

## COMPARAÇÃO MICROCLIMATICA ENTRE DOIS IMÓVEIS NOS MUNICÍPIOS DE SÃO PAULO E SÃO ROQUE

### MICROCLIMATIC COMPARISON BETWEEN TWO BUILDINGS IN THE MUNICIPALITIES OF SÃO PAULO AND SÃO ROQUE

Cláudio Eduardo Andreoti  
Mestrando em Geografia Física – USP  
ceandreoti@usp.br

#### RESUMO

Este estudo busca analisar o comportamento microclimático de dois imóveis, nas cidades de São Paulo e São Roque, diferentes em função do uso do solo. Foram instalados registradores de temperatura e umidade do ar e os dados levantados foram submetidos a tratamento estatístico a fim de possibilitar a comparação. A partir dos resultados identificou-se valores de temperatura maiores e umidades relativas menores em São Paulo. Discute-se então a intensidade desses valores, as causas da variação microclimática e fatores contribuintes para as diferenças encontradas.

**Palavras-chave:** Climatologia, Clima Urbano, Ilha de calor, Cidade de São Paulo, Cidade de São Roque.

#### ABSTRACT

This study analyzes the micro climatic behavior of two properties in the cities of São Paulo and São Roque, differ according to land use. Data recorders were installed, collecting data on temperature and relative humidity and the data was analyzed statistically to allow comparison, results from the identified values for temperatures higher and lower relative humidity in São Paulo. We discuss then the intensity values, the causes of variation, and micro climatic factors contributing to these differences.

**Keywords:** Climatology, Urban Climate, Heat Island, City of São Paulo, City of São Roque.

## 1. INTRODUÇÃO

Sendo o local de “*habitat*” da maior parte da população humana atualmente, a cidade é por vezes considerada uma “anomalia” atmosférica e as diferenças entre a área urbanizada e os campos vizinhos evidenciam o caráter de forte derivação antrópica do meio ambiente urbano, razão para alterações na atmosfera citadina. Esse fato é de suma importância para justificar estudos geográficos sobre o Clima Urbano onde o geógrafo buscará encontrar razões nas ações da sociedade humana como a produtora dessas mudanças ambientais, muitas vezes acentuadas.

Tendo em vista estas considerações, nos atuais debates em torno dos problemas relativos ao possível aquecimento do planeta, estudos climáticos como o aqui realizado objetivam contribuir na construção do conhecimento a respeito das condições atuais do clima em uma grande metrópole tropical como São Paulo, buscando identificar os fatores que intensificam os valores de temperaturas já presentes na cidade e, a partir dos resultados obtidos, fornecer mais uma ferramenta que possa ser utilizada no planejamento urbano a fim de mitigar esses fatores.

A fim de alcançar isso, este trabalho buscou comparar os microclimas de dois imóveis um deles localizado na cidade de São Paulo e o outro fora da área urbana da cidade de São Roque, distantes cerca de 40 quilômetros e semelhantes em altitude, relevo e características climáticas teoricamente próximas sem se considerar o tipo de ocupação do solo.

Para coletar dados sobre cada microclima, foram instalados registradores de temperatura e umidade em imóveis localizados em ambos os municípios em dois períodos de tempo e durante esses períodos foram acompanhadas as condições sinóticas para a região na qual se insere os municípios.

A partir dos resultados foi feita uma tentativa de verificar a influencia da grande área urbana e a variação microclimática do imóvel ali localizado (o fenômeno denominado “*ilha de calor*”), quais as condições encontradas no clima no segundo imóvel e estudos possíveis fatores que contribuíram para os resultados encontrados.

Na revisão bibliográfica realizada para o trabalho, o primeiro conceito utilizado é o de *clima*, que seria a série de estados atmosféricos acima de um

lugar em sua sucessão habitual (Sorre, 1934), a *climatologia* é a ciência do clima que tem como característica principal o especial interesse pelas diferenças meteorológicas causadas pelas variações regionais, uma sequência de tempo meteorológico que demonstra padrões de desenvolvimento que conduzem ao ritmo (Monteiro, 1971).

O *clima urbano* é um sistema complexo (Sistema Clima Urbano, SCU) que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização, constituindo-se no núcleo do sistema, ele mantém razões nas ações da sociedade humana como a relações intimas com o ambiente regional imediato em que se insere e importa energia através de seu ambiente a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos (Monteiro, 1975).

Dentro do conceito de clima urbano, o fenômeno da “*ilha de calor*” urbana é fundamental para o entendimento das particularidades climáticas das cidades: um fenômeno climático que ocorre nos centros das grandes cidades devido a fatores como a elevada capacidade de absorção de calor de superfícies urbanas como o asfalto, construções de alvenaria, e outras, a falta de áreas revestidas de vegetação, alterando o albedo e, logo, levando a uma maior absorção de calor, a impermeabilização dos solos pelo calçamento e desvio da água por bueiro e galerias, reduzindo o processo de evaporação, assim não usando o calor para a evaporação (calor latente) e sim liberando calor sensível.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para coletar os dados climatológicos, foram utilizados registradores digitais marca ONSET Stow Away, modelo XTI02 de temperatura (TMD) e modelo SRHA02 de umidade relativa (HMD) que foram abrigados em Miniabrigos Meteorológicos Aspirados (MMA's). Estes abrigos foram desenvolvidos pelo Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo e emprestados para realização do trabalho.

Esses registradores são equipamentos de custo baixo (em termos de instrumental técnico meteorológico), autônomos e de pequenas dimensões,

o que facilita sua instalação e operação, cada par de sensores de cada município a fim de características desejáveis para este trabalho (Azevedo e Tarifa, 2001). Sua precisão é de cerca de 0,2°C para temperatura e 3% para umidade relativa. Os abrigos dão proteção contra a incidência direta da radiação, chuva e outros eventos que possam interferir nas medidas ou na integridade dos míni-registradores e, para uma melhor confiabilidade nos dados obtidos (Azevedo e Tarifa, 2001), os registradores são submetidos à ventilação contínua.

O equipamento foi instalado na parte externa das residências existentes nos imóveis durante dois períodos entre os anos de 2006 e 2007, com frequência horária dos registros, para acompanhar as variações do perfil ao longo do dia, o tempo e a frequência dos registros permitiu obter uma série longa e heterogênea de dados do ponto de vista meteorológico. Em cada posto, foram instalados registradores em duas alturas, de 1 e 4 metros do solo, visto que a maior parte das atividades humanas do dia a dia estão aí concentradas.

Para a análise dos dados coletados foi feita a comparação entre os registros de cada local e uma média das duas alturas para a comparação entre as cidades e por fim foi feita uma análise das diferenças entre as temperaturas e umidades relativas médias de cada cidade em razão das situações sinóticas encontradas no período.

Para auxiliar na interpretação dos dados colhidos e acompanhar os fenômenos meteorológicos de escala sinótica foi utilizado material obtidas no sítio da Marinha Brasileira e o acompanhamento dos Boletins de Monitoramento e Análise Climática (Climanálise) no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) uma vez que a simples abordagem desses dois aspectos do registro meteorológico (Temperatura do ar e Umidade Relativa) não é suficiente para apreensão da dinâmica processual (Monteiro, 1971).

Para o tratamento estatístico dos dados obtidos, os dados coletados foram agrupados em primeiro lugar por município e foi feita uma análise do perfil entre as duas alturas escolhidas comparando-as localmente entre si e também com sua correspondente no outro município a fim de se analisar o comportamento vertical da temperatura. Para compor os resultados, foram feitas análises a partir das médias e das diferenças das mesmas de

- medidas de posição - média, mediana, máximo, mínimo e quartís;
- medidas de dispersão - amplitude, intervalo-interquartil, variância e desvio padrão;
- correlação e regressão - coeficiente de correlação linear de Pearson e reta ajustada.

O coeficiente de correlação de Pearson mede o grau da correlação entre duas variáveis, sendo normalmente representado por  $\rho$  assume apenas valores entre -1 e 1, sendo que se  $\rho = 1$  ocorre uma correlação perfeita positiva, se  $\rho = -1$  ocorre uma correlação negativa perfeita (se uma aumenta, a outra diminui) e se  $\rho = 0$  as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No caso deste trabalho a utilização dessa ferramenta estatística permite comparar os parâmetros em análise sob as mesmas forçantes climáticas para ambos os municípios.

## 2.1 Áreas de Estudo

Em termos geomorfológicos a região de estudo se situa nos planaltos e serras do leste-sudeste, complexa e formada por ciclos de dobramentos antigos sucedidos por intensa erosão e com modelado constituído por morros convexos com alta densidade de canais de drenagem (Ross, 2003), a capital paulista está encaixada nessa estrutura na Bacia Sedimentar do Alto Tietê, onde está localizado o imóvel da capital enquanto que o município de São Roque pertence à Bacia do Rio Sorocamirim, uma Sub-Bacia do Tietê, a figura 1 abaixo representa a área de estudo.

A diversidade das feições do clima dentro dessas duas grandes unidades regionais apesar de relacionada em parte com o relevo, não coincide plenamente com o mesmo. A Bacia Paulistana encaixada no Planalto Atlântico é uma faixa de limite entre os dois sistemas regionais, ocorre uma diminuição da pluviosidade em relação a áreas vizinhas do planalto e litoral levando a existência de um período seco, porém de menor intensidade que em áreas serranas do interior e, no período chuvoso ocorre a entrada da onda de Leste e a proximidade do

litoral permite a infiltração de perturbações litorâneas o que confere características diferenciadas ao período de baixa pluviosidade.

Deve-se considerar também a atividade humana com o complexo urbano e industrial da maior cidade da América do Sul, com as alterações ambientais provocadas como a presença de material particulado na atmosfera, impermeabilização do solo, alteração do relevo original e até a construção de grandes reservatórios de hidrelétricas como fatores de alteração nas características climáticas “naturais”.

O imóvel de São Paulo se localiza nas coordenadas geográficas  $23^{\circ} 30' 29''$  S /  $046^{\circ} 45' 22''$  W com altitude registrada de 760 m (equipamento utilizado: Trimble Flightmate GPS, banco de dados IBGE, SAD-69), zona noroeste da cidade e está edificado em uma região de uso do solo misto, industrial e residencial, porém para o estudo estará inserido na categoria taxonômica de organização geográfica do clima como topo-clima de Bairro (Monteiro, 1990).



**Figura 1** - Localização dos imóveis. Fonte: IGC-USP, sitio: [igc.sp.gov.br/copm\\_divmun.htm](http://igc.sp.gov.br/copm_divmun.htm), acesso em 20/05/06. Org. por Claudio E. Andreati

A rua do imóvel em estudo se localiza na metade superior da vertente de uma colina voltada para Sudoeste, que hoje está totalmente urbanizada e em escala topoclimática está situada, dentro da Unidade Climática “Natural” do Município de S. Paulo classificada como Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano – CI, várzeas e baixos terraços do Tietê caracterizados por elevada estabilidade atmosférica noturna e matinal, com nevoeiros e acumulação de ar frio neste período e com ventos fracos, calmarias e inversões térmicas, forte aquecimento diurno e características desfavoráveis à dispersão de poluentes (Tarifa e Armani, 2001).

O município de São Roque se situa na mesma faixa de

latitude da Capital, cerca de 40 km a Oeste desta e o clima assim como a Capital é do tipo Úmido da Face Oriental e Sub Tropical dos Continentes Dominado por massa de ar marítima tropical segundo (Monteiro, 1973), cujas características gerais já foram descritas, infelizmente, porém, não foi encontrado um nível topoclimático detalhado para a região como o encontrado para o município de São Paulo.

A cobertura vegetal original se encontra dentro da divisão fisionômica regional (Hueck, 1972) de Mata Pluvial das Encostas Montanhosas do Trecho Sul, o lote mede situa-se no meio de uma vertente voltada para Sudeste nas Coordenadas Geográficas  $23^{\circ} 28' 10''$  S /  $047^{\circ} 09' 21''$  W, altitude de 780m. Na parte superior do lote encontram-se uma residência e seu entorno é coberto por grama tipo São Carlos, excetuando-se um pequeno pomar com cítricos e algumas árvores de porte maior. Na linha de divisa com a rua há exemplares de Araucária (*Araucaria angustifolia*), *Pinus sp*, Embaúba (*Cecropia sp.*), Farinha-seca (*Peltophorum dubium*), Amoreira (*Morus nigra*), Coquinho (*Syagrus romanzoffiana*) plantados pelo antigo proprietário e uma pequena horta. O terço inferior do lote é constituído por remanescente da Mata Pluvial das Encostas Montanhosas do Trecho Sul. Esta mata ciliar acompanha um pequeno curso d’água que é a divisa do lote.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

**3.1. Inverno (2006)** - Período de coleta dos dados: 29 de Maio á 26 de Agosto de 2006.

#### 3.1.1 Temperaturas

**Tabela 1** - Estatísticas dos dados coletados pelos sensores no período

Variável	N	Média	MedianaS	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
SR1mT	1833	15,059	14,5	4,409	4,4	28,1	11,8
SR4mT	1833	15,955	15,3	4,584	5	28,9	12,6
SP1mT	1833	18,171	17,5	4,028	9,1	30,7	15,4
SP4mT	1833	17,981	17,1	4,365	8,7	31,8	14,9

A legenda das tabelas de temperatura apresenta as seguintes colunas:

- Variável: SP1mT (S. Paulo, sensor de 1 metro, Temperatura), SP4mT (S. Paulo, sensor a 4

metros, Temperatura), SR1mT(S. Roque, sensor de 1 metro, Temperatura) e SR4mT(S. Roque, sensor a 4 metros, Temperatura);

- N: numero de dados;
- S: desvio padrão;
- Mínimo e Máximo;
- Q1: 1o quartil;
- Q3: 3o quartil.

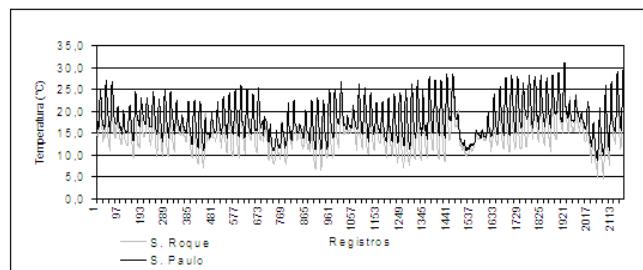
A tabela 1 acima representa as medidas de posição das temperaturas registradas em ambos os municípios, os resultados indicam temperaturas mais elevadas em São Paulo, com médias de 18,1°C a 1 metro de altura e 18°C a 4 metros para essa cidade contra respectivamente 15°C e 15,9°C para os registradores de São Roque. Todas as outras medidas apresentam temperaturas mais elevadas para São Paulo (mediana, moda, quartis, mínimos e máximos) e as amplitudes encontradas são as seguintes, SR1mT: 23,7°C, SR4mT: 23,9°C, SP1mT: 21,6°C e SP4mT: 23,10°C, ocorrendo, portanto uma variação levemente menor das temperaturas em São Roque do que em São Paulo.

A maior temperatura encontrada foi de 31,81 °C no dia 16 de agosto às 16 horas no sensor de 4 metros de altura de São Paulo (e no mesmo horário em São Roque registrava-se 27,6°C) enquanto que a temperatura mínima registrada no período em ambos os municípios foi de 4,37°C no dia 23 do mesmo mês entre 6 e 7 horas no registrador de 1 metro de altura de São Roque (em São Paulo, 10,45°C no mesmo momento), ou seja, uma diferença de quase 27,5°C em apenas 6 dias e meio.

**Tabela 2** - Estatísticas das medias dos pares de sensores de cada município.

Variável	N	Média	Mediana	S	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
SRTMd	2154	15,535	14,9	4,344	4,7	28,5	12,4	18,5
SPTMd	2154	18,175	17,5	4,033	8,9	31,1	15,3	20,62

Na tabela 2 acima, a variável SRTMd representa a média das temperaturas de São Roque e a variável SPTMd representa a média das temperaturas de São Paulo. A figura 2 a seguir representa as médias das temperaturas de cada par de sensor em cada município durante todo o período de coleta de dados.



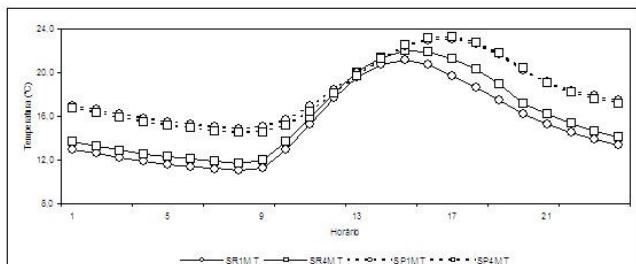
**Figura 2** - Médias das temperaturas registradas em São Roque e em São Paulo no periodo do inverno de 2006.

A equação de regressão das temperaturas registradas nas duas alturas em São Roque é  $y=1,0308x+0,3802$ , sendo o coeficiente de correlação de Pearson (0,994) bastante elevado, como seria de se esperar. De um modo geral, as temperaturas coletadas apontam para valores de temperatura mais elevados a 4 metros de altura em São Roque em relação a aquelas rentes á superfície no mesmo local e o inverso em São Paulo, resultado da maior absorção de radiação de onda longa pela superfície de alvenaria que mantém aquecido o ar próximo á superfície. A partir das médias dos pares de sensores de cada município foram obtidos os dados estatísticos apresentados acima.

Para o município de São Paulo, a equação de regressão dos dados,  $y = -1,2534 + 1,0589x$ , o fator de correlação de Pearson é de 0,974 o que da indicação também de uma correlação linear positiva entre os dados dos sensores um pouco menos intensa que em São Roque, a levemente maior dispersão dos seus registros em relação ao primeiro município.

A análise das temperaturas médias de cada município indicam uma temperatura cerca de 2,6°C superior para São Paulo em relação a São Roque em praticamente todas as medidas de posição excetuando-se o quartil inferior e a temperatura mínima, aonde foi encontrada uma diferença de 4,2°C e a amplitude encontrada nessa serie de dados foi de 26,4°C e o desvio padrão é um pouco maior no caso de São Roque, indicando uma levemente menor homogeneidade na distribuição das temperaturas, ou seja, uma maior amplitude nas temperaturas (23,8°C ali contra 22,2°C em São Paulo), conforme o que já se havia encontrado na análise dos perfis verticais de temperatura.

O coeficiente de correlação linear das médias é de 0,891, positivo e linear e a equação da reta,  $y = 0,8277x + 5,3171$  prevê valores para o preditando (São Paulo) cerca de 2,5°C superiores na parte central dos dados, bastante conforme com o que foi encontrado nas medidas de posição.



**Figura 3** - Médias horárias registradas pelos 4 sensores de temperatura.

A análise das médias horárias do período que podem ser visualizadas na figura 3 acima indica que as menores temperaturas ocorrem entre 7 e 8:00 horas nos dois municípios enquanto que as maiores ocorrem entre 16 e 17:00 horas em São Paulo e no caso de São Roque, as maiores ocorrem cerca de uma hora mais cedo, ao contrário do relatado no material consultado para a pesquisa (Yoshino, 1975). Segundo esse autor, os máximos de temperatura em áreas de floresta ocorrem posteriormente aos máximos das áreas não vegetadas próximas. Uma possível explicação para o fato é a influência da orientação das vertentes. A vertente de São Roque (SE) causa sombreamento do imóvel mais cedo que em São Paulo (SW). Neste caso, recebendo radiação até o final da tarde.

### 3.1.2 Umidade Relativa

As medidas de posição para a totalidade dos dados de umidade relativa representadas na Tabela 3 indicam uma tendência de ocorrência de umidades mais elevadas em São Roque, ali as médias para o período de coleta foram 94,7 % a 1 metro de altura e 90,1 % a 4 metros.

**Tabela 3** - Estatística dos dados coletados pelos sensores de umidade relativa.

Variável	N	Média	Mediana	S	Minimo	Máximo	Q1	Q3
SR1Mu	2154	94,685	100	12,417	30,2	100	100	100
SR4Mu	2154	90,87	100	15,482	27,7	100	85,8	100

SP1Mu	2154	89,546	100	18,741	31,6	100	85,3	100
SP4Mu	2154	85,915	100	20,554	27,8	100	71,9	100

Na tabela, a variável SP1Mu indica os valores para S. Paulo, sensor de 1 metro, umidade relativa, SP4Mu (S. Paulo, sensor a 4 metros, umidade relativa), SR1M (S. Roque, sensor de 1 metro, umidade relativa) e SR4Mu (S. Roque, sensor a 4 metros, umidade relativa).

De acordo com o autor citado anteriormente (Yoshino, 1975) a distribuição vertical da umidade se dá da seguinte maneira em áreas florestadas: alta no dossel e um pouco menor abaixo, aumentando novamente próximo à superfície e é máxima próxima ao solo. Em São Paulo, respectivamente 89,5 % e 85,9% e o perfil da umidade segundo as médias horárias para ambos os municípios pode ser descrito com os maiores níveis próximos ao solo baixando até os 4 metros e, num dia “modal” da série (poucas nuvens, temperatura de cerca de 16 a 18 °C pela manhã e máxima acima de 20 °C no decorrer do dia) a umidade é próxima de 100% até as 9 ou 10:00 horas, sendo mínima às 14:00 horas e voltando a ser próxima de 100% às 20 ou 21:00h.

As menores umidades registradas na série foram 27,7% em São Roque entre 14 e 15 horas de 24 de Agosto e 27,8% em São Paulo no dia 7 de Agosto, ambas nos registradores a 4 metros, apesar do imóvel do primeiro município estar localizado fora de área urbana e com razoável cobertura vegetal as menores umidades encontradas foram em São Roque uma vez que nos registradores de 1 m, as umidades foram as seguintes: 30,2% em São Roque e 31,6% em São Paulo, e refletindo esses números, as amplitudes encontradas foram maiores em São Roque: 69,8% a 1 metro, 72,3% a 4 metros, para São Paulo as amplitudes são respectivamente 68,4% e 72,2%.

A abordagem utilizada para obtenção de análises de dispersão confiáveis das Umidades Relativas encontradas utilizou o critério de se considerar apenas os menores registros de umidade selecionados a partir dos valores inferiores a 96% do sensor no qual se encontrou os valores mais altos de umidade (São Roque, 1 metro) - um valor arbitrário de corte em um procedimento escolhido devido ao comportamento da UR em regiões tropicais como a nossa, onde existe uma forte concentração de valores

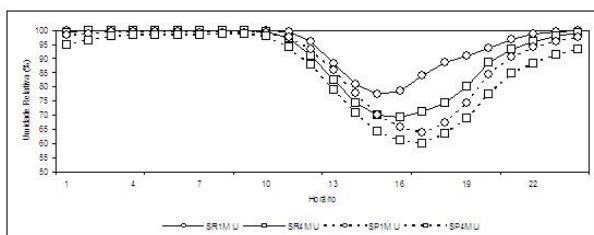
máximos (100%) nas horas noturnas o que leva a desvios nesse tipo de análise.

Em relação às médias das umidades de cada município do estudo, a tabela 4 a seguir apresenta os seguintes resultados:

**Tabela 4** - Estatística das médias de umidade dos municípios.

Variável	N	Média	Mediana	S	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
SRUmed	2154	92,786	100	13,666	29	100	92,1	100
SPUmed	2154	87,741	100	19,327	32,3	100	78,2	100

Variáveis: SRUmed representando a média dos pares de sensores de S. Roque e SPUMed que representa as médias de S. Paulo.

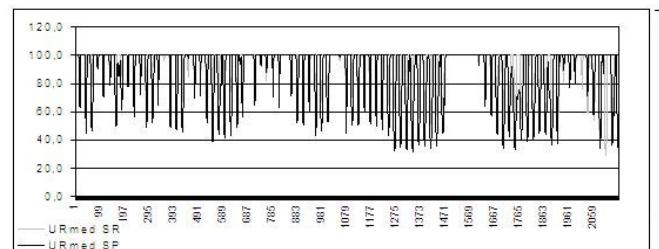


**Figura 4** - Médias das Umidades Relativas registradas em São Paulo e São Roque

A equação de regressão dos dados de umidade de São Roque é  $y = 0,8048x + 3,854$  e o valor de correlação de Pearson é de 0,997 indicando uma correlação linear positiva praticamente perfeita e desvio padrão dos dados deste município é de 0,9092 % de UR. Para São Paulo, a equação de regressão dos dados é  $y = 0,865x + 2,469$ , o fator de correlação de Pearson é de 0,983 o que da indicação também de uma correlação linear positiva entre os dados dos sensores, pouco menos intensa que em São Roque e com um desvio padrão de 1,764 % de UR.

As Umidades Relativas médias de cada município apresentadas na figura 4, indicam uma tendência de menor umidade para São Paulo em relação a São Roque de um modo geral; em todas as medidas de posição excetuando-se a UR mínima, são encontrados valores maiores para São Roque e a amplitude encontrada nesse município foi de 71% de UR contra 67,7% em São Paulo, apesar disso, o desvio padrão é um pouco menor no caso de São Roque, indicando uma leveamente maior homogeneidade na distribuição das umidades. Assim como na análise anterior da variação vertical da

umidade de cada imóvel, também foi considerado para cálculo do coeficiente de correlação linear das médias e a equação da reta, valores inferiores a 96% pelos mesmos motivos levantados anteriormente.



**Figura 5** - Médias horárias registradas pelos 4 sensores de umidade relativa.

Considerando-se essa parte dos dados de umidade, o coeficiente de correlação linear das médias é de 0,986, bastante positivo e linear e a equação da reta é  $y = 1,49 + 0,741x$ . Quanto às médias horárias da umidade relativa do ar, ver figura 5, as menores umidades relativas ocorrem em São Roque às 15:00 horas a 1 metro de altura e uma hora após no sensor de 4 metros. Em São Paulo, ocorrem praticamente juntas em ambos os sensores por volta de 17:00 horas. Essa diferença de horários é consistente com os horários de temperaturas máximas diárias conforme já comentado sobre a influência da orientação das vertentes.

### 3.2. Verão (2006 / 2007) - Período de coleta: 09 de Dezembro de 2006 á 25 de fevereiro de 2007.

#### 3.2.1. Temperatura

Nessa segunda série de registros representados na tabela 5, ocorreram temperaturas mais elevadas em São Paulo, com médias de 23,8°C a 1 metro de altura e 23,7°C a 4 metros para essa cidade contra respectivamente 22,4°C e 21,7°C para os registradores de São Roque. Todas as medidas apresentam temperaturas mais elevadas para São Paulo (mediana, moda, quartis, mínimos e máximos) e as amplitudes encontradas são as seguintes, SR1m: 18,4°C, SR4m: 18,2°C, SP1m: 17,2°C e SP4m: 16,9°C, ocorrendo, portanto uma variação maior das temperaturas em São Roque do que em São Paulo.

A equação de regressão dos dados para os registradores de São Roque é  $y = 0,9882x - 0,4102$  o valor de correlação de Pearson é de 0,958 é bastante elevado indicando correlação linear positiva e, para

São Paulo, a equação de regressão dos dados,  $y = 0,997x - 0,0279$  e o fator de correlação de Pearson é de 0,981.

**Tabela 5** - Estatísticas dos dados coletados pelos sensores no período

Variável	N	Média	Mediana	S	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
2SR1mT	1871	22,403	21,54	3,159	15,09	33,48	20,22	24,59
2SR4mT	1871	21,729	21,06	3,26	15,09	33,33	19,43	23,74
2SP1mT	1871	23,804	23,04	3,079	17,81	34,98	21,54	25,45
2SP4mT	1871	23,704	23	3,13	17,44	34,37	21,5	25,41

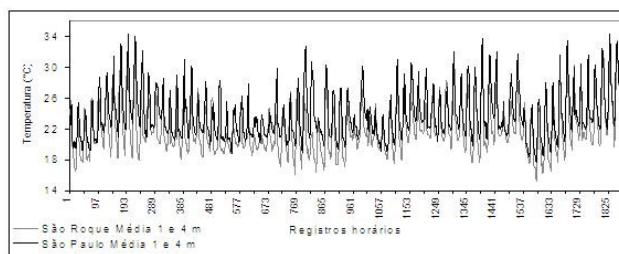
Nesta tabela, as variáveis 2SR1mT e 2SR4mT representam os valores das temperaturas para S. Roque a 1 e 4 metros respectivamente e as variáveis 2SP1mT e 2SP4mT representam as temperaturas de 1 e 4 metros para S. Paulo.

A análise das temperaturas médias de cada município apresentadas na tabela 6 e na figura 6, indicam uma temperatura cerca de 21,7°C superior para São Paulo em relação a São Roque em praticamente todas as medidas de posição excetuando-se a temperatura mínima, aonde foi encontrada uma diferença de 2,4°C e a amplitude encontrada nessa serie de dados foi de 19,1°C, bem menor que os 26,4°C de amplitude do inverno.

**Tabela 6** - Estatísticas das médias dos dados coletados nos municípios

Variável	N	Média	Mediana	S	Mínimo	Maximo	Q1	Q3
2SRTMd	1871	22,069	21,3	3,176	15,26	33,41	19,83	24,17
2SPTMd	1871	23,757	22,94	3,09	17,63	34,37	21,52	25,43

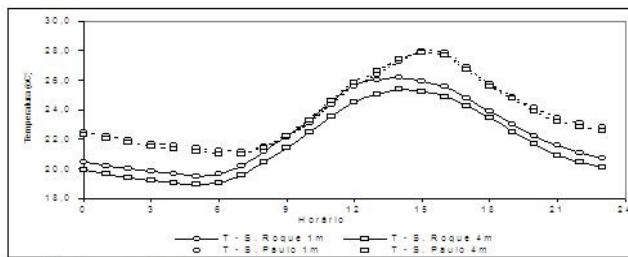
Variável 2SRTMd representa a média das temperaturas de São Roque e a variável 2SPTMd representa a média das temperaturas de São Paulo.



**Figura 6** - Temperaturas médias registradas no Verão 2006/2007.

O desvio padrão é um pouco maior no caso de São Roque, indicando uma menor homogeneidade na distribuição das temperaturas, ou seja, uma maior amplitude nas temperaturas (18,2°C ali contra 16,7°C em São Paulo). O coeficiente de correlação linear das médias é de 0,813, positivo e linear e a equação da reta,  $y = 6,30 + 0,791x$  prevê valores superiores para o preditando (São Paulo), bastante igual o que foi encontrado nas medidas de posição.

Conforme observado na variação diária de temperatura, figura 7, em São Roque temos máximas por volta das 14:00 horas enquanto que em São Paulo os picos de temperatura diária se dão por volta das 15:00.



**Figura 7** - Médias horárias registradas pelos 4 sensores de temperatura.

Assim como já comentado nas análises dos registros do inverno, a provável causa para essa diferença de horários é a posição das vertentes nas quais se situam os imóveis. Quanto às mínimas, elas ocorrem às 05:00 horas da manhã em São Roque e por volta das 07:00 horas em São Paulo.

### 3.2.2. Umidade Relativa

Conforme a tabela 7 as medidas de posição indicam novamente o predomínio de umidades mais elevadas em São Roque com médias para o verão de 95,9 % a 1 metro de altura e 95,6 % a 4 metros. Em São Paulo foram encontrados médias de respectivamente 91,4 % e 94,4% e o perfil da umidade foi inverso entre os dois municípios, em São Roque, maiores níveis próximos ao solo baixando até os 4 metros e em São Paulo maiores umidades a 4 metros.

As menores umidades registradas na série foram 36,3% 24 de Fevereiro ás 15 horas em São

Roque e 33,7% em São Paulo no dia 23 de Fevereiro ás 15 horas, ambas nos registradores a 1 metro, diferente do período anterior de coleta de dados, ambas as mínimas estão localizadas próximas ao solo. As amplitudes encontradas a 1 metro foram maiores em São Roque: 63,7% contra 66,3 em São Paulo e a 4 metros para São Roque 62,8% contra São Paulo com 61,9%.

**Tabela 7** - Estatística dos dados coletados pelos sensores de umidade relativa

Variável	N	Média	Mediana	S	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
2SR1mUR	1871	95,96	100	9,86	36,3	100	100	100
2SR4mUR	1871	95,61	100	9,96	37,2	100	98,8	100
2SP1mUR	1871	91,24	100	14,69	33,7	100	86,1	100
2SP4mUR	1871	94,45	100	12,43	38,1	100	100	100

Nesta tabela 2SR1mUR e 2SR4mUR indicam umidades a 1 e 4 metros em S. Roque e 2SP1mUR e 2SP4mUR indicam os resultados para S. Paulo.

Partindo do critério de utilizar os valores inferiores a 96% para análise das medidas de correlação e regressão dos dados, foram obtidos os resultados comentados a seguir na tabela 8, a equação de regressão dos dados de umidade de São Roque é  $y = 0,953x + 2,946$  e o valor de correlação de Pearson é de 0,995 indicando uma correlação linear positiva elevada.

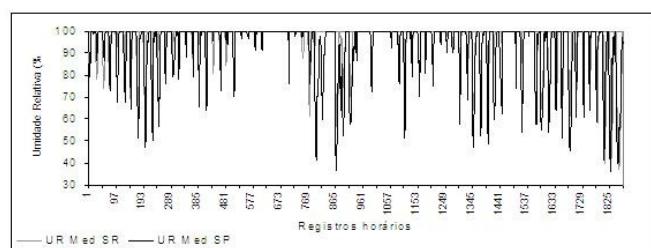
Para São Paulo, a equação de regressão dos dados é  $y = 1,1992x - 5,1933$ , o fator de correlação de Pearson é de 0,996 o que da indicação também de uma correlação linear positiva entre os dados dos sensores semelhante a São Roque.

Em relação ás medias das umidades de cada município do estudo, foram encontrados os seguintes resultados:

**Tabela 8** - Estatísticas das médias de umidade relativa nos municípios.

Variável	N	Média	Mediana	S	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
2SRUMed	1871	95,787	100	9,845	36,8	100	99,4	100,0
2SPUMed	1871	92,85	100	13,38	8	35,9	100	93,05

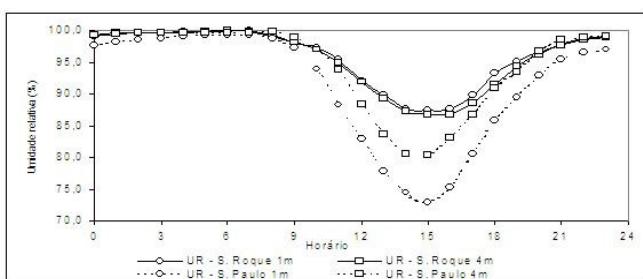
Variáveis: 2SRUMed representando a média dos pares de sensores de S. Roque e 2SPUMed que representa as médias de S. Paulo.



**Figura 8** - Médias das Umidades Relativas registradas em São Paulo e São Roque.

As Umidades Relativas médias indicam novamente uma tendência de menor umidade para São Paulo em relação a São Roque são apresentadas na figura 8, todas as medidas de posição possuem valores maiores para São Roque e a amplitude encontrada nesse município foi de 63,2% de UR contra 64,1% em São Paulo, o desvio padrão, elevado para ambos é um pouco menor no caso de São Roque, indicando uma maior homogeneidade na distribuição das umidades.

Assim como nas análises anteriores, também foi considerado para cálculo do coeficiente de correlação linear das médias e a equação da reta, valores inferiores a 96% pelos mesmos motivos levantados anteriormente. Para essas menores umidades médias o coeficiente de correlação linear das médias é de 0,711, positivo e linear e a equação da reta é  $y = 1,0036x - 10,784$ .



**Figura 9** - Médias horárias registradas pelos 4 sensores de umidade relativa

Para as umidades relativas registradas no verão estas coincidem com o comportamento das temperaturas ao longo do dia, figura 9, em São Paulo, onde temos as menores umidades relativas por volta das 15:00 horas. Também no caso de São Roque, os picos de temperatura diária se dão por volta das 14:00 ou 15:00 horas mais ou mesmo no mesmo período das menores umidades relativas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a análise dos dados obtidos, o comportamento do imóvel de São Paulo foi, em geral mais quente e menos úmido que o imóvel localizado em São Roque.

As condições sinóticas foram acompanhadas através de cartas sinóticas da marinha (sitio: dhn.mar.mil.br, acessos entre 29/05/06 e 28/02/2007), imagens de satélite e boletins climatológicos do CPTEC (sitio: cptec.inpe.br, acessos entre 29/05/06 e 28/02/2007), as condições de tempo e pluviosidade foram acompanhadas por observação em campo quando possível e complementadas pelos dados e gráficos de pluviosidade das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Mirante de Santana em São Paulo e de Sorocaba para São Roque (sitio: inmet.gov.br/html/observacoes.php, acessos entre 29/05/06 e 28/02/2007).

A figura 10 abaixo representa as diferenças das médias das temperaturas (Dif M T) e umidades relativas (Dif M UR) de São Roque em relação à São Paulo sob uma classificação de tipos de tempo (Tipo de Tempo) para o inverno de 2006 muito simplificada, para classificar esses tipos de tempo foram consideradas a atividade sinótica, pressão atmosférica média (Pm) obtida por  $Pm = (P-900)$  Hpa), precipitação, vento e nebulosidade de acordo com os dados coletados nas fontes citadas.

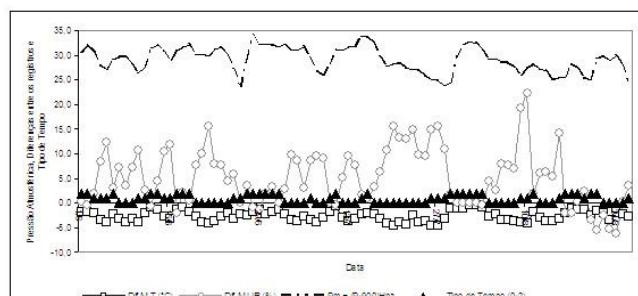
Os tipos de tempo atuante em função das variáveis apresentadas foram classificados da seguinte maneira:

0: *Intermediário*, corresponde, grosso modo, a períodos de predomínio de ar seco, sem nebulosidade significativa e pressão atmosférica mais elevada. Tempo estável.

1: *Pré-frontal*, caracterizado pelo aumento de nebulosidade, queda de pressão atmosférica e presença de precipitação, ainda que não

necessariamente obrigatória. Seria representativo da aproximação de um sistema frontal.

2: *Pós-frontal*, apresenta temperaturas em declínio, aumento da pressão atmosférica, nebulosidade e precipitação podem estar presentes.



**Figura 10** - Relação entre as diferenças médias diárias de Temperatura, Umidade Relativa e Pressão Atmosférica no Inverno em função da classificação simplificada do tipo de tempo.

A partir dessa classificação podemos perceber que no período de tempo do tipo intermediário as diferenças entre os registros são significativas e duradouras devido à queda de umidade característica do inverno, com seu baixo índice de pluviosidade e o predomínio de massas de ar seco.

Já caracterização do tempo pré-frontal foi mais difícil, mas de um modo geral, ainda que apresente algumas variações, aparecem os picos de diferença entre os registros.

A situação de tempo pós-frontal também é de fácil identificação, as baixas temperaturas, pluviosidade e umidade que chegam com a passagem da frente reduzem enormemente as diferenças dos registros entre os imóveis, a forte massa de ar que chegou no final de Julho e inicio de Agosto e os dias posteriores são bastante significativos desse tipo de tempo. Podemos considerar as condições meteorológicas bastante semelhantes nos dois imóveis no inverno, sendo que a pluviosidade acumulada durante o primeiro período foi de 144mm em São Paulo aonde choveu 11 e de 166 mm em Sorocaba com 9 dias de precipitação (INMET).

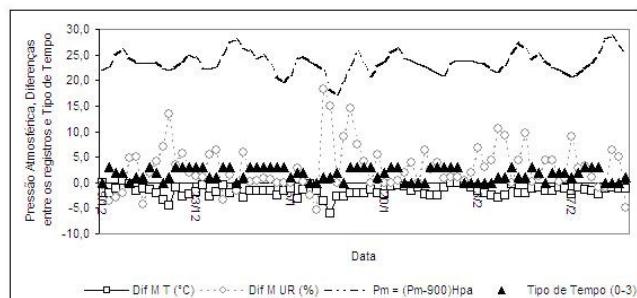
Quanto ao período de verão, a classificação e identificação dos tipos de tempo e sua influência nos microclimas estudados já não é tão simples uma vez que aparecem mais duas variáveis: as pancadas de cumulonimbus (Cb), frequentes devido à presença de radiação solar e umidade típicos da estação e a

atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A ZCAS pode ser identificada, em imagens de satélite, como uma banda de nebulosidade que se estende desde o sul da região Amazônica até a região central do Atlântico Sul, ou ainda em padrões de distribuição de radiação de onda longa. Os mecanismos que originam e mantém a ZCAS não são totalmente conhecidos porém, estudos indicam que esse sistema sofre influências de fatores remotos e locais.

Sendo assim na classificação para o Verão foi adicionado mais um tipo de tempo e a figura 11 que as representa resulta do mesmo tipo de abordagem já explicada para a classificação do inverno, ressaltando novamente que é uma classificação bastante simples em vista das possibilidades de estados possíveis da atmosfera, mas considerada apropriada para este breve estudo:

3: Influencia de Chuva ou da ZCAS: nebulosidade ou chuva, persistente por dias e com altos índices de pluviosidade.



**Figura 11** - Relação entre as diferenças médias diárias de Temperatura, Umidade Relativa e Pressão Atmosférica no Verão em função da classificação simplificada do tipo de tempo.

As características dos tipos de tempo de 0 a 2 e seus efeitos sobre as diferenças entre os registros de temperatura e umidade relativa nos municípios são semelhantes as do inverno e quanto ao tipo de tempo 3, devido à elevada pluviosidade e nebulosidade que são característicos da atuação de ZCAS apresenta as menores diferenças entre os municípios, um exemplo significativo são os primeiros 6 dias de janeiro de 2007 quando choveu 107 mm em São Paulo e 127 mm na região de São Roque, com essa quantidade de precipitação as diferenças de umidade relativa entre os municípios desaparecem e a temperatura apresenta

diferença de cerca de 1,5°C entre os mesmos. Isso aponta para a importância da água como fator de equilíbrio térmico no sistema.

Segundo dados do INMET, o mês de janeiro de 2007 foi classificado entre os cinco mais chuvosos dos últimos 46 anos em grande parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste. Nestas áreas, as chuvas foram decorrentes principalmente de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a precipitação durante o verão foi maior em São Paulo, 833mm contra 544mm na estação de Sorocaba, ainda que os registros indiquem 44 dias nos quais houve a ocorrência de precipitação em São Paulo e 46 dias em Sorocaba, apontando para uma maior intensidade nas pancadas de chuva que aqui ocorreram no período de verão, os dias de ocorrência de chuva coincidem na maior parte dos casos, mostrando uma uniformidade significativa uma vez que muitas vezes essas chuvas nos meses de verão são em geral convectivas e, portanto, isoladas.

**Tabela 9** - Médias Mensais dos registros em São Roque e em São Paulo.

	São Roque		São Paulo	
	Temperatura	UR	Temperatura	UR
jul/06	14,9	96,0	17,4	91,3
ago/06	14,9	93,6	17,8	86,7
dez/06	16,7	87,5	19,1	85,1
jan/07	22,0	96,0	23,6	93,8
fev/07	21,4	94,9	23,2	95,0
	22,9	92,4	24,4	89,1

Admitindo, portanto que as forçantes atmosféricas durante os dois períodos de coleta de dados foram razoavelmente uniformes nos dois municípios, as temperaturas e umidades relativas médias mensais registradas dão uma dimensão bastante genérica da intensidade da ilha de calor urbana do imóvel de São Paulo os dados colhidos apontam para uma maior diferença no período do inverno como visto na tabela 9, sugerindo que muito mais do que a temperatura, o fator de maior contribuição para as diferenças climáticas urbanas é a umidade, ou a capacidade de conservá-la seja no solo, seja na atmosfera.

A análise efetuada sob os tipos de tempo indica que essa diferença é variável em função das condições sinóticas da circulação regional no

limite próximo ao Trópico, aonde os municípios se situam, em geral devido à alterações na umidade presente, sendo que a diferença entre as temperaturas e umidades relativas, tabela 10, é acentuada em condições de tempo pré-frontais ou durante o predomínio da Massa Tropical Atlântica e diminui sob a atuação da massa de ar polar e sob condições de formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul que em geral configura elevados índices de pluviosidade para São Paulo.

**Tabela 10** - Médias das diferenças encontradas por tipo de tempo.

Estação	Elemento	Tipo de Tempo			
		0	1	2	3
Verão	Média de Dif M T (oC)	-1,4	-2,6	-1,5	-1,5
	Média de Dif M UR (%)	2,7	6,8	1,0	1,7
Inverno	Média de Dif M T (oC)	-3,2	-3,1	-1,4	
	Média de Dif M UR (%)	6,9	8,9	0,2	

Obs: São Roque em relação à São Paulo.

Outro dos fatores que contribuem para as diferenças de temperatura e umidade entre os imóveis é a entrada de energia no sistema e a absorção da radiação de onda curta de acordo com o tipo de cobertura do solo urbano e rural é primordial para entendimento dos processos que acentuam o calor urbano.

Foi feita, a título de exemplificação, uma estimativa simples do saldo de onda curta para as superfícies onde foram instalados os registradores, aleatoriamente foi escolhida a data de 15 de dezembro para o cálculo de radiação global em superfície (Rglo), aonde se chegou ao valor incidente de radiação de cerca de 27,1 MJ/m<sup>2</sup>, a partir dele e dos índices de Albedo da grama= 0,23 e asfalto = 0,95 teremos um saldo radiativo de cerca de 20,8 MJ/m<sup>2</sup> para a primeira e 25,7 MJ/m<sup>2</sup> para o asfalto ou seja, a superfície coberta de asfalto se aquecerá mais do que a grama, e além disso o asfalto também não dissipará a energia em processos como transpiração e fotossíntese vegetais que acontecem no gramado. Esses processos biofísicos e bioquímicos envolvem a presença de umidade e, esta é de suma importância no sistema climático.

Reforçando o resultado, podemos citar os

primeiros dias de Janeiro de 2007 nos quais houve grande precipitação em ambos os municípios e que não por acaso, foram também os dias de menores diferenças entre os parâmetros acompanhados. Essa situação perdurou durante os sete dias consecutivos nos quais choveu. Ao fim do período, no entanto, as diferenças voltaram a se acentuar, evidenciando a pouca capacidade de retenção de umidade da grande cidade.

A impermeabilização dos solos e o desvio da água para bueiros e galerias reduzem o processo de evaporação, não usando o calor para evaporação (calor latente), mas sim liberando calor sensível. Nada disso contribui para um conforto térmico em áreas pavimentadas como as cidades, além de reforçar a necessidade de áreas verdes, importantes no balanço de radiação, na absorção de gás carbônico, da umidade do ar além da própria superfície permeável que é o solo atuar na absorção das águas pluviais amenizando outro grande problema urbano relacionado ao clima: as enchentes.

Somam-se ainda outros fatores conhecidos que contribuem para o maior aquecimento urbano como o aquecimento pela presença das atividades humanas, concentração de poluentes que aumentam o efeito estufa mediante e a re-emissão de radiação de ondas longas para a superfície terrestre e a alteração da rugosidade superficial com consequente influência sobre a circulação atmosférica local e a partir de todos esses fatores pode-se começar a entender a importância de um planejamento que leve em conta os efeitos do clima sobre os habitantes das cidades.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

Azevedo, T.R. 2001. "O fluxo de calor gerado pelas atividades humanas" in TARIFA, J. R. e AZEVEDO, T. R.(Orgs.). Os climas na cidade de São Paulo teoria e prática. GeoUSP,4, Pró-reitoria de cultura e extensão universitária.Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia. FFLCH/USP. GEOUSP – (Coleção Novos Caminhos), v.4 p. 71-93.

Huek. K. 1972. As florestas da América do Sul.São Paulo: Polígono/Brasília: Univ. de Brasília. 466p.

Monteiro, C.A.F. 1971. "Analise rítmica em climatologia: problemas de atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho", Climatologia, n. 1, Instituto. de Geografia da Universidade de São Paulo. 21 p.

Monteiro, C.A.F. 1973. A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo – estudo geográfico sob a forma de Atlas, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, São Paulo. 129 p.

Monteiro, C.A.F. 1975. Teoria e clima urbano. Tese de livre docência apresentada á Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo. 244 p.

Monteiro, C.A.F. 1990. "Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos do clima urbano no Brasil", Revista GEOSUL,v. 5, n. 9, UFSC, Ed. da UFSC, Florianópolis. p. 20-60 .

Ross, J. S. (org.) 2003. Geografia do Brasil. EDUSP, São Paulo. 540 p.

Sorre , M. 2006. Objeto e método em climatologia, Tradução Prof. Dr. José Bueno Conti, DG/ FFLCH/USP. Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, São Paulo. n. 18, p. 89-94.

Tarifa, J.R. e Armani, G. 2001. Os Climas Urbanos. In: TARIFA, J.R. & AZEVEDO, T.R. (Orgs.). Os climas da Cidade de São Paulo: Teoria e Prática. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura e Extensão. Universidade São Paulo: Laboratório de Climatologia. FFLCH/USP. GEOUSP – (Coleção Novos Caminhos), v.4, p. 47-71.

Yoshino, M.M. 1975. Climate in a small area: an introduction to local meteorology, University of Tokyo. Japan. 549 p.