

# O sobreaquecimento das cidades

## Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa<sup>1</sup>

António Lopes  
antlopes@fl.ul.pt

Centro de Estudos Geográficos – Universidade de Lisboa

### Resumo

As ilhas de calor urbano (ICU), são o exemplo mais evidente de modificações climáticas inadvertidamente provocadas pelo homem, tendo sido observadas em praticamente todas as cidades do mundo. Este padrão térmico sugere a existência de uma cidade quente rodeada pelo campo mais fresco. A ICU pode ser vista como um recurso energético (em climas frios evitando o consumo excessivo de energia no Inverno), mas também como uma limitação (nos climas quentes), porque pode levar ao consumo de energia suplementar na refrigeração dos ambientes urbanos. Do ponto de vista económico, os raros estudos sobre o assunto em cidades mediterrânicas mostram que a poupança de energia para aquecimento no Inverno é menor do que os custos do arrefecimento durante o Verão. Neste trabalho são descritos os vários tipos de ilhas de calor urbano, a sua relação com parâmetros de morfologia dos espaços edificados e tamanho das cidades. São apresentadas as modificações do balanço energético em meio urbano, bem como outros factores para explicar a existência, ritmo e intensidade deste padrão térmico nas cidades. Vários estudos desde há 20 anos elaborados por investigadores da área de Geo-ecologia do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa são apresentados. São ainda descritas algumas medidas gerais para a mitigação da ilha de calor de Lisboa, como contributo para o aumento da eficiência energética na cidade, visando o desenvolvimento urbano sustentado.

**Palavras-chave:** Lisboa; ilha de calor urbano; balanço energético; desenvolvimento sustentado, medidas de mitigação.

### Abstract

Urban heat islands (UHI) are the most obvious example of climatic modifications induced by man, having been observed in most cities of the world. This thermal pattern suggests the existence of a hot city surrounded by cooler rural areas. The UHI can be seen as an energy resource (in cold climates avoiding the excessive consumption of energy in the winter), but also as a limitation (in hot climates), because it can lead to an additional consumption of energy to cool indoor spaces. From an economic point of view few studies about mediterranean cities show that the saving of energy for heating the spaces in the winter is lower than the costs of cooling spaces during the summer. In this work several types of UHI are described. The modifications of radiation and heat balances are summarized to explain the existence, regime and intensity of this thermal pattern. Several studies conducted by researchers of the Geo-ecology group from the Centre for Geographical Studies of the University of Lisbon and measures for the mitigation of the UHI are presented, as a contribution to the increase of the energy efficiency in the city, with the purpose to attain a sustainable urban development.

**Key words:** Lisbon; Urban Heat Island; heat balance; sustainable development, mitigation measures.

### Résumé

Les îlots de chaleur urbain (ICU) représentent l'exemple le plus évident des changements climatiques provoqués, par inadvertance, par l'homme et ils ont été observés dans presque toutes les villes du monde. Ce modèle thermique suggère l'existence d'une ville chaude entourée par la campagne plus fraîche. L'ICU peut être vu comme une ressource énergétique (dans des climats froids évitant la consommation excessive d'énergie pendant l'hiver), mais aussi comme une limitation (dans les climats chauds), vu qu'il peut mener à la consommation d'énergie supplémentaire pour la réfrigération des milieux urbains. Du point de vue économique, les rarissimes études sur ce sujet sur des villes méditerranéennes montrent que l'économie d'énergie pour le réchauffement pendant l'hiver est inférieure aux coûts de refroidissement pendant l'été. Dans cette étude, les différents types d'îlots de chaleur urbain seront décrits, ainsi que leurs relations avec des paramètres de morphologie des espaces édifiés et de la grandeur des villes. Nous présenterons les changements du bilan énergétique en milieu urbain, ainsi que d'autres facteurs pour expliquer l'existence, le rythme et l'intensité de ce modèle thermique des villes. Différentes études élaborées, au long d'une vingtaine d'années, par des chercheurs du domaine Géo-écologie du Centre d'Études Géographiques de l'Université de Lisbonne seront ici présentées. Des mesures globales pour la mitigation de l'îlot de chaleur de Lisbonne seront aussi décrites, comme contribution pour l'augmentation de l'efficacité énergétique dans la ville, visant le développement urbain durable.

**Mots-clé:** Lisbonne; îlot de chaleur urbaine; bilan énergétique; développement durable; mesures de mitigation.

---

<sup>1</sup> Este artigo foi elaborado com base numa apresentação oral durante as "6<sup>as</sup> Jornadas de Climatização" em Outubro de 2006, a convite da Ordem dos Engenheiros.

## 1. Introdução

Dados recentes da ONU, divulgados pela “*Population Division*” (*World Urbanization Prospects: the 2005 Revision Population Database*), referem que em 2015 a população a residir em áreas urbanas ultrapassará os 53%. Esta tendência crescente da migração das populações para as cidades, que se tem vindo a acentuar desde meados do século XX, deverá ser tida em conta em qualquer modelo de desenvolvimento sustentado. Por outro lado, deve ser feita uma avaliação exaustiva de todos os problemas ambientais nas cidades e assegurar que as actividades humanas accionadas pelos promotores económicos e apoiadas pelos governos das cidades são conciliáveis com o ambiente urbano de modo a minimizar o impacte do excessivo uso dos recursos energéticos ou a qualidade de vida dos cidadãos. Apesar do seu crescente interesse, os estudos sobre os climas urbanos nem sempre estão presentes nos instrumentos legais de planeamento. Por exemplo, a presença da temática climática na primeira geração de Planos Directores Municipais em Portugal limita-se, no geral, à inclusão de alguns valores médios, referentes às condições climáticas regionais. Por outro lado, a informação climática, quando existe, é escassa ou inadequada para que possa ser útil para o planeamento e ordenamento do território (Alcoforado e Vieira, 2004).

A ilha de calor urbano (ICU) é o exemplo mais evidente de uma modificação climática inadvertidamente provocada pelo homem (Oke, 1995). Têm sido observadas e monitorizadas em praticamente todas as cidades do mundo. Este padrão térmico sugere a existência de uma cidade quente rodeada pelo campo mais fresco e corresponde a uma integração da totalidade dos microclimas originados pela urbanização. A máxima diferença de temperatura entre as áreas urbanizadas e rurais ou, sendo mais preciso, as diferenças entre a temperatura registada no local mais quente da cidade, num dado momento e a temperatura mais baixa de todos os locais com características rurais que envolvem a cidade, registada à mesma hora (Alcoforado, 1992), quantifica a intensidade ou magnitude da ICU ( $\Delta T_{u-r}$ ).

A ICU é o resultado cumulativo de modificações na cobertura do solo e na composição da atmosfera, devida ao desenvolvimento urbano e às actividades antrópicas. No entanto, a maior parte das cidades compreende um mosaico de áreas mais quentes (por exemplo, bairros de grande densidade de construção e tráfego intenso) e de outras mais frescas (como os espaços verdes e os planos de água). Não é pois correcto falar do “microclima urbano”, mas de um conjunto de climas locais que se reflectem num padrão térmico organizado, efeito de uma multiplicidade de microclimas característicos de cada elemento que caracteriza o espaço urbano (Alcoforado *et al* 2005).

A ICU pode ser vista como um recurso energético especialmente no norte da Europa e América, porque a temperatura na cidade não diminui tanto, evitando o consumo excessivo de energia no Inverno. Nas cidades de clima quente este padrão térmico pode ser encarado como uma limitação porque pode levar ao consumo de energia suplementar na refrigeração dos ambientes urbanos. Em climas mediterrânicos com uma estação mais fria e outra quente e seca (como é o caso de Lisboa), a questão fundamental é avaliar se, sob o ponto de vista da eficiência energética, se deve aproveitar este padrão térmico como recurso no Inverno ou, por outro lado, se deve ser considerado um constrangimento no Verão. Este tópico irá ser discutido mais adiante.

## 2. As diferentes Ilhas de Calor Urbano

Podem distinguir-se três tipos de ICU, em função da camada atmosférica onde se originam:

- i) A ICU das superfícies que contactam com a atmosfera urbana inferior. É geralmente observada a partir de instrumentos de detecção remota. Em Lisboa, Alcoforado (1986), efectuou os primeiros estudos com recurso a uma imagem térmica obtida partir de um sensor *Daedalus*, instalado numa plataforma aerotransportada que efectuou voos em Lisboa no Inverno de 1984. Posteriormente, a partir de imagens Landsat (TM), e NOAA 14, Lopes e Vieira (2001) e Lopes (2003 b) vieram aprofundar o conhecimento deste padrão térmico e dos fluxos radiativos e energéticos de calor turbulento (sensível e latente) e condutivo, que estão na sua origem (ver pontos 5, 6 e 7).

- ii) A ICU da atmosfera urbana inferior (*urban canopy layer*), entre o nível do solo e o nível médio do topo dos edifícios (fig. 1a). As temperaturas são medidas abaixo do nível dos telhados, em percursos itinerantes (geralmente de automóvel), em estações meteorológicas urbanas ou mais recentemente obtidas a partir de registadores colocados em pequenos abrigos colocados em locais escolhidos estrategicamente em meio urbano. Desde os anos oitenta que começou a ser estudada em Lisboa. Uma extensa lista de publicações com estes estudos pode ser consultada em Alcoforado *et al* (2005).
- iii) A ICU da atmosfera urbana superior (*urban boundary layer*), que se sobrepõe à anterior e se estende por vezes até à atmosfera livre (fig. 1b): trata-se da parte superior da camada-limite urbana, em que as características de temperatura, humidade, turbulência e composição da atmosfera são influenciadas pela presença da cidade (Oke, 1995).

Figura 1 – Ilha de calor de Lisboa: a) Temperaturas nocturnas normalizadas da atmosfera referentes a noites com vento de norte moderado (Andrade, 2003). b) Ilha de calor da atmosfera urbana superior em Lisboa, observada com um balão estabilizado (Alcoforado, 1992).

No caso da ICU da atmosfera urbana inferior, a mais estudada e conhecida, os ritmos térmicos urbano e rural são diferenciados no final da tarde, altura em que a temperatura desce mais rapidamente em meio rural, devido ao mais intenso arrefecimento radiativo. Em meio urbano a taxa de arrefecimento é menor, devido a vários factores que serão referidos no ponto seguinte. Também nas áreas urbanas o aquecimento é mais lento depois do nascer do sol. Assim, a intensidade máxima da ICU ( $\Delta T_{u-r}$ ) cresce rapidamente a seguir ao pôr-do-sol, atingindo o seu máximo entre 3 a 5 horas depois. Este padrão térmico ocorre geralmente em condições de céu limpo e vento fraco, de modo que estas condições são mais favoráveis à diferenciação microclimática das superfícies. No entanto, este modelo simplificado pode ser modificado pelo tipo de tempo: a presença de nuvens baixas altera o balanço radiativo e reduz a intensidade da ICU. Também, em regra, o vento é um factor de amenização dos contrastes térmicos entre os ambientes rural e urbano, na medida em que o aumento da turbulência e as trocas de energia por advecção esbatem esses contrastes (Oke, 1987).

### 3. Principais causas das ICU

Segundo Oke (1987; 1988a) e Sailor e Lu (2004), a geometria urbana modifica as principais entradas e saídas radiativas (solar e infravermelha) e energéticas (fluxos turbulentos de calor sensível, latente e calor armazenado), sendo essas modificações apontadas como as principais causas da ICU. A diminuição da velocidade do vento regional (provocado pela rugosidade), a poluição, a libertação de calor antrópico, a impermeabilização dos solos urbanos e a escassez de vegetação, têm também fortes implicações na modificação dos fluxos de calor.

O balanço energético de um volume de ar em meio urbano pode escrever-se:

$$Q^* + Q_F = Q_E + Q_H + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad (1)$$

sendo que, para as superfícies,

$$Q^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow \quad (\text{W m}^{-2}) \quad (2)$$

Em (1),  $Q_F$  é o calor de origem antrópica (produzido pelas actividades humanas);  $Q_E$  e  $Q_H$  são respectivamente os fluxos turbulentos de calor latente e sensível;  $\Delta Q_S$  é a energia armazenada ou libertada pelas superfícies; e  $\Delta Q_A$  o termo de advecção ou transporte horizontal de calor.

Em (2),  $K$  e  $L$  correspondem aos fluxos radiativos de pequeno e grande comprimento de onda, descendentes ( $\downarrow$ ), ou ascendentes ( $\uparrow$ ) na atmosfera urbana.

A seguir apresenta-se a importância de cada um desses factores na modificação do balanço energético em meio urbano:

- a) Aumento da absorção da radiação solar ( $K\downarrow$ ) é devido à maior área de exposição e ao baixo albedo, cujo valor típico, nas cidades, ronda os 15%. No entanto, alguns materiais

usados na construção, sobretudo no revestimento, podem ter propriedades reflectivas muito diferentes deste valor, (fig. 2 e Quadro I). O grande número de superfícies na cidade origina reflexões múltiplas entre os prédios, que alteram o balanço radiativo local.

Figura 2 – Valores de albedo de vários materiais usados nas cidades.

Adaptado de: EPA e Global Hydrology and Climate Center.

- b) Aumento da radiação de grande comprimento de onda ( $L_{\downarrow}$ ) devido à atmosfera mais poluída, bem como à emissão pelos prédios vizinhos em ruas de fraco *sky view factor*<sup>2</sup>, (fig. 3). Este factor de visão do céu, quando reduzido, ocasiona a diminuição da perda de radiação de grande comprimento de onda de sentido ascendente ( $L_{\uparrow}$ ).

Figura 3 - Sky-view factor.

- c) Diminuição da velocidade média do vento, devido ao aumento da rugosidade urbana, que modifica as transferências de calor por advecção ( $\Delta Q_A$ ) e reduz a eficácia na remoção de poluentes. No caso de Lisboa, a redução da velocidade do vento a 10 m do solo foi estimada em cerca de 30% (Lopes 2003 a e b).
- d) Aumento do *input* energético devido à emissão de calor a partir dos edifícios, tráfego ( $Q_F$ ) e metabolismo dos organismos vivos (em áreas urbanas).
- e) Aumento do armazenamento ( $\Delta Q_S$ ) de calor devido às características térmicas dos materiais de construção e cobertura do solo (Quadro I).
- f) Redução da evapotranspiração e da transferência de fluxo turbulento de calor latente ( $Q_E$ ), devido à diminuição da cobertura vegetal e predominância das superfícies impermeabilizadas nas áreas urbanas (Alcoforado *et al*, 2005).

Quadro I – Propriedades térmicas e radiativas de alguns materiais presentes nas cidades.

Material	$\rho$	C	k	$\mu$
Solo argiloso seco	1,60	1,42	0,25	600
Solo argiloso saturado	2,00	3,10	1,58	2210
Asfalto	2,11	1,94	0,75	1205
Betão denso	2,40	2,11	1,51	1785

Superfície	$\alpha$	$\epsilon$
Áreas urbanas (valores médios)	0,10 – 0,27	0,85 - 0,96
Asfalto	0,05 – 0,20	0,95
Betão	0,10- 0,35	0,71 - 0,91
Solos (saturados - secos)	0.05 - 0.40	0,98 - 0,90
Relvados	0,16 - 0,26	0.9 - 0.95

$\rho$  – Massa volúmica ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 10^3$ ); C – capacidade calorífica ( $\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1} \cdot 10^6$ );  
k – condutibilidade térmica ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ );  $\mu$  – admitância térmica ( $\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$ ), (Oke, 1987)

$\alpha$  – albedo;  $\epsilon$  – emissividade.

Adaptado de Mills (2004)

#### 4. Relação entre a ICU e a morfologia e dimensão das cidade.

Como já se referiu, a morfologia urbana caracterizada por prédios altos e ruas estreitas reduz o SVF e tende a alterar o balanço de radiação tanto em grande como em pequeno comprimento de onda, contribuindo para o aumento da temperatura do ar. A morfologia urbana pode ser expressa mais facilmente pela razão H/W ou seja a razão entre a altura dos prédios (H- *height*) e a largura das ruas (*Width* – W) que os separam (Landsberg, 1981). Quanto mais baixo o seu valor mais

<sup>2</sup> O *sky view factor* (SVF) é a proporção da abóbada celeste ‘vista’ de um determinado ponto à superfície, em relação à superfície potencialmente disponível (Oke, 1987). Tem valor 1 quando não existe qualquer obstáculo que limite a visão do céu para determinado observador e tende para 0 à medida que se interpõem mais obstáculos que ocultam parcialmente o céu.

“aberta” é determinada área. Um H/W de 1 significa que a altura de um edifício é igual à distância que o separa de outro. Na figura 4 apresenta-se a relação entre valores médios de H/W de cidades norte americanas, europeias e asiáticas e a intensidade da ilha de calor urbano, verificando-se uma clara relação. Nalgumas cidades americanas, valores médios de H/W próximos de 0,5 correspondem a uma intensidade a ilha de calor urbano de 4 ou 5°C. Quando o valor H/W é de, por exemplo, 1,5 a intensidade pode atingir valores na ordem dos 8 a 9 °C.

Fig. 4 – Relação entre a intensidade máxima da ICU e a razão H/W. Adaptado de Oke (1987).

Não menos importante é a dimensão da cidade, sendo clara a relação da ICU com a população urbana. Na Europa é frequente observarem-se intensidades de ICU superior a 4° C em cidades de média dimensão (≈ 100 000 habitantes), até cerca de 9° C em cidades com mais de 8M habitantes). Estudos recentes em Londres observaram uma ICU máxima nocturna de 7° C. O caso de Lisboa será analisado no ponto seguinte.

## 5. A ICU de Lisboa

Abordam-se, de seguida, as características das ICU (da atmosfera urbana inferior e das superfícies) em Lisboa, a partir de vários estudos que têm sido efectuados desde há cerca de vinte anos, por investigadores de climatologia urbana do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa (área de investigação de Geo-ecologia). Nos primeiros estudos, as técnicas usadas consistiam no registo de temperaturas do ar ao longo de percursos automóveis na cidade (Alcoforado, 1989). Actualmente são instalados registadores automáticos de temperatura em vários pontos da cidade (Alcoforado e Andrade 2006), à semelhança do que se faz noutras cidades europeias. A utilização de imagens térmicas obtidas a partir de radiómetros Daedalus instaladas em aviões (Alcoforado, 1986) e de satélites NOAA e Landsat ETM e ETM+ (Lopes e Vieira, 2001; Lopes, 2003), têm permitido avaliar as ICU das superfícies e modelar o balanço energético em Lisboa. Muito do trabalho apoia-se actualmente em modelação espacial multivariada (Lopes 1998; Alcoforado e Andrade, 2006) e geoestatística (Lopes, 1994), com recurso frequente a Sistemas de Informação Geográfica (Andrade e Lopes, 1998).

### Ilha de calor da atmosfera urbana inferior

Vários estudos indicam a existência de uma ICU ocorrendo mais frequentemente de noite, embora possa também ocorrer durante o dia (Alcoforado, 1986, 1989, 1992; Alcoforado *et al.*, 2005; Alcoforado e Andrade, 2006; Andrade, 2003; Andrade e Lopes, 1999; Lopes, 1998, 2003b; Lopes e Vieira, 2001, 2002). Ocorre preferencialmente com situações de calma atmosférica, ou vento fraco a moderado, tanto de Verão como no Inverno.

A intensidade média da ilha de calor nocturna da atmosfera urbana inferior situa-se em geral entre 1°C a 4°C, embora se possam verificar intensidades muito superiores (Alcoforado e Andrade, 2006). Consistentemente com estudos noutras cidades, a ICU de Lisboa ocorre em 85% das noites de Inverno (Dezembro a Fevereiro) e 63% das noites de Junho a Agosto (Alcoforado, 1992).

Apesar da ICU ter uma forma tentacular, prolongando-se ao longo dos principais eixos de crescimento da cidade, o seu núcleo pode situar-se, ora na Baixa, ora mais para Norte, nas Avenidas Novas. As áreas mais frescas localizam-se em geral em Monsanto ou na periferia Norte de Lisboa (Andrade, 2003).

A menor frequência nas noites de Verão pode ser devida à frequente advecção de ar fresco de sudoeste que tende a dissipá-la na parte sul da cidade (Alcoforado e Andrade, 2006), confirmando-se assim a importância das brisas do estuário e do oceano na melhoria das condições de conforto térmico em Lisboa. Neste caso a temperatura na Baixa e noutros bairros ribeirinhos pode ser bastante menos elevada do que no Norte. Uma ‘ilha de frescura’ substitui então a ilha de calor, podendo a Baixa estar 3 a 4°C mais fresca que o Aeroporto (Alcoforado, 1992).

Por outro lado, durante alguns dias de Verão, em ocasiões muito frequentes de ventos de Norte,

a Baixa e os bairros junto ao rio Tejo, mais abrigados, apresentam as temperaturas do ar mais altas da cidade. Nalguns dias de Inverno, alterna igualmente uma ICU com ‘ilhas de frescura’, em ocasiões de nevoeiro no Tejo quando sopram ventos do Norte.

### **Ilha de calor superficial**

A partir de 438 imagens (187 diurnas e 251 nocturnas) *LST* (Land Surface Temperature) derivadas dos satélites NOAA de Agosto de 1998 a Julho de 1999, foi efectuado o estudo da ilha de calor das superfícies de Lisboa. Para comparação com a ilha de calor da atmosfera urbana inferior utilizaram-se os *pixel* correspondentes ao centro da cidade (Baixa) e ao Aeroporto. Apresenta-se os resultados das diferenças entre as temperaturas de superfície (*LST*) nocturnas nos dois locais por serem mais expressivos que os resultados das diferenças diurnas. Neste último caso, apenas durante o Verão, as superfícies do centro da cidade se encontram, em média, 2 a 4 °C menos aquecidas do que na periferia, denotando uma ilha de “frescura “ tal como a ICU medida a 2 m do solo (Lopes 2003). Durante a noite há uma persistente diferença positiva das temperaturas das superfícies, que se encontram normalmente mais quentes no centro da cidade do que no Aeroporto. As maiores diferenças verificaram-se no período mais frio do ano. Em Fevereiro de 1999 verificou-se uma diferença positiva máxima de 9°C. Apenas em 9 % das noites se observou uma diferença negativa, que corresponde à superfície do Aeroporto mais aquecida do que na Baixa (fig. 5).

Figura 5 – Diferença da temperatura de superfície nocturna, entre o centro de Lisboa e o Aeroporto.

No Outono e no Inverno predominam largamente (mais de 70 % dos dias) as situações em que as *LST* nocturnas são superiores na Baixa (fig. 6).

Figura 6 – Frequência de dias em que as temperaturas de superfície num dos locais (Baixa ou Aeroporto) são superiores ao outro, no período de Agosto de 1998 a Julho de 1999.

A maior percentagem de dias em que as superfícies da Baixa se encontram mais quentes do que o Aeroporto ocorre igualmente na época mais fria do ano, com um máximo que ultrapassa os 50% no final do Outono, mantendo-se com frequências superiores a 40% no Inverno.

Com alguma frequência as *LST* diurnas no Aeroporto são superiores ao centro, com um máximo no final do Inverno em mais de 30 % dos casos observados.

O número de noites em que o centro de Lisboa está mais quente no Verão é muito mais baixo do que na estação fria (com um mínimo de cerca de 40 %). Durante o dia, é a periferia que frequentemente regista temperaturas mais elevadas (cerca de 80% dos casos), mostrando a tendência estival para o aparecimento da ilha de frescura diurna no tecido urbano. Esta situação mantém-se até ao início de Outubro, altura em que se retoma a maior frequência de situações propícias à ocorrência da ilha de calor de superfície em Lisboa.

Em conclusão pode afirmar-se que se forma regularmente uma ilha de calor de superfície nocturna, especialmente durante o período mais frio do ano, sendo pouco frequentes as situações em que as superfícies da periferia se encontram mais aquecidas do que o centro da cidade. Na figura 7 apresenta-se um perfil da temperatura nocturna das superfícies em Fevereiro de 1999, na região de Lisboa, onde se pode observar uma tendência para a subida das *LST* de norte para o sul (cerca de 4°C de diferença).

Figura 7 – Temperaturas de superfície nocturnas em Lisboa (valores médios de Fevereiro de 1999), entre o norte da cidade e o rio Tejo a sul. A linha pontuada representa a média das *LST* e a cheio o desvio-padrão (DP).

No Verão há uma grande diminuição do número de noites em que centro da cidade está mais quente, sendo, nesta estação do ano, mais frequente a periferia aquecer durante o dia.

No ponto seguinte tentar-se-á apontar as possíveis causas energéticas para a formação destes padrões térmicos.

## 6. As causas energéticas da ilha de calor (mesoescala).

As trocas de calor entre as várias superfícies e a atmosfera urbana são fundamentais para se conhecer o ritmo e repartição dos padrões térmicos, nomeadamente a ICU e de uma maneira geral o clima urbano. O cálculo dos fluxos de calor turbulento (latente, sensível) e armazenado nas superfícies é possível graças à utilização de imagens de satélite de média resolução como os da série Landsat 5 (TM) e 7 (ETM+), que possuem, além dos canais no visível e no infravermelho próximo, pelo menos um canal infravermelho térmico. Com estes canais, um Modelo Digital do Terreno (MDT) e modelos físicos, é possível quantificar os fluxos de calor que entram ou saem das superfícies e que alimentam a atmosfera urbana (Lopes 2003), numa resolução espacial relativamente fina (tipicamente entre os 60 a 120 m).

Na figura 8 apresenta-se a razão entre o calor armazenado (QG) e o balanço de radiação (Q\*) em 19 de Agosto de 1994. Esta razão é um indicador da energia disponível nas superfícies e passível de ser posteriormente libertada para a atmosfera urbana, alimentando a ICU. As áreas impermeabilizadas (incluindo o Aeroporto) possuem, em média, mais de 30 % de energia acumulada, enquanto o parque florestal de Monsanto armazena menos de 15% da energia e

Figura 8 – Razão entre o calor armazenado (QG) e o balanço de radiação (Q\*) em Lisboa, no dia 19 de Agosto de 1994 (10:00 h, tempo local).

os concelhos limítrofes de Lisboa (excluindo as suas áreas urbanas) entre 10 a 25%, apesar da temperatura de superfície ser mais baixa no interior da cidade do que nas áreas desocupadas (fig. 9). O fraco albedo implica uma menor perda de energia reflectida em pequeno comprimento de onda e, portanto, o aumento da energia radiativa total (Q\*). Esta energia acumulada durante o dia será posteriormente devolvida à atmosfera urbana durante a noite, dando lugar à existência da ilha de calor urbano, mesmo no período estival. Neste caso de estudo o aumento de calor armazenado é de cerca de 15 a 25 % maior na Baixa do que o norte da cidade. Não considerando outros fluxos, a energia armazenada nas superfícies urbanas do núcleo central de Lisboa (35 a 40%) é maior do que nos subúrbios não urbanizados, ou menos densos (entre 15 a 25%). As áreas do norte da cidade (áreas não impermeabilizadas) têm mais energia disponível para ser libertada através dos fluxos de calor turbulento (sensível e latente).

Figura 9 – Energia disponível (QG/Q\*), temperaturas de superfície (LST) e albedo, em Lisboa, num perfil NNW/SSE (ver figura 8, perfil A-B).

## 7. Fluxos energéticos num *urban canyon* em Telheiras (microescala).

O clima de uma cidade é o resultado de todas as variações microclimáticas possíveis no espaço construído. As causas dessas variações deverão, por isso, ser encontradas, em primeiro lugar, pelos menores conjuntos do tecido urbano. Entende-se por *urban canyon* (ou *canyon* urbano, como será a seguir designado) um tipo de geometria urbana composta por uma ou mais ruas, mais ou menos rectilíneas ladeadas por edifícios geralmente altos. Este termo surge na literatura científica inglesa por analogia com a morfologia dos *canyons* americanos.

Em Novembro de 2001, foram efectuadas medições sistemáticas de temperaturas (do ar e das superfícies com termómetros que registam no infra vermelho) e das componentes radiativas com piranómetros (pequeno comprimento de onda/solar) e pirgeómetros (grande comprimento de onda/infravermelho térmico) na rua Prof. António José Saraiva, em Telheiras (Lopes, 2006; Lopes e Vieira, 2002). Esta área residencial é composta por edifícios com cerca de 25m de altura (6 e 7 pisos) e a largura da rua é de 59m (H/W de 0,42). Os edifícios estão pintados com uma cor rosa escuro e os telhados planos e escuros conferem, ao conjunto dos edifícios, melhores propriedades absorptoras do que reflectoras. A rua, apesar de ter uma orientação norte/sul, é relativamente abrigada do vento de nordeste que se fazia sentir no dia das medições. Para além das medições de temperatura do ar a 3 m do solo foram também registadas as temperaturas no interior da atmosfera urbana inferior (dentro do *canyon* urbano), através de

registadores a várias alturas fixos a balões cativos (fig. 10). Durante o período de observações prevaleceu uma situação anticiclónica, sem nebulosidade, com vento fraco de Nordeste (<1,5m/s na estação Lisboa/Gago Coutinho e <2m/s em Lisboa/Geofísico).

Figura 10 –Tipo de registadores térmicos usados (*tinytalks*) e balões cativos na rua Prof. António José Saraiva, em Telheiras, Lisboa.

Durante a noite, na atmosfera urbana, formam-se três camadas de ar (fig. 11), sendo que duas estão mais arrefecidas: uma acima do nível dos telhados, arrefecida pelo efeito de advecção e a outra junto ao pavimento da rua, cujo arrefecimento é devido à irradiação. Nesta superfície o balanço infravermelho é negativo (enquanto a atmosfera urbana inferior emite cerca de  $300 \text{ W m}^{-2} (L\downarrow)$ , o asfalto da rua emite  $360 \text{ W m}^{-2} (L\uparrow)$ ). O albedo da rua é fraco (5,6%), devido à cobertura de asfalto, sendo portanto uma superfície que durante o dia, quando lhe incide radiação directa, é boa absorvedora, mas também boa emissora durante a noite. Enquanto que o asfalto arrefece rapidamente por irradiação, toda a energia acumulada nos edifícios durante o dia é libertada de noite para o espaço da rua, formando uma “bolha de ar” mais quente, fenómeno que está na base da formação da ICU. O balanço radiativo total ( $Q^*$ ) a meio do dia (resultante dos ganhos e perdas em pequeno e grande comprimento de onda) é claramente superior nesta rua ( $387 \text{ W m}^{-2}$ ) do que noutras ruas contíguas onde predomina o calcário (albedo = 30%), onde  $Q^*=260 \text{ W m}^{-2}$ . Sendo aqui a irradiação nocturna mais fraca, poder-se-á esperar uma bolha de ar quente mais próxima do solo e certamente com outras características. Este mecanismo parece ser uma das principais fontes de alimentação de calor na atmosfera urbana, sendo o conhecimento das propriedades físicas das várias superfícies fundamental para a caracterização da eficiência energética dos espaços urbanos, interiores e exteriores.

Figura 11 – Temperaturas nocturnas no interior de um *urban Canyon*, em Telheiras, em Novembro de 2001.

## 8. Medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa

A mitigação da ICU não é um objectivo climático universal, aplicável em todas as cidades do globo. A anomalia positiva das temperaturas nos espaços edificados pode ser um constrangimento nas cidades de clima muito quente e uma vantagem em cidades com clima de Invernos longos e rigorosos, ou em climas frios. No caso de Lisboa, em que as estações do ano são contrastadas, a ilha de calor urbano poderá ser vantajosa durante o Inverno (contribuindo para um menor consumo energético para aquecimento) mas, pelo contrário, pode estar na origem de desconforto térmico no Verão com possível agravamento das situações extremas de vagas de calor e do aumento de consumo energético para o arrefecimento dos edifícios (Alcoforado *et al*, 2005). Do ponto de vista económico, os raros estudos sobre o assunto em cidades com clima de tipo Mediterrâneo mostram que a poupança de energia para aquecimento no Inverno é menor do que os custos do arrefecimento durante o Verão (Santamouris, 2001). Num estudo sobre as necessidades energéticas na região de Nova Iorque, num cenário de futuro incerto de alterações climáticas (Hill, 2001), é referido que, em 2015, aquele Estado Norteamericano necessitará de duplicar a potência de 501 para 1080 megawatt, no Verão, devido a um hipotético aumento de temperatura de  $0,8^\circ\text{C}$ , para satisfazer as necessidades em ar condicionado. O mesmo estudo confirma que os gastos energéticos são mais elevados com temperaturas muito altas no Verão do que com temperaturas muito baixas no Inverno.

Os custos de uma cidade sobreaquecida podem assim aumentar, não só, devido ao incremento da mortalidade, da poluição e consumo de água, associados a vagas de calor, mas também para arrefecimento dos edifícios (Alcoforado *et al*, 2006).

Nos últimos anos têm vindo a ser apresentadas várias soluções tecnológicas para mitigar os efeitos negativos das ICU. Sailor (2006) resume as estratégias em duas linhas de acção: a modificação do albedo das superfícies e o aumento de áreas permeáveis com vegetação. No que diz respeito ao albedo, os materiais usados na construção dos edifícios podem ser escolhidos de acordo com as suas propriedades reflectivas e de emitância no infravermelho térmico (Bretz, *et al*, 1998; Prado *et al*, 2005). Uma base de dados, preparada pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory*, com as propriedades térmicas e radiativas de variadíssimos materiais de cobertura



usados nos EUA, pode ser consultada em <http://eetd.lbl.gov/coolroofs/>. De acordo com Sailor (2006), os telhados planos são as superfícies de mais fácil intervenção por não serem tão pertinentes os aspectos estéticos dos edifícios, já que se trata de superfícies geralmente não observadas a partir das ruas. A manutenção das fachadas e telhados deve ser uma preocupação ao longo do tempo de vida dos edifícios porque as superfícies tendem a degradar-se e ao escurecerem, aumentam o albedo. No que diz respeito aos pavimentos das ruas as estratégias que visam modificar o albedo são de mais difícil execução, sobretudo em áreas de baixo *sky view factor*, devido às múltiplas reflexões nas superfícies (sobretudo nas fachadas dos edifícios). Também a crescente ocupação das ruas por automóveis torna difícil a intervenção neste domínio porque, em cada momento, é difícil determinar o tipo e a área da superfície efectivamente reflectiva.

Mas o que tem chamado mais a atenção da investigação aplicada, sobretudo em cidades norte americanas, preocupadas em mitigar os efeitos da ICU é o chamado “movimento” *ecoroofs* (ou *greenroofs*). Em telhados planos é construído um solo artificial de cerca de 15 cm de espessura, onde são plantadas algumas espécies vegetais que provocam sombra aos edifícios e arrefecimento do ambiente atmosférico através da evapotranspiração. No entanto, as raízes necessariamente muito superficiais requerem pouca água e os benefícios da evapotranspiração são muito fracos. Espécies vegetais com sistemas radiculares mais complexos (embora pouco profundos), requerem irrigações mais intensivas e maior dispêndio de água. Solos mais profundos necessitam de infra-estruturas mais complexas, e portanto, mais dispendiosas tanto na construção como na manutenção.

Numa investigação sobre o papel do albedo e do aumento de áreas verdes na mitigação da ICU de Nova Iorque foi estimado que estas estratégias podem reduzir as temperaturas até cerca de 0,8°C durante vagas intensas de calor, em certas áreas da cidade (Rosenzweig et al, 2006).

O plantio de vegetação nas ruas é uma segunda área de intervenção que pode ser muito eficaz na mitigação da ICU. Para além de outros benefícios (arrefecimento da atmosfera urbana através do processo de evapotranspiração, filtro à poluição, sombreamento e até através de aspectos estéticos, sensação de prazer e criação de habitats), muitas espécies de árvores possuem albedo superior a 18% pelo que o seu plantio em áreas tradicionalmente pavimentadas com materiais de fraco albedo (por exemplo, os parques de estacionamento e outras áreas asfaltadas), pode aumentar a reflectividade.

No entanto, o plantio de árvores em meio urbano deve ser cuidadosamente planeado, tendo em conta que algumas espécies vegetais possuem características desvantajosas, ou mesmo nocivas, em meio urbano para o Homem, como a libertação de alérgenos (sobretudo pólenes), fraca adaptação aos solos urbanos e maior risco de queda em situações de vento forte (Lopes *et al*, 2008). Por outro lado, onde ocorrem acelerações do fluxo de ar, devido à morfologia das ruas, as árvores podem ajudar a sustentar o vento, criando ambientes mais agradáveis, sobretudo durante o Verão, quando a vida ao ar livre é mais intensa. Copas densas são propícias a esse efeito. Mas as árvores não devem formar conjuntos compactos nos corredores de ventilação, pois apesar da sua permeabilidade ao fluxo retardam-no, prejudicando a remoção de poluentes (Lopes 2003).

O balanço entre os benefícios e os constrangimentos que a ICU e seus custos associados (que ainda não foram objecto de estudo aprofundado) levam-nos a considerar que a mitigação da ICU é um objectivo desejável, para o conjunto da cidade o que não impede que, numa escala de maior pormenor, se encontrem soluções microclimáticas para minimizar o arrefecimento dos edifícios ou dos espaços públicos.

Num estudo intitulado “Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa” (elaborado no quadro da revisão do PDM da cidade) que resultou da colaboração entre o grupo de Geoecologia do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa e a Câmara Municipal de Lisboa (Alcoforado *et al*, 2005), foram abordadas as questões relacionadas com a aplicabilidade do conhecimento do clima urbano ao ordenamento da cidade. No que respeita à ilha de calor considerou-se que, de um modo geral, a ventilação é um dos principais factores de controlo da ICU. O vento desempenha um papel fundamental no ambiente climático das cidades, promovendo o necessário arejamento, particularmente as brisas do mar ou do estuário, que transportam ar fresco e húmido do oceano e/ou do estuário do Tejo, contribuindo para um arrefecimento significativo da cidade, actuando positivamente no conforto térmico e saúde dos

cidadinos. No estudo atrás citado foram propostas medidas de carácter geral baseadas nos trabalhos de Lopes (2003b) e de Andrade (2003), como a delimitação de grandes corredores de ventilação, de orientação geral Norte/Sul (direcção coincidente com os ventos dominantes na cidade). Estes “corredores” não deverão ser ocupados com edificações compactas ou manchas de vegetação densa, de modo a não comprometer a circulação dos ventos dominantes, tão importantes não só na mitigação da ICU como na remoção de poluentes e na qualidade do ar.

É igualmente desejável minorar os aspectos negativos do clima urbano e maximizar os positivos, através da adequada manipulação de factores de escala mais fina como: i) a estrutura e arranjo espacial dos edifícios, intervindo, por exemplo, ao nível do volumetria da construção e na relação entre a altura dos edifícios (H) e a largura da rua (W) (Andrade, 2003; Lopes, 2003b); ii) a cor, modificando o albedo e portanto as propriedades reflectivas e absorptoras das superfícies; iii) as características térmicas, sobretudo a admitância; iv) a presença de vegetação e de água, que regulam o ambiente térmico dos espaços.

O estudo dos fluxos energéticos num *urban canyon*, como o que foi apresentado anteriormente em Telheiras, é assim fundamental para se proporem medidas de mitigação com vista ao melhoramento das condições do ambiente urbano.

## 9. Conclusão

Numa altura em que, no quadro do “Plano Tecnológico” em Portugal, se dá especial importância às estratégias de desenvolvimento sustentável, é fundamental aliar a prática de aplicação dos materiais tradicionais às características físicas (e estéticas) de novos materiais de construção, de modo a reduzir custo e melhorar a eficiência energética das cidade portuguesas.

À luz dos conhecimentos actuais sobre o clima urbano de Lisboa é declaradamente necessário mitigar a ilha de calor e promover as condições de ventilação adequadas para o favorecimento da qualidade do ar, conforto bioclimático e saúde humana na cidade. Apesar da benevolência do modelo de “cidade compacta”, pensado talvez no recurso que pode constituir a ICU para as cidades do Norte da Europa, o aumento dos índices de construção pode agravar o efeito da ilha de calor nos habitantes das cidades, sobretudo em situações extremas de vagas de calor, como as que recentemente assolaram a Europa (por exemplo em 2003). Por outro lado o aumento da rugosidade aerodinâmica, ao diminuir a velocidade média do vento, aumenta os níveis de poluição no tecido urbano (Lopes 2003b).

A eficiência energética dos edifícios pode ser conseguida implementando técnicas de arquitectura bioclimática, que tiram partido das condições térmicas, ventilação e ecológicas dos espaços exteriores.

Em Portugal ainda não está enraizada uma cultura científica e técnica que inclua sistematicamente estudos de clima urbano nos instrumentos de planeamento. Em países como a Alemanha, Suécia e Suíça, é prática corrente a preparação sistemática de mapas de análise e síntese climática, como instrumento de apoio ao processo de planeamento e de documentos sobretudo cartográficos, que incluem orientações para o mesmo efeito (Scherer et al., 1999; Alcoforado, 1999). Recentemente, em Lisboa foram dados os primeiros passos nesta matéria, com dois projectos já concluídos: CLIMLIS - *Prescription of climatic principles in urban planning. Application to Lisbon*, financiado pela ‘FCT, e *Estudo climático para a cidade de Lisboa*, no âmbito de um protocolo entre o Centro de Estudos Geográficos e a Câmara Municipal de Lisboa, que visaram, entre outros objectivos, transpor para o ordenamento da cidade os conhecimentos adquiridos e contribuir para aprofundar a temática climática no novo PDM de Lisboa. Esperemos que esses estudos, pela sua importância, possam ser transpostos para outros municípios e assim dar um novo contributo ao planeamento urbano das cidades portuguesas.

## Agradecimentos

Agradeço à Professora Maria João Alcoforado pela leitura do texto inicial e pelos seus comentários críticos, que muito serviram para o melhoramento da versão final.

A investigação que conduziu à preparação deste artigo foi elaborada no âmbito do projecto

## Bibliografia

- Alcoforado, M. J. (1986) - Contribution to the study of Lisbon's heat island. Analysis from an infra-red image. *Freiburger Geographische Hefte*, 26: 165-176.
- Alcoforado, M. J. (1989) - Représentativité temporelle des mesures itinérantes. Exemple de Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 2: 69-74.
- Alcoforado, M. J. (1992) - *O clima da região de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos*. Lisboa, Memórias do C.E.G, vol.15, Lisboa: 347.
- Alcoforado, M. J. (1999) - Aplicação da climatologia ao planeamento urbano. Alguns apontamentos. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia XXXIV*, (67-68): 83-94.
- Alcoforado, M. J.; A. Lopes; H. Andrade; J. Vasconcelos, (2005) – *Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa*, Relatório nº 4 da Área de Geo-Ecologia, CEG, Lisboa, 81p.
- Alcoforado, M. J.; Vieira, H. (2004) - Informação climática nos planos directores municipais de concelhos urbanos. *Sociedade e Território*, 37/38: 103-118.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H (2006) - Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84:151-159.
- Andrade, H. (2003) - *Bioclima humano e Temperatura do ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa: 435 (pol).
- Andrade, H.; Lopes, A. (1999) - A influência da radiação e da velocidade do vento no conforto térmico na área suburbana a Norte de Lisboa (Caneças). *Actas do VIII Colóquio Ibérico de Geografia*, Lisboa, Departamento de Geografia e Planeamento Regional - FCSH.
- Andrade, H; A. Lopes, (1998) - A utilização de um SIG para a estimação de temperaturas em Lisboa. In *Clima e ambiente urbano em cidades ibéricas e iberoamericanas*, in F. Fernandez Garcia, *et al* (coord.), Ed. Parteluz, Madrid:85-91.
- Bosselmann, P.; Arens, E.; Dunker, K.; Wright, R. (1995) - Urban Form and Climate: Toronto Case Study, *Journal of the American Planning Association*, 61(2):226-239.
- Bretz, S. Akbari, H.; Rosenfeld, A (1998) - Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands, *Atmospheric Environment*, 32(1):95-101.
- EPA (2003) - Cooling summertime temperatures. Strategies to reduce urban heat island. <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/HIRIbrochure.pdf> [Acedido em 16 de Julho de 2007]
- Hill, D.; Richard Goldberg (2001) - *Energy Demand (cap. 8)*, in Rosenzweig C; W. Solecki (Eds.) - *Climate Change and a Global City: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, Columbia Earth Institute, New York: 121-147.
- Landsberg, H. (1981) - *The urban climate*, Academic Press, New York.
- Lopes, A, S. Oliveira, M. Frago, J. Andrade, P. Pedro (2008) - Wind risk assessment in urban environments: the case of falling trees during windstorm events in Lisbon, in K. Štřelcová, *et al* (Eds.) - *Bioclimatology and Natural Hazards*, Springer (em publicação).
- Lopes, A. (1994) - Interpolação de Temperaturas à Escala do Clima Local, *Geosistemas*, Lisboa, 3:153-159.
- Lopes, A. (1998) - Contrastes térmicos nocturnos e acumulação de ar frio em áreas urbanas do sul da península de Lisboa. *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa, XXXIII(66):25-40.
- Lopes, A. (1998) - Modelling night temperatures in the south of Lisbon Peninsula with a GIS, in MJ Alcoforado, *et al.* (Eds.) - *Pre-Regional Conference Meeting on the Commission on Climatology*, Évora: 25-26.
- Lopes, A. (2002) - The influence of the growth of Lisbon on summer wind fields and its environmental implications, *Proceedings of the Tyndall/CIB International Conference on Climate Change and the Built Environment*, UMIST, Manchester.
- Lopes, A. (2003 a) - Local wind changes with different roughness simulated in a wind tunnel: an example of application to a city district in the north of Lisbon. *5<sup>th</sup> International*

- Conference on urban Climate (ICUC5)*, (extended abstract), Lodz:4.
- Lopes, A. (2003 b) - *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Tese de Doutoramento em Geografia Física, Universidade de Lisboa: 375 (pol.).
- Lopes, A. (2006) - A microclimatological study of an urban canyon in Lisbon (Portugal) as a tool to suggest climate guidelines in local urban planning. *Preprints of the 6<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate (ICUC6)*, Göteborg: 478-481.
- Lopes, A.; H. Vieira (2001) - Heat fluxes from Landsat images: a contribution to Lisbon urban planning. *Remote Sensing in urban areas/Fernekundung in urbanen Räumen (C. Jürgens, Hrsg), Regensburg Geographische Schriften, Heft 35:169-176*.
- Lopes, A.; Vieira, H. (2002) - A utilização de balões cativos para o estudo microclimático do bairro lisboeta de Telheiras. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa. XXXVII (74): 151-160.
- Mills, G (2004) - The Urban Canopy Layer Heat Island, *International Association For Urban Climate Newsletter*, The IAUC teaching resources n° 4:15-19.
- Oke, T. R. (1974) - *Review of urban climatology, 1968-1973*. W.M.O. Technical Note 134:1-132.
- Oke, T. R. (1984) - Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy and Buildings*, 7: 1-10.
- Oke, T. R. (1987) - *Boundary layer climates*. Routledge, London: 435.
- Oke, T. R. (1988 a) - Street Design and Urban Canopy Layer Climate. *Energy and Buildings*, 11: 103-113.
- Oke, T. R. (1988 b) - The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, 12(4): 471-508.
- Oke, T. R. (1989) - The micrometeorology of the urban forest. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B(324): 335-349*.
- Oke, T. R. (1995) (Ed. J. Cermak et al) - The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. *Wind Climate in Cities: 81-107*.
- Oke, T. R. (1997) - Urban climates and global environmental change. *Applied Climatology*, in Thompson and Perry (Eds.), Routledge, London: 273-287.
- Prado, R.; Ferreira, F (2005) - Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials, *Energy and Buildings*, (37)4:295-300.
- Rosenzweig, C.; W. Solecki (Eds.) (2001) - *Climate Change and a Global City: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, Metro East Coast Report for the U.S. Global Change Research Program, National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change for the United States, Columbia Earth Institute, New York:224.
- Rosenzweig, C.; W. Solecki; L. Parshall; S. Gaffin; B. Lynn; R. Goldberg; J. Cox; S. Hodges (2006) - Mitigating New York City's Heat Island with Urban Forestry, Living Roofs, and Light Surfaces, *Sixth AMS Symposium on the Urban Environment and 86th AMS Annual Meeting*, (extended abstract J3.2), Atlanta.
- Sailor (2006) - Mitigation of urban heat islands - recent progress and future prospects, *Sixth AMS Symposium on the Urban Environment and 86th AMS Annual Meeting*, (extended abstract J3.1), Atlanta.
- Sailor, D. J.; Lu, L. (2004) - A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. *Atmospheric environment*, 38: 2737-2748.
- Santamouris, M. (Ed.) (2001) - *Energy and climate in the urban built environment*. James and James, Atenas.
- Scherer, D., Fehrenbach, K. et al. (1999) - Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment* 33: 4185-4193.