



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

FRAGMENTOS FLORESTAIS URBANOS E
INTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM
DIFERENTES ESCALAS:
ESTUDOS EM CAMPINAS, SP

CRISTIANE DACANAL

Campinas
2011





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

CRISTIANE DACANAL

**FRAGMENTOS FLORESTAIS URBANOS E INTERAÇÕES
CLIMÁTICAS EM DIFERENTES ESCALAS:
ESTUDOS EM CAMPINAS, SP**

Tese apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos quesitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na Área de concentração de Arquitetura e Construção.

ORIENTADORA: PROFA. DRA. LUCILA CHEBEL LABAKI

**Campinas
2011**

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

D115f	Dacanal, Cristiane Fragmentos florestais urbanos e interações climáticas em diferentes escalas: estudos em Campinas, SP / Cristiane Dacanal. --Campinas, SP: [s.n.], 2011. Orientador: Lucila Chebel Labaki. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 1. Climatologia urbana. 2. Planejamento urbano - Fatores climaticos. 3. Planejamento urbano. 4. Florestas urbanas. 5. Solo urbano - Uso. I. Labaki, Lucila Chebel. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.
-------	---

Título em Inglês: Urban forest fragments and climatic interactions in different scales: studies in Campinas city, Sao Paulo (Brazil)

Palavras-chave em Inglês: Urban climatology, Urban planning - Climatic factors, Urban planning, Urban forests, Urban Land - Use

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Eleonora Sad de Assis, Léa Cristina Lucas de Souza, Jansle Vieira Rocha, Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina

Data da defesa: 11-10-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

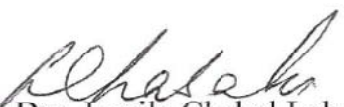


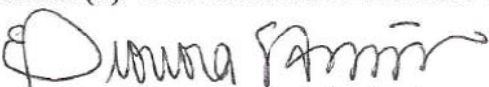
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

FRAGMENTOS FLORESTAIS URBANOS E INTERAÇÕES
CLIMÁTICAS EM DIFERENTES ESCALAS:
ESTUDOS EM CAMPINAS, SP

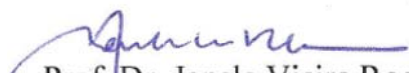
Cristiane Dacanal

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:


Prof. Dra. Lucila Chebel Labaki
Presidente e Orientador(a)/ Universidade Estadual de Campinas


Prof. Dra. Eleonora Sad de Assis
Universidade Federal de Minas Gerais


Prof. Dra. Léa Cristina Lucas de Souza
Universidade Federal de São Carlos


Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha
Universidade Estadual de Campinas


Prof. Dr. Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina
Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 11 de outubro de 2011



Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo e Beatriz, e aos meus avôs José e Hercília, que me sensibilizaram para o valor da Natureza, ainda que fosse no nosso pequeno quintal, sob a pitangueira, a jaboticabeira, o parreiral de uvas...





AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki, por ter acreditado neste trabalho, além de servir-me de exemplo pela sua dedicação à academia.

Aos professores, que colaboraram para a minha formação e no desenvolvimento desta pesquisa – Profa. Dra. Rozely Ferreira dos Santos (LAPLA-UNICAMP), Profa. Dra. Léa Cristina Lucas de Souza (UFSCAR); Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha (LABGEO-UNICAMP), Profa. Dra. Solange Gurgel de Castro Fontes (UNESP).

Aos técnicos Obadias e Daniel do LACAF (FEC), pela preparação da instrumentação necessária na coleta de dados; e ao técnico Agmon do LABGEO (FEAGRI), pelas aulas de SIG.

Ao meu querido irmão, Prof. Dr. Gustavo Cesar Dacanal, que sempre simplificou o meu modo de pensar – uma luz na engenharia! Ao meu esposo, biólogo e fisiologista vegetal, Dr. Saulo de Tarso Aidar, que ao contrário, sempre me fez mil perguntas, sugerindo outros caminhos e me mostrando as interferências na solução do problema.

Aos meus colegas do LACAF, pelas suas contribuições durante os seminários. À Talita Meulman, aluna de Iniciação Científica, que colaborou com os monitoramentos microclimáticos.

À Prefeitura Municipal de Campinas, que cedeu as fotografias aéreas e autorizou a realização dos trabalhos nos bosques, com o apoio dos funcionários. À Fundação José Pedro de Oliveira, que autorizou a realização da pesquisa na Mata de Santa Genebra.

Agradeço a toda a minha família e aos meus amigos, que me incentivaram e me acolheram – Paulo, Beatriz, Débora, Maurício, Nilmara, Clarice, Shirley, Waldyr, Camila, Arnaldo, Vânia, Gustavo, Nádia, André, José Adolfo, Alê, Aline, Adriana, Seizo, Paulinha, Javier, Ana Luisa, Juan....

Agradeço especialmente à CAPES pela bolsa de doutorado, que possibilitou a minha dedicação exclusiva para o desenvolvimento desta pesquisa.



x

RESUMO

DACANAL, Cristiane. **Fragmentos florestais urbanos e interações climáticas em diferentes escalas: estudos em Campinas, SP.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2011. 220p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2011.

O processo de urbanização é causador de grandes impactos ambientais, dentre eles a extinção da vegetação nativa. Pouco se sabe sobre o efeito de fragmentos florestais no clima local urbano, apesar de haver um consenso em relação aos benefícios da vegetação na modificação do microclima e na melhoria dos níveis de conforto térmico humano. Este estudo tem como objetivos caracterizar o microclima de fragmentos florestais, remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual, na cidade de Campinas-SP; quantificar a magnitude e a extensão do efeito de fragmentos florestais urbanos no clima do entorno edificado; e encontrar um percentual mínimo de área de fragmento florestal em relação à área total urbanizada que seja suficiente para modificar o clima local urbano. Para tanto, foram realizados monitoramentos fixos e móveis de variáveis climáticas na microescala e na escala local urbana. Os fragmentos florestais foram caracterizados por meio da abertura do dossel florestal, da área e com base em inventários. A paisagem urbana foi descrita a partir da classificação do uso do solo, sendo possível distinguir as zonas climáticas urbanas e o padrão da fronteira. Os resultados mostram que a estabilidade térmica aumenta com a área dos fragmentos florestais. Ocorrem diferenças térmicas e de umidade do ar no perfil vertical e horizontal das florestas, que são influenciadas pelo ambiente construído. Por outro lado, foi possível constatar que o efeito das florestas sobre o clima local urbano aumenta com o percentual de área de floresta sobre o total urbanizado ($A.V. / A.U.$). Sugere-se uma porcentagem mínima de 20% de $A.V. / A.U.$ No tecido urbano, recomenda-se a distribuição homogênea de fragmentos florestais, com formato regular, em uma distância de aproximadamente o dobro da largura média dos fragmentos.

Palavras-chave: Climatologia urbana, Planejamento urbano - Fatores climáticos, Planejamento urbano, Florestas urbanas, Solo urbano - Uso.





ABSTRACT

DACANAL, Cristiane. **Urban forest fragments and climatic interactions in different scales: studies in Campinas city, Sao Paulo (Brazil)**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2011. 220p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2011.

The urbanization process causes major environmental impacts, among them the native vegetation extinction. Little is known about the effects of forest fragments in an urban environment, although there is a consensus regarding the benefits of vegetation in modifying the microclimate and improving the human thermal comfort. This study aims to characterize the microclimate of the forest fragments, remnants of Semideciduous Seasonal Forest, in the city of Campinas; to quantify the magnitude and extent of the effect of urban forest fragments in the climate of the surrounding buildings; and to find a minimum percentage of forest fragmentation area in relation to the total urbanized area which is sufficient to modify the local urban climate. Thus, observations of climate variables in both micro and local scales were made. The forest fragments were characterized by measurements of forest canopy openness, area and inventories. The urban landscape was described based on land use classification, being possible to distinguish the climatic urban zones and the frontier pattern. The results show that thermal stability increases with the area of forest fragments. There were differences of thermal and air humidity in the vertical and horizontal profile of forests, which are influenced by the built environment. On the other hand, it was possible to conclude that the effect of forests on the local urban climate increases along with the percentage of forest area over the total urbanized area ($A.V. / A.U.$). It was suggested a minimum percentage of 20% of $A.V./A.U.$ It was recommended a homogenous distribution of forest fragments through the city, in a distance about a double of the medium fragments width.

Key Words: Urban climatology, Urban planning - Climatic factors, Urban planning, Urban forests, Urban Land - Use.





LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1- Fluxograma mostrando a organização da tese e a dependência das etapas de trabalho.	4
---	---

Capítulo 2

Figura 2.1 - Esquemas das escalas climáticas e camadas de ar verticais encontradas em áreas urbanas. PBL – <i>planetary boundary layer</i> ou camada limite planetária, UBL – <i>urban boundary layer</i> ou camada limite urbana, UCL – <i>urban canopy layer</i> ou dossel urbano.....	9
--	---

Figura 2.2 – Classificação simplificada de formas urbanas distintas organizadas em ordem aproximadamente decrescente quanto à capacidade de impacto no clima local. H – altura das edificações; D – distanciamento entre as edificações..	10
--	----

Figura 2.3 - Padrões espaciais e escala climática de observação.	12
---	----

Figura 2.4 – Influência da folhagem no perfil do vento de uma floresta de carvalho.....	18
---	----

Capítulo 3

Figura 3.1 - Etapa 1: Escolha e caracterização física das áreas de estudo.	49
---	----

Figura 3.2 - Etapa 2: Materiais e técnicas de coletas de dados.....	50
---	----

Figura 3.3 – Estação meteorológica de referência – CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura).	51
--	----

Figura 3.4 – Localização do Município de Campinas no Estado de São Paulo.....	52
---	----

Figura 3.5– Média mensal da temperatura do ar e precipitação em Campinas. Dados de Jun. 1998 a Out. 2008 comparados aos registros do ano de 2009.	53
--	----

Capítulo 4

Figura 4.1 – Perfil de uma Floresta Estacional Semidecidual, baseado na descrição de Santin (1999).....	56
---	----

Figura 4.2– Mapa de vegetação remanescente no Município de Campinas, com destaque para as áreas de estudo.....	58
--	----



Figura 4.3– Fotografias das áreas de estudo. (a) Mata de Santa Genebra, vista da Trilha Baroni; (b) Bosque dos Italianos; (c) Bosque dos Alemães; (d) Bosque São José; (e) Bosque dos Guarantãs; (f) Bosque da Paz.	60
Figura 4.4– Registrador de temperatura e umidade ambientes, protegido da radiação e ventilado naturalmente, fixado em (a) tripé, na altura de 1,5 m do solo; (b) árvore, na altura de 10 m do solo.	63
Figura 4.5 - (a) <i>Data-logger</i> de temperatura e umidade ambiente, marca Testo 175-H2 (b) <i>Data-logger</i> de temperatura ambiente, marca Testo 175-T2.	63
Figura 4.6 – Comportamento térmico diário em fragmentos florestais urbanos da cidade de Campinas, SP comparados à estação meteorológica do CEPAGRI. Dados obtidos nas alturas de 1,5 m (matas e bosques) e 10 m (CEPAGRI) entre Jan. e Ago. de 2009, totalizando 40 dias de observação.	67
Figura 4.7 – Comportamento diário da umidade relativa do ar em fragmentos florestais urbanos da cidade de Campinas, SP comparados à estação meteorológica do CEPAGRI. Dados obtidos nas alturas de 1,5 m (matas e bosques) e 10 m (CEPAGRI) entre Jan. e Ago. de 2009, totalizando 40 dias de observação.	67
Figura 4.8 – Boxplots, em relação à média, da temperatura do ar (°C) em fragmentos florestais urbanos da cidade de Campinas, SP. Dados obtidos nas alturas de 1,5m (matas e bosques) entre Jan. e Ago. de 2009, totalizando 40 dias de observação.	70
Figura 4.9– Boxplots, em relação à média, da umidade relativa do ar (%) em fragmentos florestais urbanos da cidade de Campinas, SP. Dados obtidos nas alturas de 1,5m (matas e bosques) entre Jan. e Ago. de 2009, totalizando 40 dias de observação.	70
Figura 4.10– Temperatura do ar (°C) no interior de fragmentos florestais urbanos em duas alturas (10m e 1,5m). Dados obtidos entre Ago. e Set. de 2009, totalizando 17 dias de observação.	73
Figura 4.11 – Umidade relativa do ar (%) no interior de fragmentos florestais urbanos em duas alturas (10m e 1,5m). Dados obtidos entre Ago. e Set. de 2009, totalizando 17 dias de observação.	73
Figura 4.12 – Influência da velocidade dos ventos no gradiente térmico de um fragmento florestal urbano.	75



Figura 4.13– Gradiente de temperatura e umidade do ar no interior de fragmentos florestais urbanos. Valores adimensionais, em uma escala de zero a um, baseados em dados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade absoluta do ar (g/m^3) e umidade relativa do ar (%), monitorados na altura de 1,5m, às 14:00h.....	77
Figura 4.14 - Fotografias hemisféricas do dossel de fragmentos florestais urbanos, tiradas na altura de 1,5m, e medidas de abertura (%) correspondentes.	80
Figura 4.15 – Abertura do dossel florestal (%) em fragmentos florestais urbanos na cidade de Campinas-SP.....	80
Figura 4.16– Gradiente térmico e de umidade do ar ao longo de uma trilha na Mata de Santa Genebra – Campinas, SP. Dados adimensionais baseados em: (a) Temperatura do ar (b) Umidade absoluta do ar (c) Umidade relativa do ar, medidos às 14h na altura de 1,5m.....	84
Capítulo 5	
Figura 5.1– Fixação dos registradores de temperatura e umidade do ar em: (a) escada de caixa d’água, mostrando detalhe da fixação do protetor do <i>data-logger</i> (b) antena de televisão profissional (c) antenas residenciais..	92
Figura 5.2– Localização dos sítios de monitoramento no Município de Campinas. Imagem do Satélite LANDSAT 5, de 05 Ago. 2009.....	95
Figura 5.3– Fotografias aéreas dos sítios urbanos de monitoramento climático em Campinas, SP. Ano de 2005.....	96
Figura 5.4– Usos do solo no Sítio 1.	98
Figura 5.5 – Vista aérea do Sítio 2. a) Praça da Torre do Castelo; b) Bosque dos Italianos; c) Centro. Fonte: Campinas (2006, p.205).....	99
Figura 5.6 – Usos do solo do Sítio 2.	100
Figura 5.7– Usos do solo do Sítio 3.	102
Figura 5.8 – Usos do solo do Sítio 4.	104
Figura 5.9 – Usos do solo do Sítio 5.	106
Figura 5.10 – Percentuais de usos do solo nos sítios urbanos.	107
Figura 5.11 – Temperatura do ar e umidade relativa do ar ao longo do tempo na área urbana e na área rural. Dados obtidos na Estação Meteorológica do CEPAGRI, e média dos	



monitoramentos realizados em cinco pontos na área urbana de Campinas. Dados obtidos entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009, na altura de 10 m.109

Figura 5.12 – Diferença térmica entre a área urbana e rural (ΔT_{u-r} , em °C) ao longo do tempo. Cálculo a partir da média horária dos dados obtidos na Estação Meteorológica do CEPAGRI (altura de 1,5m), e da média de monitoramentos realizados em cinco pontos na área urbana de Campinas, entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009 (altura de 10m).....110

Figura 5.13 – Temperatura do ar ao longo do tempo obtida em sítios urbanos em Campinas, SP. Média horária dos dados obtidos entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009, com registradores posicionados a (a) 1,5 m e a (b) 10 m do solo.....112

Figura 5.14 – Temperatura do ar e umidade absoluta do ar ao longo do tempo em sítios urbanos e na zona rural de Campinas, SP. Dados obtidos entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009, com registradores posicionados a 1,5 m e a 10 m do solo. Dados que representam a zona rural foram obtidos na estação meteorológica do CEPAGRI. (a) Sítio 1 (Bosque de Barão); (b) Sítio 2 (Jardim Guanabara); (c) Sítio 3 (Jardim Proença); (d) Sítio 4 (Jardim Nova Europa); (e) Sítio 5 (Jardim Madalena)..114

Figura 5.15 – Variáveis climáticas relacionadas ao padrão de ocupação urbana em Campinas, SP. Sítio 1- Bosque de Barão; Sítio 2 - Jardim Guanabara; Sítio 3 - Jardim Proença; Sítio 4 – Jardim Nova Europa; Sítio 5 - Jardim Madalena.....117

Figura 5.16 – Correlações lineares entre a intensidade de ilhas de calor noturnas (ΔT_{u-r}) às 22:00h, a amplitude térmica diária e a taxa de aquecimento em áreas urbanas. Cálculos a partir das médias de dados coletados entre 26/08/2009 e 03/09/2009, na altura de 10m, em cinco sítios urbanos e na estação meteorológica do CEPAGRI, em Campinas-SP.118

Capítulo 6

Figura 6.1 – Técnicas de aquisição de dados para a representação do clima local urbano. *S1* – registros em pontos fixos na camada de inércia; *S2* – registros móveis, com ventilação natural e mecânica do sensor preso em carro em movimento.126

Figura 6.2 – Mapa com informações sobre o percurso e pontos utilizados na correção dos monitoramentos climáticos móveis. Fragmentos florestais urbanos (ponto verde): Zona 1 – Mata de Santa Genebra; Zona 2 – Bosque dos Italianos e dos Alemães;



Zona 3 – Bosque dos Jequitibás; Zona 4 – Bosque São José e dos Guarantãs; Zona 5 – Bosque da Paz.....	128
Figura 6.3- Sensor de temperatura e umidade protegido e ventilado naturalmente e mecanicamente fixado sobre um veículo automotor para registros móveis.....	129
Figura 6.4 - Área de abrangência dos pontos fixos em relação aos dados obtidos por meio móvel.	130
Figura 6.5 – Diferença térmica entre a altura de 10 m e 1,5 m. Cálculo a partir da média dos dados obtidos em cinco pontos fixos, localizados na área urbana de Campinas-SP, entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009. Linhas tracejadas mostram os horários padrão (9:00h, 15:00h e 21:00h) de análise da temperatura do ar obtida por meio móvel.	131
Figura 6.6 – Limites da Zona 1, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.....	135
Figura 6.7 – Limites da Zona 2, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.....	136
Figura 6.8 – Limites da Zona 3, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.....	137
Figura 6.9 – Limites da Zona 4, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.....	138
Figura 6.10 – Limites da Zona 5, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.....	139
Figura 6.11 – Condições do tempo em Campinas entre 11/08/2009 (dia Juliano 223) e 03/09/2009 (dia Juliano 246), segundo a estação meteorológica do CEPAGRI, e delimitação do período de monitoramento do clima urbano.....	140
Figura 6.12 – Temperatura do ar [$^{\circ}\text{C}$] (a) e umidade absoluta do ar [g/m^3] (b) na Zona 1 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.	143
Figura 6.13 – Temperatura do ar [$^{\circ}\text{C}$] na Zona 1 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.....	146



Figura 6.14 – Temperatura do ar [°C] (a) e umidade absoluta do ar [g/m ³] (b) na Zona 2 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.	149
Figura 6.15 – Temperatura do ar [°C] na Zona 2 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.....	151
Figura 6.17 – Temperatura do ar [°C] na Zona 3 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.....	156
Figura 6.18 – Temperatura do ar [°C] (a) e umidade absoluta do ar [g/m ³] (b) na Zona 4 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.	160
Figura 6.19 – Temperatura do ar [°C] na Zona 4 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.....	162
Figura 6.20 – Temperatura do ar [°C] (a) e umidade absoluta do ar [g/m ³] (b) na Zona 5 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.	164
Figura 6.21 – Temperatura do ar [°C] na Zona 5 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.....	166
Figura 6.22 – Diferenças térmicas [°C] e diferenças de umidade absoluta do ar [g/m ³] intra-urbanas em cinco zonas de Campinas-SP, ao longo de quatro dias (gráficos A e B) e três horários (gráficos C e D).....	169
Figura 6.23 – Diferenças térmicas e de umidade do ar na Zona 1.	172
Figura 6.24 – Diferenças térmicas e de umidade do ar na Zona 2.	176
Figura 6.25 – Diferenças térmicas e de umidade do ar na Zona 3.	178
Figura 6.27 – Diferenças térmicas e de umidade do ar na Zona 5.	186
Figura 6.28 – Gradiente térmico e de umidade do ar provocado pelo distanciamento de fragmentos florestais urbanos.	192



Figura 6.29 – Diferenciação de zonas urbanas, para análise do clima local sob influência de fragmentos florestais e da fronteira. UCZ – zona climática urbana, segundo Davenport et al. (2000).	194
Figura 6.30 – Esquema de cálculo do percentual de reserva florestal em relação à área urbanizada.	195
Figura 6.31 – Diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar em relação à média das variáveis da UCZ 1 fronteira com a UCZ 3 em função do percentual de área florestal em relação à área total urbanizada [%].	197
Figura 6.32 – Diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar em relação à média das variáveis da UCZ 3 fronteira com a UCZ 1 em função do percentual de área florestal em relação à área total urbanizada [%].	198
Figura 6.33 – Diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar em relação à média das variáveis da UCZ 3 fronteira com a UCZ 7 em função do percentual de área florestal em relação à área total urbanizada [%].	199
Figura 6.34 – Diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar em relação à média das variáveis da UCZ 5 fronteira com a UCZ 7 em função do percentual de área florestal em relação à área total urbanizada [%].	200
Figura 6.35 – Perfis viários em zona urbana central (UCZ 1) com diferentes razões entre a altura das edificações (H) e a distância entre elas (D). (A) Avenida Aquidabã, na aproximação de um fragmento florestal; (B) Avenida Francisco Glicério (“core” da UCZ 1), ambas em Campinas-SP.....	202





LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 2.1- Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o “Clima Urbano”.....	8
Tabela 2.2- Faixa espectral e efeito da radiação sobre as plantas.....	14
Tabela 2.3 - Pesquisas que avaliaram a influência da vegetação no clima urbano.....	40
Tabela 2.4- Características gerais de pesquisas que avaliaram a influência da vegetação no clima urbano.	45

Capítulo 3

Tabela 3.1- Áreas de estudo, espaços urbanos de abrangência e escala climática.....	47
---	----

Capítulo 4

Tabela 4.1 - Fragmentos florestais urbanos em Campinas, selecionados para a pesquisa, e dados de levantamentos florísticos segundo Santin (1999) e Guaratini et al. (2008).	61
Tabela 4.2 – Temperatura do ar e umidade relativa do ar em fragmentos florestais urbanos. Monitoramentos simultâneos, entre Jan. – Ago. de 2009 (total de 40 dias), em tripés na altura de 1,5m.	68
Tabela 4.3 – Média horária e desvio padrão (d.p.) da temperatura do ar - T_{ar} [°C] - e umidade absoluta do ar - UA [g/m ³] - em fragmentos florestais urbanos em Campinas-SP. Dados medidos no período de Ago.-Set. de 2009, nas alturas de 1,5 m e 10 m.	74

Capítulo 5

Tabela 5.1– Sítios de monitoramento climático e fragmentos florestais urbanos presentes nas imediações, localizados na cidade de Campinas, SP.....	95
Tabela 5.2 – Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 1, em um raio de 500 m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.	98
Tabela 5.3– Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 2, em um raio de 500m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.	100



Tabela 5.4– Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 3, em um raio de 500m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.	102
Tabela 5.5 – Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 4, em um raio de 500m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.	104
Tabela 5.6 – Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 5, em um raio de 500m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.	106
Tabela 5.7– Diferença térmica (ΔT_{u-r} , em °C) entre sítios urbanos e a zona rural de Campinas, SP, em três horários do dia: (a) 6:00h; (b) 14:00h; (c) 22:00h.....	110
Capítulo 6	
Tabela 6.1 - Diferença entre os dados iniciais e finais dos registros móveis (circuito fechado), após as correções	132
Tabela 6.2 - Porcentagens de usos do solo da Zona 1.....	135
Tabela 6.3- Porcentagens de usos do solo da Zona 2.....	136
Tabela 6.4 - Porcentagens de usos do solo da Zona 4.....	138
Tabela 6.5 - Porcentagens de usos do solo da Zona 5.....	139
Tabela 6.6 – Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m ³], obtidos por meio móvel na Zona 1.	145
Tabela 6.7 – Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m ³], obtidos por meio móvel na Zona 2.	150
Tabela 6.8 – Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m ³], obtidos por meio móvel na Zona 3.	155
Tabela 6.9 – Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m ³], obtidos por meio móvel na Zona 4.	161
Tabela 6.10– Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m ³], obtidos por meio móvel na Zona 5.	165
Tabela 6.11 – Diferença térmica entre os fragmentos florestais e urbanos e as zonas urbanas em que se inserem. Medidas fixas realizadas a 1,5 m (fragmentos) e medidas móveis estimadas para a altura de 10 m (área urbana).	187
Tabela 6.12 - Percentuais mínimos de floresta sobre em relação à área total urbanizada para a modificação do clima local.....	205



SUMÁRIO

1	Introdução	1
	Hipótese	2
	Organização do trabalho	2
2	Consideração do padrão espacial e da escala na observação do clima urbano.....	5
	2.1 Clima urbano: definição, classificação e estratégias de abordagem.....	5
	2.2 Interações entre solo, planta e atmosfera	12
	2.3 Clima urbano e vegetação: revisão de estudos de caso em diferentes escalas.....	19
	2.3.1 A escala da cidade	20
	2.3.2 A escala do bairro.....	23
	2.3.3 A escala da quadra	32
	2.3.4 Pesquisas com foco na conservação ambiental.....	34
	2.4 Síntese dos resultados	36
3	Metodologia geral da pesquisa.....	47
	3.1 Etapas da pesquisa	47
	3.2 O clima de Campinas	52
4	Fragmentos florestais urbanos: caracterização física e interações climáticas	55
	4.1 Fragmentos florestais urbanos na cidade de Campinas	57
	4.2 Materiais e Métodos.....	61
	4.2.1 Monitoramento microclimático nos fragmentos florestais urbanos	61
	4.2.2 Caracterização do dossel florestal	64
	4.2.3 Localização e distância de um ponto à fronteira urbana	65
	4.3 Resultados e discussão	66



4.3.1 Temperatura do ar e umidade relativa do ar em fragmentos florestais urbanos – monitoramentos em pontos fixos a 1,5 m de altura	66
4.3.2 Estratificação da temperatura do ar e umidade relativa do ar em fragmentos florestais urbanos – monitoramentos em pontos fixos em duas alturas (1,5 m e 10 m)	71
4.3.3 Diferenças térmicas e de umidade do ar entre pontos distribuídos no interior de fragmentos florestais urbanos - medidas às 14h na altura de 1,5m	75
4.3.4 Abertura do dossel florestal.....	79
4.4 Estabelecimento de parâmetros relacionados ao microclima de fragmentos florestais urbanos.....	81
4.5 Síntese dos resultados	85
5 Monitoramentos climáticos em pontos fixos urbanos situados próximos de fragmentos florestais.....	89
5.1 Materiais e Métodos.....	91
5.1.1 Monitoramentos climáticos em área urbana.....	91
5.1.2 Caracterização dos sítios de monitoramento	92
5.1.3 Forma de análise dos resultados	94
5.2 Resultados e discussão	94
5.2.1 Apresentação dos sítios de monitoramento	94
5.2.2 Microclima e topoclima em sítios urbanos sob a influência de fragmentos florestais – monitoramentos em pontos fixos em duas alturas (1,5 m e 10 m)	108
5.3 Síntese dos resultados e comentários finais	119
6 Temperatura e umidade do ar local: influência do padrão de uso e ocupação do solo e proximidade de um fragmento florestal.....	121
6.1 A técnica de monitoramentos climáticos móveis	124
6.1.1 Proposição de adequações na técnica de monitoramentos climáticos móveis para a representação do espaço urbano.....	125
6.2 Materiais e Métodos.....	126
6.2.1 Classificação do uso do solo e delimitação de zonas urbanas	127



6.2.2	Monitoramentos em pontos fixos.....	127
6.2.3	Estabelecimento do percurso, procedimentos de medição e instrumentação	127
6.2.4	Delimitação das áreas de influência dos pontos fixos.....	129
6.2.5	Correção horária dos dados obtidos por meio móvel.....	130
6.2.6	Correção dos dados obtidos por meio móvel devido à altura de aquisição	130
6.2.7	Temperatura e umidade dos registros móveis após correções.....	131
6.2.8	Tratamento e representação dos dados.....	132
6.3	Resultados e discussão	133
6.3.1	Apresentação das zonas de monitoramento.....	133
6.3.2	Condições de tempo no período de monitoramento.....	140
6.3.3	Temperatura do ar e umidade absoluta do ar local em diferentes zonas urbanas, em quatro dias e três horários, após a ocorrência de chuva.....	141
6.3.4	Diferenças higrótérmicas intra-urbanas decorrentes de manchas de ocupação e do distanciamento de fragmentos.....	170
6.3.5	Percentual de área de floresta em relação à área total urbanizada para a modificação do clima local urbano	194
6.4	Síntese dos resultados e comentários finais	205
7	Conclusões	209
8	Referências.....	213



1 Introdução

As pesquisas sobre o clima urbano apresentam-se, muitas vezes, dissociadas da prática da arquitetura e do urbanismo. Apesar de se conhecer em teoria o que é o efeito de ilhas de calor e os benefícios da vegetação no meio urbano, o arquiteto, ao desenhar as cidades, utiliza elementos baseando-se na intenção estética e dimensiona os espaços diante de restrições legais e imposições da economia. Nem sempre a definição dos parâmetros urbanísticos, que determinam a geometria urbana, passa pelo crivo da adequação ao clima regional. Desse modo, o conforto térmico é tratado tardiamente, na etapa de projeto arquitetônico e paisagístico, quando poderia ser pensado no processo de planejamento urbano.

Além disso, o avanço no conhecimento sobre o papel da vegetação no microclima e conforto térmico em espaços abertos é recente. As pesquisas com este enfoque tiveram início nos anos 90, avolumando-se a partir de 2000. Ainda assim, poucas tratam dos fragmentos florestais urbanos, possivelmente devido à escassez destas áreas nas cidades.

O déficit de áreas verdes deve-se à destruição sistemática das florestas e avanço do território agrícola e urbano, que ocorreu desde a colonização brasileira. Por outro lado, a exigência de reserva florestal legal, prevista no Código Florestal (BRASIL, 1965), aplica-se somente à zona rural, e a expansão do perímetro urbano, sem a prévia averbação destas reservas, é uma prática comum. A perpetuação da Reserva Legal só ocorreu na reforma do Código Florestal em 1989 (BRASIL, 1989). Além disso, a Lei de Parcelamento do Solo Urbano (BRASIL, 1979) exige a criação de espaços livres públicos, mas não de áreas verdes. Portanto, as florestas urbanas restringem-se, na maioria das vezes, às áreas de preservação permanentes junto aos cursos d'água, em áreas urbanizadas posteriores a 1965.

Em 2011 celebra-se o Ano Internacional das Florestas. O “Fórum das Nações Unidas sobre Florestas” encoraja a união dos povos para a salvaguarda e uso sustentável das florestas. Além disso, o Código Florestal vem passando por uma análise em relação aos percentuais vigentes de Reserva Legal, possibilidade de compensação da reserva dentro do mesmo bioma, mudança no dimensionamento e possibilidade de exploração das Áreas de Preservação Permanentes. Neste sentido, esta pesquisa poderá esclarecer sobre a importância das florestas no meio urbano.



Partindo do princípio de que há uma interação entre os espaços climáticos - edificação, quadra, bairro, cidade e região - presume-se que os fragmentos florestais urbanos alteram o clima do entorno, bem como sofrem influências microclimáticas advindas do ambiente construído. O conhecimento desta interação poderá ser aplicado em benefício das cidades, no que se refere à melhoria do clima urbano e dos níveis de conforto térmico, e em benefício da conservação florestal, com informações que podem ser úteis ao seu manejo.

Dentro deste panorama, esta pesquisa tem como objetivos:

- Caracterizar o microclima de fragmentos florestais urbanos, remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual, localizados na cidade de Campinas, SP;
- Quantificar a magnitude e a extensão do efeito de fragmentos florestais urbanos no clima do entorno edificado;
- Encontrar um percentual mínimo de área de fragmento florestal em relação à área total urbanizada, para diferentes padrões de ocupação, que seja suficiente para modificar o clima local urbano.

1.1 Hipótese

Existe um percentual mínimo de área de fragmento florestal, remanescente da Floresta Estacional Semidecidual, caracterizada pela vegetação predominante arbórea e estratificada, que seja suficiente para influir no clima local urbano. Este percentual é alterado conforme os padrões da paisagem e de suas fronteiras, que podem ser descritos pelas características de uso e ocupação da terra.

1.2 Organização do trabalho

A tese é organizada em oito capítulos, como esquematizado na Figura 1.1. O primeiro consta desta introdução. O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica específica sobre os temas clima urbano, conforto térmico e vegetação. Ressalta-se a necessidade de adequações na metodologia e na análise dos dados, diante das recomendações feitas por Monteiro e Mendonça (2009), Oke (2006a), Oke (1984) e Bowler et al. (2010).

Diante do embasamento teórico, o terceiro capítulo apresenta a metodologia geral do trabalho. Justifica-se a realização de experimentos em diferentes espaços de abrangência urbana -



a quadra, o bairro e a zona urbana - adequando-se os métodos de pesquisa à escala de observação e aos objetivos específicos de cada etapa.

Assim, nos capítulos quatro, cinco e seis são apresentados três experimentos, constando os materiais e métodos específicos e a análise de resultados. Na abrangência da quadra enfocam-se seis fragmentos florestais urbanos, nos quais foram realizados monitoramentos microclimáticos. Na abrangência do bairro, caracteriza-se o uso e ocupação do solo urbano do entorno próximo dos fragmentos florestais estudados e apresentam-se os resultados de monitoramentos fixos representativos do microclima e do clima local urbano. Compara-se a intensidade das ilhas de calor entre os sítios, fazendo associações com os percentuais de usos do solo. Na abrangência das zonas urbanas, os sítios são ampliados, identificando-se os limites de padrões de ocupação, utilizando-se como base a classificação das zonas climáticas urbanas (UCZ) sugerida por Davenport et al. (2000). São apresentados os resultados de monitoramentos móveis, observando-se as diferenças higrótérmicas decorrentes da aproximação das florestas urbanas e de influências do padrão de ocupação da fronteira. Por fim, estima-se um percentual mínimo de área de floresta sobre uma área total urbanizada que seja suficiente para modificar o clima local urbano, confirmando a hipótese.

O sétimo capítulo retoma as principais conclusões dos capítulos anteriores, e o oitavo apresenta as referências bibliográficas.



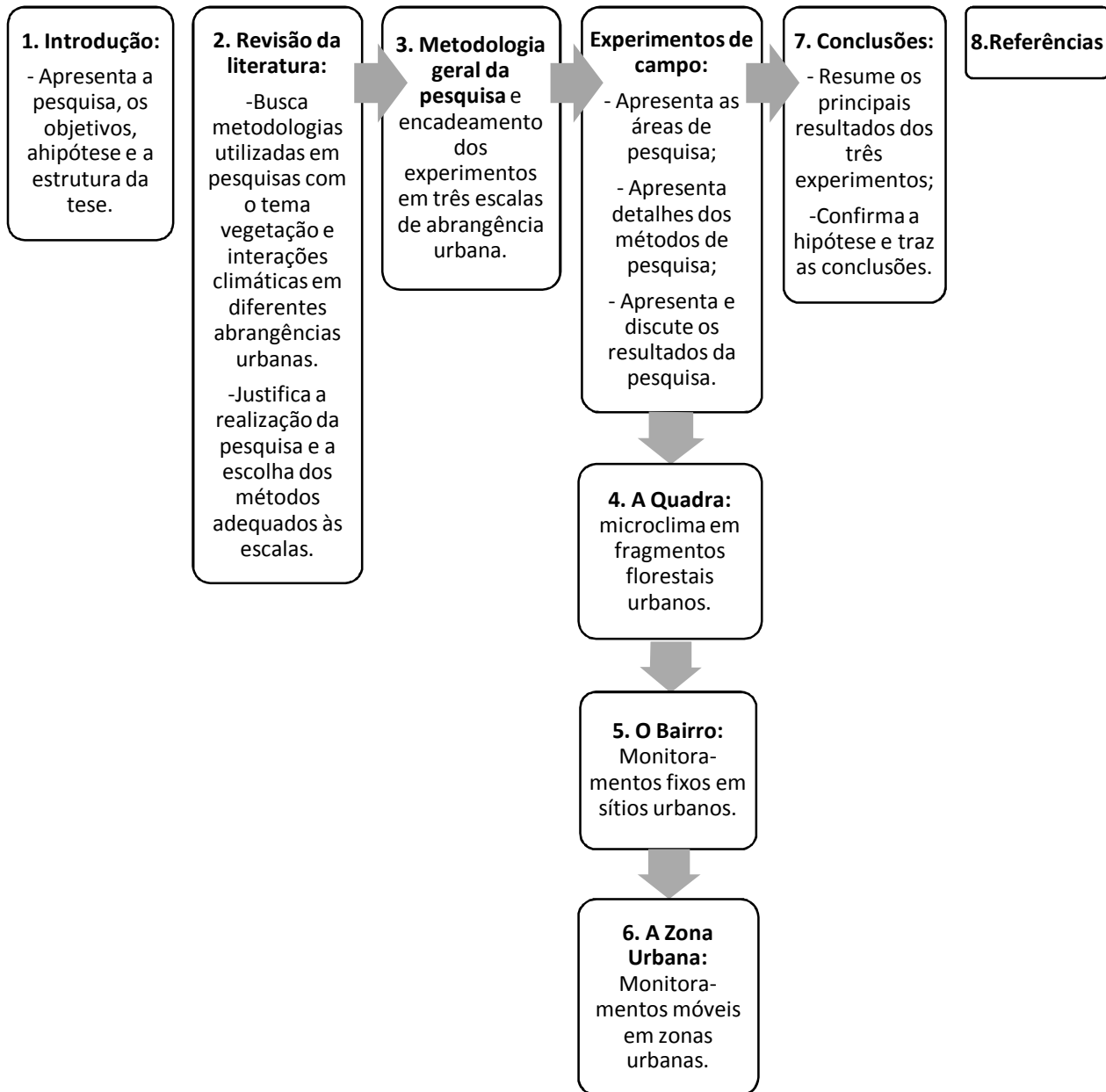


Figura 1.1- Fluxograma mostrando a organização da tese e a dependência das etapas de trabalho.

2 Consideração do padrão espacial e da escala na observação do clima urbano

Este capítulo apresenta um quadro referencial teórico sobre o clima urbano sob a influência da vegetação. Primeiramente, são apresentados os conceitos, as classes climáticas e as estratégias de abordagem do clima urbano, baseando-se principalmente em Monteiro (1976) e Oke (2006a). Para melhor compreensão do microclima das áreas vegetadas, apresentam-se conceitos básicos sobre a interação entre o solo, planta e atmosfera. Por fim, faz-se uma revisão de estudos de casos que identificaram como a vegetação influencia o clima urbano e o conforto térmico humano. É organizada uma tabela classificando-se as pesquisas segundo a abrangência do espaço urbano em que foi realizada (cidade, bairro, quadra, edificação), a escala climática, os meios de observação utilizados na coletas de dados, a categoria de área verde investigada, e o foco da pesquisa (clima e/ou conforto térmico). A partir desta sistematização, discute-se a necessidade de ampliação de pesquisas e a adequação da metodologia para a melhor compreensão do tema vegetação e clima urbano.

2.1 Clima urbano: definição, classificação e estratégias de abordagem

A atmosfera terrestre é uma camada gasosa cujos principais constituintes são o nitrogênio, o oxigênio, o argônio, o dióxido de carbono e o vapor d'água. Esta camada é responsável pela manutenção da vida no planeta, visto que o oxigênio, o dióxido de carbono e a água fazem parte do processo fisiológico da respiração dos seres vivos, e, em particular, da fotossíntese dos vegetais. Além disso, o oxigênio na forma de ozônio, que se concentra na camada mais alta da atmosfera, atua como protetor efetivo da radiação ultravioleta que incide sobre a Terra, reduzindo a quantidade de energia que alcança o planeta (MARIN et al., 2008).

Do total da radiação emitida pelo Sol, apenas 19% incide sobre a superfície terrestre, sendo que 37% difunde-se na atmosfera, 28% reflete-se na camada de nuvens e 16% da radiação é absorvida pela água, ozônio e dióxido de carbono presentes na atmosfera (GEIGER, 1966). A radiação solar que alcança a Terra é responsável pelo aquecimento do



solo e demais superfícies, que por sua vez perdem calor para a atmosfera emitindo radiação de ondas longas¹ ou por meio da evaporação da água (perda de calor latente).

O ganho e a perda de calor da Terra para a atmosfera ocorrem em um ciclo diário. Já a quantidade total de energia, que faz parte deste balanço de calor, varia anualmente, conforme a posição de um ponto do planeta em relação ao Sol, determinando as estações do ano. A quantidade de radiação solar incidente em um ponto da Terra também varia de acordo com a latitude. As regiões próximas do Equador contam com alta incidência de radiação solar durante todo o ano, enquanto nas zonas subtropicais ocorre maior variação no fotoperíodo (duração do dia) e no ângulo de incidência dos raios solares sobre a superfície terrestre (MARIN et al., 2008). Estas diferenças no balanço de energia anual, decorrentes da latitude, explicam, de modo geral, o clima.

Segundo Monteiro e Mendonça (2009, p. 11), “a concepção de clima prende-se àquela dos estados médios dos elementos atmosféricos sobre o dado lugar”. Os elementos que caracterizam o clima são a temperatura do ar, a umidade do ar, a pressão atmosférica, a velocidade e direção dos ventos, a pluviosidade e a radiação. Há ainda a atuação de massas de ar, provenientes de outras regiões, que apresentam características de temperatura, umidade e pressão do seu local de procedência, interferindo no clima de dada região.

No processo de urbanização, os materiais construtivos e a impermeabilização do solo acarretam a diminuição da quantidade de água disponível para as trocas de calor entre a superfície terrestre e a atmosfera, o aumento da absorção de calor devido à alta capacidade térmica dos materiais² e, conseqüentemente, o aquecimento das superfícies e do ar (LOMBARDO, 1997; TAHA, 1997). A concentração de poluentes acima das cidades afeta os fluxos radiativos e a evaporação, modificando o balanço energético entre a camada intra-urbana e a atmosfera (HORBERT; KIRCHGEORG, 1982). Os elementos construídos funcionam, ainda, como barreiras ao vento, causando turbulências e sombras de vento no interior da camada limite urbana, variando entre os padrões de urbanização. Assim,

¹ Segundo a Lei de Stefan-Boltzmann, a energia total emitida por um corpo (Q) é função da quarta potência de sua temperatura absoluta (T), em Kelvin, e da emissividade do corpo emissor (ε). Assim, $Q = T^4 \cdot \epsilon \cdot \sigma$, onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann, igual a $5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ (MARIN et al., 2008).

² Algumas referências de calor específico, em $[\text{kJ/kg}^\circ\text{C}]$ a 20°C , de materiais construtivos: Asfalto - 0,80; Telha - 0,63; Concreto - 0,88; Tijolo comum - 0,92; Vidro - 0,84.



Monteiro e Mendonça (2009) afirmam que a urbanização altera as propriedades meteorológicas da camada de ar próxima da superfície terrestre, produzindo uma “*anomalia na atmosfera*” sobre a cidade, o que caracteriza o clima urbano.

Considerando-se o clima urbano a resposta da interação entre um sítio urbanizado e a atmosfera de um dado lugar, Monteiro (1976) adverte para as oscilações do tempo resultantes da circulação secundária regional. Também Oke (2006b) adverte para as flutuações nas observações climáticas, que podem variar em frações de segundos, com a ocorrência de pequenas turbulências, até mudanças climáticas centenárias, que retratam a história das cidades.

Os estudos do clima urbano abrangem grandezas espaciais que variam desde uma região até uma edificação. Os principais autores que propuseram uma taxonomia para o clima urbano foram Monteiro (1976) e Oke (1987). O primeiro propôs categorias climáticas que são subdivisões do *clima local*, unidade básica de observação meteorológica, como apresentado na Tabela 2.1, associando, a cada uma, os meios de observação para o registro de dados climáticos mais adequados.

Monteiro (1976) adverte que a classificação climática não deve ser interpretada a partir de uma concepção de hierarquia que remete à noção de “escada”. Diante disso, o autor utiliza conceitos da teoria de sistemas para explicar a interdependência entre diferentes níveis hierárquicos. Em cada nível, identifica-se uma organização interna (constituindo um sistema fechado), que depende, porém, do grau de comunicação com os outros níveis hierárquicos, denominados *hólons* (constituindo um sistema aberto). O autor explica que os níveis de organização das unidades climáticas partem da diversificação à especialização e, apesar desta subdivisão, a organização de cada nível depende, fundamentalmente, das ordens de grandeza superiores (o mesoclima depende do clima regional, por exemplo). Concluindo, Monteiro tem a visão simplificada de causa-efeito e atenta para a necessidade de se compreender a interdependência dos processos em termos de organização funcional.



Tabela 2.1- Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o “Clima Urbano”. Fonte: Monteiro (1976, p.109), revisado por Monteiro e Mendonça (2009, p.29) e pela autora.

Ordens de Grandeza (Cailleux e Tricart)	Unidades de Superfície	Escala geográfica de tratamento	Espaços Climáticos	Espaços Urbanos	Estratégias de Abordagem		
					Meios de Observação	Fatores de Organização	Técnicas de Análise
II	10 ⁶ (milhões de km)	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	10 ⁴ (milhões de km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes transectos
IV	10 ² (centenas de km)	1:1.000.000 1:500.000	Sub-regional (fácies)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos regionais	Mapeamento sistemático
V	10 (dezenas de km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise especial
VI	10 (dezenas de km)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande Bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (Episódicos)	Urbanismo	Especiais
-	Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade Fácies de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	Metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação Habitação Setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Já Oke (1987) classifica o clima urbano em três abrangências espaciais, a microescala, a escala local e mesoescala, como apresentado na Figura 2.1. Para cada classe, o autor destaca as variações na camada de ar presentes no perfil vertical, o que acarretará a diferenciação dos métodos de observação climática, especialmente em relação ao posicionamento dos instrumentos.



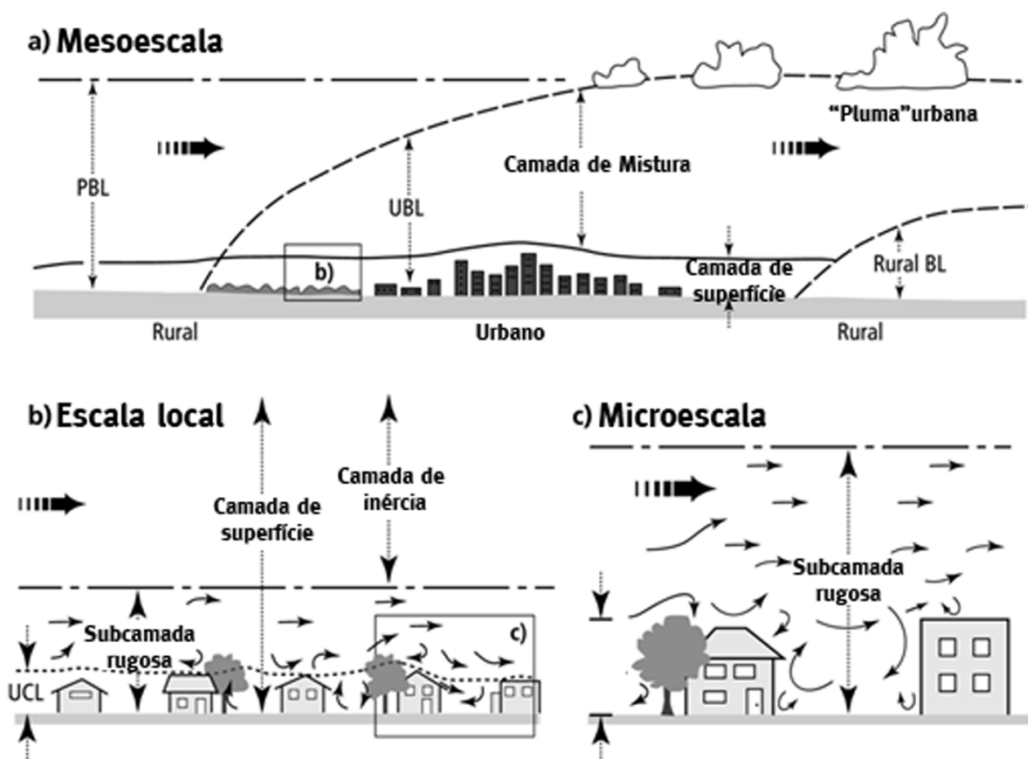


Figura 2.1 - Esquemas das escalas climáticas e camadas de ar verticais encontradas em áreas urbanas. PBL – *planetary boundary layer* ou camada limite planetária, UBL – *urban boundary layer* ou camada limite urbana, UCL – *urban canopy layer* ou dossel urbano. Fonte: Oke (2006a), modificado de Oke (1997). Traduzido livremente pela autora.

Segundo Oke (2006a), os monitoramentos feitos no interior da camada de rugosidade (*roughness sublayer*) caracterizam o microclima. Para a aferição do clima na escala local deve-se fazer os monitoramentos na camada de inércia (*inertial sublayer*), na qual a mistura dos efeitos microclimáticos se completa. Segundo o autor, estima-se que o campo de medidas que indica esta camada de mistura (Z_r) é de 1,5 vezes a altura média das edificações e arborização (Z_h), em áreas adensadas, e pode ser maior que $4 \times Z_h$ em áreas urbanas homogêneas e de baixa densidade. Na mesoescala, os monitoramentos também são feitos acima da camada de rugosidade e, para Oke, nem sempre uma só estação meteorológica é capaz de representar o clima da cidade.

Destacam-se, ainda, Davenport et al. (2000), que distinguem sete zonas climáticas urbanas (UCZ - *Urban Climate Zone*), como apresenta a Figura 2.2. Estas zonas se diferem em relação ao padrão espacial, que pode ser expresso através de parâmetros tais como a relação entre a altura média das edificações e o distanciamento entre elas (H/D), o

percentual de áreas impermeáveis e a classe de rugosidade. As zonas com alto desenvolvimento urbano e verticalização causam maior impacto no clima local, e do lado oposto, encontram-se as zonas com características rurais.

Zona climática urbana	Imagem	Classe de rugosidade	H/D	% Impermeabilização
1. Desenvolvimento urbano intenso, com arranha-céus e alta impermeabilização. Ex. centros urbanos		8	> 2	> 90
2. Desenvolvimento intenso e alta densidade, 2-5 pavimentos. Ex. centros históricos, conjuntos habitacionais		7	1.0 – 2.5	> 85
3. Alto desenvolvimento e média densidade urbana, com casas enfileiradas, lojas e apartamentos		7	0.5 – 1.5	70 - 85
4. Alto desenvolvimento, baixa ou média densidade, edifícios distantes, estacionamento pavimentado. Ex. shoppings.		5	0.05 – 0.2	70 - 95
5. Médio desenvolvimento, baixa densidade suburbana com casas de 1-2 pavimentos. Ex. condomínios horizontais		6	0.2 – 0.6, até >1 com árvores	35 - 65
6. Uso misto com edifícios grandes e isolados. Ex. universidade, hospital, aeroporto.		5	0.1 – 0.5, depende das árvores	< 40
7. Desenvolvimento urbano com casas dispersas em área natural ou agrícola. Ex. fazendas, chácaras.		4	> 0.05, depende das árvores	< 10

Legenda de imagens: edifício vegetação piso impermeável piso permeável

Figura 2.2 – Classificação simplificada de formas urbanas distintas organizadas em ordem aproximadamente decrescente quanto à capacidade de impacto no clima local. H – altura das edificações; D – distanciamento entre as edificações. Fonte: Oke (2004) não publicado citado por Oke (2006, p. 11). Tradução livre da autora, com exemplos adaptados ao Brasil.

Ainda em relação às interações que ocorrem entre as escalas climáticas, destaca-se o tratamento holístico e multidisciplinar feito pela Ecologia da Paisagem, disciplina que tem como objetivo analisar a paisagem sistemicamente, a fim de expressar a heterogeneidade do espaço e “revelar as relações ou processos ativos entre as unidades” (SANTOS, 2004).

Segundo esta disciplina, a paisagem pode ser observada em diferentes escalas. Para analisá-la, identificam-se seus padrões estruturais (disposição ou arranjo espacial) e seus padrões funcionais (ecossistemas e fluxos de matéria e energia) (FORMAN; GODRON, 1986; METZGER, 1999; METZGER, 2001). Os padrões estruturais correspondem às manchas, corredores ou matriz da paisagem. A matriz é uma unidade que controla a dinâmica da paisagem, por recobrir a maior parte do espaço. As manchas estão contidas na matriz e são áreas homogêneas que se distinguem das vizinhas, com extensões espaciais reduzidas e não lineares. Os corredores têm disposição linear e podem dinamizar ou dificultar o fluxo entre as manchas.

A transição entre unidades de paisagens apresenta características peculiares causadas pela interação entre elas, sendo denominado “efeito de borda”. Dessa forma, uma mancha pode apresentar propriedades distintas em suas bordas por estar em contato com outras de diferentes propriedades funcionais e espaciais (METZGER, 2001).

Os conceitos empregados pela Ecologia da Paisagem vão ao encontro de Monteiro (1976), sendo que as relações e processos entre unidades de paisagem são vistas, por este autor, como a interdependência entre os níveis hierárquicos do clima, em busca da autorregulação.

Baseando-se na teoria, propõe-se, na Figura 2.3, passos para a identificação dos padrões espaciais e escolha adequada dos pontos para a instalação dos instrumentos de medição do clima urbano. Este processo permite certa flexibilidade na metodologia de pesquisa, de acordo com os objetivos do pesquisador.



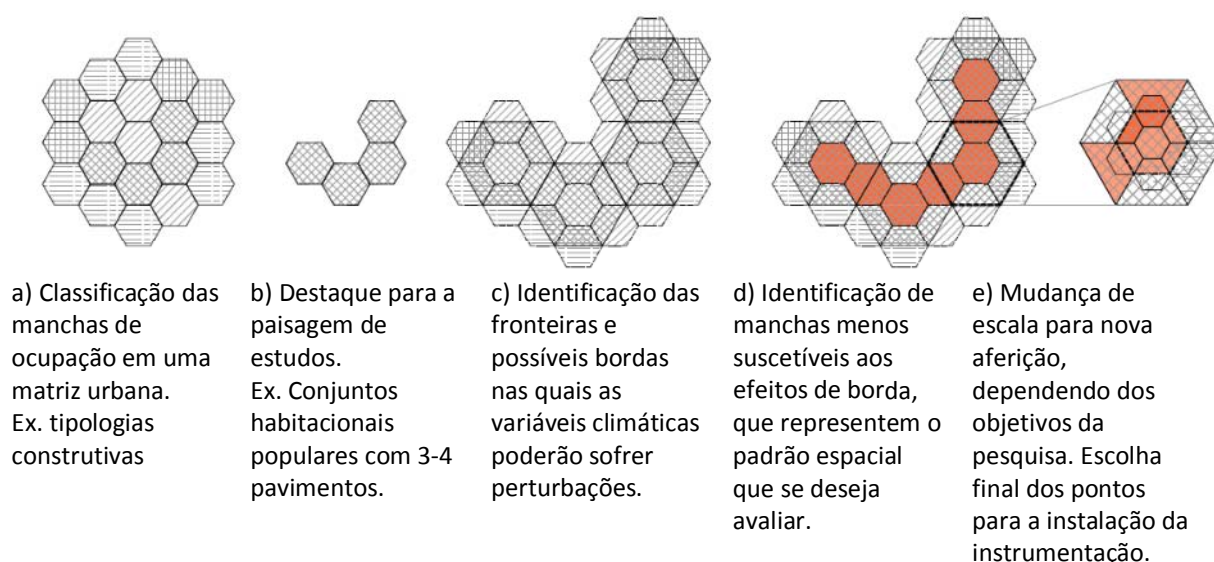


Figura 2.3 - Padrões espaciais e escala climática de observação.

Um resumo da teoria apresentada mostra que o clima representa o estado médio dos elementos da atmosfera de um lugar, e que as alterações da atmosfera local sobre a cidade caracterizam o clima urbano. Há uma inter-relação entre os fenômenos climáticos que ocorrem nas várias escalas espaciais (região, cidade, bairro, quadra, edifício). A resposta do comportamento térmico de padrões espaciais está sujeita às condições de tempo (meteorológico), podendo ocorrer variações nos resultados de pesquisas realizadas em períodos diferentes. Tais variações são proporcionais à escala de observação – quanto menor o objeto de estudos, mais rápidas as perturbações causadas pelo meio. Na paisagem urbana, é necessária a identificação de padrões espaciais, classificados em matriz, manchas e corredores. Recomenda-se a identificação e caracterização de padrões de ocupação e de suas fronteiras, bem como a escolha adequada de técnicas de observação do clima, e o local de instalação dos instrumentos, diante dos objetivos da pesquisa.

2.2 Interações entre solo, planta e atmosfera

Na geofísica, a vegetação é considerada a camada ativa de plantas que isola o solo da atmosfera. Esta camada absorve, transmite e emite radiação, possui capacidade de

absorver e armazenar carbono e de transferir água para a atmosfera, mesmo quando o solo encontra-se com baixa umidade. Nos estudos de Microclimatologia a vegetação é tratada como uma superfície horizontal simplificada, enquanto na Ecologia é vista como um conjunto que possui certa densidade (de plantas ou folhas) e estrutura (MONTEITH, 1975). Já o volume solo-planta-ar é definido como aquele que se estende desde o solo até o topo das plantas, no qual não há significativo fluxo de calor no sentido vertical (OKE, 1987), embora nas florestas ocorra diferença térmica entre a camada dos troncos e das copas (GEIGER, 1966).

O interesse do presente trabalho se dá tanto pela estrutura da vegetação, especificamente pelos fragmentos florestais urbanos, quanto pelo resultado de sua interação com a atmosfera urbana, no que diz respeito à modificação das características microclimáticas da cidade. Considera-se, na definição de vegetação, o solo, além das plantas, em decorrência dos efeitos microclimáticos do conjunto.

As plantas, vistas como um organismo vivo, absorvem e emitem radiação, transpiram e trocam calor com a atmosfera. Nelas, ocorrem mecanismos físicos e bioquímicos para maior eficiência do balanço energético, tais como orientação de folhas e flores em relação à radiação incidente, e a abertura estomática. Os principais efeitos da vegetação no microclima consistem na diminuição da temperatura do ar, no sombreamento, na evapotranspiração e na diminuição da velocidade do vento (GEIGER, 1966).

A radiação solar possui um espectro na qual apenas uma faixa interessa ao crescimento das plantas - a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), ou PAR (*photosynthetically active radiation*) (BEAUDET; MESSIER, 2002), que se concentra entre 380-710 nm. Segundo Larcher (2004), a energia radiante proveniente do sol é fixada em energia química potencial através do processo fotossintético das plantas. Além do efeito fotoenergético (a luz como fonte de energia), a radiação também tem efeito fotocibernético, pois governa e estimula o desenvolvimento da planta, e efeito fotodestrutivo, pois pode ser um fator estressante. Os efeitos da absorção dos quanta de luz pelos fotorreceptores de uma planta se diferenciam pelo momento, duração, direção e composição da radiação, conforme apresentado na Tabela 2.2.



Tabela 2.2- Faixa espectral e efeito da radiação sobre as plantas. Fonte: Ross (1981) referenciado por Larcher (2004, p.41).

Faixa espectral	Comprimento de onda (nm)	Porcentagem da radiação solar	Aproveitamento da fotossíntese	Efeito da radiação		
				Fotoenergético	Fotodestrutivo	Térmico
Ultravioleta	290-380	0-4	I	PE	S	I
RFA*	380-710	21-46**	S	S	PE	S
Infravermelho	750-4.000	50-79**	I	S	PE	S
Ondas longas	4.000-100.000	—	I	I	I	S

Legenda – I- insignificante; S- Significante; PE-pouco efeito. (*) Radiação fotossinteticamente ativa; (**) conforme posição do sol e a cobertura por nuvens.

As folhas são consideradas um corpo negro, com emissividade em torno de 0,95, o que as tornam dissipadoras ideais de calor. A absorvância solar varia entre os comprimentos de onda, sendo mais alta na faixa da RFA (0,85) e das ondas longas (0,95). Em relação à transmitância, as folhas são transparentes às ondas curtas e opacas às longas (OKE, 1987; GEIGER, 1966). A refletância varia ao longo do dia e do ano, pois depende tanto da orientação das folhas como da inclinação solar. Quanto maior a altura solar (próximo de 12h), maior a refletância. Depende ainda das características das folhas, tais como brilho, presença de pêlo e cor. Toma-se como parâmetro um albedo médio de 0,3. Este também varia com os comprimentos de onda, com alta refletância na região do infravermelho (0,7), propiciando a comunicação entre as plantas para a busca de luz, no chamado sistema fitocromo.

Em composições estratificadas de plantas, a radiação é utilizada pelas copas mais altas até as folhagens mais baixas, de maneira que cerca de 2% alcança o solo. Quanto mais variadas em espécies, maior a capacidade de absorção de radiação. Comparando-se o espectro da radiação abaixo de uma cerca de arbustos e abaixo de uma floresta densa, observa-se que a faixa entre 400 nm e 700 nm é praticamente toda absorvida pela floresta, enquanto nos arbustos esta faixa se concentra próximo de 700 nm (LARCHER, 2004).



Assim, a distribuição da luz abaixo do dossel florestal é determinada por sua estrutura, variando entre os tipos de floresta e mesmo entre os pontos de uma mesma floresta natural, em decorrência de sua composição. Além disso, a quantidade de luz que chega ao solo depende da idade da floresta. Em caso de plantios homogêneos, como as florestas com destino madeireiro, há maior quantidade de luz nas florestas antigas (GEIGER, 1966), embora se suponha que o mesmo não ocorra em florestas com vegetação diversa e estratificada. A densidade foliar, arranjo das folhas no interior da vegetação e ângulo existente entre a folha e radiação incidente, são os principais fatores para a atenuação da radiação solar (LARCHER, 2004).

O saldo de radiação (SR) é a soma dos balanços de ondas longas ($B_{\lambda l}$) e de ondas curtas ($B_{\lambda c}$), expresso segundo a Equação 2.1, e pode ser obtido por meio de um saldo-radiômetro (ou net-radiômetro). O balanço de ondas curtas refere-se à parcela de radiação de ondas curtas absorvida pela superfície terrestre, dependendo, portanto, do albedo (refletância). O balanço de ondas longas é a diferença da densidade de fluxo de energia radiante emitida pela atmosfera e que atinge a superfície da Terra, e a energia radiante da superfície terrestre em direção à atmosfera. O balanço de ondas longas depende, portanto, da emissividade das superfícies e das condições atmosféricas.

$$SR = B_{\lambda l} + B_{\lambda c} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

O balanço de energia relaciona o saldo de radiação (SR) aos fluxos de calor latente e sensível e ao armazenamento de energia, segundo a Equação 2.2:

$$SR = LE + H + G + F + \Delta A \quad (\text{Eq. 2.2})$$

onde – SR é o saldo de radiação; LE é a energia utilizada para evaporação da água (fluxo de calor latente); H é a energia gasta para o aquecimento do ar (fluxo de calor sensível); G é a energia conduzida para o solo; F é a energia utilizada na fotossíntese; e ΔA é a variação do armazenamento de energia térmica no ambiente, podendo ser positivo ou negativo de acordo com a variação da sua temperatura (MARIN et al., 2008, p. 42).



O armazenamento físico e bioquímico de energia (F e ΔA) constitui uma fração muito pequena, podendo ser desprezado - cerca de 32 W/m^2 , somados (OKE, 1987). Os termos LE e H geralmente representam mais de 90% de SR , sendo os principais componentes do balanço energético. Em ambientes úmidos LE tem maior representatividade no balanço de energia, mas em ambientes secos H tem maior relevância (MARIN et al, 2008). Neste sentido Marin et al. (2008, p. 44) destacam que:

Essa relação simples explica em grande parte por que o cultivo de árvores (qualquer tipo de vegetação, na verdade) nas zonas urbanas atua como redutor da temperatura do ar, já que se tem nas plantas uma espécie de “sumidouro” de energia radiante, utilizada no processo de mudança de fase da água. Em contrapartida, em ambiente com ausência de vegetação ou de corpos d’água, a energia radiante disponível no ambiente é convertida predominantemente em fluxo de calor sensível, com elevação da temperatura do ar aos níveis normalmente observados em grandes centros urbanos nos horários mais quentes do dia.

O alto conteúdo de água nas plantas (cerca de 60 a 90% da massa física fresca) é responsável tanto pelo aquecimento dos seus tecidos como pelo seu resfriamento. O calor específico de um tecido vegetal suculento é de aproximadamente $0,8 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ (PEIXOTO, 2004). Para regular a temperatura dos tecidos foliares, ocorre a abertura estomática e a liberação de vapor d’água, mantendo os limites térmicos apropriados ao metabolismo das plantas (ANGELOCCI, 2002). Os mecanismos de termorregulação variam entre as espécies vegetais, e influenciam na quantidade de energia absorvida. Estes mecanismos dependem do clima, da disposição de água no solo e no ar, e da competição entre indivíduos.

O efeito conjunto da evaporação da água percolada no solo, das gotículas presas nas superfícies das plantas e da transpiração, é denominado de evapotranspiração. O balanço hídrico do sistema solo-planta-ar ocorre segundo a Equação 2.3 (ANGELOCCI, 2002).

$$P = E + \Delta r + \Delta s + Q \quad (\text{Eq. 2.3})$$



onde – P é a precipitação, E é a perda por evaporação; Δr é a água armazenada no interior das plantas e solo; Δs é a água disponível superficialmente, na forma de gotículas; e Q é o escoamento superficial (valores expressos em mm/unidade de tempo).

É importante ressaltar que o conteúdo de água disponível no solo determina a quantidade de água perdida pela evapotranspiração. Um gramado após um dia de chuva perde cerca de 2,8 mm de água/dia, mas em dias secos esta taxa cai para 1,1 mm/dia. Ao contrário, as superfícies d'água evaporam mais em dias secos, visto que a umidade do ar encontra-se mais baixa (GEIGER, 1966). A área foliar é um parâmetro utilizado para estimar a perda de água por transpiração.

A interceptação da chuva também é uma qualidade importante da vegetação. As vantagens consistem na proteção do solo contra a lixiviação e erosão, e retorno rápido da água para a atmosfera, devido ao aumento da evapotranspiração. A porcentagem de água de chuva interceptada pode variar entre 10 -25% nas florestas decíduas e entre 15-40% nas florestas de coníferas (OKE, 1987), variando com a densidade de precipitação (GEIGER, 1966). Em uma floresta primária subtropical brasileira, a interceptação chega a 82% (GEIGER, 1966).

A ventilação acelera a perda de calor, tanto pela evapotranspiração, quanto pelas trocas turbulentas ou convectivas. A resistência difusiva da camada laminar de ar aderida às folhas diminui proporcionalmente com o aumento da velocidade dos ventos. Esta resistência, também diminui com a diferença térmica entre a folha e o ar, mas aumenta com a área da folha (GEIGER, 1966; OKE, 1987; MARIN et al. 2008).

Em relação ao comportamento do vento no interior da vegetação, verifica-se que sua velocidade tende à zero nas copas das árvores, nos arbustos e nas gramíneas. Nas árvores isoladas e agrupamentos arbóreos forma-se uma zona de alta pressão nas laterais, menor velocidade na direção atuante da corrente de ar, a barlavento, e baixa pressão a sotavento. Esta diferença de pressão acarreta a distribuição desigual da chuva (LARCHER, 2004). Analisando o perfil do vento no perfil vertical de uma árvore com folhas, verifica-se uma pequena aceleração na altura dos troncos, diminuindo nas copas e acelerando novamente no topo da mesma. Esta desaceleração já não ocorre no seu estado decíduo (GEIGER, 1966), como ilustra a Figura 2.4.



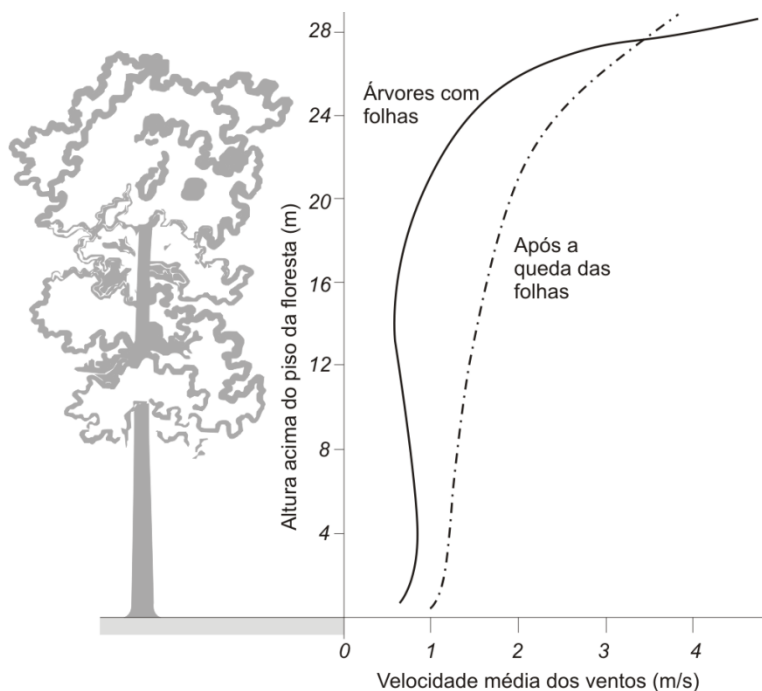


Figura 2.4 – Influência da folhagem no perfil do vento de uma floresta de carvalho. Fonte: Geiger (1966, p.313).

Os mecanismos biofísicos da vegetação resultam em um microclima ameno, úmido e com baixa velocidade do ar, em relação às áreas não vegetadas. A camada das copas das árvores funciona como um filtro para a radiação solar, impedindo sua incidência direta no solo, diminuindo o aquecimento desta superfície e, conseqüentemente, a temperatura do ar. No entanto, esta camada também bloqueia a radiação de ondas longas emitida pelo solo e pelas plantas situadas no sub-bosque da floresta, de modo que o interior das florestas apresenta temperaturas noturnas superiores às dos campos abertos (GEIGER, 1966).

Diante disso, considera-se que a evapotranspiração constitui importante sistema para a moderação do clima urbano (TAHA, 1997). Mas, devido à baixa quantidade de água disponível para a evapotranspiração, nas florestas urbanas o fluxo de calor sensível pode ser superior à perda de calor latente. De qualquer modo, o clima urbano sob influência da vegetação é beneficiado em vários aspectos, distinguindo-se das áreas com baixa cobertura vegetal. Destacam-se os efeitos no balanço de radiação, sombreamento, redução dos níveis de poluentes atmosféricos, sombras de vento, aumento da umidade do ar e redução da temperatura (WILMERS, 1988).

2.3 Clima urbano e vegetação: revisão de estudos de caso em diferentes escalas

As pesquisas com enfoque no microclima e vegetação são numerosas, mas o seu desempenho na área urbana tomou importância diante das discussões sobre as mudanças globais e busca de “soluções verdes” para a mitigação dos problemas ambientais que nos afetam. Atualmente, os programas e políticas públicas têm incentivado não só a minimização do desflorestamento, como a adoção de ações para a redução do consumo energético e mudança da matriz energética. Na arquitetura e no urbanismo, estas medidas implicam na execução de projetos bioclimáticos, que utilizam mecanismos naturais ou passivos para a climatização dos ambientes; na valorização e revitalização dos espaços públicos urbanos, incentivando o uso e a priorização dos meios de transportes não motorizados; no aumento das áreas vegetadas e na redução da ocupação de áreas de risco.

Diante deste panorama, a vegetação no meio urbano mostra-se eficaz para o controle ambiental, além de valorizar a paisagem do ponto de vista estético e funcional, destacando-se o seu efeito no microclima e a melhoria das condições de conforto térmico humano.

Foi feita uma revisão bibliográfica de pesquisas que evidenciaram a influência da vegetação no clima e conforto térmico humano. Os estudos foram classificados de acordo com o espaço urbano de abrangência, os meios de observação utilizados na coleta de dados, a categoria de área verde estudada e o foco da pesquisa (caracterização climática e/ou conforto térmico humano). A revisão foi sistematizada em uma tabela, que apresenta as pesquisas desenvolvidas na cidade, no bairro e na quadra, além de uma categoria especial de pesquisas com foco na conservação ambiental de fragmentos florestais. Com isso, identificaram-se as lacunas no conhecimento, bem como a adequação (ou não) das técnicas utilizadas pelos pesquisadores às escalas climáticas urbanas.

Esta revisão de estudos de caso justifica a realização desta tese e subsidia, apoiando-se no campo teórico, a metodologia geral do trabalho, que será apresentada no próximo capítulo.



2.3.1 A escala da cidade

Na *cidade*, busca-se verificar como as praças, parques, áreas de preservação e a arborização viária modificam o clima local urbano. A quantificação da vegetação pode ser expressa por meio de índices, tais como o NDVI – *normalized difference vegetation index* (obtido por imagens de satélites), área verde por habitante ou porcentagem de cobertura vegetal em relação a uma área urbanizada. Os estudos nesta escala comparam ainda cenários (reais ou hipotéticos), observando como o crescimento da cidade e os padrões de desenho urbano modificam o clima local, bem como a ocorrência de ilhas de calor e de frescor na cidade.

Chandler (1962) constatou maior umidade relativa do ar no cinturão verde de Londres-Inglaterra, comparado à área central. No entanto, a temperatura do ar no cinturão verde, composto de florestas e campos, apresentou-se mais elevada que a área urbanizada pela manhã e no início da tarde, e mais baixa à noite. Chandler explica que a alta capacidade térmica e alta condutividade do tecido urbano de Londres, juntamente com uma névoa acima da cidade, são responsáveis pela formação de ilhas de calor. Os materiais construtivos (edifícios e pavimentação) acumulam calor durante o dia, e a geometria urbana e a névoa dificultam as trocas de calor na camada próxima ao solo, aumentando a inércia térmica.

Imamura et al. (1992), em Sacramento-Califórnia -EUA, realizaram medidas móveis e fixas de variáveis microclimáticas em um parque e na área urbana. A temperatura do ar, medida a 0,5 m e 1,5 m, mostrou uma diferença térmica entre a floresta e a área rural (ΔT_{f-r}) de aproximadamente $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na extensão de $\sim 1000\text{ m}$. Padmanabhamurty (1990/91), na Índia, também observou uma diminuição da temperatura do ar de $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ em uma floresta urbana, comparada à área externa, com grande redução na velocidade dos ventos.

Jusuf et al. (2007), em Singapura, utilizou a técnica de medidas móveis para verificar a distribuição térmica urbana à noite, e imagens de satélite na banda termal para verificar as diferenças de temperatura superficial durante o dia. A temperatura média do ar à noite apresentou-se $0,51\text{ }^{\circ}\text{C}$ mais elevada no ambiente construído do que nas áreas vegetadas. Os centros comerciais apresentaram maior aquecimento que as zonas residenciais (diferença de $0,58\text{ }^{\circ}\text{C}$), que, em geral, apresentam mais áreas livres e



vegetadas. Durante o dia, houve um decréscimo na temperatura superficial na seguinte ordem: industrial, comercial, aeroporto, residencial e parque. À noite, o decréscimo na temperatura ambiente entre as classes de usos do solo foi: comercial, residencial, parque, industrial e aeroporto, respectivamente. Pesquisa semelhante, com o uso de imagens de satélite, monitoramentos fixos e móveis de temperatura ambiente, foi realizada por Saaroni et al. (2000), constatando-se que a arborização viária minimizou o aquecimento do sistema viário. As áreas verdes urbanas apresentaram as menores temperaturas durante o dia, e certo aquecimento noturno, quando comparadas as áreas de solo exposto.

Cox (2008) relacionou as características de uso do solo da cidade de Várzea Grande – MT às variáveis climáticas, obtidas por meio fixo (5m de altura) e por meio móvel (de carro). A classificação dos usos do solo foi feita para um raio de 500m ao redor das estações fixas de monitoramento e ao longo do transecto. As maiores diferenças térmicas intra-urbanas foram observadas na estação seca. Os corredores comerciais e o centro urbano apresentaram maior média de temperatura do ar (32,5 °C) e baixa umidade relativa do ar (30%), o que foi atribuído à alta densidade urbana, impermeabilização do solo, arborização escassa e fluxo constante e intenso de veículos. Por outro lado, as regiões próximas de vazios urbanos com presença de vegetação nativa apresentaram menor média de temperatura do ar (18 °C) e umidade relativa do ar elevada (87,5%).

Gomes e Lamberts (2009) monitoraram a temperatura do ar e umidade relativa do ar (1,5m) em onze localidades em Montes Claros – MG. Foram realizados testes de correlação linear entre as variáveis microclimáticas e parâmetros físicos (porcentagem de áreas verdes e impermeáveis, densidade construída e geometria urbana), que caracterizam os sítios monitorados, para o desenvolvimento de um modelo empírico associando estas variáveis. A vegetação nativa presente em Montes Claros é o cerrado. A porcentagem de vegetação apresentou maior correlação com os dados higrotérmicos no período noturno (21:00h). No período seco, a contribuição da vegetação para o aumento da umidade do ar foi mais evidente que na estação chuvosa. Apesar deste não ser o objetivo principal dos autores, foi possível identificar uma diferença térmica entre um parque com vegetação nativa e a área central da cidade de ~4 °C (14:00h) e uma diferença de umidade relativa do ar de ~15% (às 17:00h).



Duarte (2000) avaliou microclimas urbanos de sete localidades em Cuiabá. Os pontos onde foram localizados os sensores de temperatura e umidade tinham uma área homogênea (cerca de 25 ha), identificando-se um padrão de ocupação urbana. A autora buscou relacionar índices e parâmetros urbanísticos aos microclimas dos sítios analisados. Foi monitorada a temperatura e umidade do ar, na estação seca e na estação chuvosa, durante seis dias consecutivos, a 1,5 m do solo. Parâmetros urbanísticos foram correlacionados às variáveis microclimáticas, a fim de se obter um parâmetro único que pudesse ser relacionado às condições de conforto pretendidas para a cidade de Cuiabá-MT. Assim, a autora propõe o índice $I = \frac{\text{coeficiente de aproveitamento} \times \text{taxa de ocupação}}{\text{superfície de água} + \text{arborização}}$, inverso às condições de conforto térmico pretendidas. Duarte acredita que seja mais apropriada a distribuição das áreas verdes no tecido urbano, devido ao seu efeito localizado no microclima urbano. Defende também a exigência de uma quantidade de área verde por lote. Assim, haveria uma flexibilidade dos padrões de ocupação urbana desde que se mantivesse uma proporção entre a densidade construída e a presença de vegetação ou corpos d'água.

Cruz (2009) verificou, em Ponta Grossa - PR, que a vegetação se mostrou eficiente na configuração de ilhas de frescor, com extensão limitada, em meio às ilhas de calor, especialmente em praças com densa arborização. O autor também identificou que os fundos de vale em área urbana, com vertente exposta para o Norte e com ausência de vegetação, apresentaram maior aquecimento que as demais áreas. Yamashita (1996) citando Yamashita (1988) também identificou uma descontinuidade na temperatura do ar em Tóquio – Japão, com a formação de ilhas de frescor secundárias em meio a grandes ilhas de calor.

Jonsson (2004) verificou a influência da vegetação no clima subtropical de Gaborone – Botswana. A análise de séries históricas de imagens de satélite e de dados de temperatura do ar, obtidos na área urbana e rural, possibilitou relacionar o crescimento urbano e decréscimo da vegetação às ilhas de calor, que mostraram-se mais expressivas nos últimos anos analisados (1994-96). As ilhas de calor, identificadas a partir de medidas móveis noturnas, tiveram intensidade entre 2-3 °C. As diferenças térmicas intra-urbanas (2-4 °C) foram atribuídas à densidade de vegetação, verificando-se o efeito oásis. Em



comparação com a área rural, as áreas verdes irrigadas apresentaram-se 2 °C mais frias, e as áreas verdes com vegetação esparsa estiveram 2 °C mais aquecidas.

Velasco (2007) comparou três sítios urbanos em São Paulo-SP com diferentes valores de índices de vegetação (*Normalized Difference Vegetation Index* - NVDI). Monitoramentos microclimáticos foram realizados em ruas e calçadas, na altura do pedestre. A autora, observou que a temperatura do ar esteve cerca de 1 °C mais elevada na área com menor percentual de vegetação, variando entre as estações do ano e entre os horários do dia. A área menos vegetada também apresentou maior amplitude térmica. Velasco (2007), assim como Akibari et al. (2001), buscou associar o índice de vegetação urbana ao consumo de energia para a climatização das edificações. Akibari et al. (2001) estimou que para cada 1 °C a mais de temperatura, há um aumento de 2 a 4% de gasto com eletricidade; já Velasco não obteve uma boa correlação entre estas variáveis.

Relacionando o desenho urbano ao microclima, Nakata e Souza (2007) realizaram estudos em um bairro residencial em Bauru - SP, constatando a influência da vegetação na minimização das ilhas de calor. O trabalho consta de medições de FVC (Fator de Visão do Céu), percentual de vegetação e a diferença de temperatura do ar urbana-rural em diversos pontos do arruamento urbano.

Gouvêa (2007) relacionou o uso do solo à Temperatura Efetiva (TE) (Missenard, 1937 citado por Gouvêa, 2007), com base em séries históricas de dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, de estações meteorológicas na cidade de São Paulo-SP. A estação localizada em um parque urbano (Ibirapuera) apresentou valores mais baixos de TE, predominando as condições de frescor agradável e leve frio. O parque contrastou-se com as demais áreas urbanizadas, embora um bairro residencial, relativamente arborizado, tenha apresentado maior percentual de condições de conforto em relação ao parque.

2.3.2 A escala do bairro

O bairro - Medições in loco

Na abrangência do **bairro** as pesquisas visam caracterizar o microclima e as condições de conforto térmico em espaços livres públicos, bem como identificar o gradiente higrotérmico na aproximação de uma área com vegetação. Há um consenso de



que a arborização é favorável para o conforto térmico em regiões de clima quente. O desenvolvimento de modelos preditivos do conforto térmico e do microclima urbano é um tema bastante explorado atualmente. Os índices de conforto térmico têm passado por calibrações, que visam melhorar a correspondência dos índices com a sensação térmica real dos indivíduos.

Diversos trabalhos com o enfoque no conforto térmico em espaços públicos abertos foram realizados no projeto “*Conforto térmico em espaços públicos abertos: aplicação de uma metodologia em cidades do interior paulista*” (LABAKI et al., 2009), desenvolvido nas cidades de Bauru, Campinas e Presidente Prudente. O microclima foi acessado com medições de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e radiação global. Os níveis de conforto térmico foram expressos através do PMV (*predicted mean vote*) e da temperatura PET (*physiological equivalent temperature*), calculados através do *software* RayMan 1.2 (METEOROLOGICAL INSTITUTE OF THE UNIVERSITY OF FREIBURG, 2000), e comparados aos votos dados pelos usuários dos espaços públicos. Os resultados desta pesquisa encontram-se em Fontes et al. (2008) (desempenho sócio-ambiental dos espaços públicos), Fontes et al. (2010) (análise de espaços públicos arborizados), Fontes et al. (*no prelo*) (análise de espaços públicos de passagem), dentre outros.

Barbosa et al. (2010) avaliaram uma praça em Campinas-SP com diferentes condições de sombreamento, verificando uma grande diferença térmica entre os pontos sob o sol e à sombra ($\sim 9^\circ\text{C}$ entre 9:00h e 15:00h), o que interferiu no conforto térmico dos usuários.

Abordando o microclima e conforto térmico em bosques públicos encontra-se Castro (1999), em Campinas, SP. A metodologia de pesquisa envolveu a caracterização microclimática, a partir de dados de radiação, temperatura e umidade do ar, e verificação dos níveis de conforto térmico dos usuários dos espaços, por meio de questionários. A autora concluiu que o desempenho na atenuação da radiação solar está relacionado à densidade, variação de espécies e fenologia das áreas verdes. No Bosque dos Jequitibás, localizado na área central da cidade, constatou-se uma atenuação da radiação solar de 99%.



Gomes e Amorim (2003), em Presidente Prudente, SP, monitoraram variáveis ambientais para cálculo da Temperatura Efetiva (MISSENARD, 1937) e avaliação de conforto térmico em praças. Os autores destacam a importância da qualificação dos espaços livres públicos, com a implantação de árvores, para que haja sombreamento e ventilação, tendo em vista a importância da vegetação como reguladora do campo térmico urbano e na melhoria dos níveis de conforto térmico.

Barbosa et al. (2005) verificaram que um bosque urbano, na cidade de São Carlos, SP, apresentou baixa amplitude térmica diária comparada a outros dois pontos de referência com menor percentual de arborização. No entanto, a umidade do ar não foi alterada, ao contrário do que se esperava. Isso levou os autores a concluir que a dimensão reduzida da área verde urbana é insuficiente para o aumento da umidade do ar. O fato das medições terem sido realizadas na estação seca, também contribuiu para a diminuição dos efeitos da evapotranspiração na alteração do microclima urbano. Assim, o sombreamento arbóreo pode ter tido maior peso no resfriamento do ar do que a perda de calor latente.

Ng e Cheng (2010) verificaram uma redução entre 2-3 °C na temperatura do ar em um parque urbano de 100 x 100m, em Hong Kong, conformando uma ilha de frescor. O sombreamento, através de árvores ou elementos construídos, foi benéfico ao conforto térmico do pedestre, devido à redução da temperatura radiante média (T_{rm}).

Schiller (2001) monitorou o microclima (1,3 m de altura) e avaliou o grau de conforto térmico em áreas verdes, naturais (florestas mediterrâneas) ou implantadas pelo homem, em Israel. As maiores diferenças encontradas foram em relação à temperatura de globo (T_{globo}), enquanto as demais variáveis climáticas não apresentaram diferenças entre as áreas de estudo. Sob a árvore, a diferença entre a T_{ar} e T_{globo} foi de 1,87 °C, enquanto na área aberta esta diferença aumentou para 8,3 °C. Constatou-se, dessa forma, que o conforto térmico esteve intimamente relacionado com a abertura das copas e à incidência de radiação, aumentando a sudorese humana e diminuindo a percepção do estado de conforto. As clareiras e as áreas com arbustos em florestas altas favoreceram o conforto térmico no inverno e início da primavera, enquanto as florestas com copas fechadas e as vertentes voltadas para o Norte (sem insolação direta no hemisfério Norte) foram benéficas para o conforto térmico no verão.



Gómes et al. (2001) identificou que o aumento da cobertura vegetal melhora as condições de conforto térmico em diversas situações urbanas (ruas, avenidas, praças). A pesquisa foi realizada em oito distritos de Valência – Espanha, com diferentes características de uso e ocupação do solo. Sthülpnagel (1987), referenciado por Gómes et al. (2001), verificou que 10 ha de área verde diminui a temperatura do ar em 1 °C; 50ha em 2 °C; e 200 ha em 3 °C, e assim sucessivamente. Em Valência, como as áreas verdes eram pequenas, não foi possível estabelecer uma correlação neste sentido, mas verificou-se que a porcentagem de área verde necessária para o conforto se diferencia entre zonas com alto e baixo desenvolvimento urbano.

Do mesmo modo, Horbert e Kirchgeorg (1982) identificaram um gradiente térmico entre o Tiegarten Park, uma zona urbana de baixo desenvolvimento e uma área central de Berlim. A diferença máxima na temperatura do ar entre a área verde e o centro urbano foi de ~2 °C.

Lafortezza et al. (2009) estudaram a percepção de visitantes de áreas verdes para com os seus benefícios, dentre eles o microclima e conforto térmico. A pesquisa foi realizada em seis áreas verdes, em três cidades (duas na Itália e uma na Inglaterra), e identificou que elas podem reduzir o estresse por calor. Nestas ocasiões, os usuários valorizaram o acesso à sombra e à água. Lin (2009) também constatou que a sombra é um mecanismo de adaptação térmica priorizado por usuários de espaços abertos. Do mesmo modo Lin et al. (2010) identificaram que a sombra em espaços abertos, proporcionada tanto pela edificações quanto pela vegetação, melhora as condições de conforto térmico no verão. Já no inverno e em climas frios, o acesso ao sol mostrou-se importante. Dessa forma, os espaços com excesso de sol ou de sombra tiveram poucos períodos de conforto durante o ano. Diante disso, Lin et al. (2010) recomendam a criação de subespaços com diferentes fatores de visão do céu (FVC), para criar possibilidades de escolha pelo usuário e aumentar os períodos de conforto térmico, como também sugerido por Nikolopoulou e Steemers, 2003.

Shashua-Bar et al. (2009) buscaram estratégias para o arrefecimento de jardins em climas áridos, como o de Negev Highlands - Israel. A diferença na temperatura máxima do ar, a 1,5m, entre um jardim gramado arborizado e outro sem sombreamento foi de 2 °C. A



área com grama exigiu mais água para irrigação. Do mesmo modo, Mizuno et al. (1990), no Japão, também concluíram que as superfícies gramadas sem sombreamento não contribuem para a redução da temperatura.

Huang, et al. (2008), em Nanjing - China, identificaram grandes diferenças microclimáticas entre quatro coberturas de solo – concreto, árvores, gramado e água. A maior diferença na temperatura média do ar, nos pontos microclimáticos monitorados no centro urbano, foi de 1,9 °C, e ocorreu entre 11:00h e 14:00h. O concreto foi a cobertura de maior aquecimento, devido à ausência de resfriamento evaporativo. Já o ponto sob as árvores apresentou baixa temperatura e baixa amplitude térmica durante o dia, porém constatando-se um aquecimento noturno. Às 14:00, as árvores estiveram 2 °C mais arrefecidas que o concreto, enquanto na área gramada o arrefecimento foi de 1 °C.

Barbirato et al. (2003) avaliaram o microclima, na altura de 1,5 m, de espaços livres públicos em Maceió-AL. Uma praça arborizada apresentou temperatura do ar 2,7 °C mais baixa que uma praça sem vegetação (29,8 °C e 32,5 °C respectivamente). A amplitude térmica diária da praça arborizada foi significativamente menor que a da praça árida (1,8 °C e 5,7 °C, respectivamente). A umidade relativa do ar na praça arborizada apresentou, em média, umidade relativa do ar 5% superior à da praça sem vegetação.

Shashua-Bar e Hoffman (2000) realizaram uma pesquisa em Tel-Aviv – Israel, em onze localidades, abrangendo pequenas áreas verdes, jardins e ruas arborizadas. Foram monitoradas temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido, dentre outras variáveis, na altura de 1,8m, à sombra. As medidas foram realizadas dentro e fora das áreas verdes. O efeito de resfriamento proporcionado pelas áreas verdes dependeu de sua geometria e dos tipos de árvores. A média do efeito de resfriamento foi de 2,8 K, sendo menor em ruas com tráfego intenso e maior em um jardim de 0,15 ha. O resfriamento foi mais evidente à tarde e à noite, não sendo observado pela manhã. A extensão do efeito das áreas verdes sobre o entorno edificado foi de até 100 m.

Matzarakis et al. (1999) avaliaram o conforto térmico em espaços abertos, incluindo uma floresta de árvores decíduas em Freiburg - Alemanha, utilizando o índice PET - *physiological equivalent temperature*. A comparação entre um gramado e a floresta mostrou grande diferença na temperatura radiante média (T_{rm}) ao longo do dia. Segundo



os autores, este parâmetro exerce grande peso na PET resultante. Observou-se que a Trm esteve muito mais elevada no gramado durante o dia, com uma diferença máxima de 30 K. A situação se inverteu à noite, quando a Trm apresentou-se cerca de 5 K mais elevada na floresta. Desse modo, no interior da floresta prevaleceram situações de conforto térmico, tanto de dia quanto à noite, tendo em vista a baixa amplitude da temperatura radiante média. Ao contrário, a área gramada apresentou situações de estresse por calor de dia e por frio à noite. Pesquisa semelhante foi conduzida em Munique, por Mayer e Höppe (1987), na qual foram avaliadas as condições de conforto térmico no interior de uma floresta de pinheiro, verificando-se uma grande diferença entre a PET máxima na floresta e em um cânion urbano com exposição para o Sul (~ 10 °C mais elevada no cânion, observando que a pesquisa foi realizada no hemisfério Norte).

Chang et al. (2007), em Taipei-Taiwan, monitoraram a temperatura do ar no interior de parques urbanos e das ruas adjacentes, na altura de 2 m. Observou-se que parques maiores que 12 ha são mais frios que o entorno, parques entre 3 e 12 ha podem ser mais frios que o entorno, e os menores que 3 ha apresentaram maior instabilidade térmica na comparação com o entorno. Analisando-se a temperatura em um raio urbano igual à largura de cada parque, obteve-se um ΔT_{u-p} máximo próximo de 4 °C.

Upmanis et al. (1998) referenciaram pesquisas que haviam comprovado a influência das áreas verdes na temperatura do entorno edificado. Nestes trabalhos, a diferença térmica entre as áreas urbanas e o interior dos parques (ΔT_{u-p}) bem como a extensão do efeito térmico sobre o ambiente urbano variaram com o tamanho das áreas verdes. O efeito pode variar em decorrência do clima e das características da vegetação das pesquisas citadas. Upmanis et al. (1998) utilizaram a técnica de medidas móveis para obterem a magnitude e a extensão do efeito de parques em Göteborg, na Suécia. Os resultados mostraram uma diferença máxima (ΔT_{u-p}) de 5,9 °C e extensão de 1 km, medida aproximadamente igual à largura do maior parque (156 ha). Para o menor parque (2,4 ha), ΔT_{u-p} diminuiu para 1,7 °C.

Jauregui (1990/91) diagnosticou uma ΔT_{u-p} de 2 a 3 °C e uma diminuição de 15% na umidade relativa do ar (ΔUR_{u-p}), entre o parque Chapultepec (~ 500 ha), na cidade do



México, e o entorno edificado. A extensão do efeito térmico sobre a área urbana foi de aproximadamente 2000 m, coincidindo com a largura do parque. As médias mensais das temperaturas mínimas, do parque e da estação de referência, a 700 m, alcançaram maior diferença na estação seca, com 4 °C. No entanto, a temperatura máxima no parque foi igual ou superior à urbana.

Um estudo realizado por Giridharan et al. (2008), em Hong Kong- China, demonstrou que o emprego da vegetação em áreas urbanas de alta densidade não é suficiente para redução da temperatura do ar, visto que as características do entorno, o fator de visão do céu e a geração de calor antropogênico também alteram o microclima. A cobertura arbórea (pelo menos 20% para causar algum efeito) e o baixo fator de visão do céu foram favoráveis à diminuição da intensidade das ilhas de calor. O aumento de 20 para 40% da cobertura arbórea em pequenos parques na área residencial ocasionou na redução de 0,5 °C na intensidade da ilha de calor. O uso de arbustos adensados foi mais eficiente para o resfriamento do ar do que às árvores esparsas com grande abertura para o céu.

Tsutsumi et al. (2003) relacionaram a porcentagem de obstrução do céu pela vegetação, a partir de fotografias hemisféricas, à temperatura do ar. A pesquisa foi realizada em Fukuoka – Japão, em trinta e seis pontos de monitoramento distribuídos em cinco parques urbanos. O aumento de 0% para 100% de obstrução de um ponto pela vegetação resultou na diminuição da temperatura do ar em 2 °C.

O bairro - Simulações computacionais

Os modelos computacionais têm sido utilizados para estimar as condições microclimáticas e de conforto térmico no ambiente urbano.

Picot (2004) simulou as condições de conforto térmico em função do crescimento da vegetação arbórea de uma praça em Milão. Tanto as condições microclimáticas do ambiente como o conforto térmico foram acessados por meio de programas computacionais (*Radia*, *Comfex*), utilizando-se o método COMFA. Os resultados mostraram que o crescimento das árvores reduziu significativamente a radiação de ondas curtas incidente no solo. Por outro lado, a obstrução do céu pelas copas das árvores levou ao aumento da radiação de ondas longas emitida do solo para a atmosfera. Mesmo assim, a simulação



mostrou que houve uma melhoria nas condições de conforto térmico dos usuários em função do crescimento arbóreo.

Spangenberg et al. (2008) compararam o microclima de três espaços livres públicos em São Paulo – parque, praça e uma rua verticalizada (cânion). O parque apresentou uma temperatura do ar 2 °C mais baixa que os demais espaços. Posteriormente os autores simularam, através do Envi-Met, as condições microclimáticas caso fossem plantadas árvores no cânion. A simulação mostra uma queda de 1,1 °C na temperatura do ar. Além disso, haveria uma diminuição na temperatura radiante média e na velocidade dos ventos, mostrando que o plantio de árvores na rua contribuiria significativamente para as condições de conforto térmico do pedestre.

Dimoudi e Nikolopoulou (2003) simularam a interação microclimática entre áreas vegetadas e diferentes padrões de urbanização, no clima quente e seco de Atenas. A temperatura do ar diminuiu com o aumento do parque urbano (cerca de 1 K para cada 100 m²) e com a inserção de arborização viária (1 K). A substituição de uma quadra ocupada por construções por uma área verde reduziu a temperatura do entorno em até 6 K. Os autores concluíram que o efeito das áreas verdes depende da densidade de ocupação, da direção dos ventos em relação às vias e da velocidade dos ventos, comprovando-se, todavia, a mitigação das ilhas de calor.

Gulyás et al. (2006) utilizaram o modelo RayMan para simulação de ruas com diferentes orientações e presença ou não de árvores, e concluíram que o conforto térmico, obtido através do índice PET, pode ser melhorado com a arborização viária.

Chen e Wong (2006) monitoraram o microclima de duas reservas naturais em Singapura, uma com 36 ha e outra com 12 ha, com o objetivo de verificar o efeito de resfriamento provocado pela vegetação no entorno urbanizado e estimar a diminuição no consumo energético das edificações. Medidas de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram feitas a 2 m, além de medidas de vento, de radiação e de chuva e o índice de área foliar. Também foram feitas simulações térmicas das áreas de estudo, utilizando-se o Envi-Met e o TAS. Verificaram que no interior dos parques houve uma diferença na temperatura do ar entre os pontos de medição de 2,3 °C, e na área urbana esta diferença aumentou para 3,6 °C. A extensão do efeito dos parques sobre o clima urbano variou com a direção dos



ventos. A diferença térmica máxima entre o parque e a área urbana foi de 4 °C. Houve uma relação entre o aumento da área foliar e a diminuição da temperatura do ar no interior das florestas.

Taha (1997) afirmou que a cobertura vegetal produz oásis diurnos, causado pelo resfriamento evaporativo e sombreamento do solo, e ilhas de calor noturnas, devido ao fator de visão do céu reduzido. Simulações da temperatura do ar, realizadas para as condições meteorológicas de Davis, Califórnia –EUA, mostraram que 30% de cobertura vegetal criariam um efeito oásis de 6 °C e uma ilha de calor de 2 °C.

Akbari et al. (2001) simulou, através do programa DOE-2, o efeito da arborização e o uso de cores claras nas superfícies construídas na diminuição do consumo energético das edificações. Os autores afirmam que 20% do consumo energético para o condicionamento das edificações poderiam ser diminuídos com a implantação de programas de redução das ilhas de calor, sendo que a arborização é uma estratégia importante para que isso se concretize. Robitu et al. (2006) também realizaram simulações, utilizando o modelo CFD, e confirmaram uma influência benéfica da vegetação e de espelhos d'água no microclima e conforto térmico urbano. Este modelo é capaz de computar a radiação solar e térmica, a velocidade do ar, a temperatura e umidade no meio urbano. O PMV reduziu de 3,4 (muito calor) para 0,54 (zona de conforto) com a introdução de vegetação e água.

Segundo Shashua-Bar e Hoffman (2004), a arborização viária é capaz de resfriar áreas urbanas residenciais em até 4,5 K, ao meio dia no verão. A pesquisa constou de simulações com o modelo analítico “*Green CTTC model*”, para o clima de Mediterrâneo da costa de Israel. Para os autores, a orientação das vias, o sombreamento arbóreo e a modificação no albedo são fatores que atuam na temperatura do ar, e podem ser modificados no desenho urbano.

Simulações do clima urbano com o uso do ENVI-Met, realizadas por Fahmy e Sharples (2009), evidenciaram que o conforto térmico em áreas abertas depende da geometria urbana, cobertura vegetal, arborização linear das vias e orientação dos eixos viários, visto que o sombreamento das vias dependerá do movimento relativo do Sol. Assim, constatou-se, para o Cairo – Egito, que a orientação de 45° é preferível à de 15 ou 75°. Posteriormente, Fahmy et al. (2010) fez simulações no ENVI-Met utilizando modelos



de árvores com variações na área foliar, com o objetivo de acessar a radiação interceptada e o microclima na ambiência urbana.

Wang e Ng (2010) avaliaram o efeito do aumento da arborização em Hong Kong – China, utilizando o modelo computacional ENVI-Met. O percentual mínimo de arborização deve ser de 34% para que ocorra um efeito de resfriamento do ar de 1K.

2.3.3 A escala da quadra

As pesquisas na escala da *quadra* comprovam a importância da arborização na regulação do campo térmico urbano e na melhoria das condições de conforto térmico do pedestre, buscando as espécies vegetais mais eficientes e adequadas para o paisagismo e arborização urbana.

Bueno-Bartholomei e Labaki (2003), no Brasil, avaliaram a atenuação da radiação solar incidente no solo proporcionada por sete espécies arbóreas, verificando que esta varia entre 73,6% e 92,8%. As árvores caducifólias diminuem a capacidade de interceptar a radiação solar no período no inverno, quando perdem as folhas. O sombreamento arbóreo reduz a temperatura do ar e a temperatura de globo abaixo das copas. As diferenças no desempenho das espécies são atribuídas às características das árvores, tais como, estrutura e densidade da copa, altura, idade e estágio de desenvolvimento do indivíduo, cor, formato e tamanho das folhas.

Complementando esta pesquisa, Abreu (2008), no Brasil, comparou o microclima e conforto térmico de cinco espécies arbóreas. Neste estudo, verificou que as árvores com copa densa, tais como o jambolão e a mangueira, têm capacidade de atenuar cerca de 90% da radiação solar incidente, resultados semelhantes aos de Bueno-Bartholomei (2003). A autora relacionou o aumento da área foliar à capacidade de sombreamento das árvores. No entanto, esta característica não foi unicamente responsável pelas condições de conforto térmico. Um agrupamento de chuva-de-ouro, que não possui densidade foliar tão alta quanto à das espécies acima citadas, proporcionou um número maior de horas de conforto térmico por dia (cerca de 10 horas/dia, sendo que as demais espécies proporcionaram em média 3 horas/dia). A autora também identificou que a disposição das árvores pode



melhorar o seu desempenho e raio de ação, no que diz respeito à modificação do microclima e condições de conforto térmico.

Shahidan et. al (2007), na Malásia, pesquisou duas espécies arbóreas e teve como objetivos relacionar a geometria, a densidade foliar e a idade dos indivíduos com variáveis microclimáticas. A atenuação da radiação variou entre as espécies - 79% para a árvore de copa redonda, com 6,74 m de altura, transmissividade de 5%, índice de área foliar de 6,1 e 35% de área de sombra; e 93% de atenuação da radiação para a árvore com copa espalhada, 6,5 m de altura, transmissividade de 22%, índice de área foliar de 1,5, e 53% de área de sombra projetada no solo. A diferença na capacidade de filtrar a radiação é atribuída às características físicas das espécies.

Correa et al. (2010) analisaram o comportamento térmico de ruas arborizadas em Mendoza, Argentina. Medidas de temperatura e umidade do ar, na altura de 2 m, foram realizadas no período de verão, para a avaliação do grau de desconforto térmico, utilizando-se o índice de desconforto de Thom (THOM, 1959). A pesquisa foi realizada em bairros com edificações horizontais. A arborização foi diferenciada em três classes, de acordo com a altura máxima dos indivíduos adultos – maior que 15 m; 10-15 m; menor que 10 m – levando-se também em consideração a diversidade de espécies presentes nas vias, de diferentes larguras. Verificou-se que o estado de conforto térmico predominou no início da manhã, mas já a partir das 9:00h ocorreu um desconforto por calor nas diversas situações analisadas. Ainda assim, a arborização urbana foi identificada como uma estratégia para a mitigação do calor no clima semiárido. Dias et al. (2010) no Rio de Janeiro, observaram uma redução de temperatura de até 2 °C e um aumento de até 5,5% da umidade relativa do ar em vias arborizadas, comparadas às não arborizadas.

Outro grupo de pesquisas avalia o efeito dos jardins e de componentes arquitetônicos (por exemplo, tetos verdes, treliças, pergolados, paredes verdes) no microclima dos ambientes internos, visando a climatização natural das edificações e melhoria nas condições de conforto térmico. Destacam-se, ainda, as pesquisas com foco energético, visto que a modificação do microclima pelas plantas pode reduzir o consumo de eletricidade utilizada no condicionamento térmico das edificações. Citam-se os trabalhos de Ip et al. (2007), Poli et al. (2007), Morelli e Labaki (2009) e Schweitzer et al (2010).



2.3.4 Pesquisas com foco na conservação ambiental

As pesquisas com foco na conservação ambiental geralmente são realizadas em áreas fora da ambiência urbana e/ou buscam verificar a influência da urbanização no microclima da vegetação, tendo em vista a alta pressão que estas exercem sobre a biodiversidade. Neste sentido, Gordon et al. (2009) afirmam que o conhecimento científico sobre os padrões da paisagem, sobre as necessidades das espécies, e sobre as pressões humanas exercidas sobre o meio natural, auxilia o planejamento ambiental e urbano, que devem ocorrer de maneira integrada. Para tanto, deve-se estabelecer um planejamento estratégico, com estágios de ações e definição de um zoneamento que contemple as áreas de conservação e as áreas prioritárias para a extensão do sistema de conservação.

A respeito das alterações microclimáticas, decorrentes da pressão urbana sobre os fragmentos florestais, destacam-se os trabalhos de Karlsson (2000), Monteiro e Azevedo (2005), Ylmaz et al. (2007) e Blumenfeld (2008). Estas alterações intensificam-se na fronteira dos fragmentos com o meio urbano, identificando-se um efeito de borda.

Herrmann et al. (2005), referenciando Schierolz (1991), Farina (1998) e Rodrigues (1998), afirmam que o efeito de borda nos fragmentos florestais depende da sua dimensão e forma. Fragmentos com até 1 ha sofrem impacto total do efeito de borda; se tiverem 10 ha sofrem impacto em cerca de 90% de sua área; se tiverem 100 ha têm 35% da área afetada; e em fragmentos florestais com 1000 ha a área impactada é de cerca de 10%. Segundo os autores, a influência da forma no efeito de borda pode ser avaliada através da proporção entre a área de borda e a área do fragmento. A irregularidade da forma acarreta o aumento da área de contato com o meio externo, aumentando o efeito de borda.

Por outro lado, Blumenfeld (2008) identificou que os indicadores climáticos são eficazes para dimensionar a perturbação florestal. Analisando o efeito de borda na Reserva Florestal do Morro Grande (SP), a autora concluiu que há maior perturbação na fronteira com a tipologia urbana, verificando-se grande variação climática. Do mesmo modo, Rozza (2003) explicou que trechos da floresta sob efeito de borda apresentam mais luz, menor umidade relativa e maior temperatura. Diante disso, pode-se afirmar que fragmentos florestais pequenos e irregulares sofrem maior efeito de borda, tendo o seu microclima alterado de acordo com o padrão das fronteiras.



Bowler et al. (2010), em um artigo de revisão de pesquisas com o tema microclimatologia e vegetação, identificaram que o tamanho das áreas verdes e as características das plantas influenciam no microclima. Os parques estudados apresentaram, em média, temperatura do ar 0,94 °C mais baixa que a área urbana, no período diurno.

Karlsson (2000), em Västra Götaland – Suécia, verificou que as clareiras presentes no interior de uma floresta de coníferas apresentaram temperaturas mínimas inferiores às medidas sob as árvores, o que é atribuído ao aumento da trocas turbulentas e perda de calor. Já as áreas abertas fora da floresta, monitoradas por meio móvel à noite, apresentaram-se mais aquecidas (2,7 a 3,7 °C) que os pontos dentro da floresta. Os vales localizados no interior da floresta foram os locais mais frios, devido ao aumento do fator de visão do céu e à sombra de vento causada pela topografia e pela vegetação. Citando o trabalho de Gustavsson (1995), Karlsson (2000) explicita que o efeito de sombreamento da floresta diminui a temperatura do ar em comparação com as áreas totalmente abertas.

Monteiro e Azevedo (2005) compararam o comportamento higrotérmico em um perfil vertical em dois fragmentos florestais de Mata Atlântica (florestas secundárias), um deles localizado em matriz urbana – Parque Previdência, na Zona Oeste de São Paulo, SP, e outro em matriz rural – fragmento em Calcaia do Alto, SP. Foram instalados, em uma árvore de cada fragmento, cinco registradores contínuos de Tar e UR, distribuídos verticalmente nas alturas de 12, 9, 6, 3 e 0,5 m, com o objetivo de verificar a estratificação higrotérmica. Os resultados mostraram que houve maior variação na temperatura do ar no perfil vertical no fragmento florestal localizado em área rural, sendo o nível das copas mais aquecido que o nível do solo cerca de 3 °C ao longo do dia. Já no fragmento florestal localizado em área urbana, a variação entre o solo e nível da copa não ultrapassou 1 °C. A comparação de dados de temperatura média diária entre os perfis verticais das duas áreas demonstrou que o fragmento urbano é sempre mais aquecido que o rural, até 4,5 °C (no solo) e 1,5 °C (na copa). Os resultados para UR foram inversos, verificando-se maior umidade no fragmento rural, cuja diferença foi mais significativa entre 12:00h e 15:00h, atingindo 15% a mais no nível do solo e 5% no nível da copa, quando comparado ao fragmento urbano. Os autores atribuem às diferenças à influência do clima urbano sobre o fragmento, provocando alterações no balanço hídrico e decréscimo da umidade relativa do



ar na mata, aquecimento decorrente de poluentes atmosféricos e efeito estufa, e aquecimento do ar devido às atividades humanas.

Ylmaz et al. (2007) realizaram um estudo climático comparativo entre uma área urbana, uma floresta urbana de pinus, e uma área rural, em Erzurum, na Turquia. Coletaram-se dados de temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar (a 2 m do solo) e pluviosidade. Os resultados de temperatura média do ar demonstram que a área urbana apresentou-se mais quente 1,7 °C que a área rural, e 0,7 °C que a floresta urbana. O oposto ocorreu com a umidade relativa do ar, sendo que a área urbana é menos úmida 3,4% que a floresta e 3,6% que a área rural. A velocidade do vento foi maior no ambiente rural e menor na área urbana, em consequência do incremento da rugosidade. A temperatura na floresta apresentou menor amplitude, devido a efeitos de sombreamento e evapotranspiração, o que conforma maior estabilidade climática ao ambiente.

2.4 Síntese dos resultados

Os 67 estudos de caso apresentados foram sistematizados na Tabela 2.3 e Tabela 2.4. As 23 pesquisas que abrangem o espaço da cidade constataram uma diminuição da temperatura do ar diante do aumento da cobertura vegetal, com a formação de ilhas de frescor em meio a grandes ilhas de calor (CRUZ, 2009; YAMASHITA, 1996 citando YAMASHITA, 1988; JONSSON, 2004; SHASUA-BAR; HOFFMAN, 2000). A magnitude do efeito é menor em ruas com tráfego intenso, devido à geração de calor (SHASUA-BAR; HOFFMAN, 2000). Além disso, a temperatura do ar nas áreas verdes pode apresentar-se mais elevada que o ambiente construído. Alguns casos observaram maior aquecimento de áreas arborizadas em relação ao ambiente urbano pela manhã e tarde (CHANDLER, 1962), com posterior resfriamento noturno (CHANDLER, 1962; JUSUF et al., 2007). Outros identificaram menor temperatura das áreas vegetadas à tarde, em relação ao ambiente urbano (JUSUF et al.; 2007; SAARONI et al.; 2000; GOMES; LAMBERTS; 2009).

A diferença térmica entre as áreas verdes e o ambiente edificado pode ter uma relação com a geometria urbana, visto que o aumento do fator de visão do céu, ou a baixa relação entre a altura das edificações e a distância entre elas, expõe as superfícies a um



período maior de insolação, mas por outro lado, facilita a perda de calor no período de resfriamento (OKE, 1981; JOHANSSON, 2006).

Alguns autores verificaram que a porcentagem de área verde e de cobertura arbórea necessária para a modificação do microclima urbano e melhoria dos níveis de conforto térmico aumenta em zonas urbanas com alto desenvolvimento (GÓMES et al., 2001; GIRIDHARAN et al., 2008).

Os maiores contrastes higrotérmicos entre o ambiente construído e a vegetação ocorreram com baixa umidade do ar (COX, 2008; GOMES; LAMBERTS, 2009), mesmo sabendo que o ambiente urbano provoca o aquecimento e decréscimo de umidade nos fragmentos florestais urbanos (MONTEIRO; AZEVEDO, 2005; YLMAZ et al., 2007; BARBOSA et al., 2005).

Comparando as áreas arborizadas com áreas abertas, tais como os vales urbanos desprovidos de vegetação, a zona rural e clareiras no interior de florestas, as pesquisas observaram que os locais arborizados tendem a ser mais frios durante à tarde e mais aquecidos à noite (SAARONI et al., 2000; JUSUF ET AL., 2007; CRUZ, 2009; KARLSSON, 2000), o que mostra uma relação entre o fator de visão do céu e as taxas de ganho e perda de calor. Por outro lado, os vales localizados no interior de florestas apresentaram as mais baixas temperaturas (KARLSSON, 2000).

Foram revisados 15 trabalhos na abrangência de um bairro, destacando-se o interesse em quantificar as diferenças microclimáticas entre as áreas verdes e o entorno edificado. A extensão do efeito da vegetação no clima urbano foi verificada por Chang et al. (2007), Upmanis et al. (1998), Jauregui (1990/91), Imamura et al. (1992) e Shasua-Bar e Hoffman, (2000). Há indícios de que o efeito de parques urbanos sobre o entorno tenha uma extensão aproximadamente igual à sua largura. Assim, em áreas verdes de pequena dimensão o efeito oásis é localizado (GÓMES et al., 2001; SHASUA-BAR; HOFFMAN, 2000).

Isso pode ser explicado pela co-influência entre o ambiente construído e a vegetação. Segundo Herrmann et al. (2005) o efeito de borda em florestas se intensifica em áreas pequenas, sendo que as áreas de 1 ha estariam totalmente sob o efeito de borda. Se a variação térmica servir de parâmetro para a identificação do efeito de borda, como



explicitam Blumenfeld (2008) e Rozza (2003), a maioria das áreas verdes urbanas estaria sob esta condição, e provavelmente configuram ilhas de frescor localizadas.

As 29 pesquisas que focam os espaços livres públicos – praças, parques, ruas - apresentam maior interesse pelo tema conforto térmico, enquanto as de maior abrangência traçam um diagnóstico do clima urbano. O fato se explica pela metodologia usual para a avaliação de níveis de conforto, que envolve a inquirição. Assim, os níveis de conforto em espaços urbanos de maior abrangência geralmente são acessados por meio de modelos preditivos e por simulação computacional.

Há um consenso a respeito do efeito positivo da arborização na melhoria do conforto térmico humano, com exceção em climas frios e em condições de inverno, quando o acesso ao sol é favorável (SCHILLER, 2001). A redução da temperatura radiante média (Trm), decorrente do sombreamento arbóreo, diminui o estresse térmico por calor (NG; CHENG, 2010; MATZARAKIS et al., 1999; SCHILLER, 2001). Dessa forma, várias pesquisas compararam as diferenças microclimáticas e o conforto térmico entre espaços arborizados e áreas gramadas ou pavimentadas, encontrando grandes diferenças na Trm e na sensação térmica. As pesquisas sobre o efeito da arborização na interceptação da radiação solar corroboram esta constatação (BUENO-BARTHOLOMEI, 2003; ABREU, 2008; ABREU, 2010; SHAHIDAN et. al, 2007; CASTRO, 1999).

Apesar da redução na Trm, a diminuição da temperatura do ar e o aumento da umidade relativa nem sempre foram observados (SCHILLER, 2001), em decorrência do padrão de urbanização em que as áreas verdes se encontram (GÓMES et al., 2001; HORBERT e KIRCHGEORG, 1982; TSUTSUMI et al., 2003; GIRIDHARAN et al, 2008). Assim, as pesquisas indicam que a dimensão das áreas verdes, a porcentagem de cobertura vegetal e de arborização, necessários para uma mudança efetiva no microclima, aumenta com o nível de desenvolvimento urbano.

Em relação aos meios de observação, verifica-se que não há um procedimento metodológico comum diante de objetivos semelhantes, o que limita a comparação dos resultados e a generalização de conclusões. A coleta de dados na altura representativa do microclima (1,5 – 2 m) é também utilizada em pesquisas com espaços urbanos de grande abrangência. Assim, a adequação entre os objetivos da pesquisa e os procedimentos



metodológicos relativos à escala climática de interesse merece ser destacado, como advertiu Oke (2006a); Oke (1984) e Bowler et al. (2010).

A revisão de pesquisas com o tema clima e vegetação realizada por Bowler et al. (2010) o fez concluir que são necessárias mais pesquisas empíricas com esta temática, ressaltando as questões metodológicas que devem ser melhoradas: descrição mais precisa dos sítios, amostragem, número de repetições, padronização das medições, estabelecimento de um controle, e análise estatística dos dados. A revisão dos 67 estudos de casos aqui apresentados vai ao encontro às sugestões de Bowler. Destaca-se, ainda, que em decorrência da variabilidade das áreas verdes urbanas, deva haver uma descrição (escrita, quantitativa e fotográfica) precisa das áreas de estudo, para que os resultados possam servir de referência para pesquisas posteriores, além de possibilitar a comparação do efeito proporcionado por diferentes categorias de áreas verdes. Sugere-se também a intensificação de pesquisas empíricas com as áreas verdes de preservação, localizadas no meio urbano, dentro das várias escalas climáticas, para que se possa estimar o efeito térmico sobre o ambiente construído e proveniente do mesmo.



Tabela 2.3 - Pesquisas que avaliaram a influência da vegetação no clima urbano.

AUTOR (ANO), LOCAL	ESPAÇO URBANO DE ABRANGÊNCIA			CATEGORIA DE ÁREA VERDE ESTUDADA			OBJETIVO/RESULTADO DA PESQUISA		MEIOS DE OBSERVAÇÃO		
	Cidade (Macro)	Bairro (Topo)	Quadra, Edifício (Micro)	Praças, sistemas de lazer	Áreas verdes, bosques	Arboriza- ção	Caracteri- zação climática	Conforto térmico	Registros fixos (h)	Registros móveis	Simulação / Imagem de satélite
Gulyás et al. (2006), Hungria	x					x		x	x (1,1)		x
Chandler (1962), Inglaterra	x				x		x			x	
Cox (2008), Brasil	x				x	x	x		x	x	
Cruz (2009), Brasil	x			X	x		x		x (1,5)		
Duarte (2000), Brasil	x			X	x	x	x	x	x (1,5)		
Gomes e Lamberts (2009), Brasil	x			X	x	x	x		x (1,5)		
Gouvêa (2007), Brasil	X			X		x		x	x		
Imamura et al. (1992), Estados Unidos da América	X			X			x		x (0,5-1,5)	x	
Jonsson (2004), Botswana	X			X	x	x	x		x	x	X
Jusuf et al. (2007), Singapura	X					x	x			x	X
Padmanabhamurty (1990/91), Índia	X				x					x	
Saaroni et al. (2000), Israel	X			X	x	x	x		x (2)	x	X
Velasco (2007), Brasil	X					x (i.a.v.)	x		x (1,5)		X
Yamashita (1996), Japão	X			X			x			x	

(i.a.v.) índice de área verde; (m.a.) meio ambiente/ pesquisas com foco na conservação florestal.

AUTOR (ANO), LOCAL	ESPAÇO URBANO DE ABRANGÊNCIA			CATEGORIA DE ÁREA VERDE ESTUDADA			OBJETIVO/RESULTAD O DA PESQUISA		MEIOS DE OBSERVAÇÃO		
	Cidade (Macro)	Bairro (Topo)	Quadra, Edifício (Micro)	Praças, sistemas de lazer	Áreas verdes, bosques	Arboriza- ção	Caracteri- zação climática	Conforto térmico	Registros fixos (h)	Registros móveis	Simulação / Imagem de satélite
Karlsson (2000), Suécia	x (m.a.)				x		x		x (2 a 10)	x	
Wong e Chen (2005), Singapura	X			x	x		x			x	
Monteiro e Azevedo (2005), Brasil	x (m.a.)				x		x		x (0,5- 12)		
Ylmaz et al (2007), Turquia	x (m.a.)				x		x		x (2)		
Blumenfeld (2008), Brasil	x (m.a.)				x		x		x (~0,5)		
Barbirato et al. (2003), Brasil			x	x			x		x (1,5)		
Barbosa et al. (2005), Brasil		x				x (i.a.v.)	x				
Barbosa et al. (2010), Brasil			x	x				x	x (1,5)		
Castro (1999), Brasil					x		x	x	x (1,5)		
Chang et al. (2007), Taiwan		x		x			x		x (2)		
Dacanal et al. (2009), Brasil		x			x			x	x (1,5)		
Dias et al. (2010), Brasil			x			x	x				
Labaki et al. (2009), Brasil			x	x				x	x (1,5)		
Giridharan et al. (2008), China			x	x			x		x		

(i.a.v.) índice de área verde; (m.a.) meio ambiente/ pesquisas com foco na conservação florestal.

AUTOR (ANO), LOCAL	ESPAÇO URBANO DE ABRANGÊNCIA			CATEGORIA DE ÁREA VERDE ESTUDADA			OBJETIVO/RESULTADO DA PESQUISA		MEIOS DE OBSERVAÇÃO		
	Cidade (Macro)	Bairro (Topo)	Quadra, Edifício (Micro)	Praças, sistemas de lazer	Áreas verdes, bosques	Arboriza- ção	Caracteri- zação climática	Conforto térmico	Registros fixos (h)	Registros móveis	Simulação / Imagem de satélite
Gomes e Amorim (2003), Brasil			x	x				x	x (1,5)		
Hamada e Ohta (2010), Japão		x		x			x		x (2-3,3)		
Mayer e Höppe (1987), Munique	x				x			x	x		
Horbert e Kirchgeorg (1982), Alemanha	x				x		x		x		
Huang, et al. (2008), China			x			x	x		x		
Jauregui (1990/91), México		x		x	x		x		x		
Laforteza et al. (2009), Itália e Inglaterra			x	x				x	x		
Lin (2009), Taiwan			x	x		x		x	x (1,1)		
Lin et al. (2010), Taiwan			x	x		x		x	x (1,1)		x
Matzarakis et al. (1999), Alemanha			x	x	x			x	x (1,1)		
Mizuno et al. (1990), Japão		x	x	x		x	x	x	x		
Ng e Cheng (2010), China		x		x			x				
Picot (2004), Itália			x	x		x	x	x			x
Schiller (2001), Israel			x	x			x	x	x (1,3)		

AUTOR (ANO), LOCAL	ESPAÇO URBANO DE ABRANGÊNCIA			CATEGORIA DE ÁREA VERDE ESTUDADA			OBJETIVO/RESULTADO DA PESQUISA		MEIOS DE OBSERVAÇÃO		
	Cidade (Macro)	Bairro (Topo)	Quadra, Edifício (Micro)	Praças, sistemas de lazer	Áreas verdes, bosques	Arboriza- ção	Caracteri- zação climática	Conforto térmico	Registros fixos (h)	Registros móveis	Simulação / Imagem de satélite
Shashua-Bar e Hoffman (2000), Israel		x		x		x			x (1,8)		
Shashua-Bar et al. (2009)			x	x		x			x (1,5)		
Spangenberg et al. (2008)			x	x			x	x	x (~1,5)		x
Tsutsumi et al. (2003)			x	x			x		x		
Upmanis et al. (1998), Suécia	x			x	x				x (2,5)	x	
Upmanis et al. (1999), Suécia		x			x		x		x (2,5)		
Akbari et al. (2001), EUA		x				x	x				x
Fahmy e Sharples (2009), Egito	x					x		x			x
Robitu et al. (2006)			x			x		x			x
Shashua-Bar e Hoffman (2004), Israel		x				x	x				x
Taha (1997), EUA		x				x	x				x
Wang e Ng (2010), China		x				x	x				x
Chen e Wong (2006), Singapura		x	x		x		x		x (2)		x
Abreu (2008), Brasil			x			X	x	x	x (1,5)		

AUTOR (ANO), LOCAL	ESPAÇO URBANO DE ABRANGÊNCIA			CATEGORIA DE ÁREA VERDE ESTUDADA			OBJETIVO/RESULTA DO DA PESQUISA		MEIOS DE OBSERVAÇÃO		
	Cidade (Macro)	Bairro (Topo)	Quadra, Edifício (Micro)	Praças, sistemas de lazer	Áreas verdes, bosques	Arboriza- ção	Caracteri- zação climática	Conforto térmico	Registros fixos (altura em metros)	Registros móveis	Simulação / Imagem de satélite
Abreu (2008), Brasil			x					x	x	x	x (1,5)
Bueno- Bartholomei (2003), Brasil			x					x	x	x	x (1,5)
Correa et al. (2010), Argentina			x					x		x	x (2)
Abreu e Labaki (2010), Brasil			x					x	x	x	x (1,5)
Ip et al. (2007), Reino Unido			x	--- Parede verde ---			x	x			
Poli et al. (2007), Itália			x	--- Parede verde; Teto verde ---			x	x			
Morelli e Labaki (2009), Brasil			x	--- Parede verde ---			x	x	x		
Schweitzer et al. (2010), Israel			x	--- Teto verde ---			x	x			
Dimoudi e Nikolopoulou (2003), Grécia			x	x			x				x
Gómes et al. (2001), Espanha			x	x		X		x	x		

Tabela 2.4– Características gerais de pesquisas que avaliaram a influência da vegetação no clima urbano.

ESPAÇO URBANO DE ABRANGÊNCIA	CATEGORIA DE ÁREA VERDE ESTUDADA			OBJETIVOS		MEIOS DE OBSERVAÇÃO		
	Sistemas de lazer	Áreas verdes, bosques	Árvores/ outros	Clima	Conforto térmico	Reg. fixos e altura de monitoramento em relação ao solo	Reg. Móveis	Simulação / Imagem satélite
Cidade (23)	10	16	10	17	5	(5) indefinido (2) perfil vertical; altura máx. 10 a 12m (10) entre 0,5 e 2,5 m (prevalece 1,5m)	11	6
Bairro (15)	7	4	7	12	3	(2) indefinido (7) entre 1,5 e 3,3 m (prevalece 2m)	-	5
Quadra, Edifício (29)	16	2	13 (4) parede e teto verde	19	20	(7) indefinido (16) entre 1 e 2m (prevalece 1,5m) (4) outros meios	-	7



3 Metodologia geral da pesquisa

3.1 Etapas da pesquisa

A pesquisa foi realizada em três espaços urbanos distintos, partindo da escala microclimática, no espaço de abrangência da quadra, para a escala local urbana, nos espaços de abrangência do bairro e da zona urbana, como mostra a Tabela 3.1. Os limites de padrões de ocupação e a definição das técnicas de monitoramento fundamentaram-se na classificação climática apresentada por Oke (2006).

Foram monitorados seis fragmentos florestais urbanos, cinco sítios urbanos e cinco zonas urbanas. Cada zona urbana inclui um ou mais sítios, e cada sítio inclui um ou mais fragmentos. Na Zona 3, que trata-se do Centro de Campinas, inclui o Bosque dos Jequitibás, que no entanto, não teve o seu microclima monitorado, visto que no planejamento inicial da pesquisa o intuito era trabalhar apenas em zonas de baixo gabarito. No entanto, os resultados dos monitoramentos nos levaram a ampliar as análises, incluindo também a zona central.

Tabela 3.1- Áreas de estudo, espaços urbanos de abrangência e escala climática.

Espaço Urbano de Abrangência	Escala Climática	Áreas de estudo						
Quadra*	Microclima	Mata de Santa Genebra	Bosque dos Italianos	Bosque dos Alemães	-	Bosque São José	Bosque dos Garantãs	Bosque da Paz
Bairro**	Clima local	Sítio 1	Sítio 2		-	Sítio 3	Sítio 4	Sítio 5
Zona urbana**	Clima local	Zona 1	Zona 2		Zona 3 (Inclui o Bosque dos Jequitibás)	Zona 4	Zona 5	

* Quadra – fragmentos florestais urbanos na cidade de Campinas;

** Bairro – o entorno urbano próximo aos fragmentos florestais;

** Zona urbana – área urbana extensa, que abrange um ou mais bairros, e que pode ser delimitada a partir de um padrão morfológico predominante.



A lógica deste seqüenciamento experimental fundamenta-se na necessidade de se conhecer as propriedades, físicas e térmicas, de um espaço climático e a sua interação com os *hólons* imediatos, tal como ressaltou Monteiro (1976). Assim, buscou-se responder as seguintes perguntas:

- O microclima dos fragmentos florestais urbanos estudados se diferencia? Esta diferença pode ser relacionada às características físicas gerais (intrínsecas aos fragmentos e às características do entorno urbano imediato) ou pontuais (intrínsecas aos pontos monitorados)?
- Qual o comportamento higrotérmico dos pontos urbanos situados próximos aos fragmentos florestais? Há diferença térmica entre os sítios urbanos? Estas diferenças podem ser atribuídas aos fragmentos e aos seus microclimas ou às características físicas de um espaço urbano de maior dimensão? Qual a altura de monitoramento que melhor representa este espaço urbano – medidas tomadas acima ou abaixo da altura média da camada de rugosidade?
- Se os pontos urbanos estivessem mais próximos ou mais distantes dos fragmentos florestais, a temperatura do ar e umidade relativa do ar se alteraria? Quanto e em qual distância?

As etapas metodológicas de pesquisa se repetem para os três espaços de abrangência em análise, tal como exposto a seguir. Detalhes das etapas serão apresentados em Materiais e Métodos específicos de cada experimento, nos Capítulos 4, 5 e 6.

- **ETAPA1:** Escolha e caracterização física das áreas de estudo (Figura 3.1):
 - o Nesta etapa observaram-se os padrões espaciais, os limites das manchas de ocupação e os padrões espaciais de suas fronteiras (quadras vizinhas, bairros vizinhos ou zonas vizinhas). As técnicas e critérios utilizados para a escolha e a caracterização física das áreas de estudo serão apresentadas em Materiais e Métodos específicos de cada experimento.



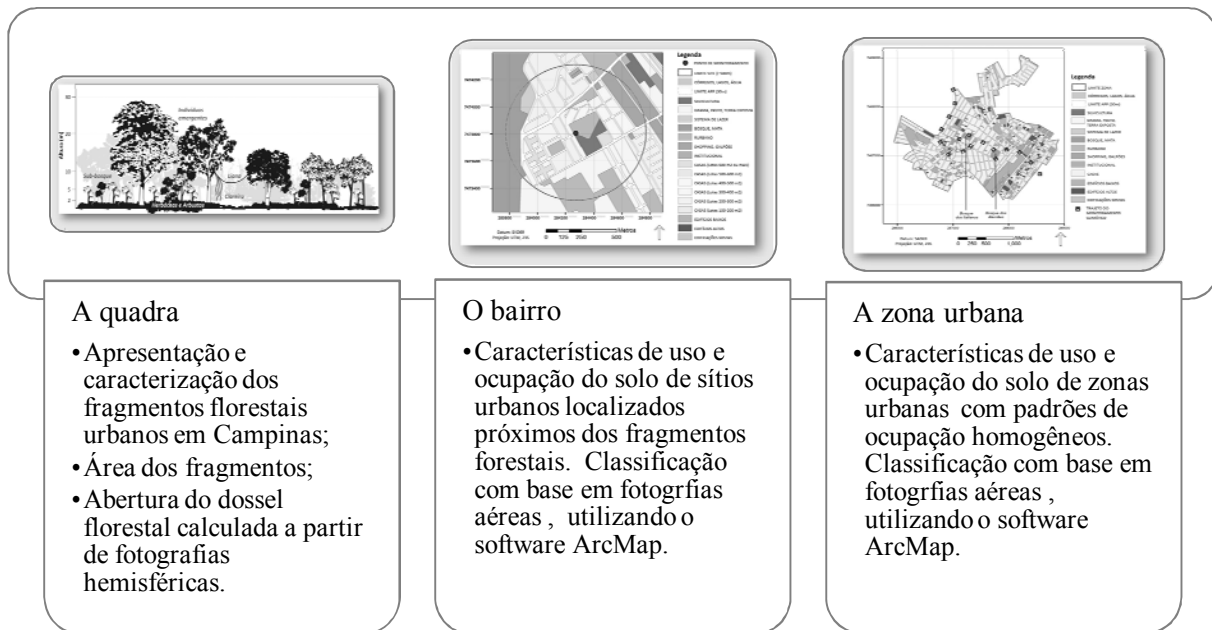


Figura 3.1 - Etapa 1: Escolha e caracterização física das áreas de estudo.

- **ETAPA2:** Definição de materiais e técnicas de coleta de dados climáticos, adequados às escalas climáticas (Figura 3.2):
 - o Nesta etapa, houve a definição dos pontos de monitoramento, baseando-se nos critérios apresentados no Capítulo 2, ou seja, buscando-se os pontos menos suscetíveis a perturbações ocasionadas pelo padrão da fronteira e por elementos anômalos presentes na paisagem.
 - No interior dos fragmentos florestais, as medidas foram feitas em a) pontos centrais, a fim de comparar as áreas de estudo; b) pontos distribuídos nas áreas, para verificar a influência da área urbana;
 - A escolha dos pontos de monitoramentos dos sítios urbanos levou em consideração tanto a morfologia urbana predominante no bairro, quanto a disponibilidade de torres elevadas para a fixação dos instrumentos acima da camada de rugosidade. Sendo assim, nem sempre as torres coincidiram com a melhor localidade em termos representativos do padrão espacial;

- O monitoramento móvel, realizado na abrangência de várias zonas urbanas, foi estabelecido de modo a ser realizado no menor tempo possível. Buscou-se o caminho mais curto em um circuito fechado, que passasse pelos sítios de monitoramento fixos (pois estes serviram para corrigir os desvios nos dados causados pela defasagem horária), e pelos fragmentos florestais (para verificar um possível gradiente térmico provocado pela presença destas manchas de ocupação).

Todos os pontos de monitoramento (fixos e móveis) foram demarcados com GPS. Nesta etapa também foram definidos (as) ou descritos:

- A altura dos pontos de monitoramentos adequados à escala climática de observação;
- As condições de tempo nos períodos de monitoramentos;
- Os horários e o modo de obtenção dos dados (medidas simultâneas ou alternadas; fixas ou móveis; contínuas ou pontuais);
- A instrumentação.

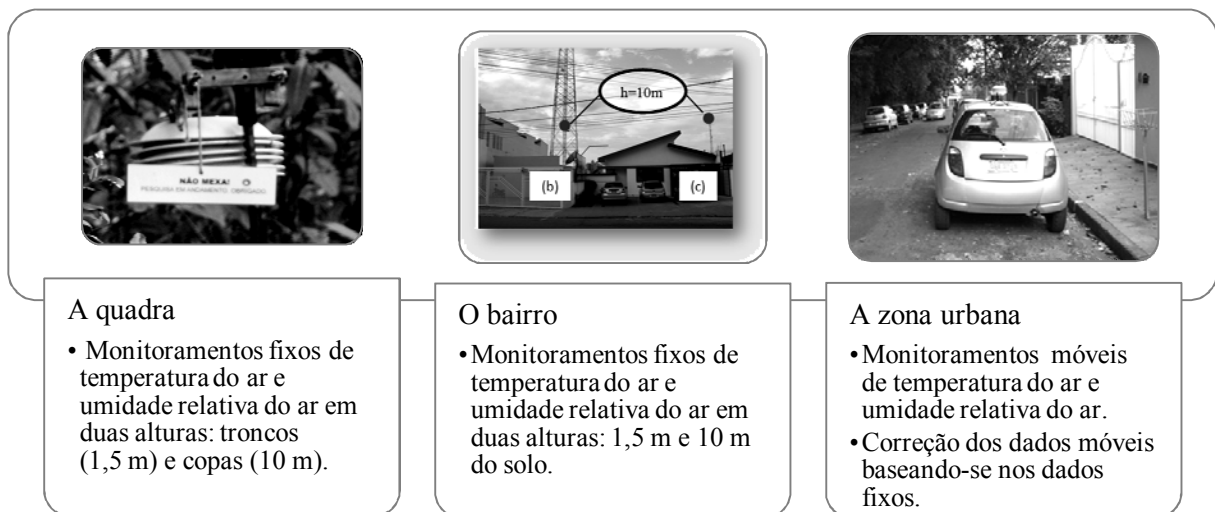


Figura 3.2 - Etapa 2: Materiais e técnicas de coletas de dados.

- **ETAPA3:** Modo de análise dos dados:
 - o Os dados climáticos foram tratados por meio de estatística descritiva e relacionados às características físicas pontuais observadas nas diversas escalas de análise (tipos de materiais, abertura do dossel arbóreo, morfologia urbana, presença de elementos atípicos na paisagem).
 - o Observou-se o comportamento higrotérmico dos pontos ao longo do tempo (dia) e em horários pré-estabelecidos (no caso das medidas móveis e dos monitoramentos em pontos distribuídos no interior dos fragmentos florestais, visto que, nesse caso, o número de instrumentos não era suficiente para medidas contínuas e simultâneas entre as áreas de estudos).
 - o Os dados climáticos dos pontos urbanos foram comparados às médias obtidas na estação meteorológica do CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura), no mesmo período de monitoramento. A estação meteorológica do CEPAGRI foi nomeada de “rural”, apesar de situar-se no campus universitário da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) e sofrer influências da ambiência urbana.



Figura 3.3 – Estação meteorológica de referência – CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura). Fonte: Google Earth (2011).

3.2 O clima de Campinas

Campinas situa-se no Estado de São Paulo, a 100 km da capital, na Latitude 22°48'57" Sul e Longitude 47°03'33" Oeste, como representado na Figura 3.4 (CEPAGRI, 2010). Sua altitude média é de 640 m acima do nível do mar, variando entre 564m e 1088m (HOTT; FURTADO; RIBEIRO, 2007). O município tem área de 795,70 km², sendo a área do perímetro urbano legal de 388,90 km² (CAMPINAS, 2006). A população estimada em 2010 era de 1.080.999 habitantes (IBGE-CIDADES, 2011).



Figura 3.4 – Localização do Município de Campinas no Estado de São Paulo.

O clima de Campinas, segundo a classificação climática de Koeppen, é Subtropical de inverno seco e verão quente (Cwa). A temperatura média anual é de 22,4 °C, sendo que a média mensal máxima ocorre em fevereiro, com 24,9 °C, e a média mensal mínima em julho, com 18,5 °C (CEPAGRI, 2010).

Segundo dados médios da estação meteorológica do CEPAGRI, há um período chuvoso e quente entre outubro e março, e um período seco entre abril e setembro, sendo os meses de junho e julho os mais frios. A precipitação e a temperatura do ar distribuem-se mensalmente conforme apresentado na Figura 3.5. De acordo com Barbano, Brunini e Pinto (2003), o vento predominante tem direção Sudeste, com média de 40,0% e maior frequência nos meses de abril, agosto, setembro, outubro e novembro.

A Figura 3.5 também mostra as médias mensais para o ano de 2009, em que foram realizados os monitoramentos microclimáticos no interior dos fragmentos florestais urbanos. As médias mensais de temperatura do ar no verão (Jan.-Fev.) de 2009 estiveram um pouco mais elevadas do que os registros anteriores, e por outro lado, mais baixas no inverno (Jun.-Jul.). Observa-se que enquanto a precipitação média anual é de 1425 mm, o ano de 2009 foi caracterizado pela maior ocorrência de chuvas, somando 2080 mm.

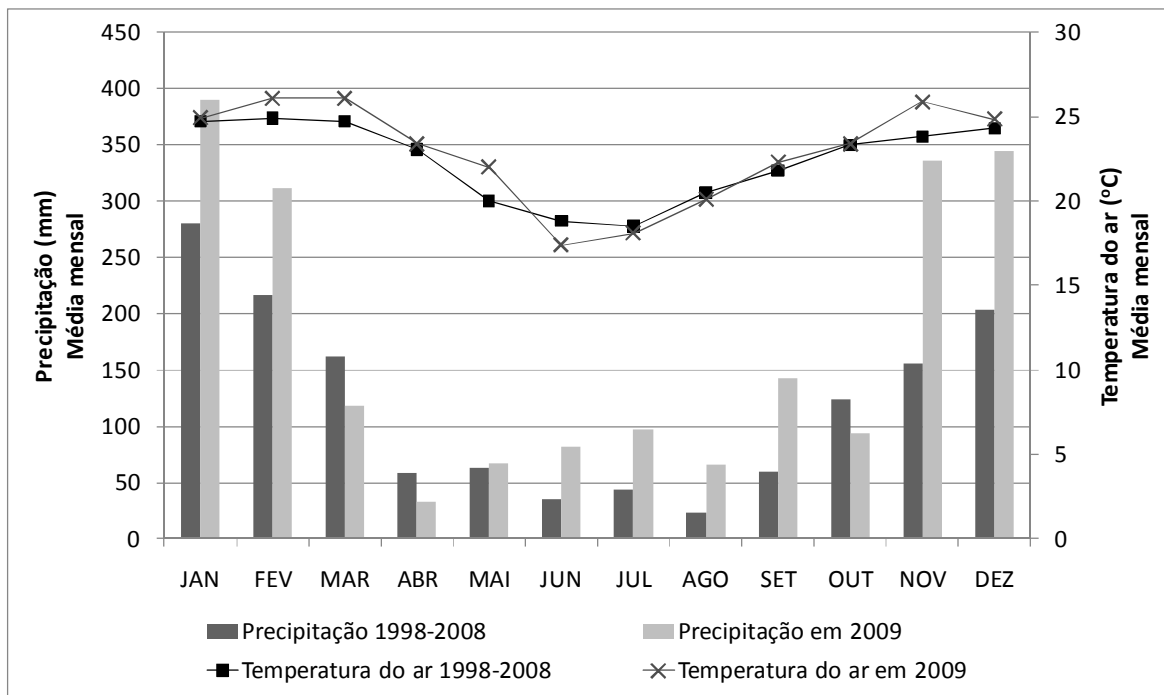


Figura 3.5— Média mensal da temperatura do ar e precipitação em Campinas. Dados de Jun. 1998 a Out. 2008 comparados aos registros do ano de 2009. Fonte: CEPAGRI - arquivo interno fornecido diretamente para a autora.



4 Fragmentos florestais urbanos: caracterização física e interações climáticas

A influência da vegetação no microclima urbano e no conforto térmico em espaços abertos é tema constante de pesquisas realizadas em todo o mundo. Como destacou Bowler et al. (2010), os estudos comprovam que as áreas vegetadas são mais frescas do que as sem vegetação, sendo que a magnitude do impacto na temperatura do ar depende do tamanho das áreas verdes e de suas características físicas.

No que concerne à estrutura e composição florística das áreas verdes, verifica-se uma correlação positiva entre a estratificação e o aumento da área foliar com a capacidade de interceptação da radiação solar e o aumento da evapotranspiração (TAHA, 1997; LARCHER, 2004). Estes processos, por sua vez, contribuem para a diminuição da temperatura do ar.

No entanto, constata-se que as áreas verdes urbanas possuem características diversas e o termo é comumente atribuído a espaços abertos tais como gramados, praças, jardins e parques (LOBODA; DE ANGELIS, 2005). Do mesmo modo, Lund (1999) observou que o termo “floresta” possui mais de cento e trinta definições, que podem ser agrupadas em três categorias principais – a floresta pode ser vista como uma unidade legal, como uma cobertura da terra ou como um uso da terra. Assim, a exigência de reservas verdes nas cidades, em benefício do clima urbano, deveria vir seguida da descrição de suas características físicas e de sua destinação em relação ao uso, para que estas desempenhem, de fato, a função pretendida.

No presente trabalho, os fragmentos florestais urbanos são unidades legais, do ponto de vista municipal, estadual ou federal, que constituem áreas verdes de preservação em diferentes estados de conservação. São remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual, parte da Mata Atlântica, originalmente caracterizada, segundo Veloso et al. (1991),

pela dupla estacionalidade climática, uma tropical com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15 °C (...) Neste tipo de vegetação a



porcentagem das árvores caducifólicas, no conjunto florestal e não das espécies que perdem as folhas individualmente, situa-se entre 20 e 50%.

Guaratini et al. (2008) afirmam que estas florestas foram devastadas com a expansão da fronteira agrícola, por ocuparem solos férteis no Estado de São Paulo e, atualmente, se restringem a fragmentos isolados, com diferentes graus de preservação, mas que representam papel essencial na manutenção da flora local. De acordo com a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (2009) resta pouco mais de 7% da Mata Atlântica que originalmente ocupava o Brasil, e em Campinas - SP, cidade de realização da presente pesquisa, apenas 2% da vegetação nativa foi preservada.

Santin (1999) descreve a fisionomia da Floresta Estacional Semidecidual como florestas altas, cujo estrato arbóreo apresenta altura superior a 20 m, com indivíduos emergentes ultrapassando 30 m, como representado na Figura 4.1. No estrato intermediário ao sub-bosque ocorrem árvores de pequeno e médio porte, entre 4 m e 12 m de altura. No sub-bosque há a ocorrência de arbustos lenhosos, com cerca de 3 m, herbáceas não lenhosas, que atingem 1,2 m, e lianas. Epífitas são encontradas em fragmentos mais bem conservados.

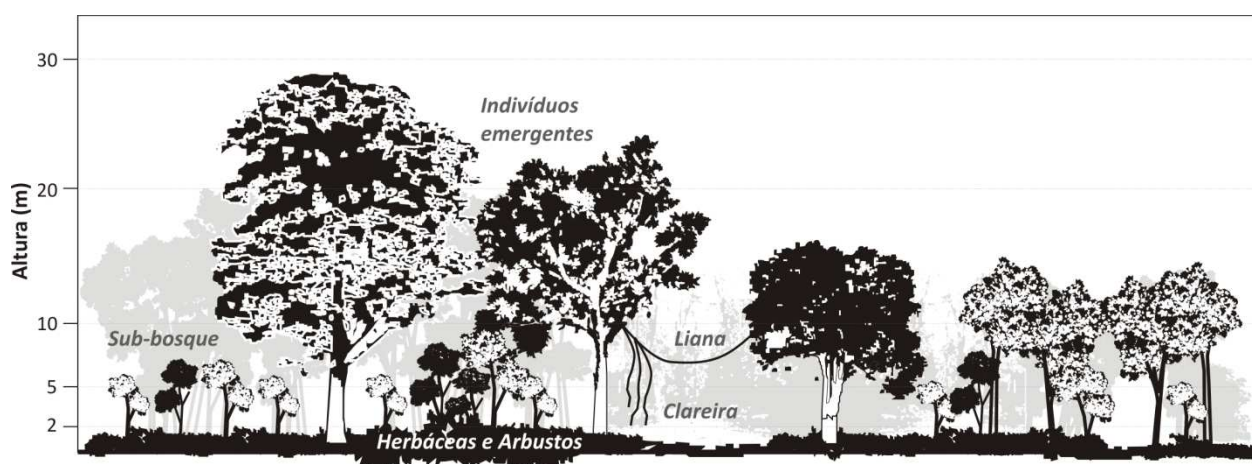


Figura 4.1 – Perfil de uma Floresta Estacional Semidecidual, baseado na descrição de Santin (1999).

A diversidade de espécies vegetais e a estratificação deste tipo de floresta são favoráveis ao aumento da interceptação da radiação solar e da evapotranspiração. A camada

próxima ao solo, no sub-bosque, deve apresentar baixa velocidade do vento, como verificou Geiger (1966) para uma floresta de carvalhos. Por outro lado, a sobreposição das copas das árvores pode dificultar a perda de calor do sub-bosque para a atmosfera, tendo em vista a opacidade das folhas à radiação de onda longa (OKE, 1987; GEIGER, 1966). Assim, a temperatura do ar no sub-bosque deve manter certa estabilidade ao longo do dia, e a umidade do ar deve manter-se elevada (LARCHER, 2004; GEIGER, 1966; OKE, 1987; TAHA 1997).

A caracterização do dossel florestal pode ser acessada por fotografias hemisféricas, a partir das quais é possível estimar a abertura do dossel, a área foliar e o ângulo de inclinação foliar, como demonstraram Frazer et al. (2001). Upmanis e Chen (1999) afirmaram que vários estudos confirmam a influência do fator de visão do céu no balanço de radiação de ondas longas e na temperatura superficial em áreas urbanas e rurais. Blennow (1997) e Karlsson (2000) também disseram haver boa correlação entre a abertura do dossel e a temperatura do ar no interior de florestas.

Partindo destas informações, este capítulo tem como objetivo verificar se a abertura do dossel, a área do fragmento e a distância de um ponto localizado no interior do fragmento florestal à fronteira urbana, servem de parâmetros relacionados ao microclima. A pesquisa abrange seis fragmentos florestais, com diversos tamanhos e estados de conservação, localizados na área urbana de Campinas.

4.1 Fragmentos florestais urbanos na cidade de Campinas

Santin (1999), em inventário florestal realizado em Campinas, identificou um total de 24 áreas verdes caracterizadas por parques, bosques e reservas naturais, dos quais parte possui remanescente florestal. Estas áreas estão identificadas no Mapa de Vegetação Remanescente do Plano Diretor de Campinas (CAMPINAS, 2006), utilizado como base inicial para a seleção das áreas de estudo, como mostra a Figura 4.2.

A consulta do mapa de vegetação, concomitante à visualização de fotografias aéreas da cidade, possibilitou a escolha de seis fragmentos florestais para a realização das observações microclimáticas. Estas áreas possuem imediações caracterizadas pelo predomínio do uso residencial e pela ocupação com construções de baixo gabarito. São elas



a Mata de Santa Genebra e os Bosques dos Italianos, Alemães, São José, Guarantãs e Paz. Um sétimo fragmento florestal, o Bosque dos Jequitibás, que está localizado no Centro de Campinas, não teve seu microclima monitorado, porém fará parte de análises posteriores.

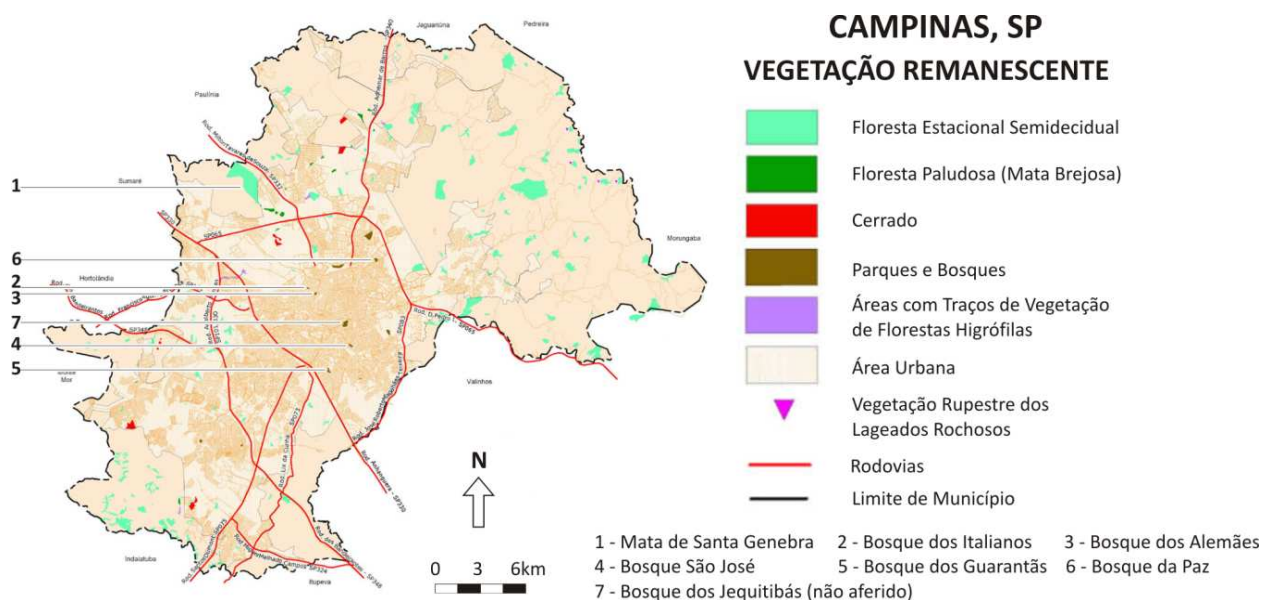


Figura 4.2– Mapa de vegetação remanescente no Município de Campinas, com destaque para as áreas de estudo. Fonte: Campinas (2006). Adaptado pela autora.

As restrições de acesso distinguem-se entre as áreas - os bosques públicos municipais são abertos ao uso público, voltados ao lazer e recreação; já a Reserva Florestal Mata de Santa Genebra, que é uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE³), tombada como Patrimônio Natural⁴, tem acesso restrito e controlado e está voltada ao desenvolvimento de pesquisas.

³ A Mata de Santa Genebra foi declarada Área de Relevante Interesse Ecológico no Decreto Federal nº. 91885 de 05 de novembro de 1985.

⁴ A Mata de Santa Genebra é tombada pelo CONDEPHAAT (Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Artístico, Arqueológico e Turístico do Estado de São Paulo) - Resolução Nº 3 de 03/02/1983, e pelo CONDEPAAC (Conselho de Defesa do Patrimônio Artístico Cultural de Campinas) – Resolução Nº 11 de 29/09/1992. A reserva é administrada pela Fundação José Pedro de Oliveira.

A Reserva Florestal Mata de Santa Genebra é o maior representante da Mata Atlântica na região de Campinas. Guaratini et al. (2008, p.326) descrevem que na Mata de Santa Genebra “as árvores representaram o hábito mais abundante (53,7% correspondentes a 108 espécies), seguida das lianas (17,4% correspondentes a 35 espécies), arbustos (14,4% correspondentes a 29 espécies), ervas (8,0% correspondentes a 16 espécies), arvoretas (6,0% e 12 espécies) e epífitas (0,5% correspondente a uma espécie). *Coffea arábica* foi a única espécie exótica presente na área de estudo.” No entanto, segundo os autores, a reserva é composta por um mosaico de fases sucessionais distintas, apresentando áreas com espécies de estágios iniciais de sucessão, tais como bambu e ervas daninhas.

Já os bosques públicos municipais são pequenas ilhas, testemunhas da vegetação nativa, que foram preservadas no processo de parcelamento do solo urbano. Segundo Santin (1999, p. 124), nestes “o estrato arbóreo encontra-se mais bem representado do que os estratos herbáceo-arbustivo e as copas das árvores se sobrepõem ou pelo menos se tocam, promovendo o sombreamento do solo no interior do fragmento.” Os bosques, apresentados na Figura 4.3, possuem equipamentos comunitários, tais como playground, sanitários, bebedouros, espaços para atividades físicas, sede administrativa e alguns quadras esportivas, observando-se intervenções paisagísticas.





Figura 4.3– Fotografias das áreas de estudo. (a) Mata de Santa Genebra, vista da Trilha Baroni; (b) Bosque dos Italianos; (c) Bosque dos Alemães; (d) Bosque São José; (e) Bosque dos Guarantãs; (f) Bosque da Paz.

Dados de levantamentos florísticos das áreas de estudos, realizados por Santin (1999) e Guaratini et al. (2008), são apresentados na Tabela 3.1. Estes possibilitam ordenar os fragmentos florestais quanto ao estado de conservação, visto que o número de espécies e de famílias são indicadores de diversidade. Baseando-se em Santin (1999), o estado de conservação estimado das áreas, em ordem decrescente, seria: Mata de Santa Genebra, Bosque dos Jequitibás, Bosque São José, Bosque dos Alemães, Bosque dos Italianos, Bosque dos Guarantãs e Bosque da Paz.



Tabela 4.1 - Fragmentos florestais urbanos em Campinas, selecionados para a pesquisa, e dados de levantamentos florísticos segundo Santin (1999) e Guaratini et al. (2008).

Sigla	Local	Área de vegetação remanescente (ha)**	Nº de espécies***	Distribuição em famílias
1. MSG	Mata de Santa Genebra	250,36	201	57
2. ITA	Bosque dos Italianos	1,5*	82	33
3. ALE	Bosque dos Alemães	2,0	85	34
4. S.JOSÉ	Bosque São José	3,36	144	47
5. GUA	Bosque dos Guarantãs	3,3*	72	32
6. PAZ	Bosque da Paz	4,0*	50	27
7. JEQ	Bosque dos Jequitibás (n.a.)	10,5	160	46

(*) Área de remanescente florestal calculada com base em foto aérea, obtendo-se resultados diferentes dos citados por Santin (1999). (**) Inclui trilhas e/ou equipamentos comunitários entremeados à vegetação. (***) Em Santin (1999) o número de espécies e a distribuição em famílias referem-se apenas às árvores nativas. Em Guaratini et al. (2008), especificamente em relação aos dados da Mata de Santa Genebra, o número de espécies e a distribuição em famílias inclui árvores, arbustos, epífitas, ervas e lianas. (n.a.) Microclima não aferido.

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Monitoramento microclimático nos fragmentos florestais urbanos

Os monitoramentos da temperatura do ar e da umidade relativa do ar no interior dos fragmentos florestais urbanos foram realizados em três experimentos:

1º) Monitoramento contínuo (24 horas) e simultâneo em um ponto localizado no interior das áreas de estudo, na altura de 1,5m do solo. Por medidas de segurança, nos bosques os tripés foram localizados próximos das sedes administrativas (casa dos vigilantes). Na Mata de Santa Genebra o ponto foi localizado a uma distância de aproximadamente 300 m da fronteira urbana. Período das medições: Jan. – Abr. e Ago. de 2009. O monitoramento contínuo (24 horas) em um ponto localizado no interior dos fragmentos florestais urbanos possibilitou comparar o microclima entre as áreas de estudo e a área rural, a partir de dados da Estação Meteorológica do CEPAGRI⁵;

⁵ CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura.



2º) Monitoramento da temperatura do ar e umidade relativa do ar, contínuo (24 horas) e simultâneo entre as áreas de estudo, nas alturas de 1,5m e 10m do solo (Figura 4.4). Por questão do número de instrumentos, as medições na altura de 10m só foram realizadas no Bosque dos Italianos, Bosque da Paz e Bosque dos Guarantãs. Período das medições: Ago. – Set. de 2009;

3º) Monitoramentos em dias alternados entre as áreas, com registros às 14h, horário em que haviam registros completos para todas as áreas de estudo. Os pontos de monitoramento foram distribuídos de maneira homogênea nas áreas de estudo, na medida do possível. Na Mata de Santa Genebra, devido às restrições de mobilidade e de segurança dos equipamentos, os pontos foram localizados ao longo da Trilha Baroni (Figura 4.3a), partindo da fronteira com a área urbanizada em direção ao interior da mata, e ao longo da fronteira da mata com a área urbanizada. Também houve dificuldade em se abranger a área do Bosque da Paz, devido ao declive acentuado das suas vertentes. Assim, os pontos foram distribuídos no perímetro, afastando-os da fronteira urbana quando possível. Período das medições: Jan. - Ago. de 2009.

Os instrumentos utilizados foram:

- Registrador de temperatura e umidade ambientes e saída para temperatura externa, marca e modelo Testo 175-H2, com precisão para o canal interno: umidade relativa do ar $\pm 2\%$, e registros entre 0% e 100%; temperatura do ar $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, e registros entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 4.5) ;
- Registrador de temperatura ambiente, marca e modelo Testo 177-T2, com precisão para o canal interno de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, e registros entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Protetor de registrador, contra a radiação e chuva, permitindo a ventilação natural;
- Tripé para fixação de proteção do registrador na altura de 1,5 m;
- Abraçadeira para fixação de protetor com registrador em árvore, na altura de 10 m;
- GPS Garmin 60CX, para o registro das coordenadas dos pontos amostrais.



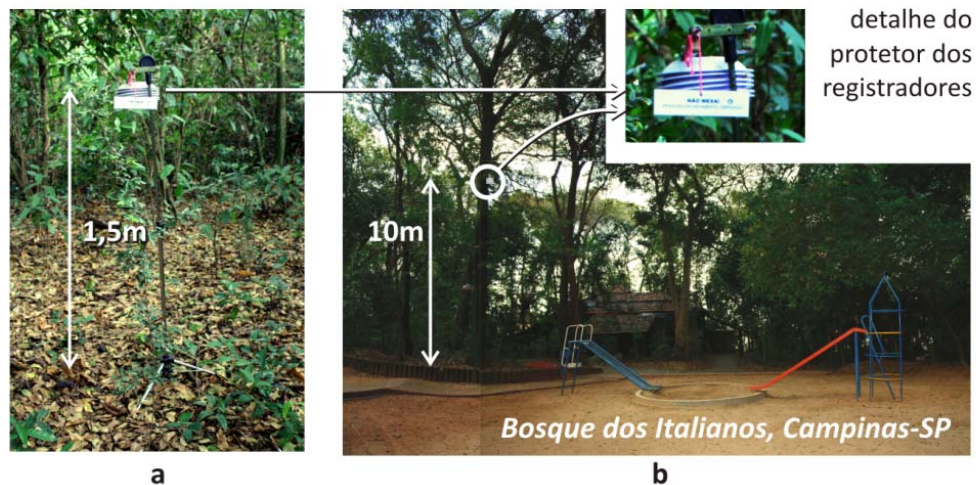


Figura 4.4— Registrador de temperatura e umidade ambientes, protegido da radiação e ventilado naturalmente, fixado em (a) tripé, na altura de 1,5 m do solo; (b) árvore, na altura de 10 m do solo.

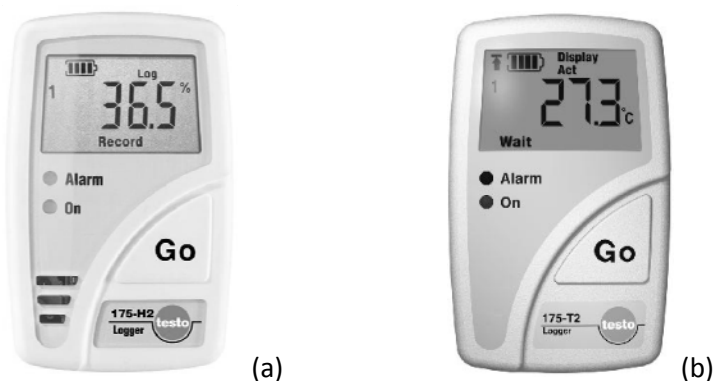


Figura 4.5 - (a) *Data-logger* de temperatura e umidade ambiente, marca Testo 175-H2 (b) *Data-logger* de temperatura ambiente, marca Testo 175-T2.

Para uma melhor comparação do conteúdo de vapor de água, estimou-se, em algumas análises, a umidade absoluta do ar, seguindo as Equações 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4, com referências em Angelocci (2002, p.32-33):

$$UR = ea/es \quad (\text{Eq. 4.1})$$

$$e_s = k \cdot 10^{(7,5t/237,3+t)} \quad (\text{Eq. 4.2 - Equação de Tetens})$$

$$R = 0,622 \cdot ea / (P_{atm} - ea) \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$Cva = k \cdot (ea/T) \quad (\text{Eq. 4.4})$$

Onde, UR [%] é a umidade relativa do ar; ea [hPa] é a pressão de vapor; es [hPa] é a pressão saturante; o coeficiente de ajuste $k = 6,108$ para e_s expressa em hPa, ou $k=4,58$, para e_s em mmHg; t é a temperatura do ar [°C] e T é a temperatura absoluta [K]; Cva [g/m³] é o conteúdo de vapor de água em um metro cúbico de ar; R é a razão de mistura. A pressão atmosférica P_{atm} considerada para Campinas foi de 935,31 hPa, calculando-se com o PSICROM 1.0 (RORIZ, 2003) e considerando a altitude do município de 640 m acima do nível do mar (CEPAGRI, 2010).

4.2.2 Caracterização do dossel florestal

A caracterização do dossel florestal foi feita a partir de imagens hemisféricas e cálculo da porcentagem de céu visível, o que torna possível a identificação de clareiras e de elementos construídos presentes na paisagem.

As fotografias foram realizadas em julho de 2009, no início da fase semidecidual da floresta. Ressalta-se que o inverno do ano de 2009 foi chuvoso, atrasando a queda das folhas, não alterando significativamente a abertura do dossel. As fotografias foram feitas em: MSG – 2 pontos; ITA – 9 pontos; ALE – 12 pontos; S.JOSÉ – 12 pontos; GUA – 11 pontos; PAZ – 9 pontos, somando 55 pontos. Não foi possível acessar o interior da Mata de Santa Genebra com os equipamentos fotográficos, pois a trilha, neste período, encontrava-se obstruída devido à queda de galhos. Assim, os dois pontos de registro fotográfico na MSG foram feitos na borda, porém com diferentes exposições em relação à área urbanizada.

As fotografias foram tiradas em dias com céu parcialmente ou totalmente nublado, para melhor distinção da folhagem com o céu (FRAZER et al, 1999) na altura de 1,5 m, não registrando, portanto, o estrato herbáceo-arbustivo. Para tanto, foi utilizada uma câmera Nikon Coolpix 5000 (modelo digital) e uma lente conversora para olho de peixe Nikkor FC-E8. O design desta lente deve produzir uma projeção polar, na qual as distâncias angulares na região do objeto são proporcionais às distâncias radiais na imagem plana, salvo se ocorrerem distorções radiais e relativas ao campo de visão (180°) decorrentes da fabricação (FRAZER et al., 2001). A câmera foi regulada com o autofocus, Fisheye 1. A



resolução utilizada foi fina, com imagens digitais no formato JPG, posteriormente salvas em BMP para entrada no software. A câmera foi acoplada a um tripé fotográfico, sua lente ficou voltada para o céu e a parte superior direcionada para o norte, utilizando-se, para tanto, um nível de bolha e uma bússola.

As imagens foram inseridas no software Gap Light Analyser - GLA v.2 (FRAZER et al., 2001). Utilizou-se a projeção polar e fez-se o ajuste do norte magnético. As cores foram transformadas em branco (céu) e preto (obstruções) para o cálculo da abertura do dossel (%) – *canopy openness*.

4.2.3 Localização e distância de um ponto à fronteira urbana

Os pontos de monitoramento e as fotografias hemisféricas foram registrados com um GPS Garmim, 60 CX, utilizando-se o Datum SAD 69. Estes foram inseridos em uma base vetorial da malha urbana de Campinas, no formado DWG, cedida pela SANASA⁶. No mesmo arquivo também foi inserido o mosaico de fotografias aéreas da cidade de Campinas, com data de 2005, fonecido pela SEPLAMA⁷. O sistema de projeção utilizado foi UTM, Córrego Alegre 23 Sul. Observou-se um pequeno deslocamento dos pontos de monitoramento em relação aos limites de cada fragmento florestal. A correção deste deslocamento foi feita na própria base digital, movendo-se o conjunto de pontos, com base em referências de campo (por exemplo, pontos localizados em esquinas).

Desenharam-se círculos, concêntricos aos pontos de monitoramentos e tangentes ao limite urbano mais próximo, anotando-se assim, a menor distância de cada ponto até a fronteira urbana.

⁶ SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A.

⁷ SEPLAMA – Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. Prefeitura Municipal de Campinas, SP.



4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Temperatura do ar e umidade relativa do ar em fragmentos florestais urbanos – monitoramentos em pontos fixos a 1,5 m de altura

As Figuras 4.6 e 4.7 apresentam as médias horárias da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, nesta ordem, nos fragmentos florestais urbanos e no ambiente rural. Constatou-se que a temperatura média mínima das áreas verdes, que ocorreu próximo das 6:00h, esteve, em média, 0,9 °C mais elevada do que no ambiente rural. Neste horário, a umidade relativa do ar apresentou-se elevada e com pouca diferença entre as florestas urbanas e a zona rural. Às 14:00h, horário aproximado de ocorrência da temperatura máxima do ar, a diferença térmica entre os fragmentos florestais urbanos e a zona rural (ΔT_{f-r}) foi de 2,8 °C, e a diferença de umidade relativa do ar entre as duas áreas (ΔUR_{f-r}) foi de 17,6%. Isto corresponde a 2,3 g/m³ de umidade absoluta do ar mais elevada nas florestas urbanas.

Verificou-se que a amplitude térmica diária e de umidade relativa do ar nas áreas vegetadas é inferior aos do ambiente rural (diferença de 3,7 °C para temperatura do ar e de 15,6%, para a umidade relativa do ar), indicando maior estabilidade microclimática nos fragmentos florestais urbanos.

Verificou-se, ainda, diferenças na taxa de aquecimento e de resfriamento, que são maiores no ambiente rural. Entre as 6:00h e 14:00h a taxa de aquecimento nos fragmentos florestais urbanos foi de 0,8 °C/h e na área rural 1,2 °C/h. Entre 22:00h e 6:00h a taxa de resfriamento nos fragmentos florestais urbanos foi de 0,2 °C/h e na zona rural 0,3 °C/h.



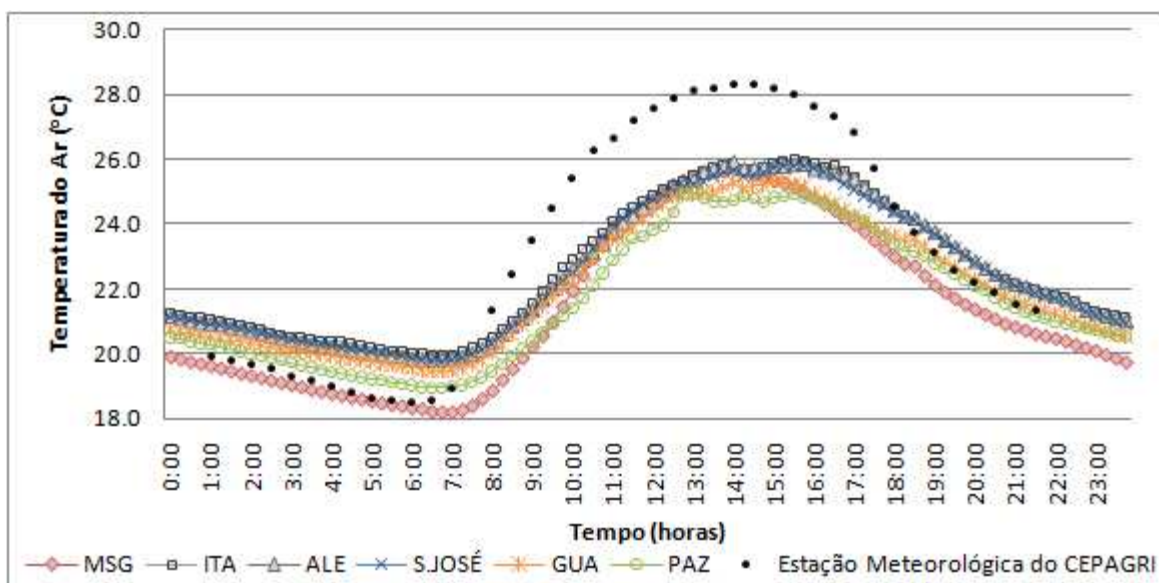


Figura 4.6 – Comportamento térmico diário em fragmentos florestais urbanos da cidade de Campinas, SP comparados à estação meteorológica do CEPAGRI. Dados obtidos nas alturas de 1,5 m (matas e bosques) e 10 m (CEPAGRI) entre Jan. e Ago. de 2009, totalizando 40 dias de observação.

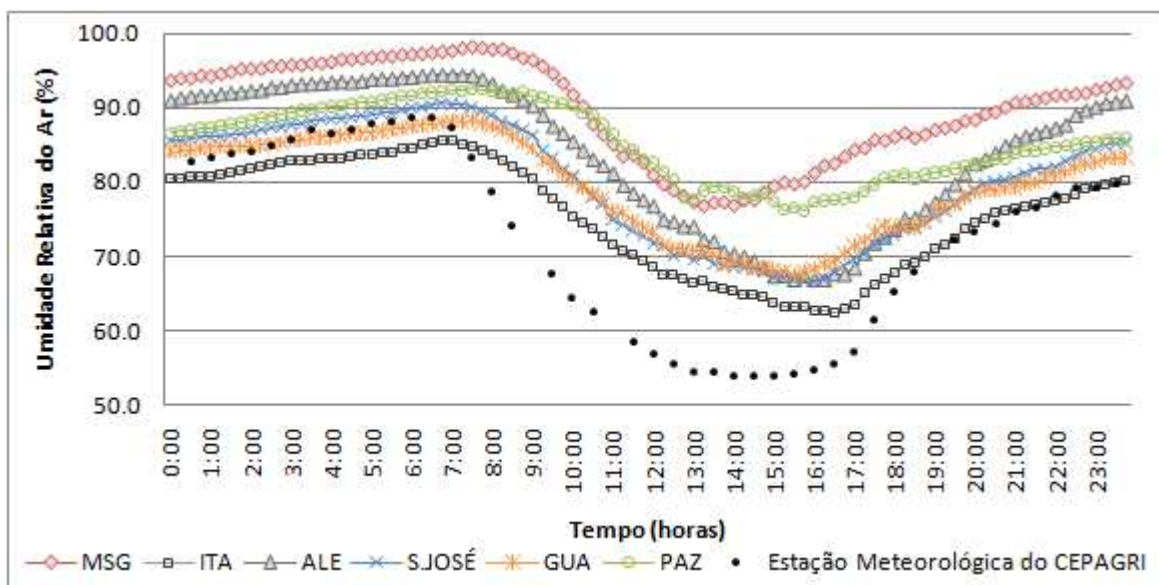


Figura 4.7 – Comportamento diário da umidade relativa do ar em fragmentos florestais urbanos da cidade de Campinas, SP comparados à estação meteorológica do CEPAGRI. Dados obtidos nas alturas de 1,5 m (matas e bosques) e 10 m (CEPAGRI) entre Jan. e Ago. de 2009, totalizando 40 dias de observação.

Ocorrem diferenças térmicas e de umidade relativa do ar entre as áreas de estudo. É possível observar na Tabela 4.2 que a temperatura média máxima do ar diferenciou-se pouco entre as áreas (0,6 °C), mas a temperatura média mínima teve maior variação (2,2 °C). A MSG mostrou-se mais arrefecida e mais úmida que os demais bosques. Comparando a média diária da temperatura do ar, verificou-se uma diferença máxima entre as florestas urbanas de 1,1 °C, sendo a MSG o local mais frio (20,9 °C) e o S.JOSÉ o local mais aquecido (22 °C). A MSG também apresentou temperatura média mínima inferior às outras localidades. Neste local a umidade relativa do ar apresentou-se elevada, com média diária de 90,9%.

O ponto de monitoramento na MSG estava distante da fronteira urbana cerca de 300 m, portanto com menor influência da área urbana. A área também sofre influências da zona rural. Possivelmente, o alto aquecimento das fronteiras agrícolas e da cidade, no período diurno, acarretou a temperatura média máxima da MSG semelhante aos demais locais. Por outro lado, o local apresentou um resfriamento muito inferior aos demais, o que também pode ter sido causa da proximidade da zona rural. Neste sentido, nota-se que PAZ também apresentou temperatura média mínima inferior aos bosques situados em zonas de maior desenvolvimento urbano.

Quanto a umidade relativa do ar, observou-se menor amplitude diária na umidade relativa do ar em locais com cursos d'água (casos PAZ, com 26,9%, e GUA com 29,9%).

Tabela 4.2 – Temperatura do ar e umidade relativa do ar em fragmentos florestais urbanos. Monitoramentos simultâneos, entre Jan. – Ago. de 2009 (total de 40 dias), em tripés na altura de 1,5m.

Local	T (°C)	T _{máx} (°C)	T _{mín} (°C)	ΔT (°C)	UR(%)	UR _{máx} (%)	UR _{mín} (%)	ΔUR (%)
MSG	20,9	26,0	16,8	9,2	90,9	98,5	66,1	32,5
ITA	21,8	26,4	19,0	7,5	75,8	86,6	56,1	30,5
ALE	21,6	26,6	18,8	7,8	85,6	92,2	58,0	34,3
S.JOSÉ	22	26,4	18,7	7,7	85,5	90,7	58,4	32,3
GUA	21,2	26,3	18,4	7,8	79,4	88,7	58,8	29,9
PAZ	21,0	26,1	17,8	8,3	86,2	92,9	66,0	26,9

Legenda – T – média diária da temperatura do ar; T_{máx} - temperatura média máxima do ar; T_{mín} - temperatura média mínima do ar; ΔT - amplitude térmica diária; UR – média diária da umidade relativa do ar; UR_{máx} - umidade relativa média máxima do ar; UR_{mín} - umidade relativa média mínima do ar; ΔUR - amplitude diária da umidade relativa do ar.



Os *boxplots* mostrados nas Figuras 4.8 e 4.9 confirmam que a MSG, maior fragmento florestal urbano e com melhor estado de conservação, tende a apresentar menor temperatura do ar e umidade relativa do ar mais elevada que os demais locais. O local assemelhou-se com PAZ. Já os pequenos fragmentos florestais – ITA, ALE, GUA e S.JOSÉ apresentaram temperatura do ar semelhantes, mais elevada em S.JOSÉ. A umidade tende a ser mais baixa em GUA e ITA.



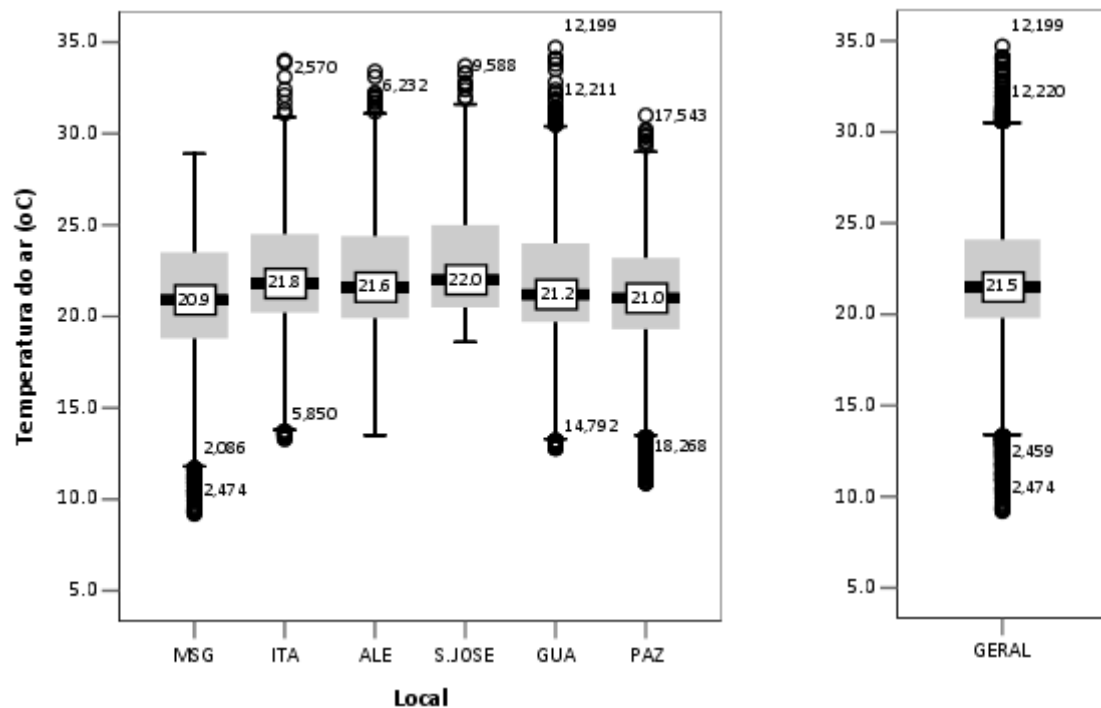


Figura 4.8 – Boxplots, em relação à média, da temperatura do ar (°C) em fragmentos florestais urbanos da cidade de Campinas, SP. Dados obtidos nas alturas de 1,5m (matas e bosques) entre Jan. e Ago. de 2009, totalizando 40 dias de observação.

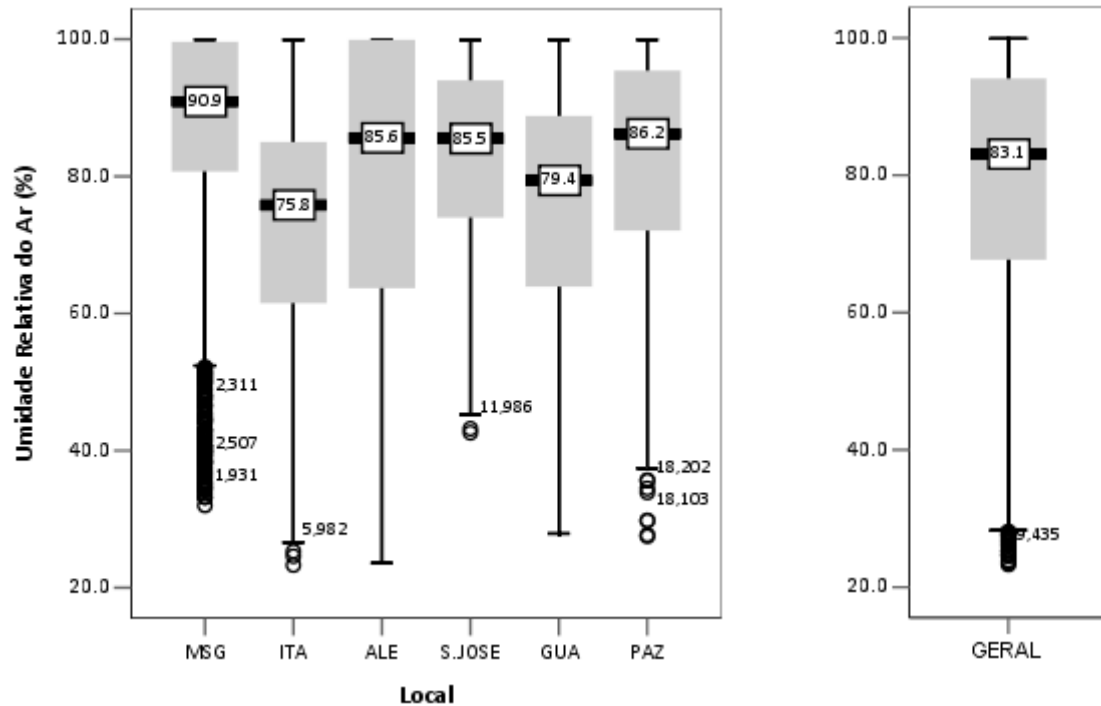


Figura 4.9– Boxplots, em relação à média, da umidade relativa do ar (%) em fragmentos florestais urbanos da cidade de Campinas, SP. Dados obtidos nas alturas de 1,5m (matas e bosques) entre Jan. e Ago. de 2009, totalizando 40 dias de observação.

4.3.2 Estratificação da temperatura do ar e umidade relativa do ar em fragmentos florestais urbanos – monitoramentos em pontos fixos em duas alturas (1,5 m e 10 m)

As condições de tempo no período de monitoramento microclimático (Ago.-Set. de 2009) em duas alturas (1,5 m e 10 m) podem ser resumidas por dias de céu claro, com ausência de pluviosidade, porém sob influência da chuva que ocorreu em dias anteriores. Apesar de não haver registros de pluviosidade na estação meteorológica do CEPAGRI, choveu nos dois dias anteriores: 9,14 mm, no dia juliano 236, e 1,21 mm, no dia juliano 237.

Assim, o ar apresentou-se inicialmente muito úmido, com umidade relativa do ar máxima superior a 80%. No decorrer dos dias, houve um decréscimo na umidade relativa do ar, principalmente a mínima, que diminuiu 31%. Observou-se também a elevação na temperatura do ar – a máxima aumentou 10,6 °C, a mínima 1,1 °C, e a média diária 3,8 °C, ao longo dos dias.

As tardes foram quentes e secas, com temperatura média máxima do ar de 29,7 °C e média da umidade relativa do ar de 29,7%. As manhãs foram amenas e úmidas, com temperatura média mínima de 14 °C e umidade relativa do ar de 76,2%. A amplitude térmica diária foi elevada, característica da estação seca do clima Subtropical de inverno seco e verão quente.

Segundo dados da estação meteorológica do IAC⁸, os ventos, no período, tiveram velocidade média inferior a 3 m/s, caracterizando uma brisa leve na Escala de Beufort, predominado a direção SE, com frequência de 77,8%.

Os monitoramentos no interior dos fragmentos florestais, realizados a 1,5 m e 10 m do solo, indicaram a ocorrência de um gradiente térmico vertical, como mostra a Figura 4.10. A diferença térmica entre as duas alturas monitoradas variou ao longo do dia e entre as florestas urbanas. Porém, em todos os horários a temperatura do ar (*T_{ar}*) a 10 m esteve mais baixa que a na altura do sub-bosque, a 1,5 m. Considerando a média dos dados das três áreas de estudo, que fizeram parte deste experimento (ITA, GUA e PAZ), verificou-se

⁸ IAC - Instituto Agrônomo de Campinas. O CEPAGRI coleta dados de vento a 2m e 5m de altura, optando-se pela referência do IAC.



que a menor diferença térmica entre as duas alturas ocorreu às 7:00h (0,6 °C) e a maior diferença térmica às 17:00h (3,7 °C).

A Figura 4.11 e a Tabela 4.3 apresentam dados de umidade relativa do ar (*UR*) nas duas alturas monitoradas. Do mesmo modo, verificou-se que a *UR* na altura de 10 m é mais elevada que a 1,5 m. Comparando-se as áreas de estudo, observa-se que o comportamento da *UR* medida a 10 m é semelhante. Observa-se em PAZ que a *UR* a 1,5 m esteve elevada, no período matutino e noturno, tendo em vista que o ponto de medição estava localizado próximo de um curso d'água.

Considerando a média dos dados das áreas de estudo, verificou-se que a menor diferença de $UR_{10-1,5m}$ entre as duas alturas ocorreu às 8:30h (diferença de 8%) e a maior diferença (15,4 %) foi observada às 19:30h.

A temperatura do ar e a umidade relativa do ar tendem a apresentar-se mais elevadas nos fragmentos florestais urbanos, comparados ao ambiente rural. Antes do nascer do sol, a *UR* na zona rural apresentou-se mais elevada que os bosques, em relação aos dados obtidos na altura de 1,5 m, porém inferior aos dados obtidos a 10 m.

No início da manhã, antes do aquecimento das superfícies próximas ao solo, houve poucas diferenças térmicas e de umidade relativa do ar nas duas alturas. Já no final da tarde, horário em que a umidade relativa do ar tende a ser mínima, observaram-se as maiores diferenças térmicas e de umidade entre as duas alturas monitoradas.



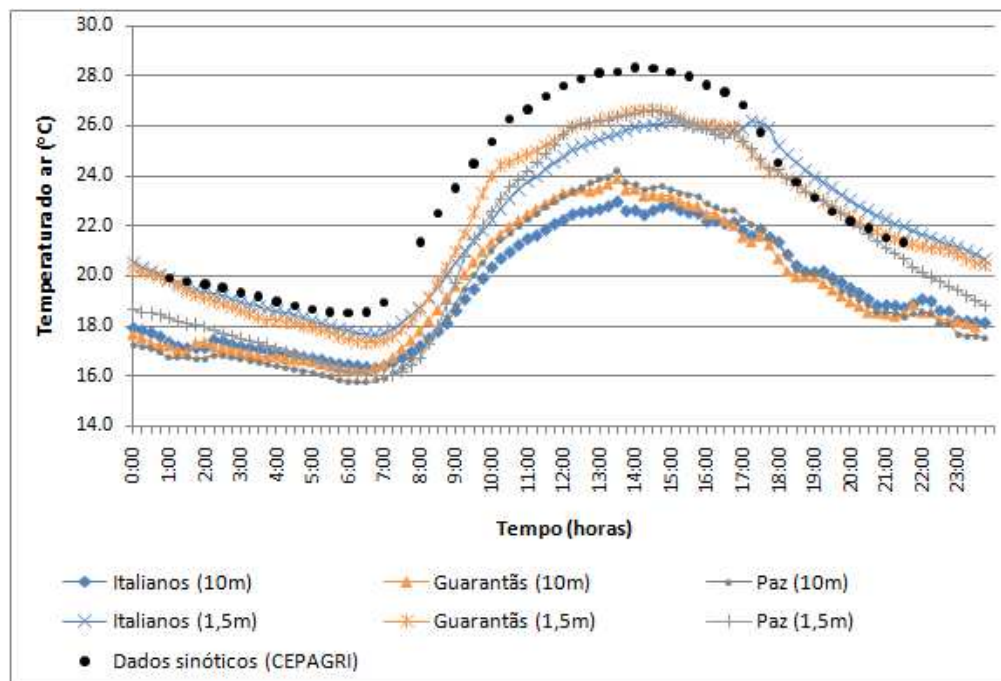


Figura 4.10– Temperatura do ar (°C) no interior de fragmentos florestais urbanos em duas alturas (10m e 1,5m). Dados obtidos entre Ago. e Set. de 2009, totalizando 17 dias de observação.

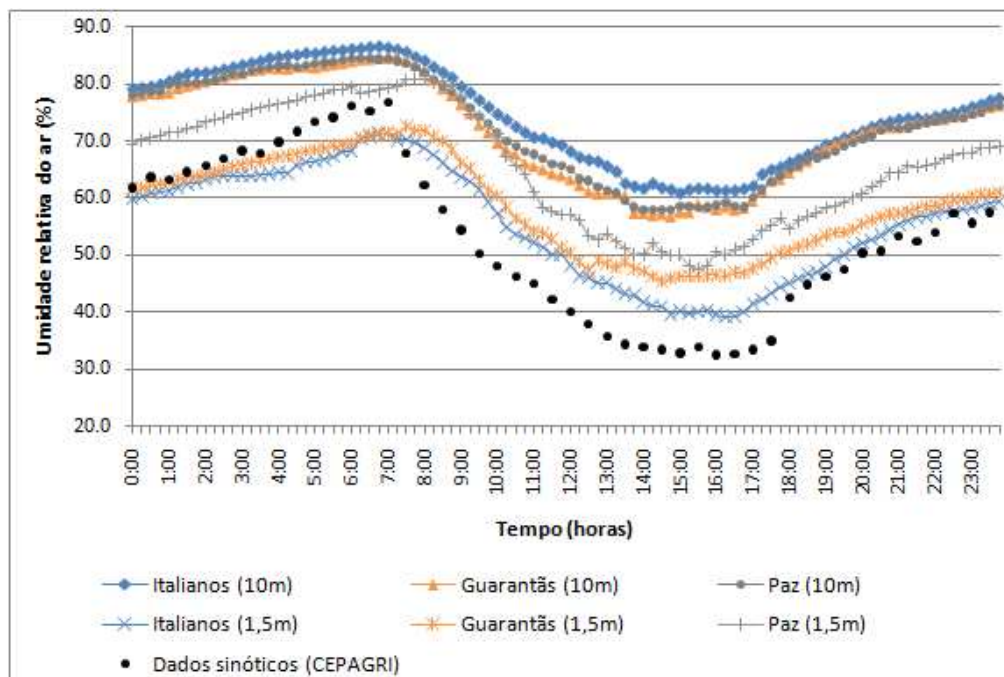


Figura 4.11 – Umidade relativa do ar (%) no interior de fragmentos florestais urbanos em duas alturas (10m e 1,5m). Dados obtidos entre Ago. e Set. de 2009, totalizando 17 dias de observação.

Tabela 4.3 – Média horária e desvio padrão (d.p.) da temperatura do ar - Tar [°C] - e umidade absoluta do ar - UA [g/m³] - em fragmentos florestais urbanos em Campinas-SP. Dados medidos no período de Ago.-Set. de 2009, nas alturas de 1,5 m e 10 m.

Altura		10 m						1,5 m					
Hora		9:00h		15:00h		21:00h		9:00h		15:00h		21:00h	
Variável		Tar (d.p.)	UA (d.p.)	Tar (d.p.)	UA (d.p.)	Tar (d.p.)	UA (d.p.)	Tar (d.p.)	UA (d.p.)	Tar (d.p.)	UA (d.p.)	Tar (d.p.)	UA (d.p.)
MSG								21,0 (2,1)	12,0 (1,1)	26,5 (3,2)	10,7 (1,3)	21,6 (1,8)	11,3 (1,8)
ITA		18,6 (3,0)	12,4 (2,5)	22,8 (5,3)	11,9 (3,2)	18,8 (4,5)	12,1 (2,9)	20,5 (1,9)	9,6 (1,0)	26,2 (2,9)	8,8 (1,2)	22,3 (1,7)	9,7 (2,3)
ALE								19,7 (2,0)	9,7 (0,9)	26,4 (3,2)	9,4 (2,1)	22,2 (1,8)	9,4 (1,9)
S.JOSÉ								20,2 (1,8)	10,0 (0,8)	26,2 (3,0)	9,8 (2,2)	21,9 (1,6)	9,7 (1,7)
GUA		19,6 (3,3)	12,2 (3,0)	23,2 (5,7)	11,2 (3,6)	18,5 (4,5)	11,6 (3,6)	21,0 (2,1)	9,8 (1,0)	26,5 (3,2)	10,1 (1,7)	21,6 (1,8)	9,6 (1,8)
PAZ		18,9 (2,5)	12,3 (2,0)	23,5 (5,6)	12,0 (2,7)	18,5 (3,8)	11,9 (2,3)	19,7 (1,4)	10,7 (0,9)	26,4 (3,2)	11,1 (1,4)	21,1 (1,0)	10,4 (1,3)

Estes resultados mostraram que as maiores diferenças térmicas entre as duas alturas de medição, nos três horários analisados, ocorreram às 15:00h e as menores diferenças às 9:00h, quando as superfícies ainda se encontram pouco aquecidas. A incidência de radiação solar no solo faz com que a camada de ar abaixo das copas se aqueça, atingindo temperaturas máximas próximo das 14h. Na altura de 10 m, apesar da folhagem também sofrer aquecimento, as trocas térmicas devem ser facilitadas pela incidência de vento e pela transpiração foliar, aumentando a parcela de perda de calor latente.

Tendo em vista que os fragmentos florestais estão situados na área urbana, a velocidade dos ventos acima das coberturas é superior à velocidade na camada próxima do solo, obstruída pelas edificações (OKE, 2006a). Como as copas das árvores, nos fragmentos estudados, são mais altas que as coberturas das edificações vizinhas, estas devem receber um fluxo de vento superior ao da altura dos troncos, explicando as diferenças térmicas entre estas duas alturas, conforme mostra a Figura 4.12. Além disso, é possível que as plantas situadas no extrato superior da floresta orientem suas folhas contra os raios solares intensos (para baixo), aumentando a incidência de radiação solar no sub-bosque nos horários de ocorrência de máxima radiação.



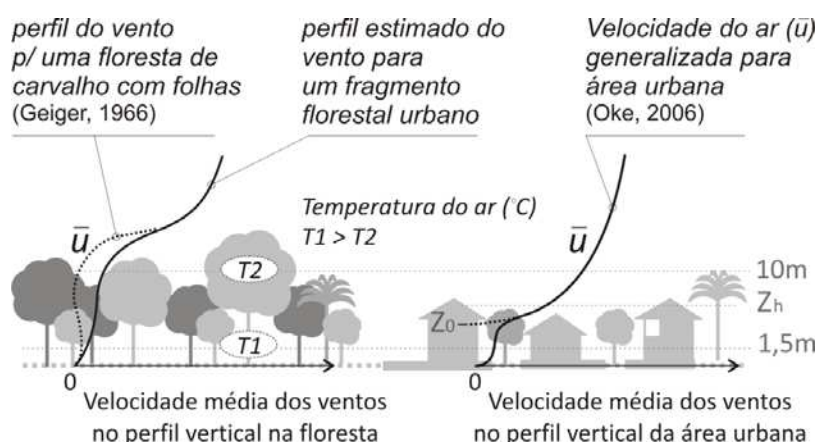


Figura 4.12 – Influência da velocidade dos ventos no gradiente térmico de um fragmento florestal urbano.

4.3.3 Diferenças térmicas e de umidade do ar entre pontos distribuídos no interior de fragmentos florestais urbanos - medidas às 14h na altura de 1,5m

Dados de temperatura do ar e umidade absoluta do ar em pontos distribuídos no interior de fragmentos florestais urbanos, medidos às 14h, evidenciaram a influência da área urbana sobre o microclima das áreas vegetadas.

A Figura 3.14 mostra os gradientes (θ) das variáveis: umidade relativa do ar, umidade absoluta do ar e temperatura do ar. Para este cálculo baseou-se no conceito de temperatura adimensional (θ), considerando-se os valores de referência máximos ($T_{\text{máx}}$) e mínimos ($T_{\text{mín}}$) obtidos entre os pontos monitorados em cada área de estudo, para cada dia de medição. Assim, a variável adimensional indica o quanto o valor obtido em um ponto está próximo dos valores máximos e mínimos de referência, resultando em um número entre 0 (valor máximo) e 1 (valor mínimo), como mostra a Equação 4.5:

$$\theta = \frac{T - T_{\text{mín}}}{T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}} \quad \text{Eq. 4.5}$$

Após ter calculado os valores adimensionais de temperatura e umidade, foi feita uma interpolação dos dados no *Surfer 8.0*, utilizando-se o método do Inverso do Quadrado da Distância. As interpolações são mostradas na Figura 4.13.

Observa-se uma tendência de resfriamento e aumento da umidade do ar nos pontos centrais das áreas de estudo e próximos às superfícies d'água (casos PAZ, MSG, GUA). A alteração no microclima com o distanciamento da fronteira com o ambiente construído é evidente em MSG, constatando-se maior resfriamento e aumento na umidade do ar nos pontos distantes da fronteira urbana.

Ao contrário, os pontos situados próximos a gramados (casos MSG, PAZ, GUA), de uso agrícola (caso MSG) e às ruas de tráfego intenso (caso ALE), apresentaram baixa umidade do ar e temperaturas elevadas. No caso de ALE verifica-se baixa umidade em um dos pontos centrais, posicionado no *playground*, local menos arborizado. Em GUA também verificou-se um ponto de aquecimento em um local de estreitamento da floresta, que faz fronteira com uma escola e com um campo de futebol de areia.

Em geral, os pontos de temperatura mais elevada também apresentaram baixa umidade absoluta do ar e baixa umidade relativa do ar.



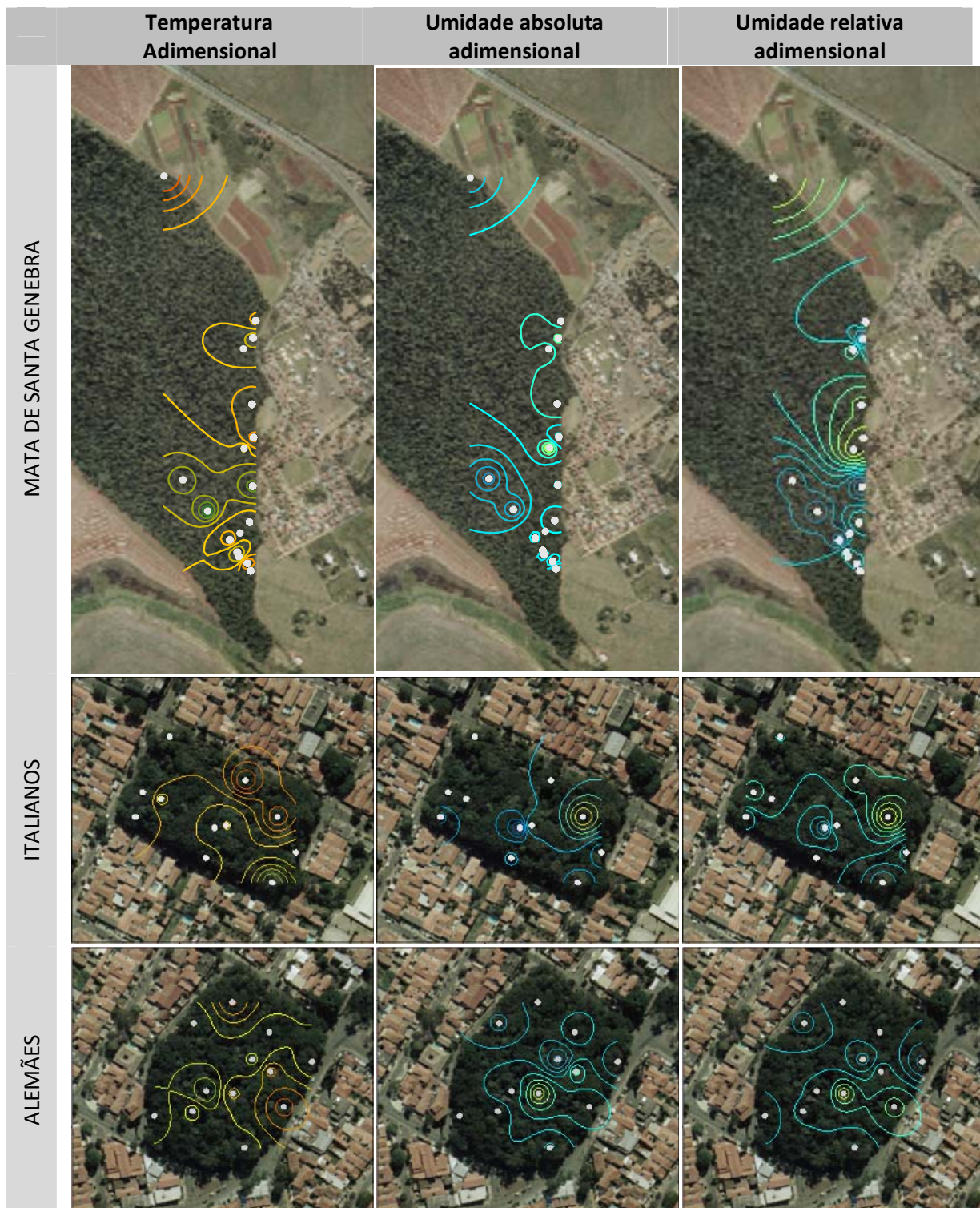
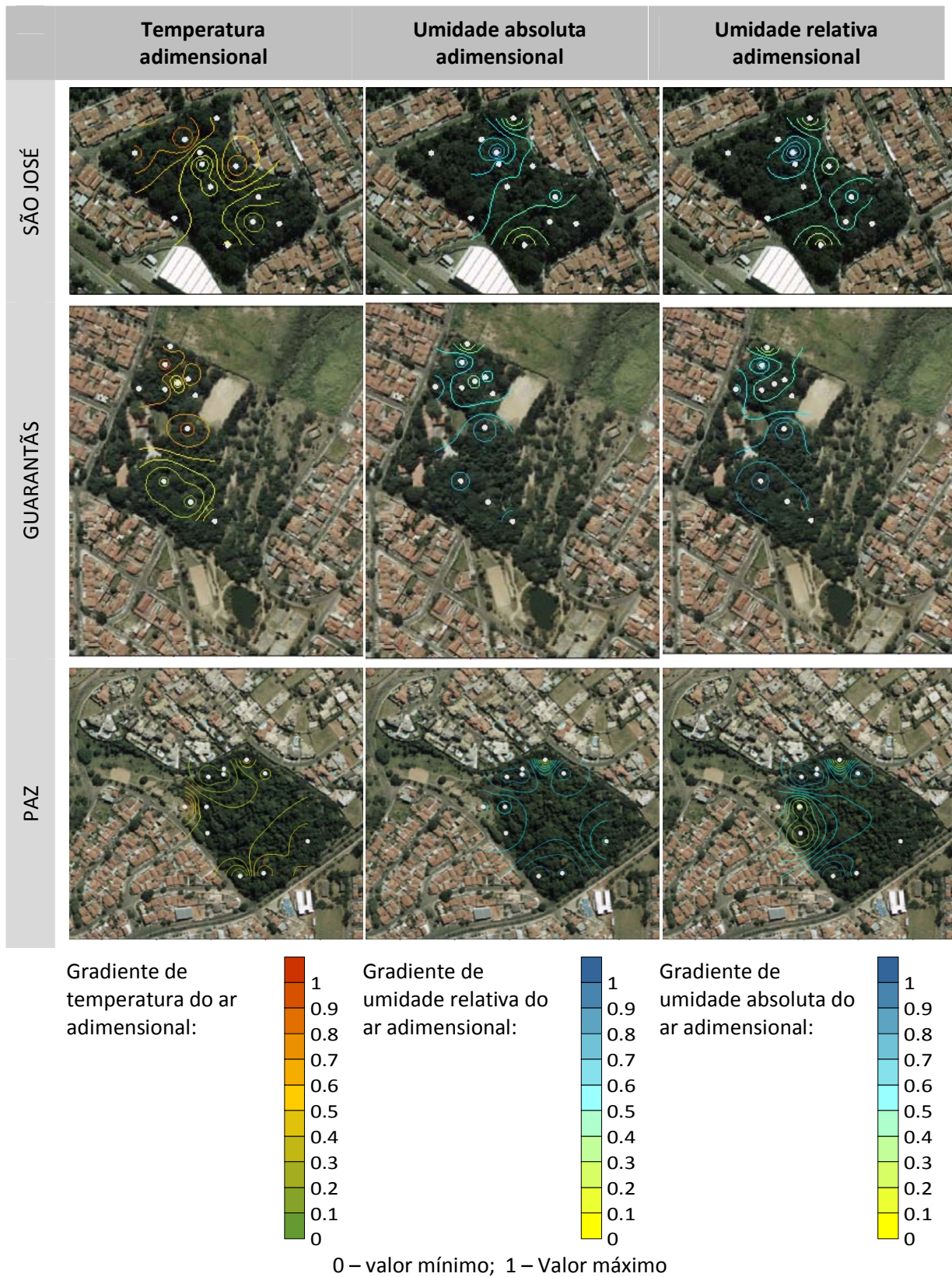


Figura 4.13– Gradiente de temperatura e umidade do ar no interior de fragmentos florestais urbanos. Valores adimensionais, em uma escala de zero a um, baseados em dados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade absoluta do ar (g/m^3) e umidade relativa do ar (%), monitorados na altura de 1,5m, às 14:00h.



A maior diferença térmica (3,4 °C) entre os pontos situados no interior dos fragmentos foi observada em PAZ. Esta diferença deve-se às características do ponto de maior aquecimento, situado fora da área arborizada, e do ponto mais arrefecido, situado no interior da floresta, próximo ao lago. Já em MSG constatou-se uma diferença térmica máxima entre os pontos de 2 °C, confirmando a influência da área urbana no microclima da mata. Nas demais áreas, a diferença térmica entre os pontos variou entre 1 e 1,4 °C.

A umidade absoluta do ar teve maior variação em MSG, com diferença máxima entre os pontos de 2,7 g/m³. As menores diferenças foram encontradas em ALE e S.JOSÉ, com diferença máxima entre os pontos de 1,9 g/m³.

4.3.4 Abertura do dossel florestal

Baixos percentuais de abertura do dossel florestal indicam a presença de copas entrelaçadas, troncos espessos, a presença de plantas, arbóreas, arbustivas e trepadeiras, na camada superior à altura de 1,5 m. Ao contrário, elevados percentuais de abertura do dossel florestal indicam que há um espaçamento maior entre os indivíduos arbóreos e o estrato intermediário pouco expressivo. Exemplos de fotografias do dossel florestal das áreas de estudo, são apresentados na Figura 4.14.

A Figura 4.15 apresenta as medidas de abertura do dossel florestal para os seis fragmentos florestais urbanos estudados. Verificou-se que a abertura do dossel (média dos pontos) das áreas de estudo variou entre 10,9% e 16,0%. A média geral dos pontos foi de 13,0% (desvio padrão 2,9). A menor abertura do dossel florestal ocorreu em S.JOSÉ (média de 10,9%), inclusive ao comparar o valor máximo (13,3%) e mínimo (7%) com as demais localidades. A maior abertura do dossel ocorreu em ITA (média de 16%), com uma variação entre os pontos de abertura máxima (21,1%) e mínima (13,0%) de 8,1%, a maior encontrada entre as áreas de estudo.



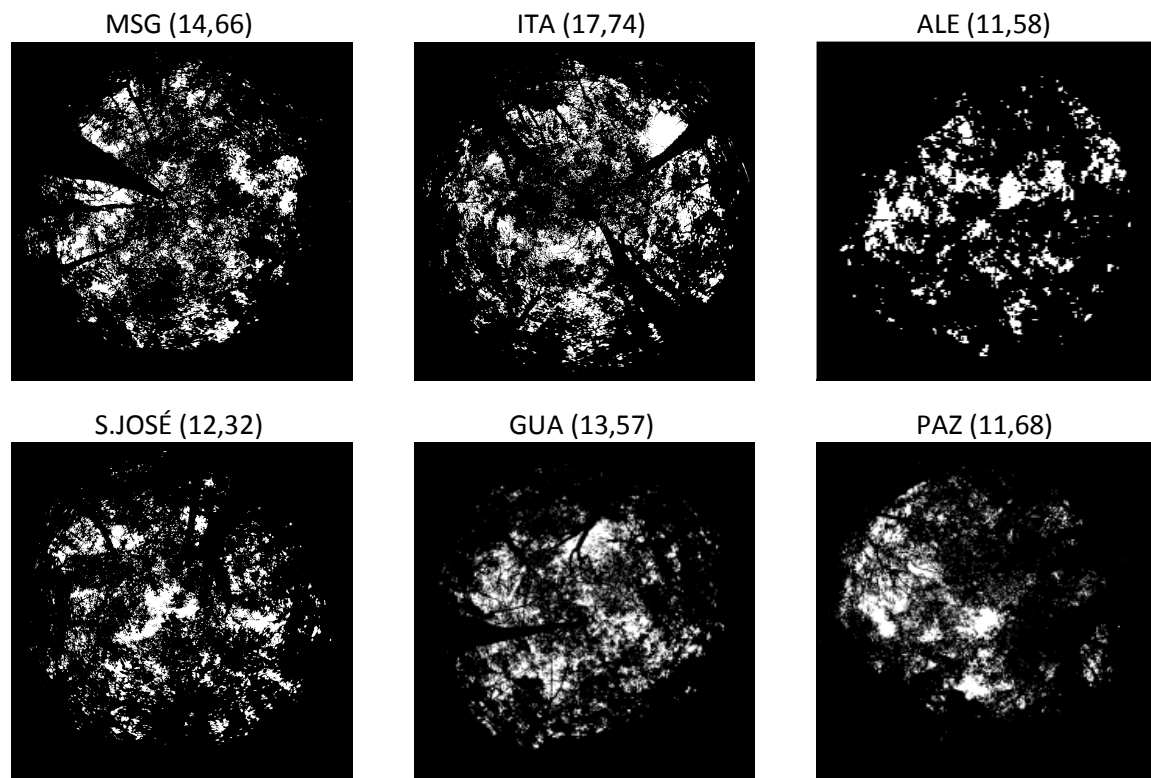


Figura 4.14 - Fotografias hemisféricas do dossel de fragmentos florestais urbanos, tiradas na altura de 1,5m, e medidas de abertura (%) correspondentes.

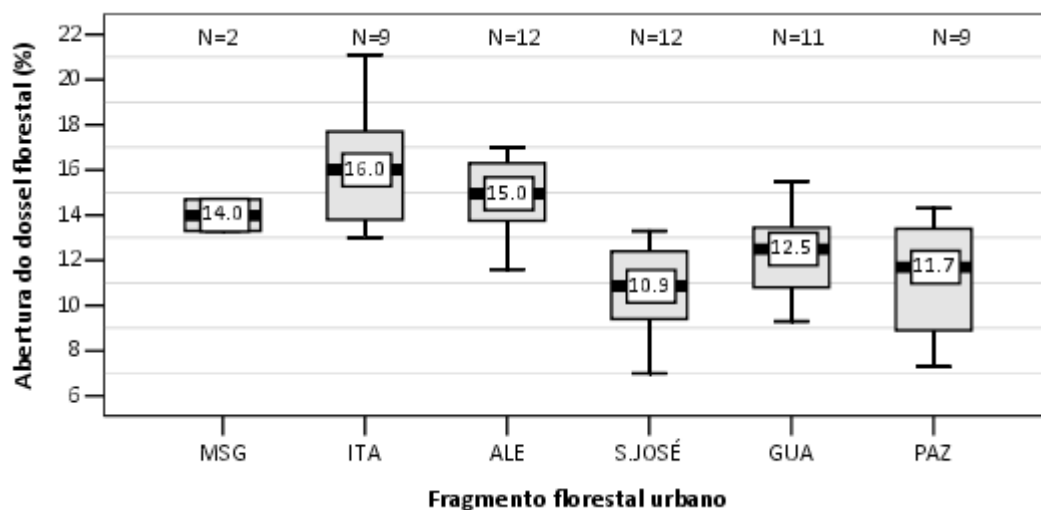


Figura 4.15 – Abertura do dossel florestal (%) em fragmentos florestais urbanos na cidade de Campinas-SP. Percentuais obtidos a partir de fotografias hemisféricas, tiradas a 1,5 m de altura, em Jul. 2009. Cálculos feitos no software GLA v.2, utilizando-se a projeção polar. 1.MSG – Mata de Santa Genebra; 2.ITA - Bosque dos Italianos; 3.ALE – Bosque dos Alemães; 4. S.JOSÉ – Bosque São José; 5.GUA – Bosque dos Guarantãs; 6.PAZ – Bosque da Paz. N = números de pontos amostrais em cada área de estudo.

Apesar de se esperar menor abertura do dossel para os pontos localizados no centro dos fragmentos florestais urbanos, não houve correlação entre as medidas de abertura e a distância do ponto à fronteira. No entanto, observou-se uma tendência na diminuição da abertura do dossel com o aumento da distância da borda, bem como com o aumento da área do fragmento (nesta análise desconsiderou-se a área MSG, visto que sua dimensão é muito superior a dos outros locais).

O estado estimado de conservação dos fragmentos também não mostrou correlação com a abertura do dossel florestal, ou seja, nem sempre as florestas mais conservadas apresentam dossel mais fechado. Presume-se que isto se deve à presença de plantas arbustivas e trepadeiras em pontos localizados na borda dos fragmentos, indicando degradação e ao mesmo tempo obstruindo a visão do céu.

Recomenda-se que as medidas de abertura do dossel florestal, calculadas a partir de fotografias hemisféricas, sejam acompanhadas da caracterização da vegetação em diferentes trechos das áreas de estudo, para que possam ser devidamente associadas ao estado de conservação das florestas urbanas.

4.4 Estabelecimento de parâmetros relacionados ao microclima de fragmentos florestais urbanos

Três medidas que caracterizam as áreas de estudo (abertura do dossel florestal, área do fragmento e distância de um ponto à fronteira urbana) foram correlacionadas a parâmetros microclimáticos, obtidos às 14h, como apresentado a seguir.

Abertura do dossel florestal

Não houve correlação entre as variáveis climáticas monitoradas às 14h, na altura de 1,5 m, e a abertura do dossel florestal. As regressões lineares resultaram nos seguintes coeficientes de correlação: $r^2 = 0,0004$ para a temperatura do ar, $r^2 = 0,0055$ para a umidade relativa do ar e de $r^2 = 0,0054$ para a umidade absoluta do ar, $r^2 = 0,1054$ para ΔT_{f-r} , $r^2 = 0,1598$ para ΔUR_{f-r} , $r^2 = 0,1855$ para ΔUA_{f-r} .



Contudo, nota-se que com o aumento da abertura do dossel houve uma diminuição das diferenças entre o microclima das florestas e da área rural - ΔT_{f-r} , ΔUR_{f-r} e ΔUA_{f-r} . Isso significa que os pontos com baixa abertura do dossel florestal apresentaram tanto a umidade do ar como temperatura do ar superiores ao ambiente rural. No entanto, ocorreu uma variação nas diferenças térmicas e de umidade de um ponto em relação ao ambiente rural, dependendo das condições de tempo. Um número maior de repetições nos monitoramentos, em dias típicos das estações do ano, poderia demonstrar maior correlação entre a abertura do dossel e as variáveis microclimáticas.

Apesar disso, algumas particularidades merecem ser destacadas. Em MSG, apesar dos dois pontos monitorados terem aberturas do dossel semelhantes (13,26% e 14,66%), houve entre eles uma grande variação térmica e de umidade relativa. Isso mostra a influência térmica urbana no microclima do fragmento florestal. O ponto com menor abertura do dossel estava menos exposto às influências do microclima urbano e apresentou temperatura média do ar, às 14h, 3,3 °C mais baixa que o ponto que se encontra próximo da fronteira.

Em ITA, como era o esperado, a temperatura do ar esteve mais elevada e a umidade relativa mais baixa, condizendo com a abertura média do dossel florestal, superior ao das outras áreas de estudo. Assim, a diminuição da interceptação da radiação solar pela folhagem da vegetação deve ter ocasionado o aquecimento do solo e da camada de ar do sub-bosque. Além disso, como a dimensão de ITA é menor, o local está mais suscetível à influência das áreas construídas. Apesar da baixa abertura do dossel florestal em S.JOSÉ, o local apresentou temperatura média elevada, comparado aos demais locais, indicando a manutenção do calor em pontos com dossel fechado e sob influência do ambiente construído.

Distância de um ponto à fronteira urbana

Considerando os resultados das diferenças térmicas entre pontos distribuídos no interior dos fragmentos florestais urbanos, medidos às 14h na altura de 1,5 m, verificou-se um aumento da umidade do ar (tanto absoluta quanto relativa) e diminuição da temperatura do ar em pontos localizados no centro das áreas de estudo. Contudo, observou-se que outros



fatores influenciam no gradiente higrotérmico das áreas, tais como a proximidade de elementos que são fontes de aquecimento ou resfriamento do ar (ex. gramado $\times$ água).

Desta maneira, os pontos localizados nos fragmentos florestais urbanos de menor dimensão (entre 1,4 e 4 ha) mostraram-se mais suscetíveis às influências de tais elementos, que influenciam no microclima do sub-bosque pontualmente. Mas, o único caso que fornece subsídios para o estabelecimento da relação entre a distância da borda e a alteração do microclima é o da Mata de Santa Genebra, ao longo da Trilha Baroni.

Analisando o gradiente térmico e de umidade ao longo desta trilha, apresentado na Figura 4.16, constatou-se uma diminuição na temperatura do ar entre 50-70%, um aumento de 50% na umidade absoluta do ar e de 40% na umidade relativa do ar, em uma distância de 284,5 m.



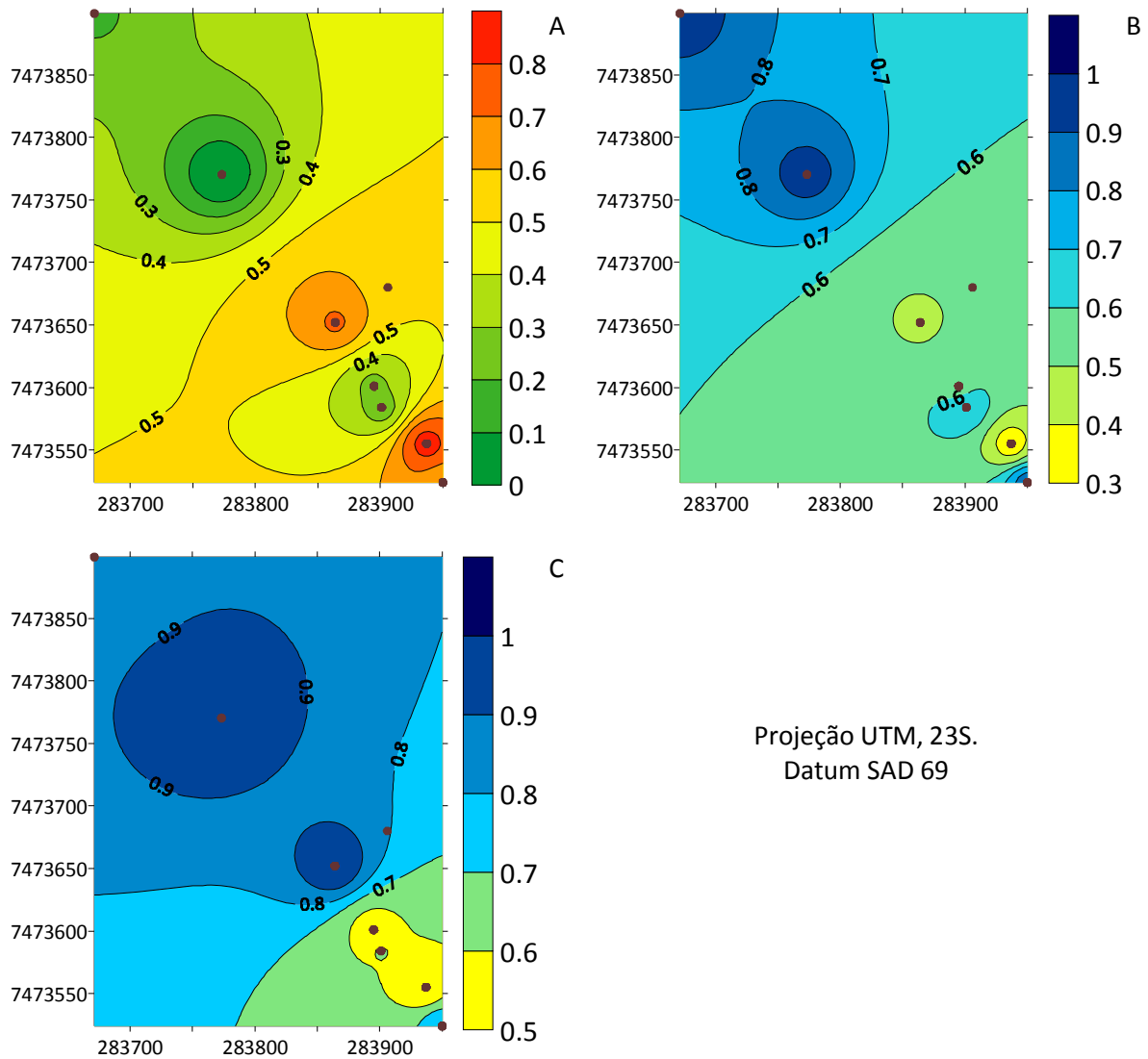


Figura 4.16– Gradiente térmico e de umidade do ar ao longo de uma trilha na Mata de Santa Genebra – Campinas, SP. Ponto inicial, no canto inferior direito, a 12,5m da fronteira urbana; ponto final, no canto superior esquerdo, a 297m da fronteira urbana. Dados adimensionais baseados em: (a) Temperatura do ar (b) Umidade absoluta do ar (c) Umidade relativa do ar, medidos às 14h na altura de 1,5m.

A média da diferença térmica entre os pontos iniciais e finais da trilha esteve entre 1 e 1,4 °C, mais elevada nos pontos junto à fronteira urbana, e diferença na umidade absoluta do ar a foi de 1,35 g/m³, mais baixa nos pontos próximos da fronteira urbana.

Área do fragmento

Verificou-se uma estreita correlação entre o aumento da amplitude térmica diária (ΔT) e a área dos fragmentos ($r^2 = 0,83$). O aumento da área dos fragmentos florestais urbanos indicou diminuição da temperatura do ar (média máxima e média mínima), baixa amplitude da umidade relativa do ar e o aumento na umidade relativa mínima.

O ambiente urbano altera o microclima dos fragmentos florestais de pequena dimensão, aquecendo-os durante o dia, e, conseqüentemente, diminuindo a umidade relativa do ar. Por outro lado, as áreas verdes mais extensas conseguem manter o teor de umidade do ar, o que contribui para o resfriamento do ar no período noturno, ocasionando em maiores amplitudes térmicas. No entanto, atenta-se para a influência da presença da água na diminuição da T_{ar} e elevação de UR , como ocorre nos casos de GUA e PAZ, que coincidentemente possuem maior área que ITA, ALE e S. JOSÉ.

Em suma, observou-se que para pequenas florestas urbanas, com área entre 1,4 e 4 ha, a temperatura média mínima do ar diminuiu cerca de $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ com o aumento de 1 ha, e a umidade relativa do ar aumentou em média 2,12 % para cada 1 ha.

4.5 Síntese dos resultados

Seis fragmentos florestais urbanos situados em Campinas, com áreas entre 1,5 ha e 250,26 ha, em diferentes estados de conservação, apresentaram abertura do dossel variando entre 10,9% e 16,0% (fotografias obtidas a 1,5 m de altura).

Às 6:00h a temperatura do ar no interior das florestas urbanas esteve, em média, $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ mais elevada do que no ambiente rural. Neste horário, não ocorreram diferenças de umidade relativa do ar entre estes ambientes. Às 14:00h a temperatura do ar no interior das florestas urbanas apresentou-se em média $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ mais baixa que na zona rural, e a umidade relativa 17,6% mais elevada, o que corresponde a $2,3\text{ g/m}^3$ de umidade absoluta do ar.

Os fragmentos florestais urbanos apresentaram baixa amplitude térmica e de umidade, mostrando estabilidade microclimática. A taxa de aquecimento e de resfriamento no interior das florestas foi inferior ao ambiente rural, verificando-se um ganho de $0,8\text{ }^{\circ}\text{C/h}$, entre 6:00h e 14:00h, e uma perda de $0,2\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ entre 22:00h e 6:00h.



Constatou-se um gradiente térmico e de umidade do ar no perfil vertical e horizontal. Os dados microclimáticos na altura de 10 m apresentaram-se mais estáveis que os medidos a 1,5 m, diferenciando-se pouco entre os locais avaliados. Na altura abaixo das copas, a temperatura do ar esteve mais baixa e a umidade mais elevada que a 1,5 m. A menor diferença térmica entre as duas alturas ocorreu às 7:00h (0,6 °C) e a maior diferença térmica às 17:00h (3,7 °C). A menor diferença de umidade relativa do ar entre as duas alturas ocorreu às 8:30h (8%) e a maior diferença às 19:30h (15,4 %). Este resultado foi oposto ao encontrado por Monteiro e Azevedo (2005), em estudo no Parque Previdência, na Zona Oeste de São Paulo, SP e de um fragmento em Calcaia do Alto, SP. Os autores verificaram maior aquecimento nas copas, com uma diferença variando entre 1 °C (fragmento em área rural) e 3 °C (fragmento em área urbana). Já Karlsson (2000) identificou uma pequena diminuição na temperatura do ar na altura de ~5 m, seguida de aumento em alturas mais elevadas, no interior de uma floresta de coníferas de 20 m de altura.

A estratificação da temperatura e umidade do ar nas florestas urbanas foi atribuída à estagnação da camada de ar do sub-bosque, devido à baixa abertura do dossel florestal, bem como a menor velocidade dos ventos próxima ao solo, comparada à velocidade dos ventos acima da altura média dos elementos urbanos. Na altura das copas as trocas térmicas devem ser facilitadas pela incidência dos ventos, que acelera a perda de calor latente. Há também uma diminuição da resistência difusiva da camada de ar aderida às folhas, causada pelo aumento da velocidade dos ventos (KARLSSON, 2000).

Já as diferenças térmicas e de umidade no perfil horizontal foram atribuídas à presença de elementos que podem aquecer ou resfriar o ambiente, de acordo com sua capacidade térmica, bem como a presença de fontes de calor (ex. tráfego de veículos). As fontes de aquecimento identificadas foram gramado, solo agrícola, areia e ruas com tráfego intenso. A água foi identificada como fonte de resfriamento. As máximas diferenças observadas entre os pontos distribuídos no interior dos fragmentos florestais, a 1,5 m, foi de 3,4 °C, para a temperatura do ar, e de 2,7 g/m³, para a umidade absoluta do ar.

Também constatou-se alterações microclimáticas decorrentes do aumento da distância de um ponto à fronteira urbana (caso da Mata de Santa Genebra), mas este



resultado não é conclusivo para áreas pequenas (menores que 4 ha). Na mata, verificou-se um decréscimo médio de 0,5 °C a cada 100 m de distância da fronteira urbana e um aumento de 0,94 g/m³ na umidade absoluta do ar a cada 100 m.

A abertura do dossel florestal, calculada a partir de fotografias a 1,5 m do solo, não mostrou boa correlação com as variáveis microclimáticas. Apesar disso, constataram-se menores temperaturas em locais com baixa abertura do dossel (Bosque São José) e temperaturas mais elevadas em florestas urbanas com dossel mais aberto (Bosque dos Italianos).

Por outro lado, verificou-se uma correlação positiva entre o aumento da amplitude térmica diária e a área dos fragmentos ($r^2 = 0,83$). Este aumento deve-se principalmente às baixas temperaturas do ar no horário antes do nascer do sol (6:00h). Estimou-se um decréscimo na temperatura do ar de 0,25 °C e um aumento 2,12 % na umidade relativa do ar para cada 1 hectare a mais de floresta (valores identificados para fragmentos menores que 4 ha). Assim, apesar da amplitude térmica diminuir em áreas arborizadas em comparação com as áreas abertas, como constatou Ylmaz et al. (2007) e Barbirato et al. (2003), as florestas urbanas tendem a aumentar a amplitude térmica diária em decorrência da diminuição da temperatura mínima.

Com base na caracterização microclimática dos fragmentos florestais urbanos avaliados, presume-se que a magnitude e a extensão do impacto das áreas de grande dimensão sobre o clima urbano deva ser maior do que o impacto causado pelas pequenas áreas verdes. Da mesma maneira que ocorre um gradiente térmico e de umidade no interior dos fragmentos, influenciados pelas características físicas pontuais e do entorno, deve ocorrer um gradiente higrotérmico no entorno edificado, decorrentes do padrão de ocupação urbana.





5 Monitoramentos climáticos em pontos fixos urbanos situados próximos de fragmentos florestais

O processo de urbanização, caracterizado pela substituição de áreas permeáveis e vegetadas por áreas impermeáveis e construídas, altera as propriedades meteorológicas da camada de ar próxima da superfície terrestre, configurando o clima urbano (MONTEIRO; MENDONÇA, 2009). Comparativamente ao ambiente rural, nas cidades há uma diminuição da água disponível para a evaporação, predominando o fluxo de calor sensível ao latente (MARIN et al., 2008). A gama de materiais construtivos e a extensa área superficial da volumetria edificada acarretam um balanço de radiação complexo, caracterizado por múltiplas reflexões de ondas curtas e a interação entre a emissão e a reflexão de ondas longas (OFFERLE et al., 2006). A utilização de materiais construtivos com alta capacidade térmica e a incidência da radiação solar durante um longo período do dia sobre estas superfícies ocasionam a elevação da temperatura do ar (LOMBARDO, 1997; TAHA, 1997). Esta é intensificada pela produção de calor antropogênico e presença de partículas de poluentes suspensas na atmosfera urbana. Assim, observa-se a formação de ilhas de calor, cuja magnitude varia com o padrão de ocupação urbana (GIVONI, 1998; MONTEIRO; MENDONÇA, 2009).

A identificação de elementos e de desenhos urbanos favoráveis à mitigação das ilhas de calor e ao conforto térmico urbano é tema de grande importância para o desenvolvimento sustentável. Os efeitos térmicos sobre os ecossistemas naturais podem degradá-los, necessitando-se de ações urgentes para o seu controle (HAMADA; OHTA, 2010).

Destacam-se alguns valores de referência em relação à intensidade das ilhas de calor noturnas em cidades brasileiras: em Campina Grande-PB, foi observada uma diferença térmica entre a área urbana e rural (ΔT_{u-r}) de cerca de 0,5 °C às 22:00h (SILVA et al., 2010); em Montes Claros-MG a ΔT_{u-r} máxima observada foi de 3 - 4 °C, às 22:00h, nos meses de julho e setembro (GOMES; LAMBERTS, 2009); em Cuiabá-MT a ΔT_{u-r} foi de 2,5 °C, na estação chuvosa, e de 5 °C, na estação seca (MAITELLI, 1994 referenciado por



PAGLIARINI, 2008); medições posteriores evidenciaram uma ΔT_{u-r} em Cuiabá de mais de 6 °C na estação seca e 7 °C na estação chuvosa (DUARTE, 2000); monitoramentos em diferentes pontos na área urbana de em Campinas-SP, entre julho e agosto de 2004, mostraram uma ΔT_{u-r} máxima de 4 °C às 22:00h (PEZZUTO, 2007).

Nota-se, contudo, que a intensidade das ilhas de calor varia entre os sítios urbanos. Neste sentido, diversas pesquisas verificaram estreita correlação entre as diferenças térmicas intra-urbanas com o padrão de uso e ocupação do solo, a distribuição e porcentagem de cobertura vegetal e a propriedade térmica dos materiais construtivos (HIEN; YU, 2005; HAMADA; OHTA, 2010; GOMES; LAMBERTS, 2009; SAARONI et al., 2000; JUSUF et al., 2007; FARIA; MENDES, 2004). Observa-se que a escassez de áreas livres, de vegetação e de água, ao lado de grandes áreas pavimentadas e adensadas, são fatores que provocam o aquecimento do ambiente urbano e o desconforto térmico por calor (DUARTE, 2000; KRÜGER; GIVONI, 2007). Ao contrário, identifica-se uma correlação entre o aumento do percentual de áreas verdes e a diminuição da temperatura do ar (HAMADA; OHTA, 2010).

O resfriamento das circunvizinhanças de áreas vegetadas é causado pelas trocas térmicas advectivas (HAMADA; OHTA, 2010 citando NARITA et al., 2007), que ocorrem no plano vertical entre ambientes com microclimas dependentes. As trocas térmicas advectivas dependem da altura dos volumes considerados - quando altos o suficiente o fluxo de calor advectivo torna-se igual ao fluxo trocado verticalmente entre o solo e o ar (GEIGER, 1966). Assim, em áreas verdes com arborização de grande porte prevê-se um elevado fluxo térmico entre o volume edificado e o vegetado. A elevação da umidade do ar também contribui para o aumento da perda de calor latente nos arredores das áreas verdes e a atuação dos ventos predominantes pode direcionar o efeito de resfriamento.

No entanto, o microclima das áreas verdes depende de sua estrutura e composição florística. A estratificação florestal e o aumento da área foliar intensificam a capacidade de interceptação da radiação solar e de evapotranspiração (TAHA, 1997), elevando o potencial de resfriamento do ar. Assim, as áreas verdes com vegetação densa e estratificada, tais como as áreas de preservação permanentes (APP) e testemunhos de vegetação nativa,



mostram-se importantes não só para a manutenção da flora e fauna, como para a melhoria das condições térmicas no ambiente urbano.

Este capítulo tem a finalidade de caracterizar o topoclima, o microclima e mensurar a intensidade das ilhas de calor em cinco sítios urbanos, situados próximos de fragmentos florestais na cidade de Campinas-SP, buscando compreender os efeitos da vegetação no clima urbano.

5.1 Materiais e Métodos

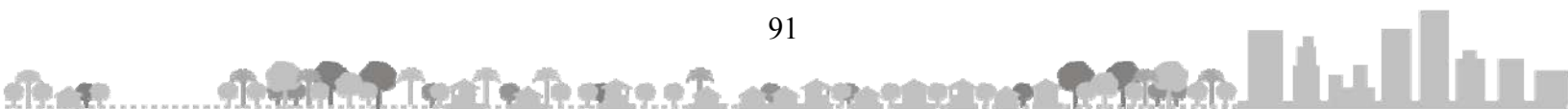
5.1.1 Monitoramentos climáticos em área urbana

A unidade climática representativa de um padrão urbano é denominada de clima local ou topoclima, enquanto o microclima reflete características pontuais do espaço (OKE, 2006a; MONTEIRO; MENDONÇA, 2009). Dessa maneira, o topoclima, que representa uma combinação de efeitos microclimáticos, deve ser observado na altura aproximada de 1,5 vezes a altura média das construções (Z_h) (OKE, 2006a). É também recomendado que os pontos representativos de um padrão urbano estejam distantes de elementos que possam causar anomalias (OKE, 2006a), a não ser que a intenção seja verificar estas interferências, como é o caso da presente pesquisa, que visa observar a influência das áreas verdes na temperatura local.

Diante disso, foram selecionados cinco pontos para o monitoramento de temperatura e umidade do ar, localizados próximos de fragmentos florestais urbanos. Visto que a altura média das edificações nestes bairros é de 7 m (1 a 2 pavimentos mais a altura da cobertura), calculou-se que 10 m seria uma altura suficiente para representar o topoclima. Concomitantemente, foram realizados monitoramentos microclimáticos na altura de 1,5 m.

Uma visita aos bairros, nas imediações dos fragmentos florestais urbanos, possibilitou identificar locais disponíveis para a instalação dos instrumentos de medição. Os registradores foram fixados em torres de televisão ou escada de caixa d'água, como mostra a Figura 5.1.

Os registros foram feitos automaticamente, em intervalos de 15 minutos, durante nove dias consecutivos, entre 26/08/2009 e 03/09/2009. Os instrumentos utilizados foram:



- Na altura de 10 m: Registrador de temperatura e umidade ambientes e saída para temperatura externa, da marca e modelo Testo 175-H2, com precisão para o canal interno: umidade relativa do ar $\pm 2\%$, e registros entre 0% e +100%; temperatura do ar $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, e registros entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Na altura de 1,5 m: Registrador de temperatura ambiente, Testo 177-T2, com precisão para o canal interno de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, e registros entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Protetor de registrador, contra a radiação e chuva, permitindo a ventilação natural;
- GPS Garmin 60CX, para o registro das coordenadas dos pontos de monitoramentos.

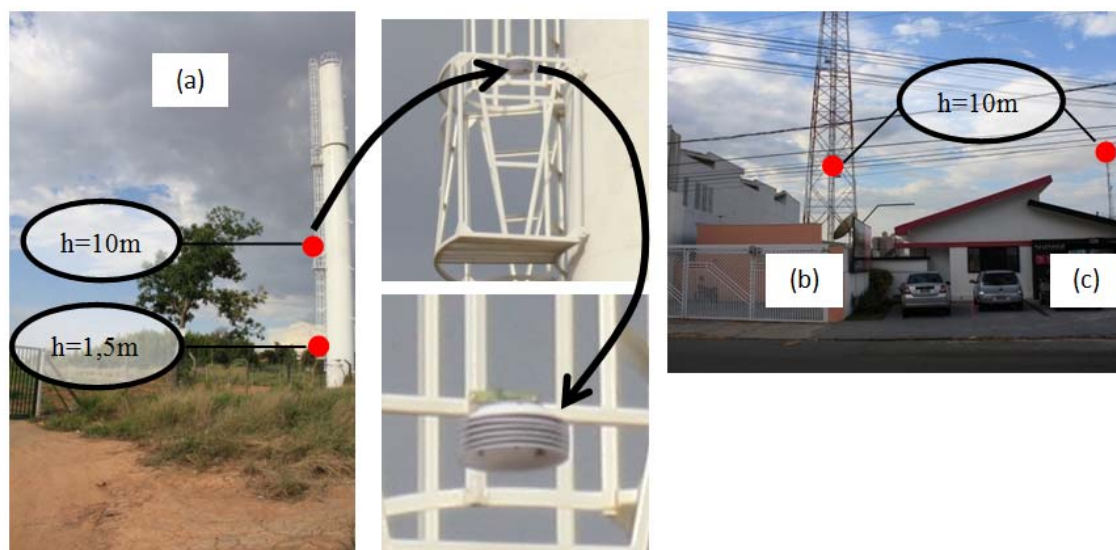


Figura 5.1– Fixação dos registradores de temperatura e umidade do ar em: (a) escada de caixa d'água, mostrando detalhe da fixação do protetor do *data-logger* (b) antena de televisão profissional (c) antenas residenciais. (●) Círculo vermelho ilustra o posicionamento dos instrumentos de medição.

5.1.2 Caracterização dos sítios de monitoramento

Os usos do solo nos sítios urbanos foram classificados com base em fotografia aérea fornecida pela SEPLAMA (ano de 2005) e com base na imagem do Google Earth (ano de 2009), verificando-se algumas alterações na paisagem neste período. Utilizou-se como critério a distinção entre áreas edificadas e áreas não edificadas ou com baixa taxa de ocupação. A classificação das zonas climáticas das *quadras edificadas* foi adaptada às

classes de rugosidades efetivas do terreno (altura, H , e distancia D , entre os elementos construídos e arborização) e o percentual de impermeabilização do solo propostos por Davenport et al. (2000) e Oke (2006a), como mostrado no Capítulo 2.

Quadras edificadas – morfologia:

- a. Edificações mistas (lotes com gabaritos diversos, que geralmente ocorrem em zonas urbanas com transição de usos)
- b. Edifícios baixos (de 3 a 4 pavimentos)
- c. Edifícios altos (5 ou mais pavimentos)
- d. Casas térreas ou sobrados
- e. Institucional - Edifícios isolados com predomínio de jardins no terreno, em geral de uso
- f. Galpões industriais ou de serviços
- g. Edifícios baixos e com grande percentual de pavimentação do lote, tal como shoppings centers.

Quadras não edificadas ou com baixa taxa de ocupação - morfologia:

- h. Rurbano (tal como chácaras, sítios, fazendas)
- i. Bosques e matas (fragmentos florestais urbanos)
- j. Sistemas de lazer (tal como praças, parques, jardins públicos)
- k. Gramado, pasto e terra exposta (inclui áreas de sistema viário, tal como rotatórias)
- l. Silvicultura
- m. Água (lagos, córregos, represamentos, etc.)

A classificação foi checada *in loco*, visualizando-se os padrões da paisagem durante a realização dos trabalhos de campo.

Estes critérios utilizados na classificação do uso do solo urbano permitem diferenciar os padrões que compõem as zonas climáticas urbanas e seus níveis de atuação no clima local urbano. Após a classificação, calculou-se os percentuais de usos do solo, em um raio de 500 metros ao redor dos pontos fixos de monitoramento climático, utilizando-se o *software* ArcMap. Este raio compreende uma área de 785.000 m² e corresponde a



“pequenas *fácies de bairro*”, segundo a taxonomia climática proposta por Monteiro e Mendonça (2009). Nesta abrangência, o espaço climático, segundo estes autores, é o topoclima e, conforme as recomendações de Oke (2006a), os dados climáticos representativos deste espaço urbano devem ser monitorados acima da camada média de rugosidade.

5.1.3 Forma de análise dos resultados

As análises dos resultados foram feitas comparando-se as médias das variáveis climáticas obtidas nos sítios com os dados da estação meteorológica do CEPAGRI, que representa a zona rural. Para tanto, foram calculadas as diferenças de temperatura e umidade do ar intra-urbanas, em três horários do dia – às 6h, horário em próximo da temperatura mínima diária; às 14h, horário em próximo da temperatura máxima diária; e às 22h, horário em que é possível identificar a ocorrência de ilhas de calor noturnas.

Compararam-se as diferenças térmicas obtidas nas alturas de 10 m e 1,5 m.

Os percentuais de usos do solo foram correlacionados às estatísticas da temperatura do ar local, estimando-se a influência dos elementos urbanos no clima local.

5.2 Resultados e discussão

5.2.1 Apresentação dos sítios de monitoramento

Os cinco sítios de monitoramento climático constam na Tabela 5.1 e a sua localização no Município de Campinas é mostrada na Figura 5.2. Apesar dos bairros terem uso predominantemente residencial de baixo gabarito, o grau de desenvolvimento urbano os diferencia, de modo que alguns estão em zonas urbanas já consolidadas e outros em zonas de expansão, confrontando com a zona rural, como se observa na Figura 5.3. O primeiro caso refere-se ao sítio 2 - Jardim Guanabara, sítio 3 - Jardim Proença e sítio 4 – Jardim Nova Europa. O segundo caso, ao sítio 1 - Bosque de Barão, localizado no Distrito de Barão Geraldo, e ao sítio 5 - Jardim Madalena, próximo ao *Galeria Shopping*, na Rodovia Dom Pedro I, ambos fronteiros à zona rural.



Devido à proximidade entre o Bosque dos Italianos e o Bosque dos Alemães, estabeleceu-se somente um ponto de monitoramento nestas imediações, denominado de sítio 2.

Tabela 5.1– Sítios de monitoramento climático e fragmentos florestais urbanos presentes nas imediações, localizados na cidade de Campinas, SP.

SÍTIO NÚMERO	BAIRRO	FRAGMENTO FLORESTAL
1	Bosque de Barão	Mata de Santa Genebra
2	Jardim Guanabara	Bosque dos Italianos
2	Jardim Guanabara	Bosque dos Alemães
3	Jardim Proença	Bosque São José
4	Jardim Nova Europa	Parque dos Garantãs
5	Jardim Madalena	Bosque da Paz

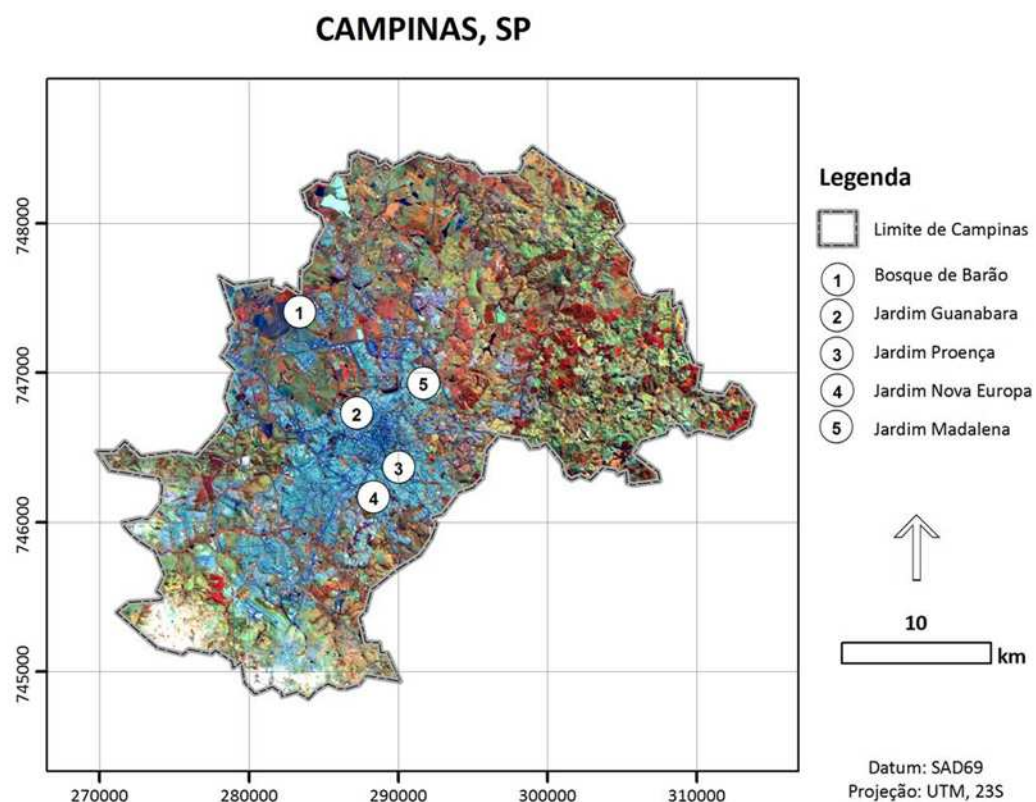


Figura 5.2– Localização dos sítios de monitoramento no Município de Campinas. Imagem do Satélite LANDSAT 5, de 05 Ago. 2009.

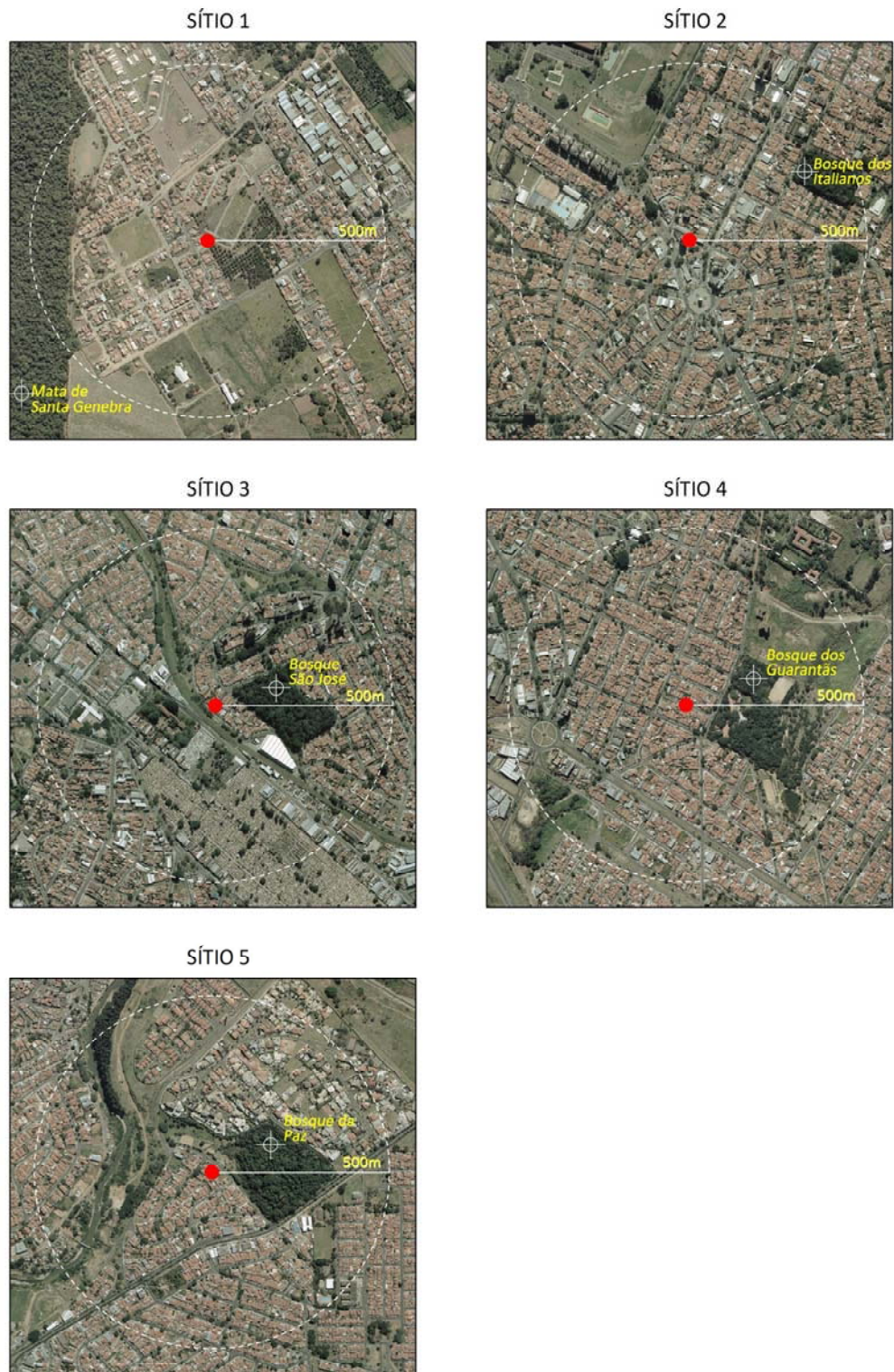


Figura 5.3— Fotografias aéreas dos sítios urbanos de monitoramento climático em Campinas, SP. Ano de 2005. Destaque para uma faixa de 500 m (círculo branco tracejado) a partir da estação fixa de monitoramento climático (● ponto vermelho).

Sítio 1 - Bosque de Barão

O sítio 1 localiza-se entre a Estrada de Paulínia e a Mata de Santa Genebra, abrangendo dois bairros – o Bosque de Barão (fronteiriço à mata) e o Real Parque (fronteiriço à rodovia). A região é caracterizada pela fragmentação, não havendo uma clara transição entre a indústria, a habitação e a área de preservação.

Em uma faixa de 30 m no entorno da Reserva Florestal Mata de Santa Genebra não pode haver nenhuma construção e em uma faixa de 2 km não podem ocorrer novos empreendimentos além dos existentes⁹. Os parâmetros construtivos estabelecidos para esta faixa visam minimizar os impactos negativos da urbanização sobre a floresta.

O ponto fixo de monitoramento foi localizado em uma caixa d'água no interior de um condomínio em construção, há 450 m da fronteira com a Mata de Santa Genebra. No local haviam poucas edificações, dispersas em um terreno com vegetação rala e ruas internas em terra.

O resultado da classificação dos usos do solo presentes no sítio 1 consta na Figura 5.4 e os percentuais de usos na Tabela 5.2. Verificou-se a ocorrência de vários padrões residenciais, tais como casas voltadas a classe média em condomínios fechados ou vilas, casas populares e casas isoladas em chácaras. Predominam, entretanto, casas térreas e sobrados em lotes com área entre 200 e 300 m² (17,7%) e entre 300 e 400m² (14,7%).

⁹ Segundo notícia publicada pelo JusBrasil Notícias (2010) “Em 1/6/2010, atendendo parcialmente o pedido de reconsideração de liminar apresentado pelo Município de Campinas e anuído pelo autor MPF, o Juízo Federal reduziu para o raio de 2 km da Mata Santa Genebra a proibição anteriormente fixada nos autos, em 4/11/2009, para a expedição de licenciamentos ambientais para novos empreendimentos e de licença de instalação, de operação e renovação de licenças já expedidas, bem como dos respectivos alvarás de construção em relação a essas situações.”



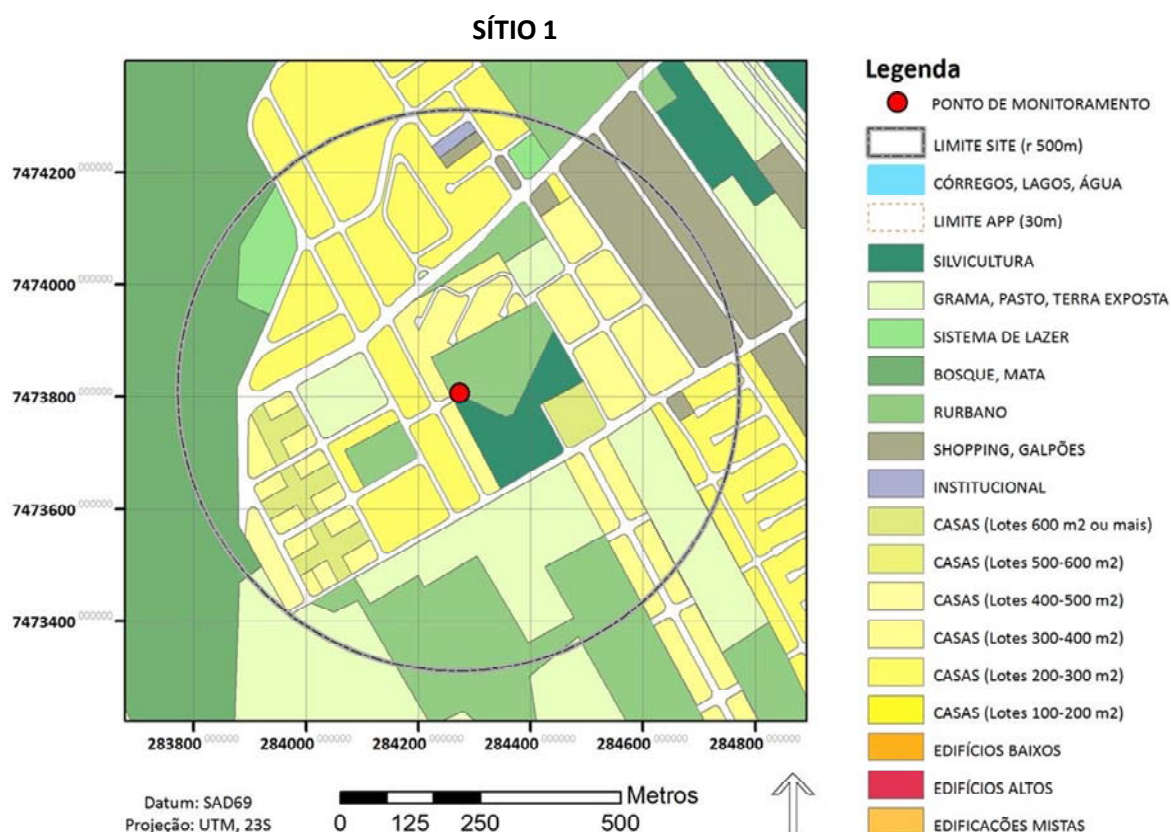


Figura 5.4– Usos do solo no Sítio 1.

Tabela 5.2 – Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 1, em um raio de 500 m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.

USOS	PERCENTUAL	USOS	PERCENTUAL
Córregos, Lagos, Água	0	Shopping, Galpões	4,97
Silvicultura	3,09	Institucional	0,24
Gramma, Pasto, Terra exposta	14,96	Casas (lotes diversos)	37,95
Sistema de Lazer	2,38	Edifícios Baixos	-
Bosque, Mata	9,59	Edifícios Altos	-
Rurbano	13,89	Edificações Mistas	-
		Sistema viário	12,93

Sítio 2 – Jardim Guanabara

O sítio 2 faz parte do centro expandido de Campinas e pertence à Área de Urbanização Prioritária, definida no plano diretor do município (CAMPINAS, 2006). Esta região abrange os bairros Jardim Guanabara, Castelo e Jardim Chapadão.

Constitui uma região de alto desenvolvimento e, apesar de ainda prevalecerem as edificações de baixo gabarito e de uso residencial, há a ocorrência isolada de edifícios altos e baixos, em corredores comerciais e de serviços.

O ponto fixo de monitoramento do sítio 2, distante 320 m do Bosque dos Italianos, foi localizado no quintal de uma casa térrea, onde funcionava a empresa de transmissão de televisão. Neste quintal, totalmente pavimentado, havia uma torre, implantada sobre a laje de uma pequena edificação, de um pavimento, na qual foi fixada a instrumentação. Para o monitoramento do microclima instalou-se um tripé neste mesmo quintal. No terreno vizinho havia um edifício de três pavimentos, porém o instrumento posicionado a 10 m do solo ficou um pouco mais elevado que a sua laje. Este ponto de monitoramento situou-se próximo de um importante entroncamento viário, a rotatória denominada Praça da Torre do Castelo, que pode ser observada na Figura 5.5. Este local se conecta com o Centro, observando-se um fluxo viário intenso ao longo do dia.

A classificação dos usos do solo no raio de 500 m ao redor do ponto fixo de monitoramento do sítio 2 consta na Figura 4.7 e os percentuais dos usos na Tabela 5.3. Verificou-se o predomínio de casas em lotes com área entre 300 e 400 m² (25,2%), seguido por lotes entre 400 e 500 m² e entre 500 e 600 m² (cerca de 15,5% cada).

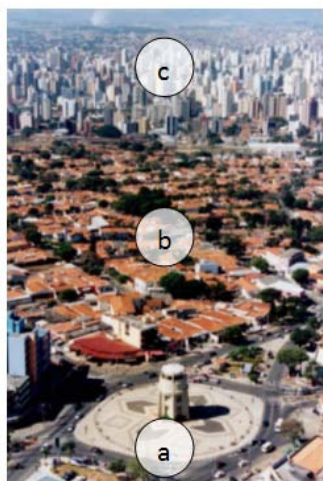


Figura 5.5 – Vista aérea do Sítio 2. a) Praça da Torre do Castelo; b) Bosque dos Italianos; c) Centro. Fonte: Campinas (2006, p.205).

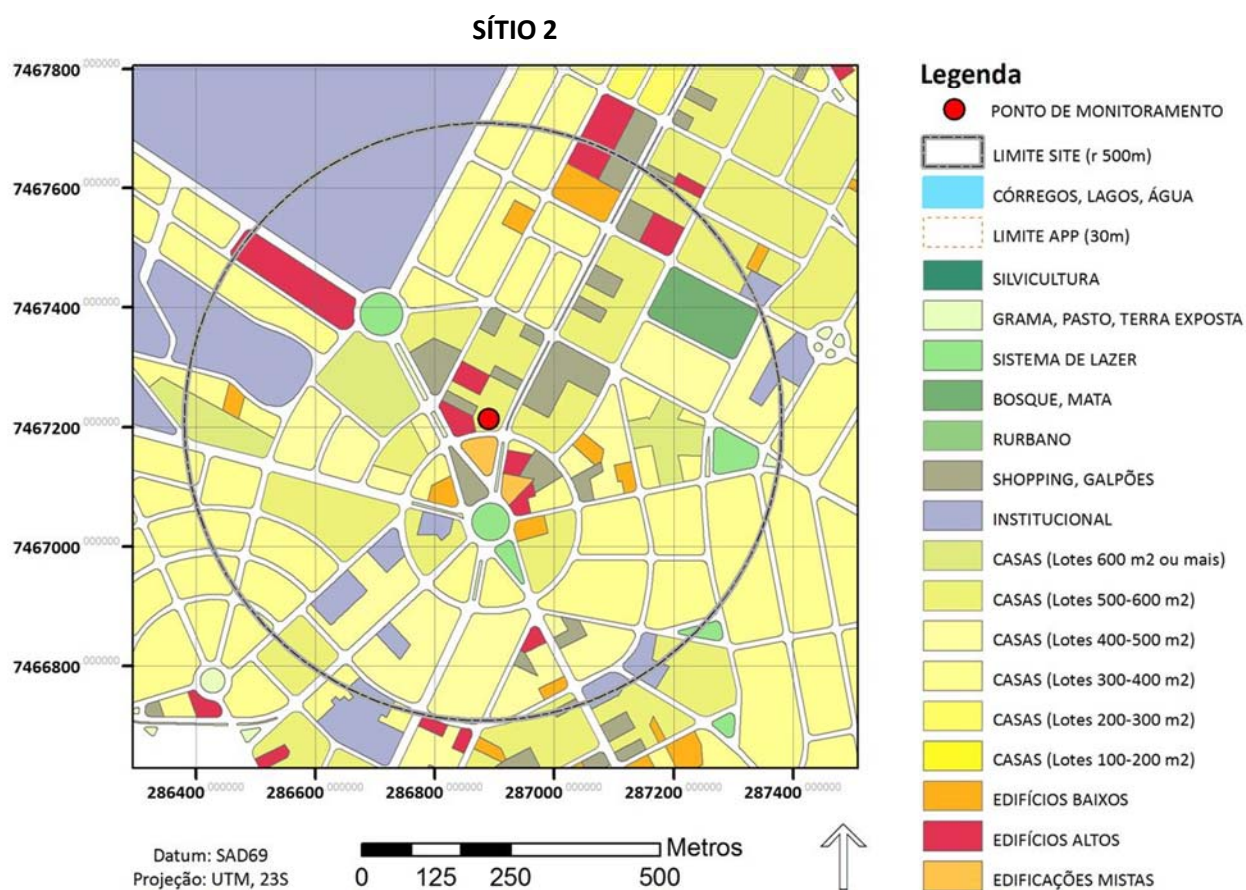


Figura 5.6 – Usos do solo do Sítio 2.

Tabela 5.3– Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 2, em um raio de 500m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.

USOS	PERCENTUAL	USOS	PERCENTUAL
Córregos, Lagos, Água	-	Shopping, Galpões	4,93
Silvicultura	-	Institucional	8,44
Gramma, Pasto, Terra exposta	0,39	Casas (lotes diversos)	61,39
Sistema de Lazer	1,84	Edifícios Baixos	1,49
Bosque, Mata	0,80	Edifícios Altos	2,33
Rurbano	-	Edificações Mistas	0,55
		Sistema viário	17,84

Sítio 3 – Jardim Proença

O sítio 3 também pertence à Área de Urbanização Prioritária, definida no plano diretor do município (CAMPINAS, 2006), e caracteriza-se pelo alto desenvolvimento. Os bairros nesta zona da cidade – Jardim Proença, Jardim Novo São José e Vila Marieta - estão consolidados, predominando o uso residencial de baixo gabarito, com a ocorrência de corredores comerciais e de serviços.

Na Av. Princesa D'Oeste, que corta a cidade no sentido norte-sul, predominam os edifícios altos. Já na Rua da Abolição e na Avenida da Saudade predominam os galpões comerciais e de serviços, além de uma extensa área pertencente ao Cemitério da Saudade.

O ponto de monitoramento do sítio 3, distante 60 m do Bosque São José, foi localizado no cruzamento destes dois eixos, caracterizando-se pelo uso misto do solo urbano. Os instrumentos de medição foram instalados em uma antena de televisão fixada no quintal de uma casa térrea, com piso totalmente pavimentado.

A classificação dos usos do solo no raio de 500 m ao redor do ponto fixo de monitoramento consta na Figura 5.7 e os percentuais dos usos na Tabela 5.4. Verificou-se o predomínio de casas, em lotes com área entre 200 e 300 m² (33,78%). Houve um alto percentual de área pavimentada (18,68%), comparativamente aos demais locais, em consequência das quadras pequenas e da presença de avenidas com canteiro central. A área do cemitério foi classificada como institucional, devido à ocorrência de edificações esparsas em área ajardinada.



SÍTIO 3

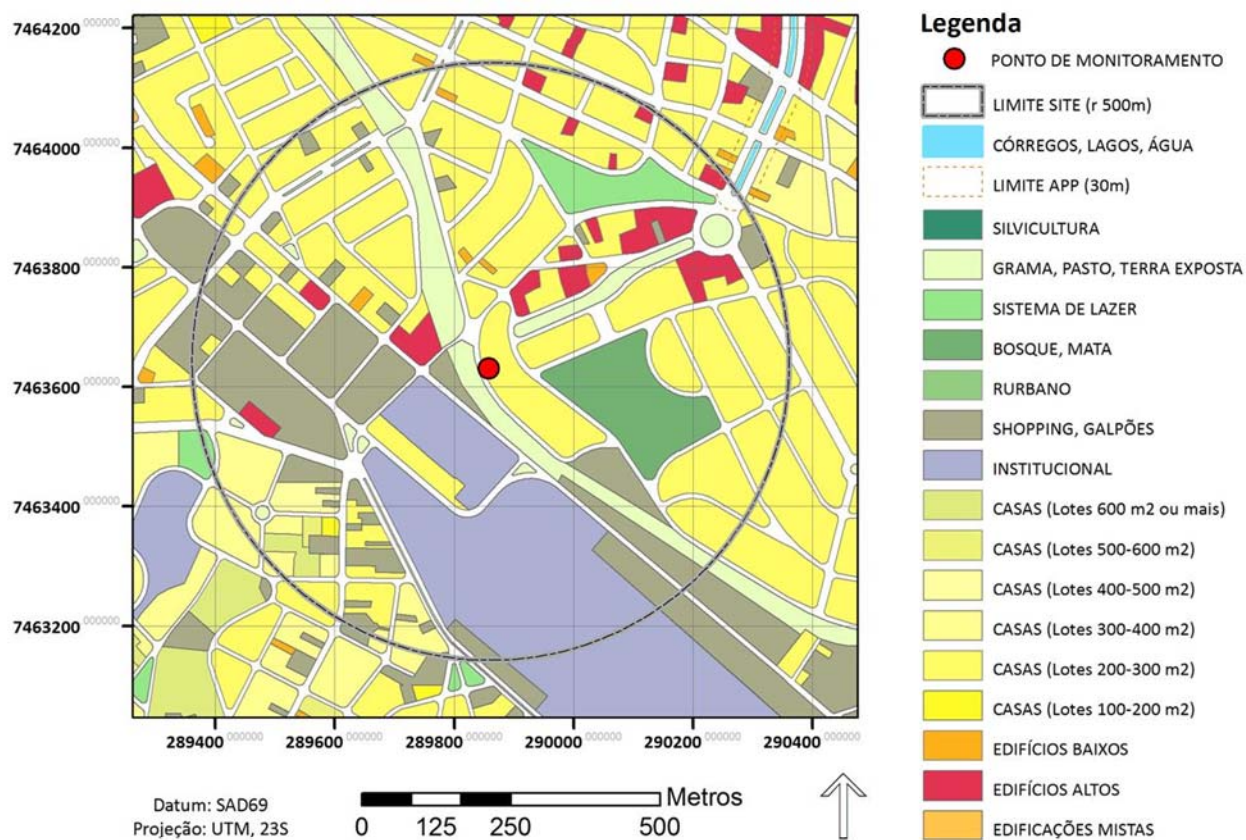


Figura 5.7– Usos do solo do Sítio 3.

Tabela 5.4– Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 3, em um raio de 500m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.

USOS	PERCENTUAL	USOS	PERCENTUAL
Córregos, Lagos, Água	-	Shopping, Galpões	14,24
Silvicultura	-	Institucional	11,95
Gramas, Pasto, Terra exposta	6,15	Casas (lotes diversos)	38,21
Sistema de Lazer	2,58	Edifícios Baixos	0,53
Bosque, Mata	4,24	Edifícios Altos	3,42
Rurbano	-	Edificações Mistas	-
		Sistema viário	18,68

Sítio 4 – Jardim Nova Europa

O sítio 4 localiza-se ao Norte da Rodovia Anhanguera e à Leste da Avenida Prestes Maia, dois eixos de desenvolvimento industrial e de comércio de porte regional da cidade de Campinas.

O Jardim Nova Europa caracteriza-se por um loteamento habitacional popular, já consolidado. Os vazios urbanos existentes ao longo da Avenida Washington Luiz, na porção norte do bairro, vêm sendo ocupados atualmente por condomínios residenciais, verticais e horizontais, sendo o *Shopping Prado* uma âncora de desenvolvimento urbano. Este é o caso do vazio urbano, limítrofe ao Parque dos Guarantãs, que está sendo ocupado por um condomínio de edifícios baixos.

O ponto de monitoramento no sítio 4, distante 150 m do Bosque dos Guarantãs, foi localizado em uma antena de televisão no quintal de uma casa térrea, com piso totalmente pavimentado.

A classificação dos usos do solo no raio de 500 m ao redor do ponto fixo de monitoramento do sítio 4 consta na Figura 5.8 e os percentuais dos usos na Tabela 5.5. No bairro, predominam as habitações de baixo gabarito, predominando lotes entre 300 e 400 m² (38,6%). Nas avenidas há a ocorrência de galpões, com usos mistos – comércio local, oficinas e comércios relacionados a veículos, transportadoras, dentre outras atividades.



SÍTIO 4

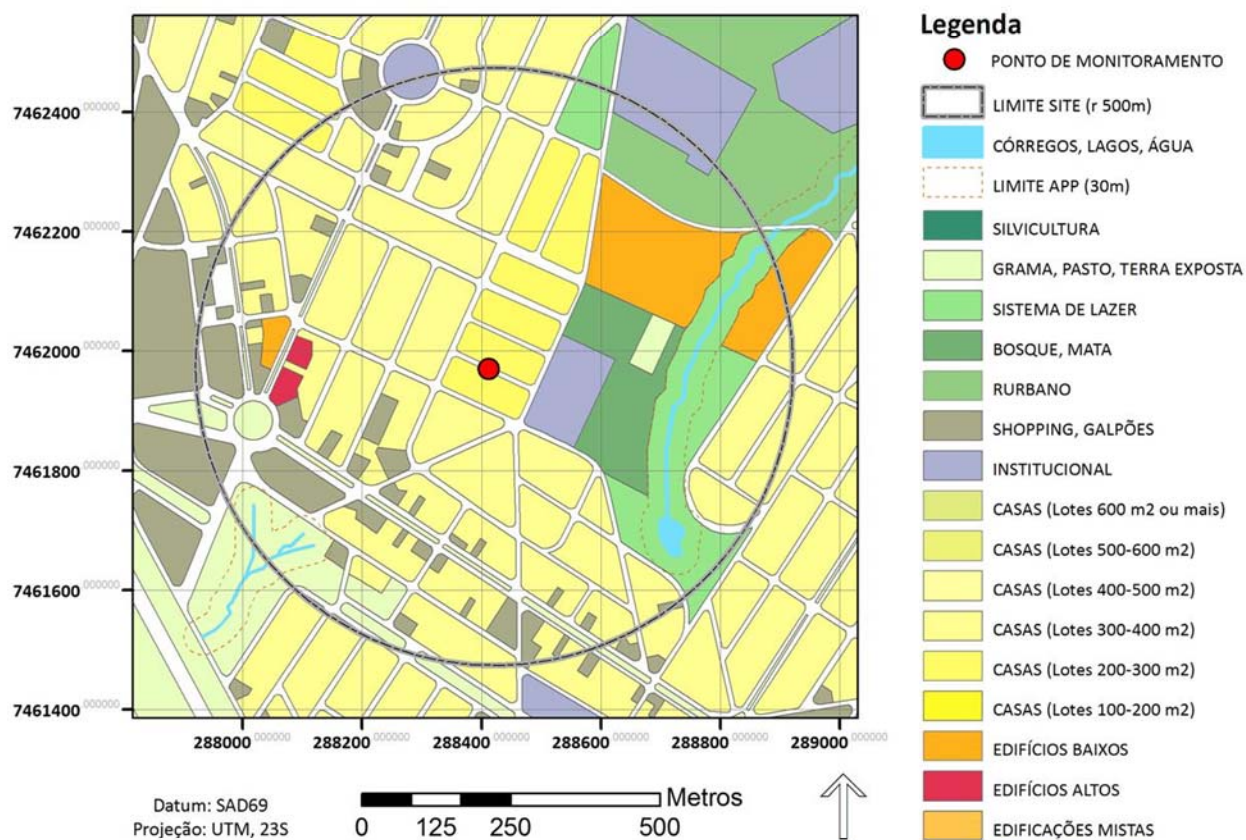


Figura 5.8 – Usos do solo do Sítio 4.

Tabela 5.5 – Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 4, em um raio de 500m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.

USOS	PERCENTUAL	USOS	PERCENTUAL
Córregos, Lagos, Água	0,46	Shopping, Galpões	6,81
Silvicultura	-	Institucional	2,96
Gramma, Pasto, Terra exposta	5,27	Casas (lotes diversos)	45,41
Sistema de Lazer	8,05	Edifícios Baixos	6,17
Bosque, Mata	4,20	Edifícios Altos	0,49
Rurbano	2,92	Edificações Mistas	-
Total de área verde em APP	6,18	Sistema viário	17,26

Sítio 5 – Jardim Madalena

O sítio 5 localiza-se na franja urbana, próximo ao *Galleria Shopping*, na Rodovia Dom Pedro I. A ocupação urbana nesta região é predominantemente residencial e de baixo gabarito, dividindo-se em loteamentos habitacionais populares, já consolidados, e condomínios horizontais de alto e médio padrão, que vêm sendo construídos ao longo da rodovia. Este é o caso do condomínio Residencial Vila Verde, que faz divisa com o Bosque da Paz.

A Avenida Carlos Grimaldi, que conecta a Rodovia Dom Pedro I ao Centro de Campinas, é um corredor comercial, onde ocorrem alguns galpões.

O sítio 5 situa-se em um terreno declivoso, voltado para o Ribeirão das Anhumas, tributário do Rio Atibaia. O ribeirão, nesta região, possui trechos ocupados por habitações irregulares- favelas. Este curso d'água está altamente impactado pela urbanização e 40% das suas margens, que deveriam ser áreas de preservação permanentes, estão impermeabilizadas (COSTA et al., 2005). No interior do Bosque da Paz há uma linha de drenagem natural, com um pequeno represamento do curso d'água, que verte para o Ribeirão das Anhumas.

O ponto de monitoramento climático foi situado a 85 m do Bosque da Paz, no quintal pavimentado de uma residência de dois pavimentos.

A classificação dos usos do solo no raio de 500 m ao redor do ponto fixo de monitoramento do sítio 5 consta na Figura 5.9 e os percentuais dos usos na Tabela 5.6.

Devido aos dois padrões residenciais predominantes, o popular e o de luxo, as casas dividem-se em lotes com área entre 200 e 300 m² (20,54%) e em lotes com área maior que 600 m² (18,45%). Destaca-se no sítio a presença de água (1,86%) e de áreas rurbanas (10,6%), ao longo das margens do córrego, onde ocorrem agrupamentos de árvores, arbustos, gramíneas, terra exposta e edificações ocasionais.



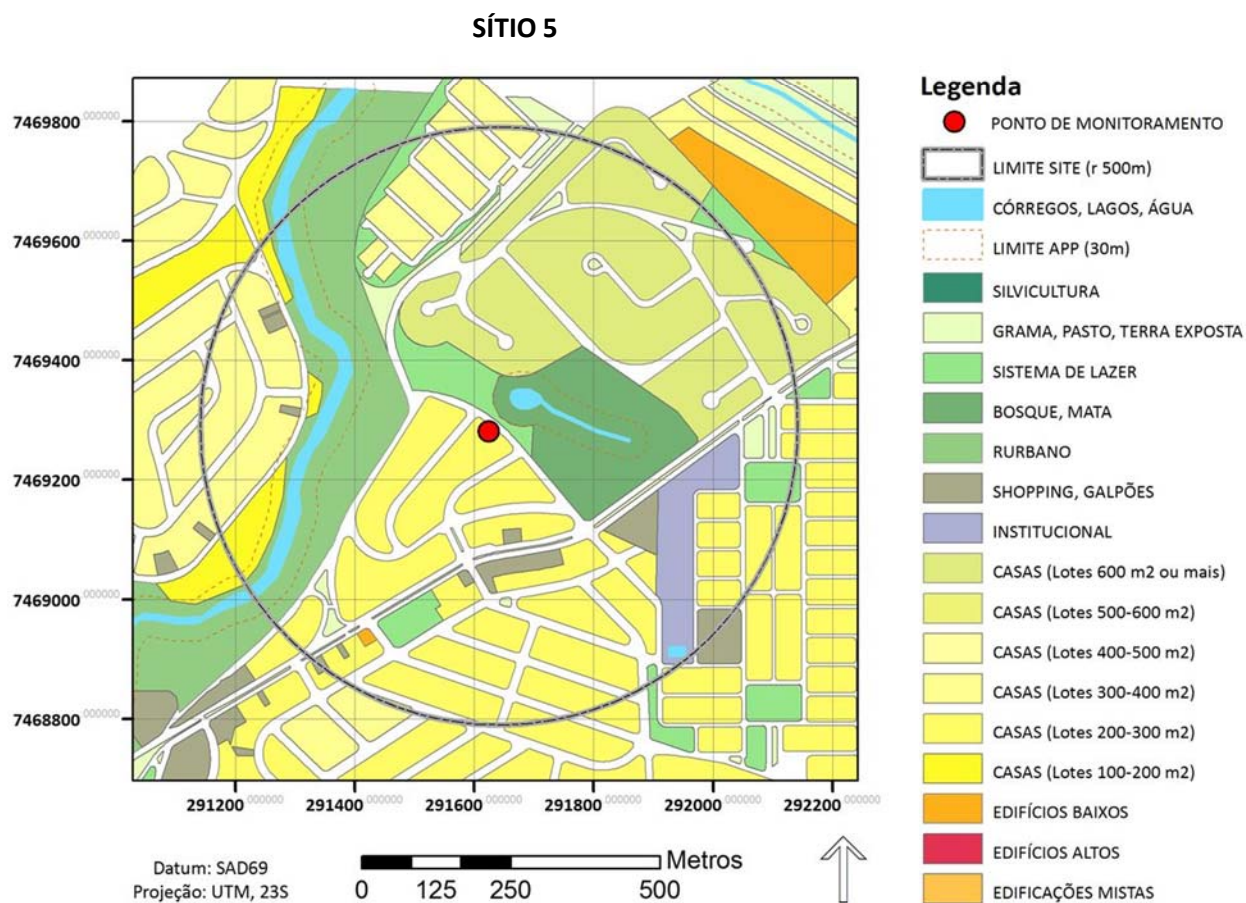


Figura 5.9 – Usos do solo do Sítio 5.

Tabela 5.6 – Percentuais de usos do solo urbano no Sítio 5, em um raio de 500m ao redor do ponto fixo de monitoramento climático.

USOS	PERCENTUAL	USOS	PERCENTUAL
Córregos, Lagos, Água	1,86	Shopping, Galpões	1,90
Silvicultura	-	Institucional	2,96
Gramma, Pasto, Terra exposta	2,39	Casas (lotes diversos)	49,24
Sistema de Lazer	4,34	Edifícios Baixos	0,07
Bosque, Mata	6,70	Edifícios Altos	-
Rurbano	10,60	Edificações Mistas	-
Total de área verde em APP	6,27	Sistema viário	19,95

Comparando-se os percentuais de usos do solo entre os sítios de monitoramento, através da Figura 5.10, observa-se maior presença de áreas verdes, agrícolas e de lazer no sítio 1. No sítio 2 predominam as quadras edificadas, verificando-se um percentual muito baixo de áreas livres, o que pode causar o sobreaquecimento do local. O sítio 5 também apresentou elevado percentual de lotes com casas, porém possui mais áreas verdes e de água, o que pode favorecer o arrefecimento.

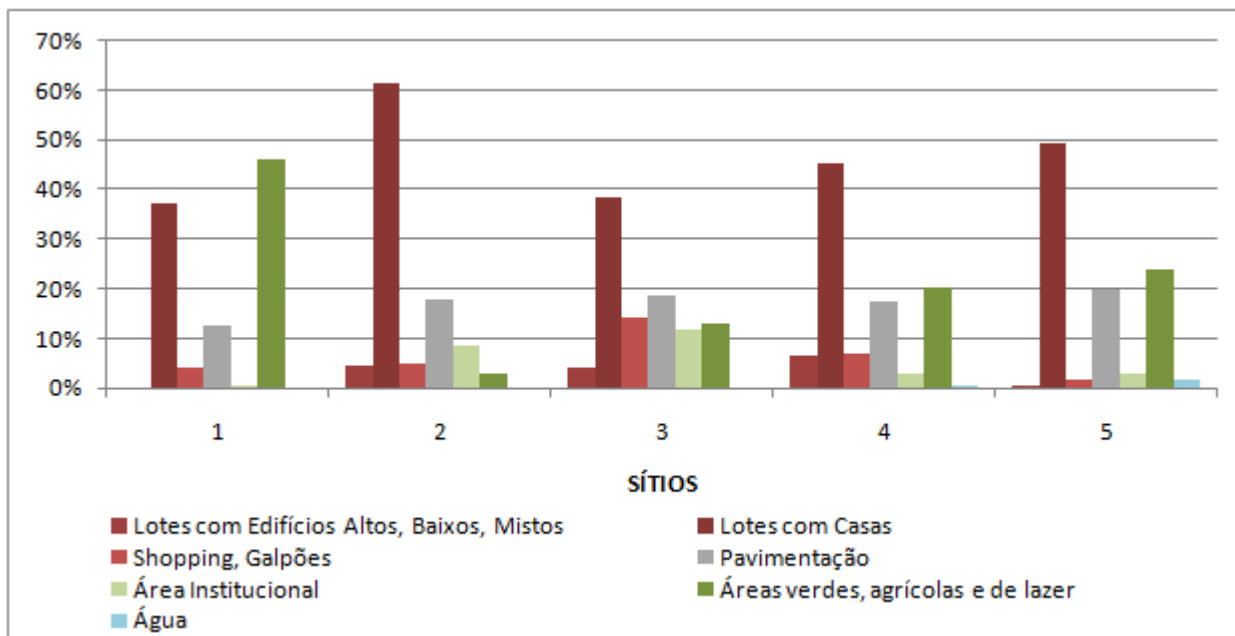


Figura 5.10 – Percentuais de usos do solo nos sítios urbanos.

A somatória de lotes edificadas (em tons de vermelho na Figura 5.10) em oposição às áreas livres (vegetação e água, mostrados em tons de verde e azul, na Figura 5.10) aumenta na seguinte ordem: sítios 1, 5, 3, 4 e 2. O aumento de lotes edificadas pode acarretar o aquecimento dos sítios, desfavorecendo o conforto térmico, como identificou Duarte (2000). Ressalta-se que os sítios 1 e 5 situam-se próximos da zona rural, sendo provável que o comportamento térmico ao longo do dia se distinga dos sítios 3, 4 e 2, localizados em zonas urbanas consolidadas.

5.2.2 Microclima e topoclima em sítios urbanos sob a influência de fragmentos florestais – monitoramentos em pontos fixos em duas alturas (1,5 m e 10 m)

Magnitude das Ilhas de Calor

Os monitoramentos de temperatura e umidade do ar foram realizados entre agosto e setembro de 2009, em dias de céu claro, com ausência de pluviosidade e brisa leve, predominando a direção dos ventos SE. As tardes foram quentes e secas, com temperatura média máxima do ar de 29,7 °C e média da umidade relativa do ar de 29,7%. As manhãs apresentaram-se amenas e úmidas, com temperatura média mínima de 14 °C e umidade relativa do ar de 76,2%, um pouco elevada em decorrência de chuvas em dias anteriores ao início dos monitoramentos.

A comparação do comportamento térmico entre os sítios urbanos e a estação de referência, na zona rural, possibilitou identificar a ocorrência de ilhas de calor, caracterizada pelo sobreaquecimento da área urbana no período noturno. A diferença térmica entre a zona urbana e a zona rural (ΔT_{u-r}) foi em média de 1,5 °C, como mostram as Figuras 5.11 e 5.12. Entre os horários de 0:00h e 2:00h observaram-se diferenças térmicas mais significativas, com médias urbanas acima do desvio padrão em relação à média da área rural, alcançando 1,4 °C.

No entanto, as maiores diferenças foram observadas nos horários próximos ao nascer e pôr do sol, com ΔT_{u-r} de 2,5 °C, às 7:00h, e de 1,9 °C às 18:30h. Estes picos devem-se às diferentes taxas de aquecimento e de resfriamento entre a área urbana e a rural, bem como a ocorrência de temperatura mínima 1,8 °C mais baixa na área rural. Por outro lado, nos horários de insolação, a área urbana apresentou temperaturas inferiores e menor taxa de aquecimento. Consequentemente, a amplitude térmica diária no ambiente rural foi mais elevada 3,4 °C que na área urbana.

A umidade relativa do ar tende a ser mais baixa no ambiente urbano no período noturno, atingindo uma diferença máxima, de 6,5%, logo após o nascer do sol, às 7:00h. Notou-se, em todos os sítios, uma queda abrupta na umidade absoluta do ar, calculada a partir dos dados de temperatura do ar e de umidade relativa do ar, por volta das 17:00h, constatando-se um limiar na perda de calor por evaporação. A média da umidade absoluta



do ar às 16:00h foi de $9,3 \text{ g/m}^3$, às 17:00h diminuiu 1 g/m^3 , voltando a aumentar às 18:00h. No ambiente rural este decréscimo ocorreu de maneira uniforme e com menor intensidade.

Analisando-se individualmente os sítios, cujos dados são apresentados na Tabela 5.7, constatou-se maior intensidade das ilhas de calor em bairros de maior desenvolvimento urbano (sítios 2, 3 e 4). A ΔT_{u-r} máxima observada nos sítios avaliados, às 22:00h, foi de $1,8 \text{ }^\circ\text{C}$ (medições a 10 m do solo). Neste sentido, Oke (1981) explica que o aumento das obstruções no meio urbano dificulta a irradiação térmica, contribuindo para o aquecimento noturno, explicando, assim, o fenômeno das ilhas de calor, que se intensifica em zonas urbanas com maior densidade de construções.

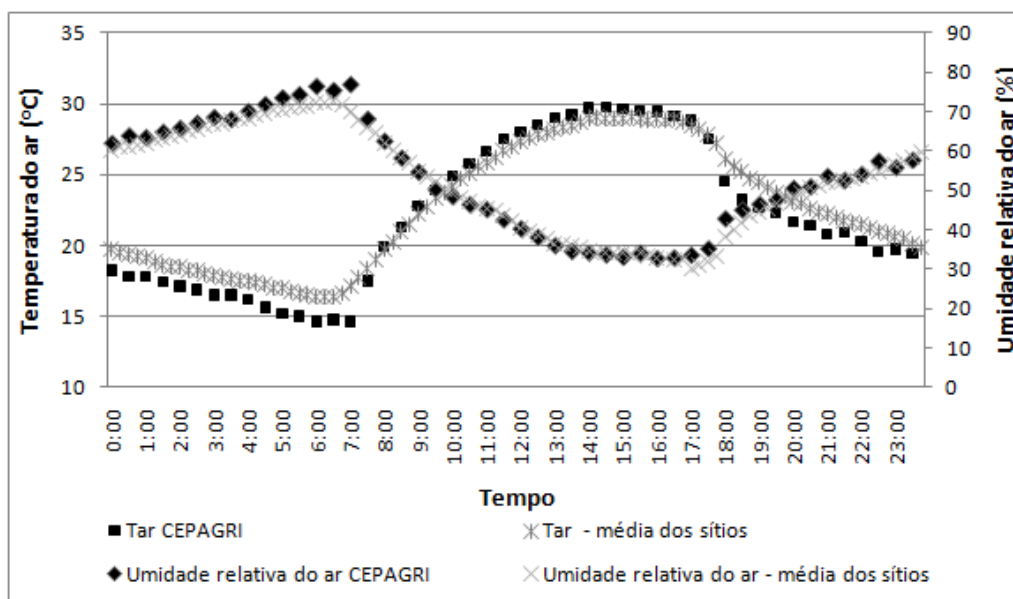


Figura 5.11 – Temperatura do ar e umidade relativa do ar ao longo do tempo na área urbana e na área rural. Dados obtidos na Estação Meteorológica do CEPAGRI, e média dos monitoramentos realizados em cinco pontos na área urbana de Campinas. Dados obtidos entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009, na altura de 10 m.

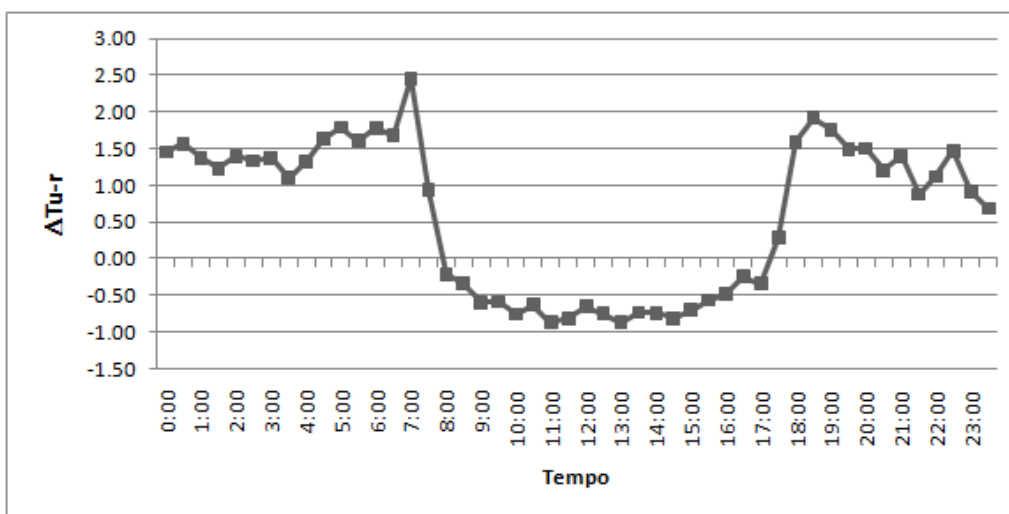


Figura 5.12 – Diferença térmica entre a área urbana e rural (ΔT_{u-r} , em °C) ao longo do tempo. Cálculo a partir da média horária dos dados obtidos na Estação Meteorológica do CEPAGRI (altura de 1,5m), e da média de monitoramentos realizados em cinco pontos na área urbana de Campinas, entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009 (altura de 10m).

Tabela 5.7– Diferença térmica (ΔT_{u-r} , em °C) entre sítios urbanos e a zona rural de Campinas, SP, em três horários do dia: (a) 6:00h; (b) 14:00h; (c) 22:00h. Cálculo a partir da média horária dos dados obtidos na Estação Meteorológica do CEPAGRI, e da média de monitoramentos realizados em cinco pontos na área urbana de Campinas, entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009, na altura de 10 m. Sítio 1- Bosque de Barão; Sítio 2 Jardim Guanabara; Sítio 3- Jardim Proença; Sítio 4-Jardim Nova Europa; Sítio 5-Jardim Madalena.

HORA	SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3	SÍTIO 4	SÍTIO 5
6:00	2,11	1,91	2,06	2,58	0,24
14:00	-0,26	-0,88	-1,29	-1,37	0,09
22:00	1,61	1,82	0,93	1,47	-0,23

Como era esperado, o sítio 5 sofreu influências da zona rural, com pequenas diferenças térmicas em relação à este ambiente nos três horários analisados. No entanto, o mesmo não ocorreu no sítio 1, também fronteiro à zona rural, observando-se um comportamento térmico semelhante às demais áreas, inclusive mais aquecido às 14:00h.

Comparando-se os usos do solo dos sítios 1 e 5, esperava-se que o primeiro tivesse maior semelhança com o ambiente rural do que o segundo, tendo em vista o alto percentual de áreas de chácaras, grama, pasto e terra exposta. Além disso, o sítio 5 apresentou 11,29%

de lotes com casas a mais que o sítio 1. Portanto, três proposições podem explicar os motivos pelos quais o sítio 5 assemelha-se mais com o ambiente rural do que o sítio 1: a incidência dos ventos regionais SE no ponto de monitoramento provenientes da zona rural, o maior percentual de água no sítio 5, e a grande cobertura vegetal próxima ao sítio 1 (Mata de Santa Genebra).

Voltando à Figura 1, e considerando os ventos predominantes SE, verifica-se que a massa de ar que atinge o sítio 5 vem diretamente da zona rural, enquanto no sítio 1 provém da área urbana. Ao mesmo tempo, a presença do Ribeirão das Anhumas no sítio 5 contribui para o seu resfriamento noturno, embora seja insuficiente para arrefecer o ambiente construído no período diurno. Também destaca-se que a massa vegetal da Mata de Santa Genebra (250,36 ha) é muito superior à do Bosque da Paz (4,0 ha), o que pode contribuir para menores amplitudes térmicas no sítio 1. Faria e Mendes (2004) haviam observado menores taxas de aquecimento e de resfriamento do ar em áreas urbanas com cobertura vegetal significativa, corroborando esta afirmativa.

Confrontando os resultados esperados aos obtidos, em relação à intensidade das ilhas de calor nos sítios urbanos, a partir da relação entre o percentual total de quadras edificadas sobre as não edificadas, verifica-se que somente o sítio 1 não correspondeu ao previsto. Assim, pode-se inferir que o volume de vegetação teve grande peso nas trocas térmicas com o meio urbano, diminuindo a amplitude térmica e a taxa de aquecimento do ar.

Estratificação térmica nos sítios urbanos

Foi calculada a média horária da temperatura e da umidade absoluta do ar dos pontos de monitoramento urbanos, nas alturas de 10 m e 1,5 m, como representado nas Figuras 5.13 e 5.14. Nota-se que as curvas de temperatura obtidas a 10 m mostraram-se mais estáveis que a 1,5 m, além de haver maior semelhança entre os sítios urbanos. Ao contrário, os dados obtidos a 1,5 m foram insuficientes para a estabilidade da curva da temperatura do ar, diferenciando-se entre as áreas, em decorrência das características específicas dos ambientes em que os instrumentos foram instalados. Ressalta-se que apesar



dos registradores terem sido protegidos da radiação, eles não foram inseridos em um abrigo meteorológico, o que pode ter comprometido sua estabilidade.

A menor variação dos dados obtidos a 10 m confirma que o ar acima da camada de rugosidade urbana representa os efeitos microclimáticos mistos, e ao contrário, a 1,5 m, a temperatura do ar sofre efeitos do sombreamento e da emissividade dos materiais próximos (pisos e paredes), oscilando ao longo do dia e variando entre os ambientes. No caso do sítio 1, onde os instrumentos foram posicionados em uma área aberta, distante das edificações, a curva na altura de 1,5 m mostrou-se mais estável.

Em geral, observaram-se temperaturas mais elevadas na camada próxima ao solo, com picos acentuados que coincidem com a temperatura máxima do dia. A diferença térmica nas duas alturas (Figura 5.13) é mais significativa entre 9:00h e 16:00h, sendo mais evidente às 12:00h, horário em que a temperatura do ar é 2 °C mais elevada na altura de 1,5 m do que a 10 m. A temperatura máxima a 1,5 m ocorreu às 14:15h (30,4 °C), enquanto a 10 m ocorreu às 15:15 (29,1 °C). A temperatura mínima ocorreu por volta das 6:00h e foi semelhante nas duas alturas (~16,3 °C).

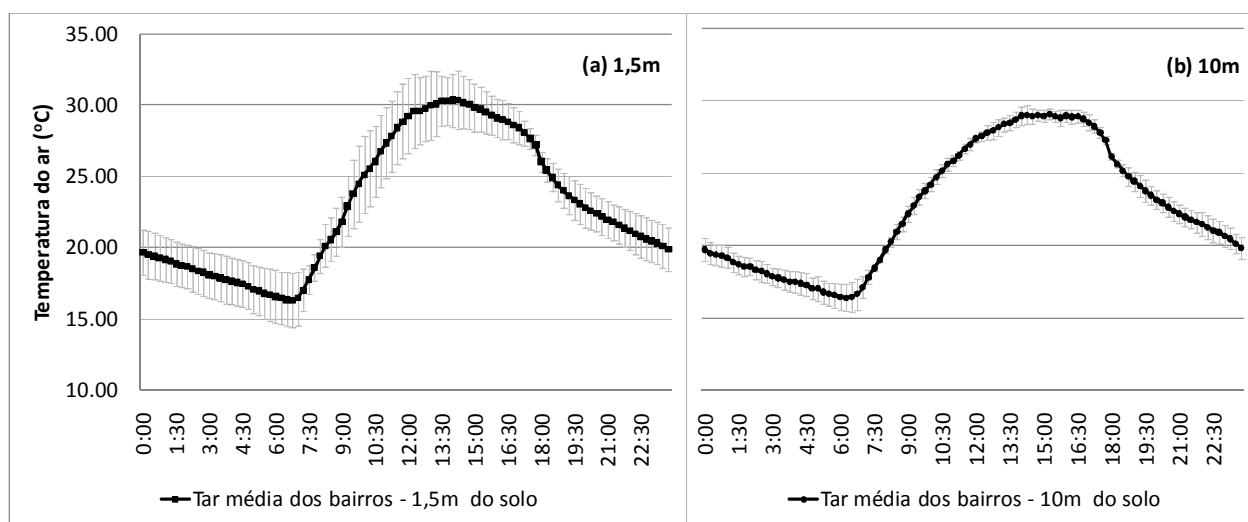
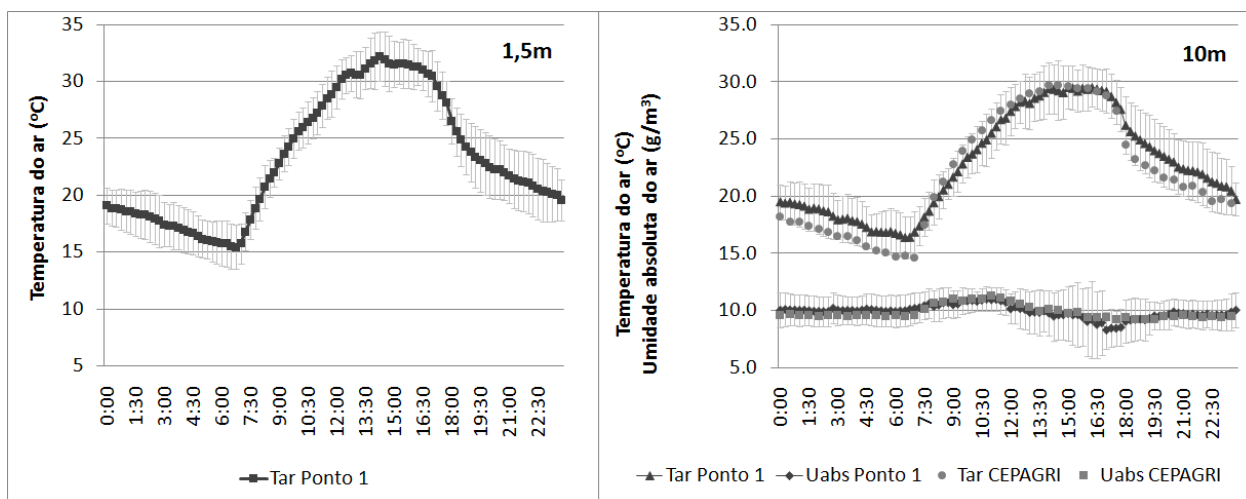


Figura 5.13 – Temperatura do ar ao longo do tempo obtida em sítios urbanos em Campinas, SP. Média horária dos dados obtidos entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009, com registradores posicionados a (a) 1,5 m e a (b) 10 m do solo. Barra de erros indica o desvio padrão em relação à média.

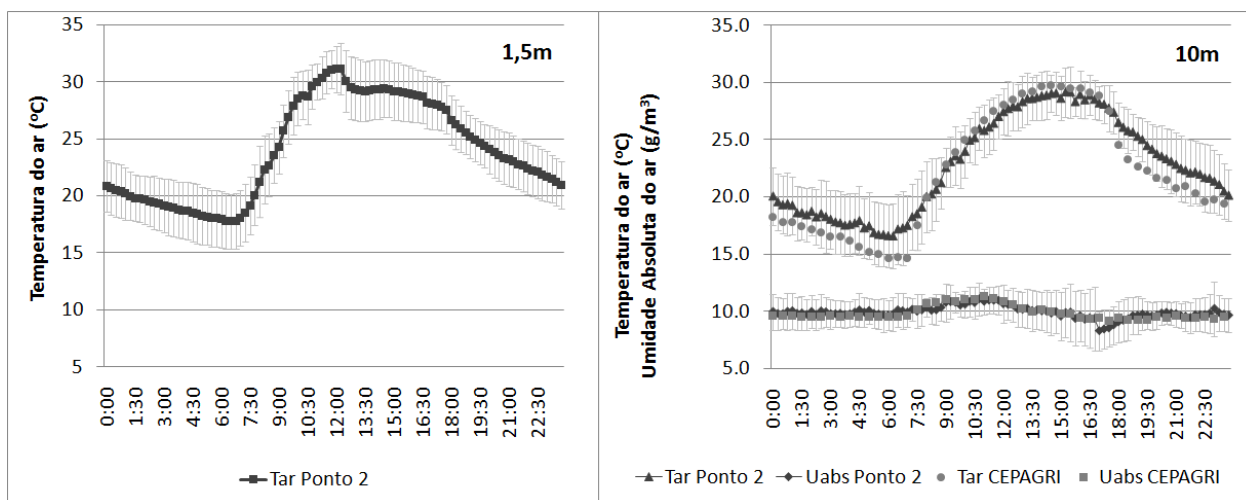
A taxa média de aquecimento do ar, entre 7:00h e 12:00h, na altura de 10 m é de 1,8 °C/h enquanto a 1,5 m aumenta para 2,1 °C/h, indicando que o ar na camada próxima ao solo aquece-se mais rapidamente, devido à proximidade dos materiais construtivos que emitem radiação térmica para o ambiente. Assim, há uma defasagem de uma hora no atingimento da temperatura máxima a 10 m. Já na zona rural, a taxa média de aquecimento neste mesmo intervalo de tempo aumenta para 2,7 °C/h. Constatou-se que a zona 5 também apresentou um aquecimento rápido neste período (2,4 °C/h).

Em relação à umidade absoluta do ar, observam-se valores mais baixos na zona 3, porém com pequenas diferenças entre os sítios. Nota-se que por volta das 17:00h, antes do pôr do sol, houve uma queda na umidade absoluta do ar na área urbana, devido ao aquecimento do ar e das superfícies durante todo o dia. O mesmo ocorreu no ambiente rural, mas com menor intensidade.



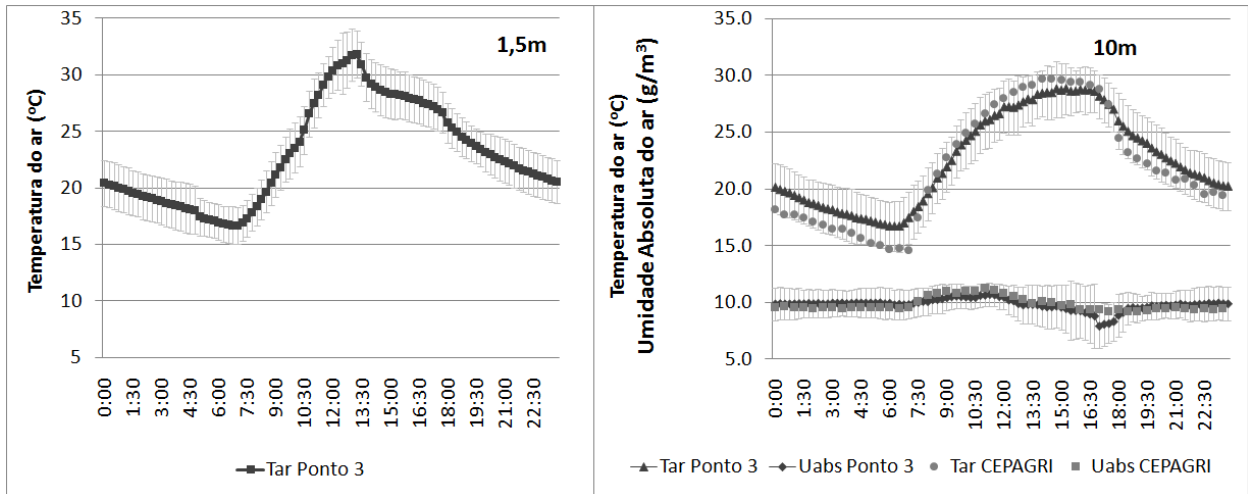


A – Sítio 1

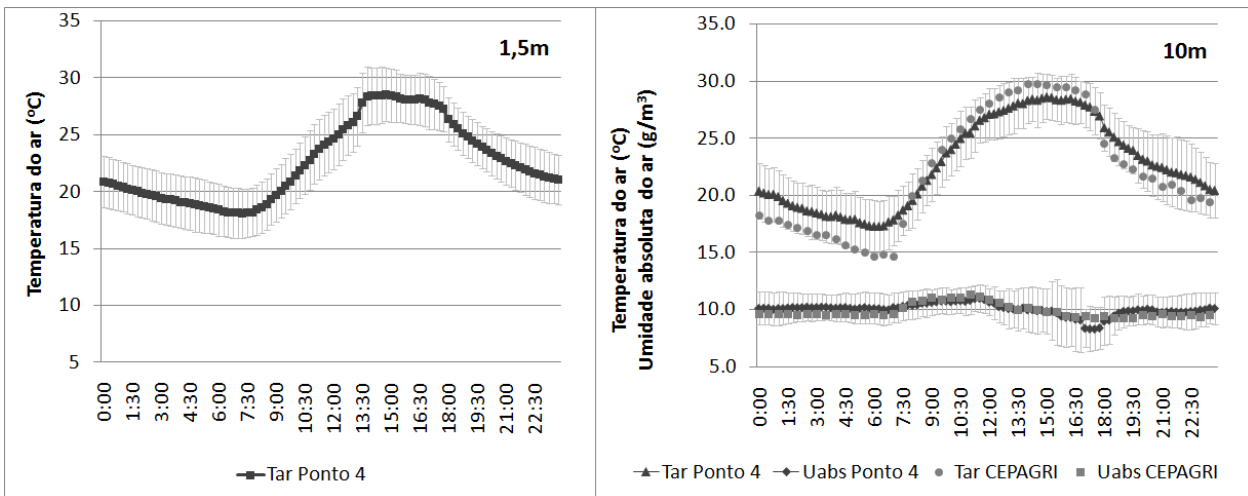


B – Sítio 2

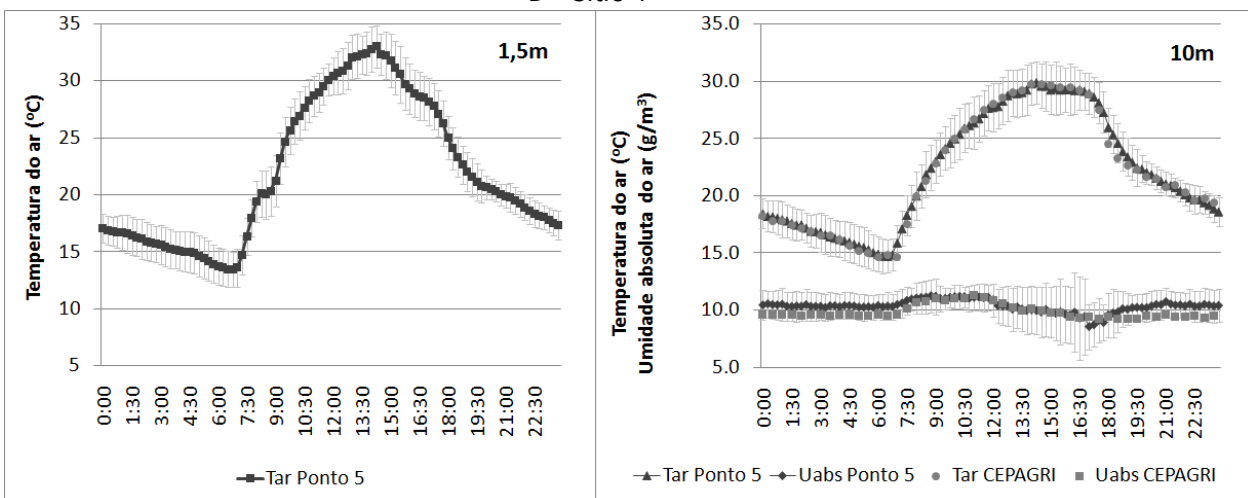
Figura 5.14 – Temperatura do ar e umidade absoluta do ar ao longo do tempo em sítios urbanos e na zona rural de Campinas, SP. Dados obtidos entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009, com registradores posicionados a 1,5 m e a 10 m do solo. Dados que representam a zona rural foram obtidos na estação meteorológica do CEPAGRI. (a) Sítio 1 (Bosque de Barão); (b) Sítio 2 (Jardim Guanabara); (c) Sítio 3 (Jardim Proença); (d) Sítio 4 (Jardim Nova Europa); (e) Sítio 5 (Jardim Madalena). Barras de erros indicam o desvio padrão da média dos monitoramentos urbanos.



C – Sítio 3



D – Sítio 4



E – Sítio 5



Relação entre o uso do solo urbano e a temperatura do ar local

Alguns parâmetros climáticos, que representam o topoclima, foram relacionados aos percentuais de uso do solo, como mostra a Figura 5.15.

Nota-se que a diferença térmica entre os sítios com a zona rural (ΔT_{u-r}), ou seja, a intensidade da ilha de calor às 22:00h, aumentou com os percentuais de “Lotes com Casas”, exceto em relação ao sítio 5, influenciado pelo ambiente rural. Também foi constatado que o percentual de quadras edificadas em relação às áreas livres e verdes teve relação com a intensidade das ilhas de calor, que aumentou na seguinte ordem: sítios 3, 4 e 2. O sítio 2, com maior percentual de áreas edificadas, apresentou temperatura mais elevada que os demais às 14:00h, indicando uma relação entre o aumento do percentual de quadras urbanizadas e o aquecimento do ar local.

Já o sítio 4 foi o que apresentou maior ΔT_{u-r} . É possível que a presença de água no sítio 4, presente no sistema de lazer anexo ao Bosque dos Guarantãs, tenha contribuído para o seu resfriamento noturno, mas seja insuficiente para a diminuição da temperatura máxima do ar, decorrente da massa edificada.

Verificou-se que tanto a umidade absoluta do ar como a umidade relativa máxima do ar aumentaram com o percentual de áreas verdes, intensificando-se na presença de corpos d’água. Os valores máximos ocorreram no sítio 5, opondo-se aos sítios 2, 3 e 4, com alto desenvolvimento urbano.



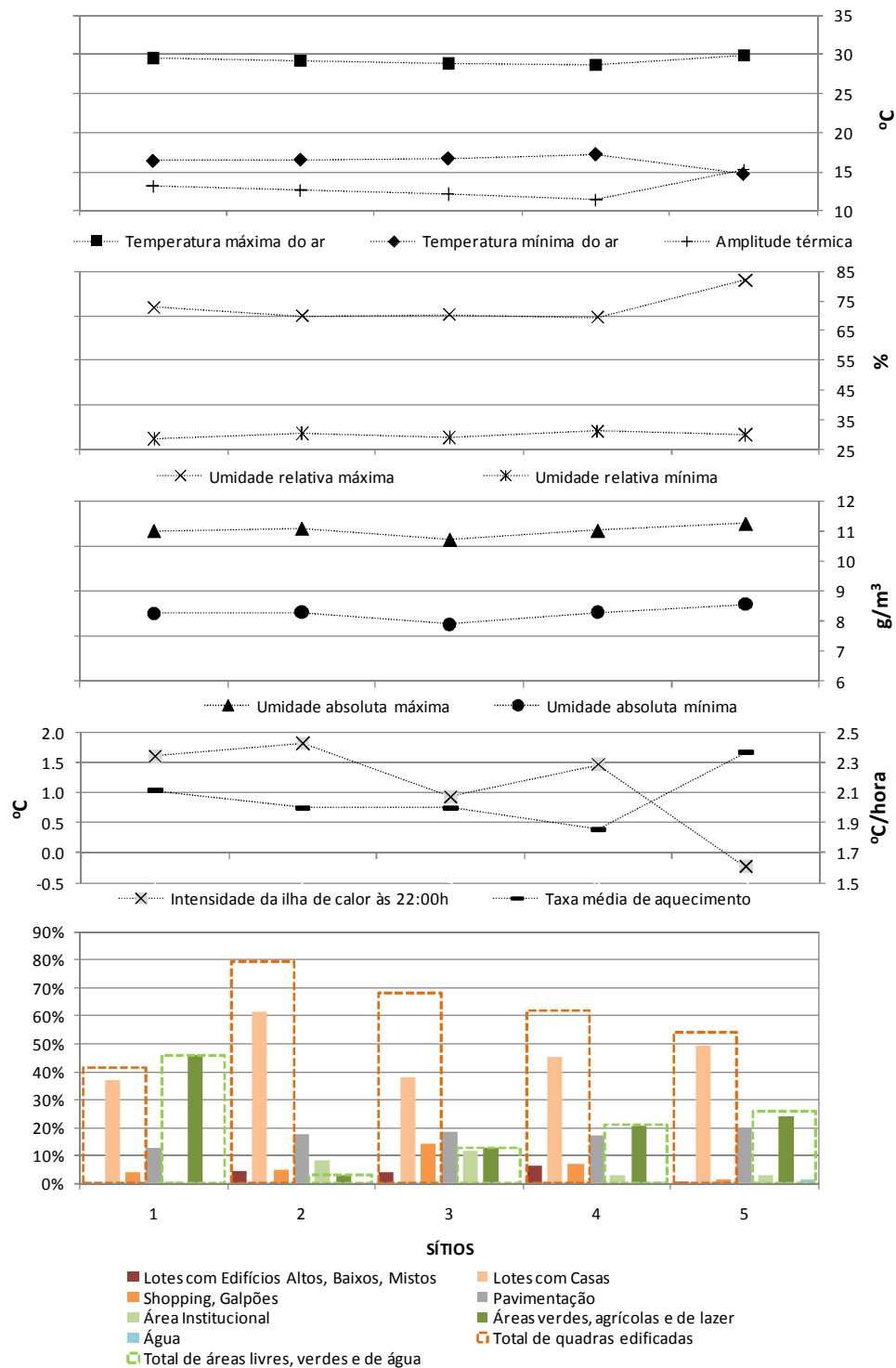


Figura 5.15 – Variáveis climáticas relacionadas ao padrão de ocupação urbana em Campinas, SP. Sítio 1- Bosque de Barão; Sítio 2 - Jardim Guanabara; Sítio 3 - Jardim Proença; Sítio 4 – Jardim Nova Europa; Sítio 5 - Jardim Madalena. Variáveis e unidades de medidas indicadas na figura.

A intensidade das ilhas de calor comportou-se inversamente à taxa de aquecimento no período da manhã, ou seja, os locais com temperaturas mais elevadas às 22:00h aqueceram-se mais lentamente entre as 7:00h e 12:00h. As áreas urbanas mais abertas comportaram-se semelhantemente à estação do CEPAGRI, no que diz respeito ao ganho térmico e ao resfriamento. A amplitude térmica diária aumentou com taxa de aquecimento. A correlação linear entre estas variáveis é mostrada na Figura 5.16.

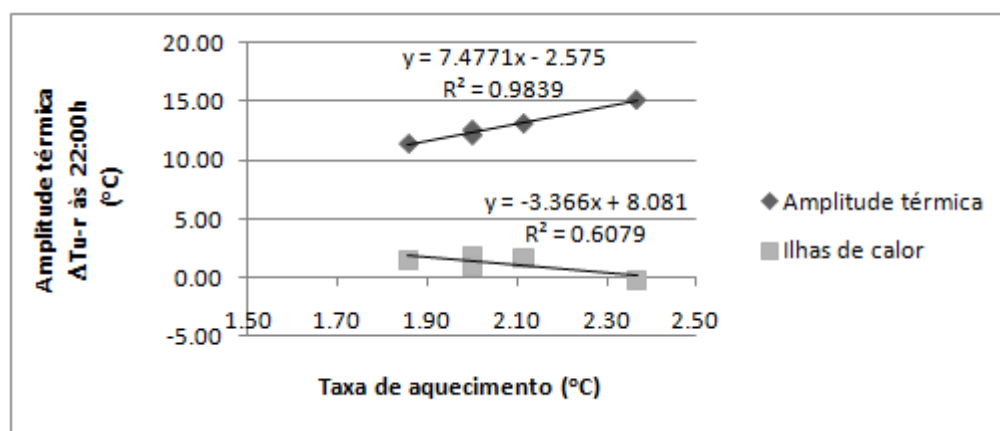


Figura 5.16 – Correlações lineares entre a intensidade de ilhas de calor noturnas (ΔT_{u-r}) às 22:00h, a amplitude térmica diária e a taxa de aquecimento em áreas urbanas. Cálculos a partir das médias de dados coletados entre 26/08/2009 e 03/09/2009, na altura de 10m, em cinco sítios urbanos e na estação meteorológica do CEPAGRI, em Campinas-SP.

Faria e Mendes (2004), comparando as taxas de aquecimento e resfriamento em Bauru e Braga, haviam observado que as áreas urbanas inicialmente mais quentes, ou seja, as de maior inércia térmica, apresentaram uma taxa de aquecimento mais lenta, o que significa dizer que sofreram menor variação térmica diária.

Assim, constatou-se que a principal diferença entre o ambiente urbano e o rural deve-se à perda lenta de calor pelas edificações no período noturno, causada pela inércia térmica dos materiais construtivos, fluxos de calor entre os componentes verticais e à baixa velocidade do ar ocasionada pelo aumento da rugosidade. Em oposição, as áreas com maior percentual de solo exposto e áreas agrícolas são intensamente aquecidas no período diurno, devido à incidência de radiação solar sobre o solo. Nestes ambientes, com o solo seco e ausência de obstruções do céu, o fluxo de calor sensível se acentua, ocorrendo o resfriamento rápido do ar após o pôr do sol.

5.3 Síntese dos resultados e comentários finais

Cinco sítios urbanos, caracterizados pela predominância da tipologia construtiva residencial, com diferentes densidades de ocupação e níveis de desenvolvimento, tiveram seu microclima e topoclima monitorados. Em todos havia a presença de um fragmento florestal urbano, considerando-se um raio de 500 m ao redor da estação de monitoramento, apesar de variar a distância destes até o ponto de monitoramento.

A temperatura do ar esteve mais elevada na camada próxima ao solo e as diferenças térmicas entre as duas alturas monitoradas foi significativa entre 9:00h e 16:00h, atingindo máxima diferença às 12:00h, horário em que a temperatura do ar apresentou-se 2 °C mais elevada na altura de 1,5 m do que a 10 m. Verificou-se que o ar na camada próxima ao solo aquece-se mais rapidamente, devido à proximidade dos materiais construtivos que emitem radiação térmica para o ambiente. A taxa média de aquecimento do ar na altura de 10 m foi de 1,8 °C/h enquanto a 1,5 m aumentou para 2,1 °C/h.

A temperatura máxima do dia e a intensidade das ilhas de calor tendem a aumentar com o percentual de áreas edificadas. No entanto, a intensidade nas ilhas de calor diminui em áreas sujeitas a incidência de ventos provenientes da zona rural. A intensidade das ilhas de calor, às 22:00h, variou entre 0,9 °C e 1,8 °C, valores baixos quando comparados à referência para a área central de Campinas, de 4 °C, observada por Pezzuto (2007).

A taxa média de aquecimento dos sítios urbanos, calculada entre as 7:00h e 12:00h na altura de 10 m, pode ser considerada um parâmetro para a identificação de locais suscetíveis às ilhas de calor noturnas. Os sítios com baixas taxas de aquecimento pela manhã, estiveram mais aquecidos no período noturno e apresentaram menores amplitudes térmicas diárias. Esta característica está relacionada ao aumento da inércia térmica decorrente da massa edificada, indo ao encontro das observações feitas por Faria e Mendes (2004).

Em relação ao efeito das florestas urbanas no clima local, verificou-se uma redução na amplitude térmica diária do sítio, com características rurbanas, próximo de um fragmento de grande dimensão (caso da Mata de Santa Genebra, com 250,36 ha). Este efeito não foi constatado em um sítio fronteiro à zona rural na presença de uma ilha de vegetação de menor dimensão (caso do Bosque da Paz, com 4 ha). Diante disso, conclui-se



que as florestas urbanas apresentam elevada inércia térmica, e que o aumento da umidade do ar, decorrente dos efeitos da evapotranspiração, contribui para a diminuição da temperatura do ar máxima do dia do entorno edificado, diminuindo, assim, a amplitude térmica diária.



6 Temperatura e umidade do ar local: influência do padrão de uso e ocupação do solo e proximidade de um fragmento florestal

As características físicas do ambiente construído e da vegetação acarretam em diferenças climáticas que podem ser observadas tanto na microescala como na escala local urbana. No primeiro caso, observa-se que a temperatura e umidade do ar são suscetíveis às características físicas pontuais, descritas pela geometria, pela presença de materiais ou de fontes de aquecimento e de resfriamento. No segundo caso, o mesmo raciocínio se aplica, porém as diferenças térmicas e de umidade do ar são mais sutis entre sítios com padrões espaciais semelhantes.

Como o clima local urbano depende do microclima, é plausível propor que uma anomalia na escala microclimática possa modificar o clima na escala local, e que esta mudança possa ser observada na forma de gradiente. Neste sentido, Jauregui (1990) citando Landsberg (1981) afirmou que enquanto os efeitos da arborização urbana sobre o ambiente limitam-se ao microclima, os grandes parques urbanos provocam mudanças além dos seus limites físicos. Do mesmo modo, Upmanis et al. (1998) citaram pesquisas que comprovaram a influência das áreas verdes na temperatura do entorno edificado. Nestes trabalhos, a diferença térmica entre as áreas urbanas e o interior dos parques (ΔT_{u-p}) bem como a extensão do efeito térmico sobre o ambiente urbano aumentaram com o tamanho das áreas verdes.

Com base nestas referências, Upmanis et al. (1998) utilizaram a técnica de medidas móveis para obter a magnitude e a extensão do efeito de parques em Göteborg, na Suécia. Os resultados mostraram uma diferença máxima entre a temperatura urbana e o parque (ΔT_{u-p}) de 5,9 °C na extensão de 1 km, medida aproximadamente igual à largura do maior parque (156 ha). Para o menor parque (2,4 ha), ΔT_{u-p} diminuiu para 1,7 °C, e a extensão do efeito sobre o entorno foi de somente 20 m.

Jauregui (1990) diagnosticou um ΔT_{u-p} de 2 a 3 °C e uma diminuição de 15% na umidade relativa do ar (ΔUR_{u-p}), entre o parque Chapultepec (~500 ha), na cidade do



México, e o entorno edificado. A extensão do efeito térmico sobre a área urbana foi de aproximadamente 2000 m, coincidindo com a largura do parque. A maior diferença entre as temperaturas mínimas aferidas no parque e na área urbana foi de 4 °C e ocorreu na estação seca. No entanto, a temperatura máxima do parque em alguns momentos superou a da área urbana.

Trabalhos semelhantes foram realizados em Sacramento-Califórnia, obtendo-se um ΔT_{u-p} de aproximadamente 1,2 °C em ~1000m (IMAMURA et al., 1992). Em Taipei-Taiwan, observou-se que parques maiores que 12 ha são mais frios que o entorno, parques entre 3 e 12 ha podem ser mais frios que o entorno, e os menores que 3 ha apresentaram maior instabilidade térmica na comparação com o entorno. Analisando-se a temperatura em um raio urbano igual à largura de cada parque, obteve-se um ΔT_{u-p} máximo de 4 °C (CHANG et al., 2007). Em Erzurum – Turquia, uma área de reflorestamento (3,4 ha) foi comparada à área urbana, obtendo-se uma diferença térmica entre a floresta e o ambiente rural (ΔT_{f-r}) média de -0,71 °C e uma ΔUR_{u-r} média de 3,2% (YILMAZ et al., 2006). Em Singapura foram monitoradas duas reservas naturais e o entorno construído, obtendo-se um ΔT_{u-p} máximo de 1,3 °C, observada no maior parque (36 ha). A extensão do efeito de resfriamento limitou-se a 100 m. No parque de menor dimensão (12 ha), devido às características da vegetação, não houve influência no entorno (HIEN; YU, 2004).

Tendo em vista as particularidades climáticas, as características do meio urbano e da vegetação, considera-se importante a realização de pesquisas semelhantes no Brasil. Estes resultados auxiliarão na definição de como deve ser a distribuição, a quantificação e a qualidade das áreas verdes no tecido urbano, contribuindo para a melhoria dos níveis de conforto térmico.

Na presente pesquisa, foi constatada uma diferença térmica média entre fragmentos florestais urbanos e o ambiente rural (ΔT_{f-r}) de - 2,8 °C às 14:00h, e de + 0,9 °C às 6:00h. As florestas urbanas apresentaram-se, portanto, arrefecidas no horário de maior aquecimento e com certo aquecimento no horário em que ocorre a temperatura mínima diária. Este fenômeno foi atribuído à obstrução das ondas longas, do sub-bosque para a atmosfera, pelo dossel florestal. A umidade absoluta do ar nas florestas esteve, em média,



2,3 g/m³ mais elevada que na área rural, às 14:00h. Os fragmentos florestais apresentaram estabilidade microclimática, com baixa amplitude térmica e baixa taxa de aquecimento e de resfriamento. Constatou-se, no maior fragmento, um decréscimo de 0,5 °C e um aumento de 0,94 g/m³ na umidade absoluta do ar a cada 100 m de distância da fronteira urbana, o que mostra a influência do ambiente construído no microclima da floresta.

Os pontos urbanos situados próximos destes fragmentos de vegetação apresentaram, em geral, baixa intensidade das ilhas de calor noturnas - em média 1,5 °C. Constatou-se uma diferença térmica entre o ambiente urbano e o rural (ΔT_{u-r}) de -0,7 °C às 14:00h, e de + 2,0 °C às 6:00h. As maiores diferenças foram observadas nos horários próximos ao nascer do sol (2,5 °C) e pôr do sol (1,9 °C). As áreas urbanas apresentaram menor amplitude térmica e de umidade comparadas à zona rural. A temperatura do ar no interior dos fragmentos florestais apresentou-se inferior à da área urbana: ΔT_{f-u} de -2,1 °C, às 14:00h, e de -1,1 °C, às 6:00h. Tanto no ambiente construído quanto nas florestas observou-se um sobreaquecimento no período noturno e baixas temperaturas durante o dia, comparadas à zona rural.

Se os pontos urbanos monitorados estivessem mais próximos ou distantes dos fragmentos florestais haveria uma mudança na temperatura e umidade do ar local? O efeito das florestas urbanas sobre o clima local varia com os padrões de uso do solo? Este efeito aumenta com a porcentagem de área de floresta presente na cidade?

Diante destas questões, este capítulo tem como objetivos: identificar as variações na temperatura e na umidade do ar local decorrentes da aproximação a fragmentos florestais urbanos; encontrar um percentual mínimo de área de floresta sobre a área total urbanizada capaz de modificar o clima local urbano. Para tanto, serão analisadas cinco zonas urbanas com distintos padrões de ocupação, localizadas na cidade de Campinas-SP. Estas zonas abrangem sete fragmentos florestais, caracterizados por arborização densa e com certa estratificação, em diferentes estágios de conservação: Mata de Santa Genebra, Bosque dos Italianos, Bosque dos Alemães, Bosque dos Jequitibás, Bosque São José, Bosque dos Guarantãs e Bosque da Paz.



6.1 A técnica de monitoramentos climáticos móveis

A técnica de registros móveis consiste na aquisição de dados climáticos ao longo de um trajeto pré-estabelecido, tendo como objetivo identificar diferenças térmicas e de umidade no plano horizontal. Geralmente é utilizada em pesquisas cujos espaços urbanos são de grande abrangência, como em metrópoles, cidades ou bairros. A vantagem do método está na ampliação do número de pontos monitorados e no uso de poucos instrumentos. Uma desvantagem é que quanto maior o tempo gasto na aquisição dos dados ao longo do trajeto, maiores são os desvios causados pelas oscilações térmicas e de umidade ao longo do dia.

Os primeiros estudos com medidas móveis de carro foram realizados em 1929 por Smitdt, em Viena - Áustria, e ao mesmo tempo por Peppler, em Karlsruhe - Alemanha (GEIGER, 1966). Para controlar a oscilação das variáveis no tempo, as medidas eram feitas em circuitos fechados, retornando-se várias vezes nas mesmas áreas. Esta técnica sofreu adequações e foi aplicada em cidades no mundo todo (CHANDLER, 1962; LOMBARDO, 1985; YAMASHITA, 1996; NAGARA; SHIMODA; MIZUNO, 1996; JONSSON, 2004; FARIA; MENDES, 2004; MAITELLI et al., 2004; CHANG et al., 2007; PEZZUTO, 2007; PAGLIARINI, 2008; COX 2008; IMAMURA et al. 1992; JUSUF et al. 2007; PADMANABHAMURTY 1990/91; SAARONI et al. 2000; WONG; CHEN 2005; KARLSSON 2000; UPMANIS et al. 1998).

O sensor, para a obtenção de temperatura e umidade do ar, deve ser protegido da radiação, por um abrigo termométrico, e ventilado mecanicamente, a fim de forçar as trocas de ar entre o interior do abrigo e o ar externo. Os instrumentos devem ser de baixa inércia, como recomendado por Faria e Mendes (2004), diminuindo assim o tempo de resposta às diferenças térmicas ocorrentes na ambiência urbana. Quando realizado de carro, o abrigo deve ser acoplado ao veículo distante do motor (LOMBARDO, 1997). Os dados são registrados em pontos pré-determinados ou em intervalos de tempo regulares. O veículo deve, na medida do possível, trafegar a uma velocidade constante e relativamente baixa, entre 20 km/h e 50 km/h (PERSSON, 1997 referenciado por SOUZA; ASSIS, 2007; PEZZUTO, 2007).



É recomendado que as aquisições móveis sejam realizadas em horários de temperaturas mais estáveis, distantes do nascer e pôr do sol. Os horários de maior estabilidade térmica para o Brasil (Time Zone +3hs) são 3:00, 9:00, 15:00 e 21:00 horas.

Posteriormente, os dados são corrigidos para um horário de referência, utilizando-se para tanto registros contínuos das mesmas variáveis climáticas, obtidos em pontos fixos localizados na área avaliada. O número de pontos fixos recomendado é de 2 pontos / km² (HASENACK; BECKE, 1991). A taxa de variação de temperatura e umidade registrada no ponto fixo é somada ou subtraída aos dados dos móveis feitos no mesmo intervalo de tempo (HASENACK et al, 2003), ou corrigida a partir de equações polinomiais (SOUZA; ASSIS, 2007; PEZZUTO, 2007).

6.1.1 Proposição de adequações na técnica de monitoramentos climáticos móveis para a representação do espaço urbano

A técnica de monitoramentos climáticos móveis vem sendo utilizada para a obtenção de dados que representariam tanto o clima local urbano quanto o microclima. No primeiro caso, busca-se relacionar a variável climática a um padrão de urbanização e no segundo caso busca-se relacionar a variável climática aos materiais construtivos, presença de vegetação ou de água, etc, em pontos pré-determinados.

Partindo das recomendações feitas por Oke (2006a) e Monteiro (1976), em relação aos métodos de observação do clima urbano nos diferentes espaços climáticos, propõe-se, no presente estudo, uma adequação na técnica de monitoramentos móveis, visando a representação de diferenças higrótérmicas intra-urbanas representativas do clima local.

Esta adequação parte da seguinte proposição:

Se as medidas móveis forem feitas de carro, em movimento, com o protetor do registrador ventilado (naturalmente e mecanicamente) e na altura de ~2m, assume-se que cada dado coletado não representa necessariamente o microclima específico de um ponto, mas um ar misturado, abaixo da altura média dos elementos urbanos (Zh), como representado na Figura 6.1.



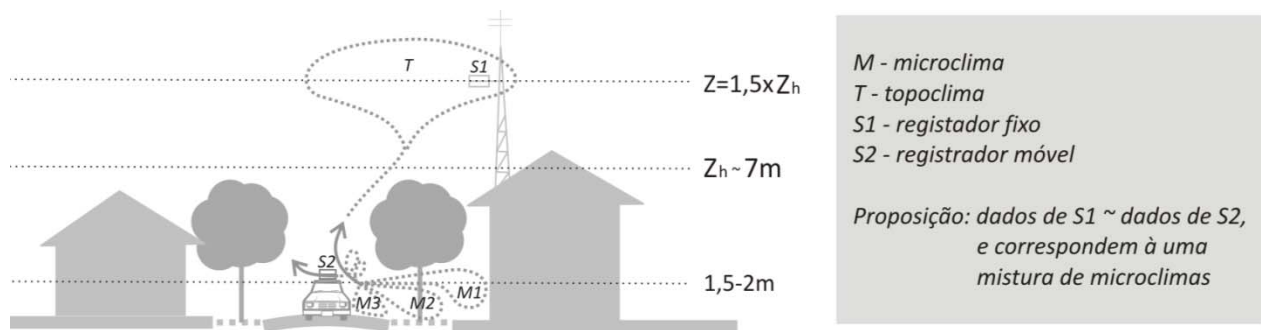


Figura 6.1 – Técnicas de aquisição de dados para a representação do clima local urbano. *S1* – registros em pontos fixos na camada de inércia; *S2* – registros móveis, com ventilação natural e mecânica do sensor preso em carro em movimento.

Foi mostrado no Capítulo 4 que ocorre uma estratificação térmica entre as alturas de 1,5 m e 10 m e que na primeira há maior instabilidade e variabilidade dos dados, devido à influência de elementos próximos. Assim, sugere-se que se faça a correção horária das medidas móveis a partir de estações de referência representativas da mesma unidade climática, ou seja, a partir dos dados obtidos na altura Z , representada na Figura 6.1, e uma correção decorrente da altura de aquisição, tendo em vista as diferenças térmicas entre as alturas de 10 m e de 1,5 m.

6.2 Materiais e Métodos

As etapas metodológicas, detalhadas a seguir, foram:

- Classificação do uso do solo e delimitação de zonas urbanas a partir do padrão espacial;
- Monitoramento de temperatura e umidade do ar em duas alturas – 1,5 m e 10 m – em pontos fixos, conforme apresentado no Capítulo 4;
- Estabelecimento de um percurso fechado ao longo das zonas urbanas de interesse, tangenciando os pontos fixos e os fragmentos florestais urbanos, para registros de temperatura e umidade do ar, por meio móvel, em três horários do dia (9:00h, 15:00h e 21:00h).
- Delimitação das áreas de influência dos pontos fixos em relação ao percurso estabelecido, a partir do método dos polígonos de Thiessen;
- Correção horária dos registros móveis a partir da taxa de variação dos registros fixos feitos na altura de 10 m;
- Correção dos registros móveis devido às diferenças térmicas ocorrentes entre a altura de 1,5 m e 10 m;
- Tratamento estatístico dos dados e representação na forma de mapas e gráficos.

6.2.1 Classificação do uso do solo e delimitação de zonas urbanas

Os critérios para a classificação do uso do solo foram idênticos aos descritos no Capítulo 4, Sessão 4.2.2. A classificação foi feita ao longo dos eixos viários em que foram realizados os monitoramentos móveis, em uma distância de 500 m de cada lado das vias. Finalizada a classificação, identificaram-se, visualmente, padrões semelhantes, delimitando-se cinco zonas urbanas que abrangem um ou mais fragmentos florestais, como apresentado na Figura 6.2.

6.2.2 Monitoramentos em pontos fixos

Foram estabelecidos cinco pontos de monitoramentos fixos para a obtenção de dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, mostrados na Figura 6.2. Estes pontos serviram para a correção horária e relativa a altura de aquisição dos dados móveis.

Os monitoramentos foram realizados em duas alturas – 10 m (temperatura do ar e umidade relativa do ar) e 1,5 m (temperatura do ar). Os registradores foram protegidos da radiação e ventilados naturalmente, e foram fixados em torres em quintais de residências. Os dados foram coletados automaticamente, em intervalos de 15 minutos, durante nove dias consecutivos, entre 26/08/2009 e 03/09/2009. Detalhes deste procedimento foram apresentados no Capítulo 5, Sessão 5.2.

6.2.3 Estabelecimento do percurso, procedimentos de medição e instrumentação

O percurso foi estabelecido de modo que tangenciasse tanto os pontos fixos de monitoramento como os fragmentos florestais urbanos. Foram observados os fluxos viários possíveis para a realização de um circuito único e fechado, na menor distância possível, a fim de abranger todas as áreas de interesse e reduzir o tempo de aquisição dos dados móveis. O percurso de 55 km, mostrado na Figura 6.2, foi realizado de carro, gastando-se um tempo médio de duas horas para cada coleta. A velocidade do carro variou, mantendo-se em média de 40 km/h nos locais de interesse, com aceleração do veículo em outros trechos.



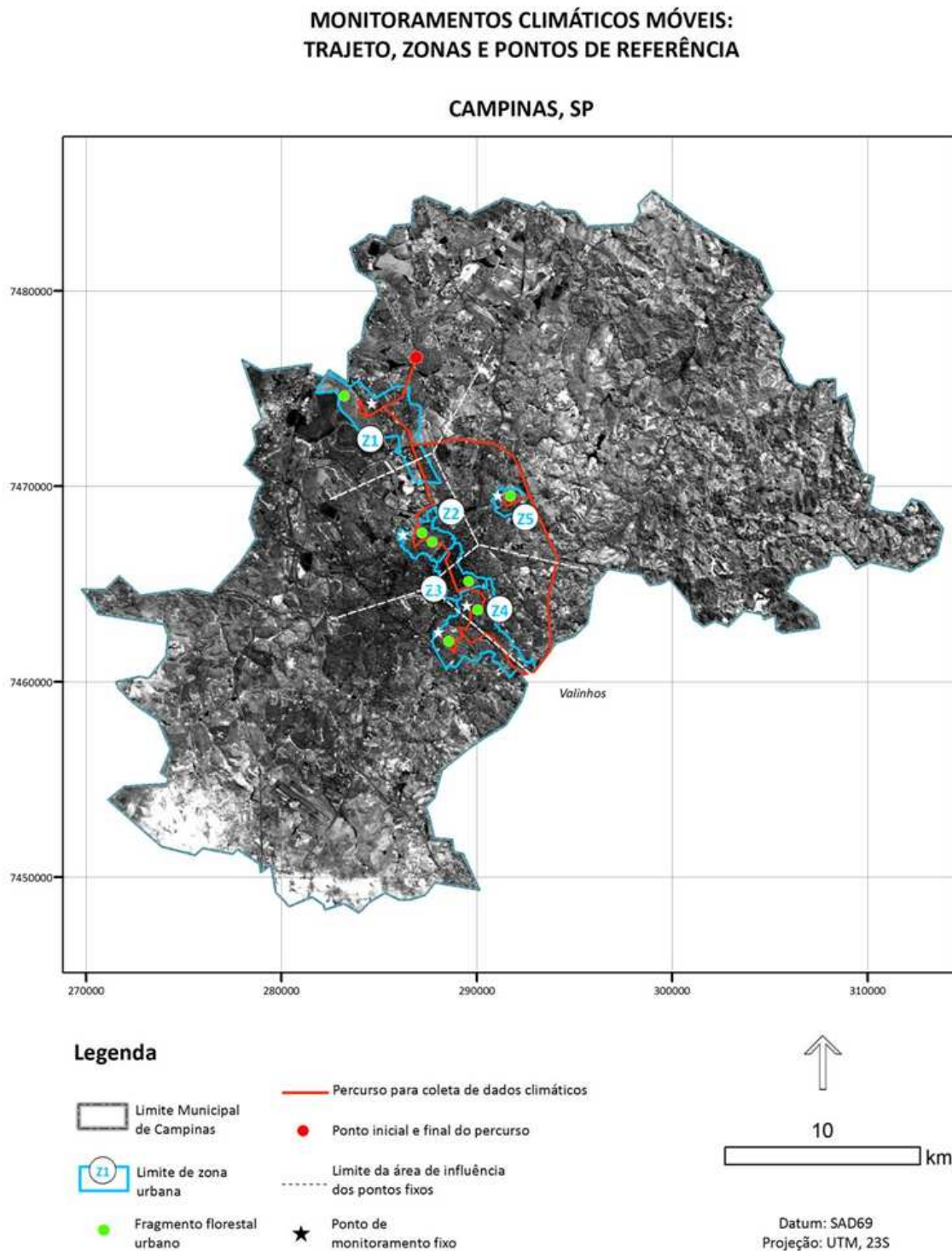


Figura 6.2 – Mapa com informações sobre o percurso e pontos utilizados na correção dos monitoramentos climáticos móveis. Fragmentos florestais urbanos (ponto verde): Zona 1 – Mata de Santa Genebra; Zona 2 – Bosque dos Italianos e dos Alemães; Zona 3 – Bosque dos Jequitibás; Zona 4 – Bosque São José e dos Guarantãs; Zona 5 – Bosque da Paz.

Os registros móveis foram realizados entre os dias 29/08/2009 e 01/09/2009 (quatro dias), sob uma condição de tempo estável, com baixa nebulosidade e sem registros de pluviosidade, em três horários do dia: às 9:00, 15:00 e 21:00 horas.

Utilizou-se um registrador de temperatura e umidade do ar modelo 175-H2, da marca TESTO, programado para intervalos de 30 segundos. O registrador foi protegido da radiação, ventilado naturalmente e mecanicamente, e foi fixado sobre o capô do veículo, como mostra a Figura 6.3.

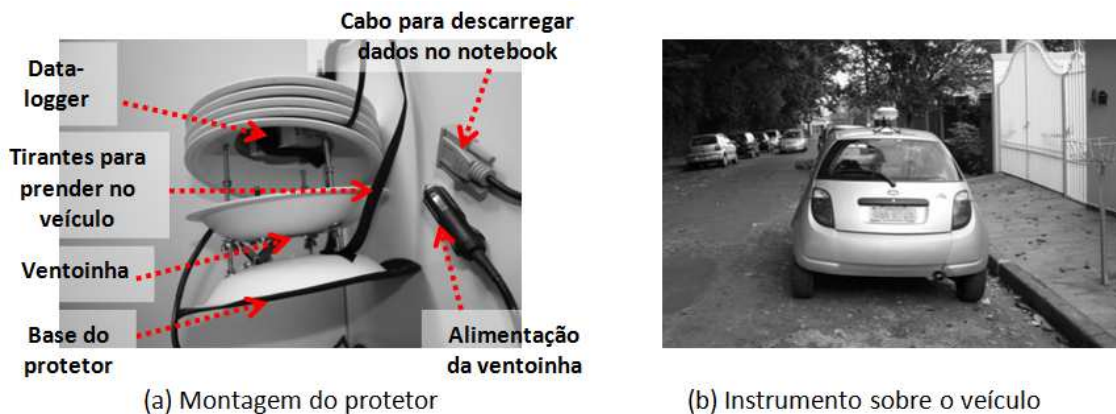


Figura 6.3- Sensor de temperatura e umidade protegido e ventilado naturalmente e mecanicamente fixado sobre um veículo automotor para registros móveis.

Para relacionar um ponto geográfico às variáveis climáticas, um GPS modelo 60CX, da marca Garmin, foi conduzido no interior do veículo. O GPS foi programado para adquirir as coordenadas geográficas a cada 30 segundos. Os pontos foram inseridos sobre o mapa de uso do solo no Arc Map, utilizando-se o sistema de projeção UTM, Córrego Alegre 23 Sul. A correção dos pontos foi feita na própria base digital, movendo-os para os eixos viários correspondentes.

6.2.4 Delimitação das áreas de influência dos pontos fixos

Foi utilizado o método dos polígonos de Thiessen (triangulação), que consiste em um desenho geométrico no qual se unem as mediatrizes das retas que ligam um ponto de referência (posto meteorológico) aos demais. As áreas de influência dos pontos fixos em relação aos pontos móveis constam na Figura 6.2 e em detalhe na Figura 6.4.

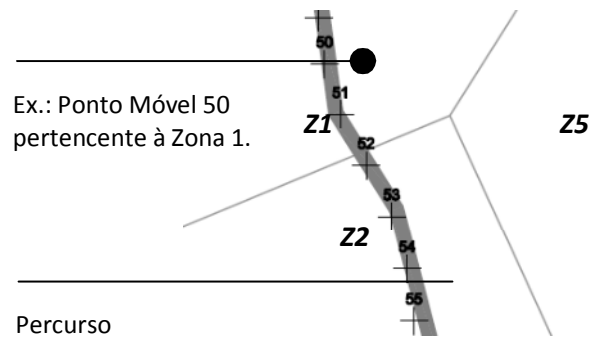


Figura 6.4 - Área de abrangência dos pontos fixos em relação aos dados obtidos por meio móvel.

6.2.5 Correção horária dos dados obtidos por meio móvel

Visto que cada percurso foi realizado em até duas horas, foi necessária a correção horária dos dados obtidos por meio móvel, utilizando-se como referência as variáveis obtidas nos cinco pontos fixos, na altura de 10 m.

A correção horária dos dados foi feita para cada percurso realizado (quatro dias), em três horários (9:00h, 15:00h e 21:00h). Tendo em mãos a média da temperatura do ar e umidade relativa do ar nos pontos fixos a cada 15 minutos, calculou-se a taxa de variação a cada 30 segundos. Sabendo-se a diferença entre o horário de aquisição de um registro móvel e o horário padrão da aquisição, a variação térmica e de umidade neste intervalo de tempo foi somada ou subtraída aos pontos móveis correspondentes.

6.2.6 Correção dos dados obtidos por meio móvel devido à altura de aquisição

Conhecendo-se a média da diferença térmica entre a altura de 1,5 m e de 10 m em função do tempo (Figura 6.5), somou-se esta diferença aos dados obtidos por meio móvel, observando-se o seu horário de aquisição. Esta correção foi feita somente para os dados de temperatura do ar, visto que a umidade relativa do ar não foi monitorada a 1,5 m.

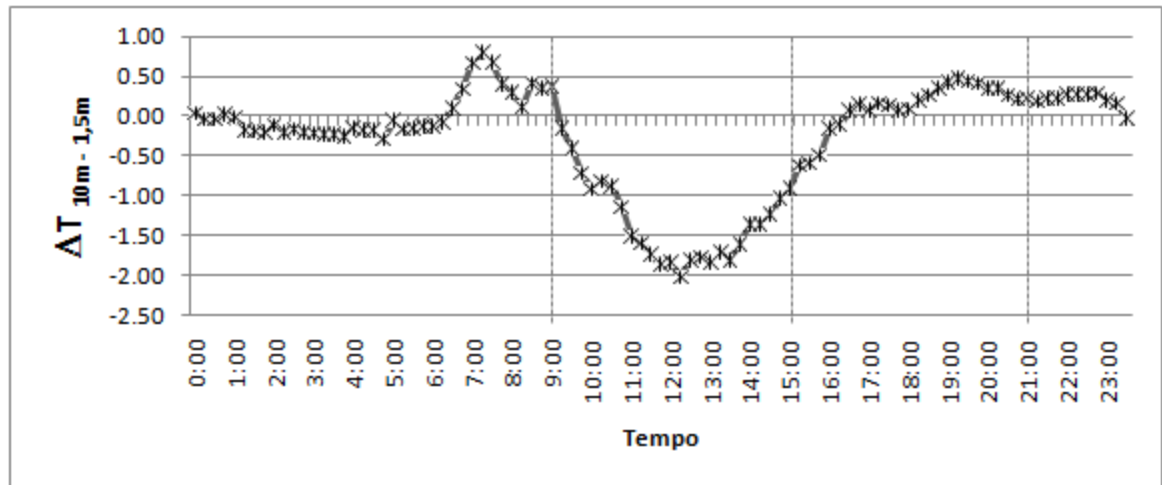


Figura 6.5 – Diferença térmica entre a altura de 10 m e 1,5 m. Cálculo a partir da média dos dados obtidos em cinco pontos fixos, localizados na área urbana de Campinas-SP, entre os dias 26/08/2009 e 03/09/2009. Linhas tracejadas mostram os horários padrão (9:00h, 15:00h e 21:00h) de análise da temperatura do ar obtida por meio móvel.

6.2.7 Temperatura e umidade dos registros móveis após correções

A Tabela 6.1 mostra a diferença entre os valores iniciais e finais das variáveis climáticas obtidas por meio móvel, após a correção horária e de altura. Foi calculada a média dos dez pontos móveis iniciais e dos dez pontos móveis finais, e posterior subtração das médias obtidas. Para uma melhor comparação do conteúdo de vapor de água presente no ar nas áreas de estudo, estimou-se a umidade absoluta do ar, C_{va} [g/m^3], a partir dos dados de temperatura, t [$^{\circ}C$] e T [K], umidade relativa do ar, UR [%], e pressão saturante, e_s [hPa] com referências em Angelocci (2002).

Considerando a ocorrência de um erro máximo dos registradores utilizados (erro do registrador do veículo e erro do registrador do ponto fixo; erro no dado inicial e no dado final do percurso), a diferença entre as medidas móveis iniciais e finais deveria ser de até quatro vezes a precisão dos sensores ($\pm 0,5^{\circ}C$ e $\pm 2\%$), ou seja, de $2^{\circ}C$ e de 8.

Os dias e períodos cujos erros estão dentro desta faixa de valores são apresentados em destaque na Tabela 6.1, concluindo-se que a correção da temperatura do ar foi satisfatória para os três horários de interesse (9:00h, 15:00h e 21:00h). Já para os dados de umidade relativa do ar os erros obtidos foram maiores, principalmente pela manhã e noite, visto que não foi feita a correção relativa à altura na aquisição. A conversão da umidade

relativa em absoluta parece minimizar os erros, além de possibilitar uma melhor comparação do teor de umidade do ar entre os padrões de urbanização, optando-se pela análise desta variável.

Tabela 6.1 - Diferença entre os dados iniciais e finais dos registros móveis (circuito fechado), após as correções. Destaque (cinza) para os dias e horários em que o erro, da temperatura do ar e umidade relativa do ar, é admissível.

Período	Variável	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Manhã	Temperatura do ar [°C]	0,5	1,9	2	4
	Umidade relativa do ar [%]	0,2	10,5	13,1	18,7
	Umidade absoluta [g/m ³]	0,8	0,9	1,3	1,4
Tarde	Temperatura do ar [°C]	0,4	0,1	1,2	0,1
	Umidade relativa do ar [%]	2,3	2,6	6	0,3
	Umidade absoluta [g/m ³]	0,8	0,8	1,4	0
Noite	Temperatura do ar [°C]	1,9*	0,8	0,3	1,8
	Umidade relativa do ar [%]	14,8*	15	11,9	17,2
	Umidade absoluta [g/m ³]	1,5*	2,1	2,1	1,8

* Circuito incompleto. Parada a 1km antes do ponto final.

6.2.8 Tratamento e representação dos dados

Os dados obtidos por meio móvel, corrigidos e georreferenciados, foram sobrepostos ao mapa de classes de usos do solo, no *software* ArcMap, possibilitando relacionar o comportamento higtotérmico aos padrões espaciais. Foram realizadas análises exploratórias, com dois tratamentos dos dados:

No primeiro tratamento optou-se pela separação dos dias e horários de medição (quatro dias e três horários). As análises da distribuição e da frequência dos dados, representada em *boxplots* e tabelas, permitiram identificar os valores interquartis (que representam 50% dos dados), os valores inferiores ao 1º quartil e os superiores ao 3º quartil. Assim, foi possível identificar os pontos de temperatura ou umidade predominantes na zona analisada (interquartis), os pontos mais aquecidos e menos úmidos, e os menos aquecidos mais úmidos. Como houve uma variação térmica e de umidade do ar ao longo dos quatro dias de monitoramento, neste tratamento foi possível identificar diferentes respostas dos elementos urbanos às condições de tempo.

No segundo tratamento optou-se pelo cálculo da média e desvio padrão dos dados separados por horários. Desconsiderou-se, assim, a variação na resposta térmica dos



elementos urbanos decorrente das condições de tempo. As médias foram calculadas para manchas de uso do solo com um mesmo padrão espacial (ex. trecho com quadras residenciais, trecho com quadras industriais, trecho com sistema de lazer, etc.), observando-se as distâncias entre as manchas e os fragmentos florestais urbanos. Os resultados foram representados em gráficos.

Finalmente, calcularam-se os percentuais de área de floresta / área total urbana (A.V./A.U.). As médias horárias e diárias de temperatura e umidade em função do percentual de área de floresta presente na área urbana foram apresentadas em *boxplots* e gráficos de linha. Um detalhamento deste procedimento será apresentado posteriormente.

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 Apresentação das zonas de monitoramento

A **Zona 1** (Figura 6.6) constitui uma paisagem fragmentada, na qual ocorrem diversos usos, de maneira descontínua. Os comércios de grande porte e as indústrias estão localizados ao longo do eixo rodoviário que conecta Campinas à cidade de Paulínia. Esta rodovia é o principal corredor que dá acesso para os bairros Cidade Universitária, Bosque de Barão e Vila Costa e Silva. As áreas edificadas (loteamentos de baixo gabarito) entremeiam-se às chácaras, verificando-se extensas áreas de grama, pasto ou terra exposta. Na porção noroeste desta zona encontra-se a Mata de Santa Genebra. Há uma predominância das áreas não construídas sobre as edificadas: áreas rurbanas (19,03%), de pasto, grama ou terra exposta (18,56%), mata (19,16%), de lotes com casas (17,93%) (Tabela 6.2).

Na **Zona 2** (Figura 6.7) predomina o uso residencial de baixo gabarito, com 54,10% dos terrenos ocupados por casas (Tabela 6.3), e edifícios isolados na aproximação da área central (Zona 3). Ao redor da rotatória da Praça 23 de Outubro (Torre do Castelo), há 350m do Bosque dos Italianos, há um centro de bairro, com comércio local. A área institucional longilínea, no sentido NE-SO é o Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), local bastante arborizado. A porcentagem de bosques e matas (0,90%) é representada pelos Bosques dos Italianos e dos Alemães. O terreno desta zona tem um leve declive: a Torre do Castelo é o



ponto mais elevado e a fronteira com a área central, na Av. Orozimbo Maia, é o ponto mais baixo.

A **Zona 3** (Figura 6.8) caracteriza-se pela verticalização e predomínio da atividade comercial e de serviços, com 20,43% de ocupação por lotes com edifícios baixos e 9,13% por lotes com edifícios altos (Tabela 6.4). O percurso parte da Av. Orozimbo Maia, na fronteira com a Zona 2, sobre o Córrego do Saneamento, afluente do Ribeirão das Anhumas, e termina no Bosque dos Jequitibás, na fronteira com a Zona 4. Este bosque juntamente com outro pequeno fragmento florestal, localizado ao lado do estádio de futebol, ocupam 3,34%.

O Bosque dos Jequitibás possui características semelhantes aos demais já apresentados, porém, como em princípio a área central não faria parte das análises, o seu microclima não foi monitorado. Referências do microclima no Bosque dos Jequitibás são apresentadas em Castro (1999).

A **Zona 4** (Figura 6.9) é composta por vários bairros, predominando o uso residencial popular, com edificações de baixo gabarito (49,54%) (Tabela 6.5). O Bosque São José e o Bosque dos Guarantãs somam 0,87% das áreas de bosques e matas. O trajeto inicia-se na fronteira com a Zona 3, próximo do Bosque dos Jequitibás, inicialmente sobre um fundo de vale. Cortando a área, no sentido SE-NO, encontra-se o Cemitério da Saudade, cujos arredores são ocupados por galpões, comerciais e de serviços. O trajeto segue em direção ao Município de Valinhos, onde a ocupação é predominante urbana.

A **Zona 5** (Figura 6.10) localiza-se na fronteira com a área rural, sendo acessada pela Rodovia Dom Pedro I, e caracteriza-se pela ocupação predominantemente residencial de baixo gabarito, com loteamentos populares e condomínios horizontais fechados ocupando 49,16% da área (Tabela 6.6). Próximo da rodovia, no trecho inicial do percurso, há alguns edifícios baixos, ao lado há uma área extensa de pasto (7,22%). O Ribeirão das Anhumas e uma de suas nascentes, localizada no interior do Bosque da Paz, correspondem a 1,51% desta zona. As margens do ribeirão encontram-se, em parte, desprotegidas. Seu uso foi classificado como urbano, com 8,71% de ocupação, por conter alguns trechos arborizados, algumas construções e áreas com grama ou terra exposta. A área de mata, no interior do Bosque da Paz, representa 2,91% da zona.



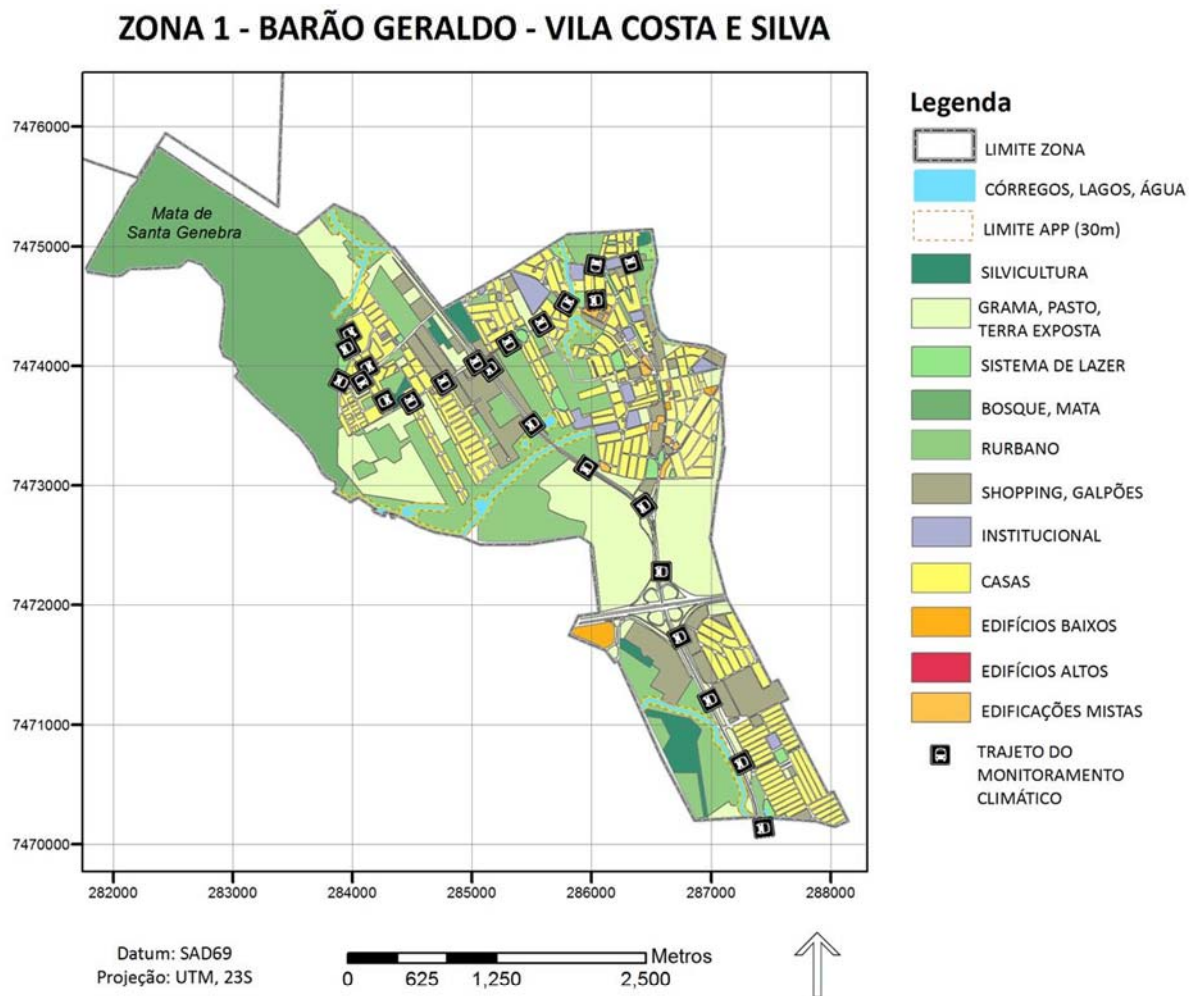


Figura 6.6 – Limites da Zona 1, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.

Tabela 6.2 - Porcentagens de usos do solo da Zona 1.

Classe	%	Classe	%
Córregos, lagos, água	0,35	Shopping, galpões	8,31
Silvicultura	2,26	Institucional	1,58
Gramma, pasto terra exposta	18,56	Casas	17,93
Sistema de lazer	1,88	Edifícios baixos	0,53
Bosque, mata	19,16	Edifícios altos	-
Rurbano	19,03	Vias	9,95
Edificações mistas	0,46	TOTAL	100

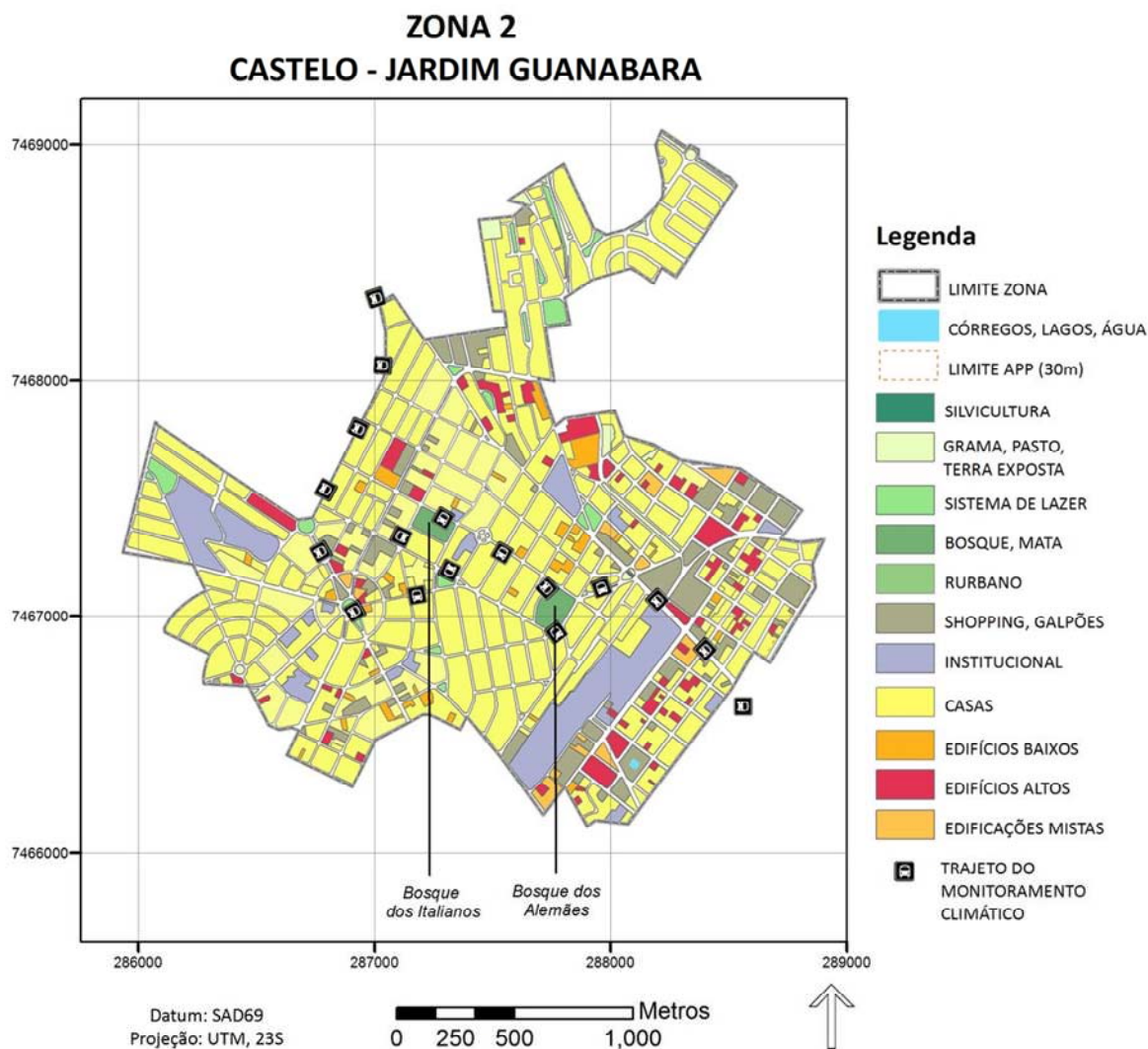


Figura 6.7 – Limites da Zona 2, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.

Tabela 6.3- Porcentagens de usos do solo da Zona 2.

Classe	%	Classe	%
Córregos, lagos, água	0,02	Shopping, galpões	6,91
Silvicultura	-	Institucional	7,59
Gramma, pasto terra exposta	1,21	Casas	54,10
Sistema de lazer	1,55	Edifícios baixos	1,82
Bosque, mata	0,90	Edifícios altos	4,00
Rurbano	-	Vias	20,73
Edificações mistas	1,15	TOTAL	100,00

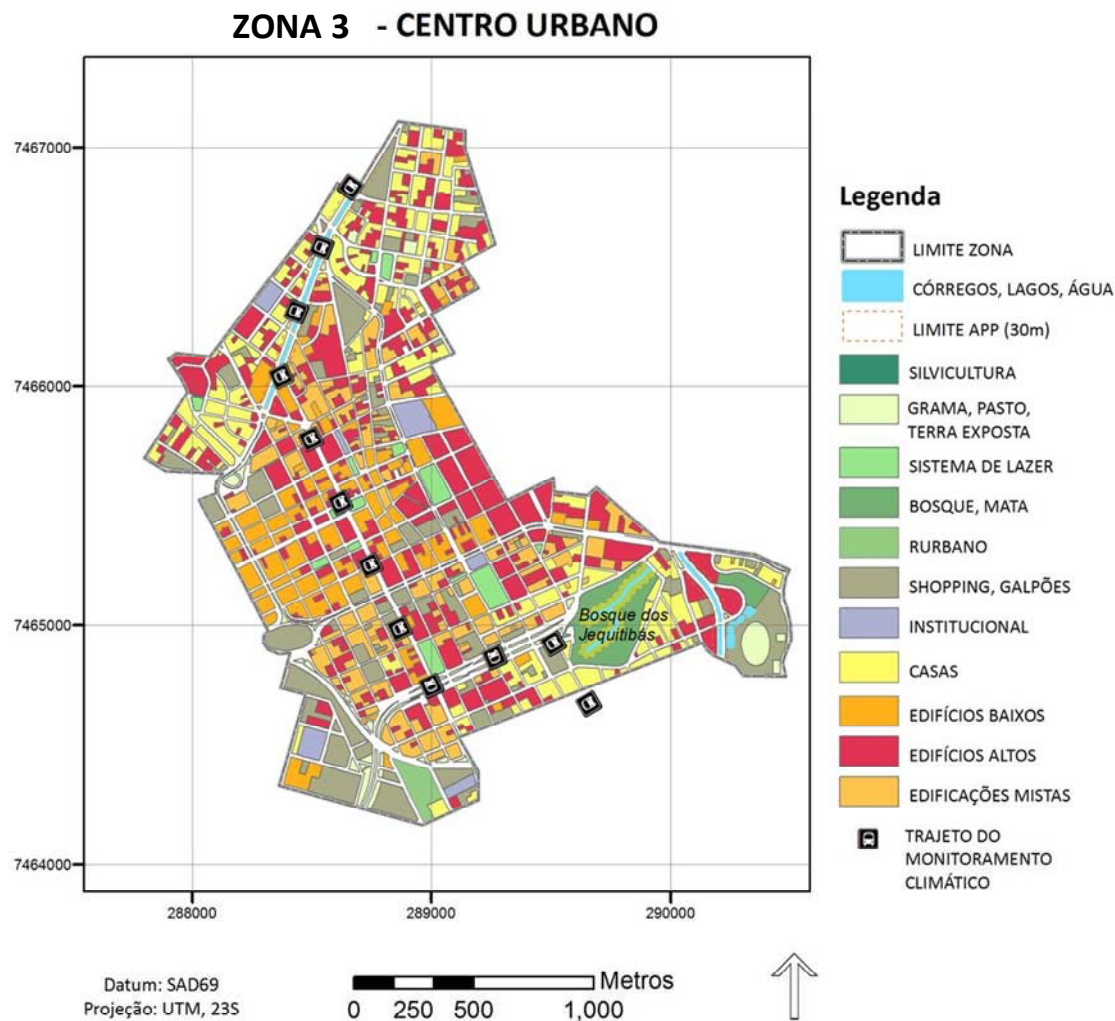


Figura 6.8 – Limites da Zona 3, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.

Tabela 5.4 - Porcentagens de usos do solo da Zona 3.

Classe	%	Classe	%
Córregos, lagos, água	0,22	Shopping, galpões	12,17
Silvicultura	-	Institucional	1,52
Grama, pasto terra exposta	2,62	Casas	12,36
Sistema de lazer	2,23	Edifícios baixos	9,13
Bosque, mata	3,34	Edifícios altos	20,43
Rurbano	0,73	Vias	25,67
Edificações mistas	9,56	TOTAL	100,00

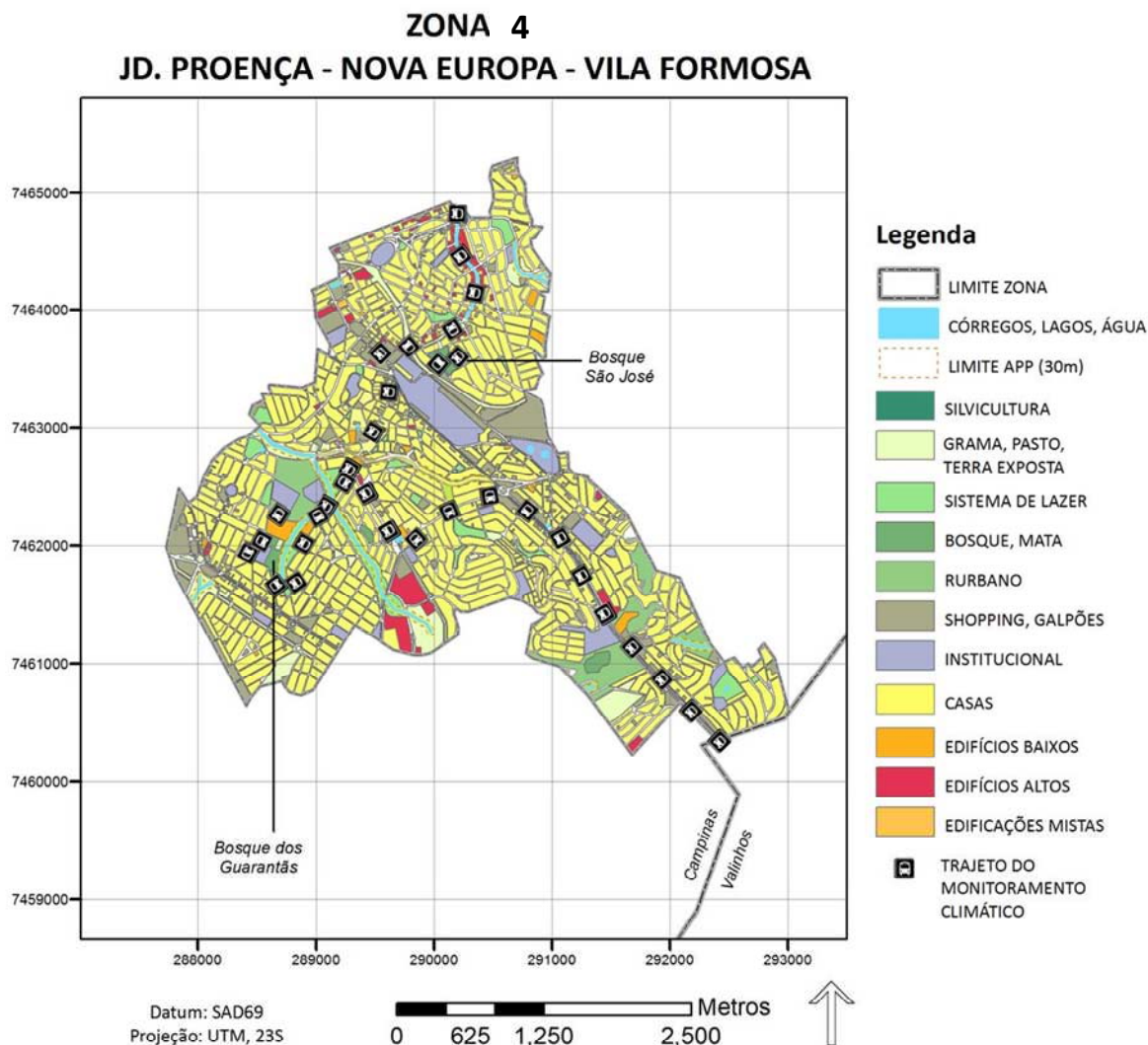


Figura 6.9 – Limites da Zona 4, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.

Tabela 6.4 - Porcentagens de usos do solo da Zona 4.

Classe	%	Classe	%
Córregos, lagos, água	0,22	Shopping, galpões	8,08
Silvicultura	-	Institucional	5,40
Grama, pasto terra exposta	5,31	Casas	49,54
Sistema de lazer	3,76	Edifícios baixos	1,20
Bosque, mata	0,87	Edifícios altos	2,50
Rurbano	3,83	Vias	19,24
Edificações mistas	0,04	TOTAL	100,00

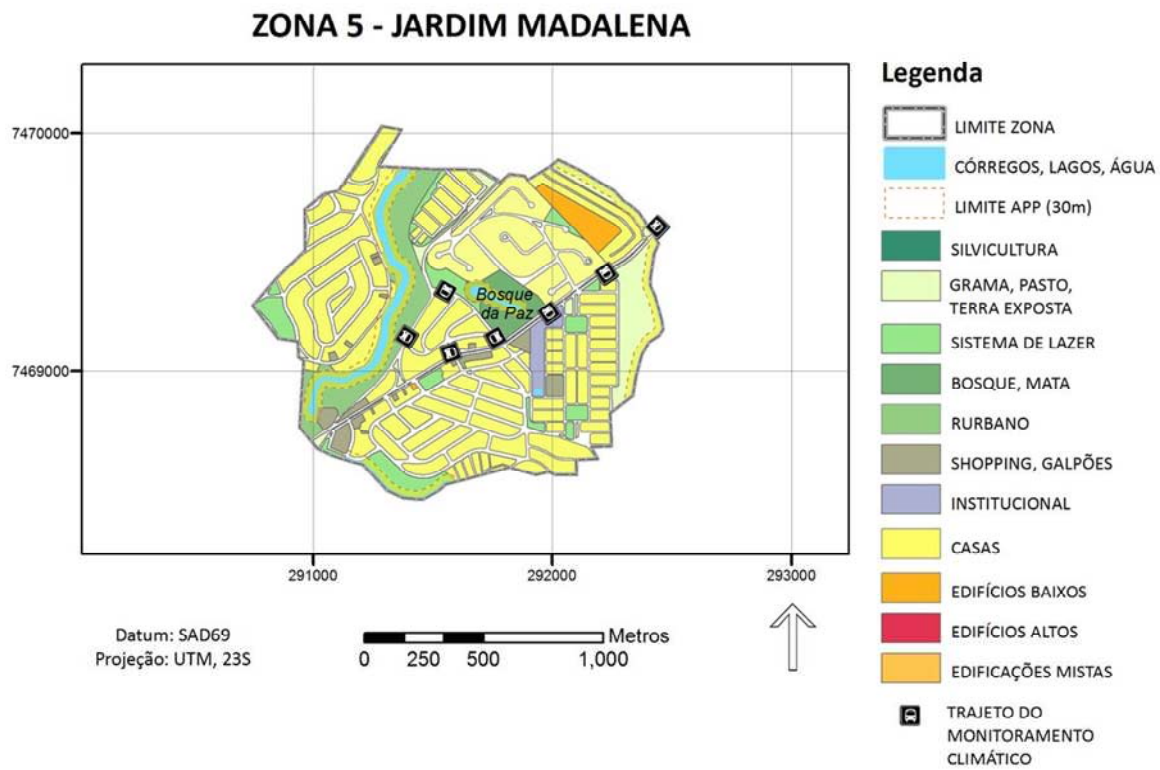


Figura 6.10 – Limites da Zona 5, classificação dos usos do solo e trajeto do monitoramento climático.

Tabela 6.5 - Porcentagens de usos do solo da Zona 5.

Classe	%	Classe	%
Córregos, lagos, água	1,51	Shopping, galpões	2,26
Silvicultura	-	Institucional	1,30
Gramma, pasto terra exposta	7,22	Casas	49,16
Sistema de lazer	5,94	Edifícios baixos	1,94
Bosque, mata	2,91	Edifícios altos	-
Rurbano	8,71	Vias	19,04
Edificações mistas	-	TOTAL	100,00

6.3.2 Condições de tempo no período de monitoramento

Os monitoramentos de temperatura e umidade do ar foram realizados entre agosto e setembro de 2009¹⁰, em dias de céu claro, com ausência de pluviosidade e brisa leve, predominando a direção dos ventos SE. Nos dias em que foram realizados os monitoramentos móveis (dia Juliano 241 a 244), as tardes foram quentes e secas, com temperatura média máxima do ar de 29,7 °C e média da umidade relativa mínima do ar de 26,1%. As manhãs foram amenas e úmidas, com temperatura média mínima de 12,4 °C e umidade relativa máxima do ar de 81,6%. As variáveis climáticas no período monitorado são apresentadas na Figura 6.11, observando-se um ligeiro aumento na temperatura máxima do ar e decréscimo na umidade relativa do ar mínima no período.

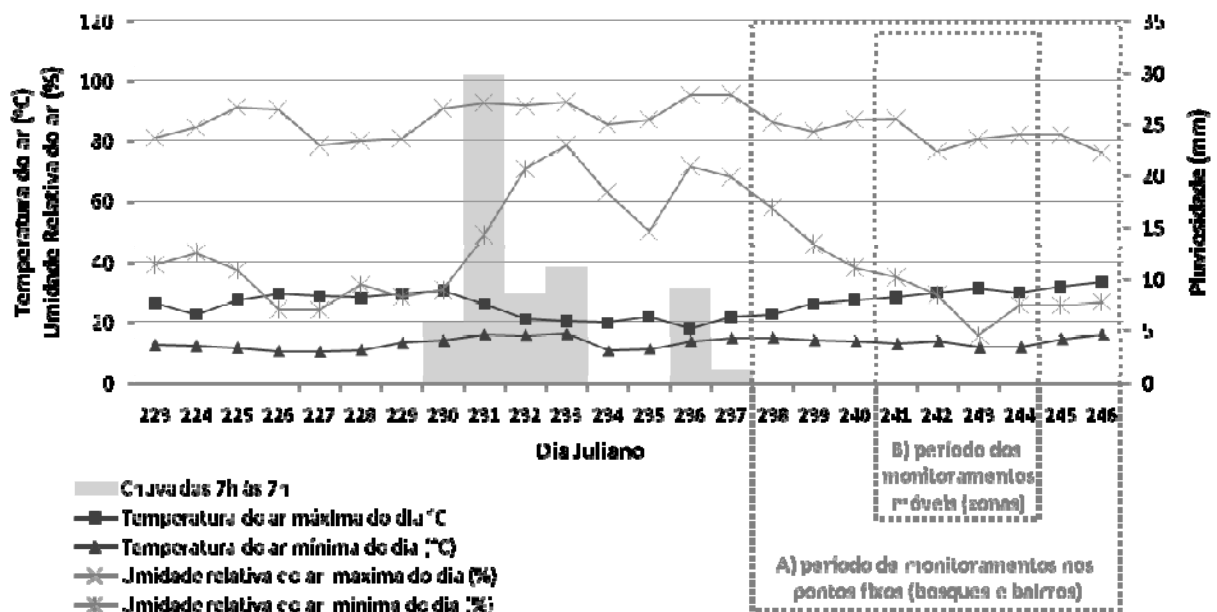


Figura 6.11 – Condições do tempo em Campinas entre 11/08/2009 (dia Juliano 223) e 03/09/2009 (dia Juliano 246), segundo a estação meteorológica do CEPAGRI, e delimitação do período de monitoramento do clima urbano.

¹⁰ Os monitoramentos móveis e dos sítios urbanos foram feitos no mesmo período dos monitoramentos no interior dos fragmentos florestais urbanos, em duas alturas, conforme apresentado no Capítulo 3, Sessão 3.5.2.

6.3.3 Temperatura do ar e umidade absoluta do ar local em diferentes zonas urbanas, em quatro dias e três horários, após a ocorrência de chuva

Zona 1

A Figura 6.12 a Tabela 6.7 mostram os resultados da temperatura do ar e umidade absoluta do ar, coletados por meio móvel na Zona 1, entre agosto e setembro de 2009.

A variação nas condições de tempo ao longo dos quatro dias de observação resultou em uma elevação na temperatura do ar, que pode ser observada nos três horários do dia. O aumento da umidade absoluta do ar foi mais sutil e pôde ser observado nos horários da manhã e noite, oscilando à tarde. Às 15:00h do segundo dia, houve uma diminuição acentuada na umidade absoluta do ar, voltando a aumentar no terceiro e quarto dias. O aquecimento do ar deve ter provocado a evaporação da água do solo e superfícies, que estava disponível em decorrência das precipitações anteriores ao início dos monitoramentos. Este aquecimento do ar deve também ter elevado a taxa de evapotranspiração das áreas vegetadas, principalmente no terceiro dia, levando ao aumento da umidade absoluta do ar.

A temperatura do ar apresentou-se mais baixa às 9:00h, aumentando às 15:00h e diminuindo novamente ao anoitecer, às 21:00h. No entanto, em resposta à elevada inércia térmica, que caracteriza o ambiente urbano e as florestas, a temperatura do ar às 21:00h esteve mais elevada que às 9:00h. Respondendo de maneira inversa, a umidade absoluta do ar apresentou-se mais elevada ao amanhecer, diminuindo com o aquecimento do ar e das superfícies durante à tarde, e elevando-se novamente à noite.

Os pontos de maior e menor aquecimento são apresentados na Figura 6.13. Observa-se que o comportamento térmico dos pontos ao longo do trajeto variou tanto em relação aos horários quanto aos dias de monitoramento. Esperava-se encontrar um padrão de comportamento térmico mais evidente, que diferenciase as manchas de ocupação presentes nesta zona, especialmente em relação à presença da Mata de Santa Genebra e de sua influência no entorno edificado.

Ainda assim, foi possível identificar o aquecimento ao longo do eixo rodoviário, próximo de áreas de pasto, no horário às 15:00h. Nos trechos urbanizados fronteiros à rodovia a temperatura do ar também esteve elevada às 9:00h e 21:00h. O superaquecimento



da rodovia às 15:00 evidenciou as diferenças térmicas com o fragmento florestal urbano, constatando-se um resfriamento do ar na aproximação da Mata de Santa Genebra.

No entanto, alguns pontos situados ao lado de um gramado fronteiro à mata, mostraram-se aquecidos, diferindo-se dos pontos localizados próximos ao fundo de vale. A diferença térmica entre estas duas localidades aumentou ao longo dos dias, alcançando 2,3 °C no quarto dia.

Por outro lado, a temperatura do ar esteve baixa em uma rua paralela ao fragmento florestal nos três horários do dia, indicando uma possível influência da floresta em um entorno mais amplo. Portanto, ainda que a fronteira estivesse aquecida, em decorrência da obstrução do céu pela densa folhagem das copas das árvores e dificuldade em perder calor para a atmosfera urbana, presume-se que a mata seja capaz de arrefecer as circunvizinhanças.



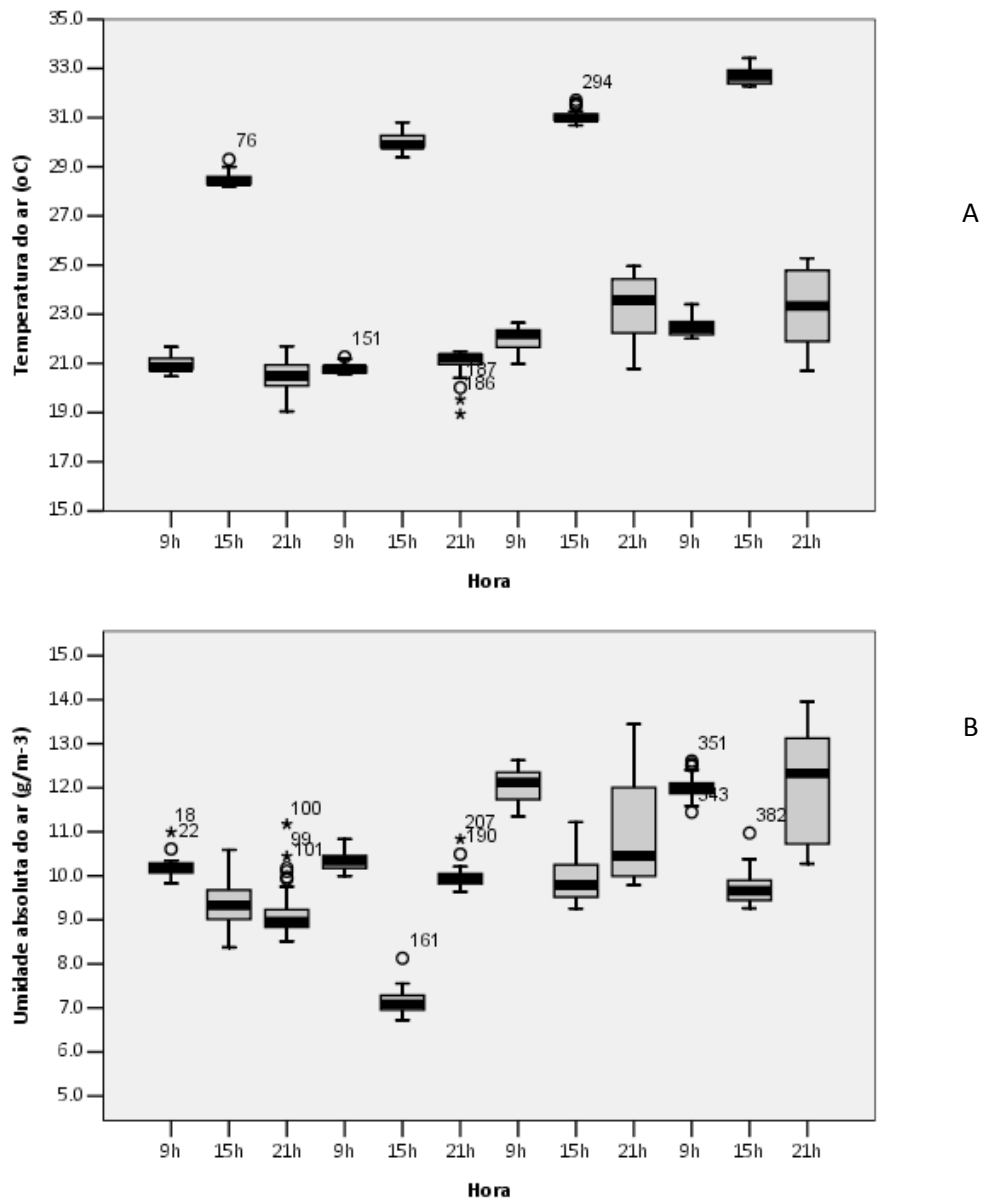


Figura 6.12 – Temperatura do ar [°C] (a) e umidade absoluta do ar [g/m³] (b) na Zona 1 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.

Em geral, observou-se maior amplitude dos dados em pontos com ampla abertura para o céu, coincidindo com as áreas de pasto, grama, terra exposta situadas ao longo da rodovia. Estes apresentaram temperaturas elevadas, mesmo nas proximidades da Mata de Santa Genebra, ocasionando ilhas de calor pontuais. Os locais menos aquecidos estavam próximos de superfícies d'água ou a uma distância entre 100-400 m da mata.

Diante destes resultados, acredita-se que a baixa ocupação da Zona 1, com a presença de terrenos baldios, áreas de pasto, terra exposta, bem como a presença da rodovia e de galpões industriais, exerçam pressão sobre o microclima da Mata de Santa Genebra, diminuindo a extensão e a magnitude do efeito de resfriamento sobre o entorno edificado. Além disso, o vento regional predominante ao atingir o local passou antes pela zona central, aquecendo a massa de ar.



Tabela 6.6 – Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m³], obtidos por meio móvel na Zona 1.

		Dia 1			Dia 2			Dia 3			Dia 4			Geral		
		9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h
Temperatura do ar	N	39	39	39	34	33	39	40	34	35	35	30	37	148	136	150
	Média	21,0	28,5	20,4	20,8	30,0	21,0	22,0	31,0	23,3	22,5	32,7	23,6	21,6	30,4	22,0
	Erro padrão	0,05	0,04	0,11	0,03	0,06	0,09	0,07	0,04	0,21	0,06	0,07	0,25	0,06	0,14	0,14
	D.P. média	0,33	0,23	0,66	0,17	0,35	0,54	0,44	0,24	1,26	0,33	0,37	1,50	0,77	1,58	1,74
	Variância	0,11	0,05	0,44	0,03	0,12	0,29	0,20	0,06	1,58	0,11	0,14	2,26	0,60	2,48	3,03
	Kurtose	-0,53	3,30	-0,46	1,24	0,16	6,12	-0,33	1,43	-1,26	0,26	-0,83	-1,40	-1,41	-1,08	-0,92
	D.P. kurtose	0,74	0,74	0,74	0,79	0,80	0,74	0,73	0,79	0,78	0,78	0,83	0,76	0,40	0,41	0,39
	Amplitude	1,2	1,1	2,7	0,7	1,4	2,5	1,7	1,0	4,2	1,4	1,1	4,7	2,9	5,2	6,5
	Mínimo	20,5	28,2	19,0	20,5	29,4	18,9	21,0	30,7	20,8	22,0	32,3	20,7	20,5	28,2	18,9
	Máximo	21,7	29,3	21,7	21,3	30,8	21,5	22,7	31,7	25,0	23,4	33,4	25,4	23,4	33,4	25,4
	Percentis	25	20,8	28,3	20,1	20,6	29,8	20,9	21,6	30,9	22,2	32,4	22,0	20,8	28,7	20,8
		50	20,8	28,4	20,5	20,8	29,9	21,2	22,2	31,0	23,6	32,7	24,3	21,5	30,6	21,4
		75	21,2	28,6	21,0	20,9	30,3	21,4	22,4	31,1	24,5	32,9	25,0	22,3	31,4	23,6
Umidade absoluta do ar	N	39	39	39	34	33	39	40	34	35	35	30	37	148	136	150
	Média	10,2	9,37	9,16	10,3	7,13	9,97	12,1	9,94	11,05	12,0	9,74	11,89	11,2	9,05	10,49
	Erro padrão	0,03	0,07	0,09	0,04	0,05	0,04	0,06	0,09	0,21	0,05	0,07	0,20	0,08	0,10	0,11
	D.P. média	0,20	0,46	0,57	0,22	0,28	0,22	0,37	0,51	1,24	0,28	0,37	1,20	0,94	1,18	1,37
	Variância	0,04	0,21	0,33	0,05	0,08	0,05	0,14	0,26	1,55	0,08	0,14	1,43	0,88	1,40	1,89
	Kurtose	6,18	0,25	3,34	-0,36	3,44	5,46	-1,02	-0,02	-0,99	-0,01	3,02	-1,38	-1,71	-0,65	-0,05
	D.P. kurtose	0,74	0,74	0,74	0,79	0,80	0,74	0,73	0,79	0,78	0,78	0,83	0,76	0,40	0,41	0,39
	Amplitude	1,2	2,22	2,66	0,8	1,40	1,20	1,3	1,96	3,65	1,2	1,71	3,68	2,8	4,49	5,44
	Mínimo	9,8	8,38	8,51	10,0	6,73	9,64	11,3	9,26	9,79	11,4	9,26	10,28	9,8	6,73	8,51
	Máximo	11,0	10,59	11,17	10,8	8,13	10,84	12,6	11,22	13,45	12,6	10,97	13,96	12,6	11,22	13,96
	Percentis	25	10,1	8,99	8,83	10,2	6,94	9,82	11,7	9,51	9,99	11,8	9,44	10,74	10,3	8,41
		50	10,2	9,34	8,96	10,3	7,09	9,95	12,1	9,80	10,46	12,0	9,66	11,99	11,4	9,43
		75	10,3	9,71	9,25	10,5	7,28	10,05	12,4	10,27	12,14	12,1	9,91	13,02	12,0	9,80

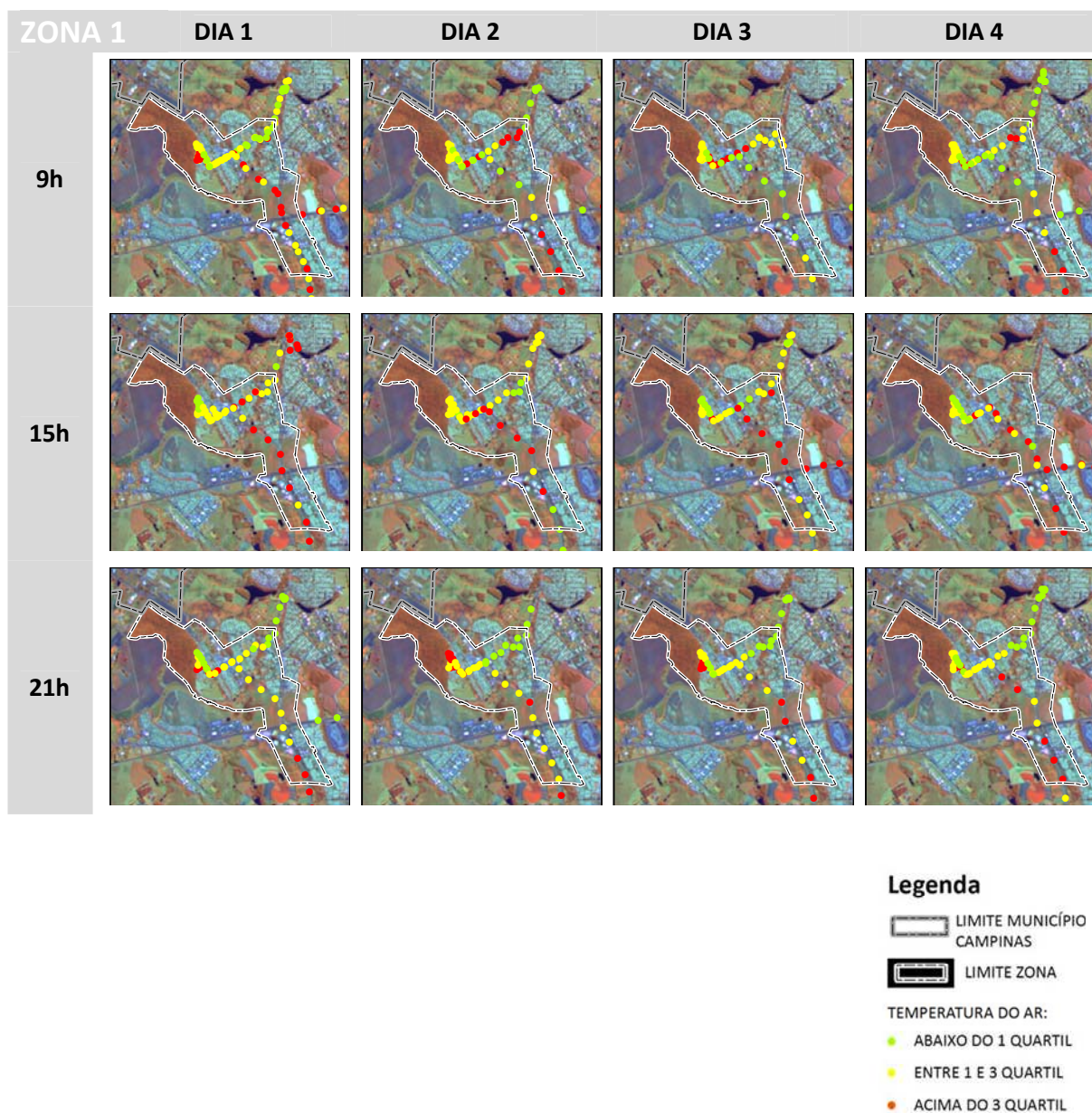


Figura 6.13 – Temperatura do ar [°C] na Zona 1 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP. Pontos em verde – temperatura do ar abaixo do 1º quartil; Pontos em amarelo – temperatura do ar interquartis; Pontos em vermelho – temperatura do ar acima do 3º quartil.

Zona 2

A Figura 6.14 e a Tabela 6.8 mostram os resultados da temperatura do ar e umidade absoluta do ar, coletados por meio móvel em três horários do dia, na Zona 2. Verificou-se que a média horária da temperatura do ar aumentou ao longo dos dias monitorados, porém a umidade absoluta elevou-se até o 3º dia, diminuindo no 4º dia. Isso pode indicar uma restrição na disponibilidade de água para a evaporação no último dia, contrapondo-se aos dados observados na Zona 1, onde verificou-se uma decréscimo seguido de aumento da umidade absoluta do ar.

Às 21:00h a temperatura do ar apresentou-se mais elevada que às 9:00h, em decorrência da inércia térmica da área urbana. A temperatura média máxima ocorreu às 15:00h, bem como a máxima das mínimas e a máxima das máximas, comparando-se os três horários analisados. Respondendo de maneira inversa à temperatura do ar, a umidade absoluta do ar apresentou-se mais elevada ao amanhecer, diminuindo com o aquecimento do ar e das superfícies durante à tarde e elevando-se novamente à noite.

A amplitude dos dados de temperatura do ar sofreu pequena variação horária, sendo, em geral, maior às 15:00h. Já a amplitude dos dados de umidade absoluta do ar variou ao longo dos horários monitorados, não se observando um padrão no seu comportamento.

A identificação dos locais mais aquecidos e menos aquecidos na Zona 2, através da análise dos percentis, é apresentada na Figura 6.15, sendo possível observar um padrão relacionado às manchas de usos do solo. Verificou-se um sobreaquecimento no centro de bairro, próximo à rotatória da Torre do Castelo, em todos os horários analisados. Neste local, apesar das características construtivas assemelharem-se a outros trechos do bairro, havia maior geração de calor por veículos, além de uma grande área pavimentada na rotatória.

As imediações do Bosque dos Italianos apresentaram-se sempre mais aquecidas que as do Bosque dos Alemães. No entanto, este local esteve mais frio que o centro de bairro, com diferenças térmicas mais evidentes às 15:00h e 21:00h. Apesar disso, somente no 2º dia à tarde o Bosque dos Italianos apresentou temperaturas inferiores ao 1º quartil, predominando uma situação de temperaturas moderadas a quentes (interquartil ou superior ao 3º quartil).



Já no Bosque dos Alemães a ocorrência de temperaturas baixas foi mais freqüente, por situar-se na porção mais baixa do relevo, distinguindo-se do Bosque dos Italianos.

A proximidade dos dois bosques ocasionou o arrefecimento do ar e uma homogeneidade térmica nos pontos localizados no trecho que os conecta, efeito que foi mais evidente às 15:00h. A proximidade dos fragmentos florestais beneficiou, portanto, um trecho urbano de 500 m.

Partindo do Bosque dos Alemães em direção ao Centro (SE), na porção mais baixa do terreno, houve uma tendência de resfriamento às 9:00h e às 21:00h, porém este trecho apresentou-se mais aquecido que os demais às 15:00h. Analisando as características de uso do solo, esperava-se observar temperaturas similares às do centro de bairro, o que não ocorreu. Presume-se que o ar fresco e úmido dos bosques deslocou-se em direção ao fundo de vale. O curso d'água, presente na Av. Orozimbo Maia (Zona 3), intensificou a capacidade de resfriamento do trecho urbano abaixo do Bosque dos Alemães. Este fenômeno foi mais evidente às 21:00h, e esteve mais suscetível às influências da área central às 15:00h.



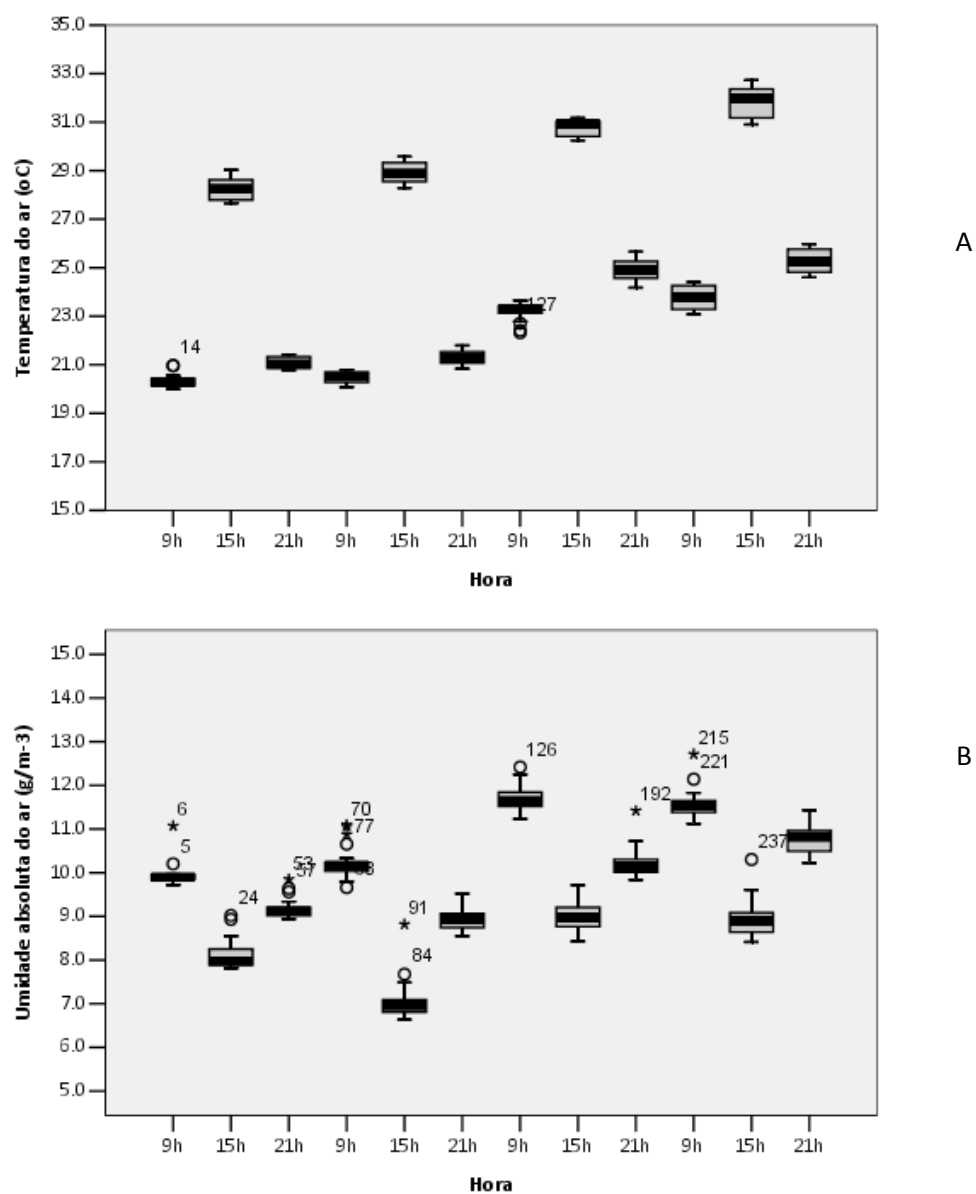


Figura 6.14 – Temperatura do ar [°C] (a) e umidade absoluta do ar [g/m³] (b) na Zona 2 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.

Tabela 6.7 – Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m³], obtidos por meio móvel na Zona 2.

		Dia 1			Dia 2			Dia 3			Dia 4			Geral			
		9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	
Temperatura do ar	N	14	22	22	23	19	24	28	26	22	25	24	20	90	91	88	
	Média	20,4	28,2	21,1	20,5	28,9	21,3	23,2	30,7	24,9	23,8	31,8	25,3	22,2	30,0	23,0	
	Erro padrão	0,08	0,10	0,05	0,05	0,10	0,06	0,06	0,06	0,09	0,10	0,13	0,11	0,16	0,16	0,21	
	D.P. média	0,30	0,45	0,24	0,24	0,44	0,27	0,32	0,33	0,44	0,49	0,62	0,51	1,56	1,50	2,00	
	Variância	0,09	0,20	0,06	0,06	0,20	0,07	0,10	0,11	0,19	0,24	0,39	0,26	2,43	2,26	3,99	
	Kurtose	0,73	-1,41	-1,65	-1,43	-1,28	-1,13	1,88	-1,81	-1,15	-1,77	-1,55	-1,70	-1,69	-1,25	-1,86	
	D.P. kurtose	1,15	0,95	0,95	0,93	1,01	0,92	0,86	0,89	0,95	0,90	0,92	0,99	0,50	0,50	0,51	
	Amplitude	1,0	1,4	0,6	0,7	1,3	1,0	1,3	0,9	1,5	1,3	1,8	1,4	4,4	5,1	5,2	
	Mínimo	20,0	27,7	20,8	20,1	28,3	20,8	22,3	30,2	24,2	23,1	30,9	24,6	20,0	27,7	20,8	
	Máximo	21,0	29,0	21,4	20,8	29,6	21,8	23,7	31,2	25,7	24,4	32,7	26,0	24,4	32,7	26,0	
	Percentis	25	20,1	27,8	20,9	20,3	28,5	21,1	23,1	30,4	24,6	23,3	31,2	24,8	20,5	28,6	21,1
		50	20,3	28,2	21,0	20,5	28,9	21,3	23,3	30,9	24,9	23,8	32,0	25,2	23,1	30,4	21,7
		75	20,5	28,6	21,3	20,7	29,4	21,5	23,4	31,0	25,3	24,3	32,4	25,8	23,4	31,1	25,0
Umidade absoluta do ar	N	14	22	22	23	19	24	28	26	22	25	24	20	90	91	88	
	Média	9,98	8,13	9,18	10,22	7,08	8,95	11,70	9,00	10,24	11,57	8,94	10,76	11,02	8,37	9,74	
	Erro padrão	0,09	0,07	0,05	0,08	0,11	0,05	0,05	0,06	0,08	0,06	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	
	D.P. média	0,33	0,35	0,23	0,37	0,49	0,26	0,29	0,32	0,37	0,32	0,42	0,34	0,82	0,85	0,80	
	Variância	0,11	0,12	0,05	0,14	0,24	0,07	0,08	0,10	0,14	0,10	0,18	0,12	0,67	0,72	0,64	
	Kurtose	10,36	1,57	2,79	1,08	8,79	0,08	0,42	-0,14	3,86	6,28	3,66	-0,47	-1,32	-0,53	-1,14	
	D.P. kurtose	1,15	0,95	0,95	0,93	1,01	0,92	0,86	0,89	0,95	0,90	0,92	0,99	0,50	0,50	0,51	
	Amplitude	1,35	1,21	0,91	1,44	2,18	0,97	1,19	1,29	1,58	1,59	1,89	1,21	3,06	3,66	2,88	
	Mínimo	9,72	7,81	8,94	9,66	6,64	8,55	11,23	8,43	9,84	11,12	8,41	10,22	9,66	6,64	8,55	
	Máximo	11,07	9,02	9,85	11,10	8,82	9,52	12,42	9,72	11,42	12,72	10,30	11,43	12,72	10,30	11,43	
	Percentis	25	9,84	7,88	9,02	10,03	6,79	8,74	11,52	8,76	10,00	11,38	8,63	10,47	10,12	7,88	9,04
		50	9,89	7,98	9,12	10,17	6,96	8,94	11,64	8,98	10,15	11,53	8,90	10,82	11,35	8,63	9,60
		75	9,96	8,28	9,21	10,24	7,11	9,06	11,87	9,21	10,37	11,66	9,08	10,96	11,64	8,98	10,41

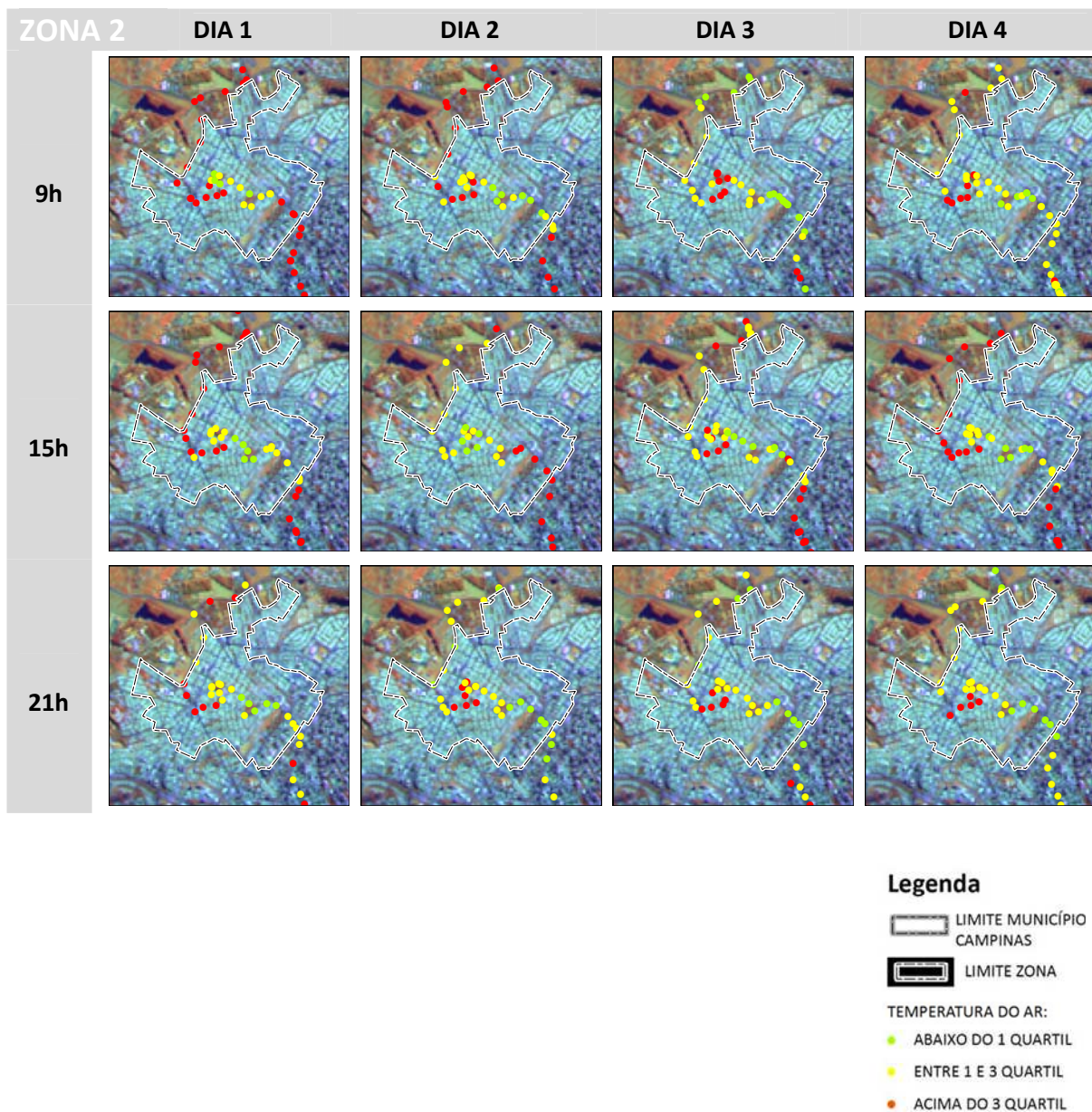


Figura 6.15 – Temperatura do ar [°C] na Zona 2 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP. Pontos em verde – temperatura do ar abaixo do 1º quartil; Pontos em amarelo – temperatura do ar interquartis; Pontos em vermelho – temperatura do ar acima do 3º quartil.

Zona 3

A Figura 6.16 e a Tabela 6.9 apresentam os resultados da temperatura do ar e umidade absoluta do ar, coletados por meio móvel em três horários do dia, na Zona 3 - Centro. Observa-se que houve um aumento na temperatura do ar ao longo dos quatro dias de monitoramento, acentuando-se no 3º dia. Do mesmo modo, ocorreu a elevação da umidade absoluta do ar até o 3º dia, diminuindo no último dia. Este mesmo comportamento fora observado na Zona 2, o que pode indicar ter havido uma restrição de água no solo e demais superfícies disponível para a evaporação, acompanhadas do aumento da temperatura do ar, predominando as trocas de calor sensível ao latente.

A umidade absoluta do ar apresentou-se mais elevada às 9:00h, diminuindo às 15:00h e aumentando novamente às 21:00h, respondendo inversamente à variação da temperatura do ar.

Portanto, há um limiar na taxa de evapotranspiração das florestas que responde às condições de tempo e à quantidade de água disponível no solo e na folhagem: a evapotranspiração é máxima com o solo úmido, se a atmosfera estiver quente e seca; e a evapotranspiração é mínima quando o solo está seco, se a atmosfera estiver quente e seca. Neste experimento há indícios de uma transição da primeira para a segunda condição.

A amplitude dos dados de temperatura do ar na Zona 3 foi maior às 9:00h, enquanto a amplitude dos dados de umidade absoluta do ar foi maior às 15:00h, nos dois primeiros dias de monitoramento, e às 21:00h, nos dois últimos dias. Isso significa que as diferenças térmicas intra-urbanas nesta zona foram mais visíveis e significativas pela manhã, três horas após o nascer do sol, mas as diferenças na umidade absoluta do ar foram mais evidentes quando a umidade relativa do ar estava baixa.

A análise dos percentis, com a identificação dos locais de maior e menor aquecimento, consta na Figura 6.17. O trecho percorrido na Av. Orozimbo Maia, ao longo do curso d'água, apresentou-se aquecido (temperatura superior ao 3º quartil) ou com temperatura moderada (temperatura interquartis) às 9:00h, tendendo a resfriar-se ao longo do dia, em comparação aos demais pontos.

Os locais mais aquecidos variaram em relação ao horário do dia. Às 9:00h os pontos mais aquecidos estavam situados na parte baixa da Av. Francisco Glicério, caracterizada



pela predominância de edifícios altos. Já às 15:00h, os pontos de maior aquecimento estavam sob a Av. Aquidabã, que também apresentava edifícios altos, porém mais distantes entre si (menor relação H/W) recebendo mais radiação solar no nível do piso e superfícies verticais quando comparado ao anterior. Às 21:00h foram as ruas fronteiriças ao Bosque dos Jequitibás que apresentaram temperaturas mais elevadas. Assim, a influência deste fragmento florestal no clima do entorno edificado teve baixa extensão, configurando uma ilha de calor no período noturno e uma ilha de frescor pela manhã e tarde.

Observou-se ainda que com o passar dos dias e diminuição do conteúdo de água disponível para a evaporação e resfriamento do ar, as imediações do Bosque dos Jequitibás aqueceram-se mais rapidamente. No entanto, no 3º dia, às 9:00h, observou-se um aumento do efeito do bosque sobre o clima do entorno construído, fato que pode ser relacionado ao aumento acentuado da temperatura do ar concomitante à umidade absoluta do ar, com posterior decréscimo. Isso pode ter exigido da vegetação uma taxa elevada de evapotranspiração.

Verificou-se, ainda, que o efeito do Bosque dos Jequitibás sobre o entorno se diferenciou entre as zonas 3 e 4, sendo mais baixa na primeira, em decorrência da verticalização.



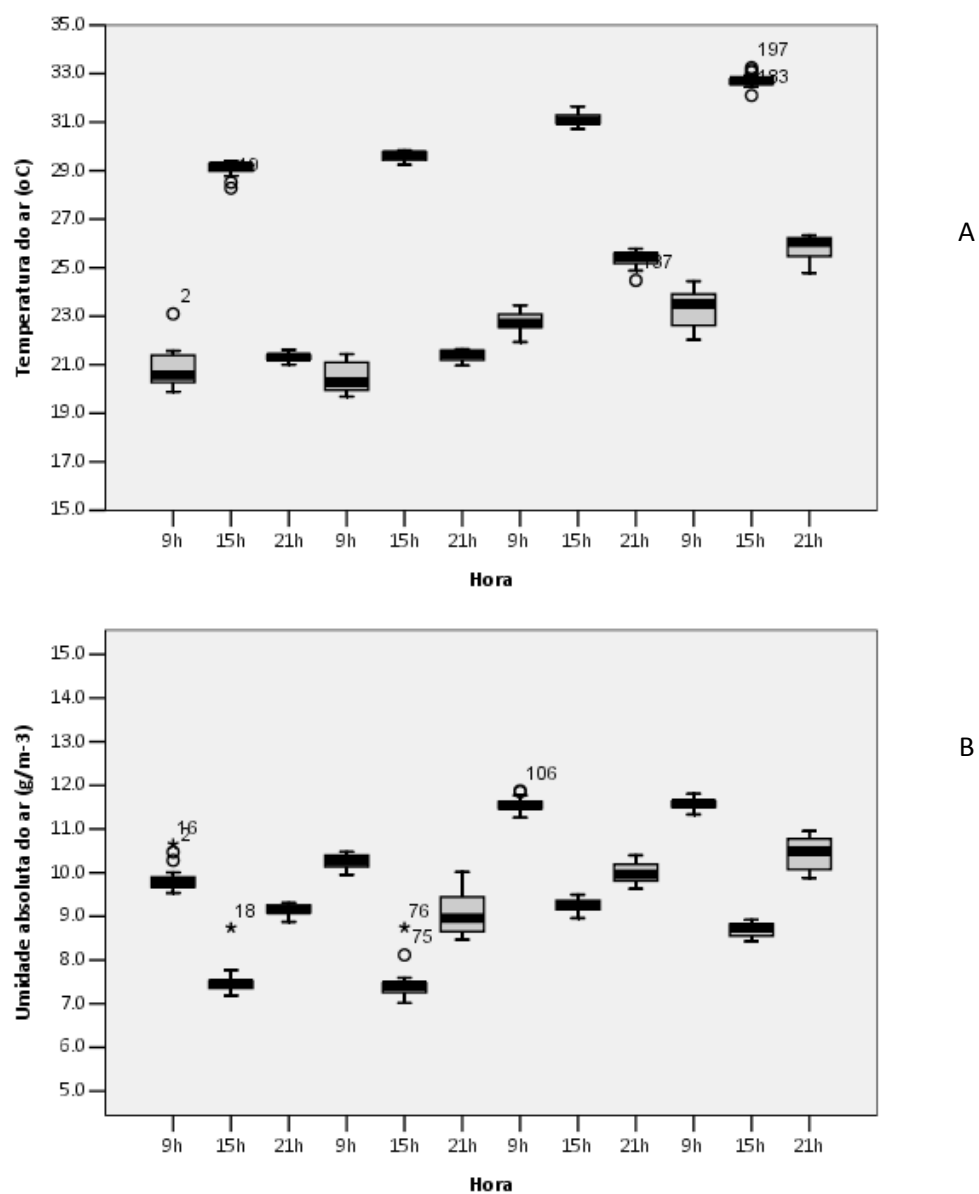
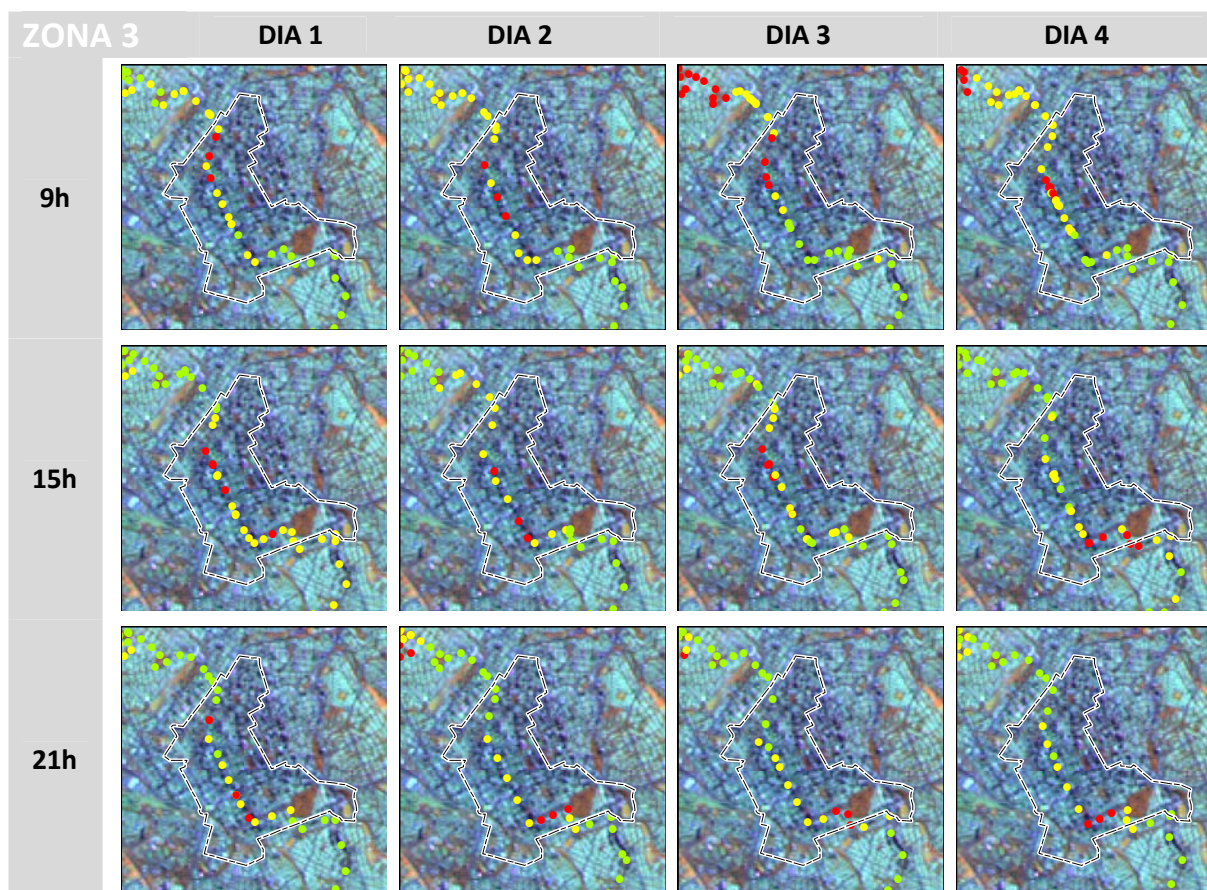


Figura 6.16 – Temperatura do ar [°C] (a) e umidade absoluta do ar [g/m³] (b) na Zona 3 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.

Tabela 6.8 – Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m³], obtidos por meio móvel na Zona 3.

		Dia 1			Dia 2			Dia 3			Dia 4			Geral		
		9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h
Temperatura do ar	N	17	21	15	14	15	12	18	24	13	33	18	13	82	78	53
	Média	20,9	29,1	21,3	20,5	29,6	21,4	22,8	31,1	25,4	23,3	32,7	25,8	22,2	30,6	23,4
	Erro padrão	0,20	0,06	0,04	0,17	0,05	0,07	0,09	0,05	0,10	0,12	0,06	0,14	0,15	0,16	0,30
	D.P. média	0,82	0,28	0,15	0,62	0,20	0,24	0,40	0,23	0,38	0,69	0,27	0,49	1,38	1,42	2,18
	Variância	0,67	0,08	0,02	0,39	0,04	0,06	0,16	0,05	0,14	0,48	0,07	0,24	1,90	2,02	4,74
	Kurtose	1,95	2,04	0,30	-1,68	-1,00	-1,21	-0,06	-0,24	1,60	-1,11	1,02	-0,48	-1,15	-1,25	-1,96
	D.P. kurtose	1,06	0,97	1,12	1,15	1,12	1,23	1,04	0,92	1,19	0,80	1,04	1,19	0,53	0,54	0,64
	Amplitude	3,2	1,1	0,6	1,8	0,6	0,7	1,5	0,9	1,3	2,4	1,1	1,6	4,8	5,0	5,4
	Mínimo	19,9	28,3	21,0	19,7	29,2	21,0	21,9	30,7	24,5	22,0	32,1	24,8	19,7	28,3	21,0
	Máximo	23,1	29,4	21,6	21,4	29,8	21,6	23,5	31,7	25,8	24,4	33,2	26,3	24,4	33,2	26,3
	Percentis	25	20,2	28,9	21,2	19,9	29,3	21,2	22,5	30,9	25,2	22,6	32,6	25,5	21,1	29,3
		50	20,6	29,2	21,3	20,3	29,6	21,4	22,7	31,0	25,5	23,5	32,7	26,1	22,5	30,9
		75	21,4	29,3	21,4	21,1	29,8	21,6	23,1	31,3	25,6	23,9	32,8	26,2	23,5	31,6
Umidade absoluta do ar	N	17	21	15	14	15	12	18	24	13	33	18	13	82	78	53
	Média	9,85	7,50	9,15	10,25	7,48	9,08	11,57	9,25	10,01	11,57	8,69	10,44	10,99	8,31	9,66
	Erro padrão	0,08	0,07	0,04	0,04	0,11	0,14	0,04	0,03	0,07	0,02	0,04	0,11	0,09	0,09	0,09
	D.P. média	0,32	0,31	0,14	0,15	0,44	0,50	0,16	0,13	0,25	0,11	0,16	0,39	0,78	0,83	0,67
	Variância	0,10	0,10	0,02	0,02	0,19	0,25	0,03	0,02	0,06	0,01	0,03	0,15	0,61	0,70	0,45
	Kurtose	1,57	13,03	0,13	-0,79	4,81	-0,70	-0,10	-0,39	-1,58	-0,07	-1,43	-1,52	-1,30	-1,69	-0,87
	D.P. kurtose	1,06	0,97	1,12	1,15	1,12	1,23	1,04	0,92	1,19	0,80	1,04	1,19	0,53	0,54	0,64
	Amplitude	1,12	1,55	0,44	0,52	1,73	1,55	0,62	0,54	0,77	0,47	0,50	1,07	2,34	2,48	2,49
	Mínimo	9,54	7,19	8,87	9,96	7,01	8,47	11,26	8,96	9,63	11,33	8,43	9,88	9,54	7,01	8,47
	Máximo	10,65	8,74	9,31	10,48	8,74	10,01	11,88	9,50	10,40	11,80	8,92	10,95	11,88	9,50	10,95
	Percentis	25	9,65	7,34	9,06	10,13	7,20	8,57	11,46	9,16	9,79	11,50	8,54	10,05	10,25	7,45
		50	9,75	7,45	9,15	10,27	7,42	8,96	11,55	9,24	9,97	11,58	8,75	10,50	11,46	8,56
		75	9,95	7,53	9,27	10,40	7,48	9,48	11,65	9,37	10,22	11,64	8,82	10,79	11,60	10,19



Legenda

- LIMITE MUNICÍPIO CAMPINAS
- LIMITE ZONA
- TEMPERATURA DO AR:
 - ABAIXO DO 1º QUARTIL
 - ENTRE 1 E 3 QUARTIL
 - ACIMA DO 3º QUARTIL

Figura 6.17 – Temperatura do ar [°C] na Zona 3 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP. Pontos em verde – temperatura do ar abaixo do 1º quartil; Pontos em amarelo – temperatura do ar interquartis; Pontos em vermelho – temperatura do ar acima do 3º quartil.

Zona 4

A Figura 6.18 e a Tabela 6.10 mostram os resultados da temperatura do ar e umidade absoluta do ar para a Zona 4. Do mesmo modo que nas zonas já analisadas, observou-se que as médias horárias das variáveis climáticas aumentaram ao longo dos quatro dias, acentuando-se no 3º dia. Verificou-se, também, a intensificação das diferenças térmicas intra-urbanas com o aumento da temperatura média diária.

Apesar da média horária da temperatura do ar ser menor às 9:00h, a temperatura mínima observada nos dois primeiros dias ocorreu às 21:00h, indicando que nesta zona existem pontos com elevada taxa de resfriamento, distinguindo-se dos demais. Já os valores máximos para a temperatura do ar ocorreram às 15:00h.

A umidade absoluta do ar respondeu de maneira inversa ao comportamento térmico diário. Houve um aumento até o 3º dia, com um decréscimo sutil às 15:00 do 4º dia, quando houve também grande amplitude dos dados.

A amplitude dos dados de temperatura sempre foi maior no horário noturno, evidenciando os pontos de maior e menor aquecimento. Já a maior amplitude dos dados de umidade absoluta do ar ocorreu às 15:00h, nos dois primeiros dias, e às 21:00h, nos dois últimos dias. O mesmo ocorreu na Zona 3, indicando que as diferenças na umidade absoluta do ar foram mais evidentes quando a umidade relativa do ar estava baixa.

A identificação dos locais de maior e menor aquecimento, possibilitada pela análise dos percentis, é apresentada na Figura 6.19. No trecho inicial do percurso, na fronteira com a Zona 3, entre o Bosque dos Jequitibás e o Bosque São José, a temperatura elevou-se ao longo dos quatro dias de monitoramento. Às 15:00h, nos dois primeiros dias, o trecho apresentou temperaturas abaixo do 1º quartil, porém a partir do 3º dia esta região sofreu um aquecimento em todos os horários. Observou-se, ainda, que às 21:00h a temperatura esteve sempre elevada, apesar deste trecho viário situar-se sobre um fundo de vale e entre dois fragmentos florestais. O trecho é caracterizado por edifícios altos ao longo da avenida sobre o vale; predominam as atividades comerciais e de serviços, com tráfego intenso e congestionamentos em horários de pico.

As imediações do Bosque São José apresentaram baixas temperaturas, comparativamente ao trecho percorrido sobre a avenida. Apesar disso, a temperatura



elevada do cânion urbano e geração de calor influenciaram as imediações do bosque, diminuindo o efeito esperado sobre o clima urbano. Neste local, observaram-se alguns pontos com temperatura do ar abaixo do 1º quartil nos três primeiros dias às 9:00h e às 15:00h, apesar de ser notável o aquecimento da área ao longo dos quatro dias de monitoramento. Às 21:00h o local sempre apresentou temperaturas superiores ao 3º quartil. Verificou-se ainda uma diferença térmica entre as duas faces do bosque, sendo mais fria a rua voltada para SO, na direção do Cemitério da Saudade, e mais quente a face NE, voltada para o cânion urbano.

A mudança no padrão de uso do solo na região próxima ao Cemitério da Saudade, caracterizada pelo baixo gabarito e maior abertura para o céu, acarretou a diminuição da temperatura do ar às 9:00h e 21:00h, em relação ao cânion urbano, devido à menor inércia térmica. Em alguns momentos a temperatura do ar na região do cemitério esteve abaixo do 1º quartil. Já às 15:00h a temperatura do ar nestas imediações manteve-se igual ou superior à do cânion. A grande área com solo permeável que compõe o cemitério é responsável pelo aumento na amplitude térmica do local, caracterizando uma situação semelhante à do ambiente rural.

Nas imediações do Bosque dos Guarantãs também houve uma diferença térmica em decorrência da presença do sistema de lazer, anexo ao fragmento florestal. Apesar do local ter um curso d'água e um lago, esta face do parque apresentou-se mais aquecida que a face onde se concentra a massa de vegetação. Somente no 2º dia às 15:00h houve uma inversão neste padrão de comportamento térmico, coincidindo com a máxima amplitude nos dados de umidade absoluta do ar, como citado anteriormente. Nas ruas lindeiras ao Bosque dos Guarantãs observaram-se momentos ocasionais em que a temperatura do ar esteve abaixo do 1º quartil: no 2º dia às 15:00h, possivelmente em decorrência da alta taxa de evapotranspiração e aumento das trocas de calor latente; e no 1º e 4º dia às 21:00h.

Em direção ao fundo de vale, à NE, existiam terrenos baldios que estavam sendo ocupados por um condomínio de edifícios baixos. A temperatura do ar neste local esteve ligeiramente mais fria que à montante, fato que pode ser explicado pelo acúmulo do ar arrefecido pelo bosque no fundo de vale.



Ao aproximar de Valinhos, verificou-se uma tendência ao resfriamento ao longo dos dias, nos horários das 9:00h e 15:00h. Possivelmente esta região sofreu influência dos ventos SE provenientes do ambiente rural, arrefecendo a área e contrastando-a com os demais pontos nos dias mais quentes.

Na Zona 4 verificou-se que presença de gramado e a verticalização elevaram a temperatura do ar nas ruas fronteiriças dos dois fragmentos florestais. Conseqüentemente, a extensão do efeito sobre o clima do entorno foi pequena, na abrangência microclimática, mesmo na presença de curso d'água.



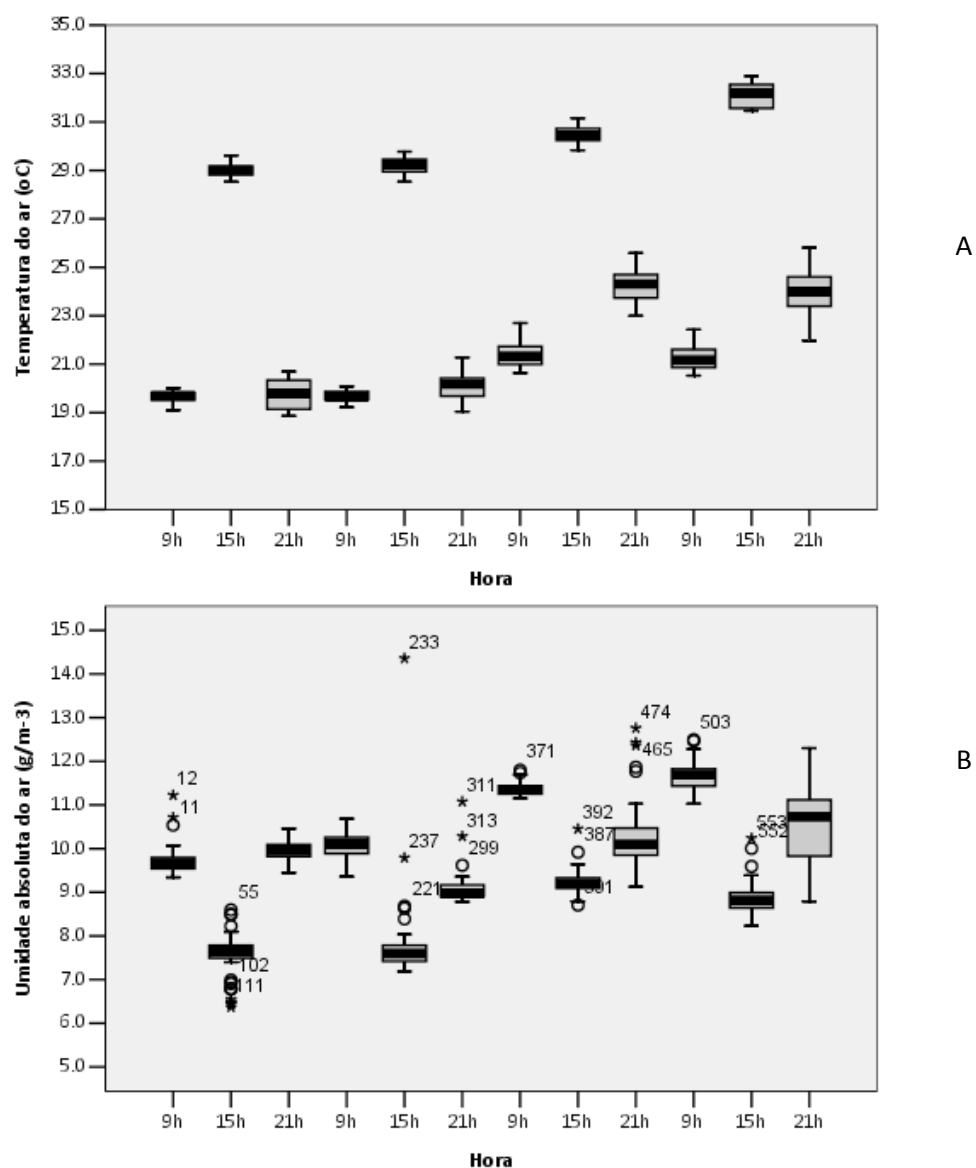


Figura 6.18 – Temperatura do ar [°C] (a) e umidade absoluta do ar [g/m³] (b) na Zona 4 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.

Tabela 6.9 – Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m³], obtidos por meio móvel na Zona 4.

		Dia 1			Dia 2			Dia 3			Dia 4			Geral		
		9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h
Temperatura do ar	N	54	57	51	54	52	55	57	56	50	54	54	53	219	219	209
	Média	19,7	29,0	19,7	19,7	29,2	20,1	21,4	30,5	24,2	21,3	32,2	24,0	20,5	30,2	22,0
	Erro padrão	0,03	0,03	0,08	0,03	0,05	0,08	0,08	0,04	0,08	0,07	0,07	0,10	0,06	0,09	0,15
	D.P. média	0,21	0,26	0,59	0,22	0,33	0,61	0,58	0,30	0,58	0,50	0,49	0,74	0,94	1,30	2,19
	Variância	0,04	0,07	0,35	0,05	0,11	0,37	0,34	0,09	0,34	0,25	0,24	0,54	0,88	1,69	4,80
	Kurtose	0,16	-0,38	-1,61	-0,49	-0,46	-0,87	-0,71	-0,51	-0,68	-0,10	-1,44	-0,01	-1,00	-0,89	-1,69
	D.P. kurtose	0,64	0,62	0,66	0,64	0,65	0,63	0,62	0,63	0,66	0,64	0,64	0,64	0,33	0,33	0,33
	Amplitude	0,9	1,1	1,8	0,9	1,2	2,2	2,1	1,3	2,6	1,9	1,4	3,8	3,6	4,4	6,9
	Mínimo	19,1	28,5	18,9	19,2	28,5	19,0	20,6	29,8	23,0	20,5	31,5	22,0	19,1	28,5	18,9
	Máximo	20,0	29,6	20,7	20,1	29,8	21,3	22,7	31,2	25,6	22,4	32,9	25,8	22,7	32,9	25,8
	Percentis	25	19,5	28,8	19,1	19,5	28,9	19,7	21,0	30,2	23,7	20,9	31,6	23,4	19,7	29,1
		50	19,7	29,0	19,8	19,7	29,3	20,2	21,3	30,4	24,3	21,2	32,2	24,0	20,6	29,8
		75	19,8	29,2	20,3	19,9	29,5	20,4	21,7	30,7	24,7	21,6	32,6	24,6	21,3	31,2
Umidade absoluta do ar	N	54	57	51	54	52	55	57	56	50	54	54	53	219	219	209
	Média	9,72	7,54	9,95	10,09	7,66	9,08	11,38	9,23	10,27	11,69	8,87	10,55	10,73	8,36	9,95
	Erro padrão	0,04	0,07	0,03	0,04	0,06	0,05	0,02	0,04	0,11	0,04	0,05	0,11	0,06	0,06	0,06
	D.P. média	0,32	0,53	0,24	0,27	0,44	0,36	0,16	0,27	0,80	0,31	0,36	0,82	0,87	0,94	0,82
	Variância	0,10	0,28	0,06	0,07	0,10	0,13	0,03	0,07	0,64	0,10	0,13	0,67	0,76	0,87	0,68
	Kurtose	10,23	0,23	0,18	0,12	10,57	18,28	0,13	7,85	2,45	0,45	4,21	-0,54	-1,51	6,39	0,41
	D.P. kurtose	0,64	0,62	0,66	0,64	0,65	0,63	0,62	0,63	0,66	0,64	0,64	0,64	0,33	0,33	0,33
	Amplitude	1,88	2,23	1,01	1,33	2,59	2,29	0,65	1,75	3,64	1,47	2,01	3,51	3,15	4,08	3,98
	Mínimo	9,34	6,37	9,45	9,36	7,19	8,78	11,15	8,71	9,13	11,02	8,23	8,79	9,34	6,37	8,78
	Máximo	11,22	8,60	10,46	10,69	9,78	11,08	11,80	10,45	12,76	12,50	10,24	12,30	12,50	10,45	12,76
	Percentis	25	9,53	7,45	9,80	9,88	7,42	8,91	11,25	9,09	9,85	11,43	8,64	9,82	9,85	7,61
		50	9,66	7,66	9,96	10,11	7,60	8,97	11,34	9,19	10,09	11,69	8,81	10,74	11,15	8,51
		75	9,79	7,80	10,09	10,26	7,79	9,17	11,45	9,33	10,48	11,84	9,00	11,12	11,44	9,09

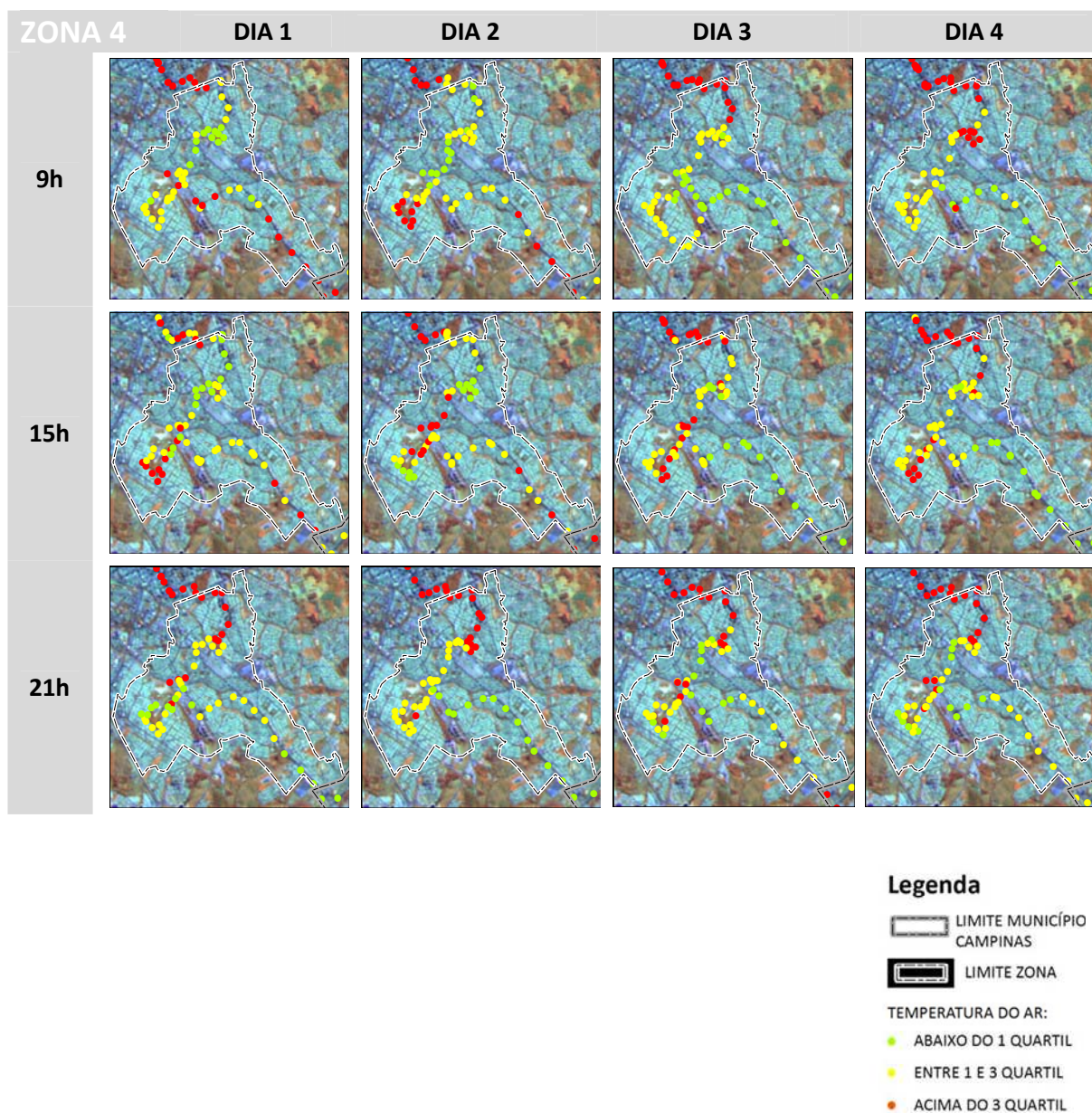


Figura 6.19 – Temperatura do ar [°C] na Zona 4 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP. Pontos em verde – temperatura do ar abaixo do 1º quartil; Pontos em amarelo – temperatura do ar interquartis; Pontos em vermelho – temperatura do ar acima do 3º quartil.

Zona 5

Os resultados dos monitoramentos de temperatura do ar e umidade absoluta do ar por meio móvel da Zona 5 são apresentados na Figura 6.20 e Tabela 6.11. Assim como nas demais áreas, verificou-se um aumento da temperatura do ar e umidade absoluta do ar ao longo dos quatro dias monitorados.

A temperatura média mínima tendeu a ocorrer às 21:00h, indicando que nesta zona a taxa de resfriamento é superior à taxa de aquecimento, sofrendo, porém, alterações ao longo dos quatro dias. As diferenças térmicas entre os pontos também foram mais acentuadas à noite. As temperaturas mais elevadas ocorreram às 15:00h, como nos demais casos.

A umidade absoluta apresentou-se mais elevada às 9:00h, diminuindo às 15:00h e elevando-se às 21:00h. A diferença de umidade entre os pontos variou entre os dias e horários, sendo que a amplitude máxima observada ocorreu no 3º dia à noite, mantendo-se elevada no último dia, em todos os horários.

Como o percurso para a aquisição das variáveis climáticas na Zona 5 foi curto, a variação dos dados foi pequena, não observando-se um padrão no comportamento térmico que represente as manchas de usos do solo, como mostrado na Figura 6.21.

Verificou-se uma tendência ao aquecimento nos pontos mais próximos à rodovia, influenciados pela ampla pavimentação e fronteira com a zona rural. Esperava-se que a temperatura do ar na rua lateral do Bosque da Paz e no fundo de vale, próximo ao Ribeirão das Anhumas, fosse mais baixa que nos demais pontos, o que não foi observado. Neste local verificou-se a presença de uma extensa área de gramado, que faz parte do sistema de lazer anexo ao Bosque da Paz. Os pontos de temperatura abaixo do 1º quartil ocorreram de maneira ocasional, variando entre os dias e horários.

Predominaram as situações em que o centro da área monitorada apresentou temperaturas inferiores aos pontos próximos da rodovia, com exceção do 3º e 4º dia, às 9:00h, momentos em que tanto as imediações do bosque quanto do curso d'água estiveram mais aquecidos que o trecho próximo à rodovia.

Notou-se, portanto, certa homogeneidade na distribuição térmica, que pode ter sido provocada tanto pela influência das massas de ar provenientes da zona rural, como pelas



características físicas do bairro, que apresentou altos percentuais de lotes edificados. Ressalta-se que o fragmento florestal e as margens do curso d'água estavam mal conservados, diminuindo, possivelmente, o potencial de resfriamento do ar na ambiência urbana.

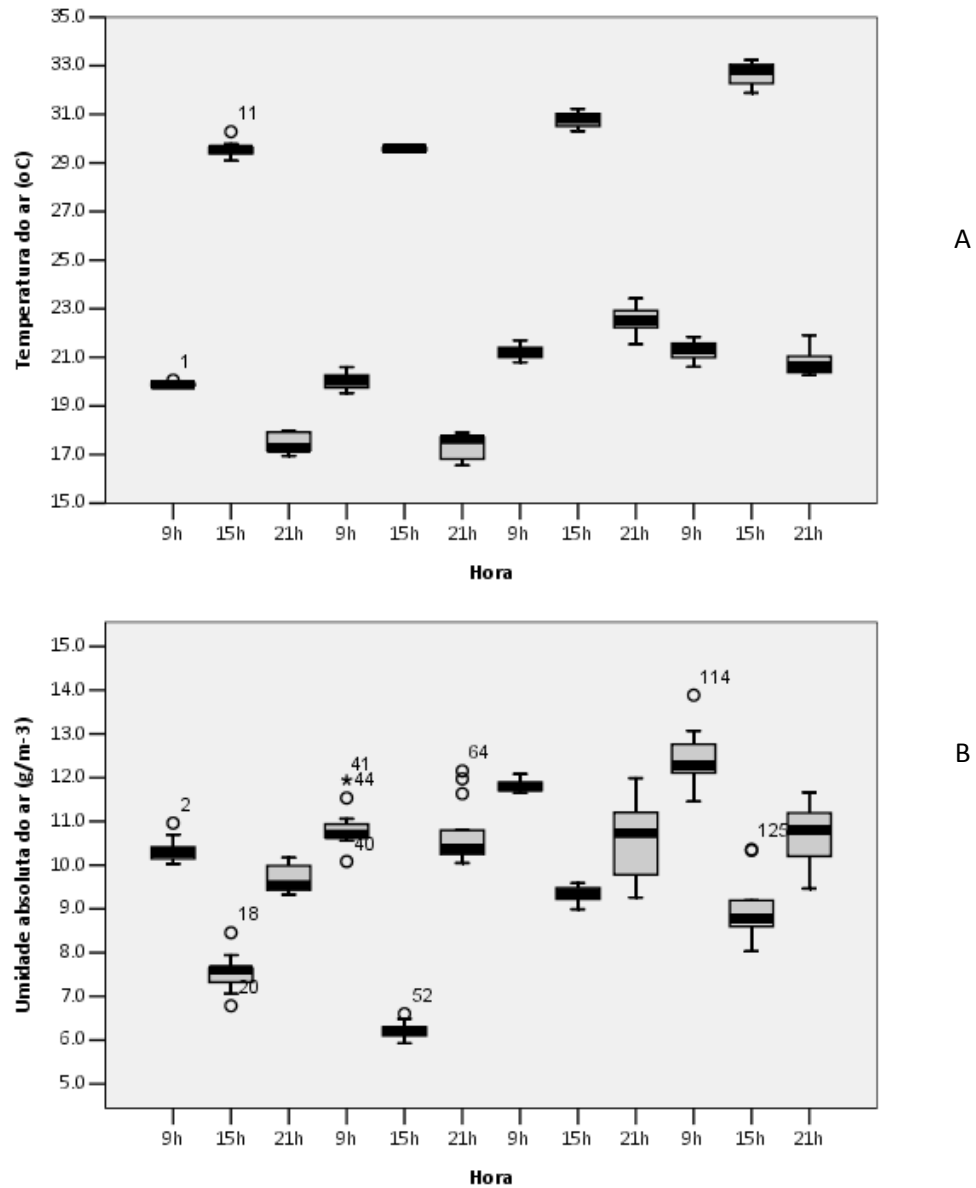


Figura 6.20 – Temperatura do ar [°C] (a) e umidade absoluta do ar [g/m³] (b) na Zona 5 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP.

Tabela 6.10– Estatística descritiva dos dados temperatura do ar [°C] e umidade absoluta do ar [g/m³], obtidos por meio móvel na Zona 5.

		Dia 1			Dia 2			Dia 3			Dia 4			Geral		
		9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h	9:00h	15:00h	21:00h
Temperatura do ar	N	10	11	12	11	10	13	14	12	11	12	10	12	47	43	48
	Média	19,9	29,5	17,5	20,0	29,6	17,4	21,2	30,8	22,5	21,3	32,7	20,8	20,7	30,6	19,4
	Erro padrão	0,03	0,10	0,11	0,11	0,02	0,14	0,07	0,10	0,17	0,12	0,15	0,16	0,10	0,20	0,33
	D.P. média	0,08	0,33	0,39	0,37	0,08	0,49	0,27	0,33	0,56	0,41	0,46	0,57	0,71	1,30	2,26
	Variância	0,01	0,11	0,16	0,13	0,01	0,24	0,07	0,11	0,31	0,17	0,21	0,33	0,51	1,69	5,13
	Kurtose	1,73	1,79	-1,96	-1,08	-0,80	-1,40	-0,75	-1,44	-0,45	-0,90	-0,68	0,40	-1,45	-0,73	-1,54
	D.P. kurtose	1,33	1,28	1,23	1,28	1,33	1,19	1,15	1,23	1,28	1,23	1,33	1,23	0,68	0,71	0,67
	Amplitude	0,3	1,2	1,0	1,1	0,2	1,4	0,9	0,9	1,9	1,2	1,4	1,6	2,3	4,1	6,9
	Mínimo	19,8	29,1	17	19,5	29,5	16,5	20,8	30,3	21,5	20,6	31,9	20,3	19,5	29,1	16,5
	Máximo	20,1	30,3	18,0	20,6	29,7	17,9	21,7	31,2	23,4	21,8	33,2	21,9	21,8	33,2	23,4
	Percentis	25	19,8	29,3	17,2	19,6	29,5	16,8	21,0	30,5	22,2	21,0	32,2	20,4	19,9	29,6
		50	19,9	29,6	17,3	20,0	29,6	17,6	21,2	30,8	22,5	21,3	32,8	20,6	20,8	30,3
		75	20,0	29,7	17,9	20,3	29,6	17,7	21,4	31,0	22,9	21,6	33,1	21,1	21,3	31,2
Umidade absoluta do ar	N	10	11	12	11	10	13	14	12	11	12	10	12	47	43	48
	Média	10,35	7,54	9,68	10,85	6,21	10,69	11,81	9,34	10,54	12,43	9,00	10,67	11,43	8,07	10,40
	Erro padrão	0,09	0,14	0,09	0,15	0,07	0,20	0,03	0,05	0,29	0,19	0,25	0,21	0,13	0,20	0,12
	D.P. média	0,29	0,45	0,31	0,50	0,22	0,74	0,13	0,19	0,96	0,66	0,80	0,72	0,90	1,33	0,81
	Variância	0,08	0,20	0,10	0,25	0,05	0,54	0,02	0,04	0,93	0,43	0,64	0,52	0,82	1,77	0,66
	Kurtose	1,01	0,93	-1,55	1,50	-0,06	0,15	-0,19	-0,68	-1,42	1,15	-0,09	-0,57	-0,27	-1,24	-0,68
	D.P. kurtose	1,33	1,28	1,23	1,28	1,33	1,19	1,15	1,23	1,28	1,23	1,33	1,23	0,68	0,71	0,67
	Amplitude	0,93	1,67	0,84	1,86	0,68	2,11	0,43	0,60	2,72	2,43	2,33	2,20	3,86	4,44	2,89
	Mínimo	10,03	6,78	9,33	10,08	5,92	10,05	11,65	8,99	9,26	11,45	8,03	9,47	10,03	5,92	9,26
	Máximo	10,96	8,45	10,17	11,94	6,60	12,15	12,08	9,59	11,99	13,89	10,36	11,66	13,89	10,36	12,15
	Percentis	25	10,14	7,10	9,42	10,62	6,06	10,20	11,71	9,21	9,74	12,10	8,49	10,00	10,65	9,75
		50	10,30	7,60	9,54	10,70	6,21	10,38	11,80	9,35	10,74	12,28	8,78	10,81	11,65	10,28
		75	10,49	7,64	10,00	11,06	6,34	11,21	11,90	9,50	11,37	12,89	9,48	11,27	11,97	10,88

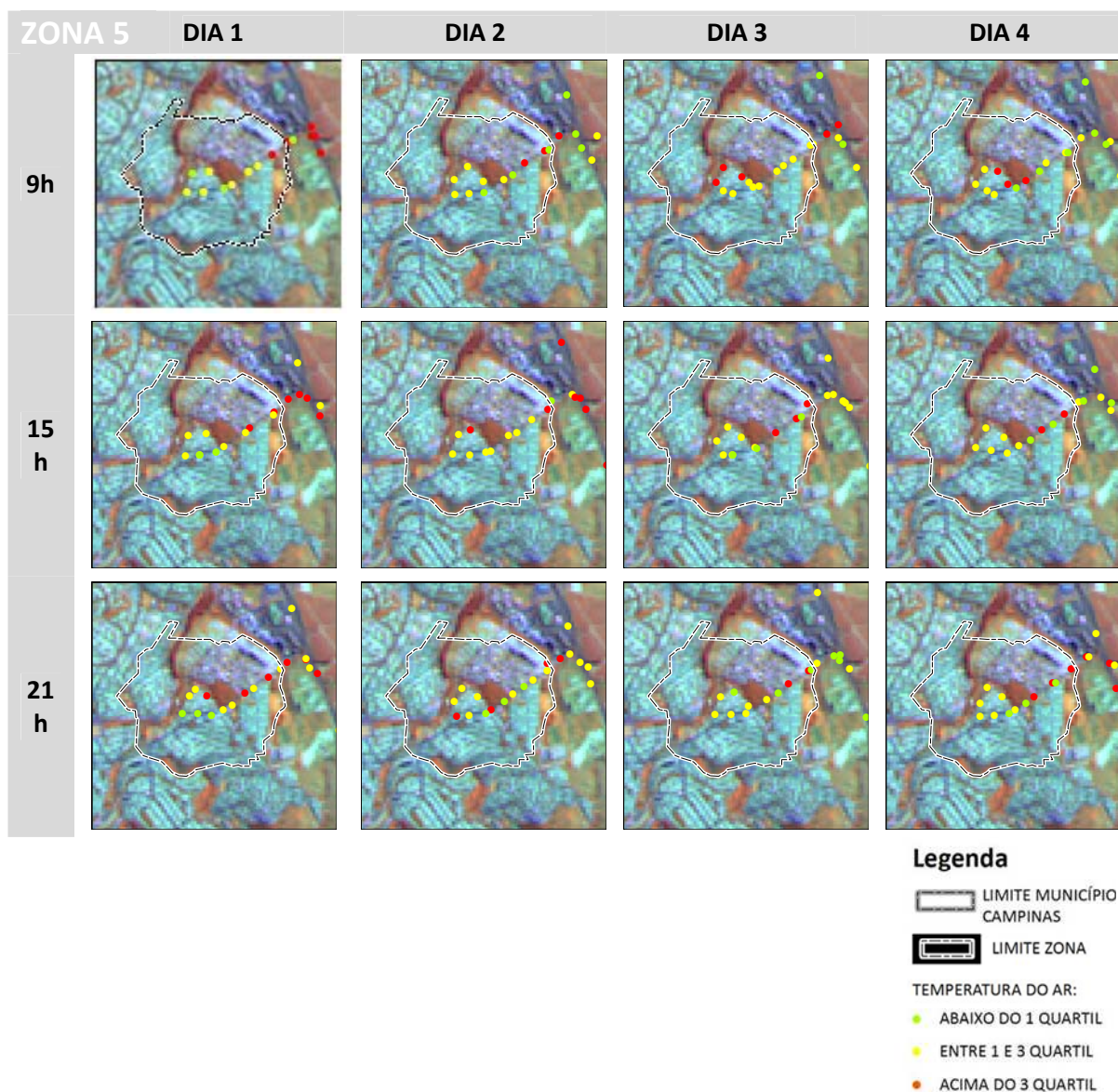


Figura 6.21 – Temperatura do ar [°C] na Zona 5 ao longo de quatro dias em três horários. Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, em Campinas-SP. Pontos em verde – temperatura do ar abaixo do 1º quartil; Pontos em amarelo – temperatura do ar interquartis; Pontos em vermelho – temperatura do ar acima do 3º quartil.

Diferenças higrótérmicas intra-urbanas nas zonas de estudo ao longo de quatro dias: síntese e discussão dos resultados

Os resultados apontaram um aumento da temperatura do ar nas cinco zonas analisadas ao longo dos quatro dias monitorados. Segundo dados da Estação Meteorológica de Campinas (CEPAGRI), durante este período, posterior à ocorrência de chuva, houve um aumento na temperatura máxima do ar e diminuição na umidade relativa do ar, que foi mais acentuada no 3º dia, como mostra a Figura 6.22. Assim, a condição da atmosfera no 3º dia de monitoramento acarretou a diminuição na umidade absoluta do ar em algumas zonas urbanas. No caso da Zona 1 este decréscimo foi observado no 2º dia, elevando-se posteriormente. Acredita-se que, neste momento, as condições atmosféricas tenham exigido máxima taxa de evapotranspiração dos fragmentos florestais para adequação ao ambiente.

É importante ressaltar que o conteúdo de água disponível no solo determina a quantidade de água perdida pela evapotranspiração. Como destacou Geiger (1966), a evapotranspiração decresce significativamente entre dias posteriores à ocorrência de chuva e períodos secos. Ao contrário, as superfícies d'água evaporam mais intensamente em dias quentes e secos.

Portanto, há um limiar na taxa de evapotranspiração das florestas que responde às condições de tempo e à quantidade de água disponível no solo e na folhagem: a evapotranspiração é máxima com o solo úmido, se a atmosfera estiver quente e seca; e a evapotranspiração é mínima quando o solo está seco, se a atmosfera estiver quente e seca. Neste experimento há indícios de uma transição da primeira para a segunda condição.

As diferenças térmicas e de umidade intra-urbanas se acentuaram no 3º e 4º dias de monitoramentos, coincidindo com a diminuição dos níveis máximos de umidade relativa do ar. Em geral, as diferenças intra-urbanas foram maiores às 21:00h (Figura 6.22), mas o maior contraste entre os fragmentos florestais e outras categorias de usos ocorreu às 15:00h. Neste sentido, observou-se que as áreas abertas, tais como os gramados, pasto, terra exposta, e as avenidas com amplo leito viário (mesmo as situadas sobre fundos de vale), apresentaram intenso aquecimento, contrastando-se com as matas e bosques.

Nas zonas fronteiriças ao ambiente rural ou em fragmentos florestais conectados a sistemas de lazer (com ampla abertura para o céu), a extensão e a magnitude do efeito dos



fragmentos florestais sobre o entorno edificado foi baixa. Somente na Zona 4, no trecho próximo ao Município de Valinhos, verificou-se um efeito de resfriamento causado pela aproximação da zona rural, devido às massas de ar mais frias, características do clima desta cidade.

Na Zona 3, central, a diferença térmica entre o Bosque dos Jequitibás e os trechos urbanos verticalizados foram mais visíveis às 9:00h. Pela tarde, houve um aquecimento intenso da Av. Aquidabã, verticalizada e com leito viário amplo, provocando um efeito negativo sobre o bosque. Esta mesma influência foi constatada nas proximidades do Bosque São José.

A altitude influenciou as diferenças térmicas intra-urbanas, favorecendo o resfriamento dos pontos situados na porção baixa do terreno. Dessa maneira, o Bosque dos Alemães mostrou-se mais arrefecido que o Bosque dos Italianos, e os trechos urbanos situados em pontos elevados não foram influenciados pelas massas de ar frescas e úmidas provenientes dos bosques, ao contrário dos trechos situados abaixo destes.

A localização em fundos de vale não implicou, entretanto, numa condição climática favorável dos sítios urbanos adensados e verticalizados, ou nos córregos cujas margens são pouco arborizadas, como ocorreu na Av. Orozimbo Maia (Zona 3), na Av. Princesa D'Oeste (Zona 4), ao longo do sistema de lazer junto ao córrego do Bosque dos Garantãs (Zona 4) e no trecho urbano ao lado do Ribeirão das Anhumas (Zona 5). Por outro lado, observou-se uma condição favorável dos sítios urbanos próximos de fundos de vale vegetados, como no caso de trechos próximos à Mata de Santa Genebra (Zona 1).

Prevaleceu o seguinte estado térmico, nas ruas fronteiriças aos fragmentos florestais: às 9:00h, temperaturas moderadas (interquartis); às 15:00h, temperaturas moderadas à frias (interquartis ou inferiores ao 1º quartil); e às 21:00h, temperaturas moderadas à quentes (interquartis ou superiores ao 3º quartil).



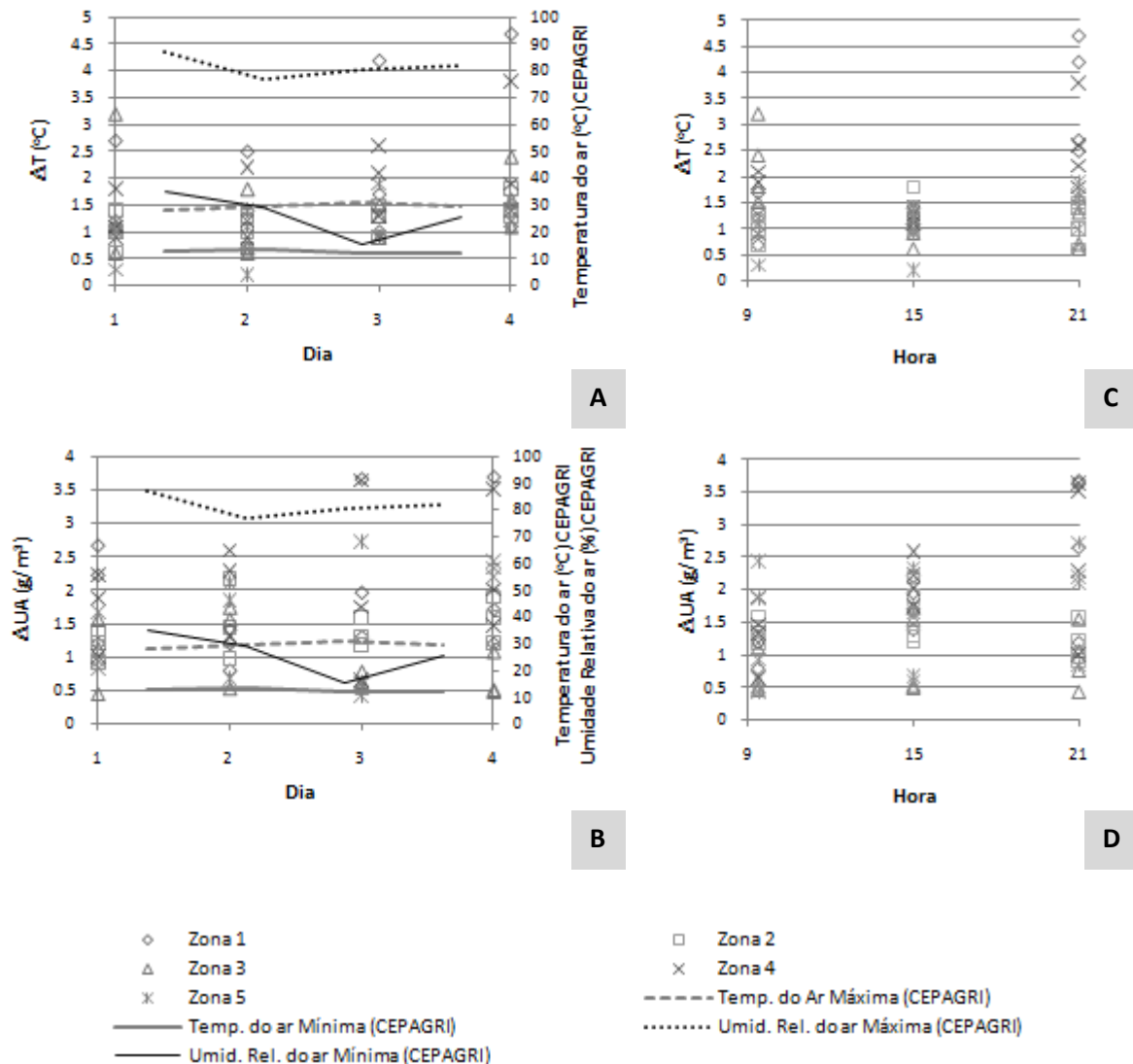


Figura 6.22 – Diferenças térmicas [$^{\circ}\text{C}$] e diferenças de umidade absoluta do ar [g/m^3] intra-urbanas em cinco zonas de Campinas-SP, ao longo de quatro dias (gráficos A e B) e três horários (gráficos C e D). Dados obtidos por meio móvel, entre 29/08/2009 e 02/09/2009, comparados aos registros da estação meteorológica do CEPAGRI, no mesmo período. Zona 1 – Barão Geraldo e Vila Costa e Silva; Zona 2 – Jardim Guanabara; Zona 3 – Centro Urbano; Zona 4 – Jardim Proença, Nova Europa, Vila Formosa; Zona 5 – Jardim Madalena.

6.3.4 Diferenças higrótérmicas intra-urbanas decorrentes de manchas de ocupação e do distanciamento de fragmentos

Tendo em vista a variação na resposta dos fragmentos florestais decorrente das condições atmosféricas, buscou-se obter um efeito “médio” da vegetação sobre o clima do entorno edificado. Para tanto, calculou-se a média dos dados horários para trechos urbanos com padrões espaciais semelhantes (manchas de usos do solo presentes em cada zona de estudo). Também foi observado o distanciamento destas manchas em relação aos fragmentos florestais.

Zona 1

A Figura 6.23 apresenta as médias horárias de temperatura e umidade do ar relacionadas aos padrões espaciais, na abrangência do quarteirão, identificados na Zona 1. Observou-se que a fronteira da Mata de Santa Genebra sofreu um aquecimento nos três horários do dia, exceto na porção mais baixa do terreno, em direção ao córrego, onde a temperatura do ar esteve cerca de 0,3 °C mais baixa do que a média da Zona 1.

Na rua fronteira com a mata, o trecho mais elevado (distante do fundo de vale) apresentou temperatura do ar superior à média da Zona 1, com as seguintes diferenças: 0,3 °C às 9:00h, 0,2 °C às 15:00h e 1,2 °C às 21:00h. No horário noturno, verificou-se o efeito de ilha de calor na fronteira mata-casas, com uma diferença térmica em relação ao ambiente rural (ΔT_{u-r}) de 2,4 °C. O aquecimento na fronteira entre a mata e a área de lazer, onde predomina a cobertura por grama, também foi observado, alcançando 0,5 °C, às 21:00h.

Apesar do aquecimento do ar na fronteira da Mata de Santa Genebra, a umidade absoluta do ar mostrou-se elevada. Às 9:00h, não houve diferenças com a área urbanizada, mas às 21:00h observaram-se as seguintes diferenças em relação à média da Zona 1: na fronteira mata-casas +0,3 g/m³; no trecho próximo ao gramado +0,9 g/m³; na fronteira mata-córrego +1,4 g/m³.

O efeito de resfriamento da Mata de Santa Genebra foi verificado nas quadras residenciais distantes entre 100 m e 800 m da borda, e não na fronteira da mata com o ambiente construído. Estas quadras correspondem ao percurso realizado nos bairros Bosque de Barão e Real Parque, tendo como limite os galpões industriais, lindeiros à Rodovia



Milton Tavares de Souza (SP-332). Este trecho apresentou temperaturas inferiores às da fronteira em $0,4^{\circ}\text{C}$ às 9:00h e 15:00h, e $1,6^{\circ}\text{C}$ às 21:00h. As diferenças térmicas com a média da Zona 1 foram de $0,1^{\circ}\text{C}$ às 9:00h, $0,2^{\circ}\text{C}$ às 15:00h e $0,4^{\circ}\text{C}$ às 21:00h.

O trecho de casas do lado oposto à rodovia, ou seja, na direção do centro de Barão Geraldo, não apresentou diferenças significativas em relação às casas próximas à Mata de Santa Genebra. É possível que as características de uso e ocupação do solo, com elevado percentual de áreas verdes e a presença de água na Fazenda Rio das Pedras, tenha contribuído para a manutenção da temperatura amena neste trecho. Já nas proximidades da mata, onde havia grandes percentuais de pasto, grama, terra exposta (coberturas que contribuem para o aquecimento), o efeito térmico da Mata de Santa Genebra sobre o entorno diminuiu.

Notou-se que o ar sobre as áreas de pasto junto à rodovia sofreram grande aquecimento às 15:00h, observando-se uma diferença térmica com a Zona 1 de $0,8^{\circ}\text{C}$. Às 21:00h a diferença térmica passou para $0,6^{\circ}\text{C}$, indicando que a combinação “rodovia e áreas de pasto” também contribuem para a formação de ilhas de calor, verificando-se uma diferença para com a zona rural de $1,8^{\circ}\text{C}$. Somente às 9:00h observou-se temperaturas inferiores ao ambiente rural, apresentando, contudo, baixa umidade absoluta do ar. Assim, o efeito térmico desse padrão de ocupação sobre o ambiente construído pode prevalecer sobre o efeito provocado pelos fragmentos florestais.

O trecho composto por galpões industriais junto à rodovia esteve arrefecido às 9:00h, observando-se diferenças térmicas sutis com a Zona 1 - de $0,3^{\circ}\text{C}$ às 15:00h e de $0,2^{\circ}\text{C}$ às 21:00h. A baixa umidade absoluta do ar neste trecho se intensificou ao longo do dia, alcançando uma diferença em relação à Zona 1 de $0,6\text{ g/m}^3$, às 21:00h. A mata deve ter favorecido o arrefecimento dos galpões, localizados entre 800 – 1600 m de distância. Por outro lado, o uso industrial junto à rodovia deve ter prejudicado a mata, aquecendo-a.

As quadras residenciais localizadas a uma distância de 3300 m da Mata de Santa Genebra, no Bairro Vila Costa e Silva apresentaram-se mais aquecidas e menos úmidas que as localizadas próximo à Mata, apresentando temperatura do ar superior à média da Zona 1 em $0,3^{\circ}\text{C}$ às 9:00h e 1°C às 21:00h, não observando-se diferenças às 15:00h. A umidade absoluta apresentou-se entre $0,3$ e $0,4\text{ g/m}^3$ inferiores à média da Zona 1.



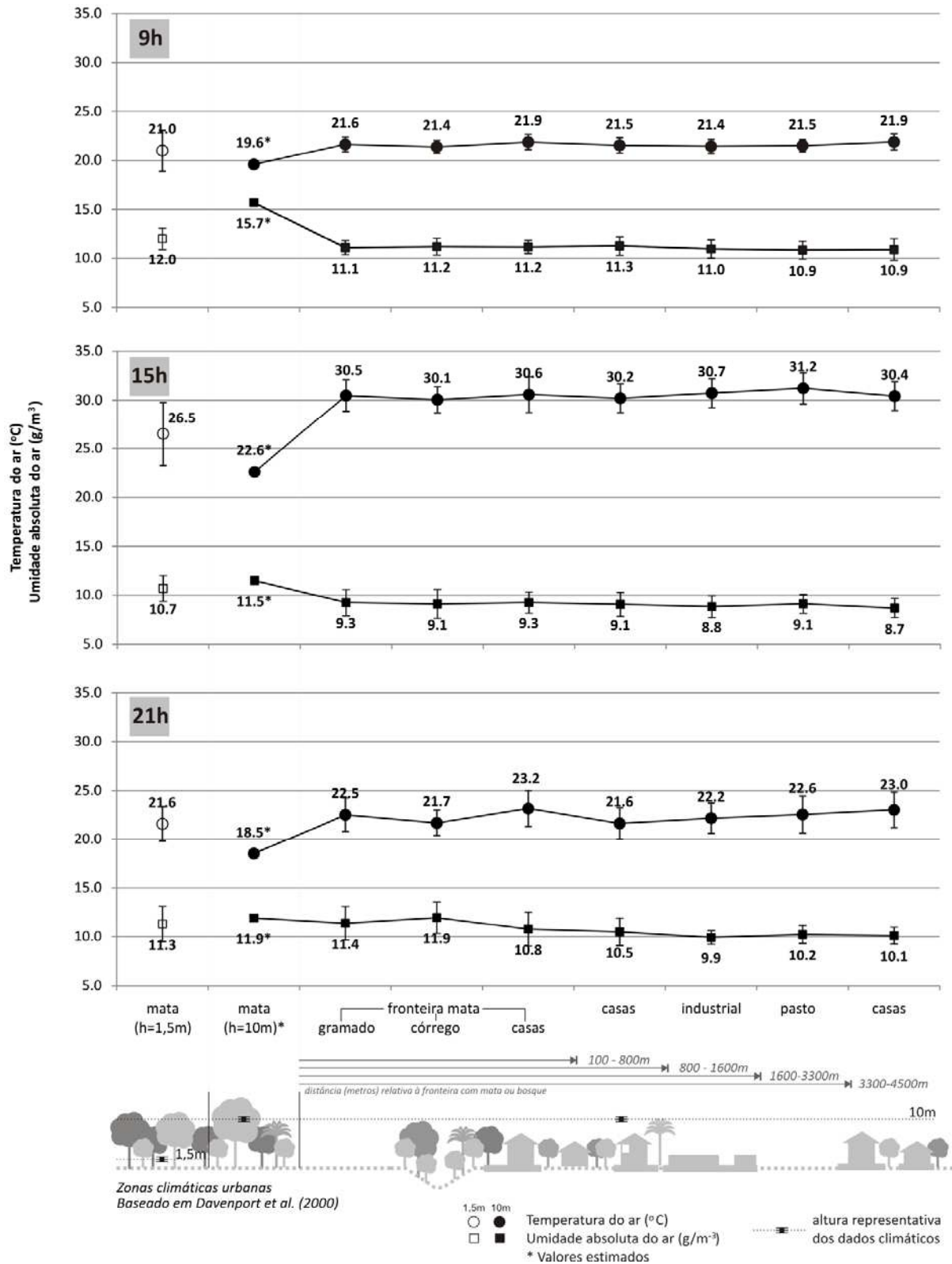


Figura 6.23 – Diferenças térmicas e de umidade do ar na Zona 1.

Zona 2

A Figura 6.24 apresenta as médias horárias de temperatura e umidade do ar das manchas de usos e ocupação do solo da Zona 2, com a presença do Bosque dos Italianos e do Bosque dos Alemães. As análises serão feitas observando-se a posição das quadras relativa aos bosques, aos centros urbanos (centro de bairro e fronteira com a área central, verticalizada) e ao fundo de vale.

Comparando o centro de bairro, localizado na porção mais elevada do terreno, ao trecho urbano próximo do Centro, localizado no fundo de vale, verificou-se certa influência da topografia na temperatura local urbana. Às 9:00h, a rotatória da Praça da Torre do Castelo (topo do terreno) apresentou temperatura do ar 1 °C mais elevada do que a média geral dos pontos da Zona 2, enquanto o trecho urbano próximo ao Centro (fundo de vale) apresentou temperatura do ar 1 °C inferior a média da Zona 2, havendo, portanto uma diferença térmica de 2 °C entre estes locais. Já às 15:00h observou-se que o vale sofreu influências da Zona Central, apresentando-se 1 °C mais aquecido do que o centro de bairro. Às 21:00h ocorreu novamente uma inversão, com o resfriamento do vale, que apresentou temperatura do ar 0,7 °C inferior ao centro de bairro.

Portanto, constatou-se que pela manhã e à noite o vale favoreceu o resfriamento urbano, porém, à tarde a massa de ar quente e seca do Centro provocou o sobreaquecimento deste trecho. A presença de água, bem como o deslocamento das massas de ar frias e úmidas em direção ao fundo de vale, tornou-se insuficiente para arrefecer esta região urbana mais verticalizada.

As quadras residenciais localizadas a montante do Bosque dos Italianos apresentaram, às 9:00h, temperatura do ar 0,5 °C mais elevada do que a média dos pontos que representam a Zona 2. As quadras situadas entre os bosques dos Italianos e dos Alemães, que correspondem a um trecho de 500 m, apresentaram temperatura do ar 0,2 °C inferior à média da Zona 2, bem como as quadras a jusante do Bosque dos Alemães, em direção ao vale. A umidade absoluta do ar nas quadras a montante do Bosque dos Italianos, às 9:00h, esteve 0,2 g/m³ inferior que a média da Zona 2. No mesmo horário, as quadras a jusante do bosque dos Alemães apresentaram umidade absoluta do ar 0,1 g/m³ superior à Zona 2. Constatou-se, assim, um aumento de 0,3 g/m³ de umidade absoluta do ar e um



decréscimo de 0,7 °C na temperatura do ar nas quadras situadas na porção mais baixa do terreno, abaixo dos dois bosques.

Às 15:00h, mesmo sob influência do Centro, as diferenças térmicas entre estas quadras residenciais permaneceram. A porção a montante do Bosque dos Italianos apresentou temperatura do ar 0,4 °C mais elevada do que a média; a área entre os dois bosques esteve 0,3 °C mais arrefecida do que a média; e as quadras de casas à jusante do Bosque dos Alemães estiveram 0,4 °C mais frias que a média da Zona 2. Isso representa uma diminuição de 0,8 °C entre as casas localizadas à montante e a jusante dos bosques. O mesmo ocorreu com a umidade absoluta do ar, verificando-se um incremento de 0,2 g/m³ nos pontos mais baixos, em comparação com os mais elevados.

Às 21:00h o efeito dos bosques e da declividade do terreno sobre a área urbana se intensificou. Enquanto a porção a jusante do Bosque dos Italianos apresentou temperatura do ar 0,6 °C mais elevada do que a média, o trecho de casas entre os dois bosques esteve mais arrefecido em 0,2 °C, e a área a jusante do Bosque dos Alemães apresentou uma diminuição de 0,5 °C em relação à média dos pontos da Zona 2. Assim, o ar nas quadras residenciais à jusante dos bosques esteve 1,1 °C mais frio e 0,3 g/m³ mais úmido do que as quadras à montante.

Ao contrário do caso da Mata de Santa Genebra, as quadras fronteiriças aos bosques apresentaram temperaturas iguais ou inferiores à média. Verificou-se, contudo, uma diferença entre os dois bosques, sendo mais intenso o resfriamento na fronteira com o Bosque dos Alemães. Nos três horários do dia, a fronteira com Bosque dos Italianos não apresentou diferença térmica em relação à média da Zona 2. No entanto, na fronteira com o Bosque dos Alemães, a temperatura do ar esteve 0,5 °C mais baixa às 9:00h e às 15:00h, e às 21:00h a diferença térmica foi nula. Às 15:00h, a fronteira dos Italianos apresentou umidade absoluta do ar mais elevada 0,2g/m³ do que a média da Zona 2 e às 21:00h a mesma diferença foi observada na fronteira com o Bosque dos Alemães.

Apesar da tendência na diminuição da temperatura do ar em direção à porção mais baixa do terreno e intensificação do resfriamento na fronteira com o Bosque dos Alemães, às 21:00h foi verificada uma ilha de calor neste local, com intensidade de 0,5 °C.



Verificou-se, portanto, que a influência da vegetação sobre o clima do entorno agiu conjuntamente com a topografia, resfriando e umidificando as áreas na porção mais baixa do relevo. Foi notório o benefício no clima local das quadras localizadas entre os dois bosques, que sob influencia dos mesmos, apresentou-se arrefecido e úmido nos três horários do dia.



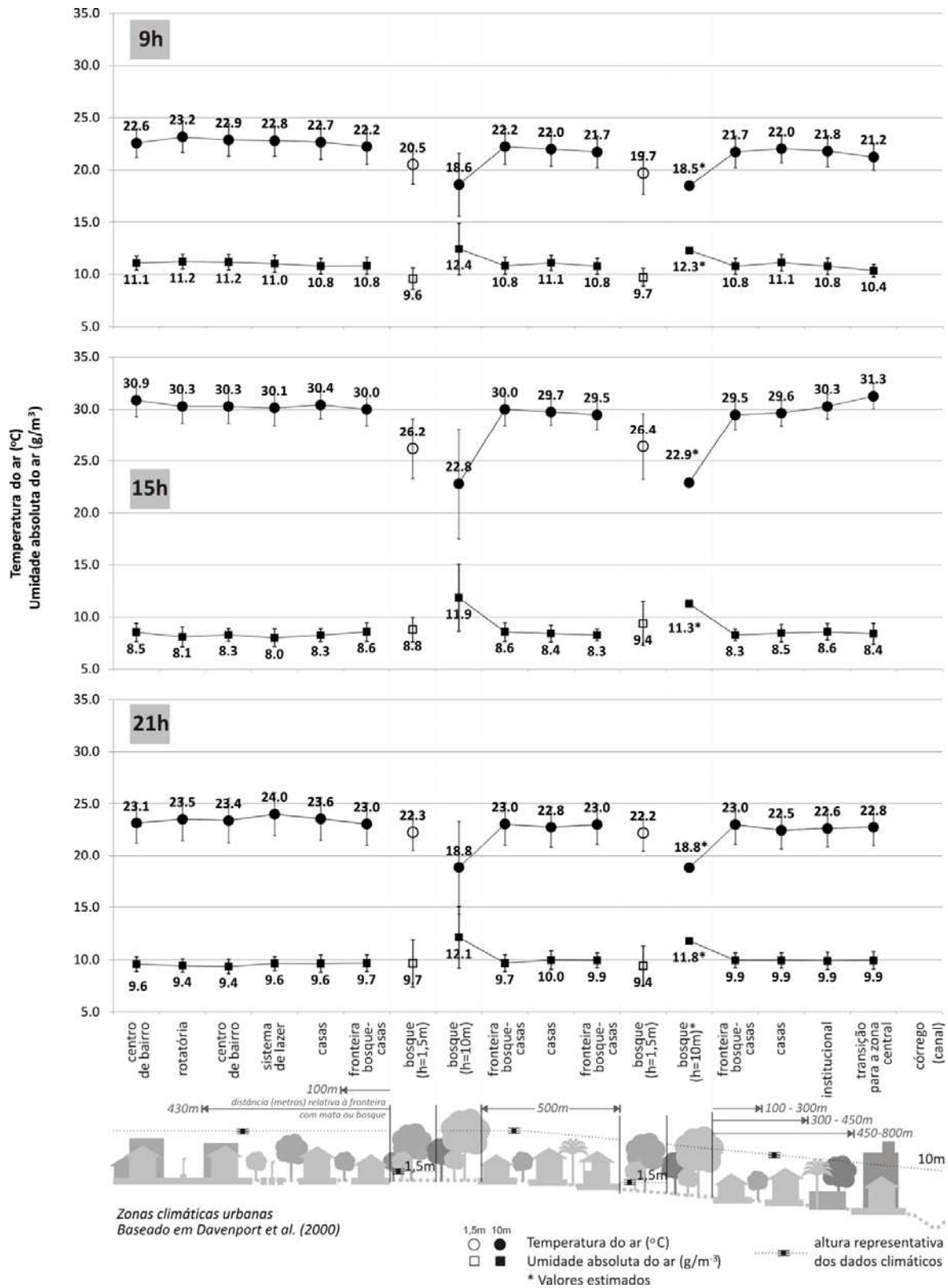


Figura 6.24 – Diferenças térmicas e de umidade do ar na Zona 2.

Zona 3

A Figura 6.25 apresenta as médias horárias de temperatura e umidade do ar das manchas de usos e ocupação do solo da Zona 3 (Centro) onde há o Bosque dos Jequitibás. Às 9:00h o trecho urbano próximo ao bosque foi o local menos aquecido dentre as manchas de uso e ocupação que compõem a Zona 4, com temperatura do ar 1,4 °C abaixo da média. Contudo, a umidade absoluta esteve 0,3 g/m³ abaixo da média.

Com o aquecimento geral da área central e diminuição na umidade absoluta do ar, verificou-se que às 15:00h a fronteira com o bosque permaneceu arrefecida, com temperatura do ar 0,5 °C abaixo da média. O trecho urbano fronteiro a um sistema de lazer, próximo do fundo de vale, e a via sobre o canal na Av. Orozimbo Maia, também mostraram-se arrefecidos. Já, as quadras ao longo da Av. Francisco Glicério, altamente verticalizada e com baixa abertura para o céu, estiveram aquecidas neste horário, com temperatura do ar 0,4 °C mais elevada do que a média. Por outro lado, a umidade absoluta do ar, neste trecho verticalizado, apresentou-se mais elevada do que nos locais mais abertos, tais como na fronteira bosque-centro e na avenida sobre o canal, indicando intensa evaporação em áreas mais expostas à radiação solar.

Às 21:00h houve uma inversão no comportamento térmico das manchas de usos do solo presentes ao longo do trajeto. Verificou-se o sobreaquecimento da fronteira bosque-centro, com temperatura do ar 1 °C superior à média, enquanto o “core” da área central apresentou temperatura do ar 0,5 °C inferior à média. Porém, o trecho fronteiro ao bosque esteve mais úmido que a área verticalizada, com uma diferença na umidade absoluta do ar alcançando 0,5 g/m³. Notou-se uma tendência no aumento da umidade absoluta do ar em direção ao fundo de vale.

Não é conclusivo que a presença do bosque na zona central seja responsável pelo arrefecimento da área urbana de aproximação. No entanto, ao calcular a diferença térmica entre este trecho e o “core” da zona central, constatou-se que: às 9:00h a temperatura do ar apresentou-se 1 °C mais baixa na fronteira com o bosque; às 15:00h a diferença térmica passou para 0,4 °C; e às 21:00h houve um sobreaquecimento da zona de aproximação ao bosque, com temperatura do ar 0,8 °C mais elevada que o “core”. Isso representa uma ilha de calor, nas imediações do Bosque dos Jequitibás, com intensidade de 2,9 °C.



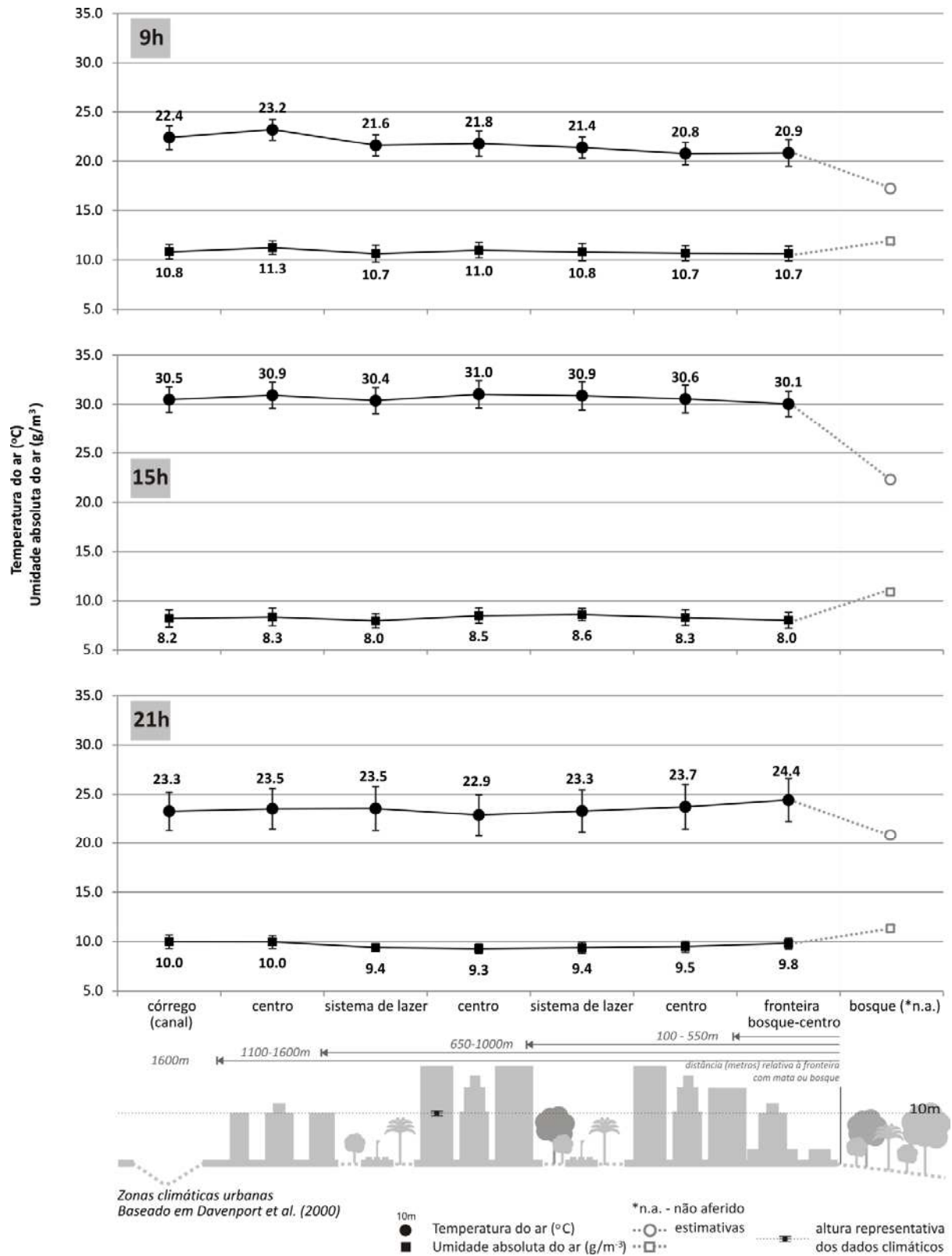


Figura 6.25 – Diferenças térmicas e de umidade do ar na Zona 3.

Zona 4

A Figura 6.26 apresenta as médias horárias de temperatura e umidade do ar das manchas de usos e ocupação do solo da Zona 4, local onde encontram-se o Bosque São José e o Bosque dos Guarantãs. Esta zona sofreu a influência de duas áreas distintas: o primeiro trecho, que parte da fronteira com a Zona 3 e vai até o trecho próximo ao Cemitério da Saudade, esteve sob influência da massa de ar aquecida do Centro; o segundo trecho que parte do Bosque dos Guarantãs em direção à Valinhos, esteve sob influência da massa de ar fria da zona rural.

Analisando o primeiro trecho, verificou-se que a fronteira do Bosque São José apresentou-se mais arrefecida e úmida do que as áreas de transição para a zona central, que são ocupadas por edifícios altos e casas. Destaca-se que às 21:00h a diferença térmica entre a fronteira com o Bosque dos Jequitibás (Zona 3) e a fronteira com o Bosque São José (Zona 4) foi de 2,1 °C, indicando maior intensidade das ilhas de calor no fragmento florestal próximo da zona central.

A fronteira casas-bosque mostrou-se mais arrefecida e úmida que o trecho urbano percorrido sobre uma avenida implantada em fundo de vale, que conecta o Bosque São José e o Bosque dos Jequitibás. Isso mostra que a verticalização favoreceu o aquecimento do ar. Às 9:00h, a diferença térmica entre estes locais foi de 0,3 °C, e a diferença de umidade absoluta do ar foi de 0,2 g/m³; às 15:00h, a diferença térmica passou para 0,2 °C, e a umidade absoluta do ar entre os dois trechos igualaram-se; às 21:00h verificou-se uma diferença térmica de 0,5 °C e de umidade absoluta do ar de 0,2 g/m³.

Comparando a fronteira casas-bosque com a área composta por cemitério e galpões, verificou-se que a diferença mais significativa ocorreu às 21:00h, quando a área próxima ao cemitério apresentou temperatura do ar 0,5 °C inferior à da fronteira com o bosque.

Comparando a fronteira do Bosque São José com a média da Zona 4, verificou-se que o local esteve mais úmido 0,3 g/m³ às 9:00h, com temperatura do ar igual à média; às 15:00h a temperatura do ar esteve 0,1 °C abaixo da média e a umidade absoluta do ar 0,1 g/m³ acima da média; e às 21:00h a fronteira esteve mais aquecida 0,3 °C, e mais úmida 0,2g/m³.

O trecho composto por edificações mistas, distante entre 700 e 900 m do Bosque



São José, apresentou-se mais frio e mais seco que a média da Zona 4, com as seguintes diferenças: às 9:00h a temperatura do ar esteve $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ abaixo da média e a umidade absoluta do ar, $0,5\text{ g/m}^3$ abaixo da média da Zona 4; às 15:00h, a diferença foi de $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $0,2\text{ g/m}^3$; e às 21:00h a diferença foi de $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $0,1\text{ g/m}^3$. No entanto, não foi possível atribuir a mitigação térmica à presença do Bosque São José, visto este trecho urbano está situado na vertente oposta ao bosque, tendo o cemitério como divisor de águas. Assim, é mais provável que este trecho com edificações mistas tenha sido influenciado pelo cemitério, tendo em vista que a umidade do ar encontrava-se abaixo da média esperada.

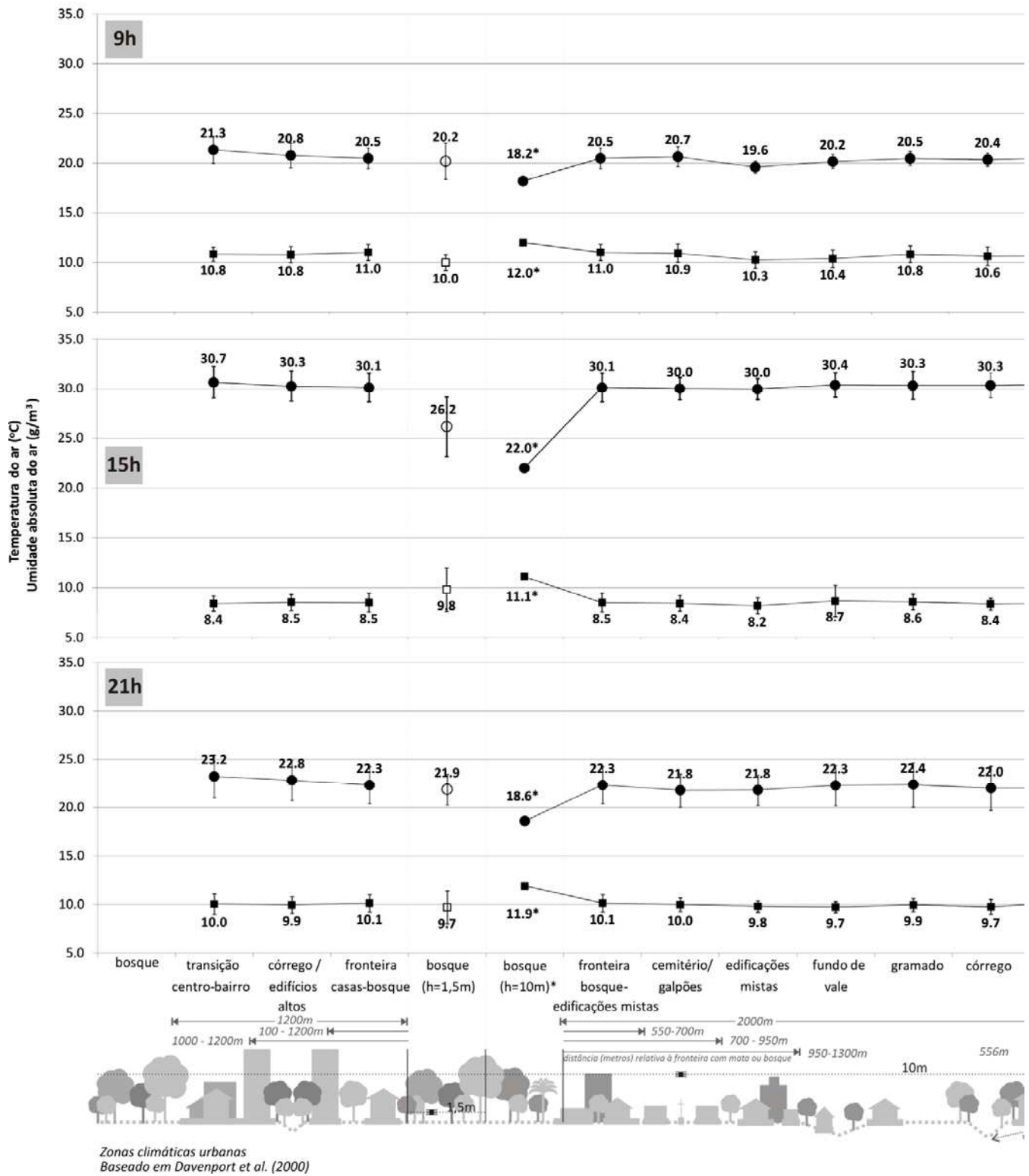
Partindo do fundo de vale em direção ao Bosque dos Guarantãs, observou-se um aumento na temperatura do ar. Neste caso, o bosque ocupava o topo da vertente analisada, deslocando o ar arrefecido e úmido para o fundo de vale. No entanto, a presença do sistema de lazer junto ao bosque não favoreceu o arrefecimento do seu entorno. Apesar da presença do lago e do córrego, este local está coberto por extenso gramado, areia e quadras esportivas pavimentadas, provocando o aquecimento e aridez do ar local.

A fronteira do Bosque dos Guarantãs apresentou temperatura do ar $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ superior à média da Zona 4, às 9:00h e às 15:00h. Já às 21:00h, a temperatura do ar diminuiu, apresentando-se $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ inferior à média. A umidade absoluta do ar diferenciou-se $\pm 0,1\text{ g/m}^3$ da média. Apesar do resfriamento noturno, possivelmente causado pelos dos ventos provenientes da zona rural, verificou-se que as casas distantes entre 800-1500 m do bosque estiveram mais frias do que a fronteira com o bosque, constatando-se as seguintes diferenças: $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ às 9:00h, $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ às 15:00h e $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ às 21:00h. Isso representa uma diferença térmica em relação à média de $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e um aumento na umidade absoluta do ar de $0,7\text{ g/m}^3$, indicando uma ação conjunta entre o bosque e da massa de ar rural no resfriamento destas quadras.

O sistema de lazer, distante a 1500 m do Bosque dos Guarantãs, apresentou temperatura do ar $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ mais baixa do que a média geral da zona, no horário noturno, o que deve ser causa da baixa abertura do dossel, aumentando a taxa de resfriamento. No entanto, a área urbana, que contém um pequeno fragmento de vegetação, esteve mais aquecida neste horário, possivelmente devido às características construtivas do entorno próximo, onde há um maior número de galpões.

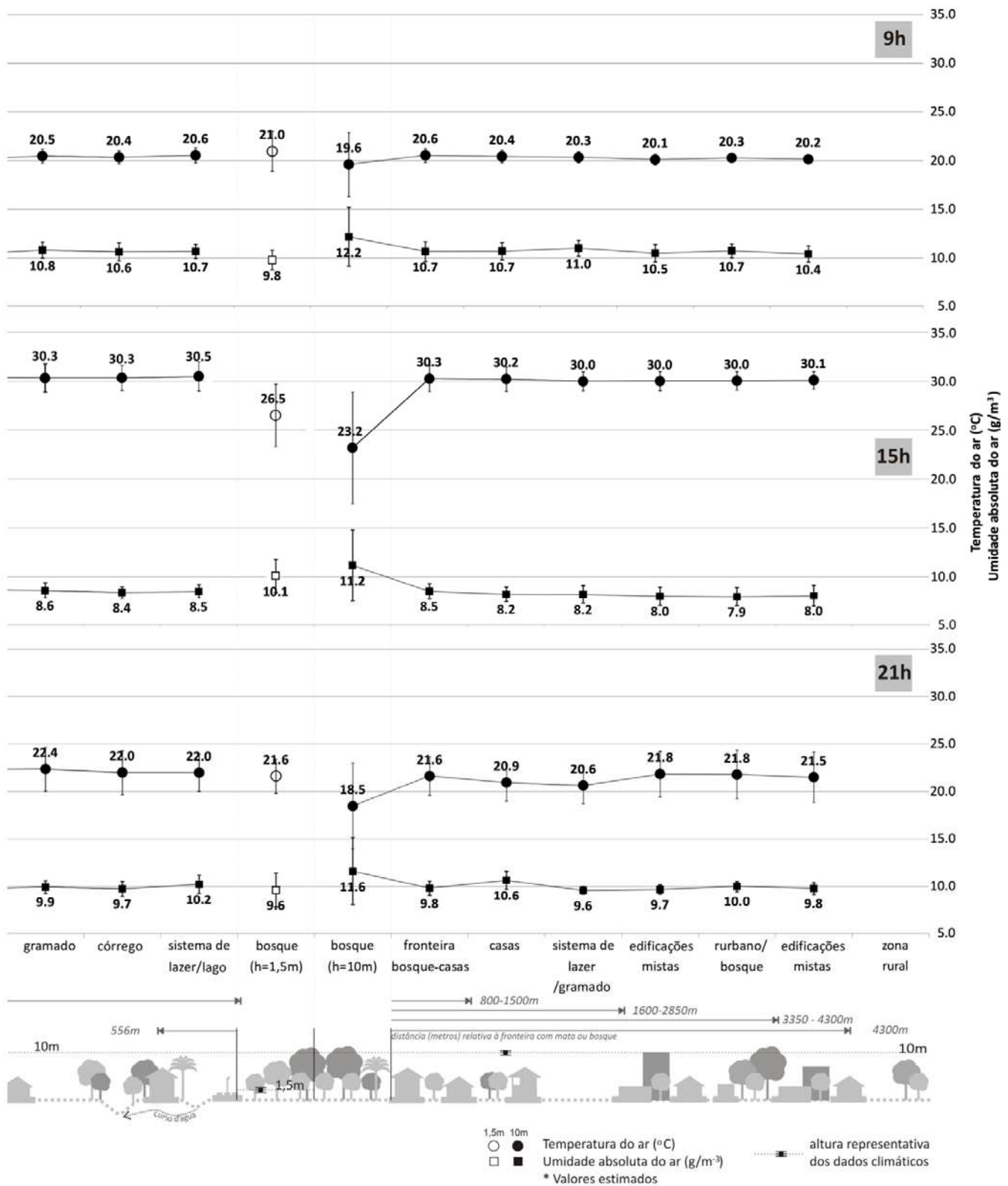






(a)

Figura 6.26 – Diferenças térmicas e de umidade do ar na Zona 4. (a) Trecho 1 – Bosque São José; (b) Trecho 2 – Bosque dos Guarantãs.



(b)

Zona 5

A Figura 6.27 apresenta as médias horárias de temperatura e umidade do ar das manchas de usos e ocupação do solo da Zona 5, onde encontra-se o Bosque da Paz.

Verificou-se que a fronteira bosque-casas sofreu um aquecimento de $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nos três horários do dia, em relação à média que representa a Zona 5, e a umidade absoluta do ar apresentou-se mais elevada $0,3\text{ g/m}^3$, às 15:00h. Já na fronteira do bosque com uma área institucional a temperatura do ar mostrou-se mais amena ($0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ mais baixa às 9:00h e 21:00h) e umidade absoluta um pouco superior à média às 15:00h ($0,2\text{ g/m}^3$).

Na Zona 5, existiam dois trechos com quadras residenciais – o primeiro estava mais próximo do shopping e da rodovia e o segundo adentrava a malha urbana consolidada da cidade. Ambos tinham certa aproximação com cursos d'água. Ao compará-los, verificou-se que o trecho próximo ao shopping apresentou-se mais aquecido e mais úmido, com as seguintes diferenças em relação à área urbana próxima do bosque: $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1,8\text{ g/m}^3$ às 9:00h; $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-0,7\text{ g/m}^3$ às 15:00h; $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1,4\text{ g/m}^3$ às 21:00h. Apesar destas diferenças, ambos os locais apresentaram temperatura do ar igual ou inferior à rua fronteira ao bosque.

Às 15:00h o trecho próximo do Ribeirão das Anhumas esteve mais aquecido que as demais manchas de usos da Zona 5, com uma diferença térmica de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação à média. Considera-se que a ausência de um reflorestamento adequado de suas margens, a urbanização e a área de gramado presente no sistema de lazer no Bosque da Paz, contribuíram para o aquecimento deste fundo de vale. Assim, o corpo d'água foi insuficiente para diminuir o fluxo de calor proveniente do solo exposto, gramado e materiais construtivos no período da tarde.

Outro fenômeno observado foi o aquecimento do ar no interior do Bosque da Paz às 21:00h (na altura de 1,5 m), com temperatura do ar $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ superior à média dos pontos da Zona 5, diferentemente das demais zonas analisadas ¹¹. Este fenômeno pode ser atribuído à

¹¹ Ressalta-se que os monitoramentos microclimáticos no interior dos bosques foram realizados no mesmo período das medidas móveis em área urbana.



obstrução das ondas longas pelo dossel florestal e ao resfriamento da área urbana no período noturno.

Portanto, constatou-se que a Zona 5 sofreu grande influência do ambiente rural, com intenso aquecimento da área urbana no período da tarde e resfriamento noturno, diminuindo o efeito Bosque da Paz sobre o entorno edificado.



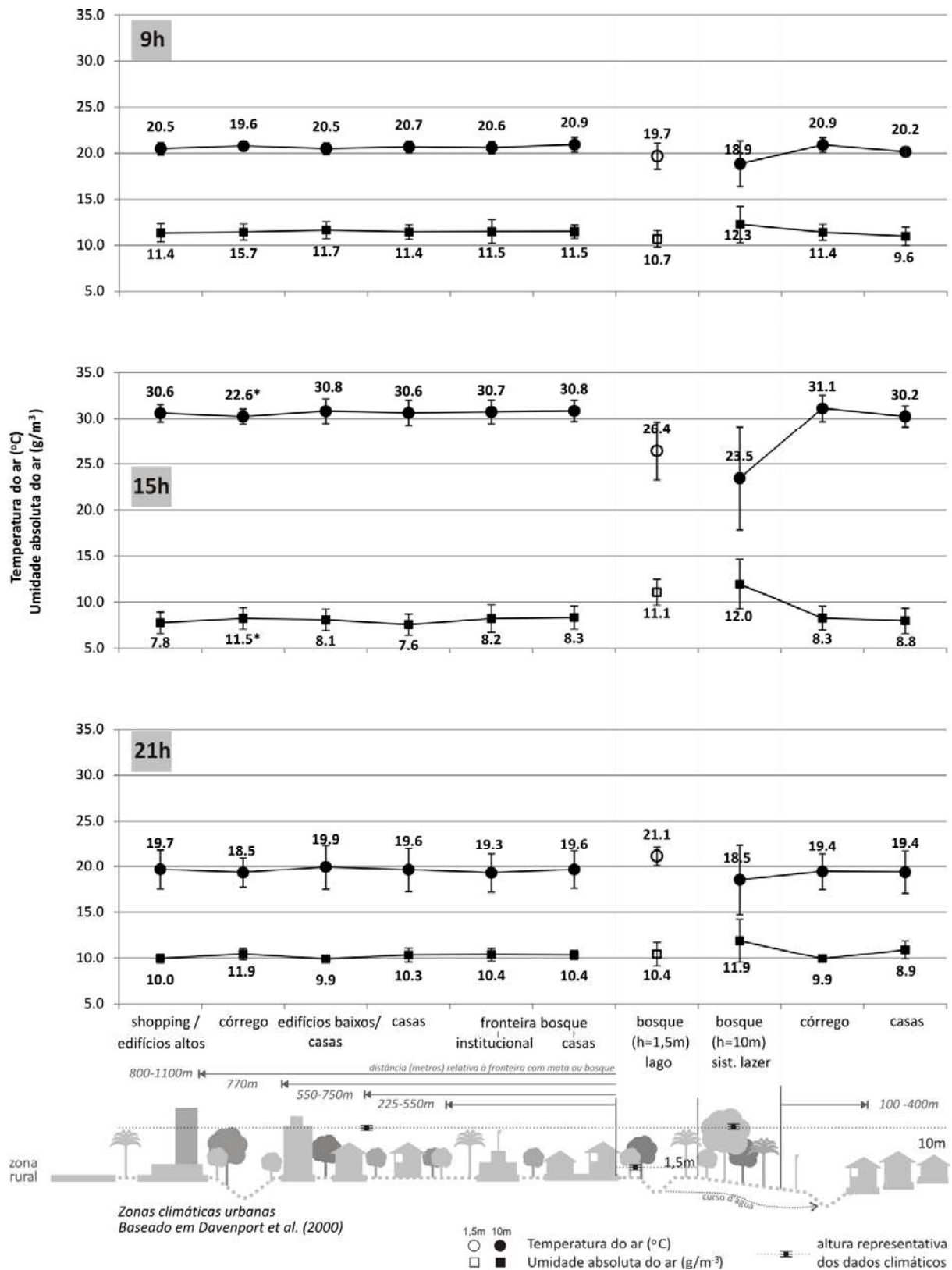


Figura 6.27 – Diferenças térmicas e de umidade do ar na Zona 5.

Diferenças térmicas entre os fragmentos florestais e as zonas urbanas

Comparando-se os dados que representam o microclima dos fragmentos florestais urbanos, a 1,5 m do solo, às médias horárias das cinco zonas correspondentes, identificaram-se as seguintes diferenças térmicas (ΔT_{f-u}), mostradas na Tabela 6.12.

Tabela 6.11 – Diferença térmica entre os fragmentos florestais e urbanos e as zonas urbanas em que se inserem. Medidas fixas realizadas a 1,5 m (fragmentos) e medidas móveis estimadas para a altura de 10 m (área urbana).

Hora	Diferença térmica floresta-área urbana - ΔT_{f-u} [°C]					
	MSG	ITA	ALE	S. JOSÉ	GUA	PAZ
9:00h	-0,6	-1,7	-2,5	-0,3	0,5	-1,0
15:00h	-3,9	-3,8	-3,6	-4,1	-3,7	-4,2
21:00h	-0,4	-0,7	-0,8	-0,1	-0,4	1,7

Verificou-se que às 9:00h, a maior ΔT_{f-u} ocorreu entre os pontos urbanos da Zona 2 e o Bosque dos Alemães, em 2,5 °C. Neste horário, ao contrário dos outros fragmentos florestais, o Bosque dos Guarantãs estava 0,5 °C mais aquecido que a Zona 4, em que se insere. Às 15:00h, as diferenças térmicas se assemelharam entre as áreas, variando entre 3,6 °C (entre a Zona 2 e o Bosque dos Alemães) e 4,2 °C (entre a Zona 5 e o Bosque da Paz). Às 21:00h a maior diferença térmica ocorreu novamente entre a Zona 2 e o Bosque dos Alemães, em 0,8 °C. O Bosque da Paz foi o único que apresentou aquecimento noturno, com temperatura do ar 1,7 °C mais elevada do que a média dos pontos urbanos da Zona 5.



Diferenças higrótérmicas intra-urbanas em função do distanciamento de fragmentos florestais

Foram calculadas as diferenças térmicas intra-urbanas, a intensidade das ilhas de calor noturnas e as diferenças na umidade absoluta do ar intra-urbanas, decorrentes do distanciamento dos fragmentos florestais. Os resultados de cada zona de estudo são apresentados na Figura 5.28.

Na **Zona 1** (UCZ 5 fronteira à UCZ 7, segundo a classificação de Davenport et al., 2000) onde localiza-se um fragmento florestal com área de 250,36 ha, foi constatado:

- um aquecimento na rua fronteira com a Mata de Santa Genebra, intensificado na presença de gramado e atenuado na aproximação de corpo d'água, com uma diferença máxima, entre estas situações, de 0,8 °C, no horário noturno. A ilha de calor neste local às 21:00h teve intensidade de 1,7 °C;
- decréscimo na temperatura do ar do ambiente urbano conforme aproximação da mata, constatando-se uma diminuição de 0,4 °C na temperatura do ar, em relação à média da zona, às 21:00h, na extensão de 800 m. A diferença térmica máxima em relação ao trecho mais distante (4.500m) foi de 1,4 °C;
- aumento na umidade absoluta do ar do ambiente urbano decorrente da aproximação da mata, com diferença máxima de 1,4 g/m³, sendo que trecho mais árido está distante 1.600 m da mata e é composto por galpões industriais.

Na **Zona 2** (UCZ 3 fronteira à UCZ 1) onde localizam-se dois fragmentos florestais, distantes a 500 m entre si, com áreas de 1,5 ha e 2,0 ha, foi constatado:

- estabilidade térmica nas ruas fronteiras aos bosques, apresentando, no entanto, ilhas de calor às 21:00h com intensidade de ~2,2 °C.
- o arrefecimento e estabilidade térmica da área urbana localizada entre os dois fragmentos florestais, na extensão de 250 m (distância dos pontos a um dos dois fragmentos) com diminuição da temperatura do ar em ~2,5 °C nos três horários do dia, e aumento sutil da umidade absoluta do ar, em até 0,23 g/m³, às 21:00h;
- diminuição da temperatura do ar na área urbana à jusante dos dois bosques, intensificada na aproximação de um fundo de vale, pela manhã e noite. Às 9:00h a



diferença térmica entre o ponto mais elevado do terreno e o ponto mais baixo foi de 1,6 °C, em 1.200 m de distância.

- diminuição da temperatura do ar do ambiente urbano, às 15:00h, provocada conjuntamente pela aproximação do fragmento florestal e distanciamento da fronteira com o Centro, alcançando uma diferença térmica de 1,8 °C em 800 m.

Na **Zona 3** (*UCZ 1* fronteira à *UCZ 3*, segundo a classificação de Davenport et al., 2000) onde localiza-se um fragmento florestal com área de 10,5 ha, foi constatado:

- aquecimento gradativo dos trechos próximos ao fragmento florestal, ao longo do dia. A avenida larga com edifícios altos favoreceu o aquecimento das superfícies à tarde, intensificando as ilhas de calor às 21:00h, que atingiu 2,9 °C no trecho viário e 3,6 °C na fronteira do Bosque dos Jequitibás;
- mesmo diante de intenso aquecimento, observou-se o aumento da umidade do ar na aproximação do fragmento florestal às 21:00h;
- aumento da umidade absoluta do ar na área urbana em decorrência da aproximação do fundo de vale nos três horários do dia.

Na **Zona 4** (*UCZ 3* fronteira à *UCZ 1*, no trecho inicial, e à *UCZ 7*, no trecho final, segundo a classificação de Davenport et al., 2000) onde localizam-se dois fragmentos florestais, distantes a 2.000 m entre si, com áreas de 3,36 ha e 3,3 ha, foi constatado:

- diminuição sutil da temperatura do ar e aumento da umidade absoluta do ar em decorrência da aproximação do fragmento florestal urbano e distanciamento do Centro, atingindo 0,3 °C e 0,23 g/m³ às 21:00h;
- diferença térmica de 0,7 °C às 21:00h entre as fronteiras dos dois bosques, decorrente presença de curso d'água e distanciamento da *UCZ 1* (centro);
- diminuição na umidade absoluta do ar na fronteira com bosque, cujo entorno apresenta áreas abertas e gramadas, em até 0,33 g/m³;
- diminuição da temperatura do ar e aumento da umidade absoluta do ar em área urbana residencial sob influência da *UCZ 7* (rural), com diminuição na intensidade da ilha de calor noturna em 0,8 °C quando comparada ao trecho residencial localizado entre os dois fragmentos florestais.



Na **Zona 5** (*UCZ 3* fronteira à *UCZ 7*, segundo a classificação de Davenport et al., 2000) onde localiza-se um fragmento florestal com área de 4,0 ha, foi constatado:

- não ocorrência de ilha de calor noturna, com temperaturas do ar inferiores ao ambiente rural às 21:00h. Este resfriamento deve ser causado conjuntamente pela proximidade da *UCZ 7* e incidência de ventos regionais SE sobre a zona urbana em análise, presença do fragmento florestal e de cursos d'água;
- diminuição da temperatura do ar decorrente da aproximação do fragmento florestal urbano e de superfície d'água presente da mata, concomitante ao distanciamento da rodovia, com uma diferença térmica de 0,6 °C em relação à fronteira da área verde, na extensão entre 100-750 m;
- efeito de resfriamento provocado, possivelmente pelo fragmento florestal, no entorno edificado na extensão de 400 m, com diminuição da temperatura do ar em até 0,5 °C, às 9:00h, em relação à fronteira do Bosque da Paz, que apresentava-se mais aquecida;
- aumento na umidade absoluta do ar diante da aproximação do fragmento florestal, exceto às 21:00h. O mesmo foi observado na área urbana distante a 750 m do fragmento, decorrente da aproximação de corpo d'água.





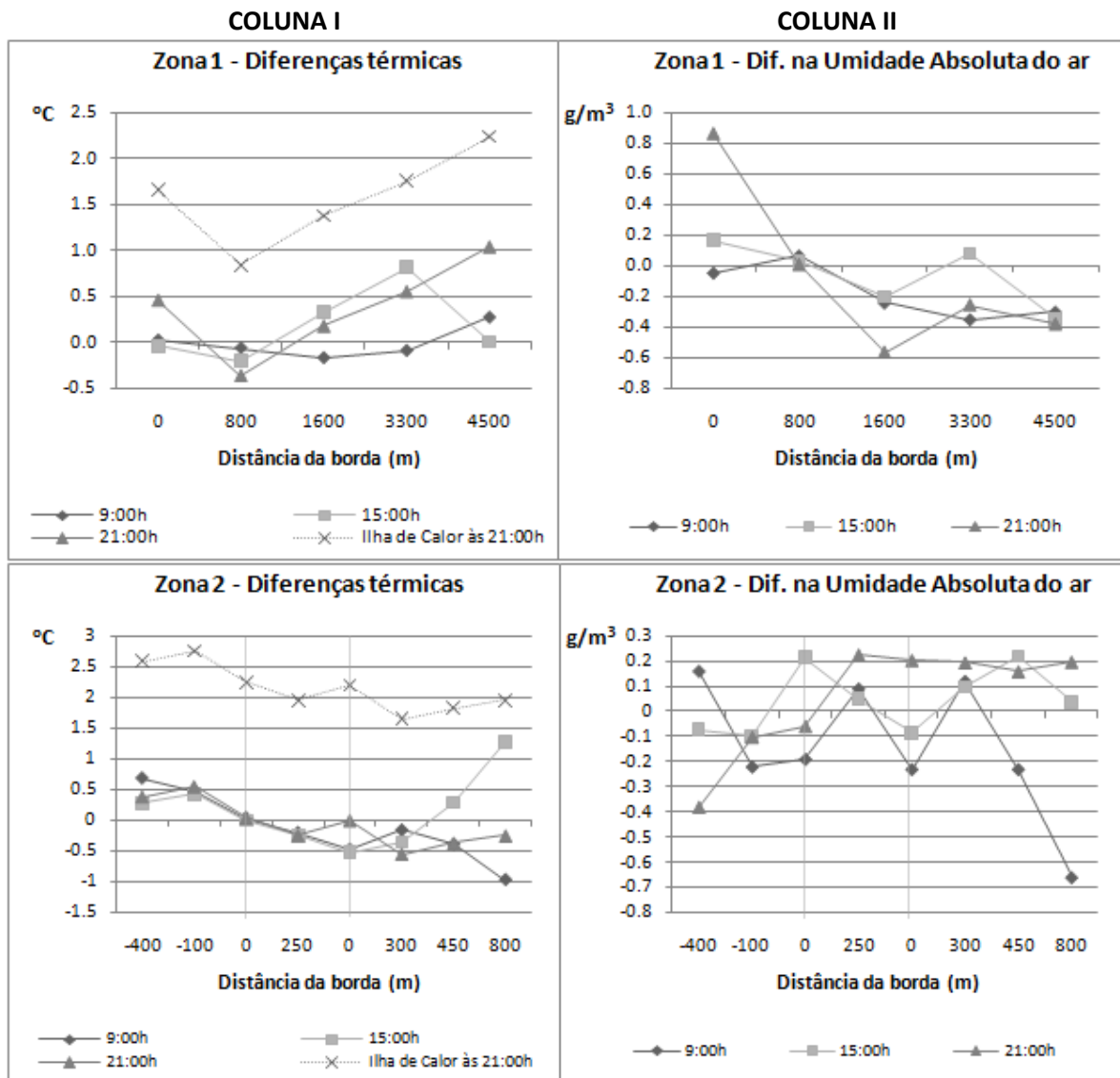
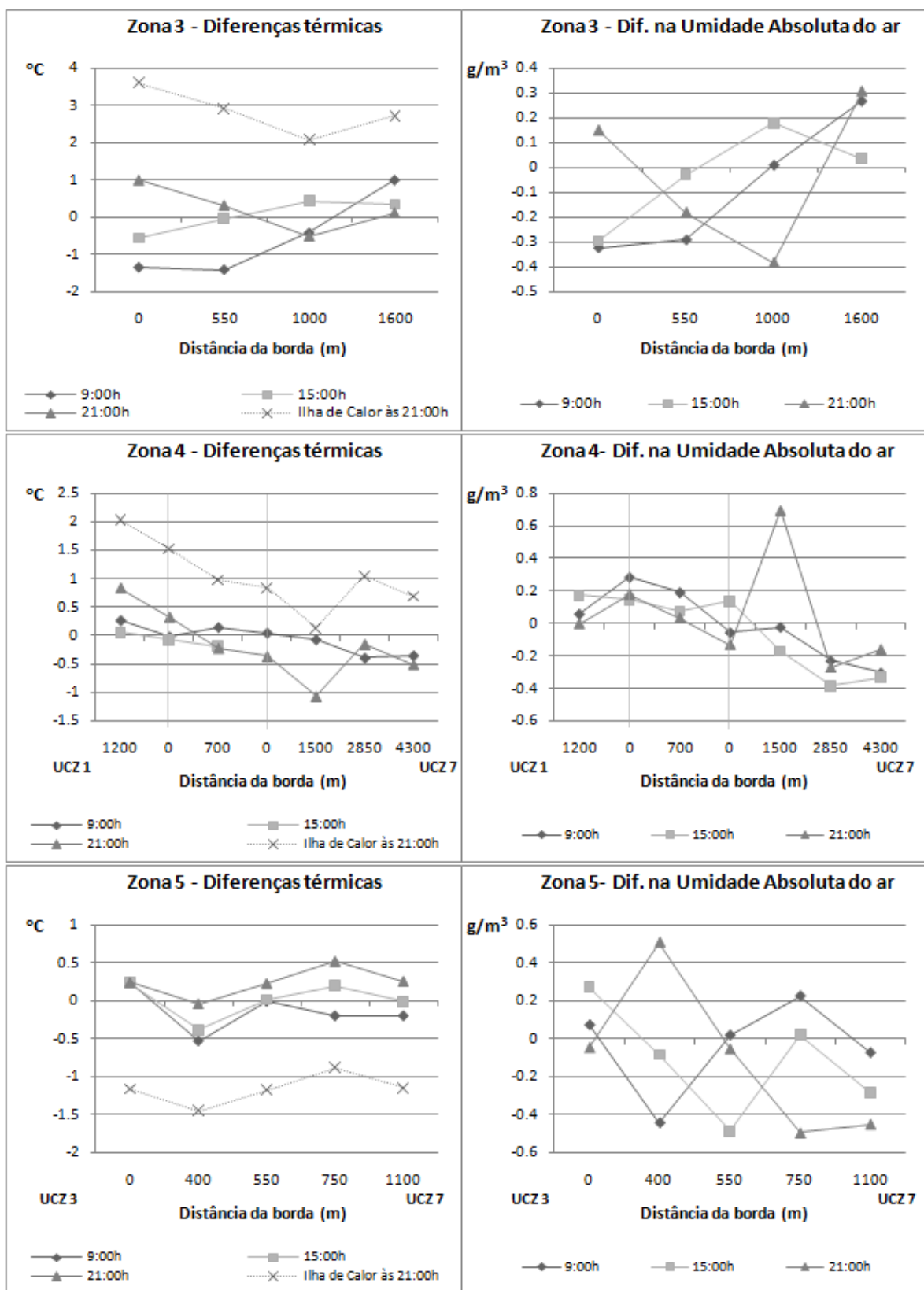


Figura 6.28 – Gradiente térmico e de umidade do ar provocado pelo distanciamento de fragmentos florestais urbanos. Resultados de monitoramentos móveis em cinco zonas urbanas de Campinas-SP. (**Coluna I**) Diferença entre a temperatura do ar dos pontos e a temperatura do ar média da zona de referência (°C). Ilha de calor às 21:00h calculada através da diferença da temperatura do ar nos pontos e a temperatura do ar na zona rural, segundo dados da estação meteorológica do CEPAGRI) ; (**Coluna II**) Diferença entre a umidade absoluta do ar dos pontos e a umidade absoluta do ar média da zona de referência (g/m³). Zonas indicadas na figura.

COLUNA I

COLUNA II



6.3.5 Percentual de área de floresta em relação à área total urbanizada para a modificação do clima local urbano

Como foi constatado, houve uma influência na temperatura e umidade do ar local em decorrência da aproximação dos fragmentos florestais que, no entanto, variam com o padrão de ocupação urbana e com o padrão da fronteira. Assim, as zonas urbanas puderam ser divididas de acordo com o padrão da zona climática urbana (UCZ) e padrão da fronteira, como mostra a Figura 5.29.

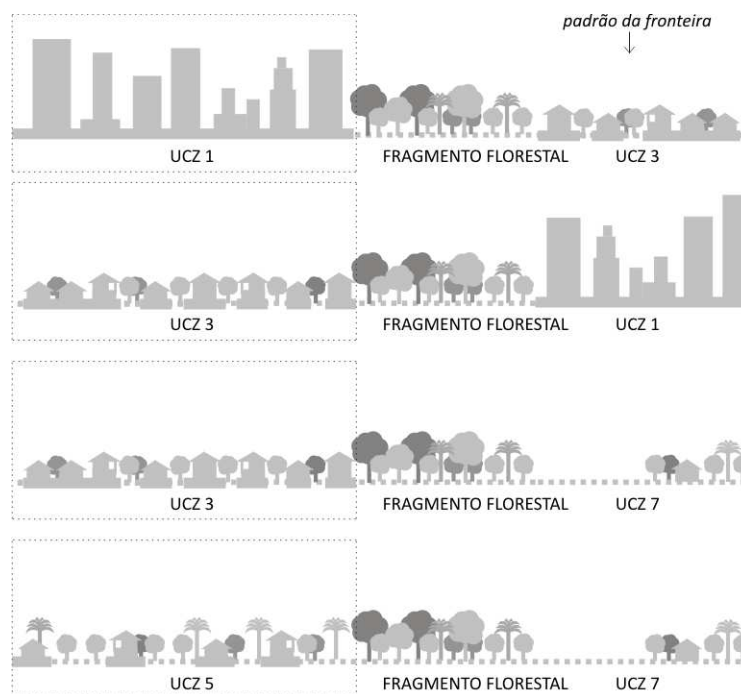


Figura 6.29 – Diferenciação de zonas urbanas, para análise do clima local sob influência de fragmentos florestais e da fronteira. UCZ – zona climática urbana, segundo Davenport et al. (2000).

A UCZ 1 fronteira com a UCZ 3 envolve a Zona 3 – Centro (Bosque dos Jequitibás); na UCZ 3 fronteira com a UCZ 1 agrupou-se os dados da Zona 2 – Castelo (Bosque dos Italianos e Bosque dos Alemães), e parte da Zona 3 – Jardim Proença (Bosque São José, até o limite do cemitério da Saudade) e Jardim Nova Europa (Bosque dos Guarantãs, descartando-se o trecho em direção à Valinhos); a UCZ 3 fronteira com a UCZ 7 abrange parte da Zona 3 (trecho em direção à Valinhos) e a Zona 5 – Vila Madalena

(Bosque da Paz); e a UCZ 5 fronteira com a UCZ 7 envolve a Zona 1 – Bosque de Barão (Mata de Santa Genebra).

Calculou-se o percentual de cobertura florestal relativo ao total de área urbanizada para cada uma destas quatro UCZs, com base nas diferenças térmicas e de umidade do ar decorrentes da distância de um fragmento florestal. O método de cálculo destes percentuais é apresentado na Figura 6.30. Para tanto, supõem-se que a influência da floresta no clima urbano seja igual em todas as direções do círculo. A simplificação na análise foi necessária para a confirmação ou refutação da hipótese.

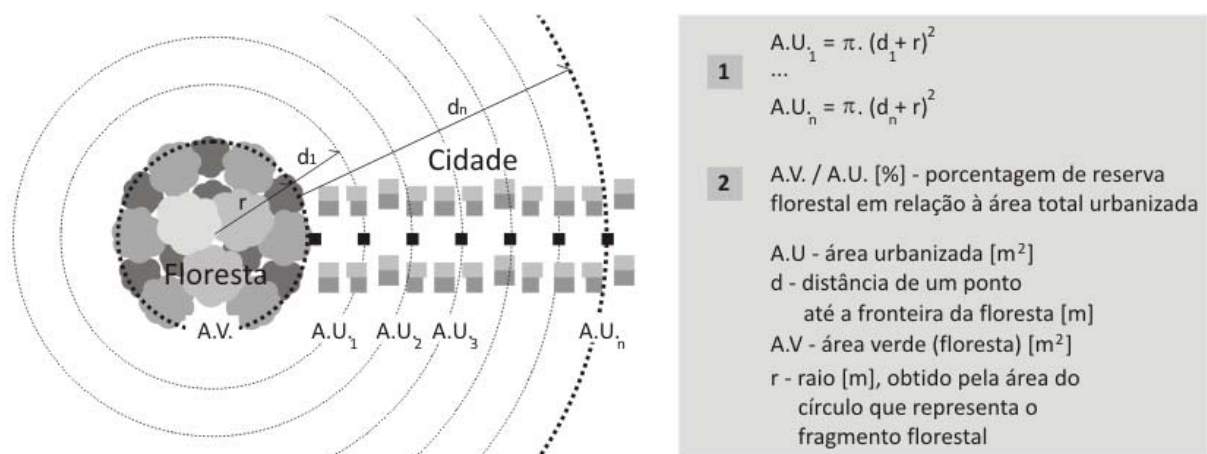


Figura 6.30 – Esquema de cálculo do percentual de reserva florestal em relação à área urbanizada.
1- equação de área de um círculo; 2 – relação entre a área verde e a área urbanizada.

Assim, quando $A.V. = A.U.$, tem-se 100% de porcentagem de área florestal; quando $A.U.$ é muito superior à $A.V.$, o percentual de área florestal tende a zero. O percentual aumenta com a aproximação do ponto urbano ao fragmento florestal e com a área do fragmento. Estes percentuais foram calculados para grupos de pontos com as seguintes distâncias médias [d] da fronteira com a floresta: 100m; 200m; 400m; 600m; 800m; 1000m; 1200m; 1400m. A distância de 100m abrange os pontos das ruas fronteiriças aos fragmentos, entre 0-100m; a distância de 200m abrange pontos localizados entre 100 – 200m da fronteira do fragmento, e assim por diante. As maiores distâncias só foram

calculadas quando não havia co-influência de mais de um fragmento florestal sobre os pontos urbanos, ou seja, quando a distância entre 2 ou mais fragmentos era maior que a distância do ponto ao fragmento mais próximo.

A diferença térmica intra-urbana e de umidade absoluta do ar de pontos em relação à média que representa a UCZ correspondente (ΔT_{p-UCZ} ; ΔUA_{p-UCZ}), foi correlacionada à porcentagem de cobertura florestal, como apresentado nas Figuras 6.31 a 6.35.



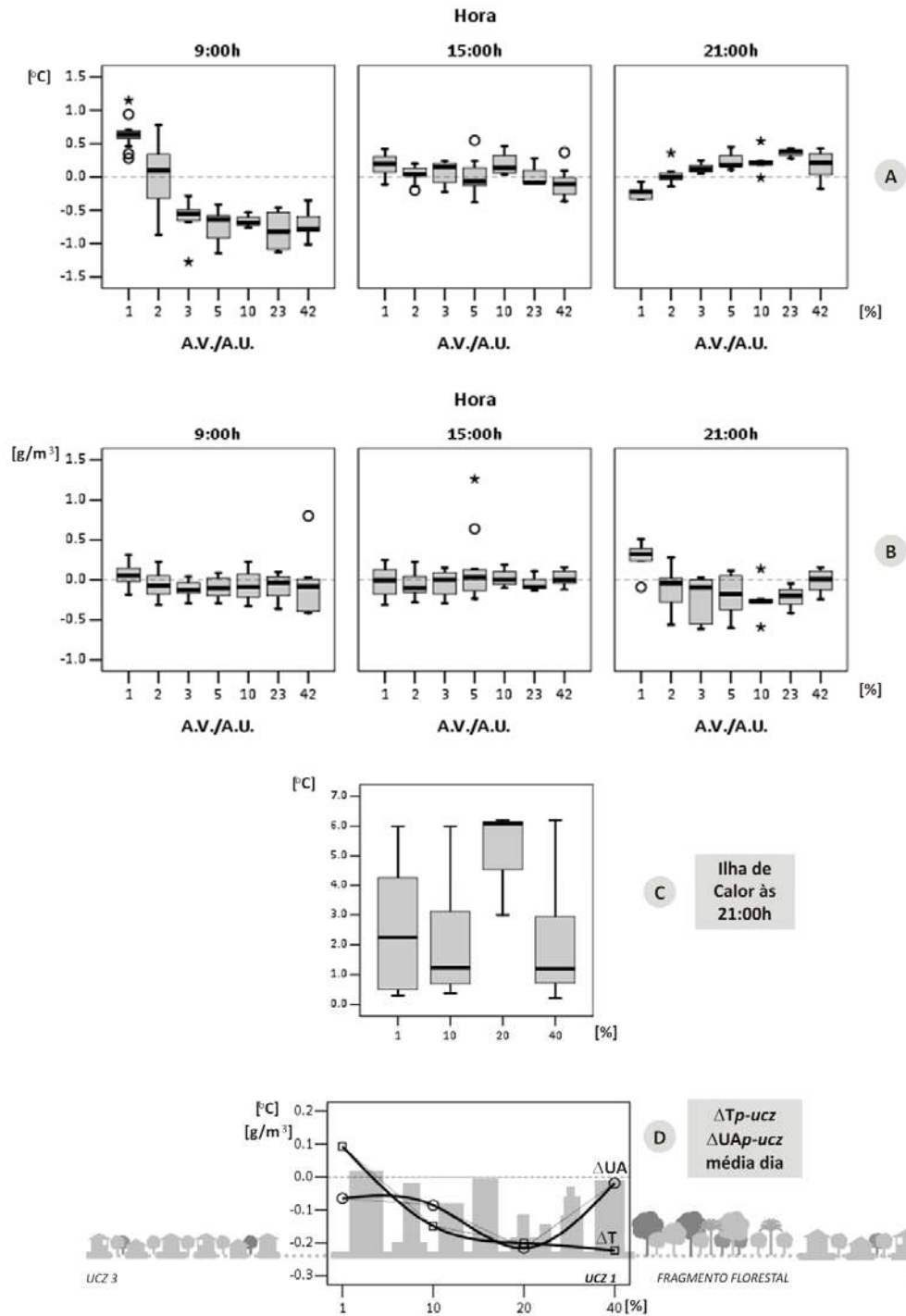


Figura 6.31 – Diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar em relação à média das variáveis da **UCZ 1 fronteiriça com a UCZ 3** em função do percentual de área florestal em relação à área total urbanizada [%].

A – Diferenças térmicas [°C] às 9:00h, 15:00h e 21:00h; B Diferenças na umidade absoluta do ar [g/m³] às 9:00h, 15:00h e 21:00h; C – Intensidade da ilha de calor [°C] às 21:00h, considerando a temperatura do ar da zona rural (dados da estação meteorológica do CEPAGRI); D – média dos três horários das diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar. Linha tracejada corresponde à média da UCZ correspondente.

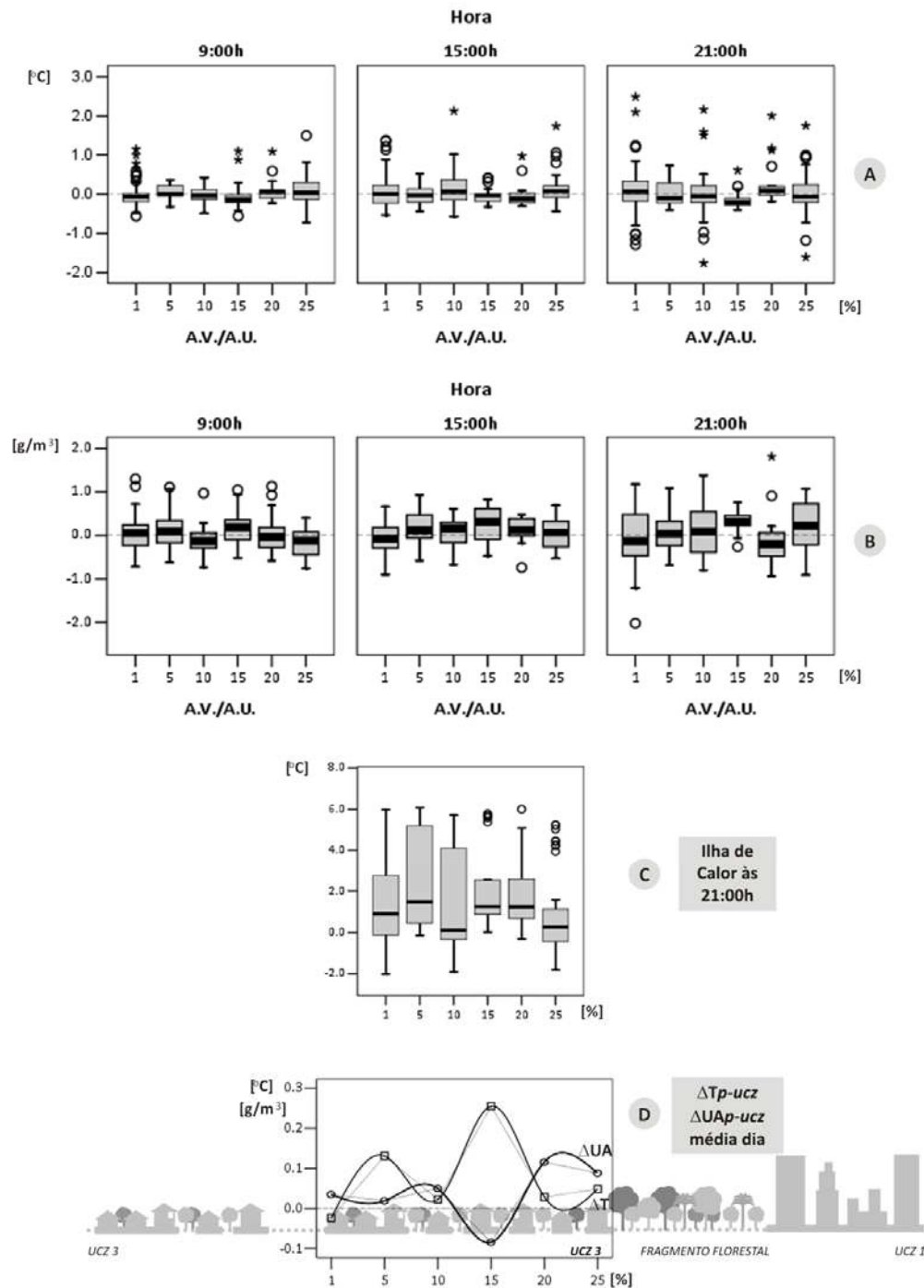


Figura 6.32 – Diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar em relação à média das variáveis da **UCZ 3** **fronteiriça com a UCZ 1** em função do percentual de área florestal em relação à área total urbanizada [%].

A – Diferenças térmicas [°C] às 9:00h, 15:00h e 21:00h; B Diferenças na umidade absoluta do ar [g/m³] às 9:00h, 15:00h e 21:00h; C - Intensidade da ilha de calor [°C] às 21:00h, considerando a temperatura do ar da zona rural (dados da estação meteorológica do CEPAGRI); D– média dos três horários das diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar. Linha tracejada corresponde à média da UCZ correspondente.

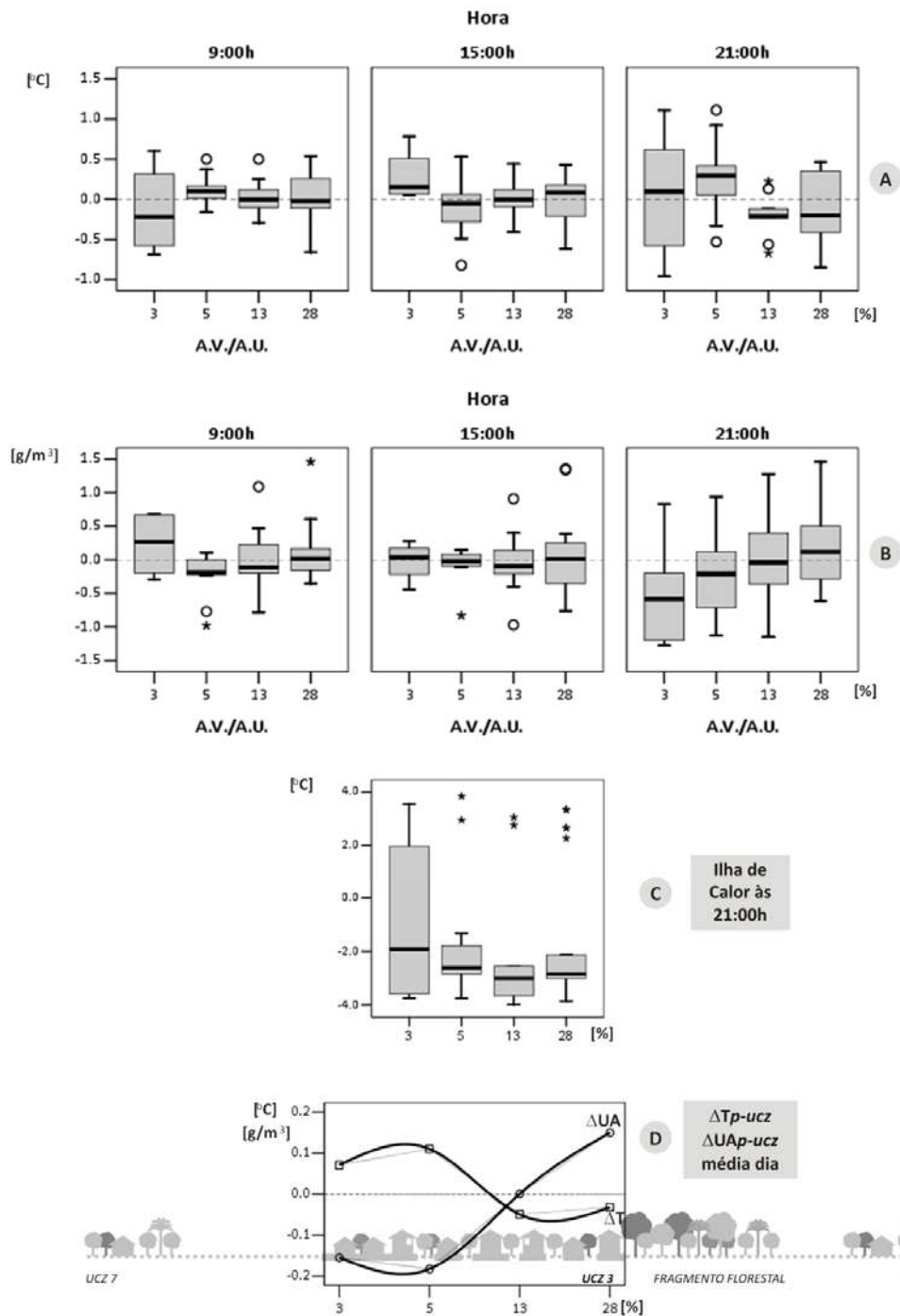


Figura 6.33 – Diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar em relação à média das variáveis da **UCZ 3 fronteira com a UCZ 7** em função do percentual de área florestal em relação à área total urbanizada [%].

A – Diferenças térmicas $^{\circ}\text{C}$ às 9:00h, 15:00h e 21:00h; B Diferenças na umidade absoluta do ar g/m^3 às 9:00h, 15:00h e 21:00h; C - Intensidade da ilha de calor $^{\circ}\text{C}$ às 21:00h, considerando a temperatura do ar da zona rural (dados da estação meteorológica do CEPAGRI); D – média dos três horários das diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar. Linha tracejada corresponde à média da UCZ correspondente.

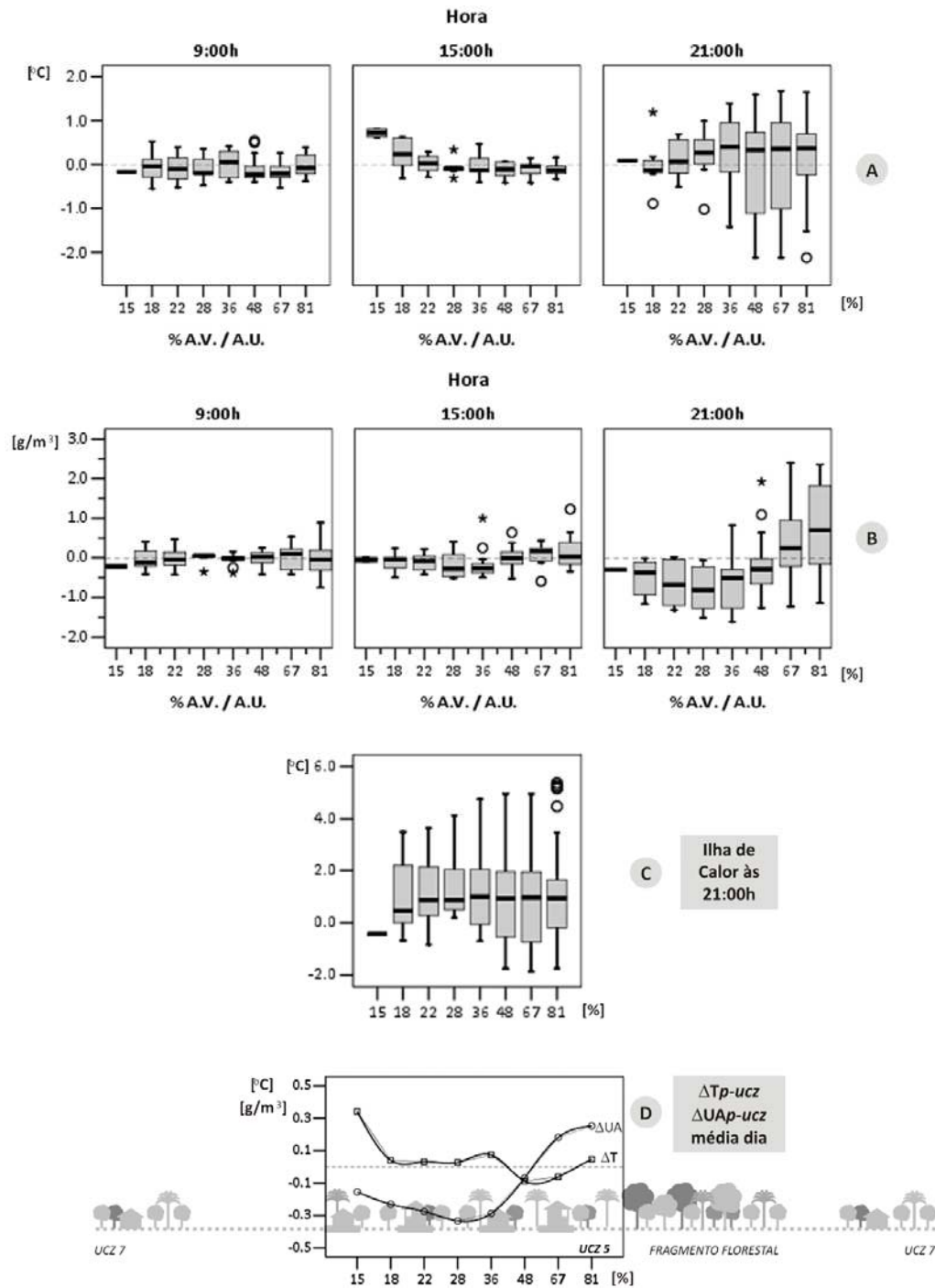


Figura 6.34 – Diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar em relação à média das variáveis da **UCZ 5 fronteira com a UCZ 7** em função do percentual de área florestal em relação à área total urbanizada [%].

A – Diferenças térmicas [°C] às 9:00h, 15:00h e 21:00h; B Diferenças na umidade absoluta do ar [g/m³] às 9:00h, 15:00h e 21:00h; C - Intensidade da ilha de calor [°C] às 21:00h, considerando a temperatura do ar da zona rural (dados da estação meteorológica do CEPAGRI); D– média dos três horários das diferenças térmicas e de umidade absoluta do ar. Linha tracejada corresponde à média da UCZ correspondente.

Na **UCZ 1 fronteira com a UCZ 3** (Figura 6.31-A) , observou-se a redução gradativa da temperatura do ar com o aumento do percentual de área florestal em relação ao total urbanizado às 9:00h. Nos demais horários, o efeito de resfriamento não foi evidente, observando-se, ao contrário, uma tendência ao aquecimento com o aumento do percentual de cobertura florestal às 21:00h, que deve-se à mudança da geometria urbana. Às 15:00h os valores interquartis das diferenças térmicas estiveram abaixo da média (referência zero) somente com 42% de A.V./A.U. Neste horário, com 10% de A.V./A.U. os valores interquartis ainda estiveram acima da média, indicando que este percentual de floresta não seria suficiente para arrefecer o centro urbano.

Verificou-se baixa capacidade do fragmento em elevar a umidade absoluta do ar em função do percentual de A.V./A.U (Figura 6.31-B). Houve um ligeiro aumento somente com 42% de área de floresta às 15:00h e 21:00h.

As diferenças higrotérmicas na UCZ 1 também foram ocasionadas pela aproximação / distanciamento da UCZ 3 e pelas diferenças na geometria urbana (relação H/D). Como mostra a Figura 6.35, a avenida próxima ao fragmento florestal apresentava uma relação H/W bastante inferior à avenida que representa o “core” da UCZ 1. O aumento da abertura para o céu implicou no aumento das superfícies expostas à radiação solar, elevando a temperatura do ar às 15:00h e às 21:00h nos arredores do fragmento florestal, e intensificando a ilha de calor (Figura 6.31-C). Apesar da baixa relação H/W facilitar as trocas térmicas e acelerar a perda de calor para a atmosfera, o fluxo de calor do centro em direção a este trecho urbano e o superaquecimento das áreas extensas de asfalto não colaboraram para que houvesse o resfriamento do ar.

Apesar disso, as médias das diferenças térmicas diárias (Figura 6.31-D) indicam que houve uma diminuição da temperatura e aumento da umidade do ar em função do aumento de A.V./A.U. Com cerca de 4% de área de floresta sobre o total urbanizado a temperatura do ar já se apresentou abaixo da média, e com de 20% iniciou-se o aumento da umidade do ar. A distância dos pontos urbanos em relação à fronteira do fragmento florestal (área igual a 10,5 ha) é de aproximadamente 400 m, para 4% de A.V./A.U., e de 200 m, para 20% de A.V./A.U. , mostrando um efeito térmico limitado às imediações do fragmento florestal.



Provavelmente, a diminuição da abertura para o céu do trecho imediato ao fragmento florestal seria favorável à mitigação da temperatura.

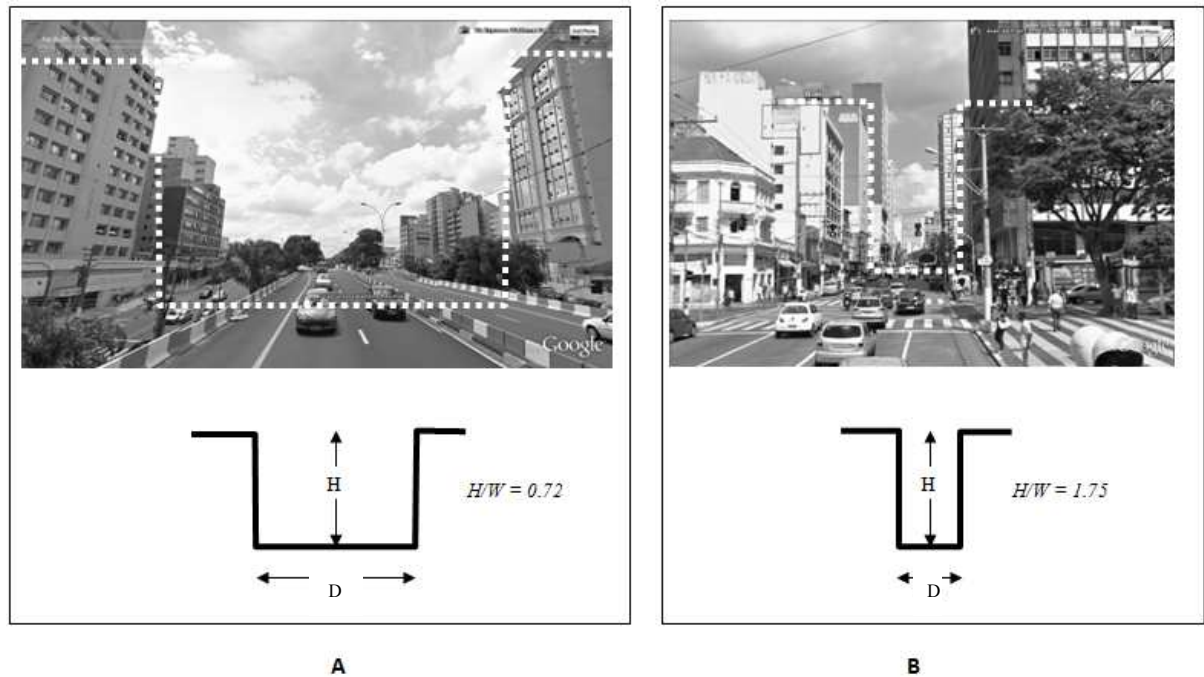


Figura 6.35 – Perfis viários em zona urbana central (UCZ 1) com diferentes razões entre a altura das edificações (H) e a distância entre elas (D). (A) Avenida Aquidabã, na aproximação de um fragmento florestal; (B) Avenida Francisco Glicério (“core” da UCZ 1), ambas em Campinas-SP. Fonte das fotografias: Street View do Google Earth, 2011.

Na **UCZ 3 fronteira com a UCZ 1** (Figura 6.32), as diferenças térmicas e de umidade devido ao aumento do percentual de A.V./A.U. nos três horários analisados não foram evidentes, possivelmente devido à pequena dimensão dos fragmentos florestais (área entre 1,5 – 3,36 ha). Porém, notou-se a diminuição gradativa da temperatura do ar máxima às 21:00h, reduzindo a intensidade da ilha de calor em função do aumento do percentual de floresta (Figura 6.32-C). As médias térmicas diárias (Figura 6.32-D) indicam que o efeito efetivo da floresta sobre o entorno ocorreu com 15% de A.V./A.U., observando-se, a partir deste percentual, o aumento da umidade absoluta do ar conjuntamente com a diminuição da temperatura do ar. A oscilação verificada com percentual mais baixo de área de floresta (10%) deve-se a ocorrência de outros elementos que provocaram anomalias no clima local

(ex. fundos de vale), visto que houve, em seguida, elevação da temperatura e diminuição da umidade do ar. O pico de máxima umidade e temperatura mínima ocorreu com cerca de 20% A.V./A.U. Este percentual representa pontos urbanos distantes entre 100-200m de pequenos fragmentos florestais, o que mostra a formação de ilhas de frescor limitadas à ambiência do quarteirão em pequenos fragmentos florestais.

Na **UCZ 3 fronteira com a UCZ 7** (Figura 6.33) verificou-se uma tendência na diminuição da temperatura do ar mínima a partir de 5% de A.V./A.U., às 9:00h. Já às 15:00h, houve uma redução na temperaturas máximas, e às 21:00h nota-se um efeito de resfriamento mais efetivo com o aumento do percentual de área de floresta. O efeito pode ser observado tanto pelas diferenças térmicas em relação à média da UCZ 3 (Figura 6.33-A) como pela diminuição da ilha de calor (Figura 6.33-C). O aumento da umidade absoluta do ar foi mais visível no horário noturno (Figura 6.33-B).

Apesar da zona rural mostrar-se mais fria do que as áreas urbanas próximas do fragmento florestal, às 9:00h e às 21:00h, esta apresentou-se menos úmida a noite. Possivelmente, a baixa umidade deve-se a presença da rodovia, shopping, e predomínio de áreas de pasto. Assim, pode-se afirmar que o clima local foi modificado conjuntamente pelo distanciamento da zona rural e aproximação da mata.

As diferenças higrotérmicas médias diárias (Figura 6.33-D) mostram que o efeito conjunto do arrefecimento e elevação da umidade do ar ocorreu com cerca de 4,5% de A.V./A.U. A temperatura do ar esteve abaixo da média a partir de 10% de área de floresta, e um efeito mais efetivo do fragmento florestal sobre o entorno construído iniciou-se com 13% de A.V./A.U., observando-se valores de umidade absoluta do ar acima da média.

Na **UCZ 5 fronteira com a UCZ 7** (Figura 6.34) também constatou-se a influência conjunta do distanciamento da zona rural e aumento da porcentagem de A.V./A.U. Às 9:00h e às 15:00h houve uma pequena redução nos valores máximos da temperatura (Figura 6.34-A). Porém, às 21:00h houve uma tendência ao aumento dos valores máximos e diminuição dos valores mínimos, aumentando a amplitude dos dados, o que deve ter sido causa da presença de manchas de usos do solo diversificadas ao redor do fragmento florestal (ex. gramado, casas, fundo de vale). Isto ocasionou na ocorrência de



ilhas de calor de várias intensidades (Figura 6.34-C) e, inclusive, de pontos com temperaturas mais baixas que a zona rural.

No horário noturno foi evidente a elevação da umidade absoluta do ar em função do aumento de A.V. / A.U. Nos demais horários, o aumento dos valores máximos de umidade foi sutil.

A média diária das diferenças térmicas (Figura 6.34 -D) mostra grande estabilidade térmica com percentual de A.V. / A.U maior que 18%, o que indica uma possível ação da mata de grande dimensão (250,36 ha) no entorno edificado (equivalente à extensão de 1200 m). No entanto, a temperatura esteve abaixo da média somente com mais de 36% de área de floresta (equivalente à extensão de 600 m), momento em que se observa o início do aumento da umidade absoluta do ar. Essa atingiu valores acima da média somente com mais de 50% de A.V. / A.U. (pontos distantes 400 m ou mais próximo da mata).

Apesar das diferenças higrotérmicas intra-urbanas se diferenciarem entre os três horários analisados, as médias diárias das diferenças térmicas e de umidade (gráficos de linha), possibilitaram identificar um comportamento entre as áreas. Em todos os casos, observou-se uma tendência de redução da temperatura do ar e aumento da umidade absoluta do ar com o aumento do percentual de área de floresta, exceto na fronteira dos fragmentos florestais, onde pode ocorrer um pequeno aquecimento. A intensidade do efeito variou entre as UCZs, possivelmente em decorrência da dimensão dos fragmentos florestais.

Considerando que o efeito dos fragmentos sobre o entorno edificado seja identificado pela redução da temperatura do ar concomitante ao aumento da umidade absoluta do ar, foi possível identificar os seguintes percentuais de floresta urbana para que se observe um efeito no clima local (Tabela 6.13).



Tabela 6.12 - Percentuais mínimos de floresta sobre em relação à área total urbanizada para a modificação do clima local.

Padrão da paisagem e da fronteira (UCZ Segundo Davenport et al., 2000)	Porcentagem mínima em que o efeito é iniciado	Porcentagem mínima para que a temperatura do ar esteja abaixo da média e para que a umidade absoluta do ar esteja acima da média da UCZ correspondente
UCZ 1 fronteira com a UCZ 3	20%	+ que 40%
UCZ 3 fronteira com a UCZ 1	15%	~20%
UCZ 3 fronteira com a UCZ 7	4%	13%
UCZ 5 fronteira com a UCZ 7	18% (estabilidade térmica) 30% (inicia-se o aumento da umidade absoluta do ar)	50%

6.4 Síntese dos resultados e comentários finais

Os fragmentos florestais urbanos atuam sobre o clima local, diminuindo temperatura do ar e elevando a umidade absoluta do ar do entorno edificado. O efeito pode ser expresso em termos de magnitude (o quanto varia em relação à média esperada para uma zona climática urbana - UCZ) e de extensão (como e até aonde varia no espaço). Alguns fatores podem intensificar ou minimizar o efeito das florestas sobre o clima urbano, tais como: o horário do dia, a condição de tempo e número de dias sem chuva, o padrão de ocupação urbana e da fronteira da zona urbana analisada, o tamanho e a forma do fragmento florestal, a topografia, dentre outros.

A análise de dados de temperatura e umidade do ar, obtidos por meio móvel, permitiu identificar que as diferenças térmicas intra-urbanas são acentuadas com baixa umidade relativa do ar. Nesta condição, houve um maior contraste entre as ruas fronteiriças aos fragmentos florestais urbanos e os bairros circunvizinhos.

Após o sexto dia de estiagem, sob condição de tempo estável, baixa nebulosidade e ventos fracos, observou-se uma diferença térmica máxima de 4,7 °C, na UCZ 5 fronteira à UCZ 7 (zona residencial de baixa densidade e desenvolvimento fronteira com a zona



rural). A diferença máxima na umidade absoluta do ar foi de $3,6 \text{ g/m}^3$, nas UCZs 3 e 5 fronteiriças à UCZ 7 (zona residencial de média e baixa densidade fronteiriças com a zona rural). Os pontos mais aquecidos e áridos estavam sobre as rodovias e os mais frios e úmidos encontravam-se ao lado dos fragmentos florestais, próximos de superfícies d'água.

As áreas abertas, com baixa relação H/W (altura dos elementos sobre o distanciamento entre eles), tais como gramados, terra exposta, rodovias, avenidas largas, vales sem área de preservação permanentes, mostraram-se intensamente aquecidas, diminuindo e /ou anulando o efeito dos fragmentos florestais sobre o clima local urbano. A diferença térmica entre pontos fronteiriços à Mata de Santa Genebra (250,36 ha), próximos de um gramado e de um corpo d'água vegetado, foi de $0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, no horário noturno. Em uma zona de alta densidade e verticalização, a geometria do cânion urbano com baixa relação H/W acarretou o aquecimento gradativo e intenso da região ao longo do dia, intensificando as ilhas de calor às 21:00h. Diante disso, recomenda-se evitar a implantação de ruas largas e com tráfego intenso, áreas de sistemas de lazer pouco arborizadas, áreas agrícolas, areia ou terra exposta, junto aos fragmentos florestais urbanos.

As massas de ar arrefecidas pelos fragmentos florestais urbanos tenderam a acumular-se nos fundos de vale. Assim, pontos situados em nível abaixo das florestas apresentaram-se mais arrefecidos e úmidos que os situados acima, com uma diferença de até $1,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ entre o ponto mais elevado do terreno e o ponto mais baixo, em direção ao fundo de vale. No entanto, a proximidade dos centros urbanos mostrou-se desfavorável ao resfriamento do entorno edificado aos fragmentos florestais urbanos, principalmente à tarde e à noite, mesmo em regiões próximas de fundos de vale. Presume-se que o bom estado de conservação das margens dos córregos e dos espigões contribua para o arrefecimento das cidades.

Comparando-se a temperatura do ar nas fronteiras dos fragmentos florestais às médias térmicas urbanas, constatou-se o seguinte comportamento: temperaturas moderadas (interquartis) às 9:00h; temperaturas moderadas à frias às 15:00h (interquartis ou inferiores ao 1º quartil); temperaturas moderadas à quentes às 21:00h, (interquartis ou superiores ao 3º quartil). Portanto, as florestas urbanas configuram ilhas de frescor durante o dia e ilhas de calor à noite.



Identificou-se comportamento semelhante nas variáveis climáticas diante do aumento do percentual de área de floresta sobre a área total urbanizada, com redução da temperatura do ar concomitante à elevação de umidade absoluta do ar, o que possibilitou encontrar porcentagens de área de floresta/total urbanizado (A.U. / A.V.) para cada UCZ capazes de modificar o clima local. No entanto, estas porcentagens podem variar diante da presença de elementos, com diferentes capacidades térmicas, presentes na microescala. Em geral, verificou-se que a porcentagem mínima de 20% de A.U. / A.V. possibilita observar algum efeito no clima local de qualquer padrão de ocupação urbana, o que significa o início da diminuição da temperatura do ar e aumento da umidade absoluta do ar. Porém, para uma mudança efetiva do clima local (umidade acima e temperatura abaixo da média esperada) os percentuais deveriam ser bem maiores. A pior situação ocorre em áreas urbanas com grandes porções de terra exposta bem como em áreas centrais verticalizadas, necessitando-se de 40-50% de área de floresta para que se observem níveis de umidade acima da média esperada.

Em linhas gerais, observou-se que a extensão do efeito da floresta urbana sobre o entorno construído é igual ao diâmetro de uma circunferência com área equivalente à da floresta, ou, no caso de áreas com formato irregular, o efeito equivale à aproximadamente à sua largura média. Isso significa que os fragmentos com a dimensão de um quarteirão provocam um efeito limitado à extensão de 100-200 m. Uma situação favorável foi observada em área urbana sob a influência de dois fragmentos florestais. Neste caso, a extensão do efeito aumentou para cerca de 1,5 vezes o diâmetro da circunferência que representa a área média dos fragmentos.

Portanto, as áreas verdes irregulares, comumente existentes no tecido urbano (áreas em forma de tiras, fatias, etc.) desfavorecem o efeito sobre o entorno, do mesmo modo que seu microclima é afetado (Herrmann et al., 2005). A distribuição homogênea de fragmentos florestais¹², com formato regular, na área urbana, pode ser interessante para a diminuição da temperatura máxima do ar, elevação da umidade e estabilidade climática.

¹² Estas sugestões se prendem aos dados coletados, e a área mínima dos fragmentos florestais estudado foi de 1,5 ha.





7 Conclusões

Esta pesquisa buscou caracterizar tanto o microclima de fragmentos florestais urbanos como o seu efeito no clima local, evidenciando a interação entre as escalas climáticas. Neste sentido, os materiais e métodos utilizados foram adequados às unidades do espaço urbano avaliado – a quadra, o bairro e a zona urbana. Três experimentos de campo foram realizados nesta sequência, partindo da microescala para a escala local urbana. Este encadeamento experimental proporcionou que os resultados obtidos em um primeiro experimento subsidiassem o planejamento experimental da próxima etapa, e assim sucessivamente. Além disso, buscou-se uma visão sistêmica do clima urbano e de sua interação com a vegetação, nas várias escalas.

A complexidade do estudo deve-se ao número de fatores que influenciam as variáveis climáticas – condições de tempo, geometria urbana, influência da fronteira, topografia, presença atípica de elementos naturais e edificados, área do fragmento florestal e o seu estado de conservação, dentre outros que foram observados no decorrer das análises.

A hipótese da pesquisa - *“Existe um percentual mínimo de área florestal, para diferentes padrões de ocupação urbana, que seja suficiente para modificar o clima local”* – foi comprovada. Constatou-se que estes percentuais podem variar diante de características específicas dos sítios, observadas na microescala.

O estudo permitiu tecer as seguintes conclusões:

- As florestas urbanas apresentam baixa amplitude térmica diária e níveis elevados de umidade absoluta do ar. A temperatura do ar é mais elevada que o ambiente rural pela manhã e mais baixa à tarde. A baixa amplitude térmica é acompanhada de alta inércia térmica, causada pela obstrução do dossel, o que dificulta as trocas térmicas entre o sub-bosque e a atmosfera. A amplitude térmica é maior em fragmentos de grande dimensão, comparados aos fragmentos pequenos (cuja área corresponde a um quarteirão), devido à significativa diminuição da temperatura mínima do ar.

- Ocorrem diferenças térmicas e de umidade do ar no perfil vertical e horizontal das florestas urbanas. Há indícios de que a causa da estratificação térmica vertical, com



temperaturas mais baixas a 10 m que a 1,5 m, deve-se ao aumento da velocidade dos ventos e diminuição da resistência da camada de ar aderida às folhas, aumentando a parcela de perda de calor latente. Já as diferenças térmicas no perfil horizontal devem-se à presença de elementos com diferentes capacidades térmicas, fontes de calor, e proximidade da fronteira urbana, ocasionando em distúrbios pontuais (pequenos fragmentos) ou na forma de gradiente (grandes fragmentos florestais).

- A intensidade nas ilhas de calor é mais elevada em áreas urbanas distantes da zona rural, em decorrência do aumento da inércia térmica. Os sítios com baixas taxas de aquecimento pela manhã, estiveram mais aquecidos no período noturno e apresentaram menores amplitudes térmicas diárias.

- O efeito de grandes fragmentos florestais sobre o entorno edificado, com características rurbanas, intensifica as ilhas de calor noturnas e diminui a amplitude térmica diária. O mesmo não ocorre na presença de pequenos fragmentos. Há indícios que, apesar das florestas urbanas apresentarem elevada inércia térmica, o aumento da umidade do ar decorrente dos efeitos da evapotranspiração, diminui a temperatura do ar máxima do dia do entorno edificado e, conseqüentemente, a amplitude térmica diária. Por outro lado, a amplitude térmica de um grande fragmento florestal apresenta-se mais elevada que nos pequenos fragmentos, devido à manutenção da temperatura máxima e diminuição significativa da temperatura mínima diária.

- O efeito das florestas sobre o clima urbano não apresenta sempre a mesma magnitude e extensão. A magnitude é maior à tarde e em condições atmosféricas com baixa umidade relativa do ar, confirmando os resultados de Gomes e Lamberts (2009) e Cox (2008). No entanto, a extensão do efeito é maior pela manhã e em dias posteriores à ocorrência de chuva.

- As maiores diferenças térmicas ocorreram entre pontos sobre rodovias (mais aquecidos) e pontos próximos de fragmentos florestais com superfície d'água (arrefecidos).

- Áreas com alta abertura para o céu, ou seja, com baixa relação H/D (altura dos elementos sobre o distanciamento entre eles), tais como gramados, terra exposta, rodovias, avenidas largas, vales sem área de preservação permanentes, mostraram-se intensamente



aquecidas. Assim, quando localizadas próximas de fragmentos florestais urbanos o efeito de resfriamento do ar é reduzido ou anulado, especialmente no período da tarde.

- O arrefecimento provocado pelos fragmentos florestais urbanos tende a deslocar-se para as porções mais baixas do terreno. No entanto, a impermeabilização, o adensamento construtivo e presença de solo exposto em fundos de vale são desfavoráveis a este efeito.

- As florestas urbanas configuram ilhas de frescor durante o dia e ilhas de calor à noite.

- Identificou-se que o percentual de área de floresta sobre o total urbanizado deve ser superior a 20%, para que se possa observar o início do efeito de arrefecimento e de elevação da umidade do ar, em qualquer padrão de ocupação urbana. Para que a temperatura do ar esteja abaixo da média e para que a umidade absoluta do ar esteja acima da média esperada para uma zona urbana, a porcentagem deve ser maior, podendo alcançar entre 40-50% em áreas urbanas verticalizadas ou com predomínio de terra agrícola, solo exposto e gramado.

- Há indícios de que a extensão do efeito sobre o entorno construído seja igual ao diâmetro de uma circunferência com área equivalente a da floresta, confirmando os resultados de Upmanis et al. (1998) e Jauregui (1990/1991). A extensão pode aumentar em áreas urbanas sob a influência mais de um fragmento florestal, chegando a 1,5 vezes este diâmetro, como também pode diminuir, quando o formato do fragmento for irregular.

- Diante disso, recomenda-se a implantação mínima de 20% de áreas de florestas urbanas sobre um total urbanizado, com formato regular, distribuídas homogeneamente sobre o tecido urbano, em uma distância igual a duas vezes a largura mínima do menor fragmento. Ressalta-se que este percentual é válido para as condições climáticas de Campinas, bem como para a categoria específica de área verde estudada.

Neste trabalho obtivemos inúmeros indícios dos fatores que implicam em maior ou menor influência dos fragmentos florestais no clima urbano. Isso permite uma série de pesquisas que complementarão esta tese. Sugerem-se os seguintes temas para trabalhos futuros:



- Disponibilidade de água no solo e a influência dos fragmentos florestais urbanos no clima do entorno edificado;
- Índice de vegetação urbana e clima local urbano;
- A influência da topografia e da altitude no clima local urbano;
- A importância da área de preservação permanente em fundos de vale no microclima urbano;
- O fator de visão do céu e o microclima das áreas verdes urbanas;
- O fator de visão do céu no meio urbano e influência dos fragmentos florestais urbanos no clima local;
- A influência da ventilação no deslocamento das massas de ar e arrefecimento das áreas urbanizadas sob a influência dos fragmentos florestais urbanos;
- Áreas verdes urbanas, microclima e comportamento humano.



8 Referências

- ABREU, L. V. D. Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.
- ABREU, L.; LABAKI, L.C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2010.
- AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar Energy**, v. 70, n. 3, p. 295–310, 2001.
- ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/ energéticas com a atmosfera**: Introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: Edição do Autor, 2002.
- BARBANO, M. T.; BRUNINI, O.; PINTO, H. S. Direção predominante do vento para a localidade de Campinas - SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 123-128, 2003.
- BARBIRATO, G.M.; TORRES, S. C.; LISBOA, T. A. Microclimatic conditions of urban public spaces in a tropical city. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 5th, 2003, Lodz. **Proceedings ...** Lodz, 2003. Disponível em: http://nargo.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/O_2_5.pdf. Acesso em Maio, 2011.
- BARBOSA, E. T.; AMO, V. A.; LABAKI, L. C. A influência da vegetação e das variáveis climáticas no nível de conforto dos usuários da praça do centro de convivência em Campinas, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13º, 2010, Canela. **Anais...** Canela, RS, Brasil, 2010. CD-ROM.
- BARBOSA, R.V.R.; VECCHIA, F.A.S.; MODNA, D. Áreas verdes e qualidade climática no ambiente urbano. In: Congresso luso brasileiro para o planejamento urbano regional integrado sustentável, 1º, 2005, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2005. CD-ROM.
- BEAUDET, M.; MESSIER, C. Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: an assessment based on hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 110, p. 217-228, 2002.
- BLENNOW, K. Modelling minimum air temperature over clear-cuts and within shelterwood – effects of shelter-wood density, small scale topographic variations and soil preparation. PhD thesis, Lund University, Paper 3, 1997.
- BLUMENFELD, E. C. **Relações entre Vizinhança e Efeito de Borda em Fragmento Florestal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.
- BOWLER, D. E. et al. Urban greening to cool towns and cities : A systematic review of the empirical evidence. **Landscape and Urban Planning**, v. 97, Issue 3, p.147-155, Sep. 2010.
- BRASIL, 1989. Lei Nº 7.803, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei 4.771, de 15/09/1965, revoga as Leis 6.535, de quinze de junho de 1978 e 7.511, de sete de julho de 1986. (Código Florestal).
- BRASIL. Lei n. 4771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal.
- BRASIL. Lei n. 6766, de 19 de Dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências.
- BRUSANTIN, G.N.; FONTES, M.S.G.C. Conforto térmico em espaços públicos de permanência: uma experiência na cidade de Bauru-SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10º, 2009, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído); UFRN, 2009. p. 441-449.



- BUENO-BARTHOLOMEI, C.L. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.
- BUENO, C. L. **Estudo de atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1998.
- CAMPINAS, Prefeitura Municipal de. Lei Complementar Nº 15 de 27 de dezembro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Campinas. Campinas, 2006.
- CARLO, J. C.; ASSIS, E. S. Métodos climatológicos aplicados ao planejamento urbano. Estudo de caso: Campus de Pampulha, UFMG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5º, 1999, Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), 1999. CD-ROM.
- CASTRO, L. L. F. de LIMA. C. Estudo de parâmetros de conforto térmico em áreas verdes inseridas no ambiente urbano. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.
- CEPAGRI, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Informações sobre o clima de Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>>. Acesso em: 30 Junho 2010.
- CHANDLER, T. J. London's Urban Climate. **The Geographical Journal**, v. 128, n.3, p. 279-298, Sep. 1962. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1794042?origin=JSTOR-pdf>. Acesso em 08 Jan. 2010.
- CHANG, C.R.; LI, M.H.; CHANG, S.D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. **Landscape and Urban Planning**, v. 80, n. 4, p. 386–395, May. 2007.
- CHEN, Y.; WONG, N. H. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 2, p. 105-120, Feb. 2006.
- CORREA, E.N.; RUIZ, M.A.; CANTÓN, M.A. Morfología forestal y confort térmico en “ciudades oasis” de zonas áridas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 119-137, out./dez. 2010.
- COSTA, H.B.; ROSSI, M.; COELHO, R.M. Mapa de impermeabilização do solo da bacia do Ribeirão das Anhumas, Campinas-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11º, Set. 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2005, p.876-895.
- COX, E. P. Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande, MT. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2008.
- CRUZ, G.C.F. Clima urbano em Ponta Grossa –PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo, 2009.
- DACANAL, C., LABAKI, L.C., SILVA, T.. Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 115-132, abr./jun. 2010.
- DAVENPORT, A.G.; GRIMMOND, C.S.B.; OKE, T.R.; WIERINGA, J. Estimating the roughness of cities and sheltered country. In: **Conference on Applied Climatology**, 2000, Asheville. **Proceedings...** Boston, American Meteorological Society, 2000, p. 96–99.
- DIAS, A.S.; SOUZA, H. A.; LANDGRAF, P. R.C.; AMORIM, M.C. Avaliação da arborização no clima urbano no bairro da Tijuca, cidade do Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13º, 2010, Canela. **Anais...** Canela, RS, Brasil, 2010. CD-ROM.
- DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the Urban Environment: microclimatic analysis an benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, n.1, p. 69-76, Jan. 2003.



- DUARTE, D. Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas na Região de Clima Tropical Continental. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- FAHMY, M.; SHARPLES, S.; YAHYA, M. LAI based trees selection for mid latitude urban developments: A microclimatic study in Cairo, Egypt. **Building and Environment**, v. 45, n. 2, p. 345-357, Feb. 2010.
- FAHMY, M.; SHARPLES, S. On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt. **Building and Environment**, v. 44, n. 9, p. 1907-1916, Sep. 2009.
- FARIA, J.R.G.; MENDES, J.F.G. Sobre o uso e ocupação do solo urbano e a temperatura do ar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 7-17, jul./set. 2004.
- FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. London: Chapman & Hall Ltd, 1998.
- FONTES, M. S. G. C. ; BARTHOLOMEI, C. L. B. ; DACANAL, C. ; NIKOLOPOULOU, M. ; LABAKI, L. C.. Desempenho socioambiental de espaços públicos abertos em cidades do interior paulista. In: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 3º, Santos, 1-3 out. 2008. **Anais ...** Santos, 2008. CD-ROM.
- FONTES, M.G.C.; BARTHOLOMEI, C.L.B.; DACANAL, C.; NIKOLOPOULOU, M.; LABAKI, L. Thermal comfort in open public spaces: Studies in woody areas in cities of the Sao Paulo State, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 3rd, PALENC 2010, Rhodes Island, 29 Sep. - 1 Oct., 2010. **Proceedings ...** Rhodes Island, 2010. CD- ROOM.
- FORMAN, R.T.T. AND M. GODRON. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1986.
- FRAZER, G.W., CANHAM, C.D., LERTZMAN, K.P., 1999. **Gap Light Analyzer (GLA)**, Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-color fisheye photographs. Copyright 1999: Simon Fraser University, Burnaby, BC, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. Software.
- GEIGER, R. **The climate near the ground**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1966. Second printing.
- GIRIDHARANA, R. ; LAU, S.S.Y.; GANESAN,S.; GIVONI, B. Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence. **Building and Environment**, v. 43, n.10, p. 1583–1595, Oct. 2008.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998
- GÓMES, F.; TAMARITI, N.; JABALOYES, J. Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning. **Landscape and urban planning**, v. 55, n.3, p. 151-161, Jul. 2001.
- GOMES, M.; AMORIM, M.C.C.T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 10, p. 94-106, Set. 2003. Disponível em: <www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html> Acesso em Mar. 2009.
- GOMES, P.S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, Jan.- Mar. 2009.
- GORDON, A.; SIMONDSO, D.; WHITE, M.; MOILANEN, A.; BEKESSY, S. A. Integrating conservation planning and landuse planning in urban landscapes. **Landscape and Urban Planning**, v. 91, n.4, p.183–194, Jul. 2009.
- GOUVÊA, M. L. Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas)-



- Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas. São Paulo, 2007.
- GUARATINI, M.T.G.; GOMES, E. P. C.; [TAMASHIRO, J.Y.](#); RODRIGUES, R.R. Composição florística da Reserva Municipal de Santa Genebra, Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, p. 323-328, 2008.
- GULYÁS, A.; UNGER, J.; MATZARAKIS, A. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. **Building and Environment**, v. 41, n.12, p. 1713–1722, Dec. 2006.
- GUSTAVSSON, T. A study of air and road surface temperature during clear windy nights. **International Journal of Climatology**, v. 15, n. 8, p. 919–932, Aug. 1995.
- HAMADA, S.; OHTA, T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green áreas on surrounding urban áreas. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 9, n.1, p. 15-24, 2010.
- HASENACK, H.; BECKE, V. L. Distribuição noturna da temperatura em Porto Alegre, RS utilizando o método de medidas móveis. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1º, Porto Alegre, 1991. **Anais...** Porto Alegre, 1991, p. 139 - 145.
- HASENACK, H.; CORDEIRO, J.L.P.; HOFMANN, G.S. **O Clima da RPPN SESC Pantanal**. Relatório técnico. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biologia, Centro de Ecologia, 1982.
- HERRMANN, B. C.; RODRIGUES, E.; LIMA, A. DE. Paisagem como condicionadora de bordas de fragmentos florestais. **Floresta**, Curitiba, v.35, n. 1, Jan./Abr. 2005.
- HIEN, W.N.; YU C. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. **Habitat International**, v. 29, p.547–558, 2005.
- HIEN, W.N.; YU, C. The thermal effects of city greens on surroundings under the tropical climate. In: THE 21TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Eindhoven, 19 - 22 September, 2004. **Proceedings...** Eindhoven, The Netherlands, 2004. CD-ROM.
- HORBERT, M.; KIRCHGEORG, A. Climatic and air-hygienic aspects in the planning of inner-city open spaces: Berlin grosser tiergarten. **Energy and Buildings**, v.5, n.1 p.11-22, 1982.
- HOTT, M. C.; FURTADO, A. L. S.; RIBEIRO, C. A. A. S. Determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13º, Florianópolis, 2007. **Anais...** São José dos Campos, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2007, p. 3381-3388.
- HUANG, L.; LI, J.; ZHAO, D.; ZHU, J. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. **Building and Environment**, v. 43, n.1, p.7-17, Jan. 2008.
- IBGE-CIDADES, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do senso demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em Jan. 2011.
- IMAMURA, I.R., T. NISHIZAWA AND R.D. BORNSTEIN. The Sacramento urban summer heat island study. In: UNIVERSITY INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2nd, CUTEST 92, Fukuoka-Japan, 7-10 Sep. 1992. **Proceedings...** Fukuoka, 1992, p.835-839.
- IP, K.; LAM, M. H.Y.; MILLER, A. Assessing the shading performance of climbing plant canopies. In: The Conference on Passive and Low Energy Architecture, 24th, Singapore, Nov. 2007. **Proceedings ...** Singapore, Nov. 2007. p.437-443. CD-ROM.
- JAUREGUI, E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. **Energy and Buildings**, v. 15, n.3-4, p.457- 463, 1990/91.



- JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. 2006. **Building and Environment**, v. 41, n. 10, p.1326-1338, Oct. 2006.
- JONSSON, P. Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. **International Journal of Climatology**, v.4, n.10, p. 1307-1322, 2004.
- JUSUF, S.K.; WONG N.H.; HAGEN, E. ; ANGGORO, R.; HONG, Y. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. **Habitat International**, v. 31, p. 232-242, 2007.
- KARLSSON, M. Nocturnal Air Temperature Variations between Forest and Open Areas. **Journal of Applied Meteorology**, v.39, p.851-862, Jun. 2000.
- KRÜGER, E.; GIVONI, B. Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n.2, p. 1685-1698, Apr. 2007.
- LABAKI, L. C.; FONTES, M. S. G. C. ; DACANAL, C.; BARTHOLOMEI, C. L. B.; NIKOLOPOULOU, M. Thermal comfort in urban public spaces: Case studies in pedestrian streets in cities of Sao Paulo State, Brazil. In: PLEA - 27th International conference on Passive and Low Energy Architecture. Louvain-la-Neuve, Belgian, 13 -15 Jul. 2011. **Proceedings of...** NO PRELO.
- LAFORTEZZA, R.; CARRUS, GIUSEPPE; SANESI, G.; DAVIES, C. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 8, n. 2, p. 97-108, 2009.
- LANDSBERG, H. **The Urban Climate**, Int. Geophys. Series, v. 28, Academic Press, 1981.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2004.
- LIN, T.P. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. **Building and Environment**, v. 44, n.10, p. 2017-2026, 2009.
- LIN, T.P.; MATZARAKIS, A.; HWANG, R.L. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. **Building and Environment**, v. 45, n.1, p. 213-221, Jan. 2010.
- LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência: Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 125-139, Jan./Jun. 2005.
- LOMBARDO, M. A. **Ilhas de Calor nas Metrópoles: o caso de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985, 244p.
- LOMBARDO, M.A. O clima e a cidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4º, Salvador, 25 - 28 Nov. 1997. **Anais ...** Porto Alegre, ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), 1997, p.59-62.
- LABAKI, L. C.; FONTES, M. S. G. C.; BARTHOLOMEI, C. L. B.; DACANAL, C.; RANCURA, R.L. **Conforto térmico em espaços públicos abertos: aplicação de uma metodologia em cidades do interior paulista**. Relatório de pesquisa (Processo FAPESP 2007/00563-4). Campinas, Outubro de 2009. 244p.
- LUND, H.G. A 'forest' by any other name... **Environmental Science & Policy**, v. 2, n.2, p. 125-133, 1999.
- MAITELLI, G. T. Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá – MT. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.
- MARIN, F.R.; ASSAD, E.D.; PILAU, F.G. **Clima e Ambiente – Introdução à Climatologia para Ciências Ambientais**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2008.
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M. G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **Interntional Journal of Biometeorology**, v. 43, n.2, p.76-84, Oct. 1999.



- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments: Application of the RayMan model, **Interntional Journal of Biometeorology**, 51, p.323-334, 2007.
- MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. **Theoretical and applied climatology**, v.38, n.1, p. 43-49, 1987.
- METEOROLOGICAL INSTITUTE OF THE UNIVERSITY OF FREIBURG. RayMan 1.2 Software. Germany: Meteorological Institute of the University of Freiburg, 2000.
- METZGER, J.P. Estrutura da paisagem e fragmentação: Análise Bibliográfica. **Anais acadêmicos brasileiros**, São Paulo, v. 71, p. 445-462, 1999.
- METZGER, J.P. O que é Ecologia de Paisagens? **Biota Neotropica**, São Paulo, v.1, n. 1, p. 1-9, 2001.
- MISSENARD, A. **L'homme et le climat**. Paris, 1937.
- MIZUNO, M.; NAKAMURA, M.; MURAKAMI, H.; S. YAMAMOTO. Effects of land use on urban horizontal atmospheric temperature distributions. **Energy and Buildings**, n. 15-16, p.165-176, 1990/91.
- MONTEIRO, C.A.; MENDONÇA, F.(Org.); DANNI-OLIVEIRA, I.M.; BRANDÃO, A.M.P.M.; GONÇALVES, N.M.S. (Colab.). **Clima Urbano**. São Paulo; Contexto, 2009.
- MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-58, jul./set. 2007.
- MONTEIRO, M. B. C. A.; AZEVEDO, T. R. Comparação do perfil vertical da temperatura e da umidade relativa do ar em fragmentos de Mata Atlântica no interior e arredores da cidade de São Paulo, SP. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 3, n. 2, p. 1-13, Dez. 2005. Disponível em: www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm.
- MONTEIRO, C.A. **Teoria e Clima Urbano**. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo. São Paulo, Séries teses e monografias, n. 25, 1976.
- MONTEITH, J.L. **Vegetation and the Atmosphere**. London: Academic Press, 1975. v.1-Principles.
- MORELLI, D.D.O.; LABAKI, L.C. Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10º, Natal, 16-18 Set. 2009. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído); UFRN, 2009. CD-ROM.
- NAGARA, K.; SHIMODA, Y.; MIZUNO, M. Evaluation of the thermal environment in an outdoor pedestrian space. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 3, p. 497- 505, 1996.
- NAKATA, C. M.; SOUZA, L.C.L. Contribuição térmica da geometria urbana e da arborização em um bairro residencial. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9º, Ouro Preto, 08 - 10 Ago. 2007. **Anais ...** Porto Alegre, ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído); UFMG, 2007. CD-ROM.
- NARITA, K.; SUGAWARA, H.; HONJO, T.; KIMURA, K.; KUWATA, N. Cool island and cold air-seeping phenomena in a urban park, Shinjuku Gyoen-Tokio. **Geographical Review of Japan**, n. 77, v. 6, p. 403-420, 2007.
- NG, E.; CHENG, V. Urban Human Thermal Comfort in Hot and Humid Hong Kong. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 3rd, Rhodes Island, Greece, Sep., 29 - Oct., 1, 2010. **Proceedings ...** Rhodes Island, 2010. CD-ROM.
- NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. **Energy and Buildings**, v. 35, n.1, p.95-101, Jan. 2003.



- OFFERLE, B.; GRIMOND, C.S.B.; FORTUNIAK, K.; PAWLAK, W. Intraurban Differences of Surface Energy Fluxes in a Central European City. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 45, p. 125-136, Jan. 2006.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2d ed. London: Routledge, 1987.
- OKE, T. R. Canyon Geometry and the Nocturnal Heat Island: comparisons of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, n. 3, p. 237-254, Jul./Set.1981.
- OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, 84, n.1-3, p. 179–190, 2006b.
- OKE, T.R. Inicial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **World Meteorological Organization: Instruments and Observing Methods**, n.81. Geneva, WMO/TD, 2006a.
- OKE, T.R. Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. **Energy and Buildings**, v.7, n.1, p.1 – 10, Sep. 1984.
- PADMANABHAMURTY, B. Microclimates in tropical urban complexes. **Energy and Buildings**, v. 15, n.1-2, p.83-92, 1990/91.
- PAGLIARINI, E. Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande, MT. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) -Universidade Federal de Mato Grosso. . Cuiabá, 2008.
- PERSSON, P. Differential nocturnal cooling in the landscape detected by mobile measurements. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 56, n.3-4, p. 215-224, 1997.
- PEZZUTO, C.C. Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.
- PICOT, X. Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth. Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy. **Energy and Buildings**, v.36, n.4, p. 329-334, Apr. 2004.
- POLI, T.; GATTONI, L.P.; ARLUNNO, R.; PANSA, G.; ZAPPALÀ, D. The influence of albedo of surfaces on microclimatic modifications. New scenarios for Milano. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 24th, Singapore, Nov. 2007. **Proceedings ...** Singapore, p.476-482. CD-ROM.
- RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA. **Web site**. Disponível em: www.rbma.org.br. Acesso em dezembro de 2009.
- ROBITU, M.; MUSY, M.; INARD, C.; GROLEAU, D. Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. **Solar Energy**, v. 80, n.4, p. 435–447, Apr. 2006.
- RODRIGUES, E. Efeito de bordas em fragmentos de floresta. **Cadernos da Biodiversidade**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 1-5, 1998.
- ROSS, J. **The radiation regime and architecture of plant stands**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1981.
- ROZZA, A.F. Manejo e regeneração de trecho degradado de Floresta Estacional Semidecidual: Reserva Municipal de Santa Genebra, Campinas, SP. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia. Campinas, 2003.
- SAARONI, H.; BEN-DOR, E.; BITAN A.; POTCHTER, O. Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel . **Landscape and Urban Planning**, 48, n.1-2, p.1-18, Apr. 2000.
- SANTIN, D. A. A vegetação remanescente no município de Campinas, SP: mapeamento, caracterização fisionômica e florística, visando a conservação. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.
- SCHIEROLZ, T. Dinâmica biológica de fragmentos florestais. **Ciência Hoje**, v. 12, p. 22-29. 1991.
- SCHILLER, G. Biometeorology and recreation in East Mediterranean forests. **Landscape and Urban Planning**, v. 57, n.1, p.1-12, Nov. 2001.



- SCHWEITZER O.; WAISEL, Y; ERELL, E. Evaluation of green roofs in a water-scarce environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 3rd, Rhodes Island, Greece, Sep., 29 - Oct. , 1, 2010. **Proceedings ...** Rhodes Island, 2010. CD-ROM.
- SHAHIDAN, M. F.; SALLEH, E.; MUSTAFA, K. M. S. Effects of Tree Canopies on Solar Radiation Filtration. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 24th, Singapore, 22 - 24 Nov., 2007. **Proceedings ...** Singapore, p.400-406, 2010. CD-ROM.
- SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M.E. Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees. **Building and Environment**, v. 39, n. 9, p. 1087 – 1099, 2004.
- SHASHUA-BAR, L; HOFFMAN, M.E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, v. 31, n.3, p. 221–235, Apr. 2000.
- SHASUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, P.; ERELL, E. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. **Landscape and Urban Planning**, [v. 92, n. 3-4](#), p. 179-186, Sep. 2009.
- SHIMAKAWA, A. H.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. Aplicação dos Modelos Preditivos de Conforto PET e PMV em Presidente Prudente - SP: estudo de caso: Parque do Povo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10º, Natal, 16-18 Set. 2009. **Anais...** ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído); UFRN, 2009. p. 543-552. CD-ROM.
- SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; BRITO, R.S.; CAMPOS, J.H.B.C. Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 161, n. 1-4, p. 45–59, 2010.
- SOUZA, J.R.G; ASSIS, E.S. Ajuste de dados representativos de temperatura em medições móveis em áreas urbanas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9º, Ouro Preto, 8-10 Ago. 2007. **Anais...** Ouro Preto: UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais); UFOP (Dep. de Engenharia de Controle e Automação); ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), 2007. p. 1749-1758. CD-ROM.
- SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. **Building and Environment**, v. 38, n.5, p. 721-738, May. 2003.
- SPANGENBERG, J.; SHINZATO, P.; JOHANSSON, E.; DUARTE, D. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v.3, n.2, p. 1-19, Jun. 2008.
- STHÜLPNAGEL, A. Klimatische Veränderungen in Ballunngsgebieten unter besonderer Berücksctingug der Ausgleichswirkung Von Grünflächen, dargestellt am Beispiel con Berlin (West). Diss. FB 14, TU, Berlin, 1987.
- TAHA, H. Site-specific heat island simulations: Model development and application to microclimate conditions. LBL Report, No. 26105. M Geogr. Thesis, University of California, Berkley, CA, 1988.
- TAHA, H. Urban climate and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Building**, v. 25, n.2, p. 99–103, 1997.
- THOM, E. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57–60, 1959.
- TSUTSUMI, J.I.G.; ISHII, A.; KATAYAMA, T. Quantity of plants and its effect on local air temperature in an urban area. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN



- CLIMATE, 5th, Lods, 2003. **Proceedings ...** Lods, Poland, 2003. Disponível em: http://nargeo.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/O_26_4.pdf.
- UPMANIS, H.; CHEN, D. Influence of geographical factor and meteorological variables on nocturnal urban-park temperature differences: a case study of summer 1995 in Göteborg, Sweden. **Climate Research**, v.13, p.125-139, 1999.
- UPMANIS, H.; ELIASSON, I.; LINDQVIST, S. The influence of Green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). **International Journal of Climatology**, v. 18, n.6, p. 681-700, 1998.
- VELASCO, G. N. Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definição de três áreas na cidade de São Paulo – SP – aplicação de questionários, levantamentos de fatores ambientais e estimativa de graus-hora de calor. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz. Piracicaba, 2007.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 1991.
- WANG, U; NG, E. Parametric Study on Microclimate Effects of Different Greening Strategies in High Density City. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 3rd, PALENC 2010, Rhodes Island, 29 Sep. - 1 Oct., 2010. **Proceedings ...** Rhodes Island, 2010, p. 16-42. CD- ROOM.
- WILMERS, F. Green for melioration of urban climate. **Energy and Buildings**, v. 11, n.1-3, p.289-299, Mar. 1988.
- WONG N.H.; YU C. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. **Habitat International**, v. 29, n.3, p.547–558, Sep. 2005.
- YAMASHITA, S. Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in Metropolitan Tokyo. **Atmospheric Environment**, v.30, n 3, p.429-435, 1996.
- YAMASHITA, S. Some studies of heat island in Japan – with special emphasis on the climatological aspects. **Geographical Rev. Japan Ser. B.**, v.61, p.1-13, 1988.
- YILMAZ, S.; TOY, S.I.; IRMAK, M.A.; YILMAZ, H. Determination of climatic differences in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey. **Building and Environment**, v. 42, n.4, p.1604–1612, Apr. 2007.

