

## **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA OCORRÊNCIA DO MAIORES TOTAIS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO NA RMSP E ARREDORES EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE RELATIVA DA ATIVIDADE URBANA**

Tarik Rezende Azevedo \*

### **RESUMO**

Trata-se da variação da distribuição espacial dos maiores totais diários de precipitação atmosférica na Região Metropolitana de São Paulo e arredores em função da intensidade relativa da atividade urbana. Os dias com ocorrência de precipitação maior que 20mm e os dias em que ocorreram os 300 maiores totais pluviométricos na década de 90 foram classificados em dias "úteis" e "não úteis". Conclui-se que, em ambos os casos, a frequência, o total precipitado e a intensidade da chuva nos dias úteis foram significativamente maiores em relação aos dos dias não úteis sobre a mancha urbana da Grande São Paulo e algumas áreas adjacentes.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Precipitação atmosférica, atividade urbana.

### **ABSTRACT:**

We have been studying the spatial distribution of the largest atmospheric precipitation of a day in Metropolitan Region of São Paulo and surroundings as a function of the relative intensity of the urban activity. It classified days with precipitation major than 20 mm and days on which occurred the 300 larger pluviometric totals in the 1990s into "workdays" and "not workdays". The conclusion, in both cases, was that the frequency, the amount precipitated and the intensity of the rain on "workdays" were significantly larger than on "not workdays" at urban area of São Paulo and some adjacent areas.

### **KEY WORDS:**

Atmospheric precipitation, urban activity.

### **Introdução**

Os congestionamentos do final de tarde em São Paulo pioram quando chove neste horário? Ou será que chove mais nos finais de tarde em que há congestionamentos? Não é casual a semelhança com a propaganda de uma determinada marca de biscoito. O fato é que tem chovido mais nos finais de tarde dos dias centrais da semana na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) desde a década de 90. Este curioso resultado é, na verdade, apenas produto secundário da investigação mais abrangente. Em continuidade a trabalhos anteriores, apresentam-se novas evidências que corroboram a hipótese de que o ritmo das atividades humanas é um dos elementos determinantes nos processos que ocorrem na baixa troposfera sobre grandes áreas urbanas (AZEVEDO, 2001a). Apresenta-se

a anomalia na distribuição espacial da ocorrência das maiores precipitações diárias na RMSP e arredores em função da intensidade relativa da atividade urbana, o método empregado para caracterizá-la, implicações dos resultados ora alcançados, além de questões a serem investigadas em maior profundidade.

Em AZEVEDO (2001b) compara-se a estimativa conservadora do montante de energia dissipada direta e indiretamente pela população da RMSP em 2000 com a radiação solar global ao nível do solo estimada por FUNARI (1986) acumulada em um ano sobre a área urbana da RMSP. Concluiu-se que o primeiro é, no mínimo, 10% do segundo. Este raciocínio aplicado em regiões de clima temperado, onde a intensidade da insolação é menor e o consumo *per capita* de energia é muito maior que no Brasil, leva a estimativas que chegam até 50% de incremento na

energia em trânsito na camada basal da atmosfera em áreas urbanas (TOJO, 1998). AZEVEDO (op cit.) argumenta que a distribuição do montante de energia dissipada pela atividade urbana é heterogênea ao longo dos dias. Sendo domingo o dia de menor atividade urbana na RMSP, quarta-feira seria o dia de máxima atividade, caso fosse acumulada a energia dissipada ao longo de vários meses ou anos, pois as pontes de feriados concentram-se nas segundas e sextas-feiras. AZEVEDO e TARIFA (2001) apresentam dez evidências de que há um ritmo semanal nos processos próprios do clima da RMSP, agregando registros de duas estações meteorológicas por dia da semana e horário. AZEVEDO (2001c) demonstra que a semana de trabalho ocidental e as datas de feriados são completamente arbitrárias em relação aos ritmos astronômicos e aos ritmos climáticos deles derivados. Apresenta um algoritmo para classificar os dias em "úteis" e "não úteis" na RMSP. Constatou que, de fato, quando considerados períodos de mais seis meses, há mais dias "úteis" nas quartas-feiras. Em geral há cerca de 2,1 dias úteis para cada não útil. Agregando registros horários de duas estações meteorológicas na RMSP conclui que as médias da temperatura do ar, da velocidade do vento e da precipitação tendem a ser significativamente maiores nos dias úteis enquanto a pressão atmosférica menor em anos recentes.

O aumento da atividade urbana nos dias úteis implica em aumento significativo dos montantes de energia dissipada pela população e suas atividades, já que a parcela de energia emitida a partir da queima de combustíveis fósseis, da atividade industrial, comércio e serviços responde por mais de ¾ do total. Em tese, deve ocorrer aumento da temperatura do ar, deformação local no campo barométrico, tendência a aumento da convergência dos ventos de superfície, intensificação dos processos convectivos e aumento na frequência e intensidade das chuvas, sobretudo dos impactos concentrados nos finais de tarde e início da noite. No entanto, o aumento da atividade urbana também implica em incremento na emissão de poluentes e na ressuspensão de material particulado pelo aumento da turbulência junto ao solo, em função do maior número de veículos em circulação. O material particulado tem papel preponderante no balanço de radiação urbano, pois implicaria em atenuação da radiação global ao nível do solo. Portanto, é perfeitamente aceitável a

hipótese de que, tomado isoladamente, atue no sistema clima urbano reduzindo indiretamente a temperatura do ar em superfície. Ou seja, sob o "domínio" da poluição por material particulado, deve haver uma tendência à "estabilização" da camada de mistura, uma tendência maior à formação de inversões térmicas e redução significativa da frequência e intensidade da chuva.

AZEVEDO (op cit.) argumenta que foi a poluição atmosférica que caracterizou a RMSP na década de 70 no plano "perceptivo", tal como proposto por MONTEIRO (1976), sobretudo no período do "milagre brasileiro". Tanto que, naquela época, surgiram iniciativas efetivas de acompanhamento e controle da mesma. De fato, a poluição de origem industrial diminuiu em termos absolutos na RMSP a partir início dos anos 90. No entanto, a partir da década de 80, ocorreu a massificação do transporte individual. Nos anos 90, o sistema viário da RMSP atingiu a saturação, obrigando a adoção do rodízio semanal de veículos automotores. Há uma série de pelo menos duas dezenas de outros fatos e fatores, que não caberia aqui discutir. O resultado é que o consumo *per capita* de energia em suas mais variadas formas cresceu mais que a produção *per capita* de poluentes atmosféricos na RMSP nos últimos anos (ESTADO DE SÃO PAULO, 2000). AZEVEDO (op cit.) verificou que as temperaturas extremas diárias dos dias centrais da semana tenderam a ser menores que nos finais de semana no período de 75 a 86, enquanto o inverso se verificou no período de 87 a 99. Coerentemente, o total de chuva acumulado por dia da semana apresentou a mesma tendência. No entanto, tratou-se dos registros de uma única estação meteorológica. A mancha urbana da RMSP tem mais de dois mil Km<sup>2</sup> em compartimentos geomorfológicos diversos, além de uma complexa distribuição de fontes de calor e poluentes. Para avaliar se os dois períodos, o primeiro de "domínio da poluição antropogênica" e o segundo, mais recente, de "domínio do calor antropogênico", caracterizaram-se na RMSP como um todo, AZEVEDO (2001d) usou os registros de 120 postos pluviométricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Governo do Estado de São Paulo. Selecionou os 19 postos cujos registros cobrem o período de 68 a 97 com menos de 1% de lacunas e desvio menor que 1% na razão de registros válidos em dias úteis e não úteis. Totalizou a precipitação de cada um dos 19 postos

em 5 períodos consecutivos de 6 anos. Comparando o total das duas classes, em cada posto e em cada período, calculou o desvio percentual em relação à distribuição esperada, pois a probabilidade de um evento qualquer ocorrer num dia útil é naturalmente maior. Totalizou em cada período o número de postos em que o desvio dos dias úteis foi, com confiança de 98%, menor, igual ou maior em relação aos não úteis. Os resultados confirmaram a hipótese: de 68 a 79, choveu menos nos dias úteis em 14 dos 19 postos, de 86 a 97, choveu mais nos dias úteis, de 80 a 85 choveu equitativamente nos dias úteis e não úteis, podendo ser considerado um período de transição.

AZEVEDO (2002), argumenta que no caso da classificação dos registros por dia da semana, há o inconveniente de serem misturados dias de menor atividade urbana com dias de maior atividade urbana, sobretudo no caso das segundas e sextas-feiras (as pontes e feriados chegam a representar mais de 10% destes dias). Não é possível distinguir nos valores médios de precipitação se há realmente aumento na frequência e intensidade. Há a vantagem das sete classes terem o mesmo número de amostras facilitando comparações, sobretudo de casos extremos. A classificação em dias úteis e não úteis não permite caracterizar diretamente o ritmo semanal. O expediente de separar cada um dos dias de domingo a sábado entre úteis e não úteis resulta em classes incomparáveis em face da disparidade de amostragem. Finalmente, *é possível que o incremento ou redução da atividade urbana em um determinado dia dependa tanto do dia anterior como do dia seguinte* (sic!). Não é absurdo dizer que o que irá acontecer no dia seguinte interfira em parte no dia em questão, até porque um dos distintivos da atividade humana é a teleologia. Por exemplo, na RMSP há um aumento considerável dos congestionamentos do final da tarde numa quinta-feira que anteceda um feriado na sexta. Partindo desta hipótese, o autor elaborou um método para desagregar os dias úteis e não úteis em um número de classes compatível com a caracterização de um ritmo semanal. Passou a chamar de posição na semana a notação de dia útil por U e de dia não útil por N. Considerando a posição na semana, haveria oito possibilidades de arranjo numa seqüência de três dias. No entanto, apenas seis destas seqüências, ou posições na semana, realmente são significativas. Nesta ordem representam o

ritmo da intensidade relativa da atividade urbana: NNN, NNU, NUU, UUU, UUN, UNN. A vantagem deste sistema de classificação é que os dias feriados e pontes de feriados são agregados junto com os dias típicos a eles relacionados. Por exemplo, numa semana em que a sexta-feira é dia feriado. A posição na semana da quinta-feira anterior é UUN, sendo agrupada com as sextas-feiras das semanas normais. A posição da sexta-feira neste caso é UNN sendo agrupada com os sábados das semanas normais. O sábado, por sua vez é agrupado numa classe que não ocorre nas semanas normais (NNN - dia não útil entre dias não úteis), mas que é relativamente freqüente.

AZEVEDO (2002) agregou os dados horários de precipitação na Estação Meteorológica da Água Funda do período de 1990-2001, separando a precipitação em três classes em função do total acumulado em cada hora cheia. O autor demonstra que *a precipitação com 10 ou mais milímetros em uma hora, das 16h à meia-noite, ocorreu nos dias centrais da semana (UUU) com mais que o dobro da freqüência dos dias NNN*, que representariam o caso extremo possível de redução da atividade urbana. Além disto, a intensidade média (representada preliminarmente pela razão do total precipitado pelo número de ocorrências em uma hora) e a precipitação média diária (se consideradas estas chuvas mais "intensas") são significativamente maiores em direção aos dias centrais da semana.

Embora todos os resultados anteriores corroborem a hipótese de que há um ritmo antropogênico embutido no clima da RMSP, ainda há várias dúvidas pertinentes a serem esclarecidas, sobretudo no caso da precipitação atmosférica (AZEVEDO e TARIFA, 2001). Este trabalho explora uma que é cara ao geógrafo. Qual seria a expressão espacial deste incremento na intensidade e frequência das maiores precipitações em dias úteis? Será que realmente há uma relação estreita entre o fenômeno descrito acima e a localização da área urbana ou haveria deslocamentos causados por movimentos próprios da troposfera e da camada de mistura? Aponta-se um processo embrionário de conurbação entre a Grande São Paulo, a Região de Sorocaba, a Baixada Santista, a Região Metropolitana de Campinas e a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, incorporando todos os aglomerados urbanos do fundo do Vale do Rio Paraíba do Sul. O fenômeno de alteração na estrutura e distribuição temporal da

precipitação, investigado até o momento no âmbito da RMSP, também de manifestaria, de forma ao menos embrionária, por toda a Megalópole em formação? No caso da poluição atmosférica, a observação preliminar de campo nos permite inferir que durante boa parte dos dias há transporte de poluentes entre as áreas apontadas acima há pelo menos uma década. Para nos aproximar da resposta a estas questões, testou-se a hipótese de que deve haver uma área de ocorrência preferencial de precipitação intensa nos dias úteis relacionada à mancha urbana da RMSP, mesmo que não exatamente superposta à segunda.

## 1 . Materiais e Métodos

A área estudada foi delimitada usando três critérios; (a) que envolvesse a RMSP incorporando em seu entorno imediato, entendido aqui como a repetição de sua extensão nos dois sentidos das direções Norte-Sul e Leste-Oeste, (b) limitada por paralelos e meridianos em graus inteiros para facilitar a busca por postos pluviométricos e (c) seriam usados apenas postos pluviométricos de SP. A solução ótima resultou na área do Estado de São Paulo delimitada por 22°S, 25°S, 48°O e 45°O.

Foram usados os registros de precipitação diária da rede pluviométrica do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Governo do Estado de São Paulo. Nos postos desta rede a leitura dos pluviômetros ocorre às 7:00h da manhã. O total apurado é lançado no dia anterior, o que é muito conveniente para o teste da hipótese em investigação. O ritmo do trabalho era marcado pelo ritmo diário da insolação em sua origem, como de fato ainda o é para parcela expressiva da humanidade. Na RMSP, o período de maior atividade urbana inicia pouco antes do nascer do sol. Em dias úteis se estende quase até meia-noite. A influência da atividade urbana sobre a sua atmosfera se prolonga muito além do ocaso e possivelmente além da meia-noite. Como a estrutura urbana apresenta inércia térmica relativamente alta, continua irradiando na madrugada o calor armazenado durante o dia. O horário mais propício para separar os dias considerando simultaneamente o ritmo da insolação e o da atividade urbana é por volta das seis ou sete horas da manhã, quando os efeitos da insolação e da atividade humana do dia em questão chegam ao mínimo e os do próximo estão começando. O ideal seria tratar de registros

pluviométricos horários, conforme discutido em trabalhos anteriores. No entanto, a rede existente com este detalhamento temporal do registro resulta em um número muito baixo de postos na área estudada, não permitindo uma aproximação minimamente satisfatória do teste da hipótese em investigação.

Neste trabalho adotou-se o período da década de 90 por três motivos. (a) Em direção aos dois anos mais recentes as lacunas nos registros em formato digital aumentam pois é necessário um certo tempo para que a informação seja recolhida nos postos, digitada, conferida, consistida e disponibilizada. (b) Quanto maior o período abordado, cresce exponencialmente o número de postos instalados e/ou desativados. Ou seja, se almejada a máxima densidade possível, quanto menor o período abordado maior será a quantidade de postos disponíveis. (c) Em trabalho anterior, sumarizado acima, discute-se que o período de domínio do calor antropogênico caracterizou-se a partir do final da década de 80.

Agregaram-se registros da precipitação diária ( $p$ ) em função da posição do dia na semana, considerando o número de dias de registro ( $T$ ), o número de dias com registro em que  $p \geq 20\text{mm}$  ( $N$ ) e o total precipitado nos dias em que  $p \geq 20\text{mm}$  ( $P$ ). Para permitir a comparação entre classes, calcularam-se os valores médios  $P/N$ ,  $P/T$  e  $T/N$ . O mesmo procedimento foi aplicado na seleção dos 300 maiores totais diários em cada posto, para checar se com número de amostras equivalente em cada posto, a distribuição espacial obtida para  $p \geq 20\text{mm}$  se mantém. Sobretudo pela influência da posição das estações no relevo regional, há postos naturalmente mais chuvosos que outros, fato de conhecimento geral. Isto implica no fato de que no caso  $p \geq 20\text{mm}$ ,  $N$  e  $P$  variem muito dentre os postos por outro fator que não o investigado neste trabalho.

O levantamento inicial levou a 415 postos pluviométricos na área de estudo. Aplicou-se dois critérios para incorporação de cada posto; (a) a razão de dias com registro, face ao número de dias da década de 90, maior que 0,95 e (b) a razão de dias com registro por posição na semana, face ao número de dias na mesma posição da semana na década de 90, maior que 0,95. O rigor com que foi feita a seleção dos postos é um pouco menor, portanto, que a aplicada anteriormente (AZEVEDO 2001d). Como na etapa posterior, descrita adiante, não

seria realizada a comparação dos valores absolutos em cada posto, mas, sim, a determinação de superfícies de tendência aplicando margens de variância elevadas, os desvios de até 5% na amostragem inicial interclasses são incorporados e tornam-se desprezíveis. De fato, mais de 89% dos postos remanescentes tem registros válidos em mais de 97% da década de 90. Eliminaram-se também postos que apresentaram acúmulo extraordinário de precipitação na segunda-feira, precedidos de acúmulo nulo ou insignificante no domingo e/ou sábado. Este fato indica aqueles em que não se realiza a leitura nos finais de semana. Restaram 209 postos pluviométricos e, apesar do volume de dados tratados, ainda assim, a densidade é relativamente baixa face à área estudada e à hipótese em investigação.

Foi feita a homogeneização dos resultados por redução a superfícies de tendência admitindo desvios e/ou erros de caráter aleatório em cada posto pluviométrico. Empregou-se o método da Krigagem com variograma linear e variância elevada em dois passos. No primeiro aplicou-se o desvio padrão dos valores mapeados e no segundo a metade da variância dos mesmos valores. Este procedimento resulta em uma redução progressiva da precisão da posição das rugosidades espaciais e em *aumento da significância das mesmas*, eliminando ruídos aleatórios nos cartogramas. Ou seja, suprime-se progressivamente variações pequenas e não significativas, simplificando a interpretação dos resultados e aumentando a probabilidade de que as rugosidades remanescentes realmente representem tendências que de fato existam. Ao contrário do que se imagina, este método não é similar à interpolação linear por triangulação e ajuste manual das isolinhas. O que ocorre é que os produtos são muito parecidos quando se admite erro nulo no método da Krigagem. O que por sua vez, no caso de dados pluviométricos, é um pressuposto bastante discutível, embora empregado indiscriminadamente (AZEVEDO, 2001e). Suprimiu-se nos cartogramas a porção da superfície de tendência cujos valores são nulos pela aplicação de margens de significância arredondadas para o múltiplo de cinco acima. Foram representadas apenas as rugosidades remanescentes, facilitando a compreensão e simplificando a interpretação. Atribuiu-se valor neutro ou nulo, conforme o caso, à grade de pontos em meio e meio grau nas porções da área de estudo em que não há postos

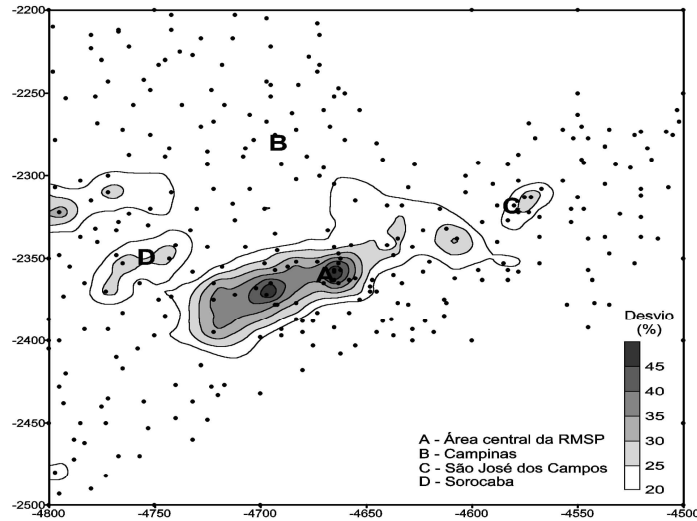
pluviométricos (NE – Sul de Minas Gerais, e SE – Oceano Atlântico) e de trechos da borda antes da geração das superfícies de tendência, forçando a exclusão automática destas áreas mal amostradas quando da aplicação das margens de significância. Em síntese, foram tomadas todas as precauções para que a dúvida ou falta de informação mais densa conduzisse à negação da hipótese em investigação. Os resultados apresentados adiante devem ser interpretados como rigorosos e conservadores. O tratamento dos dados foi realizado em planilhas do Programa Excel (Microsoft) com rotinas de busca e classificação em Visual Basic (Microsoft). Os cartogramas foram gerados através do Programa Surfer versão 6.

## 2. Resultados

São apresentados aqui quatro cartogramas que ilustram os resultados alcançados. Nos cartogramas 1 e 2, está representado o desvio percentual da ocorrência em dias úteis dos 300 maiores totais diários de precipitação em cada posto pluviométrico em relação à ocorrência em dias não úteis. No primeiro foi aplicado o desvio padrão dos valores pontuais como margem de erro para geração da superfície de tendência enquanto no segundo aplicada a metade da variância dos mesmos valores. Foi suprimida a porção de cada superfície de tendência entre 20 e -20%. Não restaram manchas com desvio negativo nos dois casos. No cartograma 1, há quatro manchas com desvio positivo significativo. A mais proeminente está localizada sobre a região central do cartograma e que se prolonga para sudoeste. Grosso modo, a área mais densa da mancha urbana da RMSP está localizada nesta mesma região central. No trecho do meio do prolongamento à sudoeste localizam-se Cotia, Embu e Taboão da Serra. Mais adiante não há ocorrência de manchas urbanas significativas. A observação mais atenta permite perceber que há dois esporões (adaptação da terminologia geomorfológica) que, da região central, apontam para a Região de Campinas e para o Vale do Paraíba do Sul. Neste último aparece uma pequena e sutil região com desvio positivo sobre São José dos Campos, a maior mancha urbana do Vale do Paraíba do Sul. A terceira região, com desvio positivo, localiza-se ao norte de Sorocaba, e a quarta sobre a Região de Sorocaba (menos significativos que na região central, mas muito bem caracterizados). Não há como explicar

satisfatoriamente o prolongamento à sudoeste da primeira e a terceira área com desvio positivo considerando apenas a sobreposição com manchas urbanas extensas. É possível inferir que em todos os casos haja transporte em direção à sudoeste por processos próprios da circulação regional em situações sinóticas específicas que favorecem o desenvolvimento vertical dos cúmulos. Desta feita, a terceira área seria mais bem

descrita dizendo que está à sudoeste da Região Metropolitana de Campinas. No restante da área estudada não é possível afirmar a partir dos registros pluviométricos disponíveis que as maiores precipitações tenderam a ocorrer preferencialmente nos dias úteis durante a década de 90. Nas regiões apontadas é bastante provável que ocorram as maiores precipitações de preferência nos dias úteis.

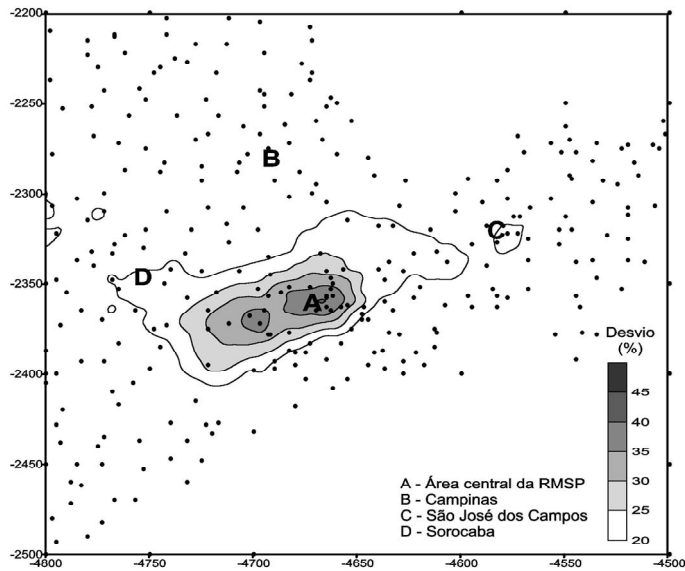


**Cartograma 01. Região Metropolitana de São Paulo e arredores.**  
**Desvio ponderado da ocorrência em dias úteis**  
**das 300 maiores precipitações diárias na década de 90.**  
**(Versão otimista - priorizando a localização das manchas)**

Quando -20% < desvio nos dias úteis < 20%, a frequência ponderada é equivalente à dos dias não úteis.  
O cartograma representa o resíduo da superfície de tendência obtida por krigagem com variograma linear (erro = desvio padrão).  
Organizado por Tarik Rezende de Azevedo a partir dos registros do Departamento de Águas e Energia Elétrica de SP.

O cartograma 2 permite dizer que, mesmo forçando a superfície de tendência a valores nulos, ao admitir que o erro em cada posto possa ser metade da variância de todos os pontos (ou seja, margem de erro muito alta), ainda assim, a rugosidade, ou saliência central se mantém. Embora se perca a possibilidade

de discutir a distribuição espacial em detalhe, tem-se a certeza de que, ao menos sobre a mancha urbana da RMSP, houve uma forte tendência a ocorrerem as 300 maiores precipitações em dias úteis na década de 90. O maior desvio chega pelo menos a 40%.

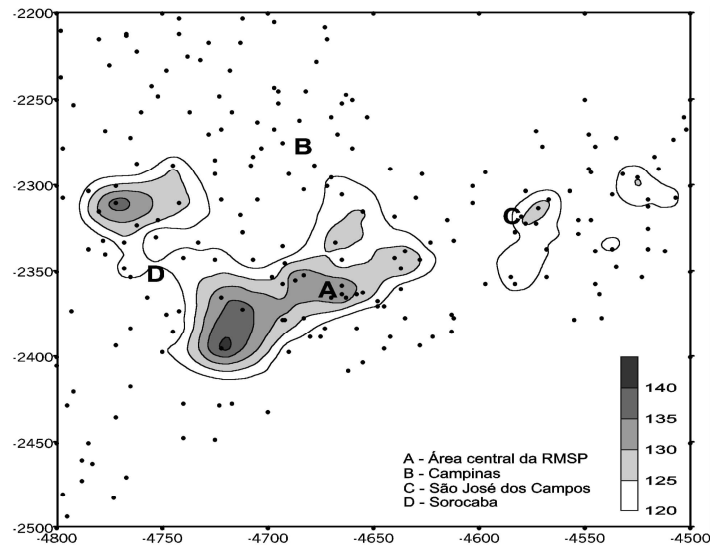


**Cartograma 02. Região Metropolitana de São Paulo e arredores.**  
 Desvio ponderado da ocorrência em dias úteis das 300 maiores precipitações diárias na década de 90. (Versão conservadora - forçando o desvio a valores nulos).

Quando  $-20\% < \text{desvio nos dias úteis} < 20\%$ , a frequência ponderada é equivalente à dos dias não úteis.  
 O cartograma representa o resíduo da superfície de tendência obtida por krigagem com variograma linear (erro =  $1/2$  da variância).  
 Organizado por Tarik Rezende de Azevedo a partir dos registros do Departamento de Águas e Energia Elétrica de SP.

O cartograma 3 é similar ao 1 trocando apenas a informação representada, neste caso a ocorrência de precipitação diária maior ou igual à 20mm em dias úteis em face dos dias não úteis. A distribuição espacial das manchas é grosseiramente a mesma, mas os picos ou áreas de maior desvio são deslocadas para sudoeste. O número de eventos considerados é, em média, maior que os

300 do cartograma 1. No entanto, o número de eventos selecionados varia significativamente dentre os postos. O cartograma obtido forçando a superfície a valores neutros (neste caso 100) apresentou feições muito semelhantes à do cartograma 2, não sendo necessária sua apresentação. Há, portanto, reforço das conclusões tiradas a partir da análise dos cartogramas 1 e 2.



**Cartograma 03. Região Metropolitana de São Paulo e arredores.**  
 Frequência relativa da precipitação maior ou igual à 20 mm nos dias úteis em relação aos não úteis na década de 90.

Frequência nos dias não úteis = 100.  
 O cartograma representa o resíduo da superfície de tendência obtida por krigagem com variograma linear (erro = desvio padrão).  
 Organizado por Tarik Rezende de Azevedo a partir dos registros do Departamento de Águas e Energia Elétrica de SP.

No Cartograma 4 é representada a média diária da precipitação maior ou igual à 20mm nos dias úteis usando o mesmo método e critérios dos cartogramas 1 e 3. O simples exame visual permite verificar impressionante

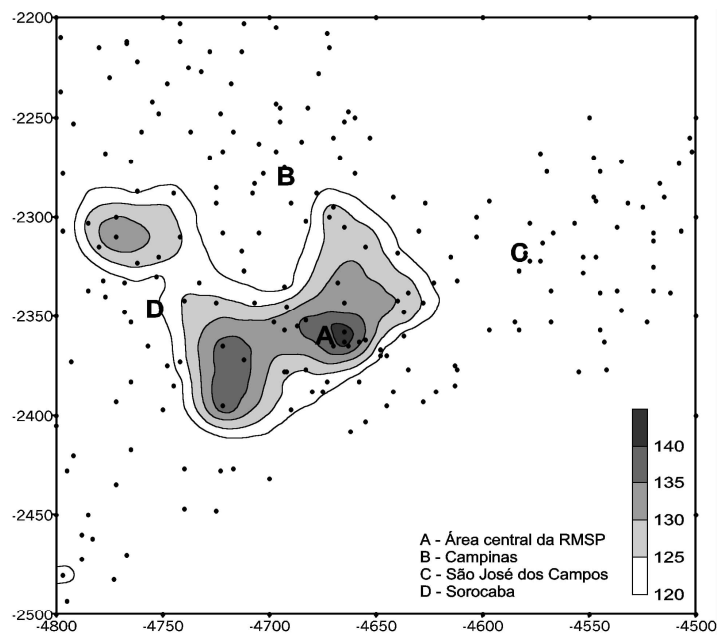
semelhança e coerência deste em relação aos outros dois. Exatamente sobre a área central da RMSP ocorre o trecho com desvios máximos. Equivale dizer que *sobre a área central da RMSP a média da precipitação de 20 ou mais milímetros*

diários foi no mínimo 40% maior nos dias úteis que nos dias não úteis durante os anos 90.

O projeto original desta investigação pressupunha que os desvios na frequência das maiores precipitações seriam mais sutis e significativamente afetados por outros elementos não considerados neste trabalho. Para distinguir os desvios em função da presença ou não de áreas urbanas, havia sido proposta a separação dos mesmos em três classes: no interior, na periferia imediata e fora de manchas urbanas. Posteriormente seriam determinados os índices morfológicos da curva de frequência dos desvios obtidos em cada classe. Finalmente, seria feito o mapeamento se os índices morfológicos das curvas de frequência fossem significativa e coerentemente diferentes. Para nossa surpresa, os desvios calculados resultaram eloqüentes. Pelo simples exame dos nomes dos postos pluviométricos no topo de uma lista ordenada em função dos desvios foi possível inferir qual seria a morfologia das superfícies de tendência resultantes do mapeamento.

Para permitir uma melhor compreensão da robustez do método e do

peso dos resultados apresentados acima, tomemos os mesmos procedimentos para análise altimétrica de uma área qualquer da qual ignora-se por completo como seja o relevo (o que é pouco verossímil já que toda a superfície da Terra já foi mapeada em diferentes escalas). Se os valores empregados para gerar o cartograma 2 fossem as altitudes dos postos pluviométricos (e essa fosse a única informação disponível para a representação do relevo) a superfície de tendência gerada seria quase lisa, com uma escharpa no sentido ENE-WSW. Não há nenhuma saliência significativa depois da aplicação das mesmas margens de significância, além de uma minúscula mancha em torno do Pico do Itapeva (que possui uma estação meteorológica em seu topo, caso raro em elevações desta natureza). Para que uma elevação análoga a dos resultados apresentados acima se destacasse na área estudada, seria necessário que uns vinte postos vizinhos estivessem espalhados num maciço montanhoso na região central da área estudada com uma altitude média de cerca de mil e oitocentos metros.



Cartograma 04. Região Metropolitana de São Paulo a arredores. Desvio da média diária da precipitação maior ou igual a 20 mm nos dias úteis em relação aos não úteis na década de 90.

Média dos dias não úteis = 100.  
O cartograma representa o resíduo da superfície de tendência obtida por krigagem com variograma linear (erro = desvio padrão).  
Organizado por Tarik Rezende de Azevedo a partir dos registros do Departamento de Águas e Energia Elétrica de SP.

#### 4. Discussão

Evidentemente há uma importante distinção a ser feita entre o total pluviométrico acumulado em um dia e o

conceito de precipitação intensa. Não é imediata a assertiva de que a precipitação intensa resulte nos maiores totais pluviométricos. No entanto, esta é a melhor aproximação possível do problema



que nos propusemos a investigar. Diga-se de passagem que, mesmo no caso do registro horário da precipitação (que é raro) o mesmo problema se coloca. A rigor, a intensidade da precipitação é a derivada da precipitação acumulada ao longo do tempo, variando ao longo da duração da chuva. Ou seja, só a análise e redução minuciosa de diagramas de pluviógrafos e/ou registros automáticos em intervalos ínfimos permite determinar a variação da intensidade da precipitação com rigor. O simples bom senso basta para perceber que este tipo de análise é tarefa inexecutável dadas as condições reais de pesquisa e dos registros dos quais se dispõe. Ao afirmar que tem ocorrido intensificação da precipitação oriunda de processos convectivos locais em função da intensidade da atividade urbana, estamos, de fato, colhendo evidências indiretas de que este fato tem ocorrido.

Comparando os cartogramas 3 e 4 é possível colher ao menos uma evidência indireta de que há intensificação da precipitação na RMSP nos dias úteis. Há que considerar um fato sutil. A frequência da precipitação com mais de 20mm tem sido significativamente maior, numa ordem de 40%, nos dias úteis, não exatamente sobre a área central da RMSP (cartograma 3). Na verdade, o pico deste desvio ocorre a sudoeste da RMSP e decresce em direção à área central, onde ainda é positivo, mas com valores de 25 a 30%. O padrão da distribuição do desvio da média diária (que, neste caso, nada mais é que uma estratégia para compensar o fato de que não há o mesmo número de dias úteis e não úteis) obedece a um padrão inverso, o pico ocorre sobre a área central da RMSP e diminui em direção à sudoeste. O fato de, nos dois casos aparecer um "colo" no meio do trecho é efeito da ausência de postos pluviométricos dos quais pudessem ser aproveitados os dados neste local. Como se adotou o princípio de "forçar" à negação da hipótese em investigação no caso de falta de informação, a superfície de tendência foi "rebaixada" neste trecho. Pois bem, se a relação espacial entre o total precipitado e a frequência é inversa e se o desvio na média diária é maior que na frequência na área central da RMSP, conclui-se que o tipo de precipitação em questão tem tido intensidade maior na área central e que a mesma reduz-se progressivamente em direção à sudoeste. A não ser que ocorra um outro processo, muito pouco provável, que é o aumento significativo da duração de cada precipitação em dias úteis em relação aos

não úteis em direção à área central da RMSP. Neste caso, então, não diríamos que há aumento da intensidade, mas que chove efetivamente mais e durante mais tempo nos dias úteis, além de chover mais vezes, o que já seria bastante interessante.

O deslocamento para sudoeste da precipitação mais "intensa" pode ser explicado hipoteticamente a partir de dois fatores que possivelmente atuam em conjunto.

(a) A primeira hipótese é a de que a intensificação dos processos convectivos locais depende fundamentalmente de condições regionais da estrutura vertical da troposfera e da camada de mistura, sobretudo da chamada circulação secundária. Em trabalho anterior (AZEVEDO, 2002), é analisado em detalhe o registro horário da precipitação na Estação Meteorológica da Água Funda. Pode-se afirmar categoricamente que, ao menos naquele ponto, a precipitação tem sido mais freqüente, intensa, e resultado em maior total nos dias centrais da semana principalmente no final da tarde e início da noite. Este fato nos permite inferir que realmente se trata de precipitação oriunda de processos convectivos locais. Como quase todos os eventos ocorrem no período de primavera-verão, como a exacerbação do efeito do calor antropogênico deve ocorrer quando a umidade específica da baixa troposfera é maior e pelo fato de que há deslocamento de parte da precipitação para sudoeste da RMSP, parte dos eventos deve ocorrer nas bordas da massa tropical atlântica. Sobretudo quando seu centro de ação está mais ao sul, com ventos de NE sobre a região da RMSP. Poderia ser na presença da linha de instabilidade entre a tropical continental e a tropical oceânica e/ou calhas induzidas no interior da própria tropical atlântica. Em casos mais raros quando a Equatorial Continental domina o interior do continente e, no contato com a tropical atlântica, forma um "corredor" dirigindo a corrente de ventos que na origem constitui os alísios, em direção ao sudeste brasileiro. Poderia ser também, numa terminologia mais atual, na presença da ZCAS. Enfim, são apenas conjecturas.

(b) A segunda hipótese é a de que o elemento que ativa e/ou intensifica boa parte dos processos convectivos locais é a entrada e derramar da brisa oceânica sobre o Planalto Atlântico durante à tarde e/ou início da noite. É justamente na área do Planalto Atlântico no trecho de SP se dá a maior penetração da brisa em direção ao

interior do continente. Frequentemente atinge a borda da Depressão Periférica e avança ainda mais. Na borda da depressão ocorre o limite da ocorrência de stratus e strato-cúmulus associados à brisa por efeito de Föhn. Infelizmente não há literatura que aborde detalhadamente os aspectos dinâmicos da entrada da brisa nesta área do continente. É provável que os fluxos da brisa sofram desvios e mudanças de direção em função das peculiaridades do relevo regional. A calmaria que precede a inversão da brisa é o período favorável para a exacerbação dos efeitos da cidade sobre o campo de temperatura e pressão. Além disto, é fato conhecido, embora pouco estudado, o "giro" da brisa (ao invés da simples inversão de direção), tal como registrada na Estação Meteorológica da Água Funda. A entrada da brisa nesta região do Continente muitas vezes ocorre como um fluxo que começa muito fraco e quase paralelo à escarpa da Serra do Mar no final da manhã e/ou início da tarde (de ENE-NE) e gradativamente vai "girando" até assumir a direção típica de ESE-SE. É possível que a intensificação dos processos convectivos e precipitação do qual trata este trabalho ocorra neste período inicial que precede a entrada da brisa oceânica propriamente dita. Lembrando que o ar continental também entra em movimento e, antes da chegada do ar mais fresco e úmido, o processo da brisa já está atuante. Há também que considerar que a mancha urbana de RMSP é muito extensa. A porção mais próxima a Serra do Mar recebe o ar mais fresco e úmido antes que o extremo NW, embora, ao que tudo indica, não haja na literatura referência à investigação sistemática deste fato. Não sabemos sequer quanto tempo o ar mais fresco e úmido demora em "varrer" a mancha urbana de ponta a ponta.

Há um segundo processo ainda não estudado sistematicamente que diz respeito a brisas em baixos níveis entre o Vale do Paraíba e a Bacia de São Paulo. A observação de campo nos permite inferir que no período de inversão da brisa oceano-contidente, há um fluxo sensível do Vale em direção à Zona Leste da área urbana, sobretudo no final da manhã e/ou início da tarde. Nesta porção da metrópole resulta na entrada de vento de NE. Frequentemente os municípios do extremo nordeste da RMSP são cobertos por extenso tapete de strato-cúmulus em baixa altitude, algumas vezes rente ao solo, derivados da elevação "forçada" do ar que derrama do Vale em direção à Bacia de São Paulo (ou talvez seja

"sugado" para a Bacia de São Paulo quando ocorre intensificação da brisa urbana nos dias centrais da semana (AZEVEDO e TARIFA, op cit)). É possível também que este fenômeno esteja relacionado à atuação da borda do anticiclone tropical atlântico, ou até mesmo seja parte integrante da brisa continental.

Há que considerar ainda que há, no universo de eventos abordado, a ocorrência de precipitação gerada nas passagens frontais. Nem todas as passagens frontais resultam em precipitação intensa e/ou elevados totais diários, mas muitos eventos extremos estão associados às mesmas (MONTEIRO, 1973). Uma hipótese secundária, mas pouco provável, é que seja durante o ápice da instabilidade pré-frontal que ocorram os eventos tratados. No entanto, não nos ocorre explicação para o deslocamento da área de ocorrência do fenômeno aqui tratado para sudoeste. O mais plausível, neste caso, seria o deslocamento para sudeste. A não ser que tenha ocorrido com frequência excepcional na década de 90 o que o autor acima tratou em seus trabalhos como frente polar reflexa. Ou, ainda, que a brisa oceânica tenha um papel importante na gênese das trovoadas pré-frontais, hipótese sequer abordada na literatura, mas plausível. De qualquer forma, a passagem frontal tende a desencadear precipitação generalizada numa sucessão normalmente no sentido SW-NE. Isto deve resultar em ocorrência de precipitação dentre os postos bastante distinta em relação ao caso das outras duas hipóteses levantadas anteriormente.

A reconstituição da evolução horária das condições sinóticas e/ou do ritmo da circulação secundária, assim como do mecanismo da brisa da década de 90, por ora, é tarefa inexequível. Mas, a partir deste trabalho é possível tomar um atalho. Ao invés de realizar análise da década, poderiam ser selecionadas as datas em que ocorreram as maiores precipitações. Não é possível dizer por ora exatamente quantos dias representam já que os 300 dias com maior precipitação não são os mesmos em todos os postos. A caracterização sinótica e dos momentos do ritmo da circulação secundária que favorecem a ocorrência de precipitação mais intensa nos dias úteis permitiria uma primeira aproximação dos processos intervenientes a partir da investigação do próprio objeto. O que foi possível até o momento foi levantar conjecturas e esboçar explicações e/ou cadeias de

causalidade hipotéticas, que, embora coerentes e plausíveis, não bastam; há que haver um *sólido lastro empírico* que as confirmem.

## 5. Conclusões

Durante a década de 90 a frequência, a intensidade e o total precipitado nos 300 dias com maiores totais pluviométricos, assim como naqueles dias com totais pluviométricos iguais ou maiores que 20mm, foi, no mínimo, 40% maior nos dias úteis em relação aos dias não úteis sobre a porção central da RMSP, diminuindo para cerca de 20% nas bordas (já ponderado o fato de

que ocorrem mais dias úteis do que não úteis). Há evidências de que o fenômeno não se limitou a RMSP, estendendo-se por outras áreas que compõe o complexo urbano em formação apontado como Megalópole Rio - São Paulo. Por outro lado, há evidência de que ocorre deslocamento lateral do fenômeno à sudoeste das manchas urbanas. Possivelmente em função da ocorrência preferencial do tipo de precipitação considerada num arranjo específico da circulação secundária que favoreça o desenvolvimento vertical dos cúmulos e/ou em função da dinâmica do mecanismo de brisa continente-oceano nesta região.

## Bibliografia

- 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. FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AZEVEDO, T. R. de (2001b). "O fluxo de calor gerado pelas atividades humanas no estudo climático da Região Metropolitana de São Paulo" in TARIFA, J. R. & AZEVEDO, T. R. de, orgs., *Os climas da cidade de São Paulo: teoria e prática*, Coleção Novos Caminhos, n. 4, Departamento de Geografia, FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AZEVEDO, T. R. de (2001c). "Dramas climáticos e responsabilidade social: a relação entre o ritmo das atividades econômicas - dias de trabalho e descanso - e o clima urbano" in *Política & Trabalho*, n.17. UFPB, João Pessoa.
- AZEVEDO, T. R. de (2001d). "A atividade urbana faz com que os dias 'úteis' sejam mais chuvosos na Região Metropolitana de São Paulo" in *anais do IX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Universidade Federal do Recife, Recife.
- AZEVEDO, T. R. de (2001e). "Distribuição espacial da chuva: um ensaio metodológico" in TARIFA, J. R. &
- AZEVEDO, T. R. de, orgs., *Os climas da cidade de São Paulo: teoria e prática*, Coleção Novos Caminhos, n. 4, Departamento de Geografia, FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AZEVEDO, T. R. de (2002). "Precipitação na Cidade de São Paulo em função da atividade urbana" in *Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Foz do Iguaçu, Sociedade Brasileira de Meteorologia.
- AZEVEDO, T. R. de & TARIFA, J. R. (2001). "O fluxo de calor gerado pelas atividades humanas no estudo climático da Região Metropolitana de São Paulo" in *GEOUSP* n.9. Departamento de Geografia, FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ESTADO DE SÃO PAULO (2000). *Balanço Energético do Estado de São Paulo*. Secretaria de Minas e Energia do Governo do estado de São Paulo.
- FUNARI, F. L. (1983). *Insolação, radiação solar global e radiação líquida no Brasil*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MONTEIRO, C. A. F. (1973). *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- TOJO, J. F. (1998). *La ciudad y el medio natural*. Akal Editora, Madri

