

# O impacte da poluição atmosférica urbana na precipitação ao fim de semana - um estudo de caso no Porto (1978-2000)

Ana Monteiro \*

## Resumo

A reflexão sobre o contributo do *modus vivendi* urbano na ocorrência de precipitação ao fim de semana que nos propusemos fazer a partir dos registos diários de precipitação da estação de Porto-Serra do Pilar entre Janeiro de 1978 e Dezembro de 1998, permitiu-nos observar que o número de fins de semana em que choveu, pelo menos num dos dias, foi considerável. Dos 1096 fins de semana analisados verificamos que choveu em 589 (54%). A análise da distribuição dos fins de semana chuvosos por cada um dos meses, ao longo dos vinte anos em análise, pode contribuir para nos questionarmos sobre a magnitude dos impactos provocados pelo Homem na quantidade e no ritmo de distribuição da precipitação à escala local e regional.

## Palavras chave:

Urbanização, poluição atmosférica, longevidade das nuvens, crescimento das nuvens, precipitação ao fim de semana.

## Résumé:

L'étude qu'on se propose à faire, sur l'influence du *modus vivendi* urbain sur la fréquence de la précipitation en fin de semaine (*week end*), est basée sur les registres journalières des précipitations dans le poste météo de Porto-Serra do Pilar entre janvier 1978 et décembre 1998 et permet de vérifier comme il pleut dans un nombre considérable de *week ends* (au moins dans un des deux jours). Des 1096 *week ends* analysés il a plu en 589 (54%). L'analyse de la distribution des *week ends* pluvieux pour chaque un des mois, tout au long des vingt ans étudiés, peut poser la question de l'importance des impacts provoqués par l'homme sur la quantité et le rythme de la distribution de la précipitation à l'échelle locale et régionale.

## Mots clés:

Urbanization, pollution atmosphérique, longévité des nuages, accroissement des nuages, précipitation en fin de semaine.

## Abstract:

The study we proposed to carry out, about the influence of the urban *modus vivendi* on the occurrence of weekend rainfall, based on the daily precipitation records of the Porto-Serra do Pilar station, between January 1978 and December 1998, allowed us to observe that it rained on a considerable number of weekends (at least on one of the days). Of the 1096 weekends analysed, we verified that it rained on 589 (54%).

The analysis of the rainy weekends distribution per month, during the twenty years under study, may contribute towards the need to question the magnitude of the **Mankind's impacts on climate**, and specially on the quantity and rhythm of rainfall distribution at a local and regional scale.

## Key words:

Urbanisation, atmospheric pollution, cloud longevity, cloud growth, weekend precipitation.

## Introdução

A percepção que o cidadão comum tem do comportamento de um *elemento climático* como a precipitação não depende necessariamente da invulgaridade do seu comportamento. É sobretudo determinada pelos impactos que causa, pela probabilidade de se repetir a curto prazo, pelo pormenor do registo que é arquivado na memória e pelo grau de compreensão das relações de causalidade envolvidas.

As sociedades modernas têm optado por viver cada vez mais em tecidos territoriais onde as pessoas exercem uma enorme pressão sobre o solo e sobre outros recursos naturais a um ritmo quotidiano que aumenta substancialmente as suas condições de insegurança e as torna mais vulneráveis à variabilidade intrínseca ao *sistema climático*.

A partir dos anos 70, a climatologia iniciou um processo de competição pela atenção sobre o seu objecto de estudo que incluiu interesses de investigação onde os riscos climáticos associados aos *episódios catastróficos* e ao *aquecimento global* ganharam um indiscutível protagonismo.

\* Professora. Departamento de Geografia da Universidade do Porto, Portugal, telef. (351) 22 6077145, email: anamnt@letras.up.pt.

Questões-chave como a de saber se os *riscos climáticos* aumentaram porque o número de episódios extremos se tornaram mais frequentes ou porque os factores de vulnerabilidade cresceram, têm alimentado, durante as últimas três décadas, inúmeros debates científicos e extravasado para os *media*.

Uns defendem que a variabilidade é intrínseca ao Sistema Climático. Enquanto sistema caótico é passível de ser percebido e descrito, mas é imprevisível, já que a sua organização e modo de funcionamento é invisível. As suas reacções impulsivas a processos de acumulação de tensões, podem manifestar-se muitas vezes por episódios extremos dos quais existem vários testemunhos desde o aparecimento do planeta.

Outros, sem descurar esta variabilidade inerente ao clima que sempre se fez sentir através de flutuações climáticas mais ou menos lentas ou por episódios extremos, sublinham, na sua investigação, as manifestações de mudança climática provocadas pelo Homem, procurando avaliar a importância das acções antrópicas na alteração de mosaicos climáticos a diferentes escalas espaciais e temporais.

Incluimos neste último grupo a reflexão sobre o contributo do *modus vivendi urbano* na ocorrência de precipitação ao fim de semana que nos propomos fazer.

A ocorrência de precipitação à superfície da terra é o resultado de um conjunto de processos de mudança do estado físico da água e de crescimento das gotas

que acontece na baixa atmosfera e cuja complexidade conhecemos.

A importância das características da massa de ar presente, do tipo de movimentos verticais e horizontais que nela se geram e o posicionamento relativo dos diversos tipos de aparelhos barométricos à superfície e em altitude, não nos permite atrever a imaginar que o Homem, ao libertar para a atmosfera energia, partículas e compostos gasosos, durante as suas actividades quotidianas, possa ser “o” factor determinante da distribuição semanal da precipitação.

No entanto, parece-nos legítimo questionarmo-nos sobre o papel que estes *inputs*, de origem antrópica, podem ter na distribuição semanal da precipitação entendendo-a também como um processo de *limpeza* da atmosfera (Fig. 1).

De segunda a sexta, a atmosfera das áreas urbanas vai assistindo a uma acumulação de partículas e compostos gasosos diversos que facilitam o aparecimento de “ilhas de calor” e, segundo alguns autores, podem impedir a condensação da água das nuvens alterando o normal mecanismo de crescimento das gotas e a posterior queda de hidrometeoros.

Ao fim de semana, quando a pressão antrópica diminui, a baixa atmosfera poderá recuperar os seus processos de purgação dos elementos estranhos – partículas, poeiras, etc. – utilizando-os como núcleos de condensação essenciais à formação e crescimento das gotas de água da precipitação.

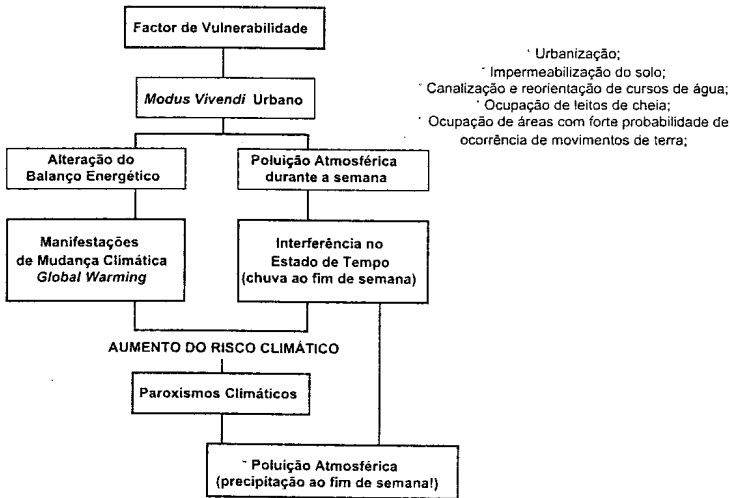


Fig. 1 - Potenciais impactes antrópicos na ocorrência de precipitação ao fim de semana.

A ser assim, justificar-se-ia a percepção frequentemente verbalizada pelo cidadão comum de que “só chove ao fim de semana”. Compreender-se-ia que o Homem pode ser também co-responsável pelos prejuízos que lhe causa a chuva aos fins de semana.

Para este exercício analisámos os registos diários de precipitação, entre Janeiro de 1978 e Dezembro de 1998, da estação de Porto-Serra do Pilar (Fig. 2 e 3).

artificialização do suporte biogeofísico e uma considerável degradação da qualidade dos solos, dos recursos hídricos e do ar.

A região portuense – 41°N de latitude e 8°W de longitude - inscreve-se no extremo sudoeste do continente europeu e é a primeira porção de área continental com que se confronta o fluxo de ar de oeste depois de atravessar o Oceano Atlântico (Fig. 2). Os estados de tempo que se sucedem no Porto

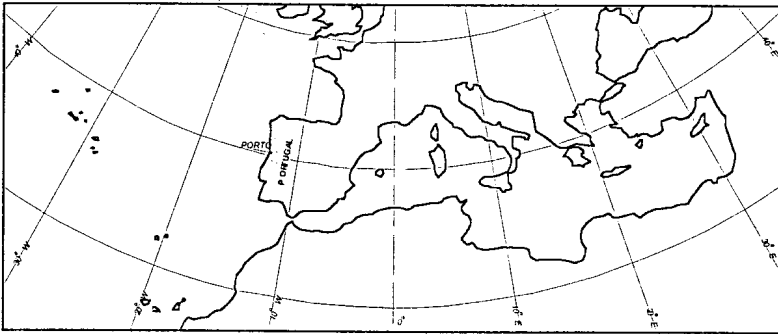


Fig. 2 – Localização de Portugal na cintura das perturbações de oeste.

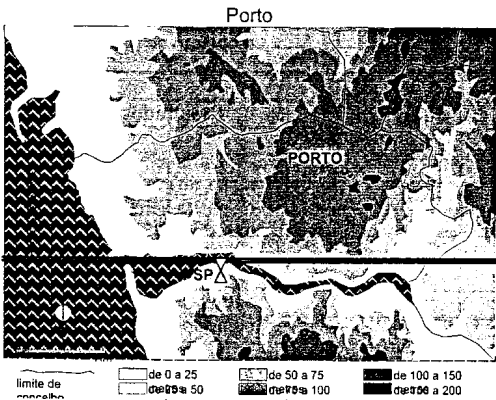
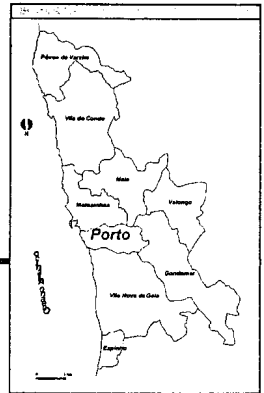


Fig. 3 – Localização da estação climatológica de Porto-Serra do Pilar (PSP), na Área Metropolitana do Porto.



Área de trabalho, método e elementos de estudo

A estação climatológica de Porto-Serra do Pilar localiza-se no seio da Área Metropolitana do Porto (AMP). A AMP alberga 1 167 800 residentes e assiste, diariamente, à circulação de mais de 600 000 veículos (Fig. 4). Durante a segunda metade do século XX, a AMP, viveu uma intensificação do seu processo de urbanização que obrigou a uma crescente

reflectem a forte influência do Anticiclone dos Açores e das ondulações da Frente Polar que ora o colocam sob a influência da massa de ar tropical, ora da polar.

À superfície, em Portugal Continental, são mais frequentes os tipos de tempo associados a situações anticiclónicas do que a depressionárias (Fig. 5). Em altitude, predominam as circulações meridianas sobre as zonais e, dentre aquelas, são mais frequentes as do tipo ondulatório (Fig. 6).

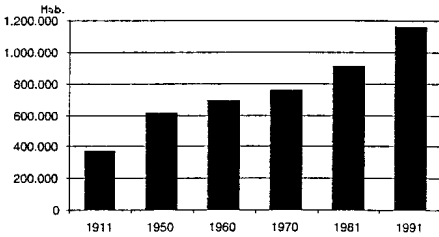


Fig. 4 - População residente na Área Metropolitana do Porto (1911-1991).

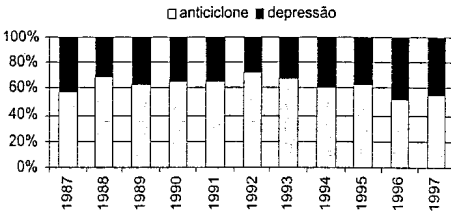


Fig. 5 - Comparação entre a frequência de ocorrência de situações anticiclónicas e de depressão na baixa atmosfera em Portugal (1987-97).

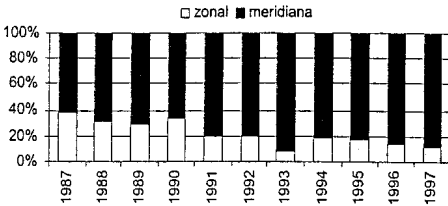


Fig. 6 - Comparação entre a frequência de ocorrência de situações de circulação zonal e meridiana em altitude sobre Portugal (1987-97).

A análise dos totais mensais de precipitação, ao longo do século XX, traduz claramente esta posição geográfica litoral e desabrigada, relativamente à influência do ar húmido proveniente do oceano Atlântico (Fig. 7). Só Julho e Agosto registam, habitualmente, totais mensais baixos (< 40 mm). Todos os outros meses do ano têm, em média, totais mensais acima de 50 mm.

A **irregularidade** da precipitação total mensal é **muito grande** em qualquer mês e de ano para ano. A época, habitualmente, *mais pluviosa* coincide com o período entre Novembro e Março. O mês mais seco é Julho para os lugares mais próximos do litoral e Agosto para os mais afastados.

O cidadão residente no Porto memorizou portanto, ao longo dos anos, que a precipitação começa a

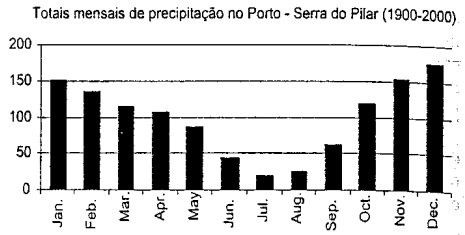


Fig. 7 - Precipitação total mensal no Porto durante o séc. XX.

aumentar em Outubro, culmina em Dezembro e diminui, gradualmente, até Julho. Sabendo que a precipitação é, habitualmente, indesejada pelo o cidadão urbano<sup>1</sup>, em qualquer época do ano, mais se reforça a repulsa, relativamente a este elemento climático, quando ocorre em momentos menos habituais, em sequências excessivamente longas ou num ritmo semanal que, insistentemente, coincide com os fins-de-semana.

Propusemo-nos então verificar se para além do “desarranjo estacional” da precipitação, que procurámos demonstrar noutros contributos (MONTEIRO, 1997), também é verdade que a sua distribuição semanal tem evidenciado uma insistente ocorrência ao fim de semana. Dando, nesse caso, razão aos que se lamentam da frequência com que, cada vez mais, “vêm o seu momento de descanso semanal prejudicado”<sup>2</sup>.

### Resultados da análise

Durante o período 1978-1998 não houve precipitação, no Porto, em 3945 dias (52%). Os totais diários de chuva acima de 40mm apenas ocorreram em 1% dos dias (77). A precipitação diária média foi de 3,4 mm.

Dos restantes 3725 dias (48%), com precipitação, 510 (14%) coincidiram com domingos e 550 (15%) com sábados (Fig. 8).

Constatamos que das 1096 semanas analisadas houve 589 (54%), em que **choveu ao fim de semana** (sábado e/ou domingo).

Ao observar o número de fins de semana chuvosos no Verão (Quadro I), verificamos que foram escassos os anos em que não ocorreu precipitação em nenhum fim de semana. Sabendo que num contexto climatológico como o portuense, os hábitos de lazer e recreio ao ar livre são os mais desejados ao fim de semana sobretudo no Verão, compreende-se que o registo na

<sup>1</sup> Para um agricultor a precipitação é, quando as culturas precisam, benévola, mas para o cidadão urbano significa desconforto, congestionamento de tráfego, aumento das distâncias-tempo, etc.

<sup>2</sup> Num contexto climático, como o português, as actividades de lazer e recreio são, quase sempre, ao ar livre.

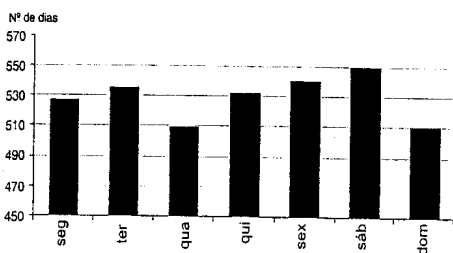


Fig. 8 - Frequência de ocorrência de precipitação no Porto em cada um dos dias da semana (1978-98).

memória destas ocorrências no cidadão comum seja especialmente vinculada.

Quando procurámos o número de segundas feiras sem chuva que sucederam a um fim de semana chuvoso (Quadro II), então percebemos a ideia de "castigo" que a população memoriza e que justifica a ideia verbalizada que: "chove ao fim de semana e está bom tempo quando vamos trabalhar".

## Discussão e Conclusões

A existência, na atmosfera portuguesa, de uma grande quantidade de pequenas partículas resultantes dos inúmeros processos de combustão de origem antrópica (indústria, aquecimento doméstico, veículos ligeiros e pesados, etc.), podem impedir quer o crescimento, por coalescência, das gotas de água das nuvens, quer a formação dos cristais de gelo essenciais para aumentar o diâmetro das gotas das nuvens até aos 12µm necessários para precipitarem (ROSENFELD, 2000, p. 1795).

De facto, no Porto, a degradação da qualidade do ar testemunha o ritmo a que se processa o *metabolismo* urbano (MONTEIRO, 1997, p. 351).

O uso do meio de transporte privado, utilizado com uma baixa ocupação é uma das principais causas da poluição atmosférica e, conseqüentemente, das alterações climáticas detectadas em espaços urbanizados (Quadro III).

Embora não seja fácil estabelecer uma relação de causalidade entre a fonte emissora e o local onde se faz sentir a contaminação da atmosfera, sobretudo quando se trata de compostos gasosos com tempos

Quadro I  
Número de fins de semana em que choveu pelo menos um dos dias.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1978	2	3	4	4	0	2	0	0	0	3	1	5
1979	4	3	3	2	2	1	1	1	1	4	4	4
1980	2	3	4	1	4	2	2	4	3	3	4	2
1981	2	2	4	3	3	0	0	1	2	3	3	4
1982	5	3	1	3	1	3	1	2	2	4	4	4
1983	2	3	3	5	2	0	3	2	3	3	3	3
1984	4	2	3	2	3	1	2	1	2	4	3	5
1985	3	2	4	3	2	3	2	2	0	2	4	4
1986	3	3	4	3	2	1	0	4	3	3	3	4
1987	3	3	2	3	1	2	0	3	2	5	3	4
1988	3	2	1	4	4	1	2	0	0	3	4	4
1989	1	3	1	4	1	2	0	0	0	3	4	2
1990	2	3	1	2	3	2	1	0	1	3	3	2
1991	1	3	4	3	0	3	2	1	2	2	4	3
1992	0	1	1	3	3	1	0	1	1	3	3	2
1993	1	0	2	3	3	1	0	2	1	4	3	3
1994	4	4	1	3	3	3	2	1	2	3	4	3
1995	2	4	3	1	1	1	3	1	2	1	4	4
1996	4	3	4	2	2	0	1	3	1	3	3	4
1997	3	2	0	2	4	3	0	2	1	3	4	4
1998	4	1	1	4	4	1	0	0	3	3	4	2

x Meses com maior nº de fins de semana chuvosos

**Quadro II**  
Número de segundas-feiras sem chuva após um fim de semana chuvoso

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1978	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
1979	2	0	0	1	0	0	2	1	0	1	1	2
1980	1	2	3	0	1	1	0	4	2	2	1	2
1981	2	1	1	2	1	0	0	1	1	1	3	1
1982	2	0	0	0	1	1	1	2	1	3	2	1
1983	2	1	2	0	0	0	1	1	1	2	0	1
1984	0	1	0	1	1	0	2	1	0	2	0	2
1985	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1
1986	0	1	2	1	1	0	0	3	1	0	1	0
1987	1	2	1	2	0	1	0	2	1	3	2	3
1988	0	1	0	1	2	0	1	0	0	1	1	0
1989	1	2	1	1	0	2	0	0	0	2	1	0
1990	2	1	0	0	3	1	2	0	0	0	1	0
1991	1	3	1	2	0	3	1	1	2	0	0	1
1992	0	0	0	3	2	1	0	0	1	2	2	0
1993	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1
1994	0	0	1	1	1	3	2	1	0	0	2	2
1995	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1
1996	0	0	2	1	0	0	1	1	0	1	1	0
1997	1	0	0	0	2	2	0	2	0	1	0	1
1998	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1

x Número de segundas sem chuva após fins de semana chuvosos

de residência na atmosfera consideráveis e distâncias de transporte relativamente longas<sup>3</sup>, parece cada vez mais inequívoco o papel do transporte privado na delapidação da qualidade do ar.

No caso da AMP, os 600000 veículos que, diariamente, nela circulam, permitem estimar<sup>4</sup> consoante o tipo de veículo, o tipo de combustível utilizado ou a velocidade de circulação, uma considerável quantidade de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> e Pb quotidianamente expelidos para a atmosfera (Quadro III).

A presença destes compostos químicos poluentes na atmosfera traduz um ritmo semanal (Fig. 9) que pode ajudar a entender os argumentos a favor do papel inibidor do crescimento das gotas de água das nuvens que o metabolismo urbano provoca ao disponibilizar um excessivo número de partículas microscópicas na atmosfera durante a semana (Fig. 10). A condensação em torno destas partículas microscópicas prolonga a longevidade das nuvens sobre a cidade mas não as deixa atingir o tamanho mínimo necessário para se precipitarem (> 12µm).

**Quadro III**  
Estimativa de emissões do tráfego automóvel da Área Metropolitana do Porto (1997)

Nº de veículos	Velocidade (km/h)	Emissões (kg/km)			
		CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
600 000	35	12 600	1 560	1 080	19 800
	100	9 600	1 080	2 280	18 600

Distribuição semanal dos dias com poluição superior ao percentil 90

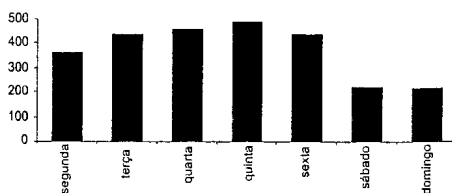


Fig. 9 – Número de dias em que a concentração de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> ou Pb ultrapassou o percentil 90 na Área Metropolitana do Porto (1989-97).

<sup>3</sup> O CO pode permanecer cerca de dois meses na atmosfera. O NO e NO<sub>x</sub> podem permanecer um dia e meio na atmosfera. O SO<sub>2</sub> pode permanecer cinco dias na atmosfera. O Pb pode permanecer alguns minutos na atmosfera.

<sup>4</sup> MINISTRY OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, *Handbook of emission factors, non-industrial sources*, The Hague, 1980, p. 64-65.

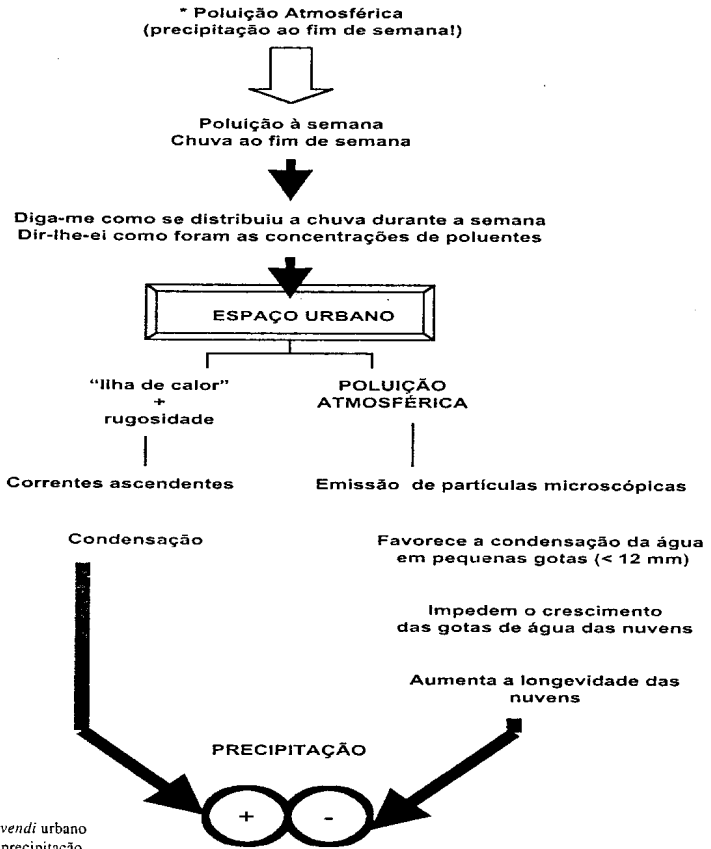


Fig. 10 - Impacte do *modus vivendi* urbano no ritmo semanal da precipitação.

Não sendo a precipitação um fenómeno simples determinado exclusivamente por factores locais, parece, no entanto, que não é absolutamente imune ao *modus vivendi* urbano.

Pese embora a maior rugosidade artificial e a presença de "ilhas de calor" que tipifica qualquer cidade (MONTEIRO, 1997), facilitar a formação de correntes ascendentes promotoras de condensação do vapor de água que conduz à formação de nuvens, não é líquido que a precipitação aumente com a poluição atmosférica, nem ocorra apenas na periferia das grandes cidades seguindo a direcção e o sentido dos fluxos de ar dominantes. A cidade pode ser vítima dos efluentes gasosos que excreta para a atmosfera nos momentos em que as fontes diminuem as suas emissões, isto é, ao fim de semana (Fig. 10).

#### Referências Bibliográficas

- CAREY, John (1998) - "Rainy weekend? It's your fault", *Business Week*, August 17, New York, p.57.
- DESSENS, Jean et al. (2001) - "Day-of-the-week variability of hail in southwestern France", *Atmospheric Research*, January, 2001, (submitted).
- Ministry of Health and Environmental Protection (1980) - *Handbook of emission factors, non-industrial sources*, The Hague.
- MONTEIRO, Ana (1997) - MONTEIRO, A., *O clima urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*, FCG/INICT, Porto, 486p.
- ROSENFELD, Daniel (2000) - "Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution", *Science*, March, vol. 287, p.1793.