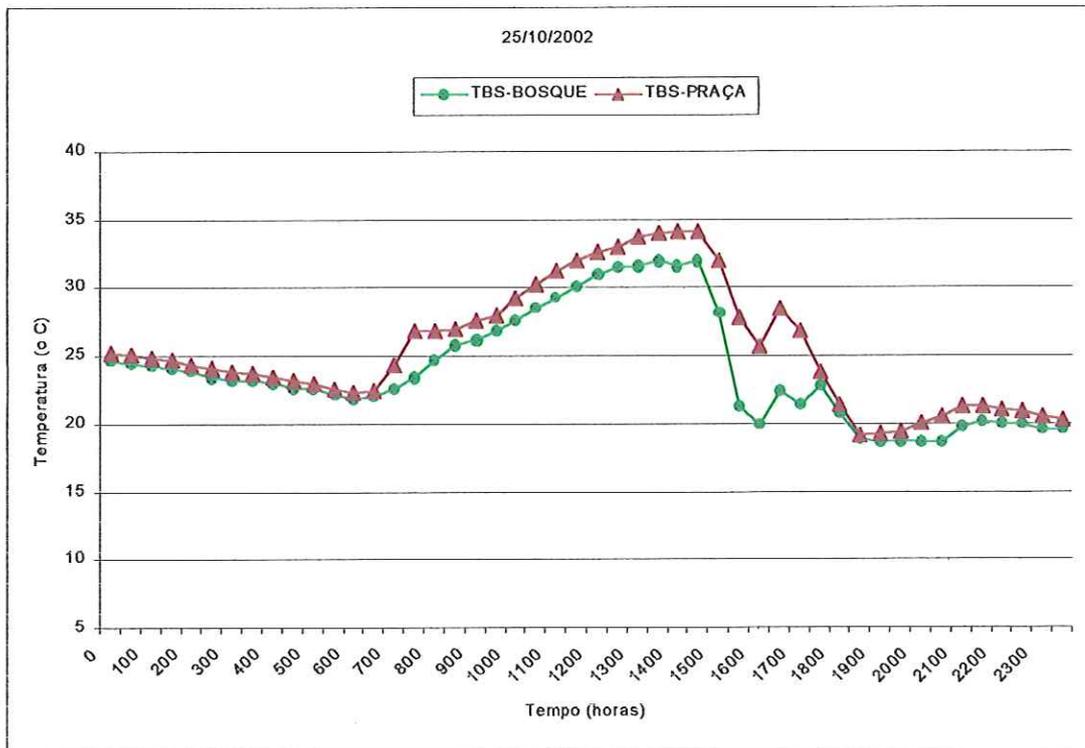


Figura 23.1. Gráfico de Temperatura de Bulbo Seco (TBS) no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles (centro da cidade) em 25 de outubro de 2002.

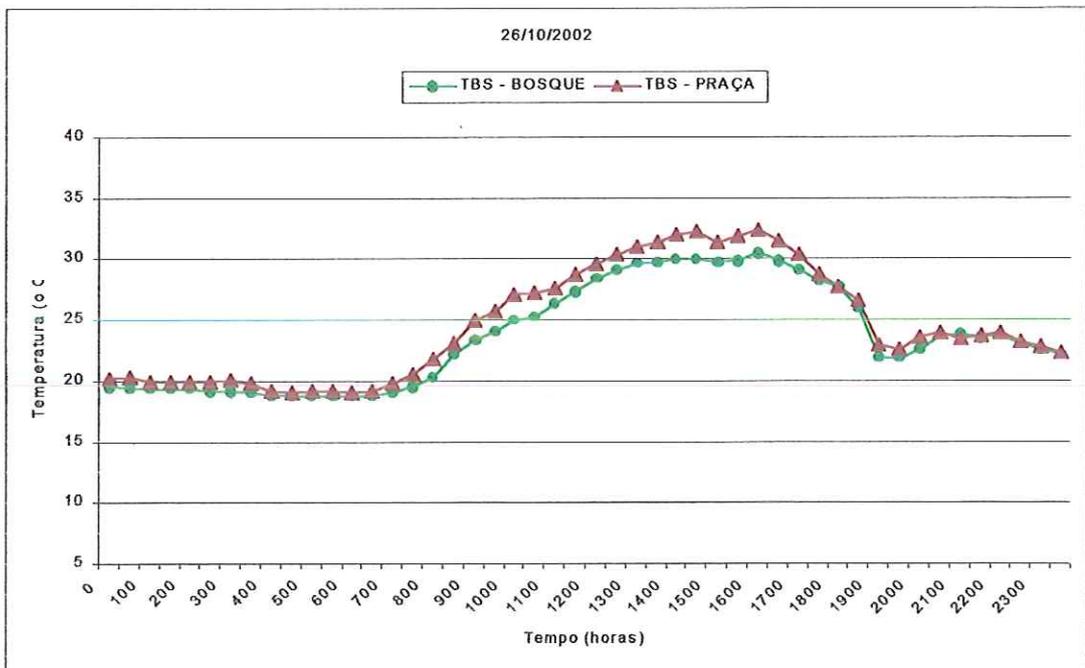


Figura 23.2. Gráfico de Temperatura de Bulbo Seco (TBS) no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles (centro da cidade) em 26 de outubro de 2002.

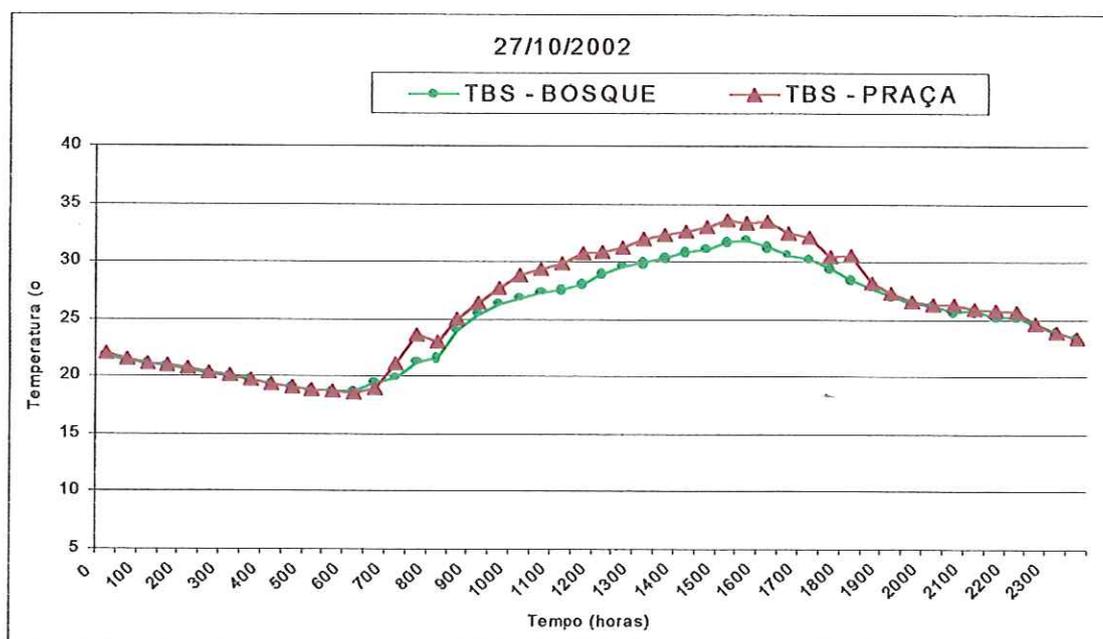


Figura 23.3. Gráfico de Temperatura de Bulbo Seco (TBS) no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles (centro da cidade) em 27 de outubro de 2002.

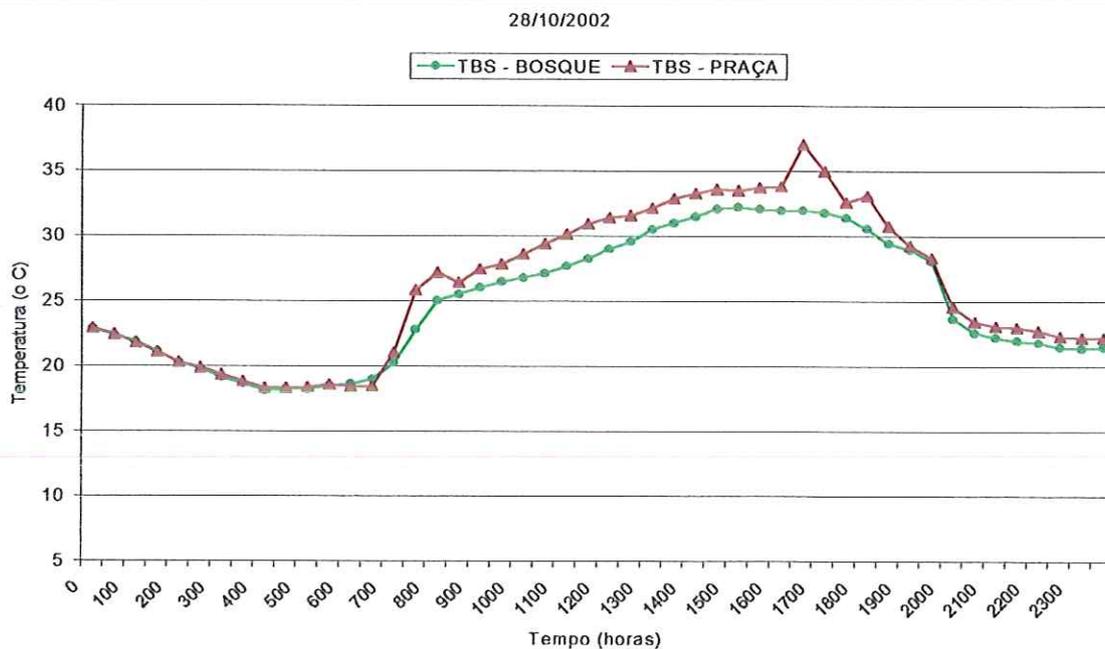


Figura 23.4. Gráfico de Temperatura de Bulbo Seco (TBS) no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles (centro da cidade) em 28 de outubro de 2002.

Observa-se que o bosque apresentou temperaturas mais amenas que as da praça. Isto se deve à evapotranspiração e, sobretudo, ao sombreamento

promovido pelas árvores, que absorveram e refletiram a radiação, impedindo o aquecimento do ar.

As diferenças de temperatura mais significativas entre as áreas estudadas ocorreram durante o dia, nas horas mais quentes, o que decorreu da radiação re-emitida pelas superfícies da praça que circundavam os sensores.

Foram verificadas diferenças de temperatura de 2 a 3° C entre os dois locais de estudo. Embora esses resultados sejam similares aos de outras investigações, tais como Barbosa et al (2003), Linacre & Geerts (1997) e Taha (1997), pode-se considerar a pequena influência do bosque como fator geográfico de modificação do clima, dadas as suas pequenas dimensões. Assim, os valores de temperatura e umidade do ar seguiriam as tendências das escalas meso e macroclimática, aproximando-se, portanto, dos valores registrados na praça Coronel Salles, de característica árida.

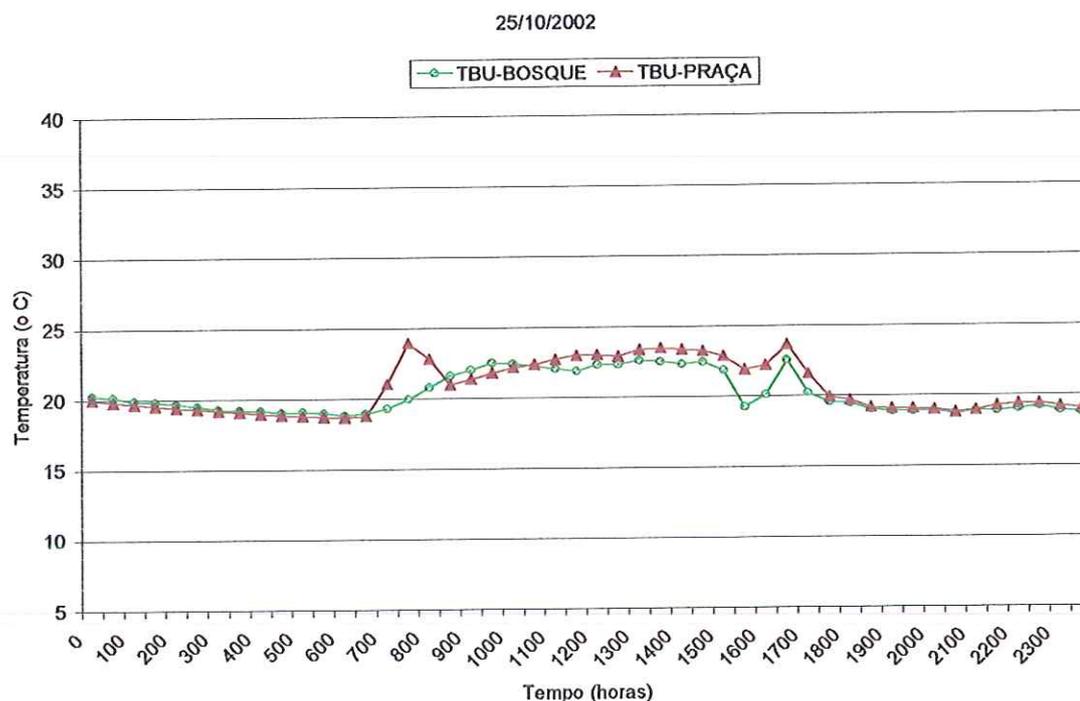


Figura 24.1. Gráfico de Temperatura de Bulbo Úmido (TBU) no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles (centro da cidade) em 25 de outubro de 2002.

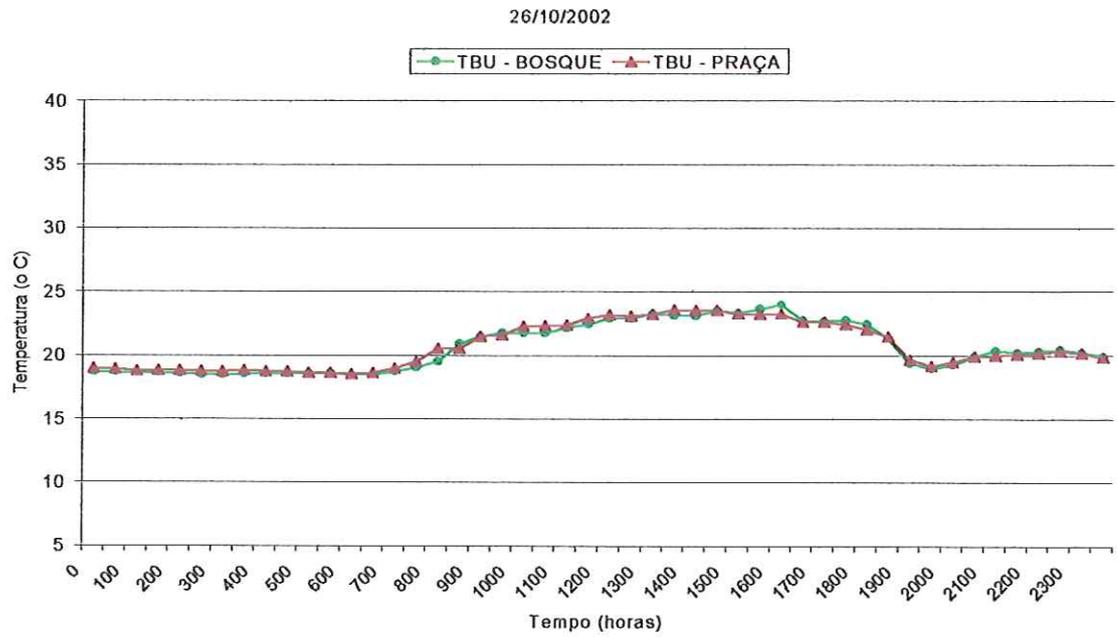


Figura 24.2. Gráfico de Temperatura de Bulbo Úmido (TBU) no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles (centro da cidade) em 26 de outubro de 2002.

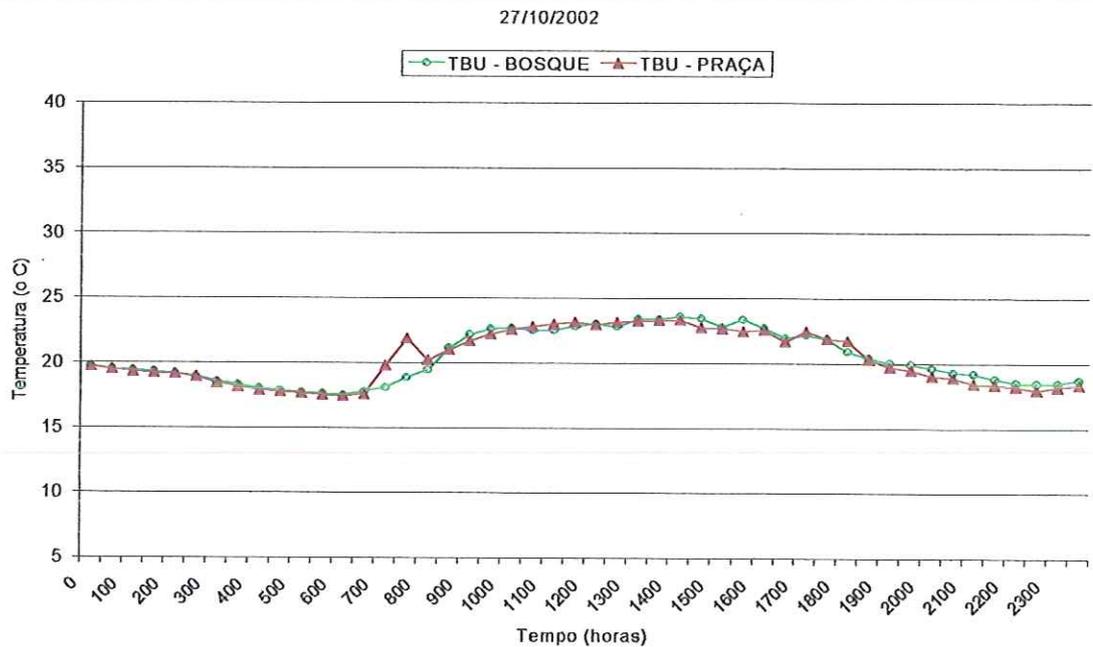


Figura 24.3. Gráfico de Temperatura de Bulbo Úmido (TBU) no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles (centro da cidade) em 27 de outubro de 2002.

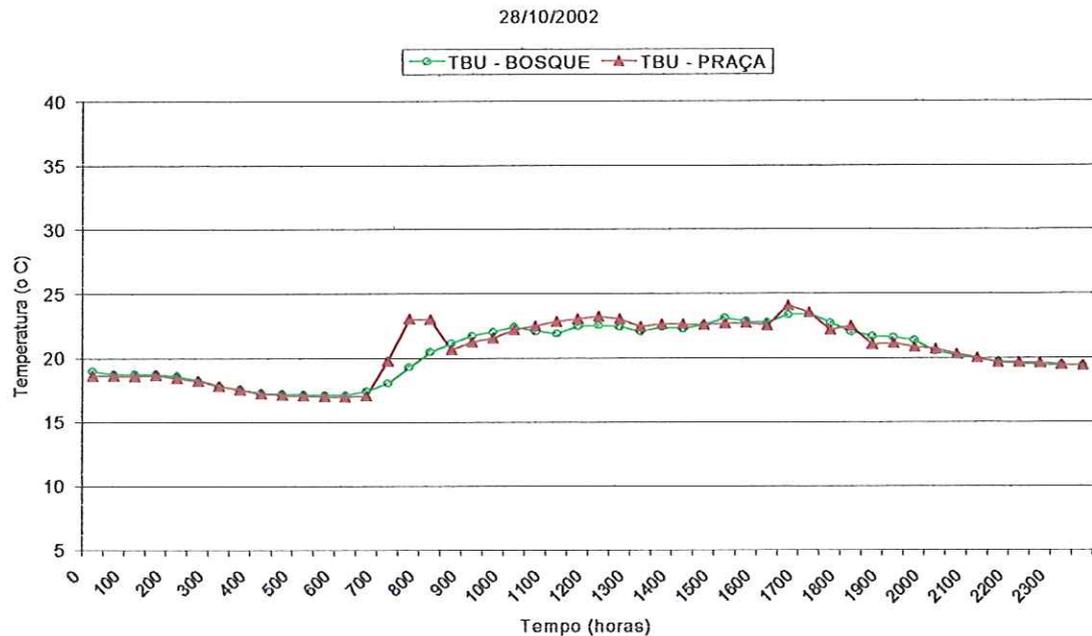


Figura 24.4. Gráfico de Temperatura de Bulbo Úmido (TBU) no bosque do Campus da USP e na Praça Coronel Salles (centro da cidade) em 28 de outubro de 2002.

Seguindo o raciocínio explicitado anteriormente (Cap. 3, p. 60), esperava-se que os locais com ar mais seco seriam aqueles com maior taxa de evaporação; logo, deveriam apresentar menores temperaturas de bulbo úmido. As temperaturas de bulbo úmido obtidas no bosque e na praça apresentaram pequenas diferenças entre si. A explicação para isto é a seguinte: a temperatura do ar da praça foi mais alta que no bosque; assim, na praça, as temperaturas de bulbo úmido seguiriam a tendência das de bulbo seco. Entretanto, a ocorrência de evaporação no termopar estaria “roubando” calor da superfície nos termômetros de bulbo úmido da praça, fazendo com que a diferença entre as temperaturas verificadas nos dois locais diminuísse. Este fato contribuiu para a afirmação inicial de que os ambientes áridos, representados pela praça, apresentam valores de umidade do ar menores que os ambientes arborizados.

#### 4.3. Estudo de caso 3: Episódio climático representativo de inverno (Domínio de massa de ar quente e seca)

Nas imagens obtidas do satélite GOES a seguir, vê-se a ausência de nuvens sobre a região Sudeste brasileira, especialmente sobre o Estado de São Paulo. Isto se deveu à influência da massa de ar quente e seca, proveniente do interior do continente, que provocou o aumento dos valores de temperaturas e a diminuição dos valores de umidade do ar.



Figura 25.1 – América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 18 de agosto de 2003.  
Fonte: INPE (2003).



Figura 25.2 – América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 19 de agosto de 2003.  
Fonte: INPE (2003).



Figura 25.3 – América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 20 de agosto de 2003.  
Fonte: INPE (2003).



Figura 25.4 – América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 21 de agosto de 2003.  
Fonte: INPE (2003).



Figura 25.5 – América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 22 de agosto de 2003.  
Fonte: INPE (2003).



Figura 25.6 – América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 23 de agosto de 2003.  
Fonte: INPE (2003).



Figura 25.7 – América do Sul captada pelo satélite GOES no dia 24 de agosto de 2003.  
Fonte: INPE (2003).

Em todas as imagens, não se vêem nuvens de chuva por todo o Brasil e, em especial, sobre a Região Sudeste e o Estado de São Paulo. Nestes dias, os

valores de umidade relativa do ar atingiram níveis muito baixos (menores que 20%) nas horas mais quentes do dia. Nestes casos, como o risco de se contrair doenças respiratórias é maior, a recomendação pelos serviços de saúde de que todas as atividades em ambiente externo sejam suspensas é um procedimento comum.

Nos gráficos a seguir, vêem-se representados os valores de temperatura obtidos nos locais de estudo. Destaca-se a diferença entre as temperaturas do bosque – 1 a 5° C menores durante o dia e 1 a 4° C maiores durante a noite – em comparação aos outros ambientes desprovidos de vegetação.

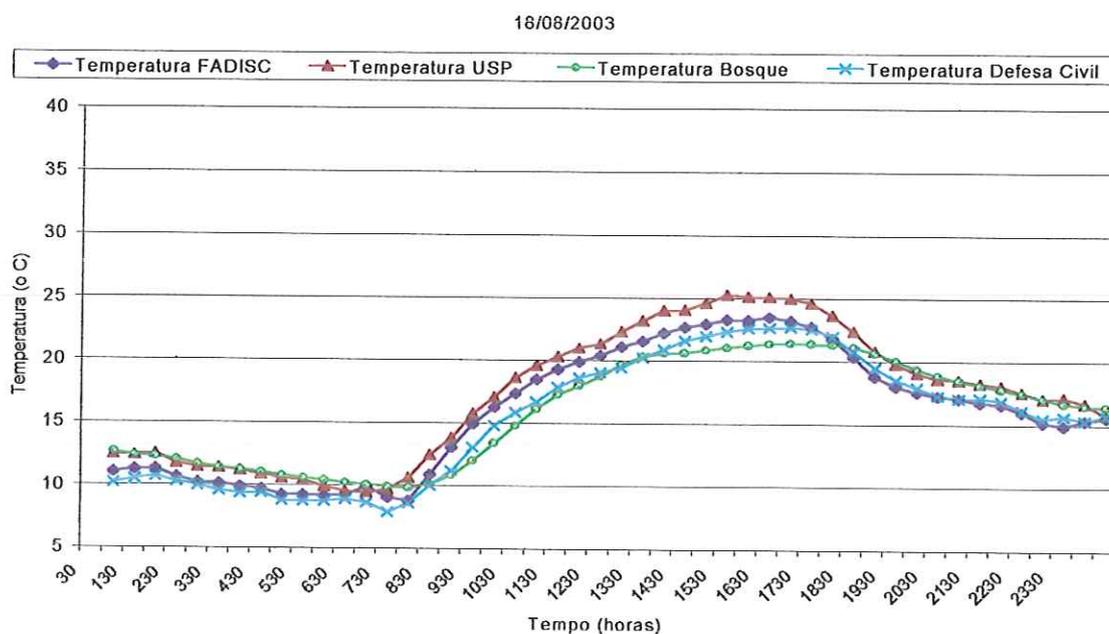


Figura 26.1. Gráfico de Temperaturas (°C) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 18 de agosto de 2003.

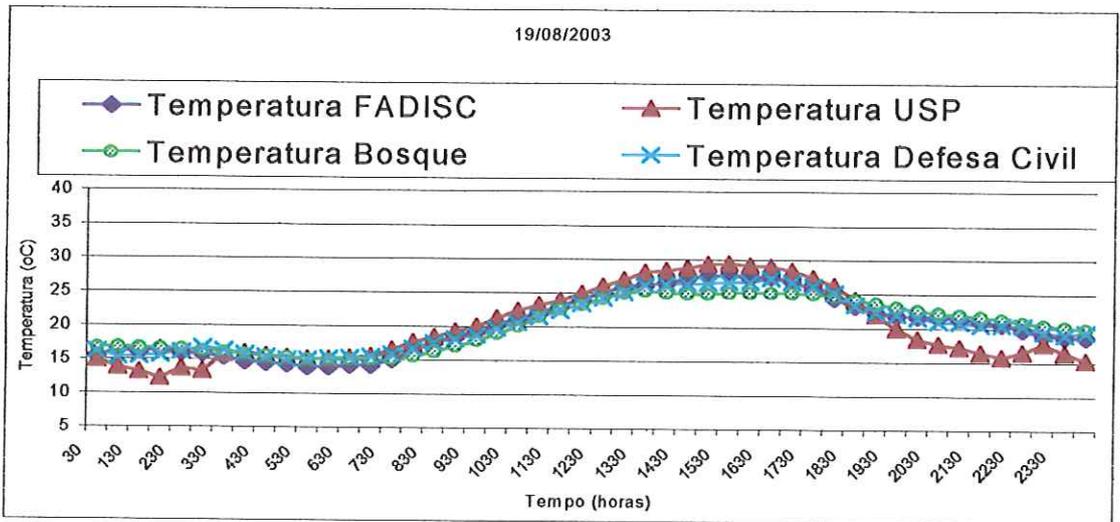


Figura 26.2. Gráfico de Temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 19 de agosto de 2003.

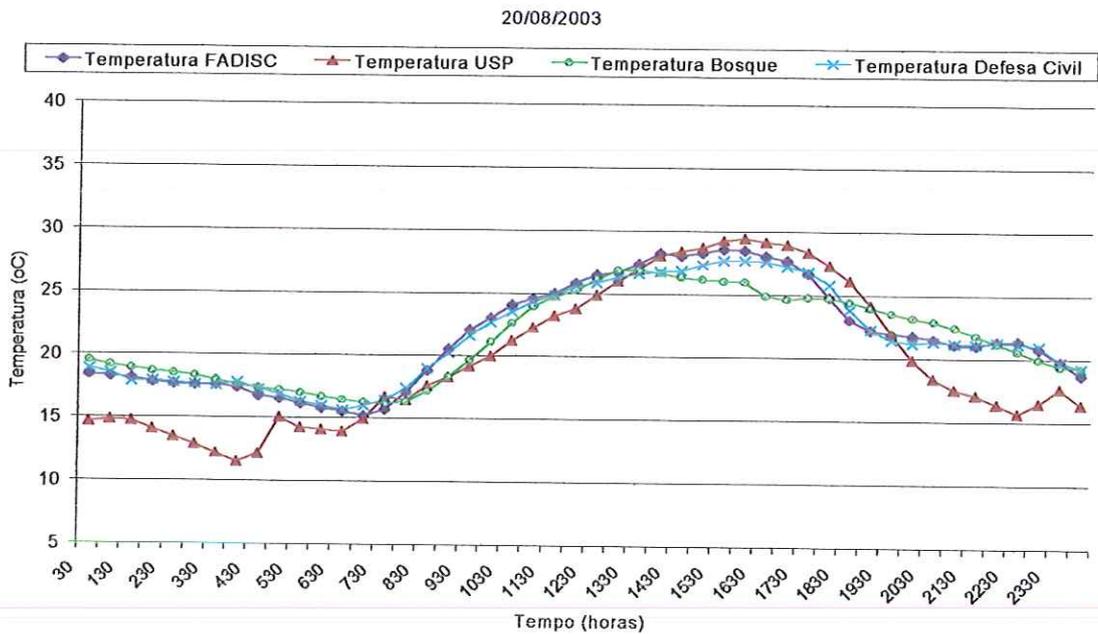


Figura 26.3. Gráfico de Temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 20 de agosto de 2003.

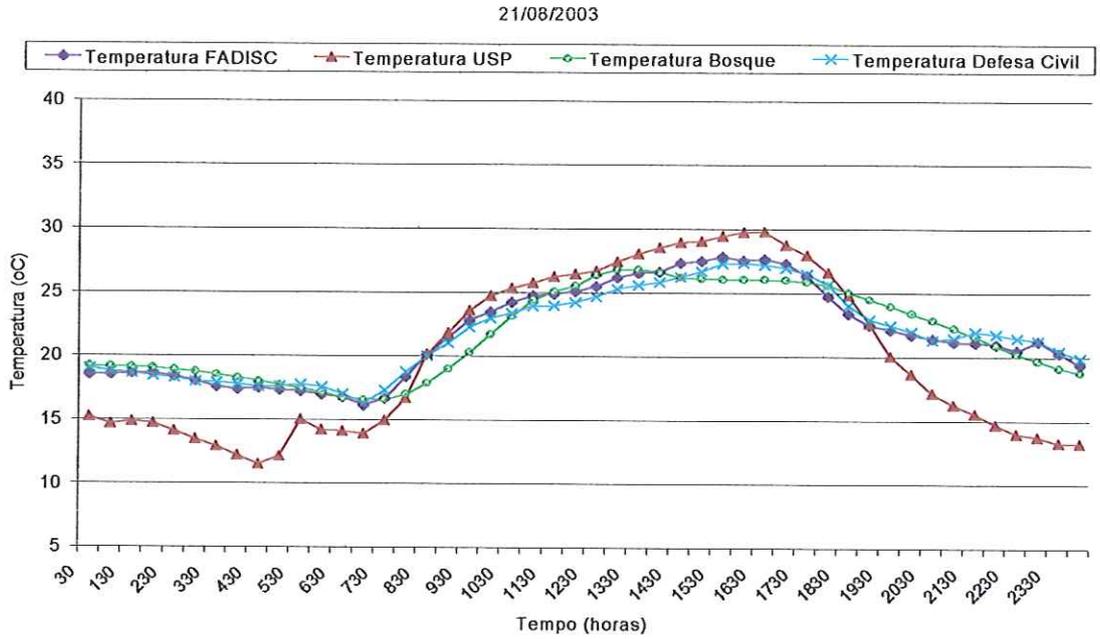


Figura 26.4. Gráfico de Temperaturas (°C) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 21 de agosto de 2003.

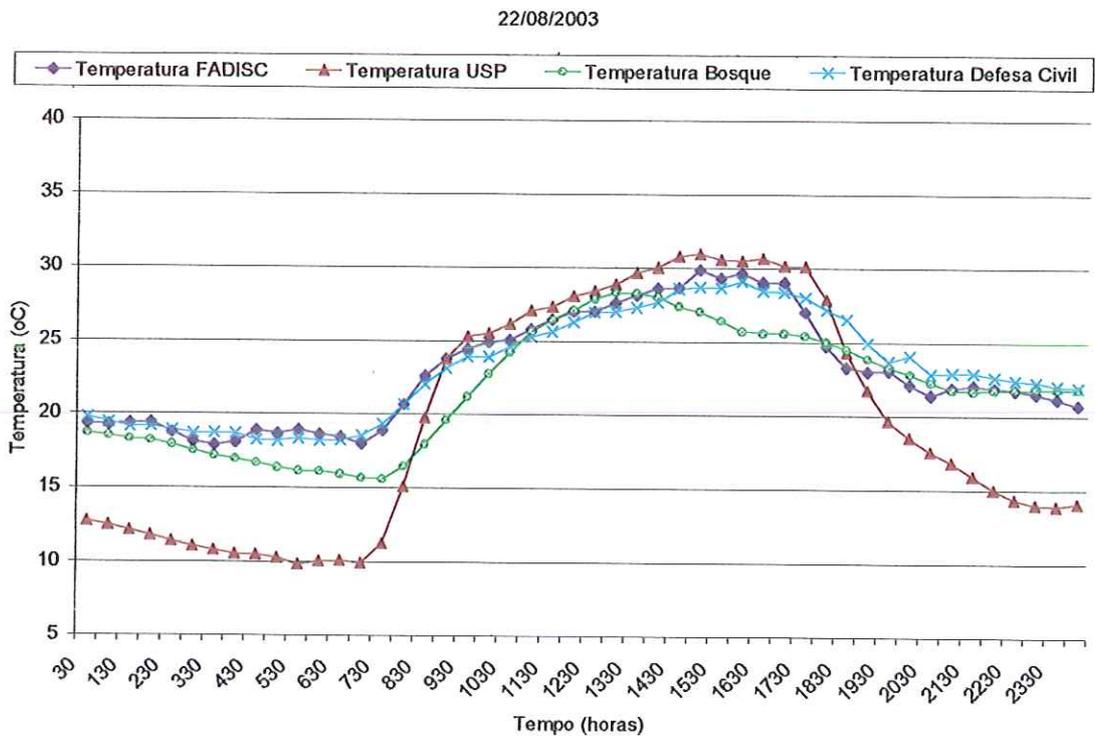


Figura 26.5. Gráfico de Temperaturas (°C) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 22 de agosto de 2003.

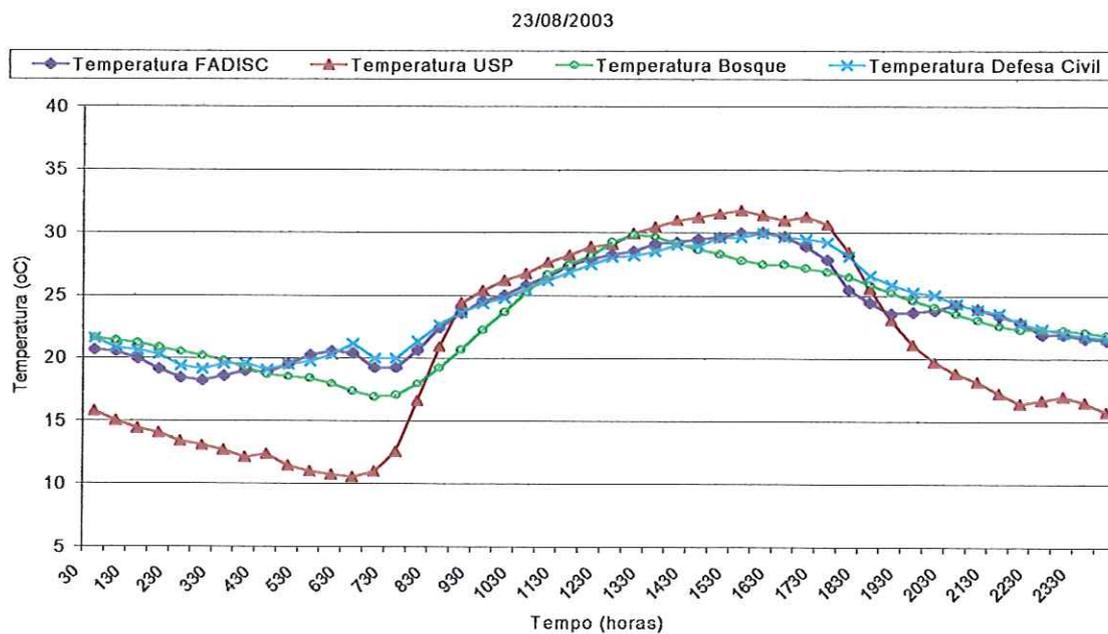


Figura 26.6. Gráfico de Temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 23 de agosto de 2003.

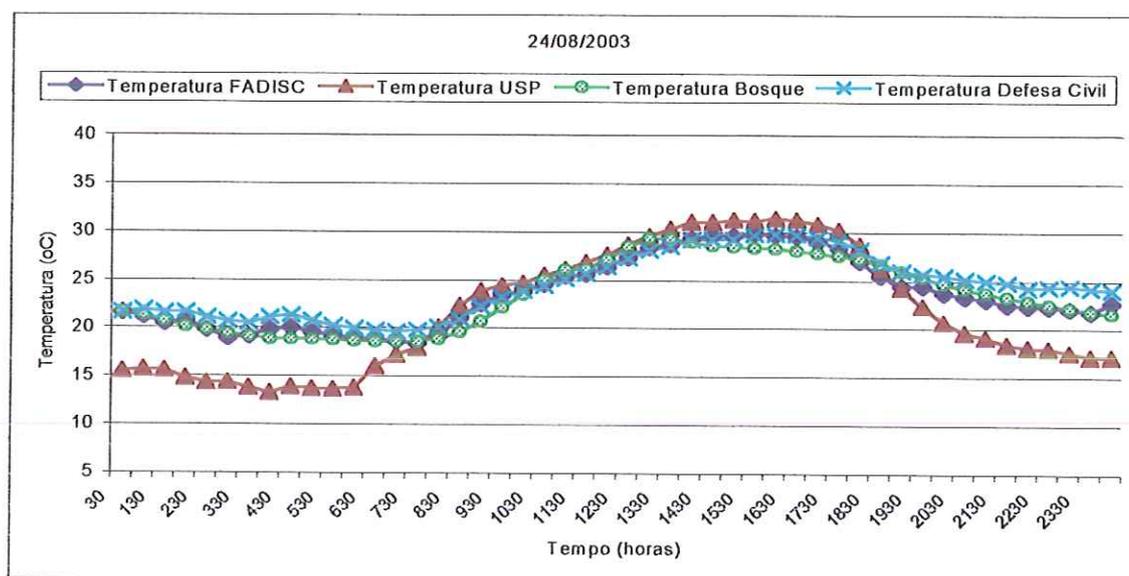


Figura 26.7. Gráfico de Temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 24 de agosto de 2003.

Em todos os gráficos observa-se que, embora desprovidos de vegetação, os pontos de medição localizados na Defesa Civil e na Faculdade de Direito apresentaram menores amplitudes térmicas em relação ao Campus da USP. Um fator para se explicar tal fenômeno pode ser a localização destes

locais. Os dois primeiros encontram-se afastados do centro da cidade, que é onde está o Campus da USP. Os sensores da estação meteorológica instalada na Defesa Civil ficam a cerca de 4 metros do solo, expondo-os aos ventos e favorecendo o registro de temperaturas mais amenas. Assim, a maior concentração de atividades humanas e a larga presença edificações e superfícies pavimentadas da região central da cidade podem ter influenciado as temperaturas diurnas mais elevadas do Campus da USP. Observou-se que durante a noite e a madrugada os valores de temperatura foram menores no Campus da USP que nos demais pontos de monitoramento. Isto se deveu à localização do mesmo em uma região de fundo de vale e ao fato de haver menor densidade de edificações neste local.

Embora estivesse próximo ao centro da cidade, o bosque apresentou temperaturas mais amenas durante o dia. O sombreamento promovido pelas árvores produziu um efeito que reduziu a absorção da radiação solar pelas superfícies circundantes, diminuindo a re-emissão da radiação pelas mesmas e, conseqüentemente, o aquecimento do ar.

Durante a noite, as superfícies pavimentadas e desprovidas de vegetação tenderam a liberar o calor ganho durante o dia mais rapidamente que os locais vegetados. As razões disto foram as diferenças nas propriedades termofísicas entre os materiais que revestem os diferentes locais de estudo.

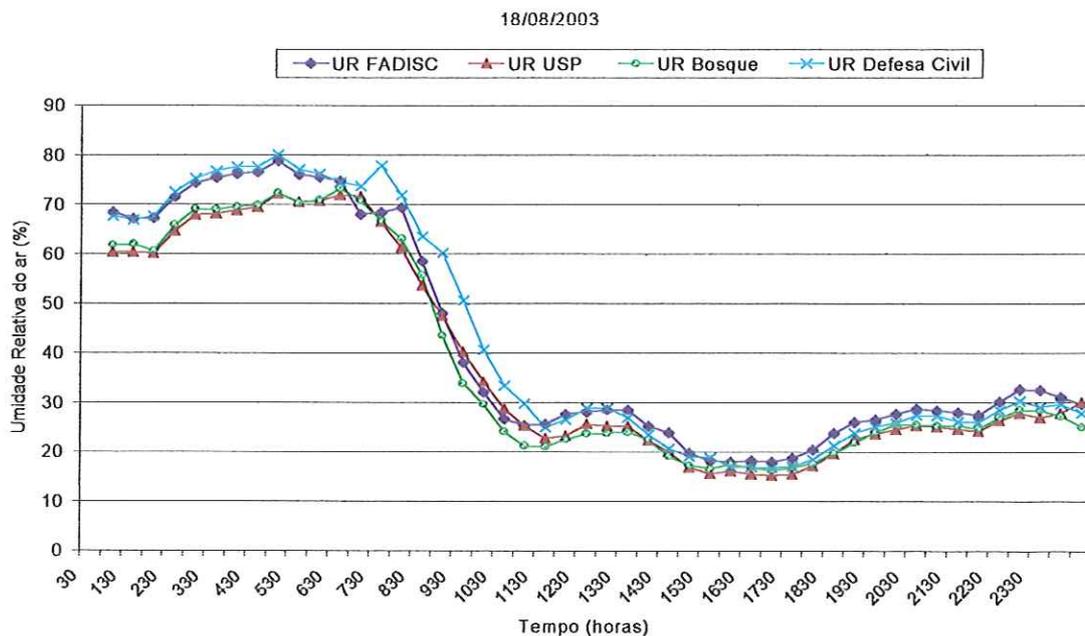


Figura 27.1. Gráfico de umidade relativa do ar (%) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 18 de agosto de 2003.

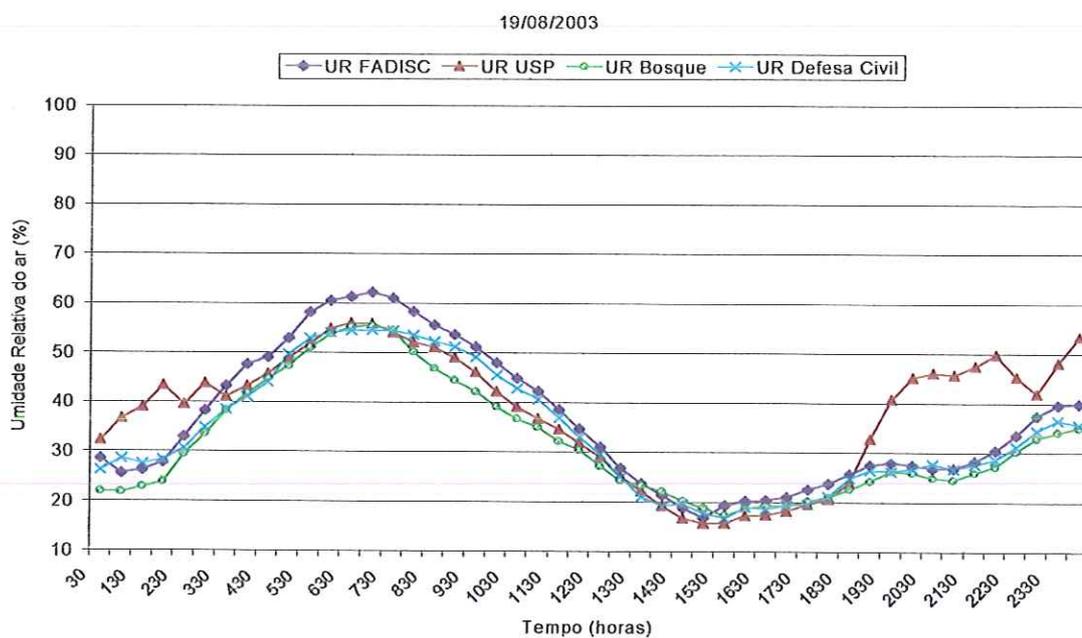


Figura 27.2. Gráfico de umidade relativa do ar (%) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 19 de agosto de 2003.

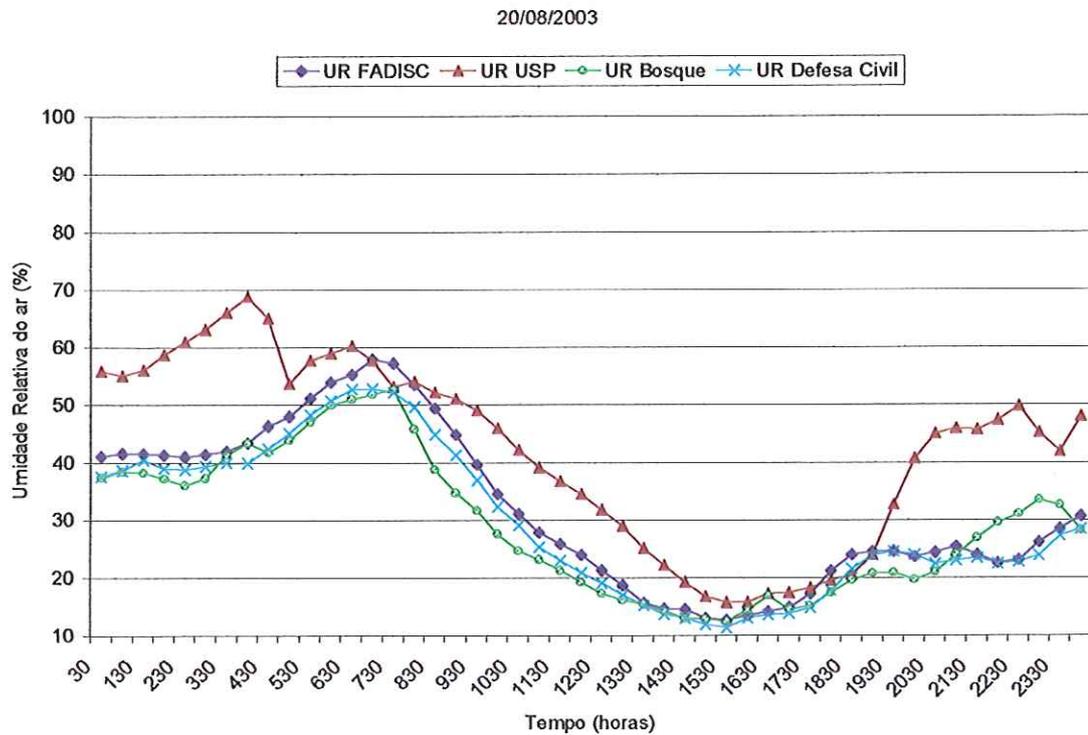


Figura 27.3. Gráfico de umidade relativa do ar (%) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 20 de agosto de 2003.

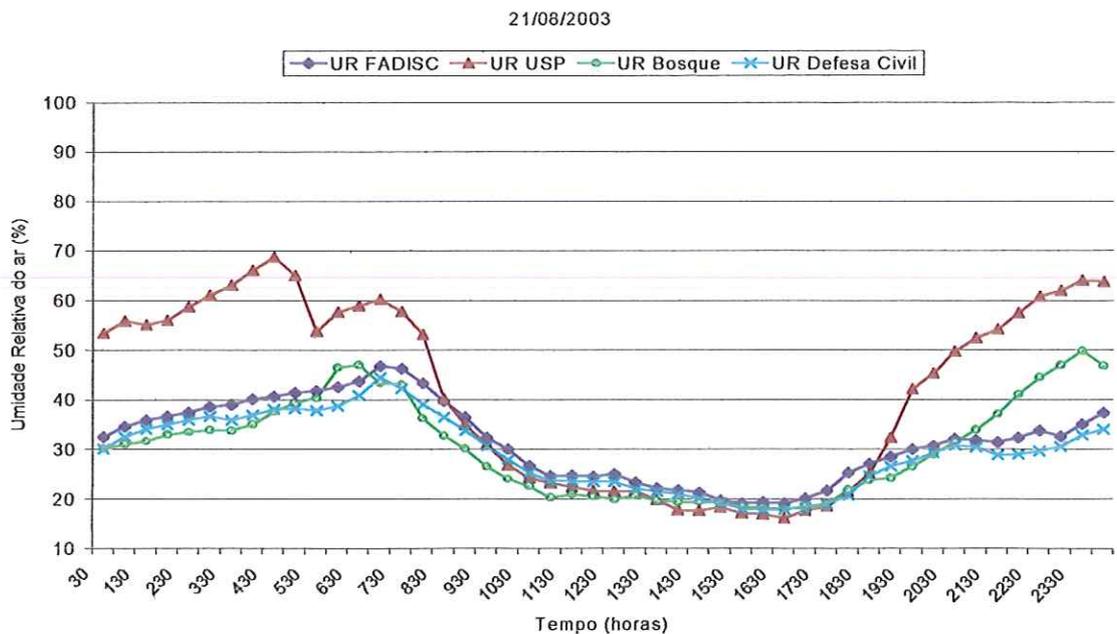


Figura 27.4. Gráfico de umidade relativa do ar (%) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 21 de agosto de 2003.

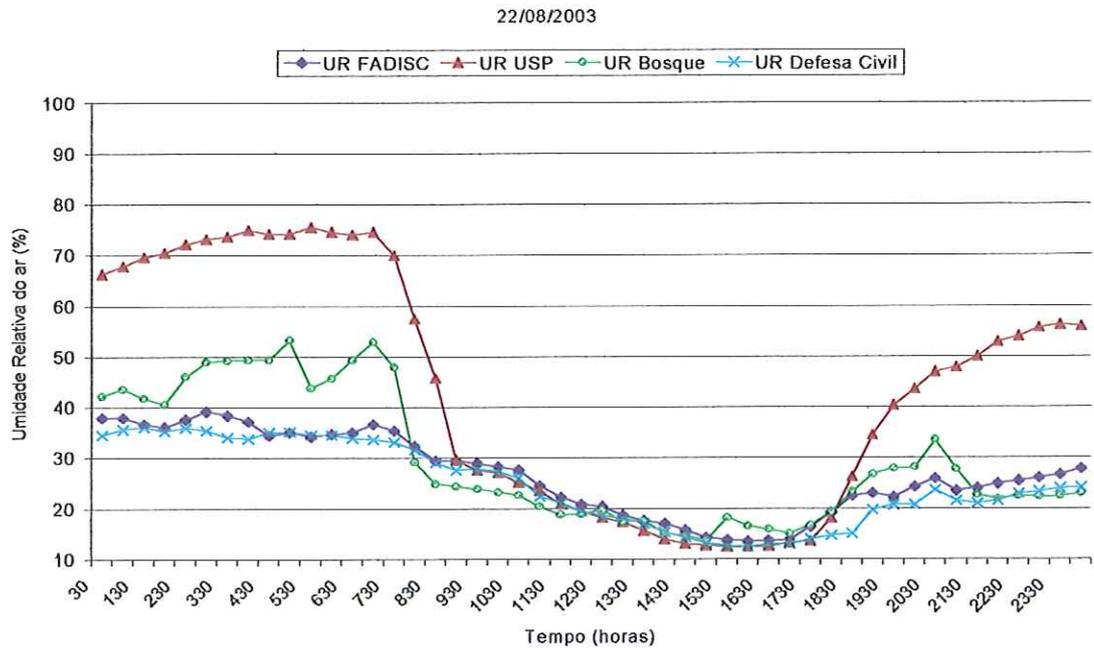


Figura 27.5. Gráfico de umidade relativa do ar (%) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 22 de agosto de 2003.

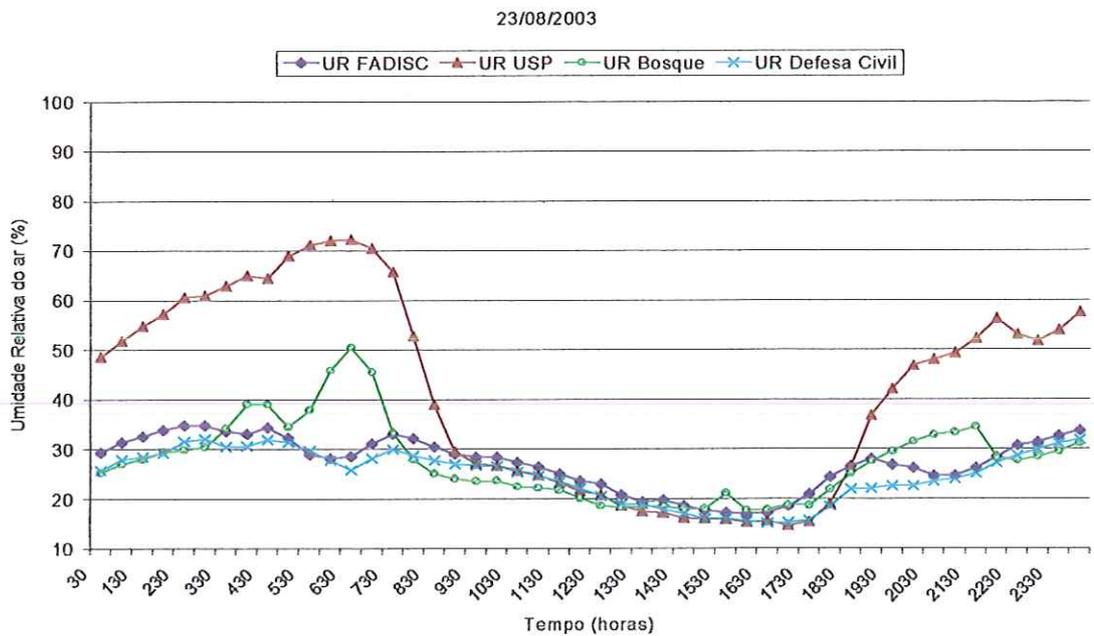


Figura 27.6. Gráfico de umidade relativa do ar (%) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 23 de agosto de 2003.

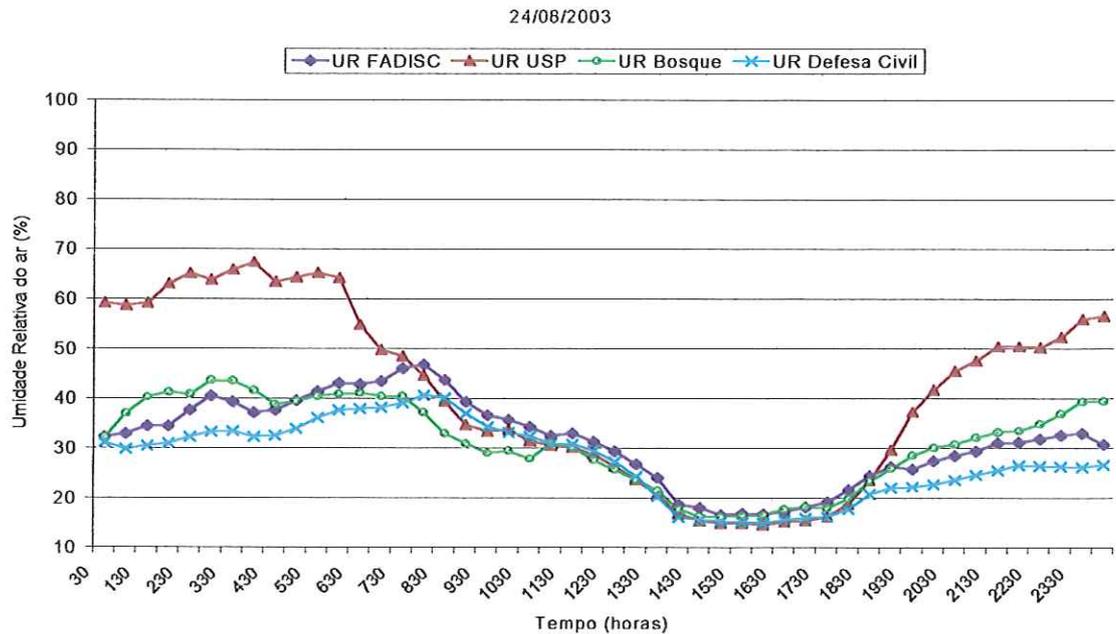


Figura 27.7. Gráfico de umidade relativa do ar (%) na FADISC, no Campus da USP, no bosque da Estância Suíça e na Defesa Civil em 24 de agosto de 2003.

O fato de se localizar em um fundo de vale contribuiu para que os valores de umidade do ar fossem maiores durante a noite e a madrugada no Campus da USP, em comparação com os outros pontos de estudo.

Ao contrário do que afirmam alguns autores como Givoni (*comunicação pessoal*, 2003 – fig. 3, p. 38) e Pokorný (2001), os resultados obtidos nesse trabalho apontaram para uma capacidade bastante limitada das áreas verdes em manterem os valores de umidade do ar maiores que os obtidos nos outros pontos de medição. A razão para esse fato pode estar relacionada à pequena dimensão do bosque (cerca de 200 m<sup>2</sup>), cuja capacidade de impor sua influência seria insuficiente para suplantar em microescala as condições climáticas de macro e mesoescala impostas por massas de ar de milhares de quilômetros de extensão.

## **5 CONCLUSÕES**

### **5.1. Estudo de caso 1: Episódio climático representativo de outono**

Este primeiro estudo apontou para a necessidade de se realizarem investigações em áreas arborizadas urbanas, uma vez que o cultivo homogêneo de uma espécie de conífera, com objetivos de exploração econômica, não constitui ambiente adequado para embasar estudos sobre arborização urbana. A contribuição principal do mesmo foi fortalecer a compreensão de que as massas de ar impõem suas propriedades em escala meso/macroclimática.

As diferenças nos valores de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, direção e velocidade dos ventos encontradas entre locais próximos se devem a fatores locais de modificação que alteram o clima em escala menor, que podem vir a ser na escala local, topo ou microclimática. No caso desse estudo, o fator mais significativo foi a cobertura do solo que, dependendo de suas propriedades termofísicas e da rugosidade que produz na superfície, pode influir na absorção e na re-emissão da radiação solar, bem como no escoamento do vento. Pode, assim, alterar os valores das variáveis analisadas.

### **5.2. Estudo de caso 2: Episódio climático representativo de primavera**

As hipóteses lançadas neste segundo trabalho - de que o ambiente urbano árido apresenta condições propícias ao desconforto, podendo atingir situações de insalubridade - estão em conformidade com os resultados apresentados.

Além da recomendação da continuidade e do aprofundamento das investigações que justifiquem a ampliação das áreas verdes urbanas, dá-se destaque para a necessidade premente de fiscalização mais rigorosa quanto à

proteção dos remanescentes de vegetação na cidade de São Carlos, especialmente nas margens dos corpos d'água e nas regiões de solos propensos a processos erosivos. Recomenda-se também a implantação de áreas verdes de forma a compor um mosaico com as áreas construídas.

Tais ações propiciariam a criação de um ambiente urbano naturalmente mais equilibrado, o que se refletiria diretamente sobre a qualidade de vida da população. Os valores elevados de temperatura, assim como os valores reduzidos de umidade do ar, seriam atenuados, contribuindo assim para a minimização de problemas de saúde causados por estes dois fatos climáticos.

### 5.3. Estudo de caso 3: Episódio climático representativo de inverno

Os resultados relativos aos valores de temperatura corroboram com as conclusões obtidas nos estudos de caso anteriores, indicando a atenuação da amplitude térmica nas áreas vegetadas.

Entretanto, o mesmo não pode ser dito sobre os valores de umidade do ar observados neste estudo. Diferentemente dos outros estudos de caso e da revisão bibliográfica, a área arborizada estudada apresentou valores de umidade relativa do ar inferiores aos esperados.

Geiger (1957) relata que o solo coberto por vegetação apresenta maior umidade que o ar circundante, já que as plantas retardam a evaporação contínua do solo. Há uma estratificação de umidade em diferentes alturas a partir do solo, como se vê na tabela seguinte:

**Tabela 3 – Umidade relativa do ar registrada a diferentes alturas em um dia de verão**

Altura vertical	Antes do meio-dia	Meio-dia	Após o meio-dia
Um metro acima da vegetação herbácea	86%	58%	71%
Entre as folhas	95%	70%	88%
Solo sombreado de floresta	88%	60%	72%

Fonte: modificado a partir de Geiger (1957).

Apesar disto, o autor apresenta a explicação para esta diminuta diferença apontada entre os valores de umidade relativa do ar observados em áreas verdes e em áridas. Para Geiger, a quantidade de evapotranspiração depende da temperatura da superfície de evaporação e não da temperatura do ar. Quando a mesma se inicia, a superfície se resfria, reduzindo a quantidade de energia necessária para o processo, que diminui. Assim, o vapor d'água desprendido da superfície da folha não é suficiente para influenciar a saturação do ar, que continua com reduzida disponibilidade hídrica.

Embora diversos autores relatem a importância da evapotranspiração no resfriamento dos ambientes e na umidificação do ar, Lowry (1988) questiona estas informações ao relatar que a evapotranspiração é responsável pela redução de somente 0,3° C por hora em um espaço de 10 m de uma rua contendo 10 árvores adultas.

O fato de não se ter obtido os valores esperados de umidade do ar leva à conclusão de que as áreas verdes nem sempre são capazes de realizar as funções descritas na literatura de manutenção de umidade do ar. Isto é devido às dimensões reduzidas das áreas verdes, bem como do pequeno número das mesmas.

Geiger (1957) afirma ainda que em regiões e em períodos secos, não se nota aumento nos valores de umidade do ar em ambiente vegetado em comparação com o ar circundante, pois prevalece o efeito da alta temperatura, que provoca a diminuição da evapotranspiração. Raven et al (1996) lembram que o vento é um fator que oculta as pequenas mudanças na umidade do ar promovidas pela evapotranspiração.

#### **5.4. Conclusões gerais**

Os estudos de caso levam à conclusão, de modo geral, que a evapotranspiração não parece ser o principal fator atenuante térmico nas horas mais quentes do dia, uma vez que a vegetação possui adaptações que evitam a perda excessiva de água. Este papel seria desempenhado pelo efeito de sombreamento, que impediria a absorção da radiação solar direta pelas superfícies e minimizaria sua re-emissão, que é efetivamente responsável pelo aquecimento do ar.

Outra indicação que se obteve ao longo da investigação realizada foi quanto à real diminuição dos valores de temperatura. As constatações feitas a partir dos resultados deste trabalho - de que a diferença de temperatura entre um local arborizado e outro árido é pequena em termos absolutos - são semelhantes às constatações de outros pesquisadores, conforme foi relatado na revisão bibliográfica, no Capítulo 2 desta dissertação. Entretanto, tais diferenças são significativas quando considerada a percepção humana das condições de conforto ambiental. Diante desta constatação, considerou-se imprescindível a realização de investigações futuras a respeito da percepção ambiental humana, seja dos efeitos da vegetação arbórea urbana nas condições climáticas, seja quanto a outros serviços ambientais promovidos pela mesma. Isto daria suporte a conclusões mais completas quanto ao objeto mais amplo desta pesquisa.

A despeito da ausência de investigações sobre a percepção ambiental, as ações de conservação e de manutenção das áreas verdes no ambiente urbano se justificam por todos os serviços ambientais que provém delas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21 (1992). Assinada durante a Convenção das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm>. Acesso em 15 dez 2003.

AKBARI, H., POMERANTZ, M. & TAHA, H. (2001). Cool surface and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, v.70, n.5: 295-310.

ALBRECHT, M.J.F. (1998). *Análise funcional, composição arbórea e manejo da malha viária e das áreas verdes da cidade de São Carlos - SP*. São Carlos. 271p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos.

ALMEIDA, R.C. (2003). A questão hídrica e a construção de um planejamento urbano sustentável e partícipe: o caso de São Carlos. In: MARTINS, R.C. & VALENCIO, N.F.L.S. (Orgs). *Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil: desafios teóricos e político-institucionais*. São Carlos: RiMa. 307p.

ARAÚJO, C. (1982) Transmissão de calor. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC. 444p.

BARBOSA, R.V.R, BARBIRATO, G. & VECCHIA, F.A.S. (2003). Vegetação urbana: análise experimental em cidade de clima quente e úmido. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. *Anais...* Curitiba: ANTAC. 1 CD-ROM.

BARRY, R.G. & CHORLEY, R.J. (1980). *Atmosfera, tiempo y clima*. 3 ed. Barcelona: Omega. 395p.

BOLUND, P. & HUNHAMMAR, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, n. 29: 293-301.

BRASIL (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Capítulo VI. Do Meio Ambiente. Artigo 225. In: MEDAUAR, O. (2002) (Org.). *Constituição*

*Federal, coletânea de legislação ambiental.* São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais.

BRASIL (2001). Lei 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da cidade – Política urbana. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. In: MEDAUAR, O. (2002) (Org.). *Constituição Federal, coletânea de legislação ambiental.* São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais.

BRASIL (1998). Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Lei de Crimes Ambientais. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. In: MEDAUAR, O. (2002) (Org.). *Constituição Federal, coletânea de legislação ambiental.* São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais.

CAMPBELL SCIENTIFIC INC. (2004). *Datalogger CR10X*. Disponível em: <http://www.campbellsci.com/logger.html#cr10x>. Acesso em 15 fev 2004.

CAMPBELL SCIENTIFIC INC. (2004). *Air temperature and relative humidity sensor*. Disponível em: <http://www.campbellsci.com/sensors.html#hmp45c>. Acesso em 15 fev 2004.

CONVENÇÃO SOBRE DIVERSIDADE BIOLÓGICA (1992). Assinada durante a Convenção das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/website/noticias/naintegra/docs/rtf/biodconv.rtf>. Acesso em 15 dez 2003.

COSTANZA, R. et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, n. 387: 253-260.

CUADRAT, J. M. & PITA, M. F. (1997). *Climatología*. Madrid: Ediciones Cátedra. 486p.

DATASUS (2002). *Internações por doenças respiratórias no município de São Carlos - SP*. Disponível em:

<<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/misp.def>>. Acesso em 01 out.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (1992). *Normais climatológicas* (1961 – 1990). Brasília.

DIMOUDI, A. & NIKOLOPOULOU, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, n. 35: 69-76.

DREDGE, D. (1995). Sustainable rapid urban expansion: the case of Xalapa, Mexico. *Habitat Intl.*, v. 19, n.3: 317-329.

EHRlich, P. (1997). A perda da biodiversidade - causas e conseqüências. In: WILSON, E.O. (Org). *Biodiversidade*. Tradução: M. Santos e R. Silveira. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira. 657p.

ELIASSON, I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and urban planning*, n. 48: 31-44.

ESPÍNDOLA, E.L.G. et al (2000). A bacia hidrográfica do monjolinho. São Carlos: RiMa.

FINEP/FNDCT/CT-HIDRO (2002). Projeto do Edital: GURH 03/2002, convênio FIPAI/FINEP. 01.02.0086.00, da EESC/USP e DAEE/SP.

GEIGER, R. (1957). *The climate near the ground*. Translated by M. N. Stewart and others (from 2<sup>nd</sup> German ed.). Cambridge: Harvard University Press, 494 p.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-8. 50 Kb. 18/05/2002, 1209Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 31 maio 2002.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-8. 51 Kb. 19/05/2002, 1209Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 31 maio 2002.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-8. 50 Kb. 20/05/2002, 1209Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 31 maio 2002.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-8. 50 Kb. 25/10/2002, 1210Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 12 dez 2002.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-8. 50 Kb. 26/10/2002, 1210Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 12 dez 2002.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-8. 49 Kb. 27/10/2002, 1211Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 12 dez 2002.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-8. 50 Kb. 28/10/2002, 1211Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 12 dez 2002.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-12, IR2. 43 Kb. 18/08/2003, 1212Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 1 set 2003.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-12, IR2. 43 Kb. 19/08/2003, 1213Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 1 set 2003.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-12, IR2. 42

Kb. 20/08/2003, 1213Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 1 set 2003.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-12, IR2. 40 Kb. 21/08/2003, 1209Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 1 set 2003.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-12, IR2. 40 Kb. 22/08/2003, 1210Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 1 set 2003.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-12, IR2. 40 Kb. 23/08/2003, 1211Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 1 set 2003.

GOES: Imagem de satélite da América do Sul (2002). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1 imagem de satélite. G-12, IR2. 39 Kb. 24/08/2003, 1212Z. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/satelite/#>>. Acesso em 1 set 2003.

GÓMEZ, F., GAJA, E. REIG, A. (1998). Vegetation and climatic changes in a city. *Ecological Engeneering*, n. 10: 355-360.

\_\_\_\_\_, TAMARIT, N. & JABALOYES, J. (2001). Green zones, bioclimatic studies and human comfort in the future development of urban planning. *Landscape and Urban Planning*, n. 55: 151-161.

HENKE-OLIVEIRA, C. (1996). *Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnósticos e propostas*. São Carlos. 181p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos.

\_\_\_\_\_ & SANTOS, J. E. (2000). Áreas verdes e áreas públicas de São Carlos (SP): diagnósticos e propostas. In: TUNIDISI, J.G., YAMAMOTO, Y., DIAS, J.A.K. (Eds.) *São Carlos 3º milênio: perspectivas para o desenvolvimento sustentável*. São Carlos: Prefeitura Municipal de São Carlos. 308p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2000). *Município de São Carlos*. Disponível em: <<http://www1.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 21 abr. 2003.

INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATIC CHANGE (2001). *Third Assessment Climate Change: a report of the IPCC*. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pub/sa\[E\].pdf](http://www.ipcc.ch/pub/sa[E].pdf)>. Acesso em 25 abr. 2003.

JESUS, E.F.R. (1995). *Espaço, tempo e escala em Climatologia*. São Paulo. 217 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

LARCHER, W. (2000). *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RiMa. Tradução Carlos H. B. A. Prado. 531 p.

LIMA, R.T. (2003). *Percepção ambiental e participação pública na gestão dos recursos hídricos: perfil dos moradores da cidade de São Carlos, SP (Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho)*. São Carlos. 94 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LINACRE, E. & GEERTS, B. (1997). *City trees and the urban climate*. Disponível em: <[http://www.-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap01/city\\_trees.htm](http://www.-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap01/city_trees.htm)>. Acesso 12 jun. 2002.

LOMBARDO, M. A. (1985). *Ilha de calor nas metrópoles: o caso de São Paulo*. São Paulo: Hucitec. 244 p.

LOUCKS, O. (1994) Sustainability of urban ecosystems: beyond a study object, 49-65. In: Platt, R.H., Rowntree, R.A. & Muick, P.C. (Editors). *The Ecological City: Preserving and restoring urban biodiversity*. The University of Massachusetts Press.

- LOWRY, W. P. (1988). *Atmospheric ecology for designers and planners*. Van Nostrand Reinhold. 435p.
- \_\_\_\_\_. (1967). The climate of cities. *Scientific American*, v. 217, n. 2: 15-23.
- MARCUS, A. (1964). *Basic Electricity*. 2 ed. Prentice-Hall, Inc. 511 p.
- MILLER, A. (1951). *Climatologia*. Barcelona: Ediciones Omega S. A.
- MIRANDA, J. R. (2000). *Animais urbanos, esses desconhecidos*. Disponível em: <<http://www.agemado.com.br/ciencia/aspas/2000/abr/07.61.htm>>. Acesso em 18 jan. 2003.
- MODNA, D., VECCHIA, F.A.S. & PEREIRA-NETO, S.D. (2003). Análise de um episódio climático representativo em área urbana e floresta de *Pinus*. In: WENDLAND, E. & SCHALCH, V. (Orgs.) *Pesquisas em meio ambiente: subsídios para a gestão de políticas públicas*. Série Ciências da Engenharia Ambiental, Vol. 2. São Carlos: RiMa.
- MODNA, D., VECCHIA, F.A.S. (2003). *Calor e áreas verdes: um estudo preliminar do clima urbano de São Carlos, SP*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. *Anais...* Curitiba: ANTAC. 1 CD-ROM.
- MONTEIRO, C.A.F. (1990). Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. *GEOSUL*, n. 9, 61-79.
- \_\_\_\_\_. (1973). *A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de Atlas*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia. 68 p.
- \_\_\_\_\_. (1976a). *O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia. 54 p.
- \_\_\_\_\_. (1976b). *Teoria e clima urbano*. São Paulo. 181p. Tese (Livredocência) - IGEOG, Universidade de São Paulo.

- MOTA, S. (1995). *Urbanização e meio ambiente*. Rio de Janeiro: ABES, 352p.
- MURPHY, D.D. (1997). A perda da biodiversidade - causas e conseqüências. In: WILSON, E.O. (Org). *Biodiversidade*. Tradução: M. Santos e R. Silveira. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira. 657p.
- ODUM, E.P. (1983). *Basic Ecology*. Holt-Saunders International Editions. 613 p.
- OKE, T.R. (1987). *Boundary layer climates*. London: Routledge, 2a. Ed. 434p.
- OMETTO, J.C. (1981). *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres. 425 p.
- PEREIRA-NETO, S.D. (2003) *Características hidrometeorológicas em uma floresta de Pinus elliottii no Cerrado*. São Carlos. 91 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PETERSON, J.T. (1971). Climate of the city. In: DETWYLER, T.R *Man's impact on environment*. [S.I.].McGraw-Hill.
- POKORNÝ, J. (2001). Dissipation of solar energy in landscape controlled by management of water and vegetation. *Renewable Energy*, n. 24: 641-45.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (2002). *Conferência da cidade: processo de elaboração do plano diretor*. São Carlos. 1 CD ROM.
- RAMÓN, F. (1980). *Ropa, Sudor y Arquitecturas*. Madrid: H. Blume ediciones.
- RAVEN, P.H., EVERT, R.F. & EICHHORN, S.E. (1996). *Biologia Vegetal*. Trad. Jane E. Kraus et al. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 5ª ed. 728p.
- SHASHUA-BAR, L. & HOFFMAN, M.E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model of predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, v. 31, n. 3: 221-235.
- SORRE, M. (1951). *Les fondements de la Géographie Humaine*. Les fondements biologiques. Essai d'une écologie de l'homme. Paris: Armand Coli, Tomo I. 448 p.



TAHA, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, v. 25: 99-103.

TORREIRA, R.P. (1976). *Elementos básicos de ar condicionado*. São Paulo: Hemus. 261 p.

ULRICH, R.S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, v. 224, n. 4647: 420-21.

\_\_\_\_\_ et al. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, v. 11: 201-30.

UNITED NATIONS CONVENTION ON HUMAN SETTLEMENTS (2001). *The state of world's cities report*. Disponível em: <http://www.unchs.org/istanbul+5/62.pdf>. Acesso em 7 dez 2003.

VECCHIA, F.A.S. (1997). *Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*. São Paulo. 316 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

VIVEIROS, M. (2004). Ilhas de calor afastam chuva de represas. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 15/02/2004. Cotidiano, p. C10.

WILSON, E.O. (1997). A situação atual da diversidade biológica. In: WILSON, E.O. (Org). *Biodiversidade*. Tradução: M. Santos e R. Silveira. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira. 657p.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.

## **APÊNDICE – Contribuições do trabalho**

As discussões realizadas nesse trabalho se preocuparam em atrelar a qualidade de vida humana à qualidade do ambiente.

As contribuições dessa pesquisa estão relacionadas ao seu caráter fortemente experimental, que resultou em uma grande geração de dados. Os resultados obtidos a partir destes originaram conclusões que demandaram intensa observação dos estados atmosféricos.

Neste trabalho foram estabelecidas relações entre fenômenos que envolvem diferentes escalas geográficas – micro e mesoescala do espaço urbano e escala zonal das massas de ar. Isto enriqueceu as discussões e a compreensão dos efeitos das mudanças na paisagem natural causadas pelo advento da expansão urbana. A abordagem dinâmica da Climatologia permitiu uma visão ampla dos processos de gênese e, posteriormente, de modificação das condições climáticas. A utilização de dados médios de normais climatológicas não permitiria todas as discussões aqui realizadas.

A geração de um grande número de dados permitiu a realização de novas investigações sobre o clima urbano, necessárias à otimização do planejamento das atividades humanas nas cidades.

A pesquisa aponta para a necessidade de continuação das investigações, já que algumas questões formuladas ao longo desses dois anos ficaram sem resposta. Assim, percebeu-se necessária a categorização das áreas verdes levando-se em conta características como tamanho, formato e abertura das copas das árvores, as espécies presentes e o estado de degradação das mesmas. Acredita-se que essas informações possam fornecer algumas respostas desejadas (Porque parece haver mais evapotranspiração em algumas áreas verdes que em outras? Qual a influência espacial das áreas verdes na temperatura e umidade do ar de áreas vizinhas?).

Da mesma forma, percebeu-se necessária a investigação dos desejos e das percepções dos moradores, usuários e tomadores de decisões a respeito das áreas verdes, tendo em vista o que foi expresso nas reuniões do Orçamento Participativo promovidas pela Prefeitura Municipal de São Carlos. As solicitações estão representadas nos gráficos a seguir:

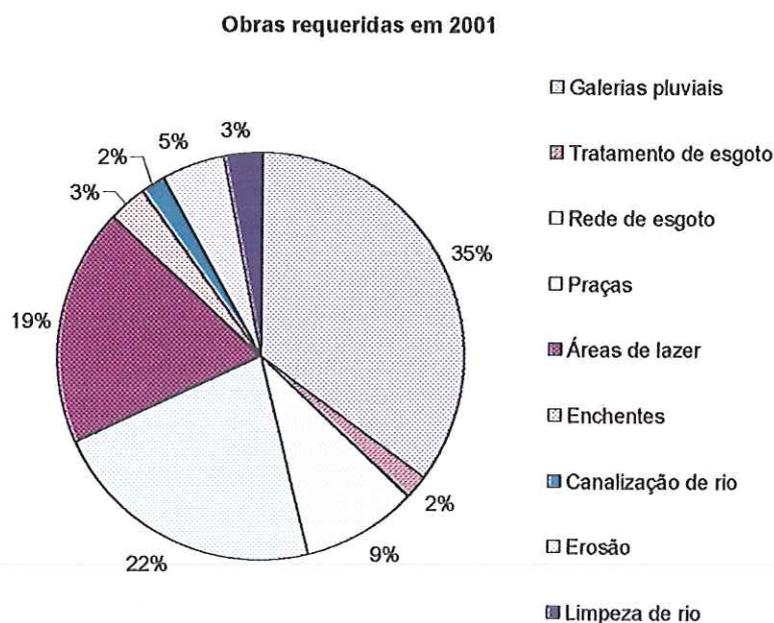


Figura 28 – Obras requeridas pela população de São Carlos nas reuniões do Orçamento Participativo em 2001.  
Fonte: Almeida (2003).

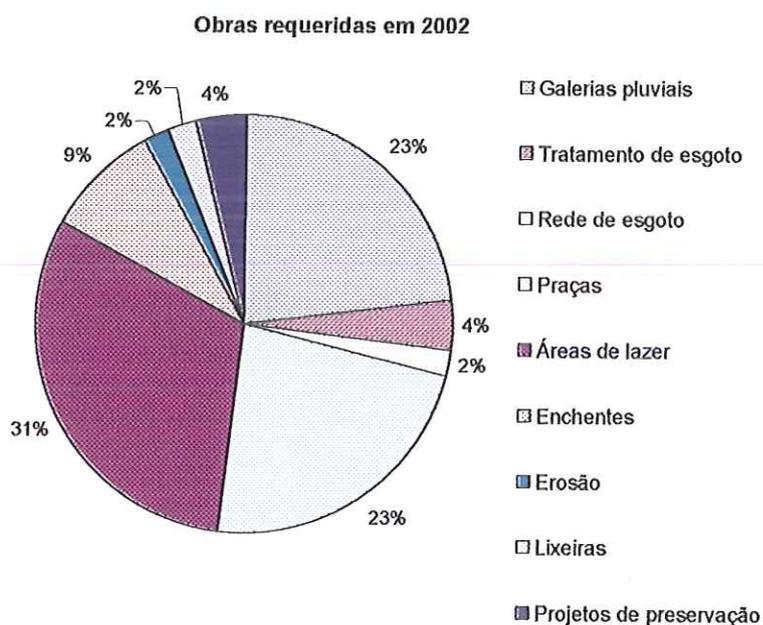


Figura 29 – Obras requeridas pela população de São Carlos nas reuniões do Orçamento Participativo em 2002.  
Fonte: Almeida (2003).

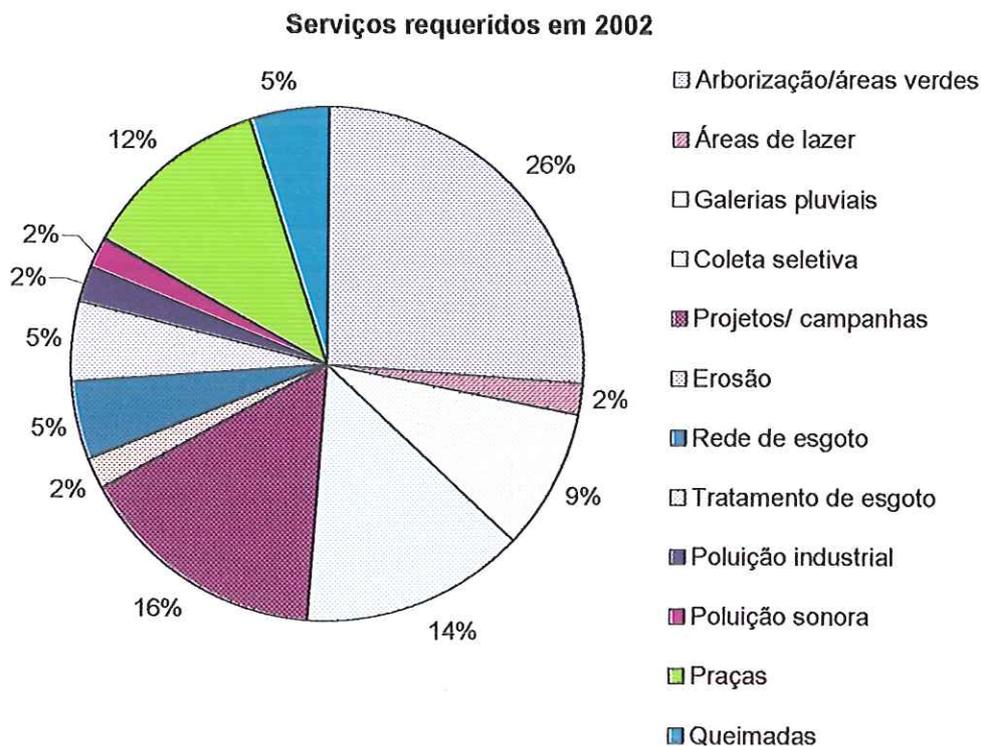


Figura 30 – Serviços requeridos pela população de São Carlos nas reuniões do Orçamento Participativo em 2002.

Fonte: Almeida (2003).

Almeida (2003) relata que, em 2001, as obras requeridas pela população da cidade relativos à criação de praças e de espaços de lazer representaram juntas 41% dos pedidos relacionados a problemas ambientais. Em 2002, os mesmos aumentaram para 54%. A demanda por implementação e melhoramento de áreas verdes na cidade representou 26% dos pedidos. Frente às solicitações de obras e de serviços estruturais emergenciais (a exemplo de postos de saúde, creches, segurança e transporte público), a demanda por soluções de problemas ambientais é pequena. Não obstante, o fato destes aparecerem nas reuniões do Orçamento Participativo revela a percepção da influência de tais problemas na qualidade de vida pela população.

Por fim, entendeu-se que as indicações fornecidas pelos resultados deste trabalho estão de pleno acordo com outros autores, com a legislação brasileira e com documentos norteadores de ações assinados em convenções internacionais, tais como a Agenda 21 (1992). Esta salienta a necessidade de mudanças de modelos de desenvolvimento, de forma que sejam mais

harmônicos com a capacidade suporte da Terra. Isto envolve principalmente os eixos do modelo atual de desenvolvimento capitalista: o uso de recursos naturais finitos, os padrões de consumo e a conseqüente emissão de resíduos.

Loucks (1994) afirma que a sustentabilidade urbana a longo prazo é mais que simplesmente uma mudança de paradigma, pois envolve um problema sem precedentes que é a defesa dos interesses das gerações futuras. Isto é impraticável para muitos dos políticos atuais, cuja escala temporal de projetos envolve somente o tempo de seus mandatos.

O mesmo autor defende o entendimento da interação entre os recursos físicos do ambiente e as sociedades humanas ao longo do tempo como meio de se compreender as conseqüências de modificações por longos períodos nos ecossistemas e paisagens urbanos.

Outras recomendações são feitas com base no conteúdo da Agenda 21, especialmente aqueles relativos ao combate ao desmatamento. No documento estão destacadas:

- A importância de se reforçar os múltiplos papéis e funções – ecológico, econômico, social e cultural – de todos os tipos de bosques e florestas;
- A adoção de legislação regulamentadora da conversão descontrolada de uso do solo; e
- A importância do estímulo ao desenvolvimento de criação de áreas verdes urbanas e periurbanas com fins de lazer e produção econômica.

O Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001) prevê, em linhas gerais, o estabelecimento de “normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental”. Para tanto, pressupõe:

Art. 2º A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes:

I – garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infra-estrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;

(...)

VI – ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar:

(...)

f) a deterioração das áreas urbanizadas;

g) a poluição e degradação ambiental;

(...)

XII – proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico; (BRASIL, 2001 IN MEDAUAR, 2002, p. 395).

Como reconhecimento de que os valores não mensuráveis economicamente têm tanta ou maior importância que aqueles que o são, vê-se na Lei de Crimes Ambientais, em sua seção IV, art. 62 (BRASIL, 1998) que constitui crime “contra o ordenamento urbano e o patrimônio cultural” a ação de destruir, inutilizar ou deteriorar bens de natureza material e imaterial, portadores de referência à identidade e à memória, nos quais se incluem, entre outras coisas, “os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico”, como consta no art. 216 da Constituição Federal (BRASIL, 1988).

Dredge (1995) propõe algumas ações perfeitamente possíveis de serem transpostas para a realidade local:

- Realização de estudos de identificação áreas de importância ecológica para integrá-las à área urbana, de modo a conhecer o papel de atenuação dos impactos da expansão urbana no clima, recursos hídricos e solo, assim como identificar áreas ameaçadas.
- Promoção de estudos para conhecimento das perdas e para implementar maior conectividade de áreas urbanas e rurais, sem que estas últimas sejam descaracterizadas pela expansão da primeira;
- Política de combate à pobreza e às desigualdades sociais, com estímulo para construção de moradias de baixo custo em locais adequados para as pessoas e o ambiente;
- Ampliação dos programas de educação ambiental voltados para a população em geral, com enfoque na reorientação dos usos tradicionais dos recursos naturais e na mobilização da opinião pública acerca dos interesses comuns;
- Conscientização dos planejadores da finitude do espaço e dos recursos.

Uma recomendação interessante que poderia ser feita, com base na última determinação da Agenda 21, seria a implantação de projetos de Sistemas Agro-Florestais no ambiente urbano, segundo recomendações de

Laurito<sup>16</sup> (comunicação pessoal). Os mesmos poderiam ser estabelecidos nos vazios urbanos<sup>17</sup> existentes em São Carlos, que se localizam muitas vezes em áreas com as seguintes características: alta densidade populacional, alta impermeabilização (e conseqüente baixa drenagem), proximidade de indústrias potencialmente poluidoras e proximidade de Áreas de Proteção Ambiental (como a APA de Corumbataí). Tal medida favoreceria toda a população de São Carlos pelo incremento dos serviços ambientais derivados do aumento da biodiversidade no ambiente urbano, com possibilidade de se criarem:

- Áreas de exploração econômicas coletivas;
- Áreas de lazer coletivas;
- Cenários propícios às ações de educação ambiental;
- Parques urbanos com inúmeras funções ecológicas, tais como o tamponamento de vários tipos de poluição, a possibilidade de conexão da fauna de diversos fragmentos e, logicamente, o melhoramento da regulação climática.

São Carlos ocupa uma posição privilegiada e estratégica geográfica e socialmente. Isto é determinado pela sua paisagem original, que compreende biomas importantes pela riqueza biológica, pelo seu estado de vulnerabilidade (como o cerrado, a Mata Atlântica e as araucárias) e pela importância de seus recursos hídricos, já que o município localiza-se no divisor de águas de duas importantes bacias hidrográficas do Estado de São Paulo e sobre o maior reservatório de águas subterrâneas do mundo. A isto se soma a existência de suas renomadas Universidades e Centros de pesquisas, que poderiam conferir a esta cidade um status destacado na preservação ambiental.

Entretanto, a classe científico-ambientalista e o Poder Público têm conversado pouco entre si no sentido de se praticarem políticas menos agressivas ao ambiente. Ao contrário, a urbanização vem ocorrendo seguindo a visão imediatista e não compromissada por parte de grupos empreendedores e tomadores de decisões com a qualidade de vida dos seres humanos

---

<sup>16</sup> Informações relacionadas ao projeto de pesquisa "Estudo prospectivo visando o uso de Sistemas Agro-Florestais nos agroecossistemas de São Carlos", realizado no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

<sup>17</sup> Tais áreas constituem propriedades particulares e servem à especulação imobiliária, não resultando em nenhum uso ou função que beneficie a coletividade (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS, 2002).

presentes e futuros e com os demais seres vivos. Como consequência, a sustentabilidade local é ameaçada, já que o corte da vegetação (especialmente aqueles verificados nas margens dos córregos, posteriormente canalizados) implica na aniquilação dos serviços ambientais outrora prestados por este recurso, tais como a ciclagem de materiais, a conectividade entre os organismos de outros ambientes e o equilíbrio microclimático. O desenvolvimento urbano cujo planejamento não visa ao atendimento de interesses coletivos compromete inegavelmente diversos ambientes de alto valor ecológico, o que põe em risco a sua própria viabilidade.