

# O RITMO SEMANAL DAS ATIVIDADES HUMANAS E O CLIMA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO<sup>1</sup>

Tarik Rezende de Azevedo\* e José Roberto Tarifa\*\*

## RESUMO:

Este trabalho expõe onze evidências de que o ritmo semanal das atividades humanas é um elemento significativo para explicar o sistema climático da Região Metropolitana de São Paulo. Embora sugestivos, os resultados não são conclusivos, dada a complexidade do próprio objeto, o clima, e a multiplicidade de hipóteses em investigação em climatologia e meteorologia sob diversas abordagens metodológicas, espaciais e temporais.

A conclusão deste trabalho é, tão somente, que o tema merece ser estudado com maior profundidade e maior abrangência espacial e temporal, exigindo o concurso de um montante de trabalho exequível apenas se realizado coletivamente.

A principal e mais importante conclusão que pode advir de maior investigação do tema no futuro, e que já está expressa neste trabalho, é que parte das "alterações climáticas" imputadas à ação humana sobre o planeta, sobretudo em áreas urbanas, tem um caráter reversível em prazos muito curtos (possivelmente semanas ou meses).

## PALAVRAS-CHAVE:

Clima urbano, ritmo semanal de atividades humanas, São Paulo

## ABSTRACT:

This study shows eleven evidences of the influence of weekly human activities rhythm on the climate system under anthropic influence. The model area chosen is Sao Paulo Metropolitan Region. The results are not conclusive, but only suggestive. The most important conclusion that could be brought in the future is that part of the "climate changes" attributed to human activity on the Earth, specially in urban areas, is reversible in short time (maybe weeks or months). If effective actions are taken to control the heat and pollutant sources, we could assume that the urban environmental quality should improve very fast.

## KEY WORDS:

Urban climate, rhythmical human activities, São Paulo

## 1. Apresentação

Este trabalho expõe onze evidências que corroboram a seguinte hipótese: o ritmo sema-

nal das atividades humanas é um dos elementos determinantes na derivação antrópica do sistema climático na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

\*Geógrafo, colaborador do Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Depto. de Geografia - FFLCH / USP

\*\*Geógrafo, Professor do Departamento de Geografia - FFLCH / USP

## 2. Justificativa

Numerosos trabalhos têm constatado que, sobre a área ocupada por aglomerados urbanos e seus arredores, a parte basal da troposfera apresenta propriedades e processos peculiares que justificam a adoção do conceito de clima urbano (LANDSBERG, 1956; OKE, 1973; MONTEIRO, 1976). Normalmente são estabelecidas relações entre o uso do solo e o balanço de energia. Via de regra, os elementos básicos adotados para distinção espacial são: a concentração de poluentes atmosféricos, o albedo, a inércia térmica e a disponibilidade de água para evapotranspiração.

No entanto, o conceito de uso do solo é mais amplo que o sentido que normalmente é adotado, qual seja, as propriedades dos materiais e sua geometria compondo a estrutura física do meio urbano, a qual pode ser cartografada com relativa facilidade. A cidade também é o aglomerado de seres humanos e suas atividades; um pólo de concentração de fluxos de energia extraída e importada da superfície e do subsolo de vastas áreas territoriais. No caso da RMSP, trabalhos anteriores (MATTOS, 1925; FRANÇA, 1946; SETZER, 1946; MONTEIRO, 1971; TOLEDO, 1973; MONTEIRO, 1976; MORAES et alli, 1977; OLIVEIRA, 1978; PASCOAL, 1980; OLIVEIRA & SILVA DIAS, 1982; OLIVEIRA et alli, 1983; TARIFA & MELLO, 1984; LOMBARDO, 1985; TARIFA, 1985a, 1985b; SOBRAL, 1988; MONTEIRO, 1990; TARIFA, 1991; XAVIER et alli, 1994; SAKAMOTO, 1994; ALVES FILHO, 1996; LOPEZ, 1996; AZEVEDO, 1996; CABRAL, 1997; CASTRO, 1997; JARDIM, 1998; TARIFA, 1990; TARIFA & ARMANI, 2001) não deixaram claro se este montante de energia seria significativo, se teria algum papel no clima urbano, sendo capaz de modificar propriedades e processos atmosféricos e/ou influenciar no conforto climático. Exceção à MONTEIRO (1976), no qual propõe apenas teoricamente. Nos outros trabalhos do mesmo autor, na prática, não considera o calor emanado das atividades humanas como interveniente direto no clima.

Urge, portanto, distinguir o papel da energia dissipada pela biomassa e atividades humanas daquela que seria derivada das propriedades dos materiais dos elementos construtivos sob os ritmos diário e anual da radiação solar e o ritmo dos tipos de tempo associado à circulação secundária.

## 3. O ritmo semanal das atividades humanas

As atividades humanas apresentam múltiplos e variados ritmos, no entanto, o ritmo da semana de trabalho ocidental é, sem dúvida, o mais marcante de todos nas áreas urbanas. Este ritmo é completamente arbitrário em relação aos ritmos astronômicos e em relação à circulação secundária, o que faz do mesmo conveniente para a investigação do papel das atividades humanas no sistema climático. A semana regular de trabalho é marcada pelo dia de menor atividade urbana, ou seja, o domingo. No entanto, os outros dias da semana nem sempre são dias "úteis"<sup>2</sup> Ao longo de vários anos, a probabilidade dos feriados ocorrerem em qualquer dia da semana é praticamente constante, exceção às datas móveis (Páscoa e Carnaval). Mas, como existe o hábito das "pontes" a quarta-feira é o dia da semana em que se acumula mais dias "úteis"

Uma vez exposto o conceito de *ritmo semanal das atividades humanas*, há que considerar que ritmos derivados diretamente deste seriam significativos para a investigação da atmosfera urbana.

1) *Ritmo semanal da poluição atmosférica*. O montante de veículos automotores da RMSP emite um fluxo expressivo de poluentes na forma de gases e resíduos sólidos e líquidos. A atividade industrial também gera montante expressivo de poluentes, embora sua participação na composição da poluição de RMSP tenha diminuído persistentemente desde o final da década de 80. Os canteiros de obras de construção civil, os serviços de limpeza urbana e a queima de lixo e vegetação normalmente também são apontados como importantes fontes poluidoras. Ao menos

do ponto de vista hipotético, pode-se admitir que os fluxos de poluentes adicionados à atmosfera urbana sejam menos intensos aos domingos e feriados. Ao longo de vários anos, é provável que o montante de poluentes adicionados ao ar seja máximo na quarta-feira e mínimo aos domingos. No entanto, ao menos no plano das hipóteses, é provável que os dias com ar mais poluído tendam a ocorrer preferencialmente nas quintas e sextas-feiras das semanas sem feriados, já que a poluição do ar tem efeito cumulativo quando os processos de renovação do ar são menos eficientes que os processos poluentes. Este efeito deve ser exacerbado numa mancha urbana tão extensa quanto a da RMSP, já que as trocas laterais do ar urbano com o do entorno são tão importantes quanto às trocas verticais com o restante da troposfera.

2) *Ritmo semanal do fluxo de calor dissipado direta e indiretamente pela população e suas atividades.* Ao longo de vários anos, o montante de energia dissipada pela biomassa e pelas atividades humanas acumulado por dia da semana, em tese, deve apresentar um ritmo com máximo na quarta-feira e um mínimo no domingo.

3) *Ritmo semanal da turbulência do ar junto ao solo,* que é função direta da circulação de pessoas e veículos no interior da estrutura urbana. O montante de ar deslocado/movimentado por um único automóvel em velocidade moderada pode chegar a mais de trinta vezes sua seção transversal multiplicada pelo percurso do trajeto. Nas Marginais do Rio Tietê e Pinheiros na RMSP, por exemplo, há verdadeiros “*jet streams*” urbanos a alguns metros do solo, um de cada lado dos dois rios, que se mantêm na direção do fluxo de veículos durante a maior parte das horas do dia, mesmo sob condições de vento moderado.

4) *O ritmo semanal do fluxo de água adicionada ao ar próximo ao solo.* O dióxido de carbono e a água são os dois principais resíduos lançados à atmosfera imediata como resultado da combustão nos veículos automotores, apesar dos outros resíduos serem mais conhecidos e

constituírem parcela considerável da poluição urbana. A atividade industrial também libera muita água diretamente na atmosfera. Ao menos hipoteticamente, é admissível que este fluxo de água adicionada ao ar seja mínimo aos domingos e máximo nas quartas-feiras, quando considerados períodos de vários anos.

### **3. Evidência 01 – A distribuição temperatura do ar em micro escala**

Da necessidade de investigar a atmosfera urbana com grande detalhamento espacial e temporal (TARIFA, 1976; MONTEIRO, 1976, 1990) procurando determinar a temperatura do ar isolando-a de forma eficiente da radiação visível e termal, desenvolveu-se no Laboratório de Climatologia e Biogeografia (LCB), em 1999, um termômetro de aspiração para ser usado em veículos automotores em movimento para obtenção de transectos da temperatura do ar próximo ao solo (descrição detalhada e justificativas em AZEVEDO, 2001a).

Consiste em um termômetro digital baseado em um sensor de diodo termosensível com resposta de cinco segundos abrigado num tubo de PVC de coleta de esgoto predial de 4" com 100 cm. Este, por sua vez é envolto por uma camada espessa de EVA e acondicionado em um tubo de PVC de 6" com 112 cm, fixado no bagageiro do automóvel. Para fixar o sensor foram colocados tubos de 5/4" com 16 cm de comprimento formando uma “grelha” na parte posterior. O efeito de Venturi foi significativamente reduzido adicionando uma tela plástica de malha fina na parte anterior do tubo e instalando o sensor no quarto posterior. A tela garante ainda que material grosseiro temporariamente em suspensão não entre no tubo interno. O corpo do instrumento foi fixado no interior do automóvel, na alça do cinto de segurança na coluna lateral do lado direito do motorista e conectado ao sensor por um cabo coaxial com malha de aterramento ligada à carcaça do automóvel para evitar a interferência do campo eletromagnético, sobretudo

do gerado pelos sistemas de telecomunicação por rádio e televisão.

Testou-se o instrumento em campo durante três semanas para, no uso diário normal do automóvel, acompanhar a distribuição da temperatura do ar e ter a oportunidade de levantar hipóteses explicativas *in loco*. Em alguns dias percorreu-se a RMSP em horários diversos, inclusive durante a madrugada.

A hipótese de que a variabilidade espacial da temperatura do ar é alta, aparentemente é verdadeira. Em nenhum dos percursos registrou-se diferenças entre o mínimo e o máximo de temperatura do ar menor que 1,8 °C. Todos os percursos têm mais de 2,4 Km. Nestas observações preliminares não ocorreu nenhum evento atmosférico com ventos fortes, o que provavelmente homogeneizaria a distribuição da temperatura. Normalmente o vento variou de brisa a vento médio. Não foi possível percorrer um único trecho de um 1 Km sem oscilações de no mínimo 0,5 °C. Em alguns trechos ocorrem variações de até 4,0 °C, num único quilômetro. No entanto, as diferenças entre o máximo e a mínima em cada percurso não são tão grandes quanto se poderia supor; a maior diferença obtida foi de 6,2 °C. Neste caso, as duas medidas estão distanciadas em cerca de quarenta minutos, devendo haver uma acentuação da diferença pelo natural resfriamento da atmosfera no final da tarde. De fato, não há certeza se a mancha urbana foi percorrida no período mais propício à formação da "ilha de calor" apontada por outros autores.

Não foi possível relacionar o uso do solo local, em seu sentido mais restrito, à temperatura obtida, a não ser em casos extremos. Um exemplo, dentro do Campus da USP, por volta das 16:00 h de um dia muito ensolarado, seco, com poucas nuvens e brisa suave, típico de situações de domínio de centro de alta pressão, quatro dias depois da passagem de uma frente polar. No trecho da Rua do Matão da Biologia, área densamente arborizada, cerca de cem metros antes da entrada do Restaurante dos Professores, a umidade era 20 % maior e a temperatura 3,4 °C menor

que no retorno da Avenida Escola Politécnica, próximo à Avenida Marginal do Rio Pinheiros.

Em dois momentos, em um mesmo trecho, obteve-se uma distribuição de temperatura compatível com o conceito de "brisas de vale". Os dois no final da madrugada de uma noite sem vento e com céu estrelado. Na área de menor altitude a temperatura era 0,8 °C mais baixa que no interflúvio de uma pequena bacia hidrográfica em Osasco.

No entanto, começou a ficar evidente que havia alguma relação entre a temperatura do ar, da forma como estava sendo determinada, e a densidade de veículos automotores. Por mais paradoxal que pudesse parecer, apesar de terem sido tomados todos os cuidados com relação à interferência do automóvel no qual estava instalado o instrumento, não era possível evitar a interferência dos outros, que haviam passado antes pelo ponto, sobretudo em trechos com trânsito mais carregado. A partir deste momento passou-se a atentar especificamente para esta correlação hipotética mas plausível.

Depois de mais alguns dias concluiu-se que a temperatura do ar estava sendo determinada com tamanho detalhamento que, nesta escala temporal e espacial de abordagem, parece haver uma relação muito mais estreita com a densidade de veículos em circulação do que com qualquer outro fator ou variável. Aparentemente, a presença maciça de veículos automotores pode significar um incremento de até 4,0 °C.

#### **4. Evidência 02 – O montante de calor dissipado direta e indiretamente pela população da RMSP**

Estimou-se (1) o fluxo de energia dissipada anualmente pela biomassa e atividades humanas na RMSP nas últimas décadas para comparar com (2) o fluxo de energia solar expresso na radiação solar global ao nível do solo estimada por FUNARI (1983) para São Paulo. A comparação dos dois montantes de energia é fundamental pois é necessária uma evidência de que os

dois fluxos são concorrentes na mesma escala de magnitude, ou seja, se tomada a GSP como um todo, ainda assim, o primeiro fluxo é expressivo em relação ao segundo.

As estimativas foram realizadas tomando o montante de energia introduzida no sistema climático urbano ao longo de um ano por dois motivos: (1) Em períodos menores, o ritmo dos tipos de tempo derivado da circulação secundária induz variações significativas na radiação solar global ao nível do solo, sendo impraticável a comparação segura entre os dois fluxos. (2) Para estimar o primeiro fluxo recorre-se a informações de caráter sócio-econômico, quando disponíveis, são agregadas anualmente.

Tomamos aqui como exemplo, a estimativa conservadora das parcelas de energia dissipada pela população e suas atividades no ano 2000 (AZEVEDO, 2001a, 2001b), expressas na Tabela 1.

FUNARI (1983) estimou a radiação solar global média no nível do solo em São Paulo em 386 Langley/dia. Acumulando este fluxo de energia em um ano de 365 dias sobre a área urbanizada da RMSP, e, em seguida, convertendo o montante de energia obtido para Joules, obtém-se um fluxo estimado de  $1,209E+19$  J/ano.

Comparando os dois fluxos, deduz-se que a energia dissipada direta e indiretamente pela população e suas atividades ao longo do ano 2000 representou aproximadamente 10% do montante de radiação solar global que a área urbana recebeu naquele mesmo ano. De fato, a estimativa do primeiro fluxo foi conservadora e, portanto este percentual deve ser maior. Ainda assim, mesmo que o montante estimado venha a se mostrar maior com um refinamento do método usado para calculá-lo, não será alterada a magnitude dos dois fluxos. Ou seja, podemos afirmar que *o sol e os seres humanos concorrem nos processos atmosféricos do clima urbano da RMSP numa mesma escala de um a dez.*

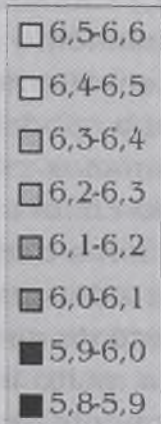
Desta forma, elimina-se a desqualificação da evidência 01 sob o argumento de que o efeito da presença dos veículos seria muito localizado e a energia adicionada rapidamente seria redistribuída no sistema sendo, em escala superior, desprezível.

Não foi possível, por ora, estimar o montante anual de energia dissipada por dia da semana por não existirem, agregadas desta forma, informações de caráter sócio-econômico adequadas. Ao menos hipoteticamente, pode-se admitir que os fluxos de energia dissipados pelas ativi-

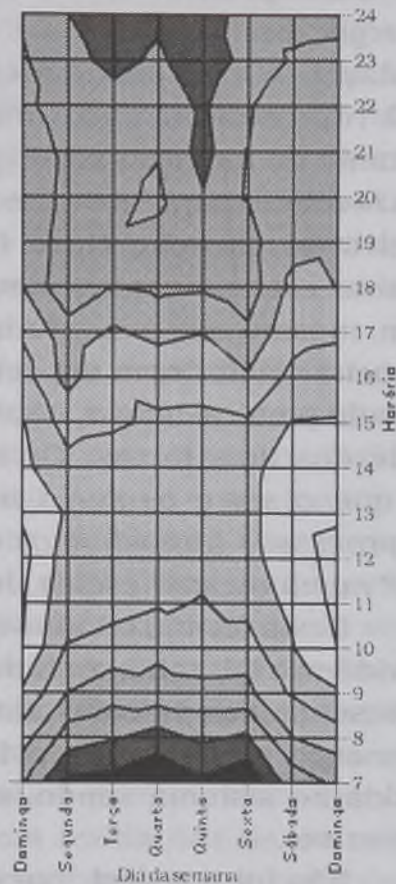
**Tabela 1:** Estimativa conservadora do montante de energia dissipada anualmente na RMSP pelas atividades humanas em 2000 (Joules/ano)

<b>Parcelas significativas</b>	<b>Montante</b>	<b>Participação</b>
Combustíveis do setor de transporte	5,16E+17	41%
Todos do setor Industrial	3,43E+17	27%
Biomassa humana	2,54E+17	20%
Todos do setor público e comércio	6,32E+16	5%
Energia elétrica do setor residencial	4,94E+16	4%
Gás de cozinha do setor Residencial	3,27E+16	3%
<b>Total</b>	<b>1,26E+18</b>	<b>100%</b>

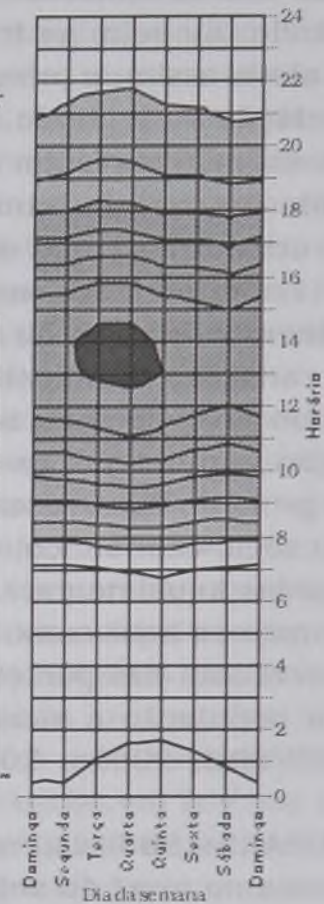
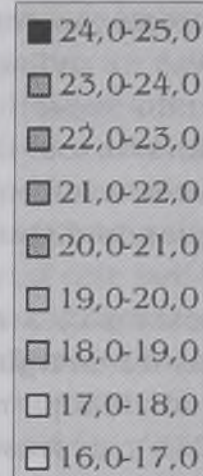
**Gráfico 1**  
Média da  
visibilidade  
por dia  
da semana  
e horário EAF -  
93 a 99



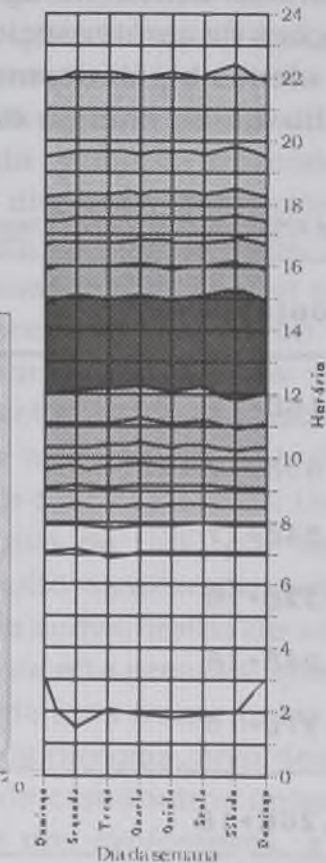
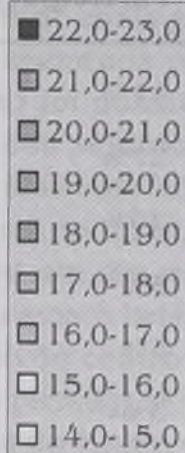
6



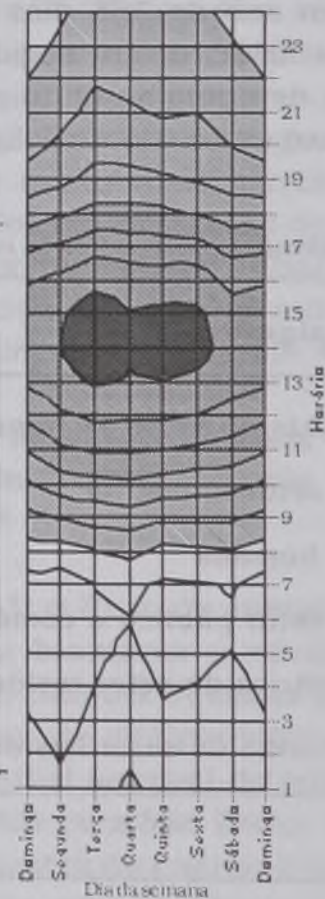
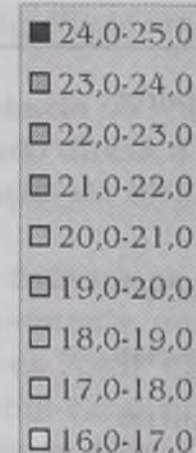
**Gráfico 2**  
Média da  
temperatura do ar  
por dia da  
semana  
e horário -  
EAF -  
90 a 99 - (°C)



**Gráfico 3**  
Média da  
temperatura  
do ar por dia  
da semana e  
horário EAF -  
1933 a  
1949 - (°C)



**Gráfico 4**  
Média da  
temperatura  
do ar a 1 m  
do solo por  
dia da semana  
e horário ELCB -  
11/1998 a  
10/2000 - (°C)



dades humanas seja menor nos domingos e feriados. Sobretudo pelo fato do fluxo proveniente da queima de combustíveis fósseis ser a componente majoritária (Tabela 1).

### **5. Evidência 03 – A “ilha de calor” da RMSP**

Existe vasta bibliografia que trata das propriedades térmicas do ar próximo ao solo nas cidades. Normalmente é apontada a tendência da temperatura ser maior e a umidade relativa menor em direção às áreas centrais ou às áreas mais adensadas, de onde foi criado o termo “ilha de calor”. Por outro lado, baseados na análise da evolução das médias da temperatura e umidade do ar ao longo do período em que há registro meteorológico convencional, autores defendem que à expansão e adensamento das “manchas urbanas” ao longo do tempo, corresponde uma tendência ao aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar (LANDSBERG, 1956; OKE, 1973).

Não se pretende, aqui, discutir em profundidade a distinção entre o conceito de calor no senso comum e o conceito físico de calor, dos problemas que envolvem a observação instrumental do ar, sobretudo próximo ao solo, o papel da radiação termal no conforto térmico humano e a dificuldade de distinguir em séries longas de observação meteorológica os fatores em diversas escalas espaciais e temporais que podem ser relacionados a alterações significativas em valores médios.

No entanto, é possível dizer que a hipótese (1) de que esta diferença térmica seja derivada do balanço de calor estabelecido na superfície dos materiais sob a luz solar é tão plausível quanto a hipótese (2) de que o calor dissipado pela própria população aqueça o ar imediato. De fato, do ponto de vista experimental, a temperatura do ar representa a síntese das duas componentes, e, portanto, não é simples distinguir com precisão a contribuição de cada uma. Os autores deste texto acreditam que as duas hipóteses sejam válidas e que, em determinadas situações,

devam culminar num processo de retroalimentação positiva no sistema climático, estabelecendo novos estados de equilíbrio dinâmico.

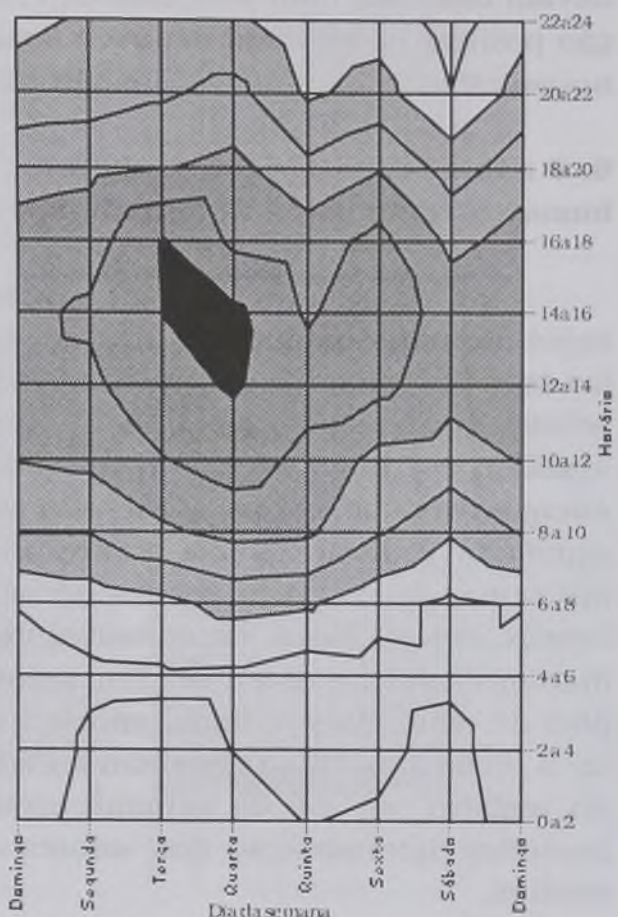
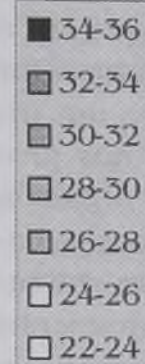
### **6. O ritmo semanal das atividades humanas no registro meteorológico**

As evidências 04 a 11, apresentadas a seguir, foram obtidas a partir da análise do registro horário de duas estações meteorológicas inseridas na mancha urbana da RMSP. A hipótese analítica em todos os casos foi a de que se a energia dissipada pelas atividades humanas for significativa, deve haver a imposição de um ritmo semanal nas propriedades do ar e nos processos atmosféricos, identificável nos registros meteorológicos existentes. Em todos os exemplos de resultados obtidos, apresentados adiante, a técnica analítica consistiu no agrupamento do registro por dia da semana e/ou horário e posterior determinação dos valores extremos e médios.

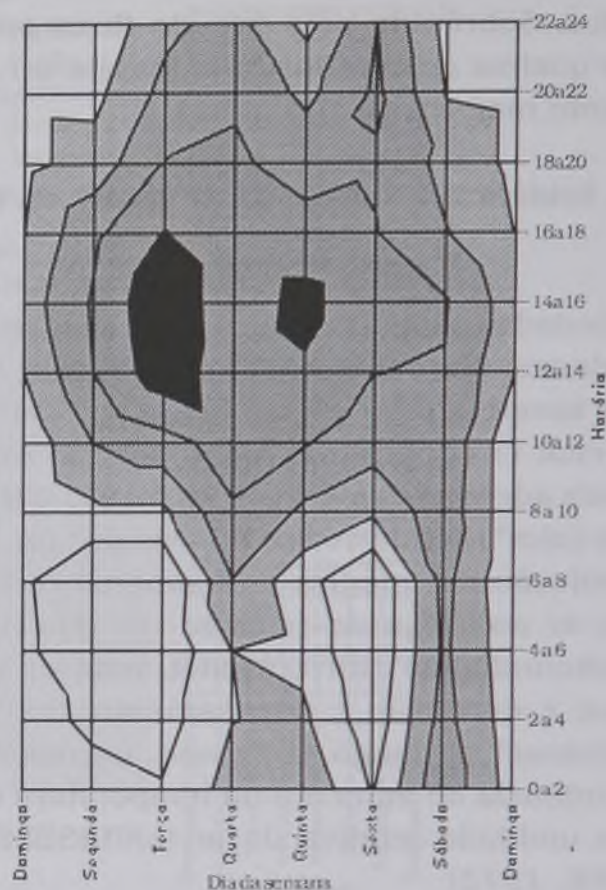
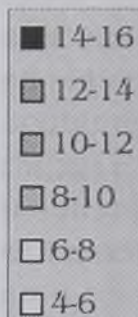
Foram usados dados horários da Estação Meteorológica da Água Funda (EAF) do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da USP, a mais antiga da RMSP, em funcionamento ininterrupto desde dezembro de 1932. Localiza-se no interior da área mais densamente arborizada inserida na mancha urbana da RMSP; o Parque do Estado. Atende e supera os requisitos para ser considerada estação-padrão Classe I pelos critérios da Organização Meteorológica Mundial. Reconhecida na bibliografia como uma das estações com observação e registro de excepcional qualidade (SANTOS, 1964). Para variáveis registradas instrumentalmente, há dados horários ininterruptos. Para variáveis determinadas por observador humano, das 7 às 24h. Aproveitaram-se os dados transcritos em formato digital, disponíveis no início de 2000; na maior parte dos casos de 1990 a 1999 e nos outros de 1993 a 1999. No caso da temperatura do ar usou-se também o registro horário de 1933 a 1949.

O Laboratório de Climatologia e Biogeografia (LCB) do Departamento de Geografia da

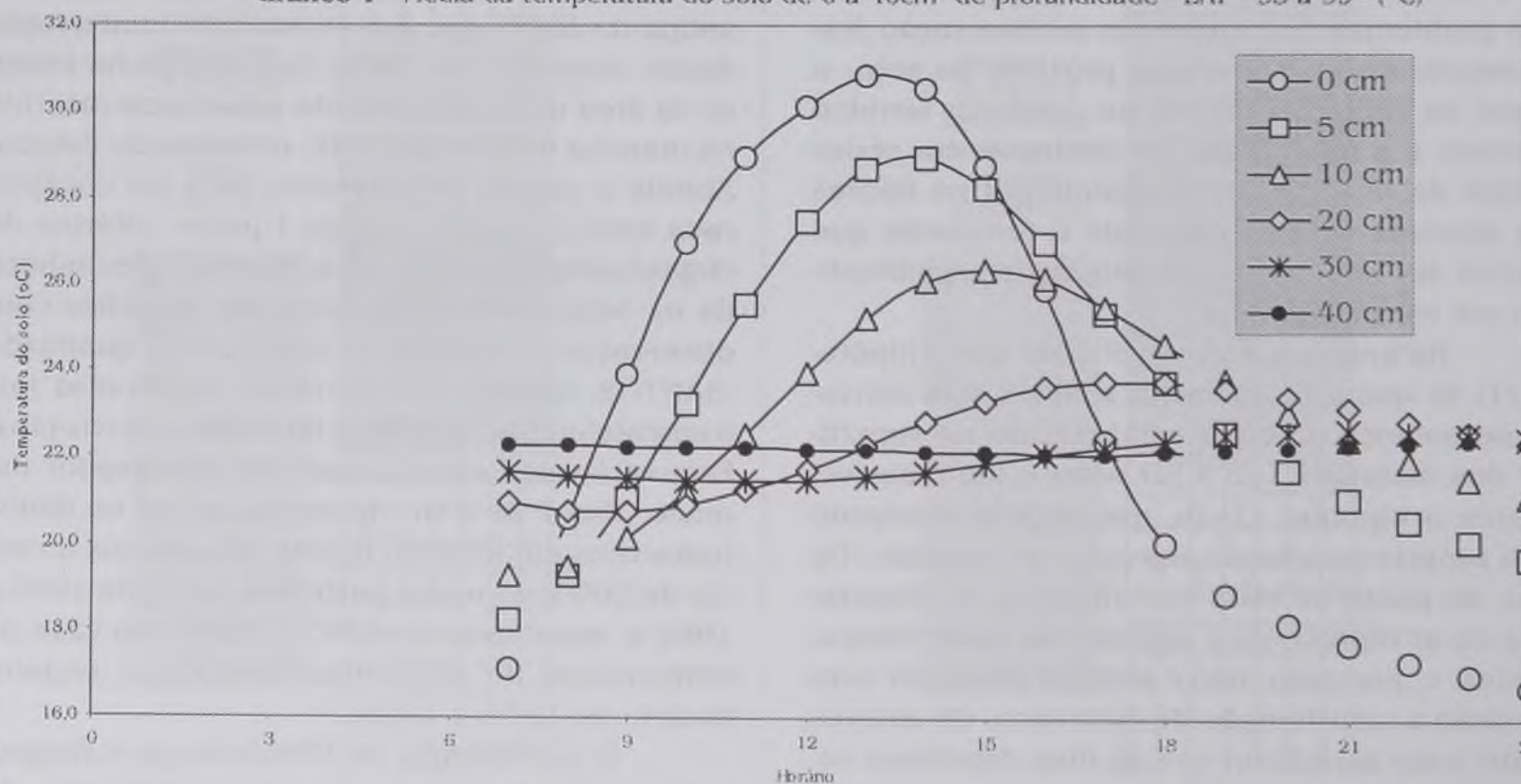
**Gráfico 5**  
Temperatura máxima por dia da semana e horário - ELCB - 11/1998 a 10/2000 - (°C)



**Gráfico 6**  
Temperatura mínima por dia da semana e horário - ELCB - 11/1998 a 10/2000 - (°C)



**Gráfico 7** - Média da temperatura do solo de 0 a 40cm de profundidade - EAF - 93 a 99 - (°C)





USP, mantém uma estação meteorológica experimental (ELCB) sobre o edifício que o abriga. Consiste numa estação automática Campbell, implantada em um canteiro gramado de vinte e cinco metros quadrados. Sua série de dados está apenas começando. Retirou-se o registro horário de novembro de 1998 a outubro de 2000, período pioneiro de funcionamento ininterrupto, para usar neste trabalho.

### **7. Evidência 04 – Ritmo semanal da visibilidade**

Dentre as observações meteorológicas da EAF, é avaliada a visibilidade numa escala de números inteiros de um a dez. Para cada valor há um ponto fixo correspondente na paisagem que, sendo o último elemento visível, é o indicador da visibilidade no momento na observação. A média dos valores da visibilidade por dia da semana e horário está representada através de isopletas no Gráfico 1. Seu exame permite reconhecer facilmente um discreto ritmo diário e outro semanal na visibilidade tal como registrada nesta estação. No caso da RMSP, é uma forte evidência da existência de um ritmo diário e outro semanal da poluição atmosférica, ou, ao menos, da concentração de material particulado em suspensão no ar próximo ao solo. Que, ainda no caso da RMSP, pode estar relacionado com o ritmo semanal das atividades humanas, sobretudo no que diz respeito à circulação dos veículos automotores. Estes são os emissores de parcela expressiva de poluentes e, provavelmente, aumentam a turbulência do ar junto ao solo, dificultando o processo de decantação do material particulado em suspensão. Este, por sua vez, não é necessariamente emitido apenas como subproduto da combustão, mas pode ser apenas “pó” de origens diversas.

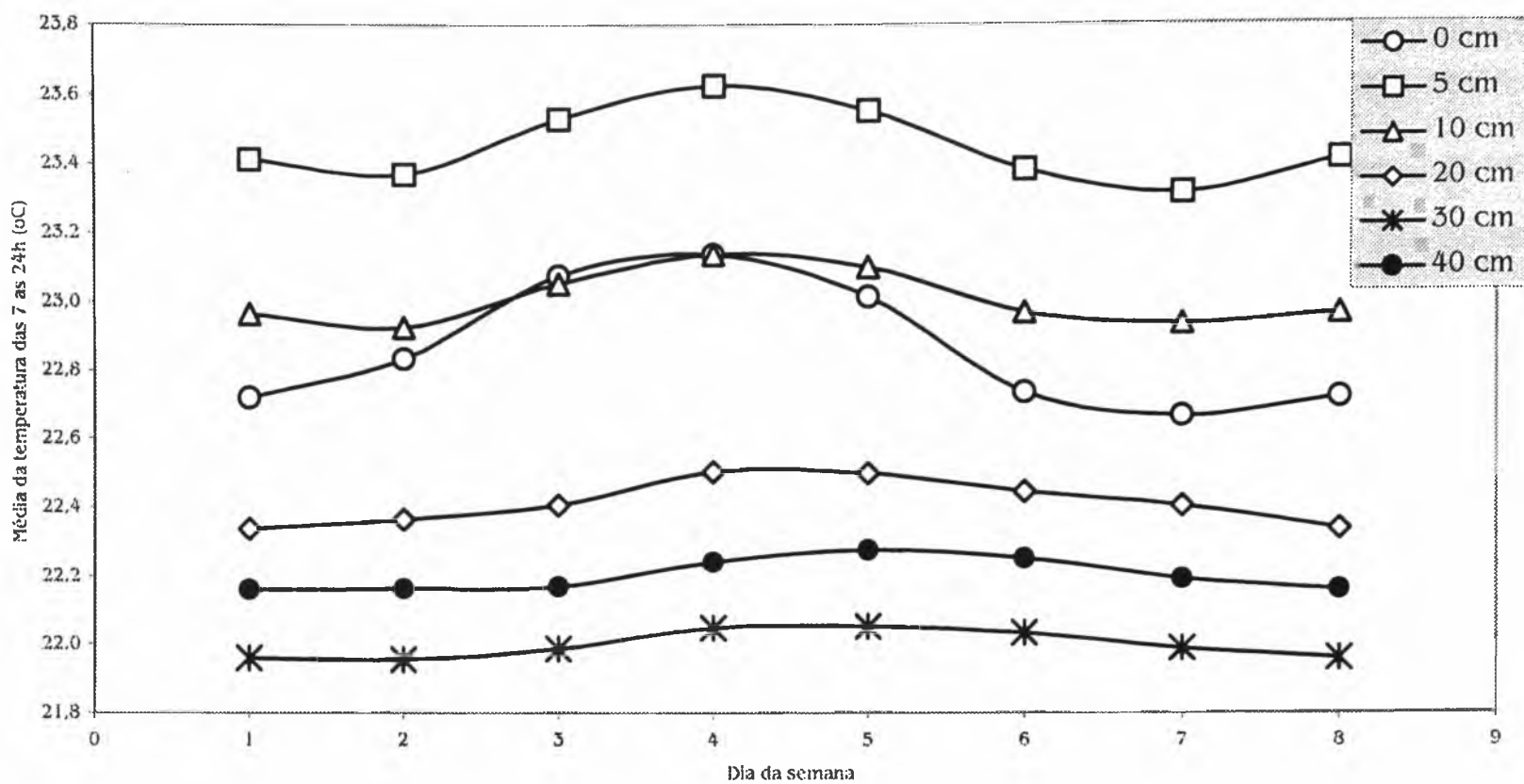
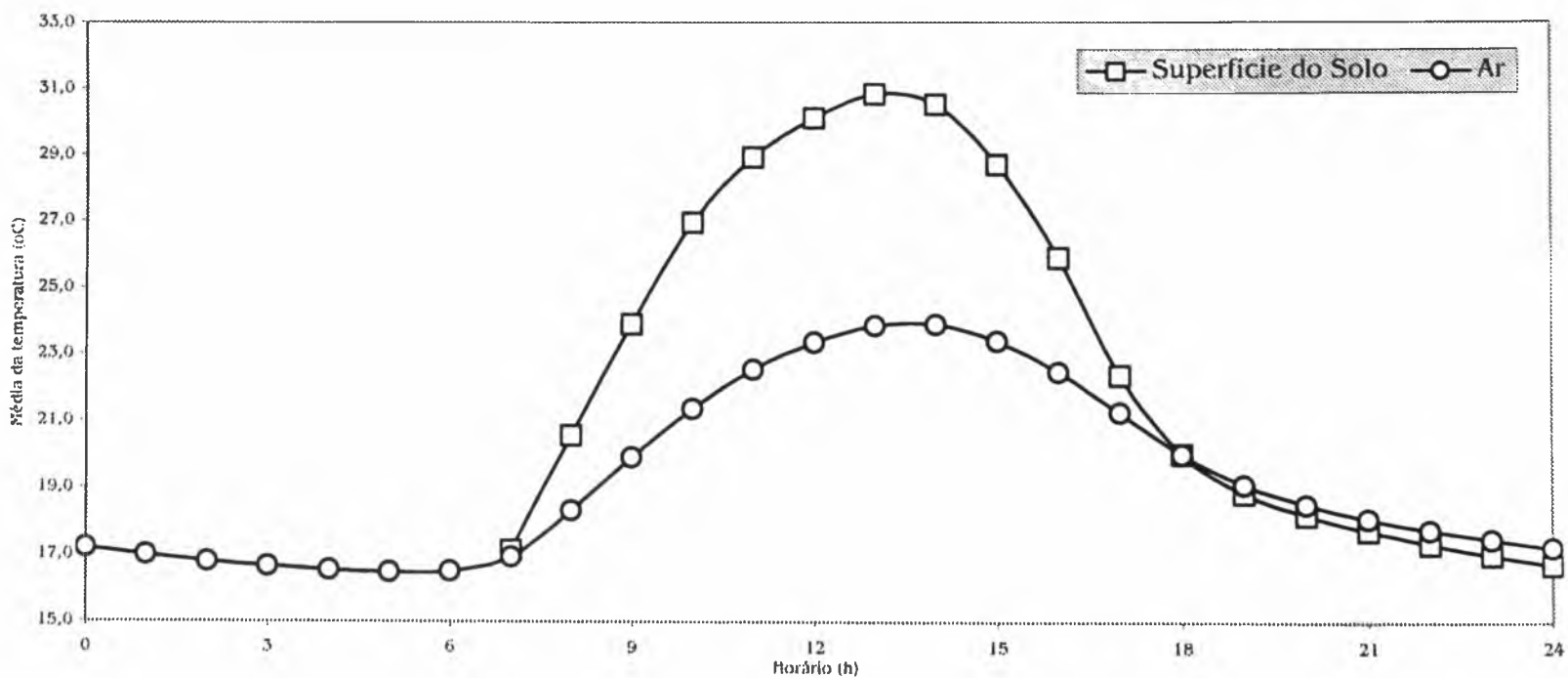
Por outro lado, a intensidade da iluminação deve influenciar na visibilidade, o que explicaria o fato dela ser menor no início da manhã e no período noturno. No entanto, também é possível que a maior visibilidade durante as horas

mais centrais do dia se deva à ativação da circulação vertical por ação do aquecimento basal da troposfera e conseqüente dissolução dos poluentes em volumes maiores. Como no período noturno há uma tendência natural à estratificação, o material particulado decantaria com maior facilidade, ocorrendo sua concentração nas camadas mais próximas ao solo ou sobre o próprio solo. Finalmente, deve haver a influência do natural resfriamento noturno da atmosfera e uma tendência de haver maior hidratação da parcela higroscópica do material particulado, acelerando o processo de decantação.

Perceba-se que os raciocínios expressos no parágrafo anterior não são verdadeiros apenas por serem lógicos e parecerem aceitáveis. Há uma série de hipóteses subjacentes que teriam que ser investigadas sobre o objeto concreto, neste caso, a Grande São Paulo. Demonstrar que é realmente a densidade de material particulado em suspensão, derivado da queima de combustíveis fósseis, variando espacialmente e ao longo dos dias de muitos anos que leva a média da visibilidade, tal como expressa no Gráfico 1, a ser maior nos finais de semana e menor em direção à quarta-feira, constitui uma trabalhosa pesquisa. Caso existam registros adequados, consumiria, no mínimo, muitos meses de trabalho. Também seria importante demonstrar que o raciocínio se aplica a outros aglomerados urbanos. Portanto, por ora, o ritmo semanal da visibilidade do ar é uma evidência, e não prova, da relação entre o ritmo semanal das atividades humanas e o clima urbano de São Paulo.

### **7. Evidência 05 – Ritmo semanal da temperatura do ar**

O Gráfico 2 apresenta o resultado do mesmo procedimento anteriormente apresentado para a visibilidade, agora aplicado à temperatura do ar da EAF. Na década de noventa, portanto, a temperatura tendeu a ser menor no sábado e, secundariamente, também no domingo. Por outro lado, clara, embora sutilmente, a temperatu-

**Gráfico 8 - Média da temperatura horária do solo por dia da semana e profundidade - EAF - 93 a 99****Gráfico 9 - Temperatura do ar e da superfície do solo por hora do dia - EAF - 93 a 99 - (°C)**

ra tendeu a ser maior na quarta-feira. No entanto, há uma assimetria, ou seja, quinta e sexta-feira apresentaram pronunciada diferença em relação a terça e quarta. Poderiam ter passado, fortuitamente, mais frentes frias às quintas e sextas-feiras. O aquecimento relativo do primeiro momento da semana talvez seja o aquecimento pré-frontal "acumulado" antes de quinta-feira e o resfriamento pós-frontal "acumulado" no sábado. Poderia ser, portanto, um simples produto do "acaso" a coincidência.

Um teste simples consiste em comparar com um outro período no passado no qual ainda não havia ocorrido a popularização do automóvel, o uso de energia elétrica era mais restrito e a mancha urbana e o adensamento eram muito menores. Está disponível, em formato adequado, a temperatura horária do período de 1933 a 1949. A leitura do Gráfico 3 evidencia que, tal como organizados os dados, não é possível discernir um ritmo semanal da temperatura do ar no período de 1933 a 1949. Ainda assim, a possibilidade de ser uma simples coincidência permanece.

No Gráfico 4 está representada a média da temperatura do ar na ELCB. Neste caso, o que aparecia de forma sutil no Gráfico 2 é uma expressiva saliência central de amplitude maior que um grau Celsius. Não só isto, a simetria é muito maior. Os Gráficos 5 e 6 representam através dos eventos extremos o fato de que a temperatura do ar tendeu a ser significativamente maior em direção à quarta-feira e menor no final de semana.

Este comportamento da temperatura poderia ser explicado através do ritmo semanal do calor dissipado pelas atividades humanas. Mais especificamente, pela adição de quantidade expressiva de calor sensível diretamente ao ar próximo ao solo, sobretudo oriundo dos automóveis. Por outro lado, o aumento da turbulência junto ao solo favorece a adição de calor sensível ao ar a partir das superfícies aquecidas pela radiação solar, ou seja, a turbulência possivelmente reduz a perda de calor por radiação em ondas lon-

gas e favoreça a perda por convecção. Impossível discernir por ora os dois já que contribuem para o aquecimento do ar no mesmo sentido.

Por outro lado, a concentração de material particulado é interpretada de duas formas. Alguns defendem que funcione como eficiente elemento filtrante da radiação solar, reduzindo significativamente no nível do solo sua intensidade, e, possivelmente, implicaria em redução da temperatura. Outros acreditam que não, o efeito seria inverso, pois a radiação termal emanada na base da troposfera seria filtrada e reemitida de volta em taxas maiores que as "naturais". Alguns sugerem que o material particulado seja mais eficiente como elemento filtrante em ondas longas do que no espectro visível.

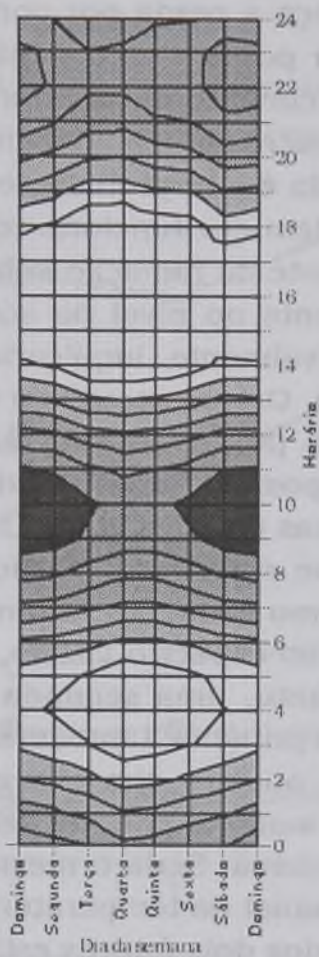
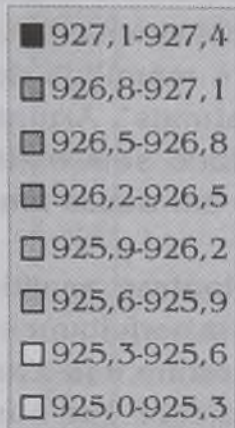
Portanto, uma segunda hipótese analítica, inversa à primeira, também seria perfeitamente aceitável, ou seja, que a temperatura nos dias centrais da semana poderia ser menor que nos finais de semana. Seria o mesmo que dizer que o ritmo semanal da temperatura do ar dependeria de qual dos dois fatores estivesse sendo preponderante; a massa óptica do material particulado no ar ou o fluxo de calor emanado das atividades humanas. Seria possível, também uma situação de equilíbrio entre os dois elementos e a temperatura do ar resultar equivalente em todos os dias da semana. Portanto, por ora, independentemente dos resultados obtidos a partir das médias da temperatura do ar, não há como selecionar uma relação causal do comportamento da média da temperatura de forma conclusiva.

## **8. Evidência 06 – Ritmo semanal da temperatura do solo**

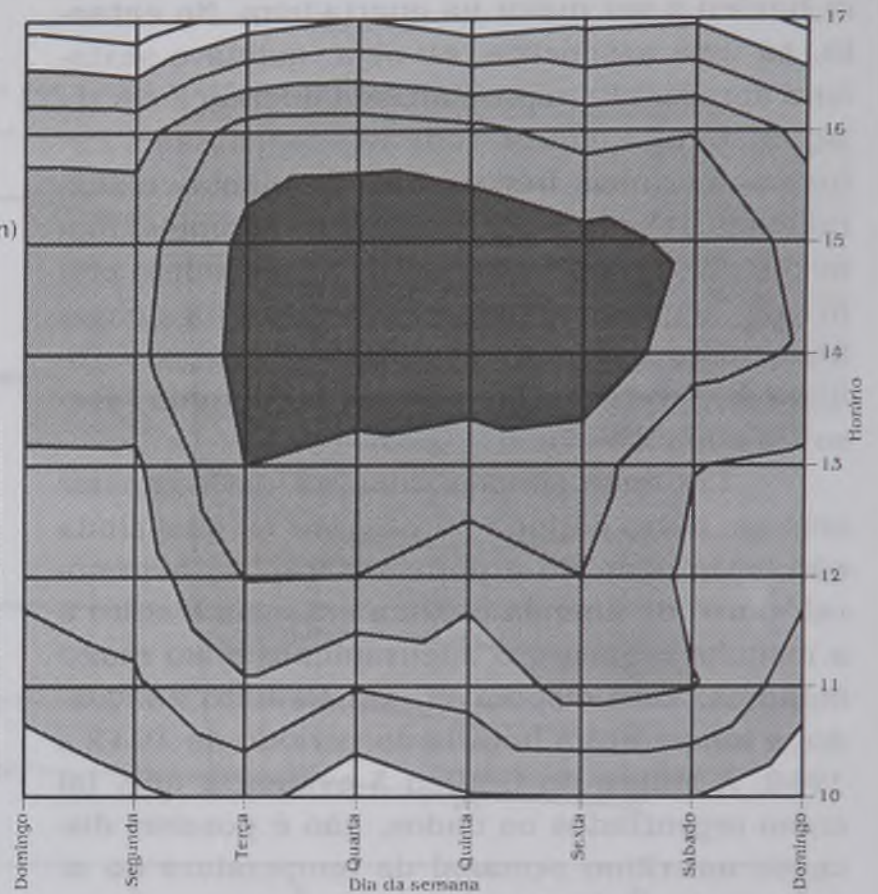
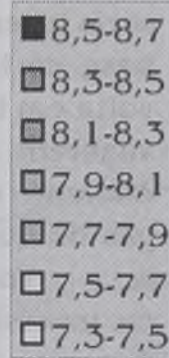
Dispõe-se de registro da temperatura do solo na RMSP apenas na EAF. Ela é determinada hora a hora, das 7 às 24h, na superfície e a 5, 10, 20, 30 e 40 cm de profundidade.

Do ponto de vista físico e instrumental, o conceito de temperatura de superfície significa determinar a que temperatura irradia a superfi-

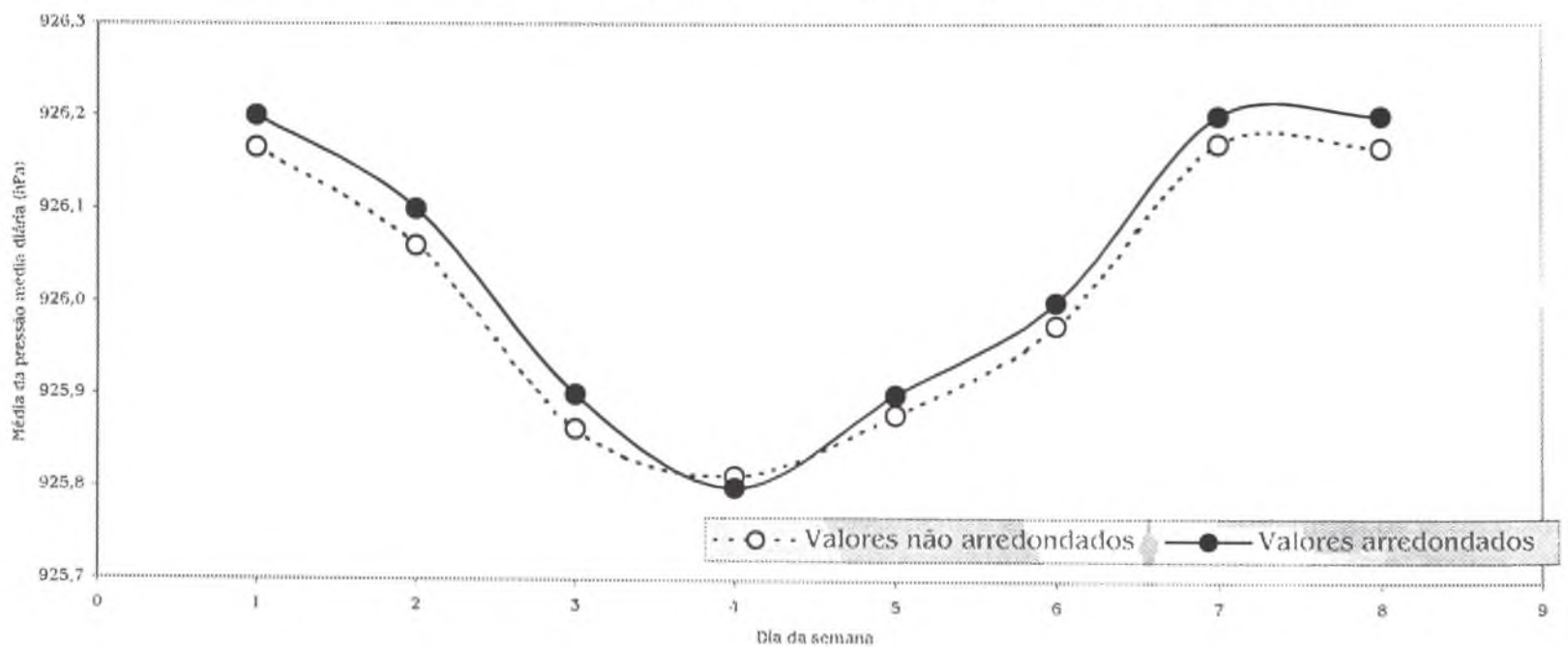
**Gráfico 10**  
Média da pressão atmosférica por dia da semana e horário - EAF - 90 a 99 - (hPa)



**Gráfico 12**  
Média da velocidade do vento EAF - 90 a 99 - (Km/h)



**Gráfico 11** - Média da pressão média diária por dia da semana - EAF - 90 a 99 - (hPa)



cie de um objeto se tomado como corpo negro. Só é possível determinar esta temperatura através de radiômetros extremamente precisos e que permitam determinar, além da intensidade em si, o espectro da radiação da superfície em questão. Existem estes instrumentos, mas normalmente não são usados em meteorologia e climatologia. O termômetro instalado "à superfície" do solo na EAF não registra, portanto, a temperatura de superfície propriamente dita mas uma aproximação da temperatura média nos centímetros do solo na interface com o ar. Sem dúvida, esta é muito mais imprecisa que as das camadas subjacentes do solo. Nestas, as trocas de gases com a atmosfera são predominantemente por difusão e, portanto, lentas. O calor flui por processos muito mais uniformes, sobretudo por condução e irradiação de uma partícula de solo à outra.

Há que considerar que a chuva penetra no solo de cima para baixo e que, por apresentar distribuição de sua intensidade relativamente próxima à normal, há uma probabilidade menor de penetrá-lo quanto maior a profundidade. Mesmo assim, embora o calor específico da água seja alto, o do solo também o é, e as trocas na enorme superfície específica das partículas, tende a redistribuir o calor muito rapidamente. Assim, quando a água chega a vinte centímetros de profundidade, ou mais, a homogeneização da temperatura é tal que há dificuldade em localizar eventos em que seja possível, na escala de temperatura usada, distinguir que a chuva que ocorreu sobre o solo estivesse alterando a temperatura nesta profundidade.

O solo tem calor específico e inércia térmica muito maior que a do ar. Em relação ao ritmo semanal da temperatura do ar, um ritmo semanal da temperatura do solo a alguns decímetros da superfície é muito mais expressivo enquanto evidência de que a hipótese do trabalho seja verdadeira, justamente pelo caráter progressivamente conservativo da mesma em função da profundidade (Gráfico 7).

Observando sucessivamente as curvas em profundidade no Gráfico 8, verifica-se que há um

ritmo semanal da temperatura do solo. Entre 93 e 99 ela tendeu a ser maior nos dias centrais da semana, com pico na quarta feira. Como explicar este comportamento semanal da temperatura do solo, que se atenua progressivamente em profundidade, mas ainda perceptível até quarenta centímetros?

A temperatura média e o gradiente de temperatura durante o dia são sempre maiores na "superfície" do solo que no ar, sugerindo que o solo transfere parte do calor excedente ao segundo, e não o contrário (Gráfico 9).

Não há qualquer engenho humano diretamente voltado à área onde estão os termômetros para irradiar tamanha quantidade de calor que, mesmo face à intensa taxa de radiação termal emanada do solo apontada por outros autores, seja persistente e intensa o suficiente para induzir um fluxo de calor que, em média, chega até quarenta centímetros de profundidade.

Por outro lado, temos a hipótese de que este fluxo radiativo seja a resultante dos milhões de focos antrópicos de radiação termal da metrópole. Estes geram um fluxo de calor comparável na mesma escala de grandeza à radiação solar global, conforme exposto em "evidência 02". Parte deste fluxo, ignorada a fração que a representaria, é radiação termal, absorvida e refletida pelas nuvens, material particulado, água no estado gasoso e outros na atmosfera. Radiação termal que é devolvida à cidade e, vista deste ponto de vista restrito, poderia ser a causa do aumento da temperatura da superfície do solo no IAG. De fato, se esta hipótese for verdadeira, a temperatura de superfície do solo, quando tratada à luz da física, deve ser muito maior ainda.

Podemos, com evidentes ressalvas, transpor o raciocínio para o resto da mancha urbana, e para uma periferia indiscernível no momento, mas até onde este fluxo de radiação termal refletido se faça sentir, sobretudo em situações extremas. Por exemplo, na presença expressiva de água no ar, gasosa e em minúsculas gotas a compor uma tênue cortina sobre a cidade, associada à presença extrema de material particulado.

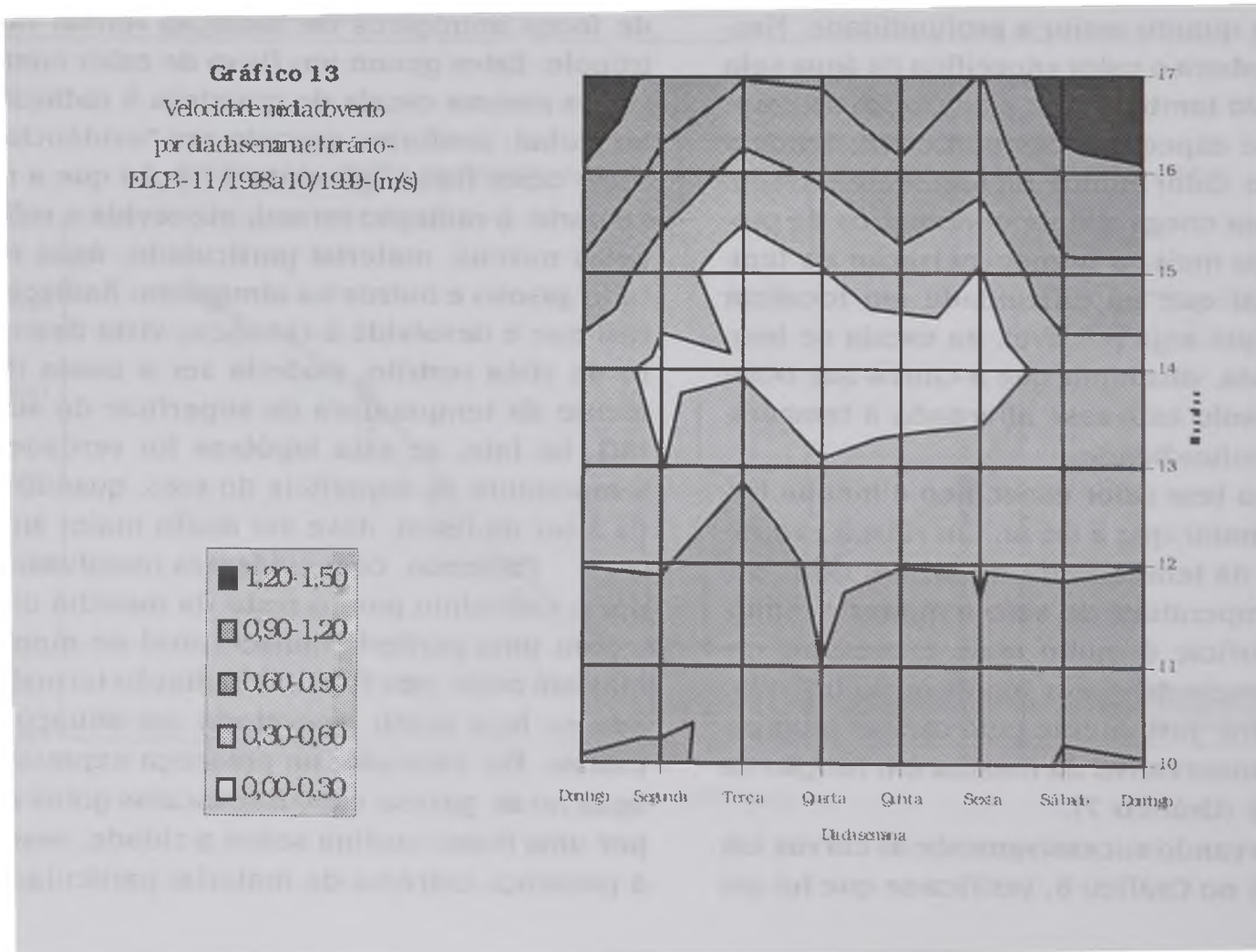
Considere-se ainda que, dificilmente uma edificação tem paredes com muito mais de vinte centímetros de espessura. A estrutura construída e o ar encapsulado em seu interior devem funcionar como um armazenador de calor ao longo da semana, mesmo guardadas as questões da diferença entre a geometria, o calor específico e albedo do solo e os das edificações<sup>3</sup>. Isto é, parte do calor excedente introduzido sobretudo nos períodos de maior atividade urbana é transferido em ondas longas e consumido no aquecimento dos materiais, nos momentos de menor atividade urbana, este calor deve ser dissipado gradualmente.

De fato, a inércia térmica da estrutura urbana já foi apontada por outros autores, para explicar a ocorrência de ilhas noturnas de calor. No entanto, estas ilhas de calor noturnas, em alguns casos, podem estar sendo exacerbadas direta-

mente pelo calor emanado pela população durante o fim de tarde e início da noite. Perceba-se que há duas fontes distintas de calor em atuação e não apenas o sol. Não há ainda nenhum trabalho que tenha estudado sistematicamente e exaustivamente se a "ilha de calor" se configura também durante a noite na RMSP.

### 9. Evidência 07 – Ritmo semanal da pressão atmosférica

Se há uma tendência da temperatura do ar, dos materiais e suas superfícies e da intensidade da radiação em ondas longas ser maior nos dias centrais da semana e menor nos finais de semana, é também admissível que a pressão atmosférica também apresente um ritmo semanal, tendendo ser menor nos dias centrais da semana e maior nos finais de semana.



O Gráfico 10, representa a média da pressão atmosférica na EAF durante a década de 90, por horário e dia da semana. O Gráfico 11, mais sintético, representa a média das 24 observações horárias por dia da semana. Seu exame permite verificar que a maré barométrica tendeu a ocorrer com pressões progressivamente menores em direção à quarta-feira e máxima nos finais de semana. Ao contrário do caso da temperatura do ar, nesta mesma estação, o ritmo semanal tendeu a ser simétrico. Embora, possa ser feita a objeção de que 0,4 mb seja muito pouco, face à própria maré barométrica diária e mais ainda em relação às variações da pressão relacionadas à circulação secundária, observe-se que são valores médios e que, o fundamental é que, provavelmente, haja um gradiente horizontal em direção às áreas mais adensadas e/ou centrais da metrópole. As duas estações meteorológicas certamente não estão localizadas nestas. Por outro lado, nesta escala espacial, gradientes horizontais intensos no campo de pressão dificilmente se mantêm: rapidamente resultam em deformação do campo de vento.

#### **10. Evidência 08 – Ritmo semanal da velocidade e direção do vento**

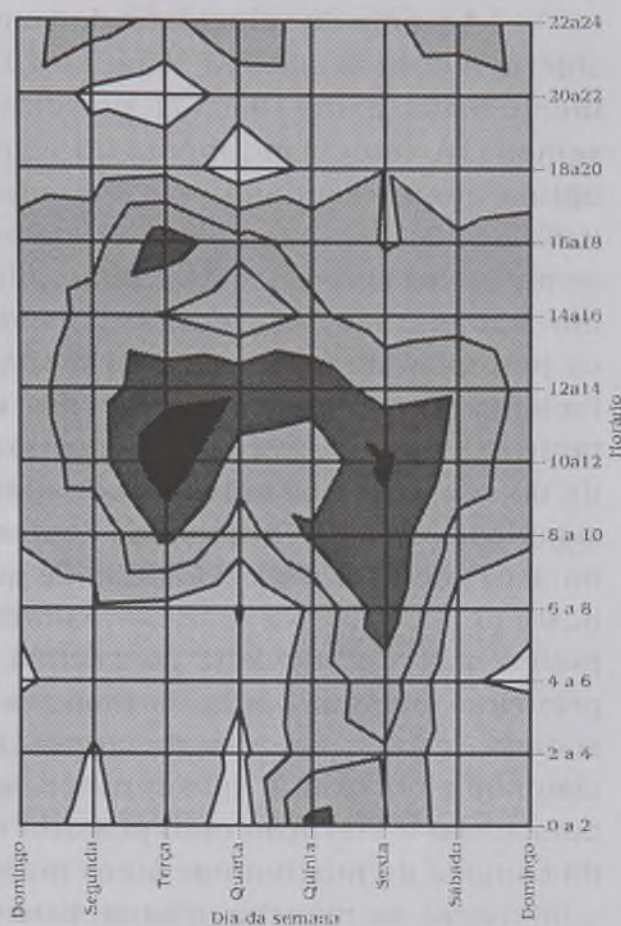
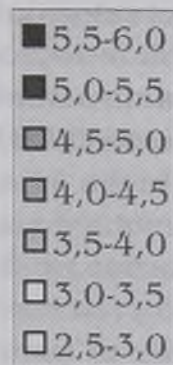
Se a pressão atmosférica tende a ser menor em direção aos dias centrais da semana e se este for um processo típico da atmosfera urbana, é admissível que haja uma tendência à intensificação de processos convectivos nos dias centrais da semana e à deformação sensível no campo de ventos de superfície em direção ao seu interior.

O registro da direção do vento da ELCB é obtido através de integração vetorial automática a cada hora e representado em azimute numa escala com resolução de um grau, enquanto o da EAF é obtido pela classificação em quartos de quadrante da direção predominante obtida da análise visual do diagrama de anemógrafo convencional. Isto significa que o registro da ELCB é muito mais preciso.

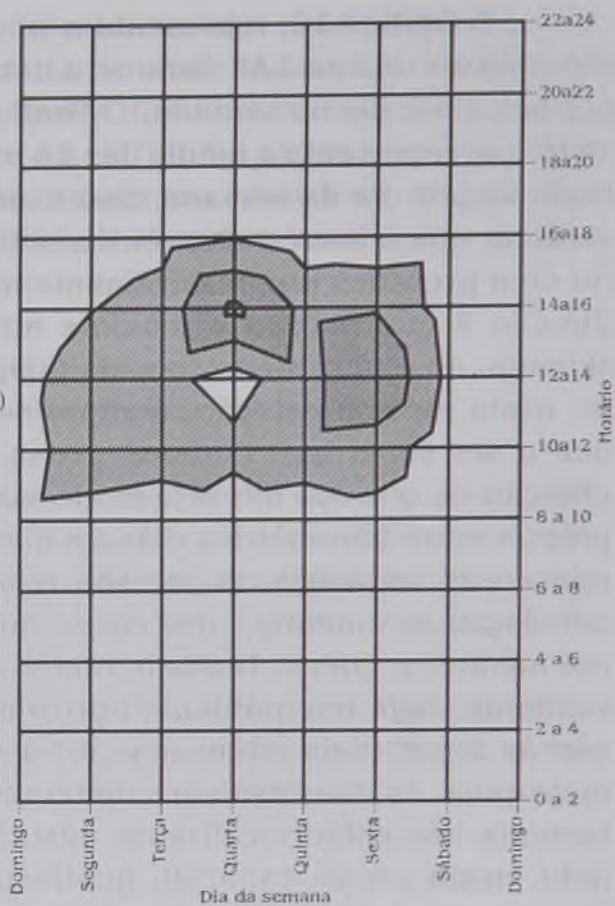
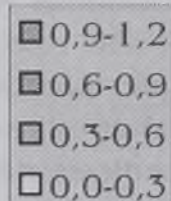
A média da velocidade do vento, sem considerar a direção, na EAF (Gráfico 12) é sensivelmente maior entre 10 e 17h dos dias centrais da semana. A velocidade média do vento na ELCB, obtida como resultante em tratamento vetorial (Gráfico 13), permite distinguir melhor um ritmo semanal, no entanto, este é muito distinto do ritmo semanal da EAF, mesmo considerando que os períodos abrangidos sejam muito diferentes. Preliminarmente, pode-se dizer que no início da tarde entre as 13 e 15h, o incremento na velocidade do vento na EAF corresponde a uma redução significativa na ELCB nos dias centrais da semana. Isto pode ser uma evidência de que na ELCB, neste período do dia, está normalmente em área preferencial de atividade convectiva enquanto a primeira, mais na borda da mancha urbana e à sudeste, estaria em área de circulação preferencialmente horizontal que fornece mais ar para compensar a elevação ou o possível rompimento da camada de mistura nas áreas mais adensadas e interiores da mancha urbana. Este raciocínio é reforçado pelos fatos expressos nos Gráficos 14 a 16: a variabilidade da velocidade do vento e, portanto, a turbulência tende a ser maior nos dias centrais da semana na ELCB. Em síntese, é uma evidência rudimentar de que há uma "brisa urbana" na RMSP, acentuada pelo calor dissipado pela população.

Os períodos de calmaria e ventos muito fracos normalmente ocorrem no período noturno, atribui-se normalmente à natural estratificação atmosférica e ao momento de inversão da brisa oceano/continente. Por isto, é mais conveniente agregar a ocorrência das calmas em períodos delimitados pelo meio dia ao invés da meia noite. A ocorrência de ventos fracos e calmaria na ELCB ao longo dos dias da semana apresentou um significativo ritmo semanal, sendo mais frequentes de quarta para quinta e menos frequentes de sábado para domingo (Gráfico 17). Este resultado reforça a evidência anterior de que haja o estabelecimento e/ou um reforço à brisa urbana derivada do fluxo de calor dissipado pela população e de que a ELCB esteja numa área em

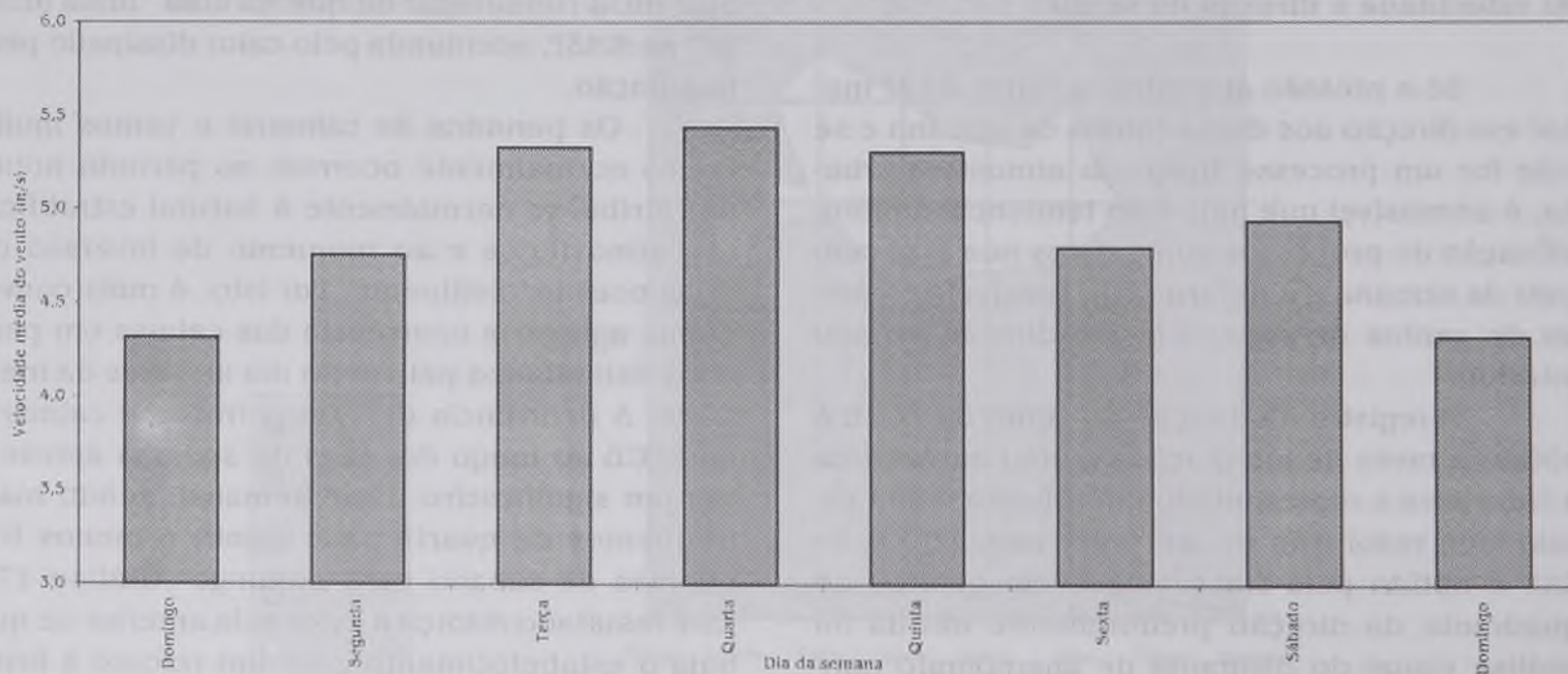
**Gráfico 14**  
 Maior  
 velocidade  
 média horária  
 do vento  
 por dia da  
 semana  
 e horário -  
 ELCB -  
 11/1998 a  
 10/2000 - (m/s)



**Gráfico 16**  
 Menor  
 velocidade  
 média horária  
 do vento  
 por dia da  
 semana  
 e horário -  
 ELCB  
 11/1998 a  
 10/2000 - (m/s)



**Gráfico 15** - Maior velocidade média do vento entre 12 e 14h por dia da semana - ELCB11/1998 a 10/2000 -(m/s)





que processos convectivos sejam mais intensos e/ou sejam mais persistentes e resistentes à tendência à estratificação noturna.

A persistência do vento proveniente do sul e do vento proveniente do norte, apresentou um ritmo semanal muito marcado na ELCB nos dois anos de registro analisados. Observe-se no Gráfico 18 que a participação dos ventos provenientes do norte aumenta em direção aos dias centrais da semana, enquanto os ventos provenientes do sul diminuem. Nos Gráficos 19 e 20, em que a informação é representada distribuída ao longo do dia, nota-se claramente que a amplitude do ritmo é maior nas horas centrais do dia.

No entanto, numa mancha urbana tão extensa quanto a de São Paulo, é pouco provável que o campo de vento tenha uma configuração simples<sup>4</sup> sobretudo porque o relevo e a rugosidade urbana interferem substancialmente nos ventos de superfície e porque o que este trabalho propõe é que a energia adicionada pelas atividades humanas adiciona uma nova "rugosidade" no campo de vento; suas fontes não têm distribuição homogênea. Sem nenhuma dúvida, amostragem em dois pontos através de instrumentos e métodos de registro muito distintos deve ser tomado com reservas.

Por outro lado, a hipótese de que tenha

ocorrido uma concentração de determinados tipos de tempo, derivados da circulação secundária, em determinados dias da semana passa a ser menos provável, já que esta peculiar distribuição ao longo das semanas deveria ter sido aproximadamente equivalente na década de 90 e no período de novembro de 98 a outubro de 2000.

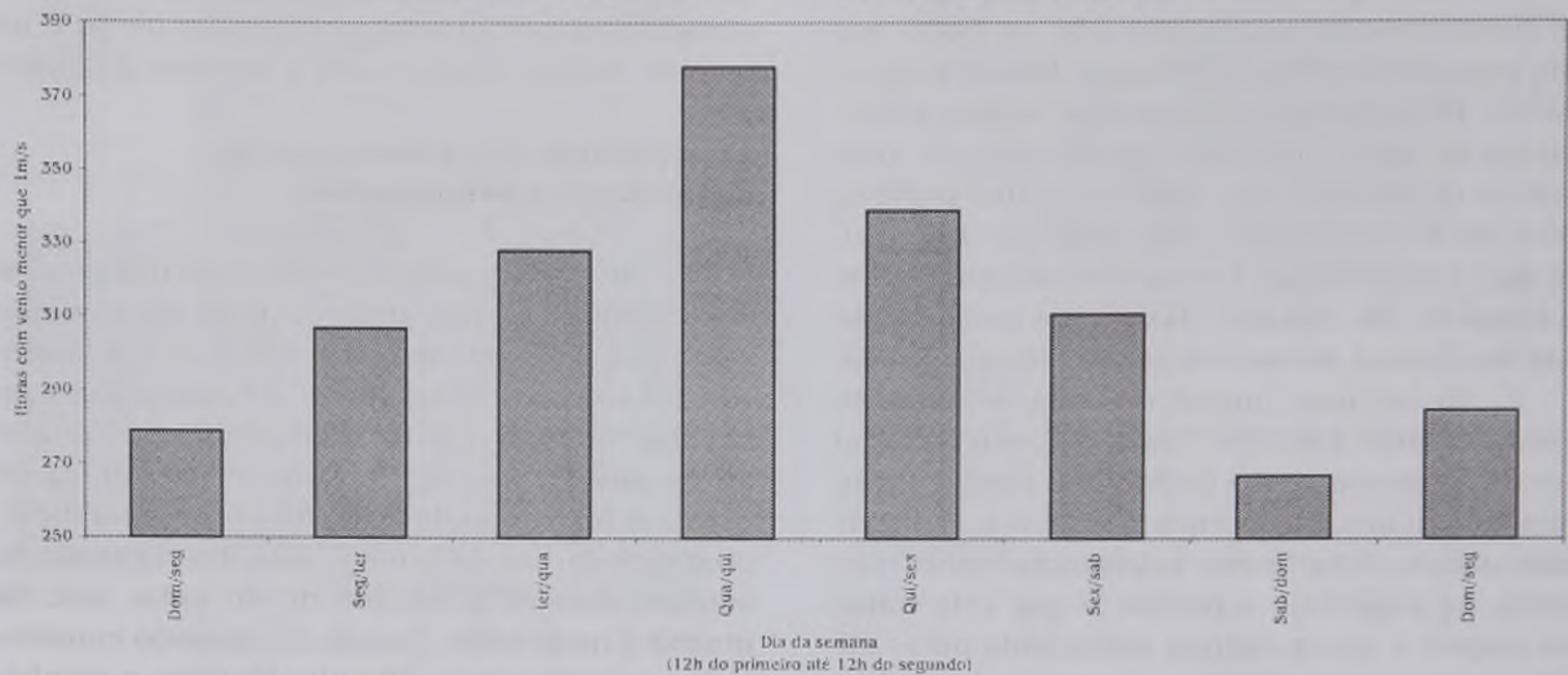
### 11. Evidência 09 – Ritmo semanal da insolação e nebulosidade

Se ocorrer uma intensificação dos processos convectivos nos dias centrais da semana, seria de se esperar que a frequência e o desenvolvimento vertical de cúmulus fosse maior nestes dias. Só há o registro da tipologia e quantidade de nuvens na EAF. De fato, a ocorrência de cúmulus no campo de visão do observador meteorológico foi até 18% maior nos dias centrais da semana durante a década de 90 entre sete da manhã e meia-noite (Tabela 2). Quando considerada a ocorrência de cúmulus durante a manhã, tarde e início da noite, destaca-se o fato de que entre a sete da noite e meia-noite em todos os dias da semana a frequência de cúmulus foi pelo menos duas vezes maior, ou seja, o triplo da de domingo. Segunda feira é a única exceção, podendo ser considerado um dia transitório.

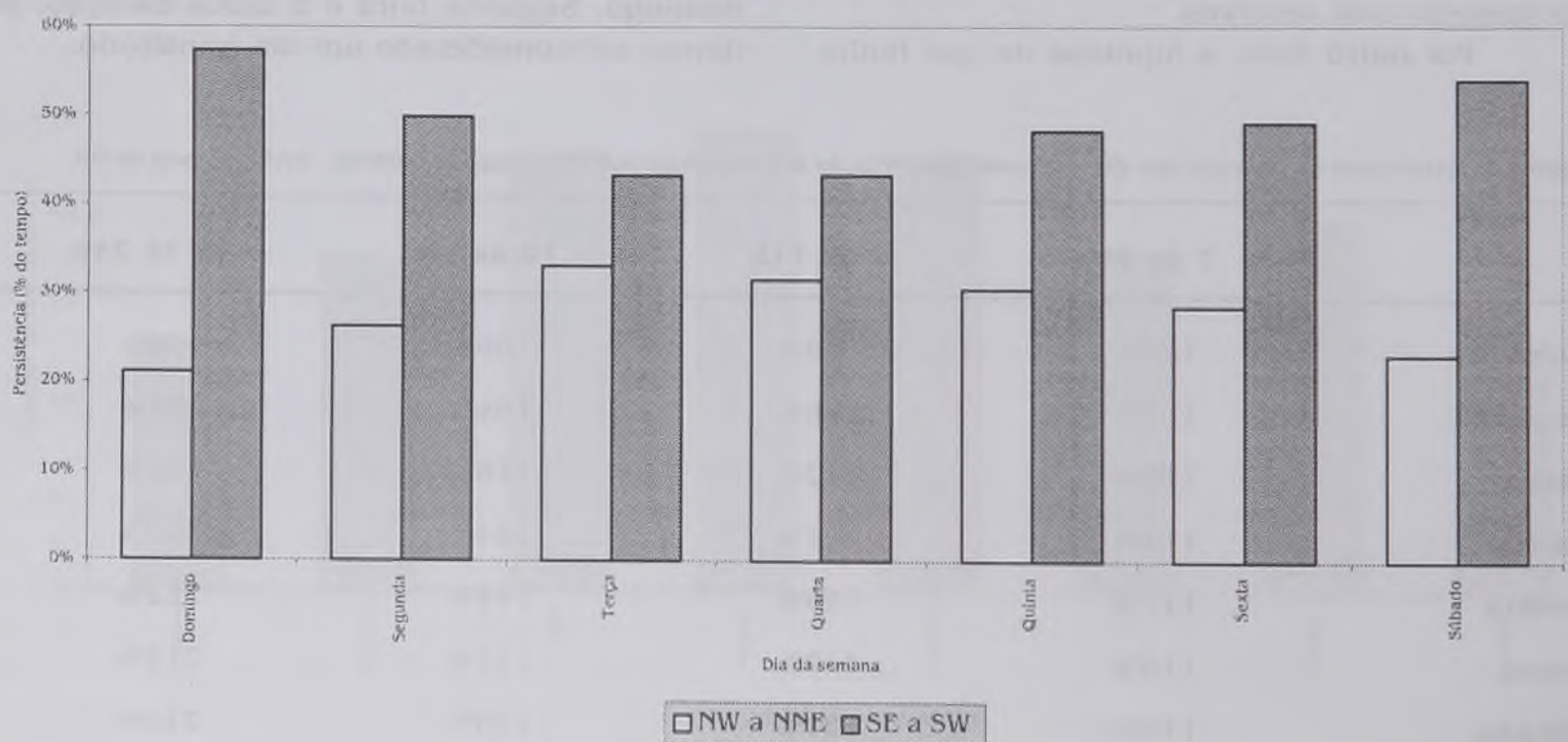
**Tabela 2:** Ocorrência de cúmulus por dia da semana em relação à de domingo nas observações horárias - EAF - década de 90.

	7 às 24h	7 às 11h	12 às 18h	19 às 24h
<b>Domingo</b>	100%	100%	100%	100%
<b>Segunda</b>	107%	118%	104%	131%
<b>Terça</b>	118%	112%	118%	246%
<b>Quarta</b>	113%	101%	114%	200%
<b>Quinta</b>	117%	119%	114%	262%
<b>Sexta</b>	110%	117%	107%	215%
<b>Sábado</b>	110%	120%	106%	215%

**Gráfico 17 - Horas com vento com velocidade média horária menor que 1m/s por dia da semana ELCB - 11/1998 a 10/2000**



**Gráfico 18 - Persistência do vento por quadrante ELCB - 11/1998 a 10/2000**



A nebulosidade é, das variáveis observadas e registradas, a que representa a amostragem espacial mais abrangente das condições atmosféricas no momento em que é registrada. Ou seja, de fato, o ritmo da ocorrência de cúmulus ao longo dos dias da semana é, possivelmente a evidência mais forte a favor da hipótese defendida neste texto a despeito de não ser obtida instrumentalmente.

Apesar de ter sido analisada a insolação e a radiação global por dia da semana e horário e os resultados preliminares serem favoráveis à hipótese em investigação, optou-se por não apresentá-los por dois motivos. (1) Os diagramas do actinógrafo da EAF da década de noventa ainda estão sendo reduzidos e, por enquanto, há muitas lacunas nos dados. (2) O radiômetro da ELCB determina a radiação global, não sendo possível, distinguir a participação da radiação em ondas longas da radiação visível no registro. Está em teste preliminar dois instrumentos mais precisos, um em cada estação, que permitem a distinção da intensidade em faixas de comprimento de onda diversos.

### **12. Evidência 10 – Ritmo semanal da umidade relativa do ar**

Se há um ritmo semanal na temperatura do ar e da pressão atmosférica, deveria haver também um ritmo semanal da umidade relativa do ar, ou seja, em média a pressão de saturação do vapor deve ser máxima aos domingos e mínima na quarta-feira. De fato, as médias da umidade do ar por dia da semana e horário nas duas estações, apontam para a ocorrência de um ritmo semanal da umidade relativa do ar. No entanto, a variação é pequena em relação à variação da pressão e da temperatura (Gráfico 21).

Podemos, ao menos hipoteticamente, deduzir que os eventos extremos de baixa umidade do ar deveriam ocorrer com uma probabilidade maior nos dias centrais da semana, e, quiçá, na quarta-feira. De fato, no caso da ELCB, os eventos extremos de baixa umidade do ar por dia da

semana foram significativamente mais agudos na quarta-feira (Gráfico 22) e progressivamente menos intensos em direção ao final de semana. Verifique-se que, durante dois anos, entre 18 e 20h da noite, a umidade relativa do ar aos sábados e domingos nunca foi menor que 67%, enquanto que na quarta-feira chegou a quase 40%, pelo menos uma vez (Gráfico 23).

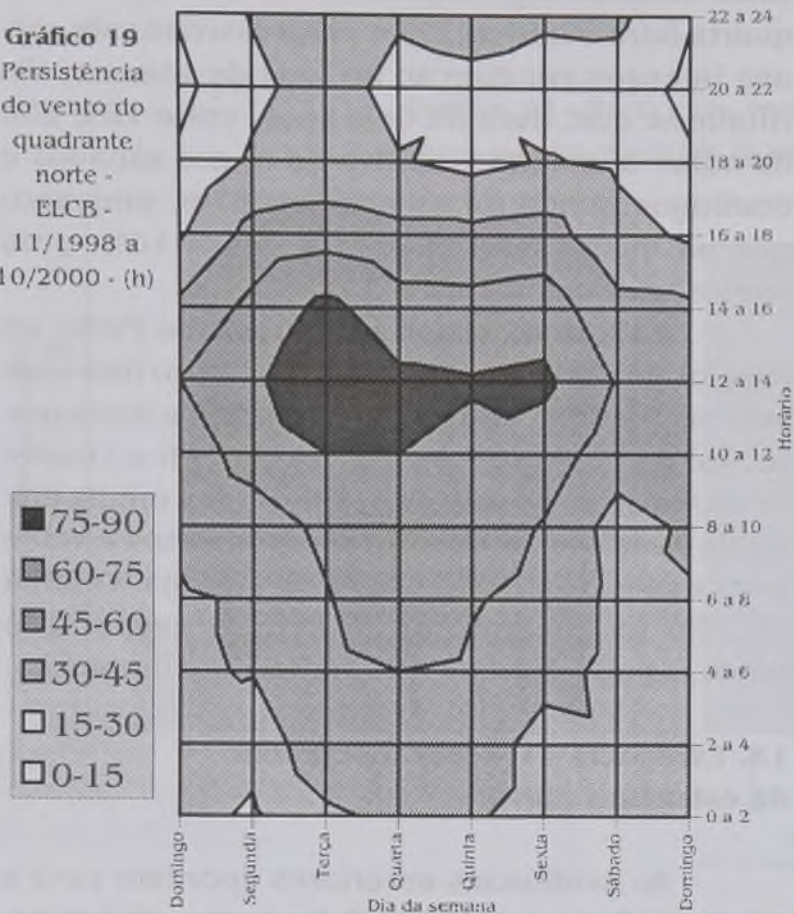
Na EAF há um evaporímetro de Piche no interior do abrigo meteorológico e outro fora com leituras horárias entre sete da manhã e meia-noite. Até o momento foi possível conferir e consistir os registros do ano de 1999. A taxa média diária de evaporação nos dois instrumentos tendeu a ser maior nos dias centrais da semana (Gráfico 24). No instrumento ao ar livre, a evaporação tende a ser maior que o esperado aos domingos.

### **13. Evidência 11 – Ritmo semanal da estrutura pluvial**

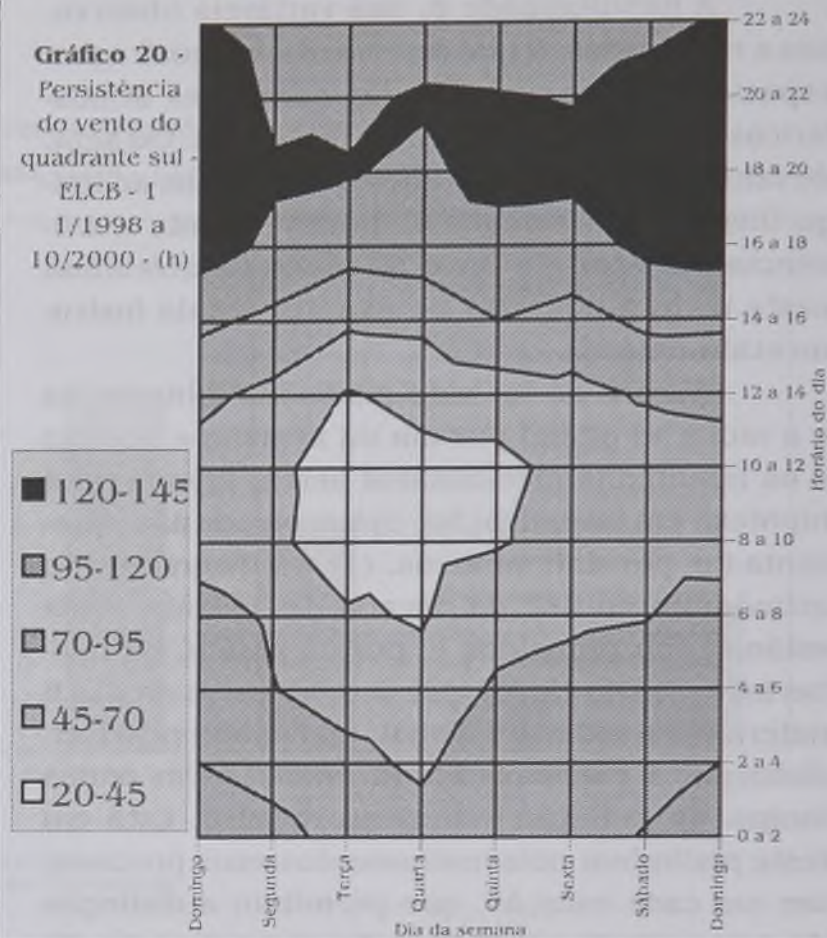
As evidências anteriores apontam para a hipótese de que a distribuição temporal e espacial da precipitação atmosférica deve apresentar um ritmo semanal, ou seja, não chove da mesma forma em todos os dias da semana. Deveria chover mais nos dias centrais da semana que no domingo, já que todas as evidências apontam para uma atividade convectiva mais intensa em direção à quarta-feira. Se esta hipótese for verdadeira, explica porque a evaporação de domingo é aparentemente anômala. Na verdade, se as horas com chuva forem mais frequentes em direção aos dias centrais da semana, deve haver uma distorção da média de evaporação, e assim, não seria a média da evaporação de domingo relativamente alta, mas as dos outros dias é que é atenuada, sobretudo nos dias centrais da semana. A mesma explicação se aplicaria ao fato, não destacado anteriormente, de que a temperatura média da superfície do solo no domingo foi ligeiramente maior que a que seria de se esperar.

De fato, a precipitação diária média na ELCB apresentou uma distribuição semanal fortemente marcada por um ritmo semanal no perí-

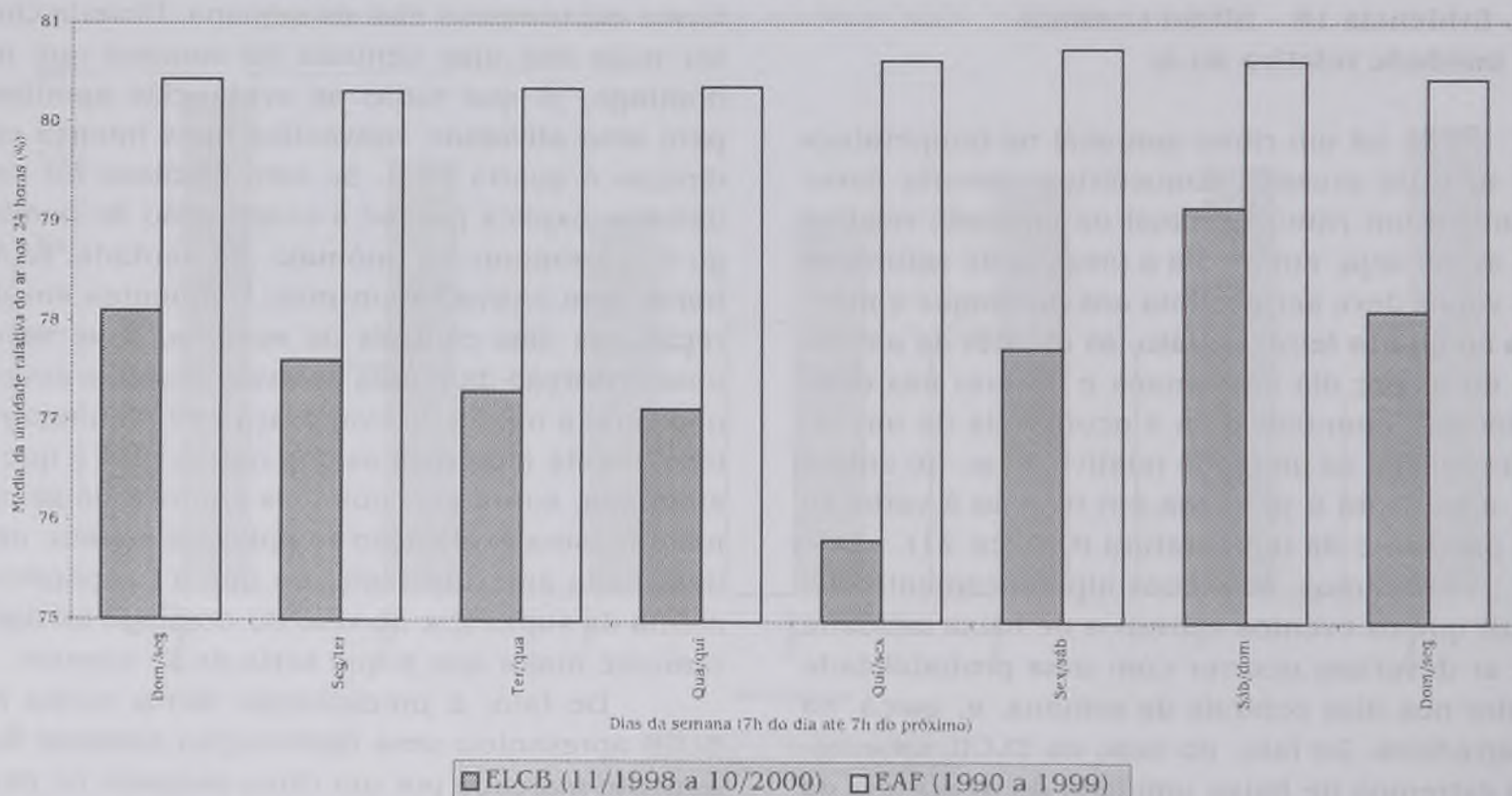
**Gráfico 19**  
Persistência do vento do quadrante norte - ELCB - 11/1998 a 10/2000 - (h)



**Gráfico 20**  
Persistência do vento do quadrante sul - ELCB - 1 1/1998 a 10/2000 - (h)



**Gráfico 21** - Média da umidade relativa do ar por dia da semana - EAF e ELCB



odo de dois anos considerado neste trabalho (Gráfico 25). Observe-se que, das 6 às 15h, a distribuição é relativamente equitativa entre os dias da semana. *A variação semanal concentrou-se no período do final da tarde e noite. Neste, a precipitação média de quarta para quinta foi três vezes maior que a de domingo para segunda.*

#### 14. Conclusões e perspectivas

De fato, há um conjunto expressivo de evidências que permitem dizer que haja uma relação entre o ritmo semanal das atividades humanas e o clima da RMSP. No entanto, *há uma grande distinção a ser feita entre observar e descrever processos a partir do objeto de estudo e a simples descrição e correlação hipotética de valores médios e extremos.* Destacou-se anteriormente que o fato de correlações causais estabelecidas hipoteticamente parecerem plausíveis não faz delas necessariamente verdadeiras. Deve haver investigação intensiva sobre o objeto, neste caso a RMSP, para verificar se elas constituem realmente um arcabouço lógico compatível com a realidade, e sobretudo, se potencializam a compreensão dos processos atmosféricos na RMSP.

Há muitas perguntas a responder, algumas em processo de investigação:

Qual foi a real distribuição dos dias “úteis” e feriados nas últimas décadas? Procede a hipótese de que haja mais dias úteis às quartas-feiras ao longo de alguns anos? Se agregados os dados meteorológicos entre dias úteis e não úteis, as diferenças tornam-se mais evidentes?

Qual seria a distribuição temporal e espacial da energia dissipada pelas atividades humanas na RMSP? Há realmente um ritmo semanal dos montantes dissipados? Seria possível localizar indicadores precisos e desenvolver uma metodologia para estimar o fluxo de calor em tempo real? Alguns exemplos: o consumo de energia elétrica é monitorado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, as ligações telefônicas são monitoradas pela Agência Nacional de Telefonia, as viagens do metrô pelo Metropolitano, o tráfego

nas principais vias arteriais pela Companhia de Engenharia de Tráfego e pelas concessionárias das rodovias, o volume das operações bancárias pelos próprios bancos e pelo Banco Central, o consumo de água, gás encanado, e muitos outros fluxos são ou podem ser monitorados em tempo real.

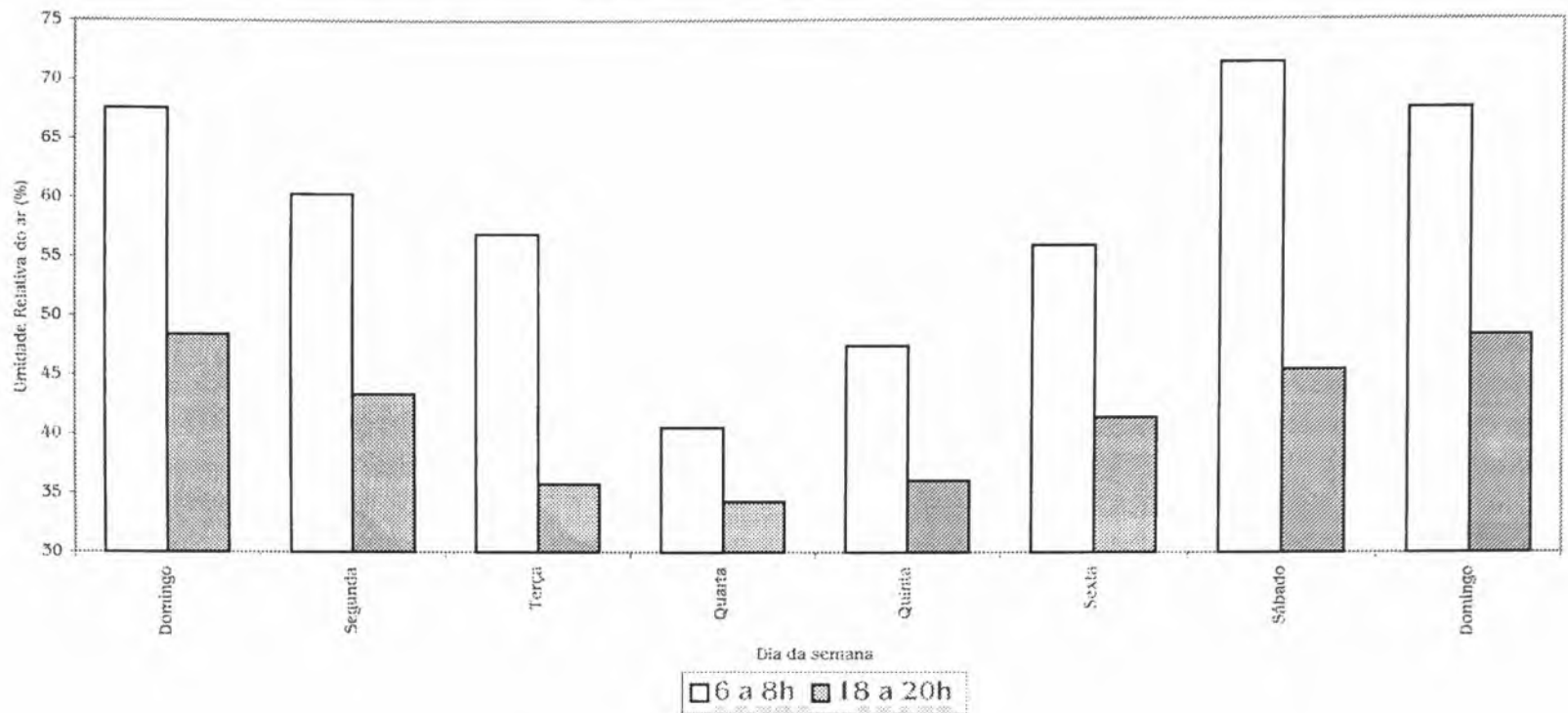
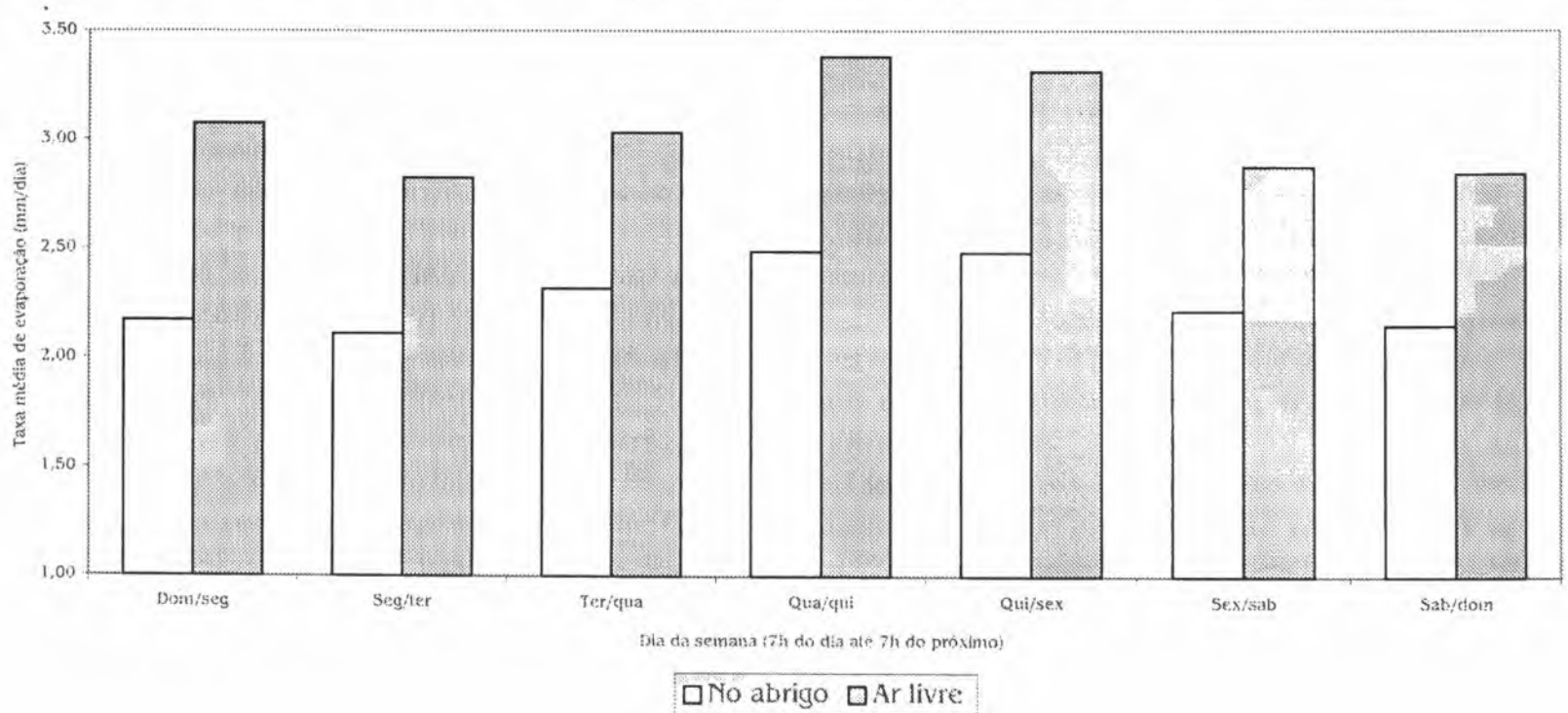
Haveria uma reincidência temporal e espacial dos processos convectivos na RMSP relacionada ao uso do solo, além, obviamente, do relevo? Há realmente maior frequência de cúmulos nos dias centrais da semana apenas na mancha urbana? Existe mesmo uma tendência a um maior desenvolvimento destes cúmulos? Seria possível obter parte destas respostas a partir dos dados do Radar Meteorológico do Centro de Tecnologia Hidráulica?

O mecanismo da brisa oceano/continente é significativamente alterado? Várias hipóteses são plausíveis. Por exemplo, o domo de poluição caracterizaria uma camada de mistura isolada e a brisa pode ser obrigada a desviar por cima e pelos lados, ou a brisa é incorporada lateralmente ao domo como compensação ao volume que é drenado pelos processos de convecção.

Quando o ritmo semanal passa a ser sensível no registro meteorológico da RMSP? Em AZEVEDO (2001a) sugere-se que, de meados da década de setenta até meados da década de oitenta, o ritmo semanal do clima paulistano era invertido pois o ritmo semanal da poluição atmosférica se impunha sobre o do calor, gerando uma tendência à estabilidade vertical. A temperatura tendia a ser menor durante a semana. Naquela época, chovia mais nos finais de semana.

Há uma tendência de a camada de inversão térmica que normalmente demarca o limite da camada de mistura urbana e/ou o domo de poluição ser mais alto na quarta-feira que nos outros dias? A ocorrência é menor aos domingos? A base dos cúmulos tende a localizar-se em altitude maior na quarta-feira?

Qual foi a distribuição dos tipos de tempo derivados da circulação secundária ao longo dos dias da semana nos anos recentes? Na RMSP

**Gráfico 23** - Menor Umidade Relativa do ar no horário por dia de semana ELCB - 11/1998 a 10/2000 - (%)**Gráfico 24** - Média da evaporação diária no evaporímetro de Piché por dia da semana EAF - 1999 - (mm/dia)

haveria uma modificação nos atributos que caracterizam a sucessão? Seria possível distinguir, no registro da chuva dos últimos anos, até que ponto o papel do calor antrópico compete com a circulação secundária na sua "gênese"? Em que momentos do ritmo dos tipos de tempo derivado da circulação secundária o papel do calor antrópico é exacerbado? Uma frente fria seria percebida de forma distinta no domingo e na quarta-feira?

Este aumento da pluviosidade é generalizado na mancha urbana inteira ou tende a ser maior em direção às áreas centrais e/ou mais adensadas? Haveria uma tendência à redução da chuva na periferia e arredores? Haveria uma relação entre a reincidência ou a magnitude dos alagamentos urbanos e os dias da semana? Estes estariam relacionados à intensificação da chuva por ação antrópica?

A redução da "garoa" na RMSP apontada no "senso comum" e ainda não estudada de forma sistemática, teria relação com este aporte de energia? Continuará a ocorrer mas parte considerável evapora antes de atingir o solo? Ocorre mais "garoa" nos finais de semana? Não é simples a distinção no registro meteorológico entre a "garoa" o orvalho noturno e chuva muito fraca.

Há uma sazonalidade na configuração do ritmo semanal do clima da RMSP? Aparentemente, nos meses de primavera e verão a interferência do calor antrópico sobre a ocorrência de chuva é maior. O ritmo global marcado através da Oscilação Sul (ENSO) interfere no ritmo semanal? Nos anos de El Niño ele é exacerbado ou reduzido?

Seria possível quantificar o aumento de temperatura da RMSP, ao longo do século XX, efetivamente relacionado ao aumento do fluxo de calor dissipado pela população? Considere-se que o domingo é o dia de menor atividade urbana mas o montante de energia dissipada neste dia ainda assim deve ser considerável. Ou seja, sem a população, a temperatura deveria ser ainda menor no domingo. Os resultados obtidos até agora sugerem que pelo menos 1oC de aquecimento deve estar diretamente relacionado ao

calor antrópico. Por outro lado, o que seria realmente preponderante, a extensão territorial, o número de habitantes ou a densidade?

Seria possível distinguir no balanço de radiação e calor ao nível do solo a radiação termal oriunda das atividades humanas? Possivelmente haja alguma especificidade ou assinatura espectral, sobretudo no caso do calor emanado na combustão. Os gases na saída do cano de escape têm temperatura muito mais elevada que a das superfícies circundantes e do que o resto do ar. Muito rapidamente emitem radiação termal que deve ter, durante alguns segundos, comprimento de onda ligeiramente menor que a emitida pelas superfícies e pelo resto da atmosfera, que progressivamente se alongue. Certamente, os canais de satélites convencionalmente empregados não permitem esta distinção. Seria possível registrar o processo de emissão em larga escala, mas com detalhamento espacial, temporal e espectral maior que o dos satélites convencionais usando espectroradiômetros precisos em helicópteros ou balões dirigíveis? Este excedente de radiação em ondas longas é mais ou menos significativo que o incremento na temperatura do ar em relação ao conforto humano?

Seria possível identificar um ritmo semanal nos elementos climáticos registrados por estações meteorológicas em outros grandes aglomerados urbanos? O caso de São Paulo seria único, constituindo uma "anomalia climática"? A maior parte das estações com séries longas de registro meteorológico está no interior ou periferia imediata de áreas urbanas extensas? Se estiver, a hipótese de que houve um "aquecimento global" da ordem de um a dois graus Celsius ao longo do século XX exclusivamente por causa do aumento do teor de gás carbônico na atmosfera deve ser tomada com ressalvas. O século passado foi aquele em que houve a explosão do consumo per capita de energéticos, ao mesmo tempo em que foi aquele em que a humanidade passou a ser composta majoritariamente por homens urbanos. Provavelmente tenha havido um aquecimento generalizado mas com uma configura-

ção de "arquipélago" ou de "constelação", e, portanto, não de "globo".

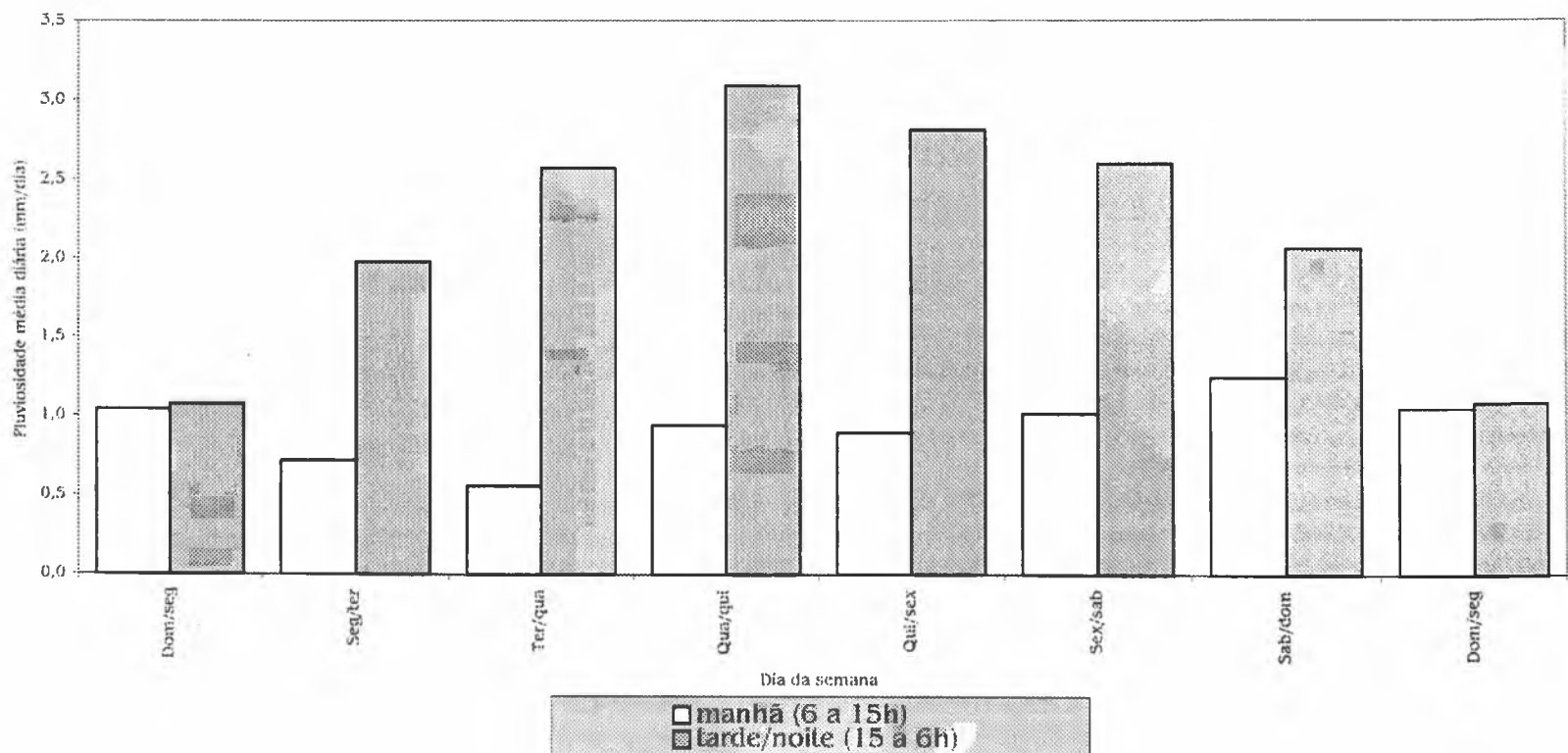
Muitas das estações meteorológicas de superfície que fornecem dados numéricos em tempo real para o modelo meteorológico global estão no interior ou periferia imediata de grandes aglomerados urbanos? O modelo meteorológico global considera a hipótese defendida por este trabalho? Este pode ser um dos fatores preponderantes no fato das previsões meteorológicas apresentarem baixos índices de acerto mesmo para poucos dias? Mas desconsiderar-se as estações sob influência direta das cidades não levaria ao mesmo problema? A previsão talvez melhore nas áreas distantes das áreas urbanas, e portanto numa parcela considerável da superfície terrestre. No entanto, a população urbana não é majoritária? Teremos, no futuro, a previsão meteorológica de cada aglomerado urbano? Nos aglomerados urbanos de milhares de quilômetros quadrados, como São Paulo, seria neces-

sária uma previsão meteorológica espacialmente diferenciada?

## 15. Agradecimentos

Às anônimas gerações de excelentes observadores meteorológicos que contribuíram e continuam contribuindo, por mais de um século, para a construção da mais valiosa coleção de séries climatológicas da Região Metropolitana de São Paulo, hoje abrigada pelo Instituto Astronômico e Geofísico da USP. Ao Dr. Gil Sodero de TOLEDO, professor aposentado do Departamento de Geografia, e ao Dr. Paulo Marques dos SANTOS, professor aposentado e ex-diretor do Instituto Astronômico e Geofísico, por sugestões e críticas oportunas. Aos técnicos do Laboratório de Climatologia e Biogeografia pelo apoio e material de trabalho fornecido. Ao Prof. Dr. Artêmio PLANA-FATTORI, Prof. Dr. Mário Festa, Frederico Luiz FUNARI e Sérgio Torre Salum, respectivamente

**Gráfico 25** - Precipitação média diária por dia da semana - ELCB - 11/1998 a 10/1999 - (mm/dia)





te diretor e técnicos da Estação Meteorológica da Água Funda, pela boa vontade e profissionalismo. À CAPES pelo apoio financeiro na forma de Bolsa de Mestrado nos primeiros dois anos de

pesquisa. À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro para aquisição da Estação Meteorológica e registradores do Laboratório de Climatologia e Biogeografia.

### Notas

- 1 Parte da Tese de Doutorado, AZEVEDO (2001a), desenvolvida no Laboratório de Climatologia e Biogeografia do DG / FFLCH / USP.
- 2 Este trabalho sugere que os dias que normalmente não são considerados úteis do ponto de vista econômico, são essenciais para a renovação das condições ambientais urbanas, além da renovação física e psicológica dos habitantes.
- 3 Assim, temos uma evidência material de que, mesmo que permaneçamos trancados em casa, com

as janelas fechadas para não inspirar a fumaça e a fuligem, acreditando ignorar as agruras dos milhões de vidas alheias, o ritmo do trabalho das mesmas, não só metaforicamente, se fará sentir de forma inexorável sobre o nosso organismo.

- 4 Existem poucos trabalhos sobre o campo de vento na RMSP. Destaca-se aqui alguns: LOPEZ (1996), OLIVEIRA et alli (1983), OLIVEIRA & SILVA DIAS (1982).

### Bibliografia

ALVES FILHO, A. P. (1996). *Episódios Pluviais Intensos na Região Metropolitana de São Paulo : uma avaliação no decênio 1982 - 1991*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

AZEVEDO, T. R. de (1996). *Determinação e representação da distribuição espacial da chuva, um estudo de caso*. Trabalho de Graduação Individual apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

AZEVEDO, T. R. de (2001a). *Derivação antrópica do clima na Região Metropolitana de São Paulo abordada como função do ritmo semanal das atividades humanas*. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

AZEVEDO, T. R. de (2001b). "O fluxo de calor gerado pelas atividades humanas no estudo climático da Região Metropolitana de São Pau-

lo" in TARIFA, J. R., organizador, *Os climas da cidade de São Paulo: teoria e prática*, Editora Contexto, São Paulo (no prelo).

BRANDÃO, A. M. de P. M. (2000). "A ilha de calor de outono na cidade do Rio de Janeiro configuração em situações sinóticas contrastantes" in *Variabilidade e Mudanças Climáticas*, Editora da Universidade de Maringá, Maringá.

CABRAL, E. (1997). *Análise das alterações climáticas da Cidade de São Paulo (1887-1995) no contexto da expansão de sua mancha urbana*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

CASTRO, M. da G. da S. (1993). *A Chuva Ácida na Cidade de São Paulo*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

FRANÇA, A. (1946). *Estudo Sobre o Clima da Bacia de São Paulo*. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geografia da Universidade

- de São Paulo. *Boletins da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Geografia*, n.3.
- FUNARI (1983). *Insolação, radiação solar global e radiação líquida no Brasil*. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- JARDIM, C. H. (1998). Aspectos topoclimáticos urbanos na Bacia do Rio Aricanduva na Cidade de São Paulo (SP). Trabalho de Graduação Individual apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- LANDSBERG, H. E. (1956). "The Climate of towns" ed. THOMAS, W. E. *Man's role in changing the face of the earth*. Pub. for the Wenner-Gren Foud. for Anthropological Research and the National and Science Found. University of Chicago Press.
- LOMBARDO, M. A. (1985). *Ilha de Calor nas Metrôpoles - O exemplo de São Paulo*. Hucitec, São Paulo.
- LOPEZ, C. C. (1996). Aspectos da dinâmica da RMSP, com ênfase para a circulação de ventos. Trabalho de Graduação Individual apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- MATTOS, J. N. B. (1925). "O clima de São Paulo" *Boletim do Serviço Meteorológico*, série II, n.38. Secretaria da Agricultura, Comercio e Obras Públicas do Estado de São Paulo.
- METRÔ Companhia do Metropolitano de São Paulo (1989). *Pesquisa origem/destino 87: síntese das informações*. METRÔ, São Paulo.
- MONTEIRO, C. A. (1971). "Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho" in *Climatologia*, n.1. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo.
- MONTEIRO, C. A. (1976). *Teoria e Clima Urbano*. Instituto de geografia USP, São Paulo.
- MONTEIRO, C. A. (1990). "Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura" in *Geosul*, n.9. Departamento de Geociências da Universidade de Santa Catarina.
- MORAES, A. C. R. COSTA, W. M. da & TARIFA, J. R. (1977). "Tipos de tempo e balanço de energia na Cidade de São Paulo" in *Climatologia*, n. 8, Instituto de Geografia, São Paulo.
- OKE, T. R. (1973). "City size and the urban heat island" in *Atmospheric Environment*, v.7, p.769-779.
- OLIVEIRA, A. P. de & SILVA DIAS, P. L. da (1982) *Aspectos Observacionais da Brisa Marítima em São Paulo*. In *Anais do Segundo Congresso Brasileiro de meteorologia*, Pelotas - RS., v.2, pp. 129-161, 18-22 outubro de 1982.
- OLIVEIRA, S. et alli (1983). "Análise do fluxo de vento visando o transporte de poluentes na Região da Grande São Paulo" in *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, CETESB, São Paulo.
- PASCOAL, W. (1980). *As inundações do Cambuci*. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- SANTOS, P. M. dos (1964). *O serviço meteorológico do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo*. Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo.
- SAKAMOTO, L. L. S. (1994). *Relações Entre a Temperatura do Ar e a "Configuração do Céu" na Área Central da Metrópole Paulistana: análise de Dois Episódios Diários*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- SETZER, J. (1946). "Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo" Separata atualizada do *Boletim do Departamento de Estradas de Rodagem*, vol IX a XI de outubro de 1943 a outubro de 1945. Escolas Profissionais Salesianas, São Paulo.
- SOBRAL, H. R. (1988). Poluição do ar e doenças respiratórias em crianças da Grande São Paulo: um estudo de geografia médica. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Uni-

versidade de São Paulo.

TARIFA, J. R. (1976). "Sobre um programa de 'climatologia experimental' na Região Metropolitana de São Paulo" in *Boletim Paulista de Geografia*, n. 52, Associação dos Geógrafos Brasileiros, São Paulo.

TARIFA, J. R. & MELLO, M. H. de A. (1984). "O homem e as mudanças climáticas no Brasil" in *Anais do Terceiro Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Campinas.

TARIFA, J. R. (1985a). "Clima: elementos naturais" in *Qualidade ambiental*, Série Documentos. Secretaria do Planejamento, Prefeitura do Município de São Paulo.

TARIFA, J. R. (1985b). "Qualidade do ar" in *Qualidade ambiental*, Série Documentos. Secretaria do Planejamento, Prefeitura do Município de São Paulo.

TARIFA, J. R. (1991). "Qualidade do ar no Município de São Paulo" Trabalho composto por 11 mapas na escala 1:50.000 desenvolvido

como subsídio ao Plano Diretor do Município de São Paulo. Parcialmente publicado in *Atlas Ambiental do Município de São Paulo*. Prefeitura do Município de São Paulo.

TARIFA, J. R. & ARMANI, G. (2001). "Unidades Climáticas da Cidade de São Paulo (primeira aproximação)" in *Atlas Ambiental do Município de São Paulo – FASE I*. Secretaria do Verde e Meio Ambiente e Secretaria do Planejamento, Prefeitura Municipal de São Paulo.

TOLEDO, G. S. de (1973). *Tipos de Tempo e Categorias Climáticas Na Bacia do Alto Tietê (1968) – Ensaio Metodológico*. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Presidente Prudente.

XAVIER, T. de M. B. S. XAVIER, A. F. S. & SILVA DIAS, M. A. F. da (1994). "Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da Cidade de São Paulo" in *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol.9(1). Sociedade Brasileira de Meteorologia, São Paulo.

