

Margarete Cristiane de Costa Trindade AMORIM<sup>1</sup>

**RESUMO:** Este artigo discute as questões teóricas e metodológicas referentes aos estudos de clima urbano. Analisa como a cidade provoca mudanças no clima local, considerando-a como modificadora importante do clima regional. Explicita como a estrutura urbana associada ao dinamismo da cidade, altera o balanço de radiação da superfície devido à substituição dos materiais naturais pelos materiais urbanos. Dentre as interferências da urbanização no clima, destacam-se os fenômenos conhecidos como ilha de calor, poluição do ar, chuvas intensas, inundações, etc. Enfatiza também a importância da relação entre as diferentes escalas geográficas, desde a zonal até a local, no estudo do clima urbano.

**Palavras chave:** clima urbano, ilha de calor, balanço de energia, conforto térmico.

Estudos relevantes sobre o clima urbano (Bryson & Ross, 1972; Chandler, 1965; Landsberg, 1981; Lowry, 1977; Monteiro, 1976 e Oke, 1978) concordam que a cidade atua como um fator modificador importante do clima regional e cria condições específicas na atmosfera, definidas como clima urbano. Os principais responsáveis pelas especificidades são as construções, os tipos de materiais, o traçado das ruas, a circulação de veículos, as indústrias e as atividades humanas.

O campo também sofreu transformações na paisagem no decorrer do tempo mas, é nas cidades, que os efeitos do ar modificado produzem alterações nos elementos climáticos de maneira mais intensa. Na perspectiva geográfica, além das diferenças existentes entre a cidade e o campo, torna-se fundamental a compreensão dos mecanismos geradores das diferenças que existem no interior da própria cidade e que interferem de maneira negativa na qualidade de vida das pessoas.

O processo de urbanização altera o balanço de radiação da superfície devido à substituição dos materiais naturais pelos materiais urbanos. As tabelas 1 e 2 organizadas por Oke (1978 e 1987) mostram as propriedades radiativas de materiais urbanos e rurais que comprovam as mudanças nos processos de absorção, difusão e reflexão da radiação, sofrida pela atmosfera, acarretando mudanças locais.

<sup>1</sup> Professora do Departamento de Geografia da FCT -UNESP. e-mail: amorim@stetnet.com.br

Do ponto de vista meteorológico o estudo do clima urbano atingiu um estágio de caracterização de seus aspectos fundamentais que podem ser assim apresentados:

- a) o clima urbano é a modificação substancial de um clima local, não sendo possível ainda decidir sobre o ponto de concentração populacional ou densidade de edificações em que essa notável mudança se principia;
- b) admite-se que o desenvolvimento urbano tende a acentuar ou eliminar as diferenças causadas pela posição do sítio;
- c) da comparação entre a cidade e o campo circundante, emergiram os seguintes fatos fundamentais: 1) a cidade modifica o clima através de alterações em superfície; 2) a cidade produz um aumento de calor, completada por modificações na ventilação, na umidade e até nas precipitações, que tendem a ser mais acentuadas; 3) a maior influência manifesta-se através da alteração na própria composição da atmosfera, atingindo condições adversas na maioria dos casos". (Landsberg (1956) apud Monteiro, 1976, p. 57).

Tabela 1 – Propriedades radiativas de materiais urbanos

SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIVIDADE
1. Ruas com asfalto	0.05 – 0.20	0.95
2. Paredes		
Concreto	0.10 – 0.35	0.71 – 0.90
Tijolos	0.20 – 0.40	0.90 – 0.92
Pedras	0.20 – 0.35	0.85 – 0.95
Madeiras		0.90
3. Telhados		
Piche e Cascalho	0.08 – 0.18	0.92
Telhas	0.10 – 0.35	0.90
Ardósia	0.10	0.90
Sapé – Folhagem	0.15 – 0.20	
Chapa Ondulada	0.10 – 0.16	0.13 – 0.28
4. Janelas		
Vidros claros: zênite		

Ângulo menor 40°	0.8	0.87 – 0.94
Ângulo de 40 a 80°	0.09 – 0.52	0.87 – 0.92
5. Pinturas		
Brancas, Caiadas	0.50 – 0.90	0.85 – 0.95
Vermelha, Marrom,	0.20 – 0.35	0.85 – 0.95
Verde	0.02 – 0.15	0.90 – 0.98
Preta		
6. Áreas Urbanas		
Variações	0.10 – 0.27	0.85 – 0.96
Médias	0.15	0.95

Fonte: Oke, 1978, p.247

Tabela 2 – Propriedades radiativas de materiais rurais

SUPERFÍCIE	ALBEDO	EMISSIVIDADE
1. Solos		
Escuro, Úmido	0.05	0.90
Claro, Seco	0.04	0.90
2. Desertos	0.20 – 0.25	0.84 – 0.9
3. Grama		
Alta (1m)	0.16	0.90
Baixa (0.02m)	0.26	0.95
4. Cultivos, Tundra	0.18 – 0.25	0.90 – 0.99
5. Pomares	0.15 – 0.20	
6. Florestas Decíduas		
Solo nu	0.15	0.97
Abandonadas	0.20	0.98
7. Coníferas	0.05 – 0.15	0.97 – 0.99
8. Água		
Pequeno ângulo	0.03 – 0.10	0.92 – 0.97
Zenital		
Grande ângulo	0.10 – 1.00	0.92 – 0.97
Zenital		

Fonte: Oke (1987) apud Lombardo, 1995, p.57

O clima próprio gerado pela cidade provoca efeitos que são sentidos pela população através do desconforto térmico, da qualidade do ar (cada vez mais poluído nos grandes centros) e das crescentes inundações urbanas ocasionadas pelas chuvas concentradas. "Diferenças térmicas, hidrológicas e nas propriedades aerodinâmicas das superfícies urbanas criam um clima urbano específico". (Johnson, 1985, p.221). Estes

fenômenos interferem na vida das pessoas, tendo como consequência, em alguns casos, verdadeiras catástrofes.

Considerando a interferência da urbanização no clima, “os fenômenos inter-relacionados, como ilha de calor, poluição do ar, chuvas intensas, inundações, desabamentos passam a fazer parte do cotidiano urbano, sobrepondo mais um fenômeno aos demais, fazendo com que a população se defronte com essa natureza alterada e conviva diariamente com os problemas dela decorrentes”. (Lombardo, 1985, p.18).

Landsberg (1970, p. 91) apresenta as mudanças nos elementos climáticos causados pela urbanização e destaca que as áreas urbanas são mais quentes que as rurais, mais secas no verão, mais úmidas no inverno e provocam chuvas concentradas, além de produzirem perturbações do vento na escala do urbano. O aquecimento urbano e a rugosidade induzem convergência e escoamento ascendente sobre a cidade e divergente logo acima dela.

O clima da cidade é produzido a partir de um jogo integrado entre o ar atmosférico e o ambiente urbano edificado pelo homem. Assim, a estrutura da cidade deve ser acompanhada de suas funções, a fim de compreender esse ambiente complexo.

A cidade modifica o balanço energético, o balanço hidrológico, o relevo e a estrutura química da atmosfera. O modo de viver do homem interfere de forma significativa no sistema urbano, recriando-o totalmente.

O processo de urbanização, ao proporcionar mudanças na natureza da superfície e na atmosfera, afeta as condições de funcionamento dos componentes do sistema climático, pois “perturba os balanços de energia, massa e momentum pré-urbanos e conduz para a modificação do estado de todos os parâmetros atmosféricos do qual o conjunto representa o clima”. (Oke, 1980, p.339).

As alterações que ocorrem no clima urbano, segundo Oke (1978), geram camadas atmosféricas urbanas e locais chamadas de *urban canopy layer* e *urban boundary layer*, cujas extensões apresentam dimensões variadas no tempo e no espaço. *Canopy layer* é traduzida como a camada do dossel urbano. Esta camada de ar pode atingir entre 1 e 3 vezes a altura do topo dos elementos existentes à superfície, e pode apresentar uma turbulência forte de pequena escala, dependendo da rugosidade da superfície. A tabela 3 apresenta as características do meio urbano que podem alterar o balanço energético, provocando anomalias térmicas positivas, no nível “*canopy layer*”.

Tabela 3 - Hipóteses das causas da ocorrência de ilha de calor urbano no âmbito do *urban canopy layer*.

1. Elevação do afluxo de radiação devido à absorção da radiação de ondas longas e reemissão pela atmosfera urbana poluída.
2. Redução da perda de radiação de ondas longas dos canyons devido à redução do seu *sky view factor*.
3. Maior absorção da radiação de ondas curtas devido ao efeito da geometria do *canyon* no albedo.
4. Maior armazenamento de calor diurno devido a propriedades térmicas dos materiais urbanos e sua liberação noturna.
5. Calor antropogênico proveniente dos edifícios.
6. Redução da evaporação devido à remoção da vegetação e à impermeabilização da superfície da cidade.
7. Redução da perda de calor sensível devido à queda da velocidade do vento na camada urbana.

Adaptado de Oke, 1978, p.259

*Boundary layer* é a camada acima do *canopy layer*, traduzida como a camada limite urbana, onde existem boas condições de mistura, sendo sua altura variável e dependente da capacidade da superfície para provocar a movimentação do ar. Durante a noite pode atingir menos de 100m, porque a superfície esfria mais depressa do que a atmosfera e, durante o dia, pode atingir de 1 a 2 km, pois as correntes convectivas são mais intensas. A tabela 4 mostra as características da cidade que podem alterar o balanço de energia, favorecendo a formação de ilhas de calor, no nível “*boundary layer*”.

Tabela 4 – Hipóteses dos mecanismos responsáveis pela ocorrência de ilha de calor urbano no âmbito do *urban boundary layer*.

1. Entrada de ar quente resultante da ilha de calor na camada de cobertura urbana.
2. Calor antropogênico dos telhados e da aglomeração.
3. Fluxo descendente de calor sensível da camada estável superior pela convecção penetrativa.
4. Convergência do fluxo radiativo de ondas curtas no ar poluído.

Adaptado de Oke, 1978, p.265.

O balanço energético nas cidades é alterado principalmente pela complexa geometria das superfícies construídas, pelas propriedades térmicas dos materiais, pela orientação das edificações, impermeabilização do solo e calor liberado pelas diversas atividades humanas.

A impermeabilização generalizada do solo provoca uma série de problemas. Lombardo (1995), baseada em trabalhos de Landsberg (1970); Chandler (1965) e Lombardo (1985), destaca os seguintes:

*"a) redução da evaporação, pela ausência de vegetação e água disponível: a radiação solar que não é usada na evaporação aquece o espaço urbano (massa edificada) e o ar da cidade (Myrup, 1969, citado por Lombardo, 1985);*

*b) as altas temperaturas que ocorrem nas áreas mais impermeabilizadas, em decorrência dos efeitos combinados das várias características do sítio construído, provocam baixa pressão atmosférica nestas áreas, gerando uma circulação local. Esta, por sua vez, provoca a concentração de material particulado na atmosfera local e de massas úmidas provenientes da região de entorno, gerando anomalias de precipitação sobre estas áreas (...);*

*c) a ocorrência de inundações nestas áreas, pela presença ocasional de chuvas intensas (5 a 10% mais chuvas na área urbanizada que no meio rural). (Lombardo, 1995, p. 53-4).*

A definição do balanço energético urbano é dado por (Douglas, 1983, p.40):

$$Q_s + Q_f + Q_i = Q_l + Q_g + Q_e \quad (1)$$

Onde:

$Q_s$  é a energia recebida do sol;

$Q_f$  é a energia gerada por combustão, metabolismo e processos industriais;

$Q_i$  é a calor emitido pelo interior da Terra;

$Q_l$  é a perda de calor por evaporação;

$Q_g$  é a perda de calor por condução no solo;

$Q_e$  é a perda de calor por irradiação.

O balanço energético urbano varia de uma cidade para outra dependendo de uma série de fatores, tais como: cor e tipo de materiais utilizados nas edificações, densidade de construções, verticalização, morfologia da área, tipo de pavimentação nas ruas, presença de áreas verdes e arborização nas ruas, circulação de veículos e pessoas e indústrias.

A energia gerada na cidade através da combustão, metabolismo e indústrias ( $Q_f$ ) é sempre maior do que na zona rural; por outro lado, a

energia recebida do sol ( $Q_s$ ) e a perda pela evaporação ( $Q_l$ ) são normalmente mais baixas.

Oke (1978, p.246) explica que nos grandes centros urbanos a maior concentração de poluentes impede a passagem de parte da radiação solar de ondas curtas, além de que, dependendo das características das edificações (edifícios altos e pouco espaços entre eles), são criados espaços de sombra, impedindo a chegada dos raios solares diretamente. Esses processos são intensificados com a maior inclinação dos raios solares no inverno, podendo receber 30% menos da radiação disponível.

No ambiente urbano não há muita água para evaporar e por esse motivo às perdas de calor por evaporação ( $Q_l$ ) são inferiores às da zona rural. As cidades, na maioria das vezes, são estruturadas de maneira que as águas das chuvas permaneçam pouco tempo na superfície, para impedir problemas de circulação de pessoas e serviços.

Landsberg (1981), Oke (1978) e Monteiro (1997) deixam claro que a quantidade de energia disponível na atmosfera urbana dependerá do total de energia liberada pelos seres humanos através de suas diferentes atividades e do total de energia proveniente da radiação solar e em quantidade muito pequena, do interior da Terra. Além disso, o armazenamento de calor no espaço construído pelas características já citadas, associado à pequena perda de calor por evaporação, não faz com que o balanço final entre as perdas e os ganhos no ambiente urbano sejam nulas, criando condições para a formação de "ilhas de calor" e "ilhas frescas".

O efeito da ilha de calor é resultado das diferenças do balanço de energia entre a área urbana e o campo e das diferenças existentes no interior da própria cidade. A ilha de calor é uma anomalia térmica com dimensões horizontais, verticais e temporais, que tem sido observada em quase todas as cidades onde tem sido estudada. Suas características estão relacionadas com a natureza da cidade (tamanho, densidade de construções, uso do solo) e com as influências externas (clima, tempo e estações) (Oke, 1982, p.7).

As principais causas da formação da ilha de calor nas cidades são:

*"- aumento da entrada de radiação de ondas longas devido à absorção de radiação de ondas longas que saem e sua reemissão pelos poluentes da atmosfera urbana;*

*- menores perdas de radiação de ondas longas nas ruas e "canyons" urbanos devido à redução do "sky view factor" pelos prédios e edifícios;*

- maior absorção da radiação de ondas curtas pela superfície urbana devido ao efeito das construções no albedo;
- grande armazenamento de calor durante o dia devido às propriedades térmicas dos materiais urbanos e grande emissão durante à noite;
- adição de calor antropogênico na área urbana pela utilização de aquecedores e refrigeradores, transporte e operações industriais;
- menor evaporação devido a retirada da vegetação e à diminuição de superfícies líquidas, o que diminui o fluxo de calor latente ou evapotranspiração e aumenta o fluxo de calor sensível". (Bornstein, 1968, Oke et al., 1991, apud Lombardo, 1995).

Sob condições atmosféricas ideais, ou seja, em condições de céu claro e com vento calmo, ocorre a máxima intensidade da ilha de calor. Com relevo pouco acidentado, as temperaturas mais altas são observadas nas áreas mais densamente construídas e com pouca vegetação. Horizontalmente há diminuição da temperatura à medida que há a aproximação da zona rural, caracterizada por um gradiente horizontal mais brando. Este esquema geral é interrompido por locais quentes e frios associados a densidades de prédios altos e baixos. Parques e lagos são áreas frescas, e áreas industriais, complexos de apartamentos, áreas de comércio ou centros de cidades, são mais quentes.

O balanço de energia na cidade em contraposição ao campo e as diferenças de estabilidade produzem diferentes taxas de aquecimento ou resfriamento próximo à superfície, fazendo aparecer regimes distintos de temperatura do ar, cujas diferenças em um dado tempo definem a intensidade da ilha de calor. (Oke, 1982, p.2).

Na zona rural a seqüência da temperatura é padrão. No pôr-do-sol há um resfriamento rápido entre 2° C e 3° C. A superfície drena energia radiativa e subtrai calor da camada rasa de ar estável logo acima dela. A medida que a temperatura cai e a taxa de emissão radiativa decresce, a taxa de resfriamento também declina a medida que a noite progride. A temperatura do ar rural a noite cai até o nascer do sol.

Ao amanhecer o aquecimento solar da superfície gera um fluxo turbulento de calor sensível que converge na camada da superfície, cuja profundidade é limitada pela inversão noturna crescente. A medida que a camada de mistura aumenta a taxa de aquecimento declina até o meio dia. (Oke, 1982).

O regime urbano é diferente, pois as taxas de aquecimento e resfriamento são menores. Nota-se a falta de picos agudos perto do nascer e pôr do sol produzindo uma onda diurna confinada de temperatura. Como consequência, a intensidade da "ilha de calor" sofre uma variação diurna marcante. As taxas divergentes de resfriamento entre os ambientes rural e urbano, no pôr-do-sol, produzem um aquecimento agudo na intensidade até ao máximo, poucas horas depois (3 a 5 horas). Depois disso, o resfriamento urbano levemente maior reduz a intensidade até que o aquecimento rural da manhã "apaga" a ilha de calor. Há cidades em que o centro fica mais frio que o campo, formando as "ilhas frias". (Oke, 1982, p.3) A distribuição espacial da ilha de calor está relacionada com o tempo da intensidade máxima. O padrão espacial diurno tende a ser menos definido e ajusta-se bem à distribuição das características que cobrem a superfície.

Johnson (1985, p. 221) esclarece que a ilha de calor se desenvolve e se deteriora ao longo do dia e as mudanças mais importantes acontecem ao amanhecer e pôr-do-sol. Em estudo realizado em Birmingham, Reino Unido, este autor mostra que a extremidade da área urbana apresenta um forte gradiente nas isolinhas de acordo com os diferentes tipos de uso da terra. Os dados exibem variação temporal considerável com maiores diferenças em taxas que acontecem ao amanhecer e ao pôr-do-sol. A intensidade da ilha de calor comum cresce pela tardezinha e depois do pôr-do-sol e durante a noite, quando a variação das taxas de resfriamento urbanas e rurais é pequena. As zonas rurais aquecem rapidamente depois do amanhecer, apresentando temperaturas mais altas do que nas zonas urbanas. O centro da cidade apresenta-se mais quente novamente um pouco antes do meio da tarde.

A radiação ao amanhecer e pôr-do-sol nas áreas urbanas depende de processos intrínsecos à cidade. No tecido urbano existe um fluxo de calor que durante o dia fica armazenado como resultado da alta condutibilidade térmica dos materiais que são emitidos para atmosfera nestes horários, apresentando temperaturas mais altas. À medida que os raios solares vão incidindo na superfície, o seu fluxo é reduzido devido à geometria da superfície urbana, que proporciona reflexões múltiplas diminuindo as ondas curtas incidentes, que variam de acordo com a altura das construções, orientação e ângulo do sol.

A localização de uma cidade impõe um amplo intervalo de efeitos relacionados aos corpos d'água, características topográficas, natureza dos solos, vegetação e uso do solo da região. As combinações possíveis são tão numerosas quanto a quantidade de cidades e isto explica a preocupação com os estudos das ilhas de calor. As relações entre intensidade da ilha de calor, tamanho da cidade e localização existem, mas o

interesse maior está na elucidação de fatores físicos críticos implícitos nas medidas de “tamanho” tais como população.

Estudos concordam em que as variáveis meteorológicas mais importantes que governam a intensidade da ilha de calor são a velocidade do vento, seguida pela cobertura de nuvens. As nuvens baixas são mais efetivas do que uma quantidade igual de nuvens altas na limitação da intensidade de ilha de calor.

O vento, assim como as nuvens, são variáveis substitutas relacionadas às regras relativas da transferência radiativa e turbulenta na produção das mudanças da temperatura. Estas regras estão combinadas nas variáveis simples da estabilidade atmosférica, que mostram a produção de uma boa correlação com a intensidade da “ilha” com a maior frequência de ocorrências e com as maiores intensidades sendo registradas na metade mais quente do ano (verão e outono). Isso está, em parte, relacionado à sazonalidade dos controles do tempo (vento, nuvem e estabilidade da massa de ar), mas reflete as variações na cobertura da superfície, tais como vegetação, densidade de construção e nas influências solares, tais como ângulo de incidência em relação à geometria urbana e à atenuação pelos aerossóis. A ilha de calor é mais bem delineada no verão, ao passo que o pico de exigências do aquecimento ocorrem no inverno e isto indica que o calor antropogênico não é a causa principal. (Oke, 1982).

As opiniões quanto às variações sazonais da ilha de calor são conflitantes. “(...) de um lado há pesquisas, como as realizadas por Mitchel (1979), Landsberg e Brush (1980), Jaureguy (1984) e Oguntoyinbo (1984), Lombardo (1985), que observaram que os maiores contrastes térmicos urbano-rurais (1,3°C a 5°C) ocorrem no inverno. (...) Por outro lado, Sanderson (1973), Akerman (1985), Yamamura-Bornstein (1991) e Mendonça (1994), verificaram que a maior magnitude (2°C, 10°C, 1,2°C, 10°C) respectivamente, ocorre no verão.” (Pitton, 1997, p.20).

A justificativa para a maior magnitude da ilha de calor no inverno está associada à maior frequência de inversões térmicas e à maior liberação de calor antropogênico. No verão a maior magnitude da ilha de calor é atribuída à maior quantidade de energia absorvida durante o dia e sua absorção durante a noite ou em função do papel de mistura dos solos rurais, que no verão apresentam elevada inércia térmica.

Existem claras diferenças entre ambientes atmosféricos urbanos de cidades tropicais e de latitudes médias. “As diferenças mais notáveis são observadas na variada formação temporal da ilha de calor urbana que, nas cidades tropicais tem tido maior intensidade diurna que noturna”. (Yamamura-Bornstein & Bornstein (1992) apud Mendonça, 1994, p.13-14).

Outras pesquisas concluíram que a ilha de calor pode-se manifestar com maior intensidade durante o dia; dentre elas destacam-se:

“Nakamura (1967), Nkendirim, et al (1978), Nishizawa (1983 e 1986), Yamashita (1988), Yamamura-Bornstein (1991), Sette (1996)”. (Pitton, 1997, p.20).

O fato é que as cidades possuem especificidades climáticas que devem ser consideradas, e estas variam de intensidade de acordo com suas características próprias.

Dentre as especificidades climáticas destaca-se a menor quantidade de água disponível para evaporar. A atmosfera da cidade é menos úmida do que a da zona rural, mas ocorrem variações neste quadro geral, pois durante o dia existe maior probabilidade de o ar na zona rural adquirir vapor d’água devido à presença de vegetação e por ser o solo mais permeável. Por outro lado, durante a noite a zona rural tem queda na temperatura de maneira mais rápida, deixando o ar saturado e impedindo a evaporação, até que a água presente no ar próximo à superfície vai diminuindo à medida que atinge o ponto de orvalho. Dessa forma, na cidade, que apresenta temperaturas mais altas durante a noite, ocorre a redução do ponto de orvalho, havendo a formação de “ilhas de umidade”. (Oke, 1978, p. 261).

Devido às diferenças de temperatura entre a cidade, a periferia e a zona rural, a circulação do ar dá-se de maneira diversa. A velocidade do vento normalmente é menor nas áreas construídas, excetuadas as áreas densamente verticalizadas, que podem canalizar o ar, atingindo nestes casos velocidades maiores do que em pontos abertos entre as edificações. (Oke, 1978, p.262).

Sob condições atmosféricas estáveis, sem a atuação da circulação regional, devido à diferença de temperatura, formam-se zonas de pressão diferenciadas, permitindo a circulação do ar da periferia (menos quente – alta pressão) em direção ao centro (mais quente – baixa pressão).

Com atmosfera instável a cidade tem a velocidade do vento diminuída em relação à zona rural.

As áreas da cidade com maior concentração de áreas verdes, ou as próximas a reservatórios d’água propiciam o declínio da temperatura. “...Isso pode ser explicado tendo em vista que a maior quantidade de vegetação implica em mudança do balanço de energia, já que as plantas, através do processo de fotossíntese e transpiração, absorvem a radiação solar. Do mesmo modo, as massas d’água interferem no balanço de energia, em função de sua alta capacidade calorífica, bem como do consumo de calor latente pela evaporação”. (Lombardo, 1995, p.53).

Vários trabalhos apresentaram a influência da vegetação no ambiente da cidade, sendo responsáveis por amenizar as temperaturas mais elevadas que provocam desconforto térmico, além de diminuir a velocidade do vento e os impactos provocados pela precipitação. Dentre eles destacam-se: Kopec (1970), que mostrou a influência da vegetação na velocidade do

vento; Gomez e Garcia (1984), que encontraram diferenças significativas dentro da ilha de calor devido à presença de um parque; Oke (1989), que abordou aspectos micrometeorológicos de uma floresta urbana e seus efeitos na temperatura e Pitton (1997), que enfatizou que as áreas verdes interceptam, absorvem, refletem e transmitem radiação solar, captando e transmitindo água, além de interferirem na direção e velocidade do vento, sendo responsáveis por registros de temperaturas mais baixas mesmo na área central. Este fato foi também observado por Danni (1987) e Cruz (1995).

Habitualmente o planejamento urbano não considera as condições climáticas locais, cuja tecnologia é importada dos países de altas latitudes. A ocupação colonial deixou como herança, técnicas de construção e desenho urbano adotado dos países europeus, além da estrutura arquitetônica vigente nos Estados Unidos e Europa.

Assim o estudo de clima urbano, além da quantificação das alterações detectadas, torna fundamental uma análise geográfica do fenômeno, ou seja, estabelece relações entre os dados mensurados e os elementos componentes da cidade. Estes estudos podem contribuir para a melhoria da qualidade ambiental, pois a formação das ilhas de calor cria uma circulação do ar na cidade que favorece a concentração de poluentes, podendo provocar distúrbios nas pessoas, tais como doenças respiratórias, circulatórias, e, nos países tropicais, um grande desconforto térmico, provocado pelas altas temperaturas comuns nestas latitudes.

### O método de análise

Apesar de ocuparem pequenas parcelas territoriais, as cidades constituem a maior transformação da paisagem natural, materializadas através de diferentes formas de poluição do ar, água, solo e subsolo, além de transformações na morfologia e estrutura do ambiente urbano. Rios e córregos são canalizados ou têm seus cursos alterados; a morfologia é modificada através de aterros e construções; a vegetação é retirada; e a associação das atividades urbanas com a forma de ocupação do solo, provoca alterações nos elementos climáticos. “O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (Monteiro, 1976, p.95).

Dessa maneira o clima é um dos elementos que tem sofrido modificações no decorrer do tempo, e estudos do clima urbano têm sido justificados pela expressão que as cidades tomaram nos últimos anos, principalmente no que se refere à quantidade de pessoas que vivem nos centros urbanos, e conseqüentemente são afetadas por suas características específicas.

Por muito tempo os estudos da atmosfera urbana desenvolveram-se sob uma perspectiva estática, matemática e isolada de possíveis correlações com outros ramos do saber.

Monteiro (1976) apresentou parte da bibliografia internacional referente à temática clima urbano e afirmou: “...o caráter geral desta vasta produção é colocado sob perspectiva meteorológica onde a preocupação fundamental é avaliar o grau de transformação da atmosfera pela atividade urbana, persistindo aquele aspecto de abordagem em termos de homem versus natureza”. (Monteiro, 1976, p.58).

*“Foi, sem sombra de dúvidas, a partir do emprego do princípio do funcionamento sistêmico da natureza (Teoria de Sistemas de Bertalanfy), da noção de dinâmica da atmosfera (Strahler) e das preocupações de alguns climatólogos com a interação estabelecida entre a atmosfera, o sítio e o fato urbano (materialidade humana), que o clima da cidade passou a ser focado de um ponto de vista mais holístico e numa dimensão evolutiva, originando os estudos de climas urbanos como se pode observar na atualidade”.* (Mendonça, 1998)

As inter-relações entre os aspectos humanos e físicos implicam a adoção de um conceito de clima como um “sistema aberto, activo, e complexo, cuja vitalidade está na dependência directa da capacidade de trocar energia e matéria com o exterior” (...). (Monteiro, 1997, p.11).

Nos estudos de clima urbano, a perspectiva sistêmica permite entender as ações humanas no comportamento do clima, sem que se percam de vista as escalas que o organizam. No sistema climático o clima global vai refletir-se nos subsistemas climáticos regionais e locais para filtrar, selecionar e conduzir a energia e a matéria.

O escalonamento das unidades climáticas foi proposto por Monteiro (1976). Estas identificam-se no espaço geográfico em zonal, regional e local.

*“No nível zonal, por obra da latitude, decisiva no próprio fenômeno de diversificação, produz-se uma variedade setorial que, se não se afirma em faixas contínuas, organiza-se em grandes células. Estas seriam a expressão do segundo nível, aquele da definição macrorregional. Nesta, os centros de*

*ação e os sistemas meteorológicos vinculados a faixas zonais diferentes, participariam no sentido de produzir uma organização climática, gerada pelos mecanismos da circulação atmosférica regional, capaz de manter a organização espacial através do ritmo de sucessão temporal dos seus estados. (...) Dentro das regiões, os fatores geográficos, especialmente em suas associações ecológicas, poderiam, por sua vez, produzir nova gama de diversificações secundárias ou intermediárias até atingir os climas locais. Estes seriam graus de organização especializados, pelas íntimas integrações ecológicas no interior dos sistemas climáticos regionais, expressando-se, sobretudo, pelas variações quantitativas dos atributos. (...) Um clima local diversifica-se inicialmente ao nível de sua compartimentação geocológica, base mesma da identificação dos mesoclimas, passando a organizar-se no nível dos topoclimas e especializar-se nos microclimas". (Monteiro, 1976, p.115-116).*

Assim, a grandeza escalar do clima urbano dependerá dos fatores que o definem como, por exemplo, a extensão da cidade e sua posição no relevo. O que está explícito nesta abordagem escalar é a não-definição de limites rígidos, "(...), mas a preocupação em caracterizar a organização hierárquica em termos de ligações, no plano vertical, e entrelaçamento, no plano horizontal". (Monteiro, 1976, p.116).

No estudo do clima urbano é fundamental a relação entre as diferentes escalas geográficas, desde a zonal até a local, onde se encontra o urbano e as diversas possibilidades de articulações entre os mesoclimas, topoclimas e microclimas. A estrutura interna do clima urbano é definida por meio da conexão de suas partes.

No Brasil, Monteiro (1976 e 1990a,b,c) realizou ampla discussão sobre teoria e metodologia do clima urbano, vinculado ao espaço geográfico, dando um salto importante para a superação do tratamento da relação entre homem e natureza, desenvolvendo a noção de co-participação como relação destes dois fatores na formação da atmosfera urbana.

A inter-relação dos elementos da natureza e do homem foi chamada de Sistema Clima Urbano (S.C.U.).

*"A estrutura interna do S.C.U. não pode ser definida pela simples superposição ou adição de*

*suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas". (Monteiro, 1976, p.99).*

Sob a perspectiva sistêmica este mesmo autor sugeriu a adoção de três subsistemas para o estudo do Sistema Clima Urbano: termodinâmico (conforto térmico); físico-químico (qualidade do ar); hidrometeorológico (impacto meteórico).

A análise do Sistema Clima Urbano é feita a partir dos canais de percepção humana e os resultados visam principalmente o planejamento da cidade.

Na entrada de energia no sistema clima urbano encontram-se as seguintes referências:

*"Sistema Geral – circulação atmosférica regional como intermediador entre a radiação solar e a energia líquida recebida no local.*

*Conforto Térmico: espectro de tipos de tempo como expressão das variações temporais (sazonais) sobre o espaço local, relacionando o quantum ao modus.*

*Qualidade do Ar – espectro rítmico temporal como expressão das variações horizontais (circulação regional no tempo, vindas do ambiente e aquelas específicas locais (radiação solar), verticalmente incidentes sobre o próprio núcleo).*

*Impacto Meteórico – impacto pluvial concentrado como atributo tropical." (Monteiro, 1990c, p.103).*

O subsistema termodinâmico tem sido o mais explorado nos estudos de clima urbano, associado, na maioria das vezes, à umidade relativa do ar. Este fato foi justificado por Tarifa (1977), quando explicitou: "...alterações nas variações da temperatura e umidade, que nada mais são do que elementos ou variáveis respostas, conseqüentemente funções do balanço de energia por unidade de tempo, dentro de um espaço tridimensional". (Tarifa, 1977, p.73).

No Brasil a produção científica sob essa concepção teórica tem crescido, com destaque para os trabalhos de Sartori (1979), Sampaio (1981),

Fonzar (1981), Danni (1987), Lombardo (1985), Mendonça (1994), Maitelli (1994), Brandão (1996), Sette (1996), Santos (1996), Pitton (1997).

A concepção teórica do Sistema Clima Urbano, contempla as variações da temperatura e umidade relativa, elementos do clima urbano, resultante do balanço de energia na cidade que é consequência dos aspectos geocológicos e urbanos.

### Bibliografia

- BRANDÃO, A. M. de P. M. *O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro*. São Paulo, 1996. 362p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- BRYSON, R. A., ROSS, J. E. *The climate of the city. Urbanization and environment*, Belmont: Duxbury Press, 1972.
- CHANDLER, T. J. *The climate of London*. London: Hutchison of London, 1965. 287p.
- CRUZ, J. C. L. *Características térmicas da camada intra-urbana em Rio Claro (SP)*. Rio Claro, 1995. 189p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- DANNI, I. M. *Aspectos tempororo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em Janeiro de 1982: contribuição ao estudo do clima urbano*. São Paulo, 1987. 129p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- DOUGLAS, I. *The urban environment*. London: Edward Arnold, 1983.
- FONZAR, B. C. *O processo de ocupação regional: o modelo urbano e o conforto térmico da Alta Sorocabana: um teste aplicado a Presidente Prudente*. São Paulo, 1981. 156p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- GOMEZ, A. L., GARCIA, F. F. *La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano*. *Estudios Geográficos*, 45, n.174, p.5-34, enero-marzo 1984.
- JOHNSON, D. B. *Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, U. K.* *Journal of climatology*, v. 5, p. 221-225, 1985.
- KOPEC, R. J. *Further observations of the urban heat island in a small city*. *Bulletin American Meteorological Society*, v.51, n.7, July 1970.
- LANDSBERG, H. E. *Meteorological observations in urban areas*. *Meteorological Monographs*, v. 11, n. 33, p. 91-99, October 1970.

- LANDSBERG, M. E. *The urban climate*. New York: Academia Press, 1981. 276p.
- LOMBARDO, M. A. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.
- LOMBARDO, M. A. *Qualidade ambiental e planejamento urbano: considerações e método*. São Paulo, 1995. Tese (Título de Livre Docência em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- LOWRY, W. P. *Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis*. *Journal of applied meteorology*, v. 16, p. 129-135, fev. 1977.
- MAITELLI, G. T. *Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT*. São Paulo, 1994. 204p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- MENDONÇA, F. de A. *O clima e o planejamento urbano de cidade de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR*. São Paulo, 1994. 322P. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- MENDONÇA, F. de A. *O clima no planejamento da cidade: Um desafio aos urbanistas na defesa da qualidade ambiental*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 3, 1998, Salvador. *Anais...CD-Rom*. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 1998.
- MONTEIRO, Ana. *O clima urbano do Porto: contribuição para a definição das estratégias de planejamento e ordenamento do território*. Fundação Calouste Gulbenkian, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, 1997. 485p.
- MONTEIRO C. A. de F. *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181p. (Série Teses e Monografias, 25).
- MONTEIRO C. A. de F. *Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos do clima urbano no Brasil*. *Geosul*, Florianópolis, v.5, n.9, p.7-19, 1990a.
- MONTEIRO C. A. de F. *Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura*. *Geosul*, Florianópolis, v.5, n.9, p. 61-79, 1990b.
- MONTEIRO C. A. de F. *A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um "clima urbano"*. *Geosul*, Florianópolis, v.5, n.9, p. 80-114, 1990c.
- OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.

- OKE, T. R. Climat impactos of urbanization. In: Interations of energy and climate. *Procedding*. Dordrecht/Holanda: D. Heider Publishing Company, p.339-361, 1980.
- OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.108, n. 455, p. 1-24, jan. 1982.
- OKE, T. R. The micrometeorology of the urban forest. London, p.330 – 349, 1989.
- PITTON, S. E. C. *As cidades como indicadores de alterações térmicas*. São Paulo, 1997. 272p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SAMPAIO, A. H. L. *Correlações entre uso do solo e ilha de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador*. São Paulo, 1981. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, J. W. M. C. *O clima urbano de Maringá: ensaio metodológico para cidades de porte médio e pequeno*. São Paulo, 1996. 172p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SARTORI, M. G. B. *O clima de Santa Maria, RS: do regional do urbano*. São Paulo, 1979. 166p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SETTE, D. M. *O clima urbano de Rondonópolis-MT*. São Paulo, 1996. 137p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP). *Geografia*, v.2, n.4, p.59-80, outubro 1977.

## NOVAS PENITENCIÁRIAS NO OESTE PAULISTA

Eda Maria Góes<sup>1</sup>

**Resumo:** Esse artigo pretende expor reflexões iniciais acerca das novas penitenciárias inauguradas recentemente no Estado de São Paulo e, sobretudo, no oeste paulista. Implementada pelo Governo Mário Covas, tal política penitenciária é aqui analisada, preliminarmente, à luz do referencial produzido em pesquisa anterior, que tinha como objeto a política penitenciária do Governo Franco Montoro. As responsabilidades da universidade pública, neste caso representada pela F.C.T./UNESP, de Presidente Prudente, frente a esse novo elemento que, com ela passa a compartilhar o cenário do Oeste Paulista, é uma das perspectivas enfatizadas. A atuação dos alunos universitários/agentes de segurança penitenciária reforça a intensidade dessa responsabilidade, ao mesmo tempo que alerta para os perigos da omissão.

**Palavras-chaves:** instituição penitenciária; política carcerária; Governo Mário Covas; Oeste Paulista; universidade pública.

### Introdução

O papel integrante desempenhado pela violência ao longo de toda a História do Brasil tem sido alvo de sociólogos, antropólogos, psicólogos, geógrafos e historiadores, que tem se dedicado aos seus mais diferentes aspectos. Dentre eles, destaca-se a importância estratégica das práticas das agências de controle social, quando se trata de estudá-las em períodos recentes. Nesse contexto, a polícia e a prisão têm sido alvos privilegiados, particularmente nas duas últimas décadas (1980 e 1990).

Essa periodização, longe de ser casual, vincula-se diretamente à história política do Brasil, uma vez que o longo processo de superação da Ditadura Militar, iniciado na passagem dos anos setenta para os oitenta, caracterizou-se não apenas pelo fim da censura, como também pela extensão do interesse de entidades civis, inicialmente dedicadas à defesa dos direitos humanos de presos políticos, muitos dos quais oriundos das classes médias urbanas, para os presos comuns, sobretudo pobres. Nesse contexto de

<sup>1</sup> Professora Assistente-Doutora do Departamento de Geografia da F.C.T./UNESP. Endereço para correspondência: Departamento de Geografia, F.C.T./UNESP. Caixa Postal: 957 C.E.P. 19.060-900. Presidente Prudente (SP). Fone: 018-2215388; Fax: 018-223-2227. E-Mail: edagoes@prudente.unesp.br.