

# Relações entre temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica em área urbana: comparação horária entre dois bairros no município de São Paulo-SP.

Carlos Henrique Jardim  
Professor Adjunto, Departamento de Geografia – IGC – UFMG

## Resumo

O presente artigo discorre sobre os efeitos dos controles urbanos na circulação dos ventos, inferido a partir de mensurações de dados de pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar em dois bairros no município de São Paulo-Brasil, situados em área urbana e periurbana. Os dados foram coletados de forma simultânea em três segmentos temporais: 03 a 23/08/2004 (06, 15 e 22 h), 14/02 a 06/03/2005 (12 e 21 h) e 14 a 20/04/2007 (6 h e 30 min, 14 h e 30 min e 23 h e 15 min). Utilizou-se de um par de psicrômetros para as tomadas de temperatura e umidade relativa do ar e dois barômetros de mercúrio (barômetro de Torricelli) para mensuração da pressão atmosférica. Os dados produzidos foram analisados de forma comparativa e as diferenças verificadas foram atribuídas à influência das condições atmosféricas e de uso da terra. A partir de uma série de explicações alternativas sugeriu-se que o conteúdo de umidade do ar teve importante participação nas variações de pressão atmosférica, assim como o relevo, o arranjo e as características do equipamento urbano na área de estudo impõe diversas modificações à dinâmica dos ventos.

## Abstract:

*This article discusses the effects of urban controls the movement of winds, inferred from measurements of atmospheric pressure data, temperature and relative humidity in two districts in São Paulo, Brazil, located in urban and peripheral area. Data were collected simultaneously in three time segments: 03 to 8/23/2004 (06, 15 and 22 h), 14/02 to 06/03/2005 (24:21 h) and 14 to 20/04 / 2007 (6 h 30 min, 14 min and 23 h 30 h 15 min). We used a pair of psychrometers taken for temperature and humidity and two mercury barometers (barometer Torricelli) to measure atmospheric pressure. The data produced were analyzed in a comparative and the differences were attributed to the influence of weather and land use. From a series of alternative explanations suggested that the moisture content of the air had an important role in the variations of atmospheric pressure, as well as relief, the arrangement and characteristics of urban equipment in the study area requires several modifications to the dynamics of winds.*

Recebido 12/2010  
Aprovado 09/2011

**Palavras-chave:** pressão atmosférica, ventos, áreas urbanas.

**Key-words:** *atmospheric pressure, winds, urban areas.*

danicolucci@yahoo.com.br  
marcusggm@yahoo.com.br.

## Introdução

No âmbito das ciências e, portanto, da geografia, já que esta é também uma ciência, qualquer afirmação deve ser submetida à prova. Neste caso, não basta conexão lógica entre os argumentos, pois nem tudo que é lógico é verdadeiro (a veracidade ou não de uma informação é uma preocupação científica e não, necessariamente, filosófica). Um argumento de cunho científico deve vir municiado de evidências (provas) que sustentem sua veracidade.

Imbuído desse espírito, a partir de questionamentos pertinentes à climatologia, colocou-se a seguinte questão: é fato que o aquecimento (aumento da energia cinética) de um corpo material é acompanhado de sua dilatação. O aumento da energia cinética num dado volume de ar e sua conseqüente expansão produz um fluxo de ar ascendente, convergente em superfície e divergente em altitude, caracterizado pelos modelos de circulação ciclônica dos ventos e os modelos de brisas de vale/montanha e marítima/terrestre. Alguns autores identificaram padrão similar de circulação do ar em áreas urbanas, descrita pela formação das “ilhas de calor”. Entretanto, antes de admitir a validade desse modelo para áreas urbanas com base apenas em analogias, cabem algumas indagações: a) as diferenças de escala entre esses padrões de ventos sugerem, quando se passa de um nível escalar para outro, uma modificação não só na dimensão do objeto, mas, sobretudo, das suas características e gênese (o ar que agita as folhas das árvores e os ciclones, embora nos dois casos se ateste o movimento do ar, são de dimensões, características e gênese completamente diferentes); b) a diversificação de materiais, estruturas, formas e funções presentes nas cidades são capazes de imprimir diversos tipos de perturbações à circulação do ar, convergindo para o desenvolvimento de um padrão de ventos mais próximo ao “caótico” do que aquele expresso no modelo de célula fechada das “ilhas de calor”.

Considerando as questões apontadas e munido de dados de natureza empírica, a intenção deste artigo foi verificar a relação entre os valores de pressão atmosférica e as variações de temperatura e umidade relativa do ar em ambientes urbanos com características diferenciadas. A importância na elucidação desse aspecto da realidade reside numa melhor compreensão dos mecanismos de circulação do ar (ventos), uma vez que a dinâmica desse elemento atmosférico está diretamente ligada às variações de pressão do ar.

Do ponto de vista conceitual a pressão atmosférica se traduz pelo peso do ar sobre a superfície terrestre (ou, evidentemente, sobre qualquer objeto imerso na atmosfera). O peso, neste caso, responde pelo produto da relação entre a massa da atmosfera e a força gravitacional do planeta (todo objeto provido de massa está sujeito à força gravitacional). Utilizam-se várias unidades de medida para expressá-la. Entre as mais usuais utilizam-se o mmHg (milímetros de mercúrio) e o mb (milibar). Este último substituído recentemente pelo hPa (hectopascal). Ao nível do mar, onde o peso da coluna de ar é máximo, a pressão equivale, em média, a 1013,25 mb (ou 1013,25 hPa) ou 760 mmHg, para uma temperatura do ar em 15,0° C, ou aproximadamente, 1,033 kg/cm<sup>2</sup>. Neste artigo optou-se pela manutenção dos valores de pressão atmosférica em mmHg dado pelos barômetros utilizados nos experimentos.

A pressão atmosférica do ar está sujeita a variações horárias (máximos e mínimos, respectivamente às 10 e 22 h), diárias e semanais (com a sucessão dos tipos de tempos), estacionais (diferença entre as estações do ano) e altitudinais (a pressão atmosférica varia em 1,0 mb ou 0,75 mmHg para cada 8 m de altitude, até 5500 m) e latitudinais.

Há relação direta entre a circulação do ar e o estabelecimento de um gradiente de pressão atmosférica. Nesse sentido, considerou-se a seguinte hipótese de trabalho: um corpo material quando aquecido dilata-se e, conseqüentemente, torna-se menos denso. O resfriamento leva ao aumento na sua densidade. Neste caso, o mesmo volume de uma parcela de ar aquecida é mais leve (ou menos denso) do que o mesmo volume de uma parcela de ar mais fria (mais densa e, portanto, com valores mais elevados de pressão). Disso pode-se deduzir que, sendo as áreas urbanas (supostamente) mais quentes do que seus arredores rurais e florestais (supostamente mais frios), apresentariam valores mais baixos de pressão atmosférica. Em outras palavras, estabelecer-se-ia um campo de alta pressão sobre as áreas mais frias (entorno rural e áreas florestais) e um campo de baixa pressão sobre as áreas mais quentes (áreas urbanas centrais), induzindo ao estabelecimento de um tipo de circulação do ar semelhante às brisas marítimas e terrestres, utilizado, também, para descrever o modelo de circulação do ar de “ilhas de calor” em áreas urbanas.

No padrão de circulação do ar das brisas terrestres e marítimas, os baixos valores de calor específico e de capacidade térmica, além da opacidade dos materiais encontrados nas superfícies continentais, permitem que a radiação solar interaja apenas com os primeiros centímetros dessas superfícies, propiciando o seu rápido aquecimento diurno e resfriamento noturno. O ar sobrejacente às superfícies continentais, menos denso, dilata-se e ascende, forçando as isóbaras para cima. O espaço anteriormente ocupado pela parcela de ar em ascensão é preenchido pelo ar mais frio e, portanto, mais denso, vindo do oceano. No período noturno essa circulação inverte-se e passa a circular do continente para o oceano, pois, da mesma maneira que as superfícies emersas aquecem-se rapidamente, resfriam-se à mesma velocidade. Nos oceanos, o elevado valor de calor específico da água e o imenso volume com o qual interage a radiação solar (o que garante a elevada capacidade térmica desse meio), dada à relativa transparência das águas e ação das correntes oceânicas no sentido de distribuir melhor o calor (mescla vertical e horizontal), fazem com que as águas oceânicas permaneçam mais aquecidas do que as terras emersas no período da noite.

Embora se devam guardar as devidas reservas quanto à analogia apresentada, entre o padrão de brisas (marítima e terrestre) e as “ilhas de calor” urbanas, modelo sustentado inclusive por autores como Landsberg (2006), o exemplo é válido, pois no primeiro caso esse fenômeno já foi devidamente estudado servindo, portanto, como referencial.

As considerações trazidas pelos autores a respeito das variações de pressão atmosférica em área urbana traduzem de modo geral a idéia de que, sendo as áreas centrais das cidades mais quentes do que as áreas rurais circunvizinhas, um fluxo de ar mais frio se dirigiria da periferia para o centro da cidade atraído pelas baixas pressões aí dominantes.

Para Landsberg (2006. p.108) esse modelo de circulação do ar influenciado pelos valores de temperatura e densidade do ar (baixa pressão) nos centros urbanos é descrito da seguinte maneira:

[...] Na literatura, há afirmações sobre a cidade induzir a própria circulação, o que é comparável às brisas de terra e lago, porque, em geral, é mais quente. Um sistema de vento de pequena escala como o sugerido por esta hipótese, iniciar-se-ia sobre a cidade quente com correntes ascendentes assegurando um gradiente de pressão. Um vento fresco do campo convergindo para a cidade por todos os lados seria esperado como resultado. BERG (1947) calcula que uma diferença de temperatura de cinco graus causaria um vento de sete milhas por hora nas bordas da cidade, supondo que o campo médio de vento sinótico seja fraco. Suas

próprias observações em Colônia não revelaram a existência desta brisa do campo. Os fracos gradientes de pressão provavelmente são incapazes de superar a fricção. Portanto, é mais comum o ar do campo, especialmente no início da noite, entrar a cidade em pulsos discretos como frentes frias em miniatura.

Amorim (2000, p.27), ao citar Lombardo (1995), traz a seguinte consideração a respeito do comportamento da pressão atmosférica em áreas urbanas: [...] “as altas temperaturas que ocorrem nas áreas mais impermeabilizadas, em decorrência dos efeitos combinados das várias características do sítio construído, provocam baixa pressão atmosférica nestas áreas, gerando uma circulação local. Esta, por sua vez, provoca a concentração de material particulado na atmosfera local e de massas úmidas provenientes da região de entorno, gerando anomalias de precipitação sobre estas áreas” [...].

Freitas (2003, p.8), citando Fujibe e Asai (1980), também menciona um padrão típico de circulação do ar nas cidades associado às variações de pressão atmosférica: [...] “através de uma média de condições de fraco gradiente de pressão, detectaram padrões de convergência sobre a cidade de Tóquio devido ao aquecimento elevado da região urbana” [...]. Idéia também anteriormente retomada por Azevedo (2001, p. 104), a partir de dados coletados no município de São Paulo:

[...] Sem dúvida, meio grau Celsius, em si, não representa muita coisa. Em termos de conforto não faria a menor diferença, sobretudo no caso de São Paulo. No entanto, esta diferença de temperatura deve se configurar apenas sobre a mancha urbana e uma periferia imediata indiscernível até o presente momento. Esta diferença entre o interior e o exterior da atmosfera urbana deve implicar numa tendência de redução da pressão atmosférica em direção às áreas mais adensadas e/ou centrais. O campo de vento deve sofrer uma deformação em direção à área urbana, fazendo convergir os poluentes que são adicionados ao ar, dificultando, portanto, sua dispersão [...].

Embora sejam perfeitamente plausíveis as considerações dos autores supracitados, há ainda várias questões não respondidas. Em termos numéricos, os valores de “baixa pressão” por trás do desencadeamento dos ventos corresponderiam a quanto? Variações ínfimas nesses valores seriam capazes de influenciar o movimento do ar sob quaisquer condições atmosféricas?

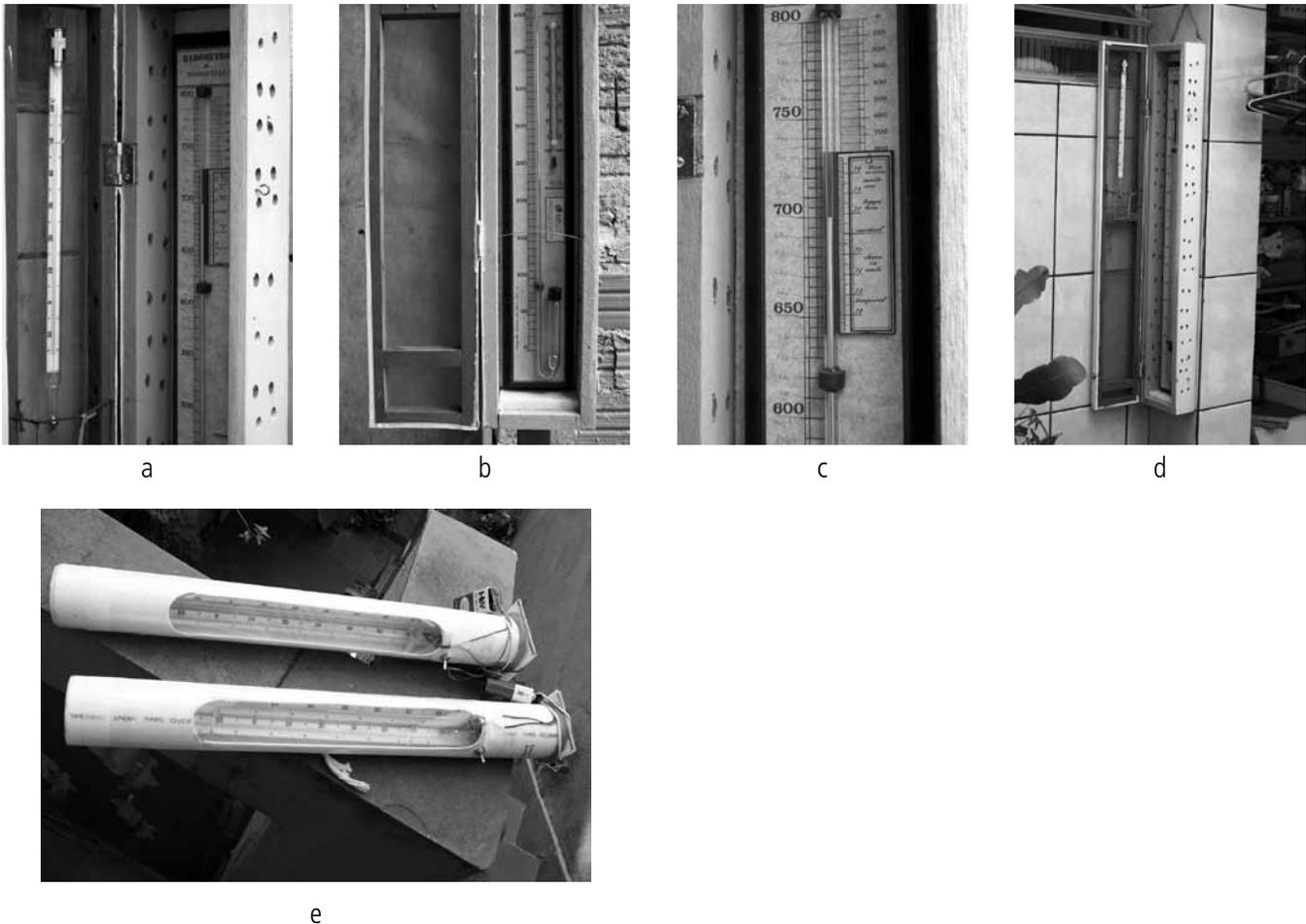
## Metodologia

Os dados aqui apresentados foram produzidos entre os anos de 2004 e 2007. Um exame mais detalhado destes pode ser encontrado em Jardim (2007), quando foram mensurados de forma simultânea valores de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica, a partir de dois pontos fixos situados em bairros diferentes no município de São Paulo, em três segmentos temporais: 03 a 23/08/2004 (horários das 06, 15 e 22 h), 14/02 a 06/03/2005 (12 e 21 h) e 14 a 20/04/2007 (6 h e 30 min, 14 h e 30 min e 23 h e 15 min). Utilizou-se de um par de psicrômetros para as tomadas de temperatura e umidade relativa do ar e dois barômetros de mercúrio (barômetro de Torricelli) para mensuração da pressão atmosférica, providenciados junto ao Depto. de Geografia do Instituto de Geociências da Unicamp.

A resolução dos barômetros (figura 01) era de  $\frac{1}{2}$  mmHg e a precisão entre os dois instrumentos, determinada pela calibração, foi inferior a  $\frac{1}{2}$  mmHg (o que torna comparável os dados coletados). A resolução dos termômetros de mercúrio utilizado nos psicrômetros era de  $0,2^{\circ}\text{C}$  e precisão de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

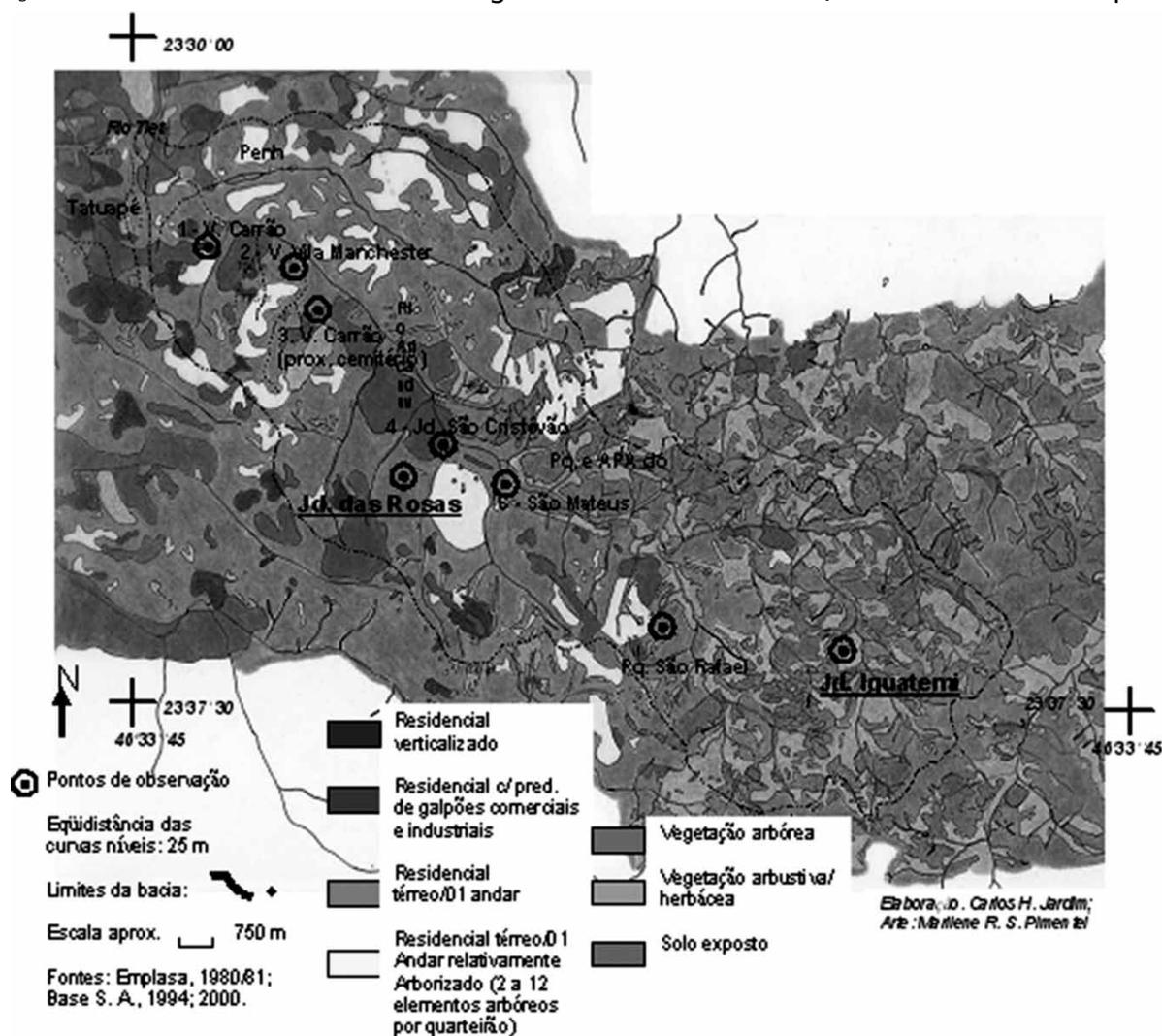
No que diz respeito à instalação dos barômetros, a recomendação do fabricante era deixá-los expostos, em ambiente ventilado. No entanto, embora sejam aparelhos precisos, a sua extrema fragilidade e conseqüente dificuldade de manuseio, dado ao tamanho, já que se compõe de uma haste de vidro preenchida por mercúrio de quase um metro de comprimento, e ao preço que assumem no mercado, impraticáveis, ainda, tanto para o cidadão comum quanto para muitas instituições de ensino e pesquisa, foram construídos abrigos em madeira, revestidos com isopor, com a finalidade de protegê-los de choques e possível alteração da leitura por condução de calor (ganho ou perda) através do contato com superfícies. Tomou-se o cuidado de permitir o máximo possível de ventilação inserindo uma série de aberturas laterais, orientadas para baixo para evitar a insolação direta, e tela na parte frontal não voltada para o sol, onde era realizada a leitura.

Figura 01 Detalhes do instrumental utilizado. Em "a", porção superior do barômetro. Em "b", porção inferior do barômetro, destacando o depósito de mercúrio. Em "c", detalhe da escala e em "d", visão do conjunto. Em "e", visão geral dos psicrômetros.



Um dos pontos de medida situava-se no Jd. das Rosas (795 m), no médio vale da bacia do Rio Aricanduva. O outro ponto ficava no Jd. Iguatemi (825 m), no alto vale (figuras 2 e 3). Ambos os pontos encontravam-se na bacia do rio Aricanduva, zona leste do município de São Paulo (23°30' – 23°37' S e 46°22'30" – 46°33'45" W). No médio vale predominam construções baixas (térreas ou com 01 andar) constituídas predominantemente por residências familiares. No alto vale o tipo de construção é semelhante ao padrão descrito anteriormente, embora não assuma o aspecto de “malha” contínua, mas como bairros fragmentados, permeadas por amplos espaços com vegetação (manchas de matas nativas secundárias, reflorestamentos, pequenas propriedades rurais, mata ciliar e reserva de terrenos para especulação imobiliária). Formas dissecadas de relevo (colinas restritas, com forte entalhamento das vertentes e morros) dominam o cenário a partir do médio em direção ao alto vale da bacia.

Figura 2 Uso da terra na bacia hidrográfico do rio Aricanduva, zona leste do município.

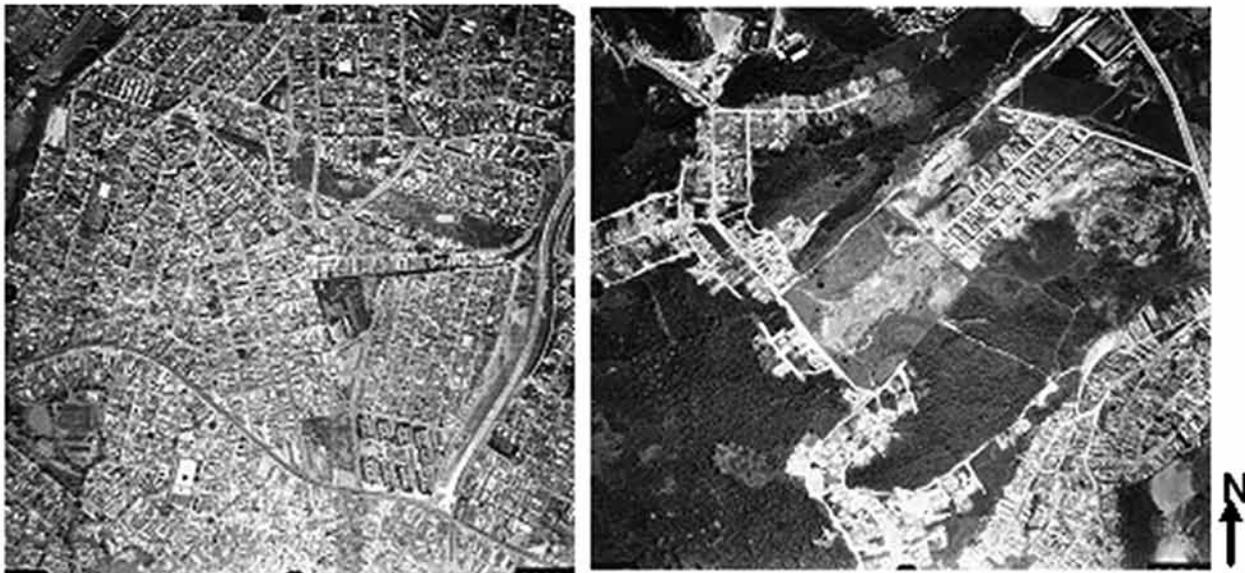


Elaboração: Carlos H. Jardim; Arte: Marilene R. S. Pimentel

Os dados produzidos foram analisados de forma comparativa e simultânea. As diferenças verificadas foram atribuídas à influência dos fatores climáticos, notadamente as variações nas condições de tempo atmosférico, temperatura, umidade relativa do ar e de uso da terra.

Os resultados foram obtidos tendo em vista a relação da curva de variação dos elementos climáticos com as características físicas do ambiente de coleta e do tipo de tempo no dia, decorrentes da repercussão espacial dos sistemas atmosféricos em superfície. O comportamento habitual ou o traço mais recorrente na variação dos elementos climáticos, revelado pela análise dos dados, permitiu sugerir uma série de explicações alternativas.

Figura 3 Características gerais das localidades onde foram mensurados os dados climáticos.



Os pontos onde foram mensurados os dados estão indicados por setas em vermelho. A fotografia da esquerda retrata o Jd. das Rosas (centro da foto). Notar o aspecto “contínuo” da urbanização. A fotografia da esquerda (área urbanizada no canto inferior direito) retrata os arredores do posto do Jd. Iguatemi. Notar os amplos espaços ocupados pela vegetação, o aspecto fragmentado dos bairros, arruamento “caótico” e a cor cinza das lajes de concreto e das telhas de amianto. Outro aspecto refere-se à (quase) ausência de espaços destinados a equipamentos públicos.

Fonte: Base S.A (2000) Escala Aprox. 1: 12000

A fim de tornar os dados obtidos nos dois postos comparáveis e, ao mesmo tempo, avaliar o efeito dos fatores urbanos nas variações de pressão atmosférica, os valores constantes da tabela 01 e dos gráficos 01-16 foram corrigidos, tomando-se o cuidado de subtrair o efeito da altitude. Neste caso foram acrescentadas (correção aditiva) 2,8 unidades aos valores tomados no posto do Jd. Iguatemi, correspondente à diferença de altitude entre ambos: para cada 8 metros, acrescentou-se 0,75 mmHg, que corresponde à variação desse elemento com a altitude na baixa troposfera. Considerando que a diferença entre os postos não ultrapassava 30 metros, o valor acrescentado respondeu por +2,8 mmHg. Consideraram-se, também, outros fatores como a temperatura no horário de leitura do barômetro, a latitude e a altitude em relação ao nível do mar. Em relação à correção com a tempe-

ratura do ar, as unidades subtraídas variaram em valor, conforme a variação da temperatura do ar (já que os barômetros são calibrados a 0,0°C). Os valores para correção da leitura do barômetro foram extraídos de Tubelis e Nascimento (1980).

A escolha dos pontos e dos horários de medida deu-se em função do número limitado de instrumentos à disposição, da disponibilidade de pessoas para realizar as leituras e de questões relativas à segurança dos aparatos. E, embora os segmentos temporais não ultrapassassem cada um deles a três semanas seguidas de coleta de dados, as tomadas simultâneas (em horários pré-definidos) permitiram avaliar as variações da pressão atmosférica, bem como dos demais elementos climáticos, sob diversas condições de tempo meteorológico.

## Resultados

Nos períodos monitorados (tabela 01) os valores médios de pressão do ar no Jd. Iguatemi foram inferiores àqueles registrados no Jd. das Rosas, mesmo nas ocasiões horárias quando o Jd. das Rosas apresentou valores de temperatura do ar mais elevados (seqüência de gráficos 01 – 16). A média das 12 h (14/02 a 06/03/2005) indicou 691,3 mmHg no Jd. Iguatemi contra 693,1 mmHg no Jd. das Rosas, quando os valores médios de temperatura e umidade relativa foram, respectivamente, 24,6°C – 80% e 28,0°C – 62%. Na média das 21 h foram anotados para o Jd. Iguatemi 691,4 mmHg, 23,3°C e 80% contra 693,4 mmHg, 23,7°C e 76% no Jd. das Rosas.

Tal constatação vai de encontro ao que se afirma sobre o comportamento desse elemento nas cidades, ou seja, com valores de pressão atmosférica mais baixa sobre áreas densamente urbanizadas.

Tabela 1 **Comparação dos valores médios de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica**

03-23/08/2004

Jd. Iguatemi			Jd. das Rosas			Dif.	Jd. Iguatemi			Jd. das Rosas			Dif.	Jd. Iguatemi			Jd. das Rosas			Dif.				
6 h							15 h							22 h										
ts	ur	Pres.	ts	ur	Pres.	Pres.	ts	ur	Pres.	ts	ur	Pres.	Pres.	ts	ur	Pres.	ts	ur	Pres.	ts	ur	Pres.	Pres.	
15	91	696	14	92	699	3	22	76	695	22	61	699	4	17	89	696	16	87	699	3				3

14/02 - 06/03/2005

Jd. Iguatemi			Jd. das Rosas			Dif.	Jd. Iguatemi			Jd. das Rosas			Dif.				
12 h							21 h							Dif.			
ts	UR	Pres.	ts	UR	Pres.	ts	UR	Pres.	ts	UR	Pres.	ts	UR	Pres.	ts	UR	Pres.
24,6	80	691,3	28,0	62	693,1	3,4	18	1,8	23,3	80	691,4	23,7	76	693,4	0,4	4	2,0

14-20/04/2007

6 h e 30 min						14 h e 30 min						23 h e 15 min					
Jd. Iguatemi		Jd. das Rosas		Dif.		Jd. Iguatemi		Jd. das Rosas		Dif.		Jd. Iguatemi		Jd. das Rosas		Dif.	
ts	Pres.	ts	Pres.	ts	Pres.	ts	Pres.	ts	Pres.	ts	Pres.	ts	Pres.	ts	Pres.	ts	Pres.
20,6	690,0	20,4	698,1	0,2	8,1	28,9	691,6	28,0	698,8	0,9	7,2	21,3	690,2	22,0	698,6	0,7	8,4

Legenda: Dif (diferença); ts (temperatura ar seco °C); ur (umidade relativa do ar %); Pres. (pressão atmosférica mmHg)

Em função disso, foram sugeridas as seguintes explicações:

(1) A primeira vista, não haveria uma relação direta entre temperatura do ar e pressão atmosférica à escala do objeto de estudo. Em alguns horários as diferenças de temperatura confirmam os valores de pressão e, em outros momentos, não, como mostram os valores tomados às 12 h dos dias 16/02 (Jd. Iguatemi: 693,3 mb, 23,1°C e 82%; Jd. das Rosas: 690,7 mb, 28,8°C e 51%) e 18/02 (Jd. Iguatemi: 691,0 mb, 25,2°C e 77%; Jd. das Rosas: 693,6 mb, 30,0°C e 61%). Ou, então, haveria um descompasso quanto à variação desses elementos, cada um obedecendo a ritmos próprios.

Neste caso a pressão atmosférica varia dentro de um patamar numérico (aproximadamente entre 0 a 760 mmHg ou de 0 a 1013,25 hPa) diferente da umidade relativa do ar (entre 0% a 100%) e, mais ainda, em relação à temperatura do ar, associado às características físicas de dilatação do próprio mercúrio frente às variações de densidade do ar. O barômetro de mercúrio (ou Torricelli), embora seja um instrumento preciso, mais do que os modelos aneróides, dentre os quais se incluem os barógrafos, não seria capaz de acompanhar sensíveis variações de temperatura do ar, a menos que a haste de vidro, dentro da qual está depositado o mercúrio, fosse muito maior, o que, por sua vez, tornaria quase impraticável o seu manuseio (e que já é difícil). Evidentemente, mesmo sendo capaz de captar variações mínimas, ainda sim isso não significaria indício de mudanças mais amplas no movimento do ar na atmosfera urbana da área de estudo, já que essas variações mínimas poderiam estar ligadas a fatores microclimáticos.

(2) Todo o conjunto representado pela bacia do Rio Aricanduva estaria sujeito às variações locais e/ou regionais de pressão atmosférica e não ao nível microclimático (imposição de sistemas que se definem em escalas mais amplas sobre aqueles de escala inferior), daí a ausência (ou quase ausência) nas diferenças relativas às variações desse atributo. Neste caso, os valores de pressão do ar poderiam ser considerados enquanto produto de uma variação espacial e temporal mais ampla, associadas às variações dos tipos de tempo (diário e/ou semanal) ou, ainda, estacional, atinente à realidade climática local na bacia paulistana. No entanto, devem-se levar em consideração que essas variações temporais de longa duração (mensais e estacionais), afetam os dois postos simultaneamente (seria inconcebível imaginar inverno num dos postos e verão no outro).

(3) As diferenças de pressão seriam respostas frente à diferença de altitude entre os dois postos (na baixa troposfera a pressão do ar diminui em 1 mb ou 0,75 mmHg para cada 8 metros de altitude). Entretanto, a correção efetuada eliminou esse efeito.

(4) A pressão atmosférica é menor numa parcela de ar mais úmida. Nesse sentido, segundo Grimm (2002) [...] “A maior presença de vapor d’ água no ar diminui a densidade do ar porque o peso molecular da água (18,016 kg/mol) é menor que o peso molecular médio do ar (28,97 kg/mol). Portanto, em iguais temperaturas e volumes, uma massa de ar mais úmida exerce menos pressão que uma massa de ar mais seca” [...].

(5) Não se descartou a possibilidade da situação apresentada ser característica própria daquela dada localidade na cidade de São Paulo, onde foram coletados os dados, tomada aqui como área de estudo.

Em relação ao item 1, deve-se considerar que as correções efetuadas eliminaram (ou minimizaram) o “erro” causado pelas variações da temperatura do ar nos dois postos. Isso mostra, portanto, que a densidade do ar é menor no Jd. Iguatemi. Se fosse maior, como ocorreu no Jd.

das Rosas, o peso da coluna de ar forçaria a coluna de mercúrio para cima. Mesmo descontando a diferença de altitude entre os dois postos, se forem considerados os 30 metros que separam o posto do Jd. das Rosas (795 m) em relação ao posto do Jd. Iguatemi (825 m), haveria que se adicionar 2,8 mmHg aos valores de pressão do posto do Jd. Iguatemi, insuficientes para igualar um e outro posto. Neste caso os valores de pressão, na maior parte das ocasiões, ainda permaneceriam mais baixos no posto do Jd. Iguatemi.

Com relação ao item 4, a respeito da consideração de Grimm (2002) sobre a interação entre a pressão atmosférica e a umidade do ar, deve ficar claro que a autora refere-se à umidade absoluta e não a umidade relativa aqui considerada. A umidade relativa não indica a quantidade de água dispersa no ar. Mesmo a atmosfera de ambientes desérticos atinge a condição de saturação do ar momentaneamente (valor de umidade relativa de 100%), ao nível do solo, decorrente de forte resfriamento noturno ou, em outra situação, quando da entrada da brisa marítima tépida e úmida em contato com a superfície desértica fria das primeiras horas da manhã.

No entanto, como o Jd. Iguatemi apresentava valores de umidade relativa do ar habitualmente mais elevados, como pode ser verificado na tabela 01 e nos gráficos de 01 a 16, confirmada, também, em pesquisas anteriores (JARDIM, 2002), e neste caso devem ser consideradas as fontes de produção de vapor associada à presença de vegetação, elemento fortemente representativo desse trecho da bacia, além da proximidade e sujeição dos postos às mesmas condições atmosféricas locais, admitiu-se como sendo esse ambiente mais úmido. Os valores de temperatura do ar também mostram valores habitualmente mais baixos no Jd. Iguatemi em relação ao Jd. das Rosas e, portanto, mais próximo da condição de saturação.

Os valores médios de umidade relativa do ar, tomados de forma contínua, sem interrupção em intervalos de 1h, mostrada por Jardim (2002) em trabalho anterior, referentes ao período de 03/08 a 02/09/2000, indicaram valores de 85% no posto do Jd. Iguatemi e 81% no Jd. das Rosas. No período de 29/10 a 23/12/2000, os valores de umidade relativa do ar, tomados nas mesmas condições que o período anterior, acusou 92% no Jd. Iguatemi e 86% no Jd. das Rosas. Deve-se frisar que se trata de valores médios. Se forem consideradas as variações horárias, principalmente no período da tarde, foram relativamente comuns diferenças iguais ou superiores a 15% entre os dois postos (menores no Jd. das Rosas), principalmente no horário da tarde.

Dessas considerações resulta a relação encontrada entre os valores de umidade relativa do ar e temperatura e os baixos valores de pressão atmosférica no Jd. Iguatemi como uma das possíveis explicações.

Deve-se considerar, também, que a cidade nem sempre apresenta maiores ou menores valores de temperatura do ar quando comparada às áreas circunvizinhas. Mesmo em seu interior ocorrem diferenças significativas de temperatura entre os diferentes bairros, associadas às diferentes características de relevo, vegetação e na dinâmica, densidade e arranjo espacial do equipamento urbano. O que, por sua vez, interfere na disponibilidade de calor sensível disponível para aquecer o ar. Há, também, as diferenças diárias, diferenças associadas às mudanças dos tipos de tempo e variações estacionais.

As diferenças de pressão atmosférica averiguadas no vale do Aricanduva, em termos de magnitude, não assumem um caráter local (ou sub-regional) como acontecem nas áreas costeiras. E também não apresenta a mesma periodicidade. Enquanto nas áreas costeiras isso se sucede de

forma diária, evidenciado pelas brisas marítimas e terrestres, nesse setor da cidade assumiria um caráter ligado à sucessão dos tipos de tempo, ou seja, a área urbana permaneceu ligeiramente mais fria do que os seus arredores (demonstrado pelos valores médios de temperatura do ar no período do verão, entre fevereiro e março de 2005 da tabela 01), mesmo apresentando picos de maior valor nos horários mais quentes do dia. Característica, esta, atribuída, sobretudo, às diferenças de calor específico e disponibilidade de calor sensível e latente nas duas localidades. O baixo valor de calor específico dos equipamentos urbanos acelera o ganho e perda de calor, além de incrementar a disponibilidade de calor sensível utilizado no aquecimento do ar e do ambiente durante o dia.

Outro ponto que merece destaque refere-se ao limite entre as terras emersas e as águas oceânicas, perfeitamente delimitáveis sobre uma imagem de satélite e/ou fotografia aérea, donde se distinguem dois grandes conjuntos, possuidores de propriedades físicas distintas, lado a lado. Já no limite entre as áreas urbanas e rurais há um mosaico ocupado por pequenos espaços microclimáticos à escala dos bairros, distritos, fragmentos florestais, propriedades agrícolas etc., constituídos por estruturas, formas, funções e material muito diferenciado, mescladas entre si. Ou seja, os limites entre as cidades e o entorno rural não é nítido. Mesmo assim, quando o ar flui, submete-se a certas leis da física e sempre irá fluir de uma área de alta pressão para uma área de baixa pressão, seja dentro das cidades ou nas áreas costeiras. Entretanto, o padrão “caótico” de organização espacial dos elementos relativos ao uso da terra nas cidades e o seu entorno sugere um modelo de circulação entre esses pequenos espaços também “caóticos” (situação 03 da figura 04) e, portanto, muito diferente daquele padrão de circulação fechada e local das “ilhas de calor” e das brisas terrestres e marítimas (situação 01 da figura 04).

Nas condições descritas, a circulação do ar sobre o Aricanduva (situação 02 da figura 04) implicaria na ascensão de uma coluna de ar um pouco mais aquecida sobre o alto vale (caracterizado por valores médios de temperatura do ar mais elevadas e por menores valores de pressão), o que forçaria a elevação local das isóbaras e a descida de ar em direção ao baixo vale. O volume de ar que se dirige ao baixo vale contribuiria para a elevação da pressão atmosférica nessa área, o que interferiria nas condições de dispersão da poluição do ar e de transporte de calor e umidade, na medida em que o fraco gradiente isobárico e, portanto de movimento do ar, caracterizaria uma condição próxima à estabilidade atmosférica.

Mesmo no verão, os valores de pressão do ar mantiveram-se, também, mais elevados no Jd. das Rosas e mais baixos no Jd. Iguatemi, embora os valores de temperatura do ar (nessa ocasião de verão) tenham registrado valores superiores no Jd. das Rosas, em todos os momentos (lembrar que no inverno o Jd. Iguatemi acusou valores ligeiramente superiores aos do Jd. das Rosas, principalmente no horário da manhã). Já os valores de umidade relativa do ar, em todos os períodos monitorados, foram sempre superiores no alto vale do Aricanduva, onde está incluído o Jd. Iguatemi. O que, de certa forma, relativiza a influência direta da temperatura do ar a favor das variações na umidade do ar.

Figura 04 Padrões possíveis de circulação do ar na bacia do rio Aricanduva.

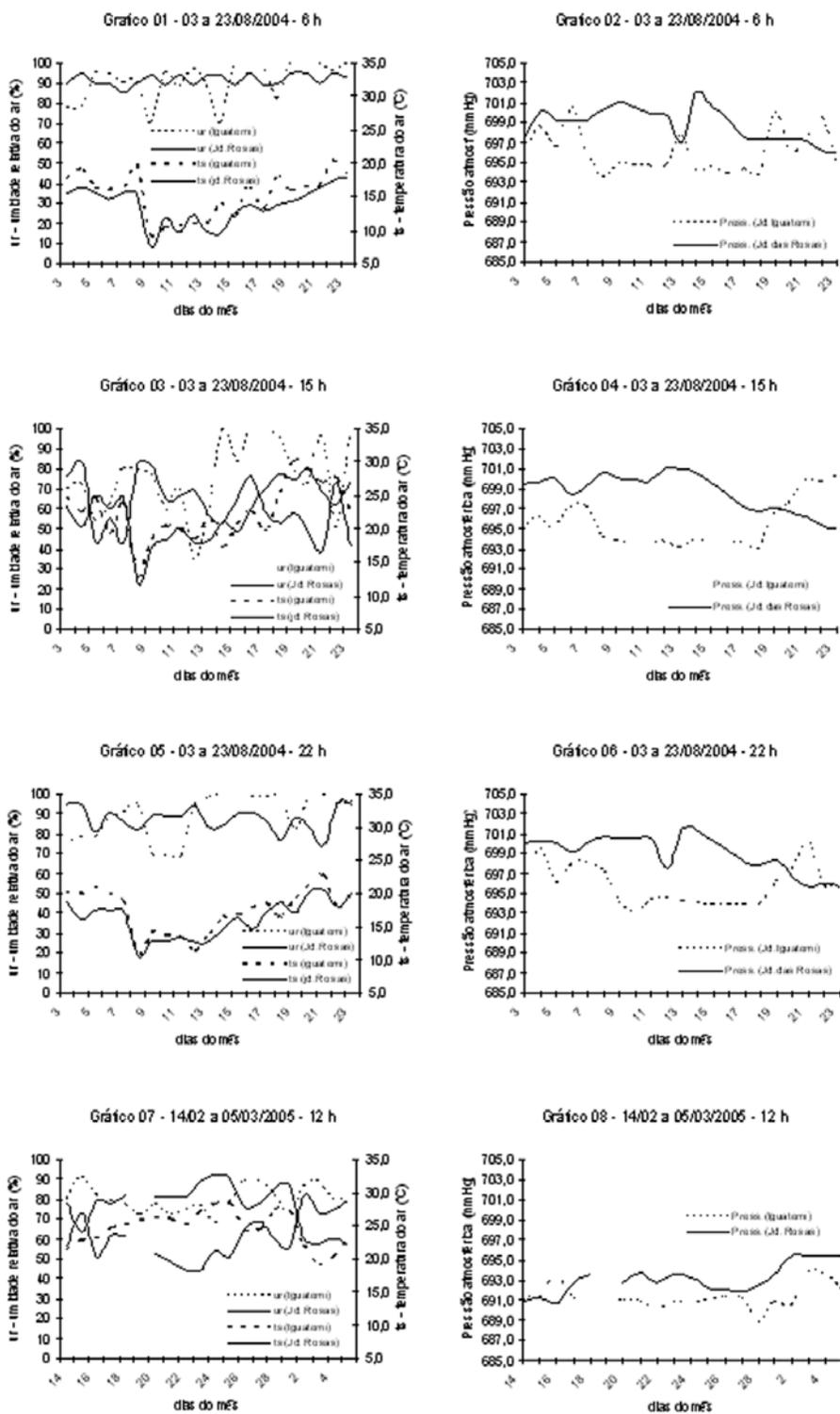


Gráfico 09 - 1402 a 05/03/2005 - 21 h

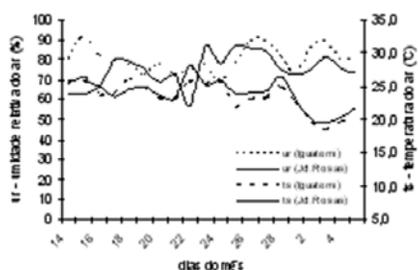


Gráfico 10 - 1402 a 05/03/2005 - 21 h

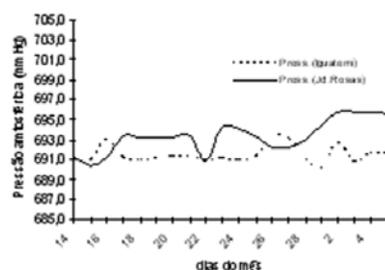


Gráfico 11 - 14 a 20/04/2007 - 6 h 30 min

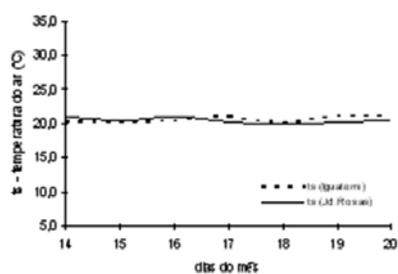


Gráfico 12 - 14 a 20/04/2007 - 6 h 30 min

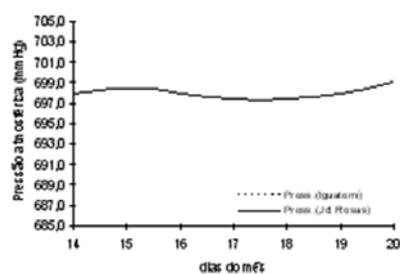


Gráfico 13 - 14 a 20/04/2007 - 14 h 30 min

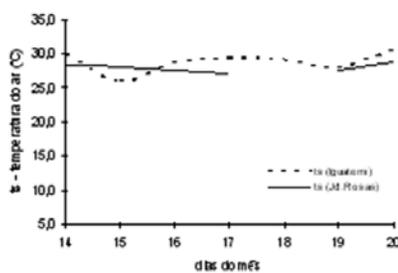


Gráfico 14 - 14 a 20/04/2007 - 14 h 30 min

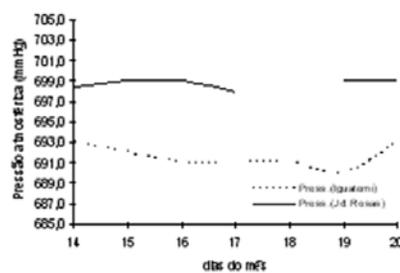


Gráfico 15 - 14 a 20/04/2007 - 23 h 15 min

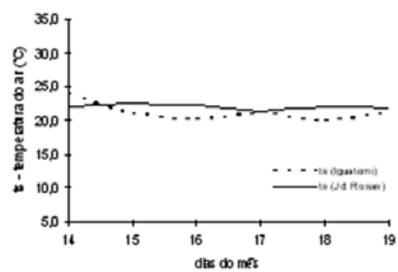
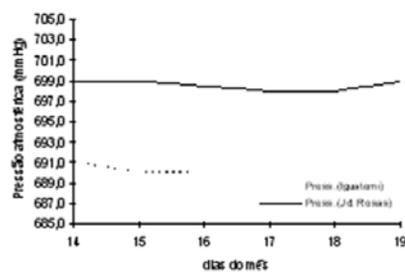
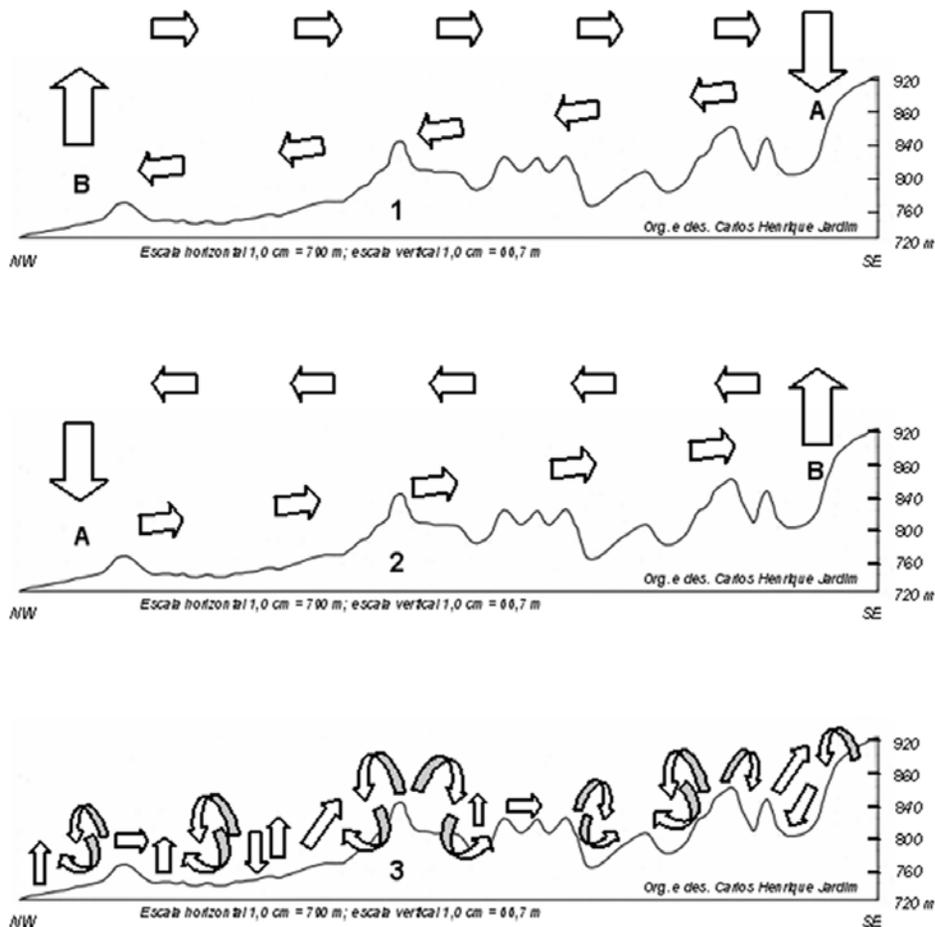


Gráfico 16 - 14 a 20/04/2007 - 23 h 15 min





A situação 01 corresponde ao padrão de ventos referente ao modelo de “Ilhas de Calor” (condição esperada); a situação 02 foi inferida a partir dos dados mensurados em campo nas ocasiões em que foram registradas diferenças significativas nas variações da pressão atmosférica; a situação 03 corresponde ao padrão “caótico” de ventos (situação mais provável).

### Considerações Finais

A discussão apresentada neste artigo possui caráter “exploratório” e não restam dúvidas quanto à necessidade de novas mensurações e abordagens, ainda mais se for considerada a escassa referência na literatura nacional a respeito das variações da pressão atmosférica em ambiente urbano.

Deve-se lembrar, também, que os ventos constituem-se em veículos de transporte de calor, umidade e dispersão de poluentes atmosféricos e, portanto, num importante indicador para avaliação da qualidade do ar.

Outro aspecto importante quando se trabalha o clima à escala das cidades, e que ficou claro no desenvolvimento deste artigo, é que as variações dos elementos climáticos estão ligadas à ação de vários fatores (tipos de tempo, relevo, uso da terra etc.) e em diferentes escalas (sistemas atmosféricos, tipos de tempo e a organização climática das cidades) e que, na maior parte das ocasiões, se manifestam de forma conjunta. Isoladamente, cada um desses elementos e fatores climáticos explica muito pouco, já que o clima, assim como outros sistemas naturais e antrópicos, exibe padrão complexo de organização. Daí a proposição da situação 03 (figura 04) sobre o aspecto “caótico” dos ventos na área de estudo.

## Referências

- AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente.** Tese (doutorado em geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- AZEVEDO, T. R. Dramas climáticos e responsabilidade social: a relação entre o ritmo das atividades econômicas - dias de trabalho e descanso - e o clima urbano. **Política & Trabalho**, set/2001, p. 91-111. Extraído de: <<http://www.cchla.ufpb.br/ppgs/politica/17-azevedo.html>> Data de acesso: 02/ago/2010.
- BASE S.A. **Levantamento aerofotográfico** – obra 0 550 – Faixas 13 (fotos 13 a 19), 14 (fotos 13 a 16), 15 (fotos 14 a 18) e 16 (fotos 21 a 27). Escala: 1: 25000. São Paulo: Base S. A., 1994.
- BASE S.A. **Levantamento aerofotográfico** – obra 0 708 – Faixas 37 (fotos 13, 15 19 e 23), 38 (13, 15, 17, 19, 21 e 23), 39 (11, 13 15, 17, 19 e 21), 40 (12, 14, 16, 18, 20, 22 e 24), 41 (10, 12, 14, 16, 18, 20 e 22), 42 (18, 20, 22, 24, 26, 28 e 30), 43 (10, 12, 14, 16, 18, 20 e 22), 44 (21, 23, 25, 27, 29, 31 e 33), 45 (8, 11, 13, 15, 17 e 19), 46 (24, 26, 28, 30, 32 34 e 36), 47 (7, 8, 10, 12, 14 e 16), 48 (26, 28, 30, 32, 34 e 36), 49 (8, 10, 12, 14 e 16), 50 (28, 30, 32, 34, 36 e 38), 51 (6, 8, 10, 12, 14 e 16), 52 (29, 31, 33, 35, 37, 39 e 41), 53 (4, 6, 8, 10, 12, 14 e 16), 54 (31, 33, 35, 37, 39 e 41), 55 (6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18), 56 (31, 33, 35, 37, 39, 41 e 43) e 57 (3, 5, 7, 9, 11, 13 e 15). Escala: 1: 5000. São Paulo: Base S. A., 2000.
- EMPLASA. **Folhas 332, 334, 431 e 433.** São Paulo, 1980/81. Cópias autenticadas preto e branco. Escala: 1:25 000.
- FREITAS, E. D. **Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes.** Tese (doutorado) – Departamento de Ciências Atmosféricas – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- GRIMM, A. M. **Meteorologia.** Extraído de: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>> Data de acesso: set/2002.
- JARDIM, C. H. **O clima na bacia do rio Aricanduva, na cidade de São Paulo (SP). Aspectos da gênese e dinâmica do clima urbano.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- JARDIM, C. H. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas.** Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia - Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- LAMDSBERG, H. E. O clima das cidades. **Revista do Departamento de Geografia**, n.18, p. 95-111, 2006.
- TUBELIS, A; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva:** fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1980.