

Climatologia Urbana para o ensino

CLiMA

3



CENTRO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS

Núcleo CLiMA
Clima e Mudanças Ambientais

Maria João Alcoforado

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território
Universidade de Lisboa

2010

Climatologia Urbana para o ensino

Maria João Alcoforado

CENTRO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS
NÚCLEO CLIMA E MUDANÇAS AMBIENTAIS

3



CliMA

Lisboa – 2010

FICHA TÉCNICA

Título: Climatologia Urbana para o Ensino

Autora: Maria João Alcoforado

Capa: António Lopes

Fotografia da capa: Orlando Ribeiro, 1958 (Rua de Bragança) © Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa

Formatação final: Joaquim Seixas

Unidade de Investigação: Núcleo CliMA, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa

Edição e distribuição: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa

Impressão: David Barreira

Tiragem: 100 exemplares

ISBN: 978-972-636-209-8

Para a Maria

Índice Geral

	Página
Preâmbulo	9
Parte A – INTRODUÇÃO	11
A Climatologia Urbana	13
Proposta de Programa	14
O Ensino	17
A bibliografia fundamental	18
Parte B – DESENVOLVIMENTO DOS TEMAS SELECIONADOS	25
I – O clima como componente do ambiente urbano	27
1. Introdução ao estudo do clima urbano	29
2. Aquisição e tratamento da informação climática	41
II – Características gerais do clima urbano	57
3. Balanço energético na cidade	59
4. Consequências térmicas do balanço energético na cidade	73
5. Balanço hídrico na cidade	87
6. Vento na cidade	99
7. Qualidade do ar	113
8. Clima urbano e “alterações climáticas globais”	127
III – Perspectivas de aplicação da climatologia urbana	137
9. A qualidade do clima e do ambiente urbano	139
10. Clima urbano, impactes das alterações climáticas e orden. do território	151
Parte C – PROPOSTAS DE MATÉRIA PRÁTICA	169
Trabalho de grupo a desenvolver ao longo do semestre	171
Exercícios para ilustração de temas teóricos e para aprendizagem de técnicas	174
Análise e discussão de textos	178
Siglas e abreviaturas usadas	179

Preâmbulo

No âmbito das minhas provas de Agregação, elaborei o programa de uma disciplina de opção de Climatologia Urbana. Ao longo destes anos, o desenvolvimento do programa, então entregue e discutido, tem vindo a ser distribuído aos alunos em formato digital. Devido a solicitações várias, decidi editar essa parte sob a forma de relatório, actualizando a bibliografia e introduzindo algumas figuras, deliberadamente ausentes no programa original. É gratificante verificar que, nos seis anos que separam esta edição da do programa original, ocorreram muitos progressos em Climatologia Urbana, não só a nível global, mas também no seio do nosso grupo do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. O programa está preparado para uma disciplina da licenciatura (2º ou 3º ano de um curso de Geografia), mas poderá ser utilizado com proveito por alunos mais adiantados e outros interessados por este tema.

Num momento de particular interesse pelo clima das cidades, não só por parte de numerosos estudiosos, mas também, por parte de entidades não universitárias, a investigação neste tema está particularmente viva. O programa apresentado não pretende ser um esquema rígido, mas um ponto de partida para o estudo da Climatologia Urbana, que reflecte – como não podia deixar de ser – a minha experiência pessoal e o resultado da pesquisa levada a cabo em colaboração com os dois colegas mais próximos em termos de área temática, Henrique Andrade e António Lopes, assim como com outros colegas e alguns estudantes. As trocas de opiniões e pontos de vista, as discussões, as interrogações dos estudantes vão influenciando as aulas que damos e os trabalhos de investigação. As observações dos revisores científicos dos artigos submetidos a determinadas revistas têm sido também um instrumento precioso para aprofundar a auto-crítica, assim como os diálogos mais informais com colegas, em congressos ou através da *internet*.

O presente relatório está organizado em três partes: A introdução à Climatologia urbana e ao seu ensino (parte A), o desenvolvimento dos temas (Parte B) e algumas considerações sobre o trabalho prático (parte C). Na parte central (B), a mais extensa, apresentam-se dez temas, cujo desenvolvimento poderá servir de fio condutor ao trabalho de docentes e discentes no decorrer da disciplina e na investigação posterior que dela venha, eventualmente, a resultar. Por isso, optou-se por apresentar extensas listas bibliográficas; a repetição de referências em diferentes temas permitirá a consulta independente de cada um.

Este relatório enquadra-se nas publicações do núcleo Clima e Mudanças Ambientais (CliMA) do Centro de Estudos Geográficos, que tenho o gosto de coordenar. A todos os membros do CliMA e também aos da área de investigação de Geo-Ecologia, no seio do qual foi realizado o relatório original agradeço o apoio e, sobretudo, a amizade. Estou reconhecida a Raquel Machete, que agora integra o núcleo CliMA, pela sua activa e inteligente ajuda na finalização deste texto e a Maria Fernanda Alegria pelo incentivo e cooperação na revisão final.

Maria João Alcoforado

PARTE A

INTRODUÇÃO

A Climatologia Urbana

O clima urbano corresponde a uma modificação espacialmente bem delimitada do clima regional, cuja importância tem aumentado devido ao grande incremento da população urbana em todo o Planeta. Desde a existência das primeiras aglomerações, o ser humano tem consciência da modificação do estado da atmosfera, que nelas tem lugar. No século XIX, Howard apresenta, pela primeira vez, médias de diferenças de temperatura entre a cidade (de Londres) e o campo. Mas o estudo da climatologia urbana apenas passa a ser sistemático a partir das últimas décadas do século XX.

No início do presente século, a climatologia urbana está a ser desenvolvida a ritmo bastante acelerado. Exemplo disso é a *International Association on Urban Climate* (IAUC), fundada em 2002, de que foi Presidente um dos geógrafos que mais tem impulsionado os estudos nesta área do saber: Tim Oke. O objectivo principal da IAUC era (e continua a ser) o de congregar geógrafos, meteorologistas, físicos, arquitectos e agentes do planeamento urbano num mesmo grupo “to foster cooperation and the free exchange of ideas and information about the climate of cities and their significance” (Oke, 2002, http://www.urban-climate.org/Vision_fr.htm)

Determinou-se que seriam organizadas reuniões científicas de três em três anos. A primeira teve lugar na Polónia, em Lodz, em 2003; a duas seguintes foram organizadas, respectivamente, na Suécia, em Gotemburgo, em 2006, e em Tokyo, em 2009. A próxima está prevista para o Verão de 2012. Existe uma lista de membros da IAUC na *Internet*, através da qual se facilitam contactos, sendo a *Newsletter*, de periodicidade trimestral, distribuída gratuitamente via *e-mail* a todos os membros.

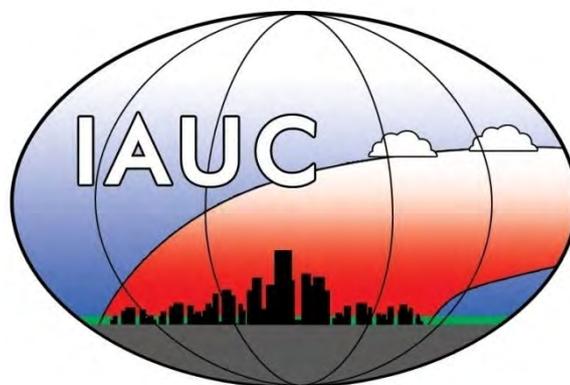


Fig. A.1. O logotipo da International Association for Urban Climate

Depois de um período de estudos monográficos sobre diversas cidades, os investigadores tentam agora estabelecer as leis gerais que gerem o clima urbano. Além disso, investiga-se como o clima das cidades influencia os habitantes destas em termos de bem-estar e saúde e procura saber-se em que medida as mudanças ambientais (incluindo as climáticas) na “escala global” terão impactes nos ecossistemas urbanos.

Pretende-se, ainda, verificar que implicações para o clima do planeta terão as modificações operadas na atmosfera urbana. Os episódios meteorológicos extremos e suas consequências nas cidades têm de ser conhecidos com rigor, de modo a possibilitar ações adequadas à mitigação dos seus efeitos. Finalmente, a Organização Meteorológica Mundial (WMO) lançou um desafio aos cientistas, para sugerirem métodos de quantificação do “custo” do clima urbano (por exemplo, em termos de gasto de energia para climatização).

Proposta de Programa

Na proposta que seguidamente se apresenta, considera-se que a maioria dos estudantes já frequentou as disciplinas elementares de Geografia Física, onde, além de conceitos básicos (tempo, clima), é normalmente dada informação sobre as causas e consequências da repartição dos fenómenos climáticos à superfície da terra (radiação, temperatura, circulação geral da atmosfera, regimes pluviométricos). Nessas disciplinas, são referidas as principais classificações climáticas, descritos e explicados os vários climas zonais e focados, para o conjunto do globo e para cada faixa latitudinal, os principais problemas ambientais relacionados com o clima.

Os temas, que aqui se propõem, estão agrupados em três blocos. O primeiro funciona como introdução ao estudo da disciplina, salientando a natureza do clima urbano, clarificando as noções de escala, apresentando os métodos e as técnicas mais usuais de aquisição e tratamento de dados climáticos. No segundo bloco, são tratadas as principais alterações que as cidades introduzem nos vários elementos climáticos, incluindo as suas causas e consequências de várias ordens. Trata-se da parte mais longa do programa, composta por seis temas – aqueles para os quais já está mais avançada a elaboração de um corpo teórico de conceitos, embora, em relação a alguns deles, ainda não exista unanimidade de opiniões. Recorde-se que a Climatologia Urbana é uma ciência em evolução muito rápida e que a maior parte dos conceitos gerais se desenvolveram a partir de estudos em cidades de alto nível socio-económico das latitudes médias, principalmente da Europa Central e da fachada Oriental

dos Estados Unidos da América. Como se verá no desenvolvimento do programa, muitas formulações propostas não se adaptam, nem ao clima, nem às cidades portuguesas. Por isso, não é demais fomentar estudos que contribuam para uma adaptação de regras e normas da Climatologia Urbana às cidades de clima Mediterrâneo. Serão dados também exemplos de cidades tropicais e das altas latitudes. Como conclusão deste bloco, estabelece-se, no último tema, a relação entre fenómenos climáticos nas escalas global e local, salientando retroações e re-alimentações. Este tema é alvo de alguma controvérsia, que deverá ser apresentada aos estudantes.

Depois de adquiridos conhecimentos de base, visa-se, no 3º bloco, promover a reflexão sobre a noção de qualidade dos climas urbanos e mostrar como determinadas medidas de ordenamento do território podem contribuir para modificações (desejadas ou não) do clima urbano. São dados alguns exemplos de medidas que, em diversos tipos climáticos, podem contribuir para a melhoria da qualidade do clima na cidade. Esta parte é constituída apenas por dois temas e refere-se a matérias cuja inclusão num programa de climatologia será menos comum. No entanto, são temas tratados também por utilizadores da Climatologia Urbana¹, que os geógrafos deverão conhecer e sobre os quais devem reflectir.

Resumindo, são os seguintes os tópicos propostos, que constituem a Parte B do programa:

I . O clima como componente do ambiente urbano

1. Introdução ao estudo do clima urbano
2. Aquisição e tratamento da informação climática

II . Características gerais do clima urbano

3. Balanço energético na cidade
4. Consequências térmicas do balanço energético na cidade.
5. Balanço hídrico na cidade
6. Vento na cidade
7. Qualidade do ar na cidade
8. Clima urbano e “alterações climáticas globais”

III . Perspectivas de aplicação da Climatologia Urbana

9. Qualidade do clima e do ambiente urbano
10. Aplicação dos estudos de Climatologia Urbana no ordenamento do território

¹ Givoni, B. (1998) *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley and Sons, New York: 464p.

Reparar-se-á que as matérias não estão igualmente hierarquizadas, pois a subdivisão dos diversos tópicos depende da natureza da matéria e da bibliografia disponível. Como se referiu, para alguns temas ainda não existem “resultados universais” (Oke, 1999)². Embora o estágio de “estudos de casos” esteja a ser ultrapassado, ainda não se extraíram, para todos os tópicos da Climatologia Urbana, leis generalizáveis “*which are non-place specific or which use dimensionless or normalized quantities*” (idem).

Muitas expressões em inglês estão já enraizadas no vocabulário do nosso dia a dia profissional. Foi feito um esforço no sentido de traduzir a maior parte, se bem que alguns termos em português possam ainda vir a ser revistos. Estão neste caso a *urban canopy layer* e a *urban boundary layer*, termos que todos os investigadores conhecem, mas que poderão ser algo rebarbativos para os alunos. Estão traduzidos, respectivamente, por *atmosfera urbana inferior* e *atmosfera urbana superior*, expressão esta que será usada como sinónimo de *camada limite urbana*. Os termos encontram-se definidos no tema 1. Lembra-se que os autores brasileiros utilizam o termo *canópia urbana* para *urban canopy layer*.

O *sky-view factor* (SVF, definido no tema 3) foi traduzido por fracção visível da abóbada celeste. No entanto, muitas vezes é referido de modo mais expedito por SVF. Um *urban canyon* (fig. A-3), designação sugestiva para uma rua “encaixada” entre edifícios altos, foi designado por “canhão urbano”. Para facilitar a leitura algumas das siglas utilizadas estão compiladas no fim do volume.

Fig. A.2. Um canhão natural (à esquerda) e um canhão urbano (à direita)



² Oke, T. (1999) On the search for “Universal Results” in the urban atmosphere. Keynote Conference, 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology, Sydney - Australia, Macquarie University: 6p.

O Ensino

A disciplina está preparada para as 12 semanas lectivas de um semestre e corresponde a 6 ECTS (*European Credit Transfer System*), seguindo o sistema de Bolonha. Os temas 4, 8 e 10 corresponderão a duas semanas de aulas. O tema 2 será leccionado em aulas práticas e sessões de tutoria. Todas as semanas, haverá uma aula teórica e uma prática, não contabilizando as sessões de tutoria e as semanas de avaliação.

Na Universidade, poder-se-ia imaginar um ensino ideal em que não existiriam “aulas teóricas”. O professor difundiria a bibliografia com antecedência e a aula iria sendo construída, a par e passo, por docente e discentes, já conhecedores dos textos essenciais sobre o assunto. O tipo de aulas acima referido consegue realizar-se, de quando em quando, em sessões de 2º e 3º ciclos, com alunos informados e interessados. No entanto, uma das obrigações do professor é transmitir não só os conhecimentos que foi adquirindo, fruto do estudo e da experiência, mas também, e sobretudo, o gosto pela pesquisa individual, pela reflexão crítica e pela matéria leccionada.

Nas aulas teóricas, haverá necessariamente um período de exposição pelo docente, apoiada em projecção de esquemas, figuras, fotografias e filmes, que tornem a matéria mais clara e mais atraente (quanto a textos, apenas os tópicos da apresentação, alguma definição ou frase a discutir com a turma). A exposição não é forçosamente um monólogo, tentando o professor, se for necessário, provocar a participação activa dos estudantes, através de interpelações directas e perguntas concretas.

Anteriormente, os alunos terão podido descarregar do sítio da disciplina um plano detalhado da aula, com a indicação da bibliografia, a reprodução das principais figuras a projectar ou um *pdf* da apresentação em *power point*, que poderão ser anotadas ao longo da exposição. Acrescentem-se alguns *links* e artigos de difícil acesso. O facto de a maior parte das Universidades terem aderido à *b-on* e colocado à disposição numerosas revistas internacionais *on-line* beneficia extraordinariamente docentes e discentes.

Nas aulas práticas, serão aplicados conhecimentos ministrados nas aulas teóricas (elaboração de pequenos exercícios sobre pontos específicos da matéria) e discutidos alguns artigos, cujo conteúdo deverá ser integrado na matéria. Nestas aulas, são igualmente seleccionados e discutidos os temas dos trabalhos a elaborar pelos estudantes, apresentadas as técnicas e métodos para a sua elaboração, dados esclarecimentos sobre as várias etapas dos mesmos, desde a aquisição de dados até à respectiva elaboração e às normas de redacção a seguir. Algumas das aulas práticas terão lugar fora da Universidade (vejam-se o tema 2 e a

Parte C). Servem para demonstrar a utilização de vários equipamentos, partilhar experiência de campanhas de medição e alertar os estudantes para o facto de, também em Climatologia, ser essencial a observação de campo (ou de “cidade”). Se há fenómenos climáticos que se “medem”, o recurso à observação indirecta também pode e deve ser treinado.

A bibliografia fundamental

Em cada tema, a proposta de bibliografia será feita segundo os seguintes critérios:

- Indicar manuais, em que a matéria esteja sintetizada.
- Indicar a bibliografia mais recente, que existe sobretudo em inglês e, às vezes, em alemão.
- Indicar títulos em português, castelhano ou francês, que possam ser utilizados em alternativa.
- Fornecer uma lista de artigos para complementar ou ilustrar a matéria, exposta nos manuais.
- Ter o cuidado de não aconselhar um número demasiado elevado de títulos de leitura obrigatória. No entanto, uma vez que para a elaboração de trabalhos, os estudantes poderão necessitar de mais bibliografia referente a um tema, optou-se por apresentar, para cada capítulo, três listas distintas (**bibliografia essencial, bibliografia citada e bibliografia complementar**). Na **bibliografia essencial**, incluiu-se um número reduzido de títulos. São aqueles que os estudantes não podem deixar de ler. Hoje em dia, é impossível não privilegiar a bibliografia em inglês, pelo que os estudantes devem preparar-se para isso, complementando – se necessário – a sua formação naquele idioma. A **bibliografia citada** poderá servir discentes (e o docente) no estudo (preparação) da matéria das diversas aulas. Não será obrigatório para os estudantes ler a totalidade dos textos, mas poderão ver as páginas a que a alínea do programa diz respeito. O facto de se incluir **bibliografia complementar**, porventura demasiado extensa, tem como objectivo servir os docentes e orientar os estudantes na escolha e na execução do trabalho a desenvolver ao longo do semestre ou em estudo futuro.

Indicam-se, nos diferentes capítulos do programa, numerosos artigos devido à ausência de manuais actualizados. Para o justificar, é incluído seguidamente um breve historial dos textos de síntese referentes a cada matéria, artigos de referência, livros considerados interessantes e resenhas bibliográficas e obras onde se poderá obter informação de base e alguns sítios na *Internet*.

A primeira tentativa de síntese sobre os conhecimentos que, desde o fim do século XIX, se iam adquirindo sobre o clima das cidades foi levada a cabo no livro do Padre Albert

Kratzer, cuja primeira edição data de 1937 (com 225 títulos citados) e a segunda de 1956 (533 títulos citados)³.

O manual de R. Geiger, cuja 4ª edição data de 1961, foi traduzido para português apenas em 1980. “O clima das cidades” ocupa apenas 6 páginas. No entanto, no que diz respeito à climatologia local, este livro é fonte de alguns exemplos bastante interessantes.

Em 1975, M. M. Yoshino publica a obra *Climate in a small area. An Introduction to Local Meteorology*. A apresentação do clima das cidades ocupa 36 páginas, sendo feita uma síntese a partir de bibliografia em língua inglesa, alemã e japonesa.

O único manual sobre o clima urbano em língua inglesa data de 1981 e é da autoria de Helmut Erich Landsberg. Embora desactualizado nalguns pontos, poderá ser um bom ponto de partida para adquirir conhecimentos de base sobre o clima das cidades, tratado pormenorizadamente ao longo de 11 capítulos, e organizar a recolha bibliográfica para actualização de conhecimentos.

Em 1978 saiu a primeira edição do livro *Boundary Layer Climates* por T.R. Oke, reeditado em 1987. A partir de 1992, foi alvo de várias reimpressões. Este manual é de consulta obrigatória, embora o clima urbano seja apenas tratado no capítulo 8: *Inadvertent Climate Modifications*, incluído na Parte III *Man-modified atmospheric environments*. Trata-se de uma síntese clara, embora densa; os estudantes com menos bases poderão completar os seus conhecimentos com a leitura dos capítulos iniciais do manual. Alguns capítulos têm sido traduzidos pela docente e distribuídos aos estudantes com mais dificuldades de aprendizagem, devidas às dificuldades em dominar o inglês.

Entretanto, B. Atkinson compilou, numa brochura da colecção *UpDate*, da Universidade de Cambridge, o estado da arte da climatologia urbana em 1985.

Os outros dois manuais sobre clima urbano são em alemão, língua que a maior parte dos estudantes não domina, à excepção de alguns estudantes “Erasmus”, que frequentam o curso de Geografia ou de raros estudantes portugueses.

O livro editado pela Associação dos Engenheiros Alemães (VDI, 1988) inclui capítulos de diversos especialistas; o seu objectivo é fornecer informação sobre o clima urbano, a poluição do ar e os métodos e técnicas de aquisição de dados e de modelação em climatologia urbana a todos aqueles que a pretendem utilizar no planeamento. Cada capítulo termina com um ponto intitulado *Aspekte für die Planung*. Tem a vantagem de sintetizar bibliografia em alemão, nem sempre disponível.

³ Verificar-se-á que 3 dos 14 manuais são em alemão; embora consciente de que não serão utilizados pela maioria dos estudantes, achei que os devia incluir na enumeração dos manuais de climatologia urbana.

É pena que o manual do F. Fezer (1995), *Das Klima der Städte*, não esteja traduzido. Segue um esquema semelhante ao de Lansberg (1981), actualizando a informação e introduzindo um capítulo sobre os efeitos do clima urbano nos habitantes das cidades (em termos de saúde e conforto) e enunciando em dois capítulos os aspectos climáticos do planeamento urbano.

Em 1995, a 4ª edição do livro de R. Geiger (de 1961) feita por Aron e Todhunter (Geiger, Aron e Todhunter, 1995). O objectivo destes dois autores não foi reescrever o livro, mas actualizar matéria “datada”, adicionando os resultados de investigação mais recentes e, até novos tópicos. No entanto, a matéria referente à climatologia urbana apenas passou de 6 para 10 páginas, que podem complementar o capítulo de T. Oke (1987), sobretudo com uma série de exemplos diferentes.

No livro de Climatologia Aplicada, editado por Thompson e Perry, em 1997, aconselha-se a leitura dos capítulos *Comfort, clothing and health; Town planning; Architecture and building* e *Urban climates and global environmental change*.

Em 2001, foi publicado um livro com o título *Energy and climate in the urban built environment* (Santamouris, Ed., 2001), que compila contribuições de diversos autores em 17 capítulos. Embora de qualidade desigual, esta obra corresponde a uma actualização de alguns conhecimentos em língua inglesa, que poderá ser consultada com vantagem pelos estudantes.

Em 2003, foi lançado no Brasil um livro intitulado *Climatologia Urbana* (Mendonça, Ed.). Além da reimpressão de um artigo “clássico” de Carlos Augusto Figueiredo, grande impulsionador dos estudos de Climatologia urbana no Brasil, compilam-se trabalhos referentes a diversas cidades brasileiras, na sua maior parte sínteses de teses de Doutoramento. Não sendo um manual como os anteriores, tem a vantagem, além de ser escrito em português, de tratar do clima de cidades tropicais, até há pouco ignoradas nos manuais de base.

Ultimamente, têm sido editados textos em língua inglesa, que incluem capítulos sobre clima e qualidade do ar nas cidades. Cite-se o livro *Urban Ecology. An international perspective on the interactions between Humans and Nature*, com contributos de autores americanos e europeus (Marzluff *et al.* Ed., 2008) e *The Global Climate System* (Bridgman e Oliver, Ed., 2006).

Está disponível na internet uma publicação muito útil, sobretudo para a vertente aplicada da Climatologia (Baumüller, 2008: *Climate Booklet for Urban Development Online – References for Zoning and Planning*, Stuttgart), mas também com alguns capítulos simples e bem ilustrados sobre as bases da climatologia urbana (sítio no ponto 6).

Finalmente, aconselha-se a leitura de alguns fascículos da publicação bimensal da *Newsletter da International Association on Urban Climate* (sítio em 6), onde se encontram informações sobre projectos recentes, resumos de artigos e listas bibliográficas.

Inclui-se seguidamente uma lista das obras citadas e de outras consideradas fundamentais em climatologia urbana. Algumas serão repetidas a propósitos dos diferentes temas.

1. Manuais

- Atkinson, B.W.** (1985) *The urban atmosphere*. UPDATE. Cambridge University Press, Cambridge, 89p.
- Bridgman, H.A; Oliver, J.E. (Ed.)** (2006) *The Global Climate System. Patterns, Processes and Teleconnections*. Cambridge University Press, Cambridge, 331p.
- Fezer, F.** (1995) *Das Klima der Städte*. Klett-Perthes Verlag, 199p.
- Geiger, R.** (1961) *Manual de microclimatologia. O clima da camada de ar junto ao solo*. Trad. da 4ª edição, por Ivone Gouveia e Francisco Caldeira Cabral, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 556p. + índices.
- Geiger, R.; Aron, R., Todhunter, P.** (1995) *The climate near the ground*. 5ª edição. Vieweg, Braunschweig, 528 p.
- Kratzer, A.** (1ª edição, 1937; 2ª edição, 1956) *Das Stadtklima*. Vieweg und Sohn, Braunschweig (1ª ed., 143 p.; 2ª ed. 184p.)
- Landsberg, H.** (1981) *The urban climate*. International Geophysics Series, volume 28, Academic Press, New York, 275p.
- Marzluff, J.M.; Slumberger, E.; Endlicher, W. et al. (Ed.)** (2008) *Urban Ecology. An international perspective on the interaction between humans and nature*. Springer, New York, 807p.
- Mendonça, F. (Ed.)** (2003) *Clima urbano*. Editora Contexto. São Paulo, 192p.
- Oke, T.R.** (1987) *Boundary layer climates*. 2nd ed. Methuen. London, 435p.
- Santamouris, M. (Ed.)** (2001) *Energy and Climate in the urban built environment*. London. James and James, 402p. + 1CD
- Thompson, R.D.; Perry, A.** (1997) *Applied Climatology. Principles and Practice*. Routledge, London. 352p.
- VDI- Kommission Reinhaltung der Luft** (1988) *Stadtklima und Luftreinhaltung. Ein wissenschaftliches Handbuch für die Praxis in der Umweltplanung*. Springer Verlag, Berlin, 426p.
- Yoshino, M. M.** (1975) *Climate in a small area. An Introduction to Local Meteorology*. University of Tokyo Press. Tokyo, 549p.

2. Artigos-chave em Climatologia Urbana

- Arnfield, A. J.** (2003) Two Decades of Urban Climate Research: a review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island. *International Journal of Climatology*, 23(1): 1-26.
- Lee, D.** (1984) Urban Climates. *Progress in Physical Geography*, 8(1):1-31

- Lowry, W.P.** (1977) Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis, *Journal of Applied Meteorology*, 16:129-153.
- Lowry, W.P.** (1998) Urban effects on precipitation amount. *Progress in Physical Geography*, 22: 477-520.
- Shepherd, J.M.** (2005) A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. *Earth Interactions*, American Meteorological Society 9(12): 1-27. <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/EI156.1>
- Oke, T.R.** (1988) The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, 2(4): 471-508.
- Oke, T.R.** (1995) The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. In Cermak et al. (Ed.), *Wind Climates in Cities*. Kluwer, Dordrecht: 81-107.
- Oke, T.R.** (2006) Towards better communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology* 84:179–189.
- Mills, G.** (2006) Progress toward sustainable settlements: A role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 84:69–76.
- Grimmond, C.S.B.; Roth, M.; Oke, et al.** (2010) Climate and more Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective), *Procedia Environmental Sciences*, Elsevier, 1: 247-274. doi:10.1016/j.proenv.2010.09.016

3. Outras obras sobre clima urbano (ou com informação sobre clima urbano)

- Alcoforado, M. J.** (1992a) Lisbon's thermal patterns. *Pre-congress meeting of the Commission on Climatology*, 27th international Conference of the IGU, Pennsylvania: 100-108.
- Alcoforado, M. J.** (1992b) O clima da região de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos. Lisboa, Memórias do C.E.G, vol.15, Lisboa: 347. (edição policopiada da dissertação de 1988)
- Andrade, H.** (2003) *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 435p.
- Arroyo Lleria, F.; Fernández García, F.** (1991) *Aproximación al conocimiento del confort térmico urbano de Madrid*, Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, Colección de Estudios, Madrid, 109 p.
- Brazel, A.J.; Quatrocchi, D.** (2005) Urban climatology. In *Encyclopedia of World Climatology*. Springer, New York: 766-779.
- Chandler, T.J.** (1965) *The Climate of London*. Hutchinson, London, 150p.
- Fernández García, F.** (1995) *Manual de climatología aplicada, clima, medio ambiente y planificación*. Editorial síntesis, Madrid, 285p.
- Franke, E.** (Ed.) (1977) *Stadtklima. Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung*. Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 144p.
- Ganho, N.** (1998) O Clima urbano de Coimbra. Estudo de Climatologia local aplicado ao ordenamento urbano. Dissertação de Doutoramento apresentado à Universidade de Coimbra, 551p. pol.
- Givoni, B.** (1998) *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley and Sons, New York, 464 p.
- Guerra, A.J. T. ; Cunha, S.B.** (Ed.) (2009) *Impactos ambientais urbanos no Brasil*, 5ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 420p.
- Hufty, A.** (2001) *Introduction à la Climatologie*. De Boeck Université, Les Presses de l'Université Laval, 542p.
- Kuttler, W.** (2008) The urban Climate – Basic and Applied aspects. In Marzluff, J.M. et al., (Ed.) *Urban Ecology*, Springer: 233-248.

- Lombardo, M.** (1985) *Ilha de calor nas Metr6poles. O exemplo de S6o Paulo*. Hucitec, S. Paulo, 244p.
- Lopes, A.** (2003) *Modifica76es no clima urbano de Lisboa como consequ4ncia do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superf3cie e balan7o energ4tico*. Disserta76o de Doutoramento em Geografia F3sica, Faculdade de Letras. Lisboa, Universidade de Lisboa: 375 (existe tamb4m em CD).
- L6pez Gomez, A.** (1985) *Los climas de las ciudades*, Arbor, 474:13-32
- L6pez G6mez, A.** (coord.) (1993) *El Clima de las ciudades espa7olas*, C6tedra, Madrid, 268 p.
- Matzarakis, A.** (2001) *Die thermische Komponente des Stadtklimas*. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universit6t Freiburg, 6, 265p.
- Monteiro, A.** (1997) O Clima urbano do Porto – Contribui76o para a defini76o das estrat4gias de planeamento e ordenamento do Territ6rio. Funda76o Calouste Gulbenkian, 486p. (edi76o policopiada da disserta76o de 1993, Universidade do Porto)
- Moreno Garc3a, M. del Carmen** (1993) *Estudio del clima urbano de Barcelona : la "isla de calor"*. Ed. do autor, Barcelona, 193p.
- Olgay, V.** (1992) *Design with climate - a bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press, New York, 190p.
- Pigeon, P.** (1994) *Ville et environnement*. Nathan Universit6, Paris, Collection g4ographie d'aujourd'hui, 192 p. (Ver cap. 5 : *La gestion des risques naturels*).
- Yoshino, M.M. et al.** (Ed.) (1997) *Climates and Societies – a climatological perspective*. The GeoJournal Library, Kluwer Academic Publishers, 406 p. (Recomenda-se a consulta da parte 4: *Local Scale Climates*).

4. Resenhas bibliogr6ficas sobre clima urbano

- Chandler, T.J.** (1970) *Selected bibliography on urban climate*. T.P. n. 155, WMO n.276, WMO, Genebra.
- Jauregui, E.** (1992) *Bibliography on urban and building climatology. Period 1981-1991*. WMO/TD n. 552 , WMO, Genebra.
- Jauregui, E.** (1996) *Bibliography on urban and building climatology. Period 1992-1995*, WMO/TD n. 759, WMO, Genebra.
- Jauregui, E.** (1999) *Bibliography on urban and building climatology. Period 1996-1998*, WMO (formato digital)
- Oke, T.R.** (1974) *Review of urban climatology, 1968-73*, T.N. n.134, WMO, Genebra.
- Oke, T.R** (1979) *Review of urban climatology,1973-76*, T.N. n. 169, WMO n.539, WMO, Genebra.
- Fasc3culos da *Newsletter da IAUC* (ver s3tio em 6.)

5. Livros para revis6o de no76es de base

- Ahrens, C.D.** (2006, 8ª edi76o) *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate and the Environment*, Brooks/Cole, Thomson Learning, 624p.
http://www.cengagebrain.com/shop/content/ahrens11622_0495011622_01.01_toc.pdf
http://www.brookscole.com/cgi-wadsworth/course_products_wp.pl?fid=M20b&discipline_number=30&product_isbn_issn=0534397719
- Barry, R.G.; Chorley, R.** (2003) *Atmosphere, Weather and Climate*. 8ªedi76o, Routledge. London, 421p.

Henderson-Sellers, A.; Robinson, P.J. (1987) *Contemporary Climatology*. Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons, New York, 439p.

Miranda, P. (2001) *Meteorologia e Ambiente*. Universidade Aberta, Lisboa, 321p.

Stull, R.B. (2000) *Meteorology for Scientists and Engineers*. 2ª edição, Brooks/Cole, Thomson Learning, Pacific Grove.

Stull, R. B. (2003) *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.

6. Alguns sítios na *internet*

<http://www.urban-climate.org/>

http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/Climate_Booklet/download.htm

http://www.urbanclimate.net/start_e.htm

<http://www.stadtklima.de/>

<http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/>

<http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/LEARN/>

<http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/>

7. Glossários

<http://www.bom.gov.au/climate/glossary/>

http://www.meteo.fr/meteonet/decouvr/a-z/index_a.htm

<http://amsglossary.allenpress.com/glossary>

PARTE B

DESENVOLVIMENTO DOS

TEMAS SELECIONADOS

I – O clima como componente do ambiente urbano

1. Introdução ao estudo do clima urbano

A *World Urbanization Prospects* (2009) prevê que 59% da população se concentrará nas cidades em 2030 e 69% em 2050 (contra 48,3% em 2003 e 50,1% em 2009). Nota-se, na figura 1.1., que o aumento da população urbana ocorre sobretudo em cidades de “regiões menos desenvolvidas”. Em 2009, 9,4% da população mundial vivia em aglomerações de mais de 10 milhões de habitantes (*megacities*), proporção essa que, em 2025, subirá para 10,3%.

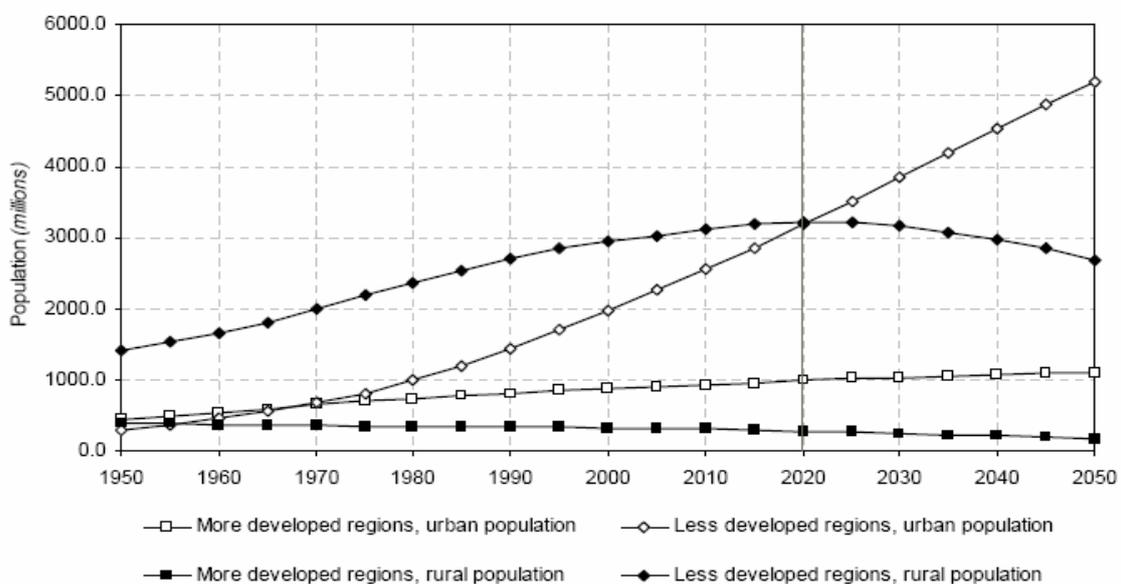


Fig.1.1. Evolução da população mundial, urbana e rural entre 1950 e 2050, em função do grau de desenvolvimento World Urbanization Prospects, 2009

Estas são razões do interesse crescente pelo estudo das cidades, em geral, e do seu ambiente biofísico, em particular. Se não forem tomadas medidas, a curto prazo, a qualidade de vida no espaço urbano continuará a degradar-se, assim como os recursos exteriores ao espaço urbano consumidos nas cidades (Forrester, 1969). No que respeita ao ambiente físico, a qualidade do ar e o ruído são as variáveis para as quais existe legislação própria na comunidade europeia. Alguns aspectos climáticos são considerados na legislação, mas dizem sobretudo respeito a medidas para mitigar o aquecimento global.

No entanto, encontram-se referências ao ambiente urbano em vários textos europeus, que se listam por ordem cronológica:

- *Livro verde sobre o Ambiente urbano* (1990, CEE).
- *Carta de Aalborg* (1994, I Conferência Europeia em que a sustentabilidade urbana foi

seleccionada como um dos objectivos centrais das políticas de ambiente urbano na Europa).

- *Cidades europeias sustentáveis* (1996, II Conferência Europeia sobre cidades sustentáveis).
- *Desenvolvimento urbano sustentável na União Europeia: um quadro de acção* (1999, CEE).
- *Agenda Global para as Cidades do Século XXI* (2000, URBAN 21 – Conferência Mundial sobre o Futuro Urbano).
- *Para uma estratégia sobre o ambiente urbano* (2004, CCE).
- *Livro Verde da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões – Adaptação às alterações climáticas na Europa – possibilidades de acção da União Europeia* (2007, Comissão das Comunidades Europeias).
- *Livro Branco – Adaptação às alterações climáticas: para um quadro de acção europeu* (2009, Comissão das Comunidades Europeias).

Numa comunicação da Comissão Europeia (CCE, 2004), uma das acções propostas para uma concepção urbana dita sustentável é a seguinte: “avaliar as consequências das alterações climáticas para as suas [de cada Estado-membro] cidades, de modo a que não sejam iniciadas urbanizações inadequadas e que as adaptações a novas condições climáticas possam ser incorporadas no processo de ordenamento do território” (CCE, 2004, p.32).

Mais recentemente, o Conselho de Ministros aprovou a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAAC, 2010, *Diário da República*, 1.ª série — N.º 64 — 1 de Abril de 2010), através da qual se “pretende dotar o País de um instrumento que promova a identificação de um conjunto de linhas de acção e de medidas de adaptação a aplicar, designadamente através de instrumentos de carácter sectorial...”. Foram definidos quatro objectivos para a presente Estratégia: informação e conhecimento, redução da vulnerabilidade, aumento da capacidade de resposta e cooperação a nível internacional. Além disso, foram “identificados domínios e sectores estratégicos, onde se irão focar esforços de identificação de impactes e de definição de medidas de adaptação”.

Depreende-se, destes exemplos, que existe consciência de que as alterações climáticas globais obrigarão a uma resposta em termos de ordenamento adequado do território; pelo contrário, não está explícito o conhecimento de que as próprias cidades alteram o clima, e que essas alterações poderão interferir na qualidade de vida e na saúde da população urbana. Existem apenas referências muito pontuais aos aspectos microclimáticos, sobretudo em relação com os espaços verdes.

Em certos países europeus existem normas para evitar as consequências nefastas de

certas características climáticas próprias das cidades e tirar partido das suas potencialidades, de modo a melhorar a qualidade dos climas urbanos (Stock *et al.*, 1991; Alcoforado *et al.*, 2005; LCCP, 2002 e 2006). Estudos com os mesmos objectivos têm vindo a ser levados a cabo no Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa (Alcoforado *et al.*, 2005; Alcoforado *et al.*, 2009a e b).

Foi com o objectivo de contribuir para o conhecimento dos climas urbanos e dar pistas para melhorar a qualidade do ambiente urbano que se concebeu a presente disciplina, em que se focará sobretudo uma das componentes do ambiente biofísico urbano: **o clima**. A qualidade do ar será integrada também devido às suas estreitas relações de interdependência com determinados parâmetros meteorológicos e climáticos. Ter-se-á sempre em conta que, encarando o espaço urbano como um ecossistema (fig.1.2; Douglas, 1983; Lawrence, 2003; Andrade, 2005; Marzluff *et al.*, 2008), o clima se integra no conjunto dos factores abióticos que, interagindo com factores bióticos e sócio-culturais, condicionam o habitante da cidade. As numerosas interacções entre as diversas “esferas” serão obviamente tidas em conta.

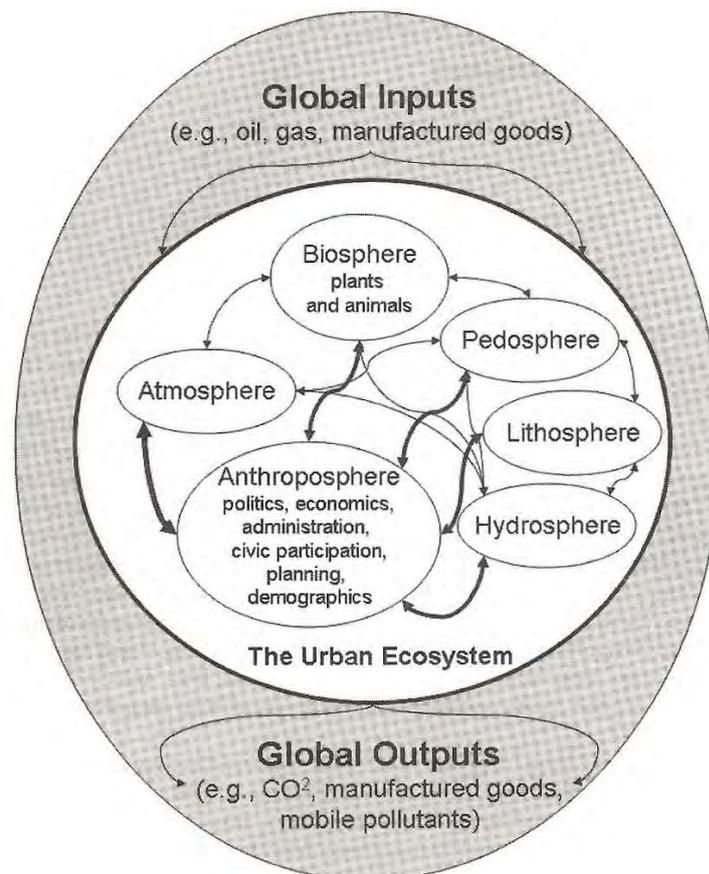


Fig. 1.2. Componentes básicas do ecossistema urbano (a espessura das setas denota a magnitude relativa das relações entre as componentes (Marzluff *et al.*, 2008)

1.1. Definições e natureza do clima urbano

Oke (1984a) definiu “meteorologia urbana como o estudo dos processos físicos, químicos e biológicos, que operam para modificar o estado da atmosfera nas áreas urbanas e “Climatologia urbana como o estudo dos seus estados atmosféricos mais frequentes” (Andrade, 2005, p.70). Em 2006, Oke apresenta uma definição mais abrangente, indicando que a climatologia urbana estuda as interações entre a atmosfera e as aglomerações humanas, incluindo o impacto da atmosfera nas pessoas, infra-estruturas e actividades em aldeias, vilas e cidades, assim como os efeitos desses locais na atmosfera.

O artigo de W. Lowry, *Empirical estimation of urban effects on climate*, embora datado de 1977, continua a ser aquele onde, de modo mais claro, é evidenciada a natureza do clima urbano, pelo que tem sido numerosas vezes retomado por diversos autores (Landsberg, 1981; Oke, 1984a; Oke, 2006). Partindo do princípio de que não se registaram alterações nos climas regional e local, Lowry tenta isolar o efeito da urbanização.

O clima de um determinado local (M) é constituído pelo conjunto (ou pela integração) dos elementos climáticos; por sua vez, cada um deles é a soma do efeito regional (C), das particularidades locais (L) e do efeito urbano (U).

$$M_{itx} = C_{itx} + L_{itx} + U_{itx}$$

Em que (i) se refere ao tipo de tempo e (t) ao momento, na estação (x), que poderá ser urbana (u) ou rural (r).

A situação anterior à urbanização será a seguinte:

$$M_{i0r} = C_{i0r} + L_{i0r} + 0$$

Assumindo que não houve alterações climáticas na região em estudo, anteriores à urbanização, ou seja, C e L se conservaram constantes, o efeito urbano pode ser descrito como

$$U_{itu} = M_{itu} - M_{i0r}$$

Segundo Oke (1984a), trata-se do único modelo possível para determinar o “efeito urbano” para cada elemento climático e por tipo de tempo, infelizmente só possível de realizar em cidades construídas de raiz, numa área previamente provida de uma estação meteorológica, o que é extremamente raro. Existem outras técnicas (mais imperfeitas do ponto de vista teórico, mas exequíveis), para isolar o efeito urbano, que serão referidas à frente.

1.2. Contribuição da climatologia urbana para a sustentabilidade e a qualidade de vida nas cidades

Lawrence (2003) sustenta – e estará certo – que a temática ambiental está insuficientemente integrada nas abordagens sociológicas e económicas do espaço urbano. Uma vez que o ambiente urbano é particularmente desfavorável, em termos de bem-estar humano, sob muitos pontos de vista (qualidade do ar, ruído, *stress* térmico) e que as cidades são os maiores consumidores de recursos e produtores de resíduos, a aplicação do conceito de sustentabilidade ao espaço urbano levanta novos desafios.

Neste contexto, a climatologia urbana pode ser útil se, através dos conhecimentos que proporciona, contribuir para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e para a redução dos impactes ambientais externos (limitando o uso de recursos e a produção de resíduos).

Segundo alguns autores, principalmente da área da arquitectura (Yannas, 2001), pode contribuir-se para a sustentabilidade urbana, diminuindo a ilha de calor urbana, através de medidas apropriadas. Num período de “aquecimento global”, este ponto de vista é um bom exemplo de aplicabilidade da climatologia urbana. Outro exemplo poderá ser o estudo das características de episódios meteorológicos extremos na cidade, como os ventos fortes, as chuvadas intensas ou as vagas de calor, que permitirá identificar áreas e situações de maior risco. Pinho, citado por Andrade (2005), é um dos autores que considera apelativo o conceito de “crescimento sustentável”, mas que duvida da sua operacionalidade, dizendo mesmo que tem sido utilizado para justificar políticas diferentes e, até, contraditórias.

1.3. Marcos históricos no estudo do clima urbano

Indicam-se, seguidamente, alguns marcos importantes dos estudos do clima nas e das cidades. Os estudos de climatologia **nas** cidades foram progredindo à medida que se foram instalando estações meteorológicas (a partir do século XVII); no século XIX aparecem os primeiros estudos do clima **das** cidades, sendo estabelecidas as diferenças entre meios rurais e urbanos. Paralelamente, mas a ritmo muito diverso, tem vindo a desenvolver-se a utilização de informação e conhecimentos climáticos no ordenamento do território urbano. Segundo Yoshino (1990/91), o clima era considerado no planeamento das cidades gregas, 500 anos antes de Cristo e, posteriormente, no império romano e na Índia. Este tipo de prática está de novo a ser tida em conta.

A selecção de marcos históricos no estudo do clima urbano, que seguidamente se apresenta, não pretende ser exaustiva e é, forçosamente, subjectiva.

Século XVII

Primeiras observações instrumentais em Itália.

Observações de Louis Morin, em Paris e outras na Inglaterra Central.

Século XVIII

Início de séries longas:

Pádua (1725), Milão (1763), Uppsala (1722), Estocolmo (1756), San Fernando/Cadiz (1776); St. Petersburgo (1743), (Camuffo e Jones, 2002)

1747-1753- Madeira (Barriendos *et al.*, 2000)

1770-1784 – Lamego (*idem*)

1781-1789 – Lisboa e arredores (Taborda *et al.*, 2004).

Século XIX

No caso da temperatura, cedo se conheceram as diferenças entre a cidade e o campo. O nevoeiro urbano era muito citado.

1818; 1833 – Edição de estudos sobre observações em Londres por *Howard*, que dá valores médios da temperatura na cidade, mais elevada do que no campo, sobretudo de noite.

Primeiras décadas do século XIX – *Franzini* instala, em 1815, uma estação meteorológica em Lisboa; mais tarde uma outra em Sintra. Embora não tenha publicado comparações sistemáticas, refere diferenças entre o clima dos dois locais

1843 – Conceito de “clima urbano” em Viena, divulgado por *Stifter*.

1855; 1868 – Edição de estudos sobre observações em Paris por *Renou*.

Século XX

1927 – Início dos estudos de Climatologia Urbana (trabalhos de Schmidt e Peppler, na Áustria, citados por Geiger, 1980), através das primeiras observações itinerantes.

1937 - Divulgação de estudos de clima urbano no manual de *Kratzer*.

1950 - *Sundborg* (citado por Oke, 1995b) explica a génese da ilha de calor urbano a partir do balanço energético.

1970 - Projecto *Metromex* (Changnon, 1974), início de estudo sistemático da possível intensificação da precipitação na cidade (ainda em discussão, tema 5).

1972 - Início da divulgação dos trabalhos de Oke.

1973 – A cidade “meteorologicamente utópica” de H. Landsberg.

1977 – Esquema de Lowry.

1978 - Primeira edição do livro *Boundary Layer Climates* por T. Oke.

1981- Manual *The urban Climate* de H. Landsberg.

1984 – Oke chama a atenção para a necessidade de estudos climáticos para o planeamento.

- 1987 - Segunda edição do livro *Boundary Layer Climates* por T. Oke.
- 1995 – Oke clarifica conceitos em relação à ilha de calor urbano.
- 1995-2010 – Multiplicam-se os estudos de climatologia urbana e suas aplicações.
- 1997 – Livro editado por Thompson e Perry - *Applied Climatology. Principles and Practice*.
- 1998 – Livro de B. Givoni - *Climate Considerations in Building and Urban Design*.
- 2002 – Criação da Associação Internacional de Climatologia Urbana (IAUC). http://www.urban-climate.org/iauc_home_fr.htm
- 2003, 2006, 2009 – Conferências da IAUC.

1.4. Escalas climáticas

Nas escalas global e regional, o clima da cidade é influenciado por factores tais como latitude, continentalidade, relevo, posição em relação à circulação atmosférica predominante. Estes factores também influenciam as actividades dos seus habitantes em relação às necessidades energéticas (por exemplo, para climatização). Por outro lado, as cidades têm forte rugosidade e são fonte de ar instável, quente e poluído, influenciando o padrão de vento, a temperatura, a precipitação. Esta influência pode ocorrer para sotavento, até distâncias relativamente grandes da cidade.

A compreensão da escala espacial é um elemento-chave para estudar e entender os climas urbanos, para programação de observações instrumentais e para levar a cabo modelação. No entanto, as categorias espaciais discretas são sempre arbitrárias, uma vez que os fenómenos atmosféricos são de natureza contínua (Andrade, 2005). Adoptar-se-ão as seguintes escalas espaciais, mesmo sabendo que existem critérios diferentes de autor para autor.

1.4.1. Na horizontal

A maior parte dos esquemas de classificação usam a escala horizontal de distância como único critério; esta, no entanto, deverá ser adaptada à área de estudo. Apresentam-se os seguintes limiares, sugeridos por Oke, em 1987 e por ele modificados em 2006 (Oke, 1987, 2006) (fig.1.3).

Micro-Escala (até a algumas centenas de metros). Na vizinhança imediata de cada elemento da morfologia urbana existe um microclima particular. A temperatura do ar pode variar de vários graus em curtas distâncias e o campo de vento é modificado, mesmo pelo mais pequeno objecto. Estudos típicos de microclimas urbanos estão relacionados com as

dimensões de edifícios individuais, árvores, ruas, praças, jardins, etc. A influência destes elementos restringe-se à atmosfera urbana inferior (*urban canopy layer*; ver 1.4.2)

Escala Local ou Topoclimática (100m a alguns quilómetros). Nas áreas urbanas, estudam-se, a esta escala, por exemplo, áreas de morfologia urbana homogénea (dimensões e espaçamento de edifícios, materiais mais frequentes) e de semelhante “metabolismo urbano” (Oke, 2006) e situação topográfica. O “sinal” climático é a integração de efeitos microclimáticos das áreas vizinhas. Um determinado clima local integra um mosaico de microclimas, que se repetem com uma certa regularidade.

Meso-Escala (até dezenas de quilómetros). Uma cidade influencia o estado do tempo e o clima numa área superior às suas próprias dimensões e na espessura da atmosfera urbana superior (ver 1.4.2), embora dependa de fenómenos atmosféricos de macro-escala.

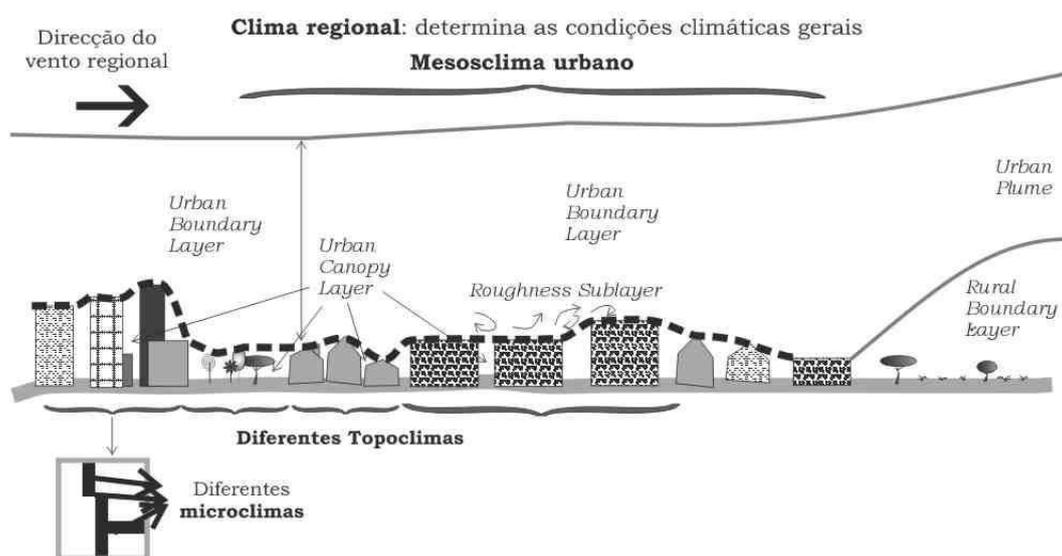


Fig.1.3. Escalas climáticas em áreas urbanas (Andrade, 2005)

1.4.2. Na vertical

Adoptar-se-ão as sub-divisões verticais da atmosfera urbana propostas por T. Oke, assim como as modificações que ele foi progressivamente introduzindo, sintetizadas numa apresentação de John Arnfield (2006).

Urban Canopy Layer (UCL) (atmosfera urbana inferior) – Camada entre o solo e o topo da superfície activa urbana (correspondente ao limite superior dos principais elementos urbanos). Observa-se, nas figuras 1.3 e 1.4a, que esta camada corresponde ao volume de ar entre os edifícios.

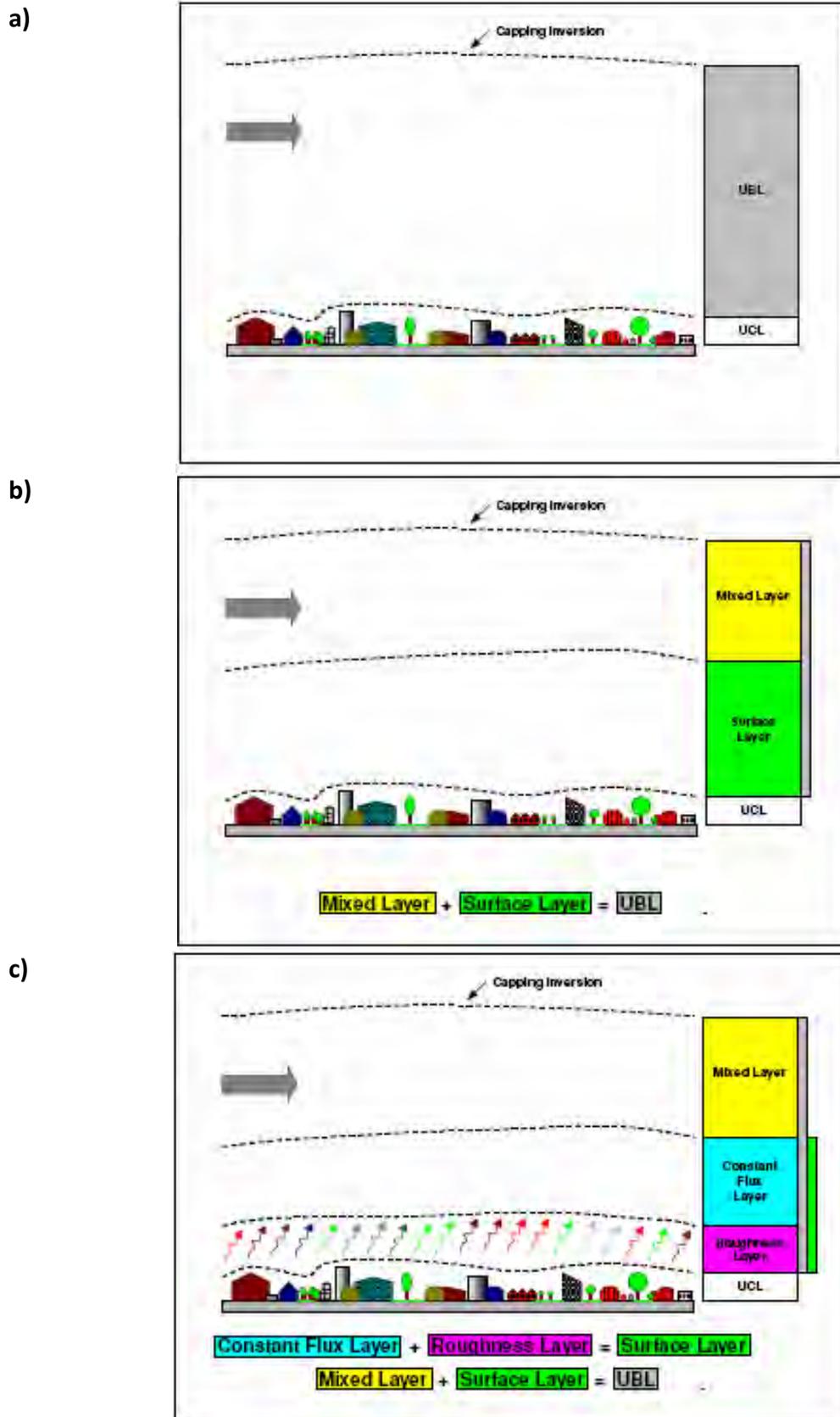


Fig. 1.4. Subdivisões da atmosfera urbana, baseada em vários trabalhos de Tim Oke (citados em Arnfield, 2006, de onde foram extraídas as imagens).

Urban Boundary Layer (UBL) (camada limite urbana ou atmosfera urbana superior). É definida por Oke como a camada, acima da superfície activa, portanto acima da UCL, cujas características climáticas são modificadas pela presença da cidade subjacente. A UBL pode estender-se para sotavento da cidade, formando a *Urban plume*, que se pode traduzir por Pluma urbana (fig.1.3). O limite superior da UBL representado nas figuras 1.3 e 1.4a é a base da inversão térmica, mais elevada de dia do que de noite.

Os climas urbanos devem a sua génese a processos diferentes que ocorrem na UCL e na UBL. Assim, é imperativo entrar em consideração com as **inter-acções dos processos que ocorrem em cada uma delas.** Nesta disciplina, estudar-se-á em mais pormenor os fenómenos que ocorrem na UCL mas, em quase todos os temas, a UBL será tomada em consideração para a explicação dos fenómenos; em certos temas (por exemplo, a precipitação na cidade), grande parte do estudo terá a ver com a UBL.

A UBL divide-se em **Surface Layer** e **Mixed Layer** e, por sua vez, a *Surface Layer* subdivide-se em **Roughness sublayer** e **Constant flux Layer** ou **inertial layer** (Arnfield, 2006).

a)Surface layer (Camada turbulenta superficial) Camada superficial caracterizada por intensa turbulência de pequena escala.

a₁)Roughness layer: (ou *roughness sublayer*) (camada de atrito) – Camada em que o fluxo é muito irregular, controlado pela superfície do solo (Oke, 1987). Em áreas homogéneas de forte densidade de construção o limite superior da camada de atrito pode ser apenas igual a 1.5H, sendo H a altura média dos elementos causadores do atrito, mas é superior a 4H, em áreas de fraca densidade de construção (Oke, 2006).

a₂) Constant Flux layer (Camada de fluxo constante) - Camada em que a variação de turbulência com a altitude é inferior em 10% à sua magnitude. Embora o fluxo não seja perfeitamente uniforme em altitude no interior desta camada, a idealização de uma camada de fluxo constante permite aplicar certas teorias e, por exemplo, descrever o perfil logarítmico do vento (AMS Glossary).

b)Mixed Layer (camada de mistura) – Camada em que domina a convecção livre (*Mixing layer* nalgumas publicações mais recentes)

Acima do topo da UBL, encontra-se a “atmosfera livre” – camada de ar na qual a acção de atrito da superfície da terra sobre o movimento do ar é desprezível e no qual o ar é considerado (do ponto de vista dinâmico) como um fluido ideal (AMS Glossary).

Bibliografia essencial

- Andrade, H.** (2005) O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XL (80): 67-91
- Oke, T.R.; Klyzik, K.; Bernhofer, C.** (2006) Editorial: Progress in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, (84): 1-2. DOI: 10.1007/s00704-005-0172-x
- Oke, T.R.** (2006) Towards better communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84:179-189

Bibliografia citada

- Alcoforado, M.J.; Lopes, A.; Andrade, H.; Vasconcelos, J.; Vieira, R.** (2005) Orientações climáticas para o planeamento e ordenamento em Lisboa. Área de investigação de Geo-Ecologia, nº4, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa (http://pdm.cm-lisboa.pt/rev_est2.html) e <http://www.c1ima.org>
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Vasconcelos, J.** (2009a) Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning*, 90(1-2): 56-65.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Oliveira, S.; Festas, M.J.; Rosa, F.** (2009b) *Alterações climáticas e desenvolvimento urbano*. Série Política de Cidades, 4, Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Lisboa, 90p.
- Andrade, H.** (2003) *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 435p.
- Arnfield, J.** (2006) How to do Urban Climatology: a Personal View of the Legacy of Professor Tim Oke. *Sixth International Conference on Urban Climate*, June 12-16, 2006, Göteborg, Sweden. (disponível na internet)
- Barriandos, M.; Garcia, J.C.; Martín-Vide, J.; Nunes, F.; Peñas, J.C.; Alcoforado, M. J.** (2000) 18th century instrumental meteorological series in the Iberian Peninsula. General Characteristics and climatic utility. In: Pigato, L. (Ed.) *Giuseppe Toaldo e il suo Tempo (1719-1797)*: 907-920.
- Camuffo, D.; Jones, P.** (2002) Improved understanding of past climatic variability from early daily European instrumental sources. Guest Editorial. *Climatic Change*, 53: 1-4.
- Changnon, S.A.** (1974) Recent studies of urban effects on precipitation in the Unites States. In: *Urban Climates*, WMO, Technical note 108: 327-343.
- CEE** (2004) *Para uma estratégia sobre o ambiente urbano*. Comunicação da Comissão ao Conselho ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. [COM (2004) 60].
- Douglas, I.** (1983) *The urban environment*. Arnold, London, 240p. ISBN-10: 0713163925
- Forrester, J. W.** (1969) *Urban Dynamics*, MIT Press, 285p.
- Geiger, R.** (1980) *Manual de microclimatologia. O clima da camada de ar junto ao solo*. Trad. da 4ª edição (de 1961), por Ivone Gouveia e Francisco Caldeira Cabral, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 556p.
- Kratzer, A.** (1ª edição - 1937; 2ª edição – 1956) *Das Stadtklima*. Vieweg und Sohn, Braunschweig (1ª edição – 143 p.; 2ª edição – 184p.)
- Landsberg, H.** (1973) The meteorologically utopian city. *Bulletin of the American Meteorological Society*, (54):86-89.
- Landsberg, H.** (1981) *The urban climate*. International Geophysics Series, volume 28, Academic Press, New York, 275p.
- Lawrence, R.** (2003) Human Ecology and its applications. *Landscape and Urban Planning*, (65):31-40.
- Lowry, W.P.** (1977) Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. *Journal of Applied Meteorology*, (16):129-153.
- London Climate Change Partnership (LCCP)** (2002) *A climate change impacts in London evaluation study*. Final Technical Report, Entec UK Ltd., 293 p.
- London Climate Change Partnership (LCCP)** (2006) *Adapting to climate change: Lessons for London*. Greater London Authority, London, 161 p.
- Marzluff, J. M.; Shulenberg, E.; Endlicher, W.; Alberti, M.; Bradley, G.; Ryan, C.; Simon, U.; Zumbrennen, C.** (eds), (2008) An international perspective on the interaction between humans and nature. *Urban Ecology*, Springer: vii-xi. ISBN: 978-0-387-73411-8

- Mills, G.** (2003) The Meteorologically Utopian City Revisited. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź, Poland, CD, 4p.
- Oke, T.R.** (1984a) Methods in urban climatology. In Kichhofer et al. ed. *Applied Climatology, Zürcher Geographischen Schriften*, (14): 19-29.
- Oke, T.R.** (1984b) 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*. 2nd ed. Methuen. London, 435p.
- Oke, T.R.** (1995a) The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. In: Cermak et al. (ed), *Wind Climates in Cities*. Kluwer, Dordrecht: 81-107.
- Oke, T.R.** (1995b) Classics in Physical Geography revisited. *Progress in Physical Geography*, 19 (1): 107-113.
- Partidário, M.R.** (2001) *Indicadores de Qualidade do Ambiente Urbano*. Direcção-Geral do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Urbano, Lisboa.
- Oke, T.R.** (2006) *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. WMO, Instruments and Observing Methods, report nº 81.
- Stock, P. et al** (1991) *Klimaanalyse Stadt Bochum*. Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen.
- Taborda, J.P.; Alcoforado, M.J.; Garcia, J.C.** (2004) *O clima no Sul de Portugal no século XVIII. Reconstituição a partir de fontes descritivas e instrumentais*. Geo-Ecologia, 2, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 211p.
- Yannas, S.** (2001) Towards more sustainable cities. *Solar Energy*, (70):281-294.
- Yoshino, M.** (1990/91) Development of urban climatology and problems today. *Energy and Buildings*, (15-16): 1-10.
- World Urbanization Prospects* (2009) - The 2009 Revision. United Nations. New York.
http://esa.un.org/unpd/wup/Documents/WUP2009_Highlights_Final.pdf

Bibliografia complementar

- Alcoforado, M.J.** (1992) *O clima da região de Lisboa. Ritmos e Contrastes térmicos*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, nº 15, 347p.
- American Meteorological Society Glossary** <http://msglossary.allenpress.com/glossary/>
- Chandler, T.J., et al.** (1976) Physical Problems of the urban environments. *The Geographical Journal*, 142(1): 57-80.
- ESPERE-** Environmental Science published for everyone around the world:
<http://espere.mpch-mainz.mpg.de/documents/pdf/>
- Goldreich, Y.** (1977) Empirical Estimation of Urban Effects on Climate: A Problem Analysis. *Climatic Change*, (12): 361-373.
- Newman, P.W.G.** (1999) Sustainability and Cities: extending the metabolism model. *Landscape and urban planning*, (44): 219-226.
- Scherer, D., et al.** (1999) Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment*, 33 (24-25): 4185-4193.
- Van Kamp, I., et al.** (2003) Urban environmental quality and human well-being: towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and Urban Planning*, 65(1-2): 5-18.
- Wanner, H.** (1984) Methods in applied topoclimatology. In: Kichhofer et al. (ed). *Applied Climatology, Zürcher Geographischen Schriften*, (14): 5-18.

2. Aquisição e tratamento da informação climática

Estes tópicos serão mais facilmente apreendidos se aplicados a um exemplo concreto. Ver também a parte C, em que se propõe um trabalho prático de climatologia local, com enquadramento na escala regional.

Numa primeira fase, propõe-se a apresentação de alguns tipos de publicações do Instituto de Meteorologia, com o objectivo de identificar as estações meteorológicas e postos udométricos na “região” onde se insere a área de estudo e verificar as características da informação disponível. À excepção de dados de precipitação, existem poucas séries fiáveis (com dados validados) de estações portuguesas na *Internet*.

A partir do exemplo concreto, e tendo em conta que a informação disponível é quase sempre inadequada e insuficiente para o trabalho a realizar, na escala local, as diversas possibilidades de aquisição própria de dados e a utilização de técnicas de detecção remota poderão ser apresentadas. As técnicas de tratamento estatístico da informação e de modelação poderão igualmente ser revistas, sendo discutida a sua adequação ao caso de estudo. É possível utilizar certos modelos estatísticos ao nível desta disciplina. Pelo contrário, exercícios avançados de modelação numérica e física serão levados a cabo posteriormente, nos 2º e 3º ciclos.

2.1. Informação existente

2.1.1. Rede do Instituto de Meteorologia

Em papel:

As “Normais”: Fascículos de “O Clima de Portugal”.

Anuários Climatológicos de Portugal. O último fascículo publicado diz respeito a 1988 para Portugal Continental e a 1986 para as ilhas da Madeira e dos Açores.

Anais do Instituto Geofísico do Instituto Geofísico Infante D. Luís (1ª e 2ª parte).

O Boletim Meteorológico Diário.

Alguma informação *on line* (ver mais em: <http://www.meteo.pt/>):

a) Informações sobre o “tempo”

Ex. cartas de superfície: <http://www.meteo.pt/pt/otempo/previsaonumerica/>

b) Informações sobre o clima

Exemplo: Normais 1971-2000 (Faro): <http://www.meteo.pt/pt/oclima/clima.normais/008/>

- c) Agrometeorologia
- d) Ambiente atmosférico

Exemplo - dados sobre a composição da atmosfera:

<http://www.meteo.pt/pt/ambiente/atmosfera/>

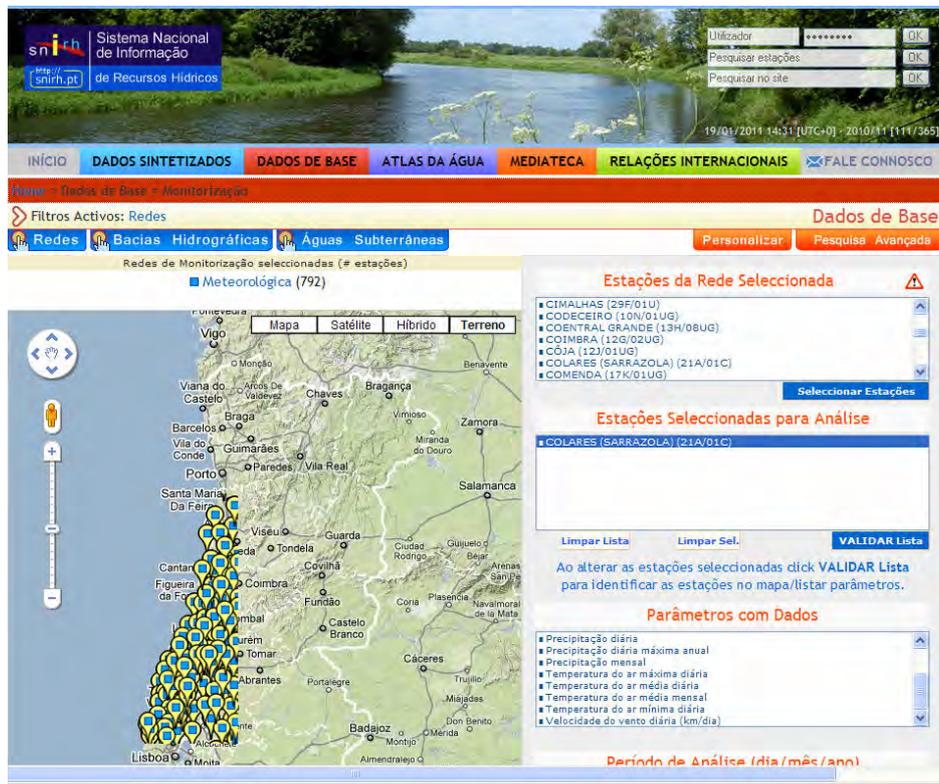
2.1.2. Informação de outros organismos nacionais

Instituto Geofísico Infante D. Luiz

Site muito interessante. Numerosas publicações, notícias científicas e dados diários e horários de Lisboa (Geofísico). <http://idl.ul.pt>

Rede SNIRTH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos)

Os dados de temperatura são os mais fiáveis nesta base de dados. <http://www.snirh.pt/index.php>



2.1.3. Outra informação interessante

Previsão do tempo

<http://meteo.ist.utl.pt/local/>

<http://www.metoffice.org/>

http://www.meteoblue.com/pt_PT/point/forecast/tab/b/pictocastDaily/f/11805/c/pt

Cartas sinópticas

<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>

Cartas sinópticas de datas passadas

http://www.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html

<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaeur.html>

Séries de dados

Planisférios com a localização das estações

<http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/ndp041/graphics/ndp041.temp.gif>

<http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/ndp041/graphics/ndp041.precip.gif>

Temperatura a partir de: *Goddard Institute for Space Studies* (NASA).

<http://www.giss.nasa.gov/data>

Recomenda-se a extracção de séries homogeneizadas.

Precipitação: a partir de *Nacional Climatic Data Centre* (NCDC) – *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA)

<http://www.ncdc.noaa.gov/>

Por FTP (file transfer protocol)

<ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/climvis/ghcn/>

Valores médios

<http://www.wetter.com/reise/laenderinfos/klimadatenbank/>

Imagens de satélite

Imagens actuais de satélite a partir da Universidade de Karlsruhe (Alemanha).

<http://imkhp2.physik.uni-karlsruhe.de/~muehr/satbilder.html>

Global Hydrological Climate Centre – NASA

<http://wwwghcc.msfc.nasa.gov/GOES/metsat7ir.html>

Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection - Groupe de Recherches en Télédétection et Radiométrie (Strasbourg - França) - Imagens de satélite actuais e passadas (em arquivo)

<http://www-grtr.u-strasbg.fr/index.shtml>

2.1.4. Causas da inadequação da informação disponível para estudos nas escalas local e microclimática (Oke, 1999; Oke, 2006; Grimmond, 2006)

- Densidade da rede (frequentemente insuficiente número de postos; uma excepção: em Tokyo existe actualmente uma rede de 120 estações meteorológicas automáticas – Mikami *et al.*, 2003)

- Localização das estações (seguindo as regras da WMO para serem representativas do clima regional) (fig. 2.1 a e b)
- Falta de *Metadata* (informação sobre os dados), incluindo o local exacto da estação, o tipo e as datas de substituição dos instrumentos, a localização precisa dos mesmos (altura acima do solo, distância de edifícios ou outros obstáculos, mudanças eventuais de observadores, etc.).



Fig.2.1.a. Estação meteorológica “clássica” (rede macroclimática)
<http://www.geos.ed.ac.uk/homes/thompson/rbge/>



Fig.2.1.b. Estação meteorológica automática (rede macroclimática)
<http://www.esac.pt/estacao/instrumentos.htm>

2.2. Aquisição de informação sobre a atmosfera urbana

2.2.1. Medições itinerantes (Endlicher, 1980; Alcoforado, 1992, entre muitos outros)

Os primeiros estudos de climatologia urbana constavam de medições itinerantes, levadas a cabo a pé, de bicicleta, ou de carro. Os observadores paravam regularmente durante

os percursos e anotavam as observações meteorológicas. A figura 2.2 ilustra alguns dos aparelhos mais utilizados: o psicrómetro *Assman* (fig.2.2 a) era um dos mais precisos aparelhos para medição da temperatura e humidade atmosférica, apesar do seu peso e lentidão de resposta. Alguns laboratórios usavam (e usam) veículos equipados com instrumentos, que registam dados continuamente durante os percursos, permitindo a obtenção de maior número e variedade de pontos de observação. As primeiras observações em Lisboa foram levadas a cabo a partir de medições itinerantes, primeiro com o psicrómetro *Assman* (Alcoforado, 1992) e, depois, com termo-higrómetro digital (fig. 2.2 b), de resposta mais rápida.

As principais desvantagens das medições itinerantes são a descontinuidade espacial e temporal, aliada ao facto da não simultaneidade das medições (o que implica a correcção dos dados medidos).

Quanto às horas de observação, seleccionam-se geralmente os períodos em que as temperaturas máximas e mínimas têm probabilidade de ocorrer (ao fim da noite e a meio do dia), juntando-lhe outro período, umas horas depois do pôr-do-sol, em que a intensidade da ilha de calor urbana (IC) é frequentemente mais intensa.

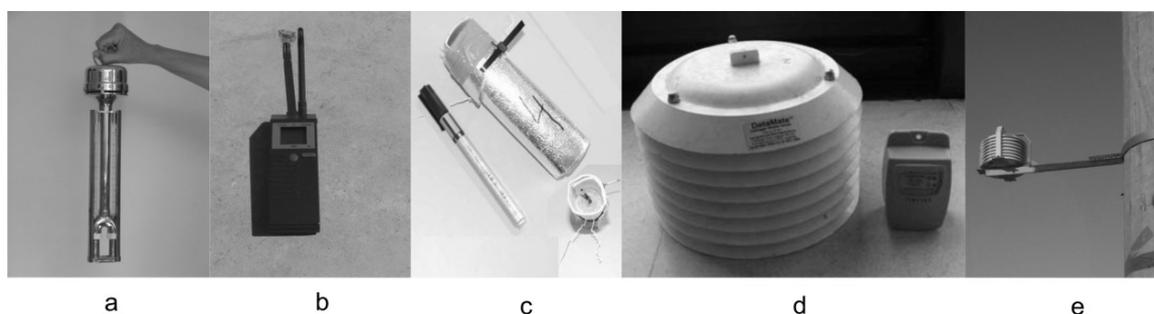


Fig.2.2. Exemplos de instrumentos e abrigos. a) Psicrómetro *Assman*, b) Termo-higrómetro digital; c) *Data-logger Gemini* – sensor de temperatura e de humidade e 1º tipo de abrigo utilizado em Lisboa; d) Abrigo em plástico e sensor de temperatura e humidade; e) Abrigo localizado num poste a cerca de 3,5m de altura (Alcoforado, 2010)

2.2.2. Redes fixas urbanas

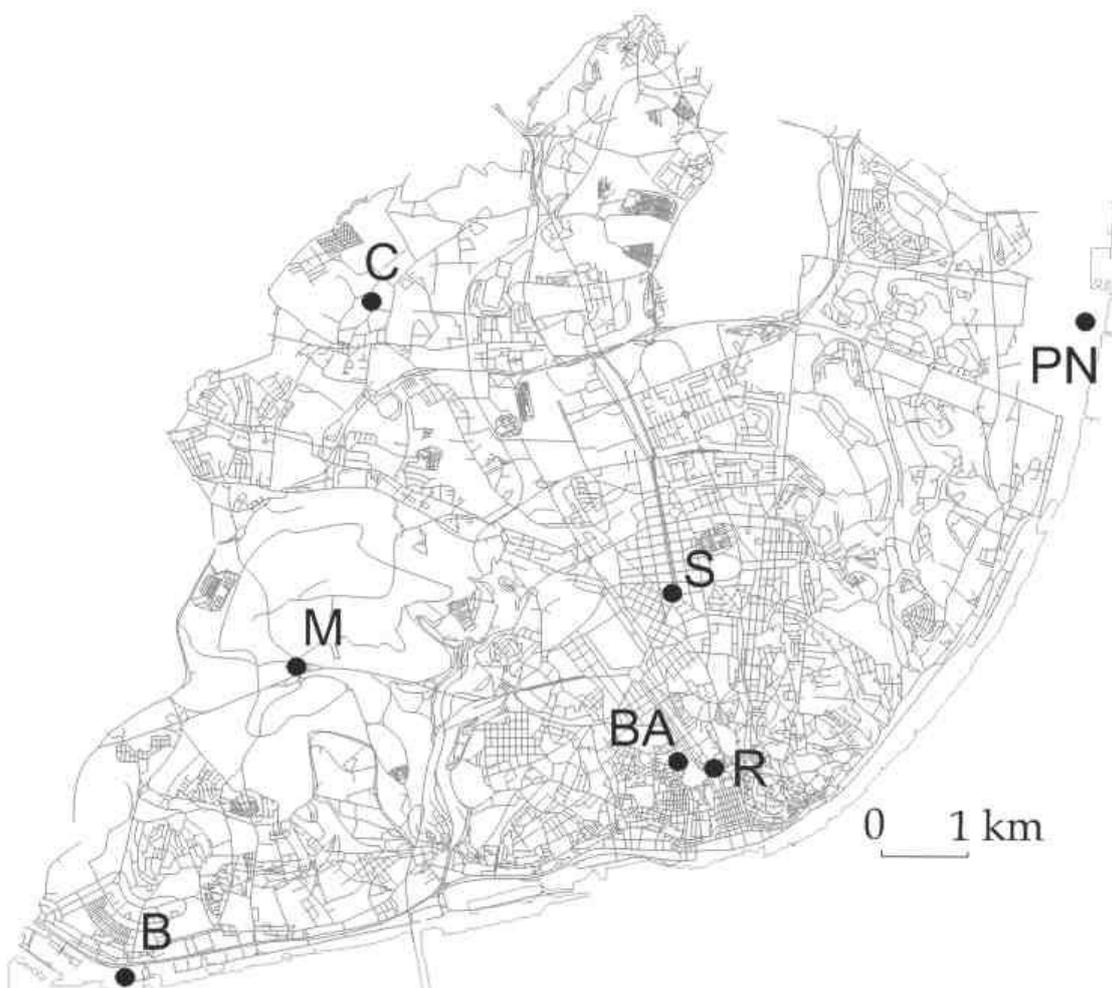
2.2.2a - Rede RUEMA

O Instituto de Meteorologia (IM) instalou estações meteorológicas urbanas em cada cidade de mais de 100 000 habitantes: RUEMA Rede Urbana de Estações Meteorológicas Automáticas (figura 2.3) <http://www.meteo.pt/RUEMA/inicial.htm>.

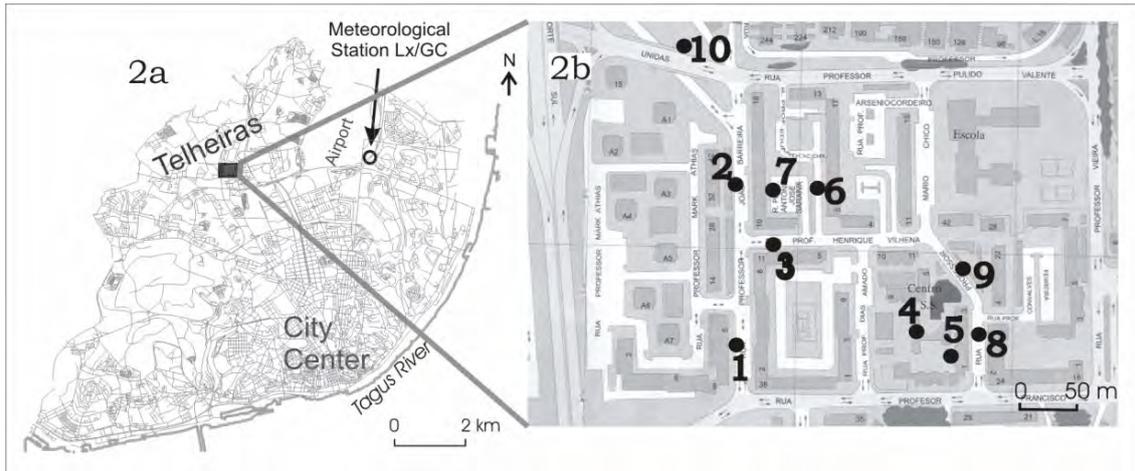


Fig. 2.3. Estação meteorológica da rede RUEMA (<http://www.meteopt.com/forum/instrumentos-meteorologicos/estacao-meteorologica-urbana-do-cacem-ruema-im-28-08-2009-a-3669.html>)

2.2.2.b. Redes CEG



2.4.a. Rede de mesoscala actual (2010) do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa (CEG-UL) (Andrade, 2003, ver siglas no quadro 1)



2.4.b. Rede de microescala do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa (CEG-UL) (Andrade, 2003)



Fig.2.4.c. Registador fixo de temperatura do ar e humidade (Rede de Mesoscala do CEG)

Como os dados RUEMA não eram adequados para a investigação que se pretendia levar a cabo em Lisboa, os investigadores do CEG-UL instalaram uma rede própria, no âmbito do projecto CLIMLIS, aconselhados por Tim Oke, consultor do projecto, que haveria de escrever mais tarde regras precisas para a implantação de estações meteorológicas em áreas urbanas (Oke, 2006). O objectivo desta rede é detectar as variações de temperatura em Lisboa devidas à posição na cidade dos pontos de observação, tão independentemente quanto possível das condições microclimáticas. A proximidade imediata de edifícios dos pontos de observação foi evitada, através da escolha de locais com elevado *Sky-view factor* (ver tema 3). Dos 15 locais de observação, sete permanecem activos, estando a gestão dos postos a cargo do núcleo ClIMA do CEG-UL (<http://www.c1ima.org/>). Os primeiros resultados foram apresentados em

Alcoforado *et al.* (2007). Os aparelhos e abrigos utilizados estão exemplificados na figura 2.2 c, d e e).

Num outro projecto (*Urbklim*) em que se pretendia estudar a variação espacial das características microclimáticas (Andrade, 2003), os *data-loggers* foram implantados em sítios com diferente geometria urbana, orientação das ruas e cobertura do solo (fig.2.4.b e Andrade e Alcoforado, 2008).

Quadro 2.1. Caracterização dos locais da rede mesoclimática de Lisboa (CEG)

Locais	Altitude (m)	Distância mínima ao Tejo (m)	% Construção *	Altura média construção (m)	NDVI **
Bairro Alto (BA)	60	1100	45	12	0.0
Belém (BEL)	5	105	0.0	0.0	0.1
Carnide (CARN)	114	7200	11	18	0.12
Monsanto (MONS)	172	2770	0.0	0.0	0.29
Parque das Nações (PN)	6	100	25	9	0.1
Restauradores (REST)	15	1305	46	16	-0.1
Saldanha (SALD)	82	3100	56	16	-0.14

* medida num quadrado de 100 m de lado, centrado sobre o local de medição

**NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* é um índice, obtido a partir de imagens de satélite, que indica a cobertura do solo por vegetação

2.2.3. Sondagens aerológicas, lançamento de balões estabilizados e de balões cativos

Só muito raramente se dispõe de sondagens aerológicas em espaço urbano (Fallot e Alcoforado, 1988), pelo que se usam outros processos para conhecer a terceira dimensão da Ilha de calor urbana: os balões estabilizados (*constant level balloons*) e os balões cativos. As trajectórias de balões estabilizados a um determinado nível e as respectivas modificações de altitude sobre as cidades permitem documentar a extensão vertical da ilha de calor urbana. Os sensores colocados em balões cativos, por seu lado, dão informação sobre parâmetros atmosféricos a várias alturas acima do solo.

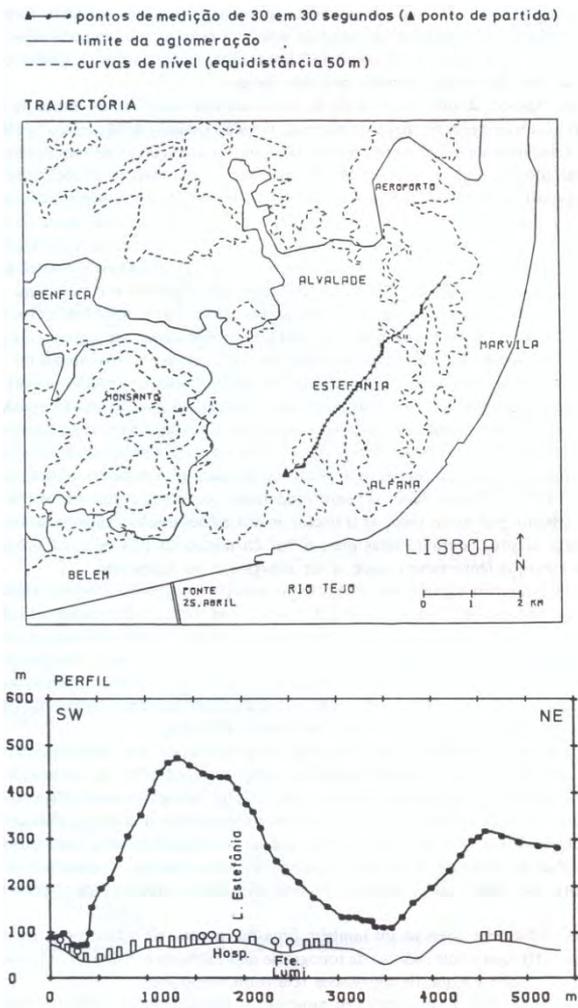


Fig. 2.5.a. Trajectória de um balão estabilizado sobre Lisboa (Alcoforado, 1992, p.211)



Fig. 2.5.b. Lançamento de balão cativo em Lisboa, equipado com vários registadores térmicos (Lopes e Vieira, 2002)



Fig. 2.5.c. À esquerda o invólucro de protecção dos registadores térmicos (tinytalk). Primeiro lançamento dos balões cativos em Telheiras, à direita (23 de Novembro de 2001).

2.2.4. Campanhas intensivas de medições

As grandes campanhas de medições, no âmbito de projectos interinstitucionais, têm numerosas vantagens: encorajar a observação de campo a diversas escalas temporais e espaciais; possibilitar a utilização de equipamento mais sofisticado, partilhado entre várias instituições; divulgar a importância da localização adequada dos instrumentos; permitir análises de dados mais rápidas e mais adequadas (Grimmond, 2006). Em Alcoforado (2010) encontram-se informações mais pormenorizadas de campanhas levadas a cabo no projecto internacional ESCOMPTE, apresentado a título de exemplo.



Fig. 2.6. Imagens de campanhas de medição no âmbito do projecto URBKLIM

2.2.5. Outros indicadores (Gulyas *et al.*, 2003). Líquenes e briófitos podem ser utilizados como bioindicadores da qualidade do ar (Sérgio e Bento Pereira, 1981 e 1983).

2.3. Informação obtida a partir de detecção remota

Este tema é normalmente desenvolvido noutras disciplinas, nomeadamente na disciplina de opção “Detecção Remota Aplicada à Climatologia”. Indicam-se, aqui, apenas os tópicos e referências bibliográficas.

2.3.1. Imagens obtidas a partir de sensores transportados em aviões

(Alcoforado, 1986; Ben-Dor *et al.*, 1999).

2.3.2. Tipos de satélites e respectivas bandas espectrais (Lopes, 2003, cap.7).

2.3.3. Informação obtida a partir de sensores colocados em satélite

a) **As imagens em infra-vermelho térmico** (Daveau, 1982 e 1988; Lee, 1993; Gallo *et al.*, 1993; Gallo *et al.*, 1995; Alcoforado *et al.*, 1995; Lopes, 2003, Voogt, 1999).

b) **Outras imagens** (por exemplo, utilizadas para a cartografia da ocupação do solo e índices de vegetação) que podem ser úteis para a modelação de outras variáveis físicas como o albedo exoatmosférico, os fluxos turbulentos de calor e as emissividades (Lopes, 2003 e outras datas, Mora, 2006, ambos disponíveis em <http://www.c1ima.org/>).

2.3.4. SODAR (Lokoshchenko, 2003; Carvalho *et al.*, 2002) e LIDAR (Zhou *et al.*, 2004).

2.4. Tratamento estatístico da informação

Este tópico deverá já ter sido referido noutras disciplinas. Se necessário, serão recordadas algumas técnicas, sobretudo como auxílio ao trabalho prático.

2.4.1. Crítica dos dados; colmatação de lacunas

2.4.2. Parâmetros estatísticos de tendência central, de dispersão e de forma (Clark e Hoskings, 1986; Wilks, 1995)

2.4.3. Utilização de análise factorial e das técnicas de classificação

(Sanders, 1989; Alcoforado, 1992; Andrade, 2003; Mora, 2006)

2.4.4. As séries de dados. Verificação da homogeneidade. Determinação da tendência. (Merlier *et al.*, 1998; Brázdil *et al.*, 2001).

2.5. Modelação

Using complementary approaches, there is reason to believe we can gain comprehensive understanding of turbulent flow, and the radiation and energy balances of the urban areas

Kanda, 2006

Os modelos têm a habilidade de reproduzir a variação espacial de características meteorológicas nas áreas urbanas e ainda, às vezes, ajudar a fazer previsões para o futuro. Por outro lado, os modelos são menos onerosos do que frequentes campanhas intensivas de observação do terreno (embora delas não se possa prescindir tanto para a construção, como para a validação dos modelos). Encontra-se a descrição de vários modelos em Ooka (2007), Martilli (2007), Kanda (2006) e Ratti *et al.* (2006). Na maior parte dos casos, deverá ser utilizada uma combinação adequada de diferentes modelos, aliada à observação de campo, não devendo ser ignorada a validação dos modelos (Oleson *et al.*, 2009).

2.5.1. Modelos estatísticos (Wilks, 1995; Andrade e Lopes, 1998; Alcoforado e Andrade, 2006; Andrade e Alcoforado, 2008).

O objectivo destes modelos é reproduzir diferentes parâmetros, usando relações estatísticas derivadas da observação (Masson, 2006). As suas principais vantagens são a simplicidade e o facto de não necessitarem de muitos parâmetros, nem de meios sofisticados de cálculo (Grimmond *et al.*, 2010). Como desvantagens, cite-se que alguns dos modelos estatísticos apenas se podem generalizar na cidade e na região para a qual foram desenvolvidos, que necessitam de numerosos pontos e longos períodos de observação, além de não estarem directamente baseados em leis físicas (mas sim nas suas consequências).

2.5.2. Modelos físicos

O vento na cidade, a turbulência e fenómenos de dispersão têm sido simulados com maquetas, por exemplo em túneis aerodinâmicos (Lopes, 2003), ou no exterior, sobre

obstáculos que reproduzem edifícios. A maior parte dos testes em laboratório foram conduzidos simulando atmosfera neutra ou vento forte quando domina a turbulência mecânica (Grimmond *et al.*, 2010). Kanda (2006) e Pearlmutter (2007) referem características, vantagens e inconvenientes destes modelos.

2.5.3. Modelos numéricos

Os modelos matemáticos são baseados em equações que reproduzem os processos que ocorrem nas áreas urbanas e simulam condições climáticas presentes, passadas e futuras. O *EnviMet* (Bruse, 1999) é um exemplo de modelo matemático, baseado em “Computational Fluid Dynamics” (CFD) e em modelos de balanço de energia. Em Baklanov *et al.* (2009) e em Grimmond *et al.* (2010) são descritos vários tipos de modelos numéricos aplicados às áreas urbanas e incluídas extensas listas bibliográficas referentes a CFD, parametrizações e modelos de dispersão e qualidade do ar.

Bibliografia citada

- Alcoforado, M.J.** (1986) Contribution to the study of Lisbon's heat island. Analysis from an infra-red image. *Freiburger Geographische Hefte*, H.26, Freiburg:165-176.
- Alcoforado, M.J.** (1992) *O Clima da região de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos*. Memórias do C.E.G, nº15, Lisboa, 347p.
- Alcoforado, M.J.** (2010) Assessing and Modeling the Urban Climate in Lisbon. *In: Carrega, P. Geographical Information and Climatology (Geographical Information Systems)*, Wiley, ISTE, London: 125-158. ISBN:1848211856
- Alcoforado, M.J., et al.** (1995) Regional thermal patterns in Portugal, using NOAA AVHRR infrared images. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XXIX (59-60), Lisboa: 100-114.
- Alcoforado, M. J.; Daveau, S.; Lopes, A.; Baumgartner, M.** (1995) Regional thermal patterns in Portugal using satellite images (NOAA-AVHRR). *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, XXX (59-60), Lisboa: 123-138.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Vasconcelos, J.; Vieira, R.** (2006) Observational studies on summer winds in Lisbon (Portugal) and their influence on daytime regional and urban thermal patterns. *Merhavim*, 6: 9-112.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.** (2006) Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, 1-3:151-160. DOI 10.1007/s00704-005-0152-1.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H., Lopes, A.; Oliveira, S.** (2007) The urban heat island of Lisbon. Data acquisition and initial results. *In Geophilia. O sentir e os sentidos da Geografia, Homenagem a Jorge Gaspar*, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa: 593-602
- Andrade, H.** (2003) *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 435p.
- Andrade, H.; Alcoforado, M.J.** (2008) Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. *Theoretical and Applied Climatology*, 92(3-4): 225-237. DOI 10.1007/s00704-007-0321-5.
- Andrade, H., Lopes, A.** (1998) A Utilização de um SIG para a estimação de temperaturas em Lisboa. *In: Fernandez Garcia,F.; Gallego,E.G.; Torrecilla, R.C. Madrid, (Ed.), Clima Y Ambiente Urbano En Ciudades Ibéricas E Iberoamericanas*. Parteluz, Lisboa: 85-91.
- Baklanov, A; Grimmond, S.; Mahura, A.; Athanassiadou, M.** (2009) *Meteorological And Air Quality Models For Urban Areas*, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.

- Ben-Dor, E., Saaroni, H.** (1999) *Airborne Video Thermal Radiometry as a Tool for Monitoring Microscale Structures of the Urban Heat Island*. Tel-Aviv, Department of Geography, Tel-Aviv University: 1-28.
- Brazdil, R.; Stěpánek, P.; Kveton, V.** (2001) Temperature series of the Czech Republic and its relation to Northern Hemisphere temperatures in the period 1961-1999. In: Brunet India, M., López Bonillo, D. (Eds): *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer, Berlin: 69-80.
- Bruse, M.** (1999) *Simulating Microscale Climate Interactions in Complex Terrain with a High-Resolution Numerical Model: A Case Study for the Sydney CBD Area (Model Description)*. Bochum, Department of Geography, University of Cologne.
- Bruse, M.** (1999) Modeling and strategies for improved urban climates. *Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, Sydney, Australia, Macquarie University.
- Carvalho, R., et al.** (2002) Mixing height and stability classes in Lisboa based on Echosonde data. *11th Symposium of Acoustic Remote Sensing and Associated Techniques of Atmosphere and Ocean*, Rome, 5p.
- Clark, W.A.; Hoskings, P.L.** (1986) *Statistical Methods for Geographers*. John Wiley and Sons, New York, 518p.
- Daveau, S.** (1982) Les températures des 3 et 4 juillet au Portugal et dans l'ouest de l'Espagne d'après les satellites Météosat et HCMM. *Finisterra- Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa, XVII(33):53-96.
- Daveau, S.** (1988) Thermographies HCMM de la Péninsule Ibérique de nuit et de jour. *Photo-interprétation*, 2(2):11-20
- Endlicher, W.** (1980) L'utilisation de mesures itinérantes et de thermographies comme moyens d'étude du mésoclimat. *Recherches Géographiques à Strasbourg*, 13-14: 128-133
- Fallot, J.M.; Alcoforado, M.J.** (1988) Mesures de l'influence de l'îlot de chaleur urbain de Lisbonne sur les écoulements régionaux en été. *Actes des journées de Climatologie*, Editions Erpicum, Liège, 57-74.
- Gallo, K.P. et al.** (1993) The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. *Journal of Applied Meteorology*, 35(2): 899-908.
- Gallo, K.P. et al.** (1995) Assessment of urban heat islands: a satellite perspective. *Atmospheric Research*, 37: 37-43.
- Grimmond S. (2006)** Progress in measuring and observing the urban atmosphere, *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3): 3-22.
- Grimmond, S.; Roth, M.; Oke, T.R. et al.** (2010) Climate and more sustainable cities: Climate information for improved planning and management of cities (Producers/Capabilities Perspective). *Procedia Environmental Sciences*, Science direct, 1: 247-274.
- Gulyas, A., et al.** (2003) Spatial distribution of the phenological phases and urban heat island in the cases of two Hungarian Cities. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź, Poland, CD, 4p.
- Kanda, M.** (2006) Progress in the scale modelling of urban climate: Review. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3): 23-33.
- Lee, Hyoun-Young** (1993) An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands. *Atmospheric Environment, Part B*, 27B (1): 1-13.
- Lokoshchenko, M.A.** (2003) Sodar Observations of the "Heat Island" effect above Moscow and other cities. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź, Poland, CD, 4p.
- Lopes, A.** (2003) *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 369p.
- Lopes, A.; Vieira, H.** (2002) A utilização de balões cativos para o estudo microclimático do bairro lisboeta de Telheiras. *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, XXXVII (74), Lisboa:151-160.
- Martilli, A.** (2007) Current research and future challenges in urban mesoscale modelling. *International Journal of Climatology*, 27 (14): 1909-1918.
- Masson, V.** (2006) Urban surface modelling and the mesoscale impact of cities. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3):35-45.
- Merlier, C.; Alcoforado, M.J.; Lopes, A.; Mestre, O.** (1998) Homogénéisation des longues séries de températures. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 11: 284-290.

- Mikami, T. et al.** (2003) A New Urban Heat Island Monitoring System in Tokyo. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź, Poland, CD, 4p.
- Mora, C.** (2006) *Climas da Serra da Estrela. Características regionais e particularidades locais dos planaltos e do alto vale do Zêzere*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 427p.
- Oke, T.** (1999) Observing urban weather and climate using 'standard stations'. *15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, Macquarie University, Sydney - Australia, CD, 6p.
- Oke, T.R.** (2006) Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Instruments and observing methods 81. WMO/TD-No. 1250. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>
- Oleson, K.; Bonan, G.; Feddema, J.; Jackson, T.** (2009) Progress toward modeling global climate change in urban areas, *Urban Climate News*, Quarterly Newsletter of the International Association for Urban Climate (31):8–12.
Available at <http://www.urban-climate.org/>
- Ooka, R.** (2007) Recent development of assessment tools for urban climate and heat-island investigation especially based on experiences in Japan, *International Journal of Climatology*, 27 (14): 1919-1930. DOI: 10.1002/joc.1630
- Pearlmutter, D.; Berliner, P.; Shaviv, E.** (2007) Urban climatology in arid regions: current research in the Negev desert, *International journal of Climatology*, 27(14):1875-1885
- Runnalls, K.E.; Oke, T.R.** (2006) A technique to detect microclimatic inhomogeneities in historical records of screen-level air temperature. *Journal of Climatology*, 19:959–978.
- Ratti, C.; Di Sabatino, S.; Bitter, R.** (2006) Urban texture analysis with image processing techniques: wind and dispersion. *Theoretical and Applied Climatology*, 84: 77-99
- Sanders, L.** (1989) *L'analyse statistique des données en Géographie*. GIP, Reclus, Montpellier, 268p.
- Sérgio, C.; Bento-Pereira, F. (1981)** Líquenes e biófitos como bio-indicadores da poluição atmosférica. 1ª Utilização de uma escala quantitativa para Lisboa, *Boletim da Sociedade Broteriana*, LIV, 2ª série, Lisboa: 291-303.
- Sérgio, C.; Bento-Pereira, F. (1983)** Líquenes e biófitos como bio-indicadores da poluição atmosférica. 2ª Utilização de uma escala quantitativa para Lisboa, *Revista de Biologia*, Lisboa, 12: 297-312.
- Voogt, J.T.O.** (1999) Multi-temporal remote sensing of an urban heat island. *15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, Macquarie University, Sydney - Australia, CD, 6p.
- Wilks, D.** (1995) *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. San Diego, Academic Press.
- Zhou, G.; Song, C.; Simmers, J.; Cheng, P.** (2004) Urban 3D GIS from LiDAR and digital aerial images, *Computers and Geosciences*, (30): 345-353

II – Características gerais do clima urbano

3. Balanço energético na cidade⁴

O conhecimento do balanço energético da superfície e da atmosfera é fundamental para a compreensão da meteorologia e da climatologia da camada-limite, uma vez que, conjuntamente com o vento sinóptico, constitui a força impulsionadora dos fluxos verticais de calor, de massa e de quantidade de movimento⁵ (Oke, 1988). Também é essencial para a compreensão do comportamento da humidade do ar, da temperatura do ar e da superfície, da dinâmica dos fluxos locais, da espessura da camada-limite e, indirectamente, da concentração dos poluentes.

Segundo Oke (1988), Sundborg (1950) terá sido o primeiro investigador a socorrer-se do balanço de energia para explicar as suas observações referentes às temperaturas do ar mais elevadas na cidade.

Uma vez que esta é uma disciplina do curso de Geografia, não se pretende aprofundar os conceitos físicos, mas tão só transmitir a informação indispensável para a compreensão dos capítulos seguintes. Consideram-se conhecidas certas matérias leccionadas nas disciplinas do 1º ano (natureza da radiação solar e terrestre, transferências de calor entre a superfície e a atmosfera, leis de *Stefan-Boltzmann*, *Wien* e *Kirchhoff*), embora se volte a apresentar a equação do balanço energético, agora aplicado ao meio urbano. Seguidamente, sugere-se o estudo das modificações de alguns termos do balanço energético devidas à topografia e à fracção visível da abóbada celeste.

3.1. Equação do balanço energético em meio urbano

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

Q* - Balanço de radiação

QF – Fluxo de calor antrópico

QE – Fluxo turbulento de calor latente

QH – Fluxo turbulento de calor sensível
(que aquece o ar)

Oke, 1988, p.473. Unidades: Wm⁻²

ΔQ_S – Fluxo de calor armazenado no solo e nos edifícios

ΔQ_A – Fluxo horizontal advectivo através da camada limite urbana)

Por convenção, os fluxos em direcção à superfície da terra têm sinal positivo e vice-versa.

⁴ As siglas utilizadas encontram-se também numa lista no fim do volume. São utilizadas as siglas dos vários trabalhos de Tim Oke e também de Grimmond *et al.*, 2010.

⁵ Ou de “momento”, segundo traduções mais literais.

3.1.1. Balanço de radiação (Q^*)

$$Q^* = K^* + L^*$$

$$\text{em que } K^* = K \downarrow - K \uparrow \text{ e } L^* = L \downarrow - L \uparrow$$

(Unidades: Wm^{-2})

Em que

Q^* - Balanço de radiação (*net all-wave radiation*)

$K \downarrow$ - Radiação solar global (directa + difusa) (pequeno comprimento de onda)

$K \uparrow$ - Radiação solar reflectida (pequeno comprimento de onda)

K^* - Balanço de radiação (pequeno comprimento de onda)

$L \downarrow$ - Radiação emitida pela atmosfera (grande comprimento de onda)

$L \uparrow$ - Radiação emitida pela superfície da terra (grande comprimento de onda)

L^* - Balanço de radiação (grande comprimento de onda)

- Comparação dos valores rurais e urbanos de $K \downarrow$ e $K \uparrow$ ⁶

$K \downarrow$ - Radiação global. É constituída pela radiação directa (D) e difusa (d).

A latitude controla $K \downarrow$ no limite superior da atmosfera, mas as condições sinópticas regionais condicionam a nebulosidade, que vai interferir sobretudo em D. Os valores de $K \downarrow$ na cidade são 10% inferiores aos do campo (Heisler e Brazel, 2010), em função da composição da atmosfera urbana. O efeito de filtro da atmosfera urbana é mais eficaz nos pequenos comprimentos de onda. Os processos de dispersão e absorção variam em função da concentração e composição dos aerossóis urbanos (Gomes *et al.*, 2008). A redução da radiação solar reduz os processos fotoquímicos, atenuando a formação de poluentes secundários em áreas urbanas.

A determinação do número de horas de radiação solar directa para diversos locais e diversas datas do ano é facilitada pela utilização de diagramas solares. Ver exercício prático (Parte C), com o programa *Rayman*.

$K \uparrow$ - Radiação reflectida. Depende do albedo ($K \uparrow / K \downarrow$) e este varia no interior da cidade não só em função das características físicas dos materiais (incluindo a cor, sendo o albedo de superfícies claras maior do que de superfícies escuras, mas também o tipo de material, quadro 3.1), como também do arranjo espacial e da volumetria dos elementos da morfologia urbana (na *atmosfera urbana inferior*). Para o mesmo tipo de material o albedo

⁶ Onde se escreve aqui “radiação” para simplificar, tal como em Oke (1987) e Grimmond et al. (2010), dever-se-ia escrever fluxo de radiação por unidade de área ou irradiância total. Miranda (2001, p. 42) precisa o significado das seguintes grandezas: irradiância total, irradiância monocromática e radiância. A irradiância total é o “fluxo total [de radiação] que atravessa a superfície, vindo de todas as direcções num dado hemisfério, por unidade de tempo. A irradiância total tem unidades de Wm^{-2} , é uma medida da potência radiante por unidade de área (...).”

diminui com uma maior razão H/W (quociente entre a altura dos edifícios e a largura das ruas, Landsberg, 1981). Albedo de cerca de 10% no centro da cidade (grande variação espacial) e de 20% no campo (Christen e Vogt, 2004; outros valores em Oke, 1988, p. 483).

Quadro 3.1. Balanço de energia médio estival de algumas cidades americanas (extraído de Heisler e Brazel, 2010, com base em Grimmond e Oke, 1995)

Location	NR	SH	LH	S	G
MJ m ⁻² d ⁻¹					
Tucson, AZ	16.27	7.54	4.11	4.62	na
Sacramento, CA	12.65	5.19	3.79	3.67	12.73
Chicago, IL	17.20	5.58	7.11	4.51	2.65
Los Angeles, CA	16.40	5.74	4.12	6.54	1.37

† Symbols for fluxes are: NR, net radiation; SH, sensible heat; LH, latent heat; S, total storage both above and below ground estimated as a residual from the energy budget equation; G, storage in ground measured with a soil heat flux plate.

Quadro 3.2. Propriedades radiativas de materiais e áreas urbanas típicos (Oke, 1987)

Surface	α Albedo	ε Emissivity	Surface	α Albedo	ε Emissivity
1. Roads			4. Windows		
Asphalt	0.05–0.20	0.95	Clear glass		
2. Walls			zenith angle		
Concrete	0.10–0.35	0.71–0.90	less than 40°	0.08	0.87–0.94
Brick	0.20–0.40	0.90–0.92	zenith angle		
Stone	0.20–0.35	0.85–0.95	40 to 80°	0.09–0.52	0.87–0.92
Wood		0.90	5. Paints		
3. Roofs			White, whitewash	0.50–0.90	0.85–0.95
Tar and			Red, brown, green	0.20–0.35	0.85–0.95
gravel	0.08–0.18	0.92	Black	0.02–0.15	0.90–0.98
Tile	0.10–0.35	0.90	6. Urban areas [†]		
Slate	0.10	0.90	Range	0.10–0.27	0.85–0.96
Thatch	0.15–0.20		Average	0.15	~0.95
Corrugated					
iron	0.10–0.16	0.13–0.28			

† Based on mid-latitude cities in snow-free conditions.

Sources: Threlkeld (1962), Sellers (1965), van Straaten (1967), Oke (1974), Arnfield (1982).

Assim, recebendo as cidades menos radiação de pequeno comprimento de onda do que o campo, mas tendo um albedo inferior existirão, em média, pequenas diferenças no balanço de radiação em pequeno comprimento de onda (Brazel e Quatrocchi, 2005), pelo menos ao nível da *atmosfera urbana superior*.

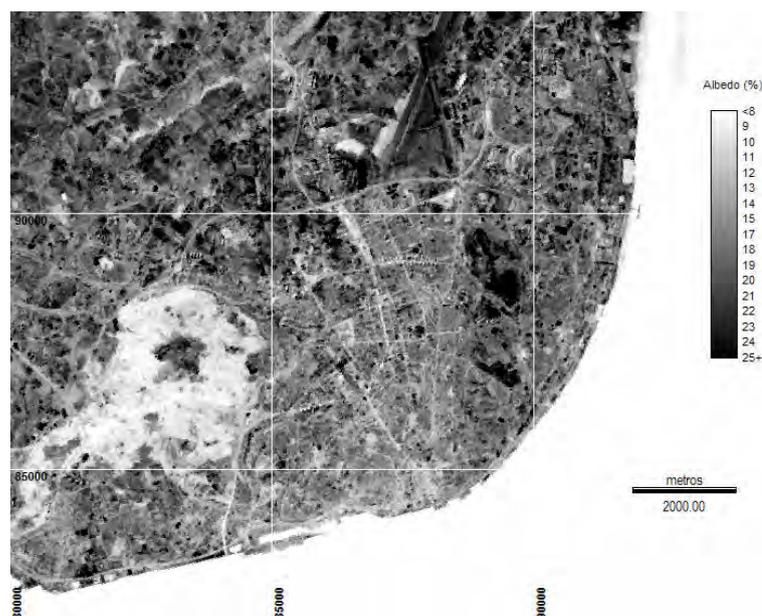


Figura 3.1. O albedo em Lisboa (Lopes, 2003)

- Comparação dos valores rurais e urbanos de L_{\downarrow} e L_{\uparrow}

Justificações em função da lei de *Stefan-Boltzmann* $L = \epsilon\sigma T^4$ em que ϵ representa a emissividade da superfície, σ a constante de *Stefan-Boltzmann* e T a temperatura da superfície (em K).

L_{\downarrow} - Radiação emitida pela atmosfera, em grande comprimento de onda.

É maior na cidade devido à maior emissão por uma atmosfera urbana mais quente e contendo mais aerossóis que no campo (Grimmond *et al.*, 2010). Diferenças maiores durante o dia (Estournel *et al.*, 1983).

L_{\uparrow} – Radiação emitida pela superfície da terra, em grande comprimento de onda.

É maior na cidade se a temperatura de superfície for mais elevada do que no “campo”. L_{\uparrow} depende também da emissividade (*lei de Stefan-Boltzmann*), que varia muito de local para local e, em média, é mais próxima de 1 na cidade (quadro 3.2). A radiação emitida também depende da humidade do solo e, conseqüentemente, da precipitação anterior (Heisler e Brazel, 2010)

Tal como para o balanço de radiação em pequeno comprimento de onda, o balanço em

onda de grande comprimento também não difere muito na cidade e no campo. Assim, em termos teóricos, não há diferenças elevadas de balanço de radiação na *atmosfera urbana superior* (Oke, 1988, p.485) ou em locais urbanos de elevado SVF.

No entanto, tem de se estimar a tridimensionalidade da cidade para calcular com precisão o balanço de radiação. Por exemplo, na *atmosfera urbana inferior*, existe uma enorme dependência de factores relacionados com a geometria urbana e as características físicas das diversas superfícies.

3.1.2. Fluxo de calor antrópico (QF)

Energia fornecida à atmosfera urbana pelas actividades antrópicas (proveniente da combustão do *fuel* dos veículos, fontes estacionárias como os edifícios e fábricas nas zonas suburbanas e calor libertado pelo metabolismo humano - Sailor e Lu, 2004). Parâmetro de difícil avaliação. A magnitude do fluxo depende da escala de análise; os valores que se apresentam dizem respeito à escala da cidade e não de edifícios individuais (Grimmond *et al.*, 2010).

- Valores médios

Segundo Oke, 1988, $QF=15$ a 50 Wm^{-2} em cidades de latitudes médias. Até 20 Wm^{-2} em Basileia, segundo Christen e Vogt (2004).

- Grande variação no tempo e no espaço

Variação estacional, podendo QF de cidades industrializadas de latitudes médias ultrapassar, no Inverno, os valores de Q^* (Oke, 1988) ou chegar mesmo a 300% de Q^* (em função do grau de industrialização, Heisler and Brazel, 2010) e diária com dois picos no início e no fim do dia (Oke, 1988). Variação em função do desenvolvimento sócio-económico da cidade. Grande variabilidade espacial no interior de uma mesma cidade (centro com valores mais elevados, com “pontos quentes” em áreas industriais).

- **Sua proporção no balanço energético depende** da densidade populacional (Sailor e Lu, 2004 mostram que a densidade populacional varia muito durante o dia), do consumo de energia *per capita* (por sua vez relacionado com o clima regional - graus-dias de aquecimento e de arrefecimento, Landsberg, 1981), do tipo de actividade industrial.

- Forma como QF é transferido para a atmosfera urbana

Efeito directo na *atmosfera urbana inferior*: calor emitido pelo tráfego num “canhão urbano”, através de aparelhos de ar condicionado, de sistemas de ventilação ou condutas subterrâneas mal isoladas. Efeito indirecto: Calor emitido a partir de chaminés ou sistemas de ventilação nos telhados, apenas efeito na *atmosfera urbana superior*.

3.1.3. Fluxo de calor armazenado (ΔQ_s)

O fluxo de calor armazenado depende de propriedades térmicas dos materiais utilizados na cidade, como a condutibilidade e a capacidade calorífica (Oke, 1987). Devido à tridimensionalidade da cidade, as superfícies são quase o dobro das de uma área plana; existe assim uma área muito grande de superfícies urbanas, onde diversos fluxos podem ser convertidos em Q_s . Oke (1988) refere valores muito elevados nas áreas urbanas, embora com grandes variações espaciais. Q_s é duas a três vezes maior na cidade do que no campo (Christen e Vogt, 2004). Segundo Grimmond *et al.* (2010), no campo, Q_s será cerca de 5% do balanço de radiação, enquanto este valor pode alcançar 40 a 50% na cidade (fig.3.2 e Lopes, 2003). Modos de determinação: cálculo como valor residual do balanço energético e monitorização de temperatura em diversas superfícies e cálculo utilizando equações de condução de calor.

3.1.4. Fluxo turbulento de calor sensível (Q_H)

O calor sensível é normalmente descrito como o calor sentido pelos seres vivos (Equações em Oke, 1987 e em Stull, 2000). O fluxo de calor sensível (Q_H) depende da energia disponível, do gradiente vertical da temperatura do ar na atmosfera urbana e da capacidade do ar para transportar a energia a partir do local mais quente (para a superfície do solo ou a partir dela) (Grimmond *et al.*, 2010). Mais facilidade de transporte em altitude em atmosfera instável. O regime de vento, que é influenciado pela morfologia urbana, pode incrementar ou reduzir o transporte de calor.

3.1.5. Fluxo turbulento de calor latente (Q_E) e a razão de Bowen

O fluxo de calor latente é o calor absorvido (ou libertado) por unidade de massa, devido a mudança de estado da água (adaptado de Oke, 1987, p.403). Em substituição dos valores de fluxos de calor sensível e latente, em diversos estudos, é referida a **razão de Bowen** ($\beta=Q_H/Q_E$). Esta é mais elevada na cidade. A proporção de fluxos turbulentos de calor sensível e latente na energia disponível depende obviamente da quantidade de água disponível.

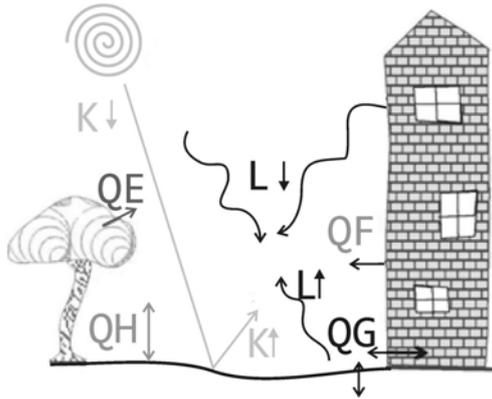


Fig. 3.2. O balanço de energia nas áreas urbanas (H. Andrade, inédito; todas as siglas têm o mesmo significado do que nas equações apresentadas atrás, à exceção do calor armazenado, aqui referido por QG)

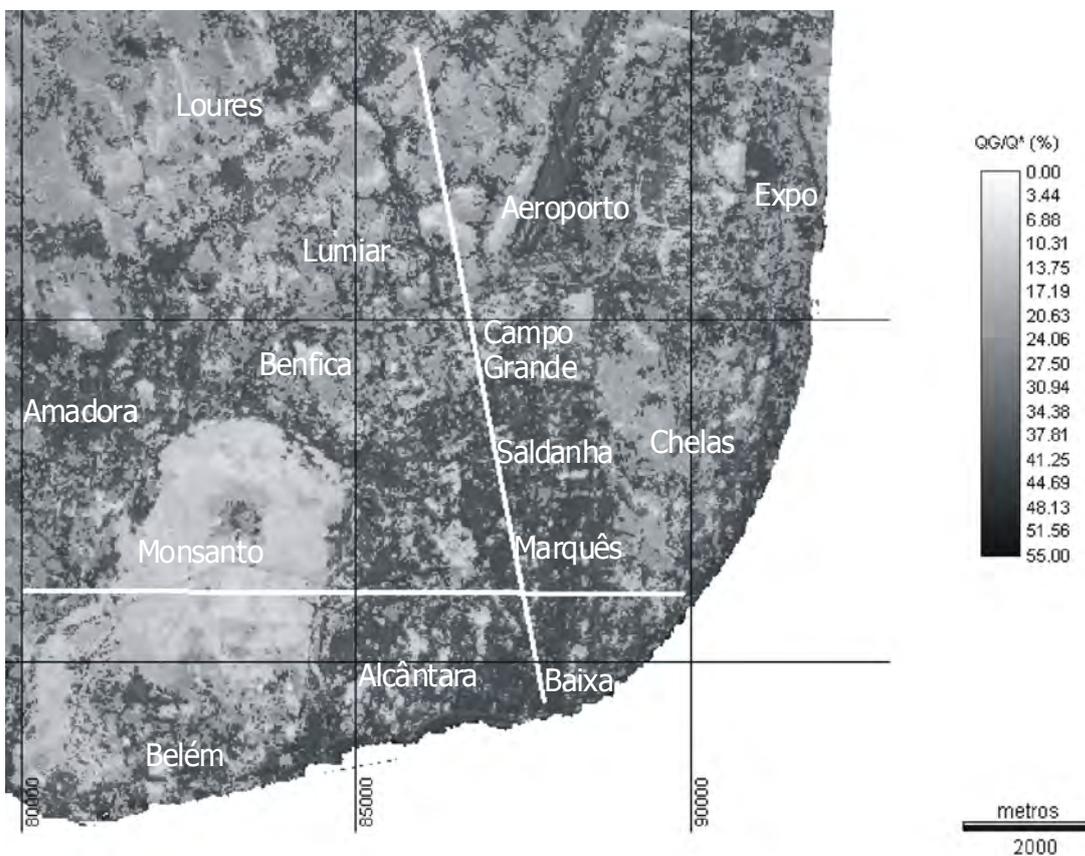


Fig.3.3. Razão entre o calor armazenado (Q_s) e o balanço de radiação (Q^*) em Lisboa, a 19 de Agosto de 1994 (10h locais, Lopes, 2003)

3.1.6. Ritmo diário dos vários parâmetros do balanço energético. (ver exercício prático, Parte C)

3.1.7. Advecção

Este termo é utilizado para caracterizar os movimentos predominantemente

horizontais da atmosfera (Oke, 1987, p.400). Ocorre a diversas escalas: pode corresponder ao vento de gradiente, modificado pela cidade (tema 6), a diferenças de temperatura entre o campo e a cidade (brisa do campo, tema 6), ou ser devido aos gradientes horizontais de temperatura no interior da cidade (ilha de calor urbano, ver tema 4). Persiste grande dificuldade de quantificar satisfatoriamente as trocas de energia devidas à advecção.

3.2. Modificação de alguns dos termos do balanço energético em função da topografia e da fracção visível da abóbada celeste

3.2.1. Topografia

Referir-se-á um dos termos da equação do balanço energético, que mais é modificado pela topografia: $K \downarrow$ (em particular a radiação directa: D). A relação entre a quantidade de radiação incidente numa superfície normal aos raios solares (S_i) e a radiação incidente numa outra superfície qualquer (S) é dada pela *lei dos cosenos da iluminação*:

$$S = S_i \cos \Theta$$

em que Θ é o ângulo formado pela normal à superfície inclinada e a linha que materializa a trajectória dos raios solares num determinado momento.

3.2.2. Fracção visível da abóbada celeste

(*Sky-view factor*, de agora em diante designado por SVF)

- Sua determinação

Este parâmetro pode ser obtido de várias maneiras, de que se apresentarão as duas mais usuais (Blennow, 1994):

*Medição do SVF com o auxílio de lentes convexas “fish-eye”. É tirada uma fotografia com a lente convexa em direcção ao zénite, sendo a máquina fotográfica colocada num tripé, exactamente no local para o qual se pretende determinar o SVF. A imagem resultante é circular e representa o hemisfério celeste “visto” do ponto. Se aquele estiver completamente livre de obstáculos, o SVF é igual a 1 (ex: no mar). Os diferentes obstáculos (edifícios, árvores) em torno do ponto seleccionado fazem diminuir o SVF (figuras 3.4 e 3.5).

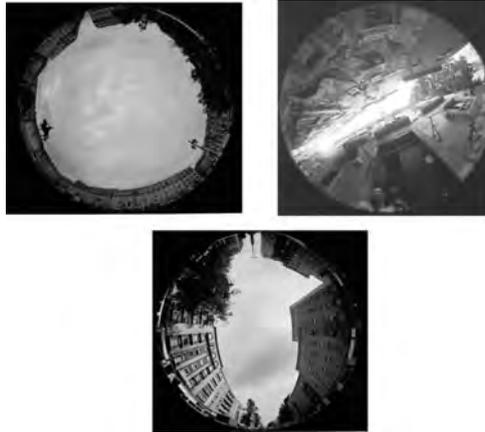


Fig.3.4. Fotografias obtidas com uma lente “olho de peixe” em locais de diferentes SVF (em Lisboa): à esquerda, em cima, na Praça da Figueira (SVF= 0.63); à direita, em cima, rua de Alfama (SVF=0.04); em baixo, rua das “Avenidas Novas (SVF= 0.35) (fotografias de H. Andrade).

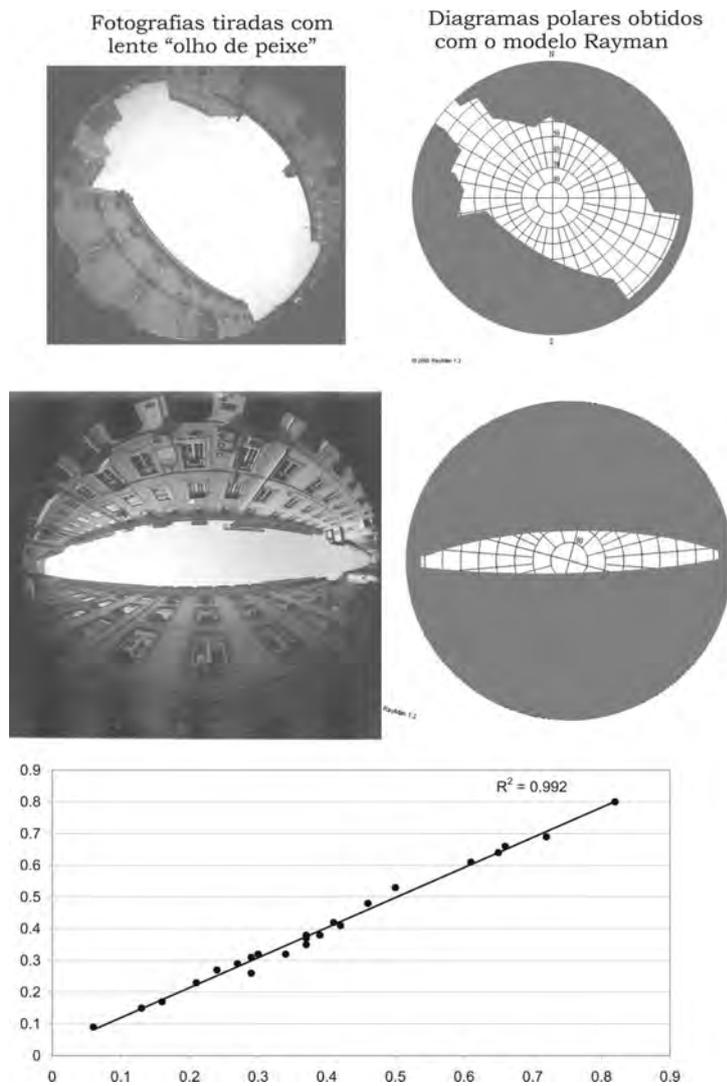


Fig. 3.5. Relação entre SVF obtidos com uma lente “olho de peixe” e com o programa Rayman (Andrade, 2003)

*Determinação do SVF utilizando o programa *Rayman* (Matzarakis *et al.*, 2007). Este programa está acessível na Internet e é, assim, uma ferramenta que os estudantes poderão utilizar, uma vez que nem sempre está disponível uma máquina fotográfica equipada com a lente acima referida. Andrade (2003) mostrou a existência de uma forte correlação entre o SVF obtido pelas duas técnicas a partir de 23 locais de Lisboa, para os quais o SVF foi obtido dos dois modos (fig.3.4 e 3.5).

- Influência do SVF nos termos do balanço radiativo

Considerando o estudo na micro-escala (portanto apenas na *atmosfera urbana inferior*), quando a fracção da abóbada celeste visível diminui (ou seja o SVF diminui), $K\downarrow$ diminui: existe atenuação da radiação difusa e da radiação directa (mas esta é função da orientação e altura dos obstáculos); $K\uparrow$ poderá diminuir por haver reflexões múltiplas entre os obstáculos; $L\downarrow$ poderá aumentar porque à radiação proveniente da atmosfera, se juntará radiação emitida pelos edifícios próximos ou pelas superfícies verticais próximas (fig. 3.6 e 3.7)

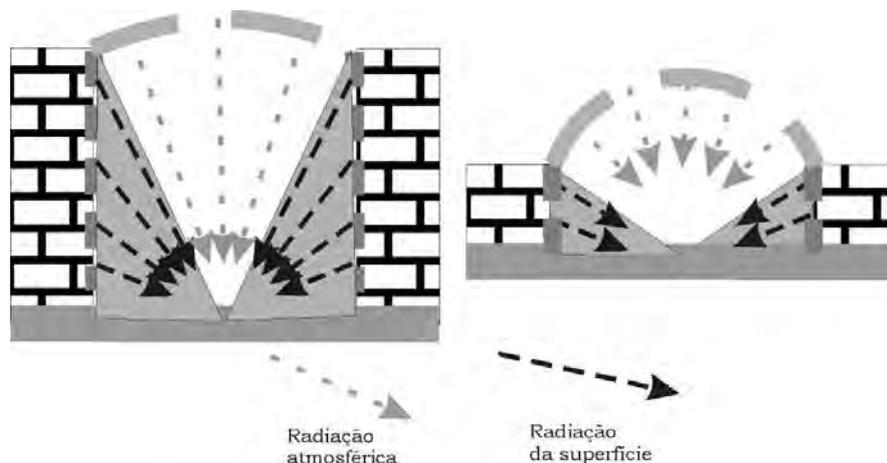


Fig.3.6. $L\downarrow$ em dois locais com diferentes SVF (baixo, à esquerda e elevado, à direita) (Andrade, inédito)

$L\uparrow$ a partir dos *canyons* urbanos diminuirá na atmosfera urbana inferior (mesmo se a energia emitida pela superfície terrestre é elevada, devido a altas temperaturas de superfície – vide lei de *Stefan-Boltzmann* - grande parte dela não é perdida para o espaço). Segundo Oke (1987, p.294) as diferenças de $L\downarrow$ e $L\uparrow$ são duas das sete principais causas da existência da ilha de calor urbana (tema seguinte).

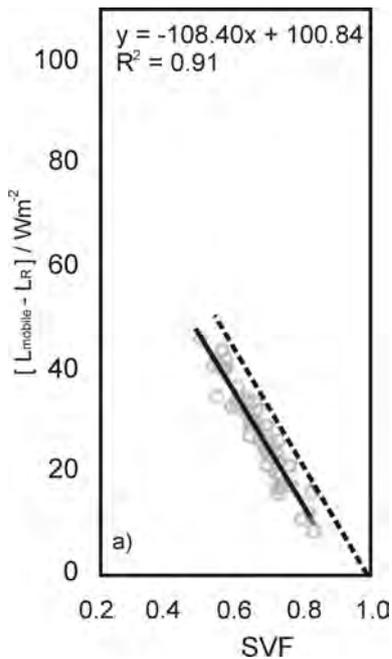


Fig 3.7. Fluxo radiativo descendente “excedente” (L_{\downarrow} em observações móveis – L_{\downarrow} de referência) versus SVF na cidade de Kreffeld no Verão de 2003 (Blankenstein e Kuttler, 2004). Nestas observações não se inclui vegetação urbana.

3.3. A utilização da detecção remota na modelação de diversos termos do balanço energético.

Nos anos em que funcionar a disciplina “Detecção Remota Aplicada à Climatologia, este tópico não será leccionado.

- Princípios de detecção remota no Infra-vermelho (IV) térmico
- A utilização de sensores aero-transportados a baixa altitude do tipo *Daedalus* (Alcoforado, 1985)
- As imagens obtidas via satélite e sua utilização para a determinação do balanço energético das cidades (Parlow, 1998).

É proposto um exercício prático sobre este tema (ver Parte C).

Bibliografia essencial

- Alcoforado M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.** (2010) Clima e ordenamento urbano na escala microclimática: o exemplo do bairro de Telheiras em Lisboa. In Figueiredo et al. (eds) *Clima e Recursos Naturais*, Instituto Politécnico de Bragança: 43-82
- Andrade, H.; Alcoforado, M.J.** (2008) Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. *Theoretical and Applied Climatology*, 92(3-4): 225-237. DOI 10.1007/s00704-007-0321-5.
- Lopes, A.** (2003) *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 369p. (Capítulo 9).

Bibliografia citada

- Alcoforado, M.J.** (1985) Dois exemplos de utilização de termografias obtidas de avião. Comunicação ao Primeiro Seminário sobre Cartografia Temática e Cadastral, LNEC, Lisboa, 12:23.
- Andrade, H.** (2003) *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 435p. (da p. 73 à p. 84).
- Blankenstein, S.; Kuttler, W.** (2004) Impact of street geometry on downward longwave radiation and air temperature in an urban environment. *Meteorologische Zeitschrift*, 13(5):373-379
http://www.unidue.de/imperia/md/content/geographie/klimatologie/90_impact_of_street_geometry.pdf
- Blennow, K.** (1994) Towards a general view factor and a view factor for effective infrared radiation applications. In: Kolar *et al.* (Ed.), *Contemporary Climatology – IGU*, Brno: 61-66.
- Brazel, A.J.; Quatrocchi, D.** (2005) Urban climatology. In: Encyclopedia of world climatology. Springer, New York: 766-779.
- Heisler, G.M.; Brazel, A.J.** (2010) The urban physical environment: temperature and urban heat islands (chapter 2). In: Aitkenhead-Peterson, J.; Volder, A. (Ed.) *Urban Ecosystem Ecology*. Agronomy Monograph 55, Madison WI: American Society of Agronomy, Crop science Society of America, Soil Science Society of America: 29-56.
- Gomes, L.; Roger, J.C.; Dubuisson, P.** (2008) Effects of the physical and optical properties of urban aerosols measured during the CAPITOU summer campaign on the local direct radiative forcing. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 102: 289–306.
- Christen, A.; Vogt, R.** (2004) Energy and radiation balance of a central European city. *International Journal of Climatology*, (24): 1395-1421.
- Estournel, C.R. et al.** (1983) Observations and modelling of downward radiative fluxes (solar and infrared) in urban/rural areas. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22: 134-142.
- Grimmond, S.; Oke, T.R.** (1995) Comparison of heat fluxes from summertime observations in the suburbs of four North American cities, *Journal of Applied Meteorology*, 34: 873-889.
- Grimmond, S.; Roth, M.; Oke, T.R.; Au, Y.C.; Best, M.; Betts, R.; Carmichael, G.; Cleugh, H.; Dabbertdt, W.; Emmanuel, R.; Freitas, E.; Fortuniak, K.; Hanna, S.; Klein, P.; Kalkstein, L.S.; Liu, C.H.; Nickson, A.; Pearlmutter, D.; Sailor, D.; Voogt, J.** (2010) Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective), *Procedia Environmental Sciences*, Science Direct, (1): 247-274.
- Landsberg, H.** (1981) *The urban Climate*. International Geophysics Series, volume 28, Academic Press (cap. 4: urban energy fluxes).
- Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H.** (2007) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: application of the Rayman model. *International Journal of Biometeorology*, 51:323-334.
- Miranda, P.** (2001) *Meteorologia e Ambiente. Fundamentos de Meteorologia, Clima e Ambiente Atmosférico*. Universidade Aberta. Lisboa.
- Oke, T.R.** (1987) *Boundary layer climates*. 2nd ed. Methuen. London, 435p.
- Oke, T.R.** (1988) The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, 2(4): 471-508.
- Parlow E.** (1998) Analyse von Stadtklima mit Methoden der Fernerkundung, *Geographische Rundschau*, vol.50(2): 89-93.
- Parlow, E.** (1998) Net radiation of urban areas. In: Gudmandsen (Ed.), *Future Trends in remote sensing*. MCR Lab. Balkema. Rotterdam: 221-226.
- 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.
- Stull, R.B.** (2000) *Meteorology for Scientists and Engineers*. 2^a edição, Brooks/Cole, Thomson Learning, Pacific Grove.
- Sundborg, A.** (1950) Local climatological studies of the temperature conditions in an urban area. *Tellus*, 2(3): 222-233

Bibliografia complementar

- Akbari, H.; Menon, S.; Rosenfeld, A.** (2009) Global cooling: increasing world-wide urban albedos to

- offset CO₂. *Climatic Change*, 95(3-4):275-286. DOI 10.1007/s10584-008-9515-9
- Aguado, E.** (1990) Effect of advected pollutants on solar radiation attenuation: Mojave Desert, California. *Atmospheric Environment*, 24B(1): 153-157.
- Arnfield, A. J.; Grimmond, C. S.** (1998) An urban canyon budget model and its application to urban storage heat flux modelling. *Energy and Buildings*, 27: 61-68.
- Blazejczyk, K.; Baranowski, J.** (2003) Solar and UV Radiation in the Warsaw Downtown. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Łódź, Poland, CD, 4p
- Flanner, M. G.** (2009) Integrating anthropogenic heat flux with global climate models, *Geophysical Research Letters*, 36, L02801, 5p. L02801, doi:10.1029/2008GL036465.
- Grimmond, C. S.** (1992) The suburban energy balance: methodological considerations and results for a mid-latitude west coast city under winter and spring conditions. *International Journal of Climatology*, (12): 481-497.
- Hänel, G. et al** (1990) Absorption of solar radiation in an urban atmosphere. *Atmospheric Environment*, 24 B(2): 283-292.
- Heisler, G.; Grant, R.H.** (2000) Ultraviolet radiation in urban ecosystems with consideration of effects in human health. *Urban Ecosystem*, (4):193-229.
- Jáuregui, E.; Luyando, E.** (1999) Global radiation attenuation by air pollution and its effects on the thermal climate in Mexico City. *International Journal of Climatology*, (19): 683-694.
- Lopes, A.** (1999) O balanço de radiação e as temperaturas num vale da região de Lisboa (Barcarena): elementos para o planeamento urbano. *Actas do VIII Colóquio Ibérico de Geografia*, Lisboa, - FCSH.
- Lopes, A.; Vieira, H.** (2001) Heat fluxes from Landsat images: a contribution to Lisbon urban planning. *Regensburg Geographische Schriften*. Institut für Geographie. Regensburg: 169-176.
- Mills, G.** (1997) The radiative effects of building groups on single structures. *Energy and Buildings*, 25: 51-61
- Nunez, M., Eliasson, I.; Lindgren, J.** (2000) Spatial variations of incoming longwave radiation in Göteborg, Sweden. *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 181-192.
- Oke, T. R.** (1982) The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455): 1-24.
- Oke, T.R.; Fuggle, R.** (1972) Comparison of urban/rural counter and net radiation at night. *Boundary Layer Meteorology*, 2:290-308.
- Oke, T.; Spronken-Smith, R.; Jauregui, E.; Grimmond, S.** (1999) The energy balance of central Mexico city during the dry season. *Atmospheric Environment*, 33: 3919-3930.
- Ruffieux, D.** (1995) Winter surface energy budget in Denver, Colorado. *Atmospheric Environment*, 9(13): 1579-1587.
- Sailor, D. J.; Fan, H.** (2002) Modelling the diurnal variability of effective albedo for cities. *Atmospheric Environment*, 36: 713-725
- Taha, H.** (1997) Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25: 99-103.

Calculador de albedo urbano <http://ktlabo.cm.kyushu-u.ac.jp/s/pari/Albedo1.htm>

Sobre o balanço de radiação (básico) <http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3rv.html>
http://www.atmosphere.mpg.de/enid/5ce59791583eb05ae3e2d589fef68fe9,0/2__Radiation__greenhouse_gases/-_radiation_252.html

4. Consequências térmicas do balanço energético na cidade

A temperatura da superfície do solo é uma resposta à magnitude e sinal dos fluxos de calor à superfície (Atkinson, 1985). Por seu lado, a temperatura do ar da camada-limite depende das trocas de energia entre a superfície e a baixa atmosfera e também da advecção. Foram apresentadas, no tema anterior, as modificações que os diversos termos do balanço energético sofrem na cidade, em comparação com os arredores “rurais”. Analisam-se agora as consequências destas alterações nas temperaturas de superfície e do ar. Começa-se pelo fenómeno mais bem documentado em climatologia urbana: a ilha de calor, referindo-se também a “ilha de frescura” que, em certas condições, ocorre na cidade. No entanto, é preciso ter em conta que não existe um procedimento *standard* para calcular a intensidade da ilha de calor, e que esse facto dificulta ou impede certas comparações (Alcoforado e Andrade, 2006). Tanto a localização dos sensores “urbanos” como “rurais” tem de ser seleccionada com muita precaução (Oke, 2006).

4.1. Introdução

O ar da atmosfera urbana inferior (*Urban canopy layer-UCL*) das cidades, mais quente do que o dos arredores próximos que a circundam, constitui a *ilha de calor urbana* (IC ou UHI – *urban heat island*). Denomina-se *intensidade da ilha de calor urbana* (ΔT_{u-r}) a diferença entre o valor mais elevado da temperatura na cidade e a temperatura dos arredores rurais (Oke, 1987). O termo “ilha de calor” aplica-se também à temperatura sub-superficial, superficial, e da atmosfera urbana superior ou ilha de calor da camada limite urbana (*Urban boundary layer Heat Island*). Estas definições poderão ser discutidas, assim como a sua aplicação a casos reais, à luz de exemplos concretos.

4.2. A ilha de calor superficial.

As temperaturas de superfície (LST: *Land surface temperature*) são estudadas principalmente a partir dos valores de radiância detectados por sensores térmicos a bordo de aeronaves (Lopes, 2003). De entre os inúmeros exemplos possíveis, seleccionam-se alguns de

Lisboa e de Freiburg (Alemanha).

- Imagens obtidas por detecção remota, no infra-vermelho térmico: Imagens NOAA AVHRR que, apesar do *pixel* ter mais de 1 km de lado, têm muito boa representatividade temporal, tendo possibilitado a verificação da existência da ilha de calor superficial em Lisboa, de noite, tanto no Inverno, como no Verão (Lopes, 2003, cap.8, fig.4.1). Na bibliografia há muitos casos em que a ilha de calor superficial é mais intensa durante o dia (Gallo, 1999). As Imagens *Landsat 5* têm a vantagem de o *pixel* ter apenas 30m de lado e a desvantagem (além da menor frequência de passagem) de a hora em que o satélite sobrevoa Lisboa (cerca 9h30) não ser a mais conveniente para a análise da ilha de calor urbana. Poderão ser comparadas imagens de Freiburg /Alemanha) e de Lisboa (Parlow, 1998; Lopes e Vieira, 2001; Lopes, 2009).

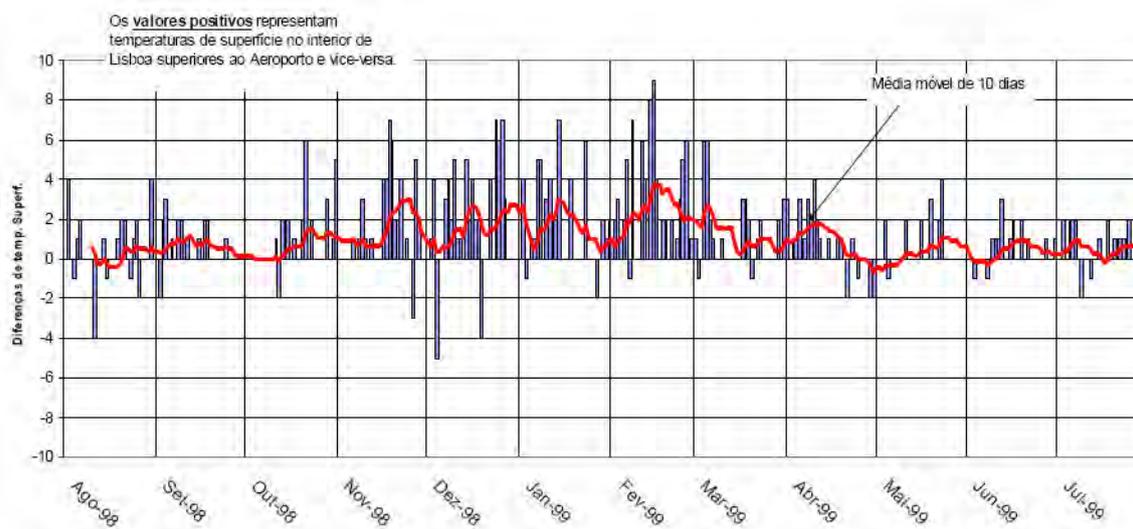


Fig.4.1. Diferença de temperatura noturna entre o centro de Lisboa e o Aeroporto (Agosto de 1998 a Agosto de 1999, Lopes, 2003)

- Uma imagem também em infra-vermelho térmico, obtida por um radiómetro *Daedalus*, transportado num avião a cerca de 1000m de altitude, sobre Lisboa (Alcoforado, 1985 e 1986) (fig. 4.2).

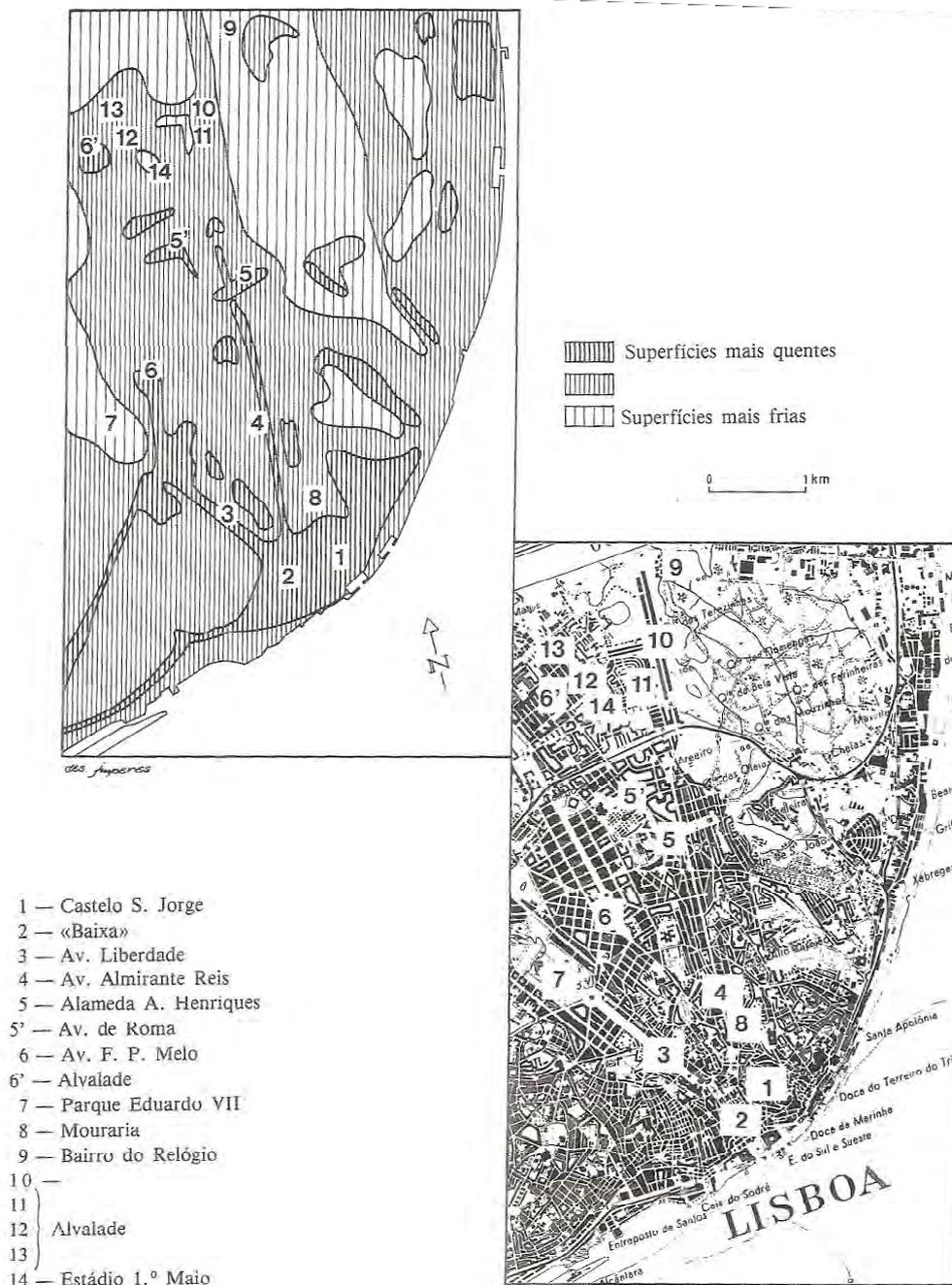


Fig. 4.2. Interpretação de uma imagem termográfica da parte oriental de Lisboa, captada por um radiómetro Daedalus, transportado num avião a cerca de 1000m de altitude (Alcoforado, 1986 e 1992). Ver também Andrade e Lopes, 1998.

Nas aulas práticas poderão ser medidas temperaturas de superfície com um radiómetro portátil e analisados os resultados (ver Parte C).

4.3. A ilha de calor na *atmosfera urbana inferior*

4.3.1. Exemplos

No momento em que esta matéria for leccionada, nas aulas teóricas, já as técnicas de aquisição de dados deverão ter sido referidas, numa aula prática. Sugere-se a apresentação de exemplos concretos, desde os casos clássicos de Londres (Chandler, 1962) ou de Vancouver (Oke, 1987), até aos estudos sobre Lisboa (Alcoforado, 1992; Andrade, 2003; Alcoforado *et al.*, 2007) e outras cidades portuguesas (Alcoforado e Taborda, 1996; Monteiro, 1997; Ganho, 1998; Pinho e Orgaz, 2000).

4.3.2. Causas da ilha de calor urbana

Para explicar as causas da ilha de calor na *atmosfera urbana inferior*, Oke (1987) considera a advecção igual a 0; desse modo, apenas se consideram os fluxos verticais, assim como a variação da energia armazenada.

As principais modificações do balanço energético conducentes à ilha de calor na *atmosfera urbana inferior* são, resumidamente, as seguintes (ver tema 3): um aumento da radiação de grande comprimento de onda (a partir da abóbada celeste poluída e dos edifícios próximos em direcção aos canhões urbanos); uma menor perda de radiação de grande comprimento de onda (se as temperaturas de superfície forem mais elevadas, segundo a lei de *Stefan-Boltzmann*, $L\uparrow$ é mais elevada na cidade, mas a redução do *SVF* faz com que se perca menos radiação de grande comprimento de onda para o espaço); maior fluxo de calor de origem antrópica; mais armazenamento de calor sensível (a sua libertação para a *atmosfera urbana inferior* durante a noite contribuiu para a intensificação da ilha de calor urbana nocturna); diminuição da utilização de energia para a evapotranspiração (devido à crescente impermeabilização do espaço urbano e à escassez de espaços verdes).

4.3.3. Ritmos da ilha de calor urbana

- **Interanual** (este ponto será retomado em 8).

- **Estacional**. Oke (1991) refere que o máximo é no Verão. No entanto, não há acordo na bibliografia sobre este ponto. Em Lisboa, a ilha de calor diurna é nitidamente mais fraca no Verão (relacionada com a brisa do Tejo estival), embora, de noite, não se note clara variação intermensal (fig.4.3).

- **Semanal**. Lawrence (1971) refere a existência de um máximo no fim da semana; Figuerola e Mazzeo (1998) detectaram um mínimo à 2ª feira, significativo para os meses mais frios, mas são raros os estudos sobre o tema.

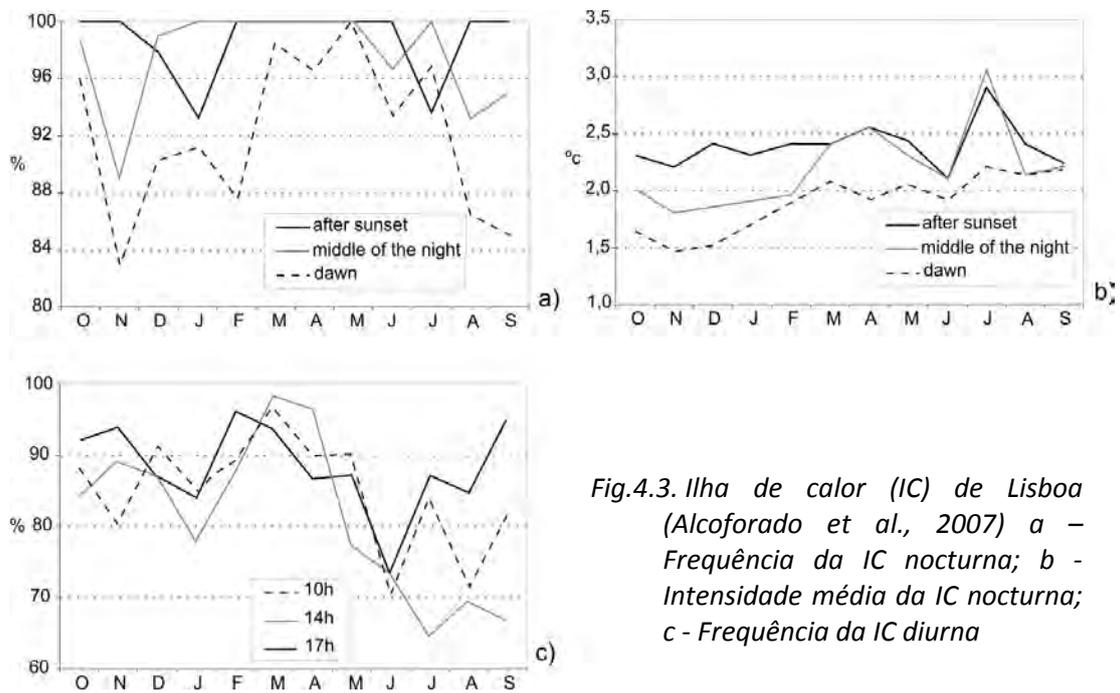


Fig.4.3. Ilha de calor (IC) de Lisboa (Alcoforado et al., 2007) a – Freqüência da IC nocturna; b - Intensidade média da IC nocturna; c - Freqüência da IC diurna

- **Diário.** O ritmo diário da ilha de calor é muito claro, com maior ΔT_{u-r} de noite do que a meio do dia (Oke, 1987, p. 290); as taxas de aquecimento e arrefecimento são diferentes: a cidade aquece mais lentamente de manhã, mas também arrefece mais lentamente ao fim da tarde (fig.4.4). As maiores diferenças de temperatura, em situação de estabilidade atmosférica, ocorrem umas horas depois do pôr-do-sol.

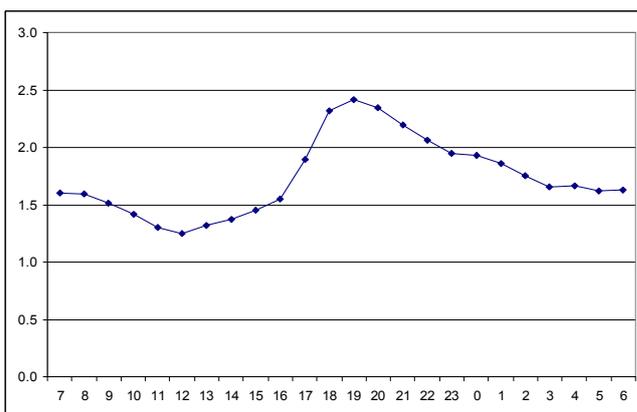


Fig.4.4. Ritmo médio diário da intensidade da ilha de calor em Lisboa, no Inverno. Ver cálculo de IC em Lisboa em Alcoforado et al., 2007.

4.3.4. Influência da morfologia urbana na ilha de calor (a desenvolver em 10)

4.3.5. A “ilha de frescura” ou “ilha de calor negativa” durante o dia

Podem ser variadas as causas que impedem a formação de uma IC. Numa atmosfera muito poluída, pode haver uma apreciável diminuição de radiação global. Por outro lado, a energia “armazenada” no solo e nos edifícios constitui uma “perda” para a *atmosfera urbana inferior* (Scherer *et al*, 1999; Erell e Williamson, 2007) e o efeito de sombra nos canhões urbanos provoca diminuição de radiação incidente junto ao solo (Oke, 1987; Alcoforado e Taborda, 1996). Em certas cidades existem outras causas, como as brisas do mar, que contribuem para baixar as temperaturas diurnas, por exemplo, Lisboa (Alcoforado, 1987; Alcoforado *et al.*, 2007, fig. 4.3) e Nice (Carrega, 1994).

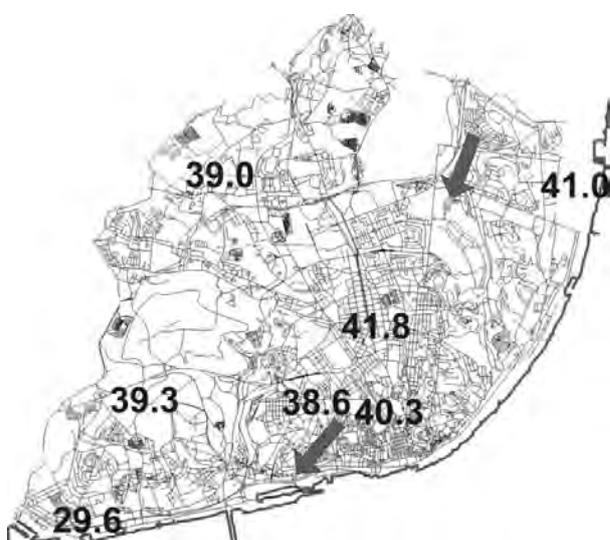


Fig.4.5. Efeito da brisa do mar sobre a temperatura do ar no SW de Lisboa. Exemplo referente às 16 h de 4 de Agosto de 2005 (os valores representam a temperatura do ar em graus centígrados e as setas o vento de gradiente; sobre a parte SW da cidade soprou brisa de SW, durante a tarde).

4.3.6. Influência da dimensão da cidade na ilha de calor urbana

Tentando correlacionar a intensidade da ilha de calor com a dimensão da cidade, Oke (1987) propôs a seguinte equação, em que utilizou a população como indicador da dimensão da cidade.

$$\Delta T_{u-r} = P^{1/4} / 4 u^{1/2}$$

em que **P** corresponde à população da cidade em causa e **u** à velocidade do vento regional (não urbano) à altura de 10m. Será discutida esta fórmula e o facto de não se adaptar à maior parte das cidades portuguesas.

A questão da influência da população é discutida em Alcoforado e Andrade (2008). Muitas das cidades dos países desenvolvidos apresentam hoje um crescimento demográfico muito fraco (ou mesmo nulo), o que não implica uma diminuição de ΔT_{u-r} . Além da população,

outros factores condicionam a intensidade da ilha de calor, como o consumo de energia (o qual depende sobretudo de causas sócio-económicas – Brázdil and Budíková, 1999; Chen *et al*; 2003), a extensão da área urbana (cidade compacta ou não) e a estrutura do espaço urbanizado (a desenvolver no tema 10) (Oke, 1973, 1987; Changnon, 1999).

4.4. Aspectos térmicos na *atmosfera urbana superior*

As modificações de temperatura e concentração de poluentes na *atmosfera urbana superior* (ver tema 2), assim como a estrutura vertical da atmosfera urbana sobre a cidade, a barlavento e a sotavento, serão alvo de análise. Serão dados exemplos de situação com inversão térmica a barlavento da cidade, destruída pela base sobre o espaço urbano e de “penacho” urbano a sotavento da cidade. Serão tratadas as modificações diárias da espessura da *atmosfera urbana superior* e as causas da sua ilha de calor urbana (fontes de calor antrópico, aumento de transferência de calor sensível e incremento de absorção de radiação de pequeno comprimento de onda em atmosfera poluída).

4.5. Variação da ilha de calor urbana em função do estado do tempo e da situação sinóptica

A partir de uma determinada velocidade do vento regional (não urbano) à altura de 10m (velocidade crítica), as diferenças cidade-campo são obliteradas. Para uma cidade (norte-americana) de um milhão de habitantes, a velocidade crítica do vento será de 9 ms^{-1} , descendo para 5 ms^{-1} numa cidade de 100 000 habitantes (Oke, 1987).

Com fortes velocidades do vento ocorrem, em bairros abrigados da cidade, temperaturas particularmente elevadas. Por exemplo, a ilha de calor na “baixa” lisboeta é intensificada por efeito de abrigo, quando sopra vento de Norte. A existência de nuvens, que reduz muito L^* (sobretudo por aumentar $L\downarrow$), contribui para diminuir ΔT_{u-r} sobretudo se tratarem de nuvens densas e baixas. A falta de estações meteorológicas urbanas com dados adequados e séries longas impede a multiplicação de estudos sistemáticos sobre a relação entre a ΔT_{u-r} e a situação sinóptica e o estado do tempo.

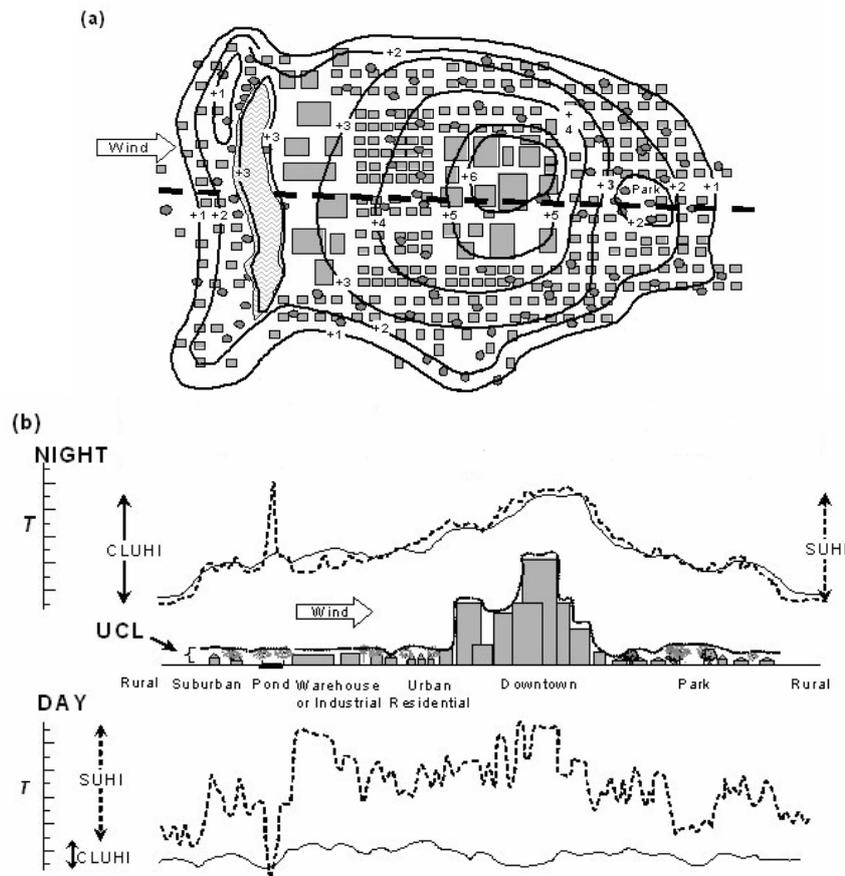


Fig. 4.6. Características da ilha de calor urbana. (a) Mapa do padrão espacial de temperatura do ar que forma ilha de calor da atmosfera urbana inferior. (b) Perfil transversal da temperatura do ar medida na atmosfera urbana inferior (CLUHI) e da temperatura de superfície (SUHI) sob condições óptimas (calma e céu limpo) durante a noite (em cima) e o dia (em baixo) (Voogt, 2004)

<http://www.actionbioscience.org/environment/figures/voogt1a.jpg>

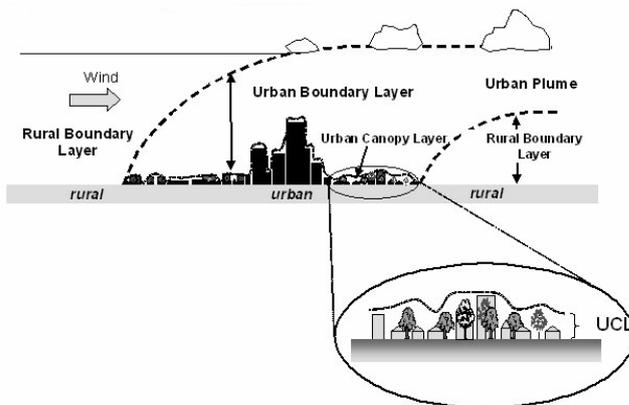


Fig. 4.7. Principais componentes da atmosfera urbana (Voogt, 2004)

<http://www.actionbioscience.org/environment/figures/voogt1.jpg>

A aquisição de dados próprios era, no início, levada a cabo apenas em situações de “céu limpo e vento fraco”, nem sempre as mais frequentes. Por outro lado, as classificações das situações sinópticas existentes não se adaptam a estudos a esta escala (Unwin, 1980). Os raros estudos sobre este tema são unânimes na relação estabelecida entre a ocorrência de mais intensa ΔT_{u-r} nocturna e de situações anticiclónicas (Unwin, 1980; Almendros e Lopez Gomez, 1995; Ganho, 1998; Morris e Simmonds, 2000; Piotrowski, 2003; Szegedi e Kircsi, 2003). A posição do centro anticiclónico é muito importante, assim como a direcção do fluxo. Mais recentemente, foi verificada a relação entre a advecção junto às superfícies frontais e a IC (Szymanowski, 2006). As causas sinópticas que contribuem para a intensificação da ilha de calor negativa diurna (Unwin, 1980) carecem de estudos. A relação entre ΔT_{u-r} e a intensidade e altura da inversão térmica foi verificada (Alcoforado, 1992). Num estudo em curso a partir da rede de mesoscala de Lisboa, foi possível detectar as situações sinópticas a que correspondem forte IC. Apresenta-se, na figura uma situação sinóptica em situação com forte IC (16/7/2005) (Andrade, inédito).

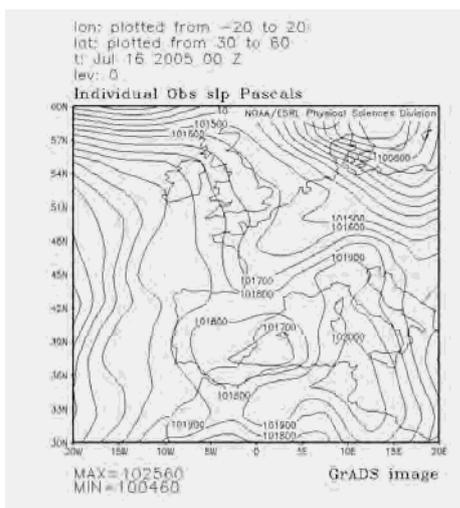


Fig.4.8 - Campo barométrico às 0 h do dia 16 de Julho de 2005; IC de cerca de 7°C em Lisboa, com vento moderado (2 a 4 m/s) de NW

4.6. A ilha de calor em diversos contextos climáticos

4.6.1. Em função da zonalidade.

Será referida a dependência da IC da latitude (Wiener, 2002, Wienert e Kuttler, 2005) e as particularidades das cidades de climas quentes, com e sem alternância de estação seca e húmida, climas áridos, climas frios e climas de “estações contrastadas” (Givoni, 1989; Tso, 1996; Steinecke, 1999; Magee, *et al.*, 1999; Chow e Roth 2006; Roth, 2007; Alcoforado e Matzarakis, no prelo), entre outros.

4.6.2. Em climas ditos azonais

Neste ponto, merecerão referência os climas de cidades litorais (Carrega, 1994; Alcoforado *et al.*, 2006; Andrade, 2003; Lopes, 2003; Pinho e Orgaz, 2000) e de cidades de montanha (Jauregui, 1997)

4.6.3. Factores climáticos regionais e locais a ter em conta nos estudos do clima urbano

Nem sempre é fácil destringir as influências de factores climáticos regionais ou locais não urbanos no estudo do clima das cidades. Foi já referida a proximidade de planos de água (e o caso particular das brisas); a topografia é outro factor importantíssimo em certas cidades e circunstâncias (Alcoforado e Andrade, 2006; Lopes, 1995; Ganho, no prelo). A topografia já foi referida no tema 3 e voltará a ser exposta no tema 10.

Bibliografia essencial

- Alcoforado, M. J.** (2010) Assessing and modeling the urban climate in Lisbon. *In*: Carrega P (Ed.) *Geographical Information and Climatology*. ISTE, London, and WILEY, Hoboken, NY: 125-158.
- Lopes, A.** (2009) O sobreaquecimento das cidades. Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *Territorium*, (15): 39-52.
- Oke, T.R.** (1987) *Boundary layer climates*. 2nd ed. Methuen. London, 435p.

Bibliografia citada

- Alcoforado, M.J.** (1985) Dois exemplos de utilização de termografias obtidas de avião. Comunicação ao Primeiro Seminário de sobre Cartografia Temática e Cadastral, LNEC, Lisboa, 23 p. pol.
- Alcoforado, M.J.** (1986) Contribution to the study of Lisbon's heat island, Analysis from an infra-red image. *Freiburger Geographische Hefte*, H.26, Freiburg: 165-176.
- Alcoforado, M. J.** (1987) Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXII(43): 71-112.
- Alcoforado, M.J.** (1992) *O Clima da Região de Lisboa. Contrastes e Ritmos térmicos*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, 15, Lisboa, 347 p.
- Alcoforado, M.J.; Taborda, J.P.** (1996-1997) O clima de Évora. Contrastes térmicos locais. *Boletim de Cultura da Câmara Municipal*, 2^a Série (2): 507-531.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Vasconcelos, J.; Vieira, R.** (2006) Observational studies on summer winds in Lisbon (Portugal) and their influence on daytime regional and urban thermal patterns. *Merhavim*, 6: 90-112.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.** (2006) Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3): 151-159. DOI 10.1007/s00704-005-0152-1
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Oliveira, S.** (2007) A ilha de calor de Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano. *Geophilia – o sentir e os sentidos da geografia*, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa: 593-612.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.** (2008) Global Warming and urban heat island. *In*: Marzluff, J.M.; Shulenberg, E.; Endlicher, W.; Alberti, M.; Bradley, G.; Ryan, C.; Simon, U.; ZumBrunnen, C. (ed.), *Urban Ecology*. Springer: 249-262.
- Alcoforado, M.J.; Matzarakis, A.** - Planning with urban climate in different climatic zones. *Geographicalia*, no prelo.

- Almendros, M.A.; Gómez, A.L.** (1995) La isla de calor en Madrid y las situaciones sinópticas. *Estudios Geográficos*, 56 (219): 207-221.
- Andrade, H.** (2003) *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 435p.
- Andrade, H.; Lopes, A.** (1998) A Utilização de um SIG para a estimação das temperaturas em Lisboa. In: García, F.F.; Gallego, E.G.; Torrecilla, R. (Coord.) *Clima y Ambiente Urbano en Ciudades Ibéricas e Ibero Americanas*, Editorial Parteluz: 85-91.
- Atkinson, B.W.** (1985) *The urban atmosphere*. Update Cambridge University Press. New York.
- Brazdil, R.; Budikova, M.** (1999) An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, the Czech Republic. *Atmos. Environ.*, 33: 4211-4217.
- Carrega, P.** (1994) Topoclimatologie et habitat. Analyse spatiale et appliquée. *Revue de Géographie du Laboratoire d'Analyse spatiale Raoul Blanchard*, Université de Nice. 408p.
- Chandler, T.J.** (1962) London's urban climate. *The Geographical Journal*, 128(3): 279-302.
- Changnon, S.A.** (1999) A rare long record of deep soil temperatures defines tempoeral temperatures changes and an urban heat island. *Climatic Change*, 42(3): 531-538.
- Chen, L.; Zhu, W.; Zhou, X.; Zhou, Z.** (2003) Characteristics of the heat island effect in Shanghai and its possible mechanism. *Advances in Atmospheric Sciences*, 20: 991-1001.
- Chow, W.T.L.; Roth, M.** (2006) Temporal Dynamics of the urban heat island of Singapore. *International Journal of Climatology*, 26: 2243-2260.
- Erell, E.; Williamson, T.** (2007) Intra-urban differences in canopy layer air temperature at a mid-latitude city. *Interntional Journal of Climatology*, 27: 1243-1255.
- Figuerola, P.I.; Mazzeo, N. A.** (1998) Urban-rural temperature differences in Buenos Aires. *International Journal of Climatology*, 18:1709-1723.
- Gallo, K.P.; Owen, T.W.** (1999) Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias. *Journal of Applied Meteorology*, 38: 806-813.
- Ganho, N.** (1998) *O Clima urbano de Coimbra. Estudo de Climatologia local aplicado ao ordenamento urbano*. Dissertação de Doutoramento apresentado à Universidade de Coimbra, 551p. pol.
- Ganho, N.** (2010) Contrastes topoclimáticos excepcionais associados a circulações de Leste numa cidade de relevo acidentado (Coimbra, Portugal), *Cadernos de Geografia*, 28 (no prelo).
- Givoni, B.** (1989) *Urban design in different climates*, WMO, TD 336. Geneva.
- Jauregui, E.** (1997) Heat island development in Mexico City, *Atmospheric Environment*, 31 (22): 3821-3831.
- Lawrence, E.N.** (1971) Urban climate and day of the week. *Atmospheric Environment*, 5: 935-948.
- Lopes, A.** (1995) Drenagem e acumulação de ar frio em noites de arrefecimento radiativo. Um exemplo no vale de Barcarena (Oeiras), *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XXX (59-60):149-164 (<http://www.ceg.ul.pt/finisterra/>)
- Lopes, A.** (2003) *Modificações no clima urbano de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras. Lisboa, Universidade de Lisboa: 375 (to be downloaded at www.c1ima.org)
- Lopes, A.; Vieira, H.** (2001) Heat fluxes from Landsat images: a contribution to Lisbon urban planning. *Regensburg Geographische Schriften*, 35:169-176.
- Magee, N. et al.** (1999) The Urban Heat Island Effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*, 64: 39-47.
- Monteiro, A.** (1997) *O Clima urbano do Porto – Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do Território*. Fundação Calouste Gulbenkian, 486p.
- Morris, C.J.G.; Simmonds, I.** (2000) Associations between varying magnitudes of the urban heat island and the synoptic climatology in Melbourne, Australia. *International Journal of Climatology*, 20: 1931-1954.
- Oke, T.R.** (1973) City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, (7): 769-779.
- Oke, T.R.** (1987) *Boundary Layer Climates*, Routledge, 464 p. ISBN 9780415043199.
- Oke, T.R.** (2006) *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. Instruments and observing methods 81. WMO/TD-No. 1250. World Meteorological Organization, Geneva.
- Oke, T.R.; Johnson, G.T.; Steyn, D.G.; Watson, I.D.** (1991) Simulation of surface urban heat islands under "ideal" conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology* 56: 339–358.

- Parlow, E.** (1998) Analyse von Stadtklima mit Methoden der Fernerkundung. *Geographische Rundschau*, 50(2): 89-93.
- Pinho, O.S.; Manso Orgaz, M.D.** (2000) The urban heat island in a small city in coastal Portugal, *International Journal of Biometeorology*, 44: 198-203
- Piotrowski, P.** (2003) The Relationships Between the UHI and Synoptic Situations - Lodz Study. *Fifth International Conference on Urban Climate, Department of Meteorology and Climatology*, University of Łódź, Poland, CD, 4p.
- Roth, M.** (2007) Review of urban climate research in (sub)tropical regions. *International Journal of Climatology*, 27: 1859-1873.
- Scherer, D.U.F.; et al.** (1999) The urban cold island of Basel, Switzerland - implications from a case study. *15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, Sydney - Australia, Macquarie University, 1p.
- Steinecke, K.** (1999) Urban climatological studies in the Reykjavik subarctic environment. *Atmospheric environment*, 33: 4157-4162
- Szegedi, S.; Kircsi, A.** (2003) The development of the urban heat island under various weather conditions in Debrecen, Hungary. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź, Poland, CD, 4p.
- Szymanowski, M.** (2006) Interactions between thermal advection in frontal zones and the urban heat islands of Wrocław - Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 82 (3-4): 207-224.
- Tso, C. P.** (1996) A survey of urban heat island studies in two tropical cities. *Atmospheric environment*, 30(3):507-519.
- Unwin, D.J.** (1980) The synoptic climatology of Birmingham urban heat island. *Weather*, 35: 43-50.
- Voogt, J. (2004)** Urban Heat Islands: Hotter Cities. An ActionBioscience.org original article <http://www.actionbioscience.org/environment/figures/voogt1a.jpg>
- Wienert, U.; Kuttler, W.** (2005) The dependence of the urban heat island intensity on latitude – A statistical approach. *Meteorologische Zeitschrift*, 14(5): 677-686

Bibliografia complementar

- Alcoforado, M.J.** (1991) Influence de l'advection sur les champs thermiques urbains à Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 4:29-35.
- Alcoforado, M.J.** (1994a) Lisbon's thermal patterns, *Proceedings from the Pre-Congress Meeting of the Commission on Climatology, 27th International Geographical Congress*, University Park, Pennsylvania: 101-108.
- Alcoforado M.J.** (1994b) L'extrapolation spatiale de données thermiques en milieu urbain. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, vol. 7 : 493-502.
- Alcoforado, M.J.** (1998) Estudos de Clima urbano em Portugal. In: Fernández Garcia et al. Ed., *Clima y ambiente urbano em cidades ibéricas e iberoamericanas*, Madrid, Editorial Parteluz: 41-63.
- Andrade, H.; Alcoforado; M.J. (2008)** Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. *Theoretical and Applied Climatology*, 92(3-4): 225-237. DOI 10.1007/s00704-007-0321-5.
- Arnfield, A.J.** (2003) Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1): 1-26.
- Atkinson, B.W.** (2003) Numerical modelling of urban heat island intensity. *Boundary Layer Meteorology*, 109:285-310. DOI: 10.1023/A:1025820326672
- Balázs, B.; Unger, J.; Gál, T.; Sümeghy, Z.; Geiger, J.; Szegedi, S.** (2009) Simulation of the mean urban heat island using 2D surface parameters: empirical modeling, verification and extension. *Meteorological Applications* (16):275-287. doi: 10.1002/met.116
- Bottyan, Z.; Unger, J.** (2003) A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 75:233-243. DOI: 10.1007/s00704-003-0735-7
- Bornstein, R.; et al.** (1994) Remote and in-situ measurements of Sacramento Urban Heat Islands. *AAG Annual Meeting Abstract*, 34.
- Eliasson, I.; Svensson, M.K.** (2003) Spatial air temperature variations and urban land use – a statistical approach. *Meteorological Applications*, 10: 135-149. doi: 10.1017/S1350482703002056
- Fallot, J.M.; Alcoforado, M.J.** (1988) Mesures de l'influence de l'îlot de chaleur de Lisbonne sur les écoulements régionaux en été, *Actes des Journées de Climatologie*, Liège:57-74.

- Ganho, N.** (1995) A ilha de calor de Coimbra sob diferentes condições de Verão. *Territorium*, 2: 33-50.
- Ganho, N.** (1999) Clima urbano e a climatologia urbana. Fundamentos e aplicação ao ordenamento urbano. *Cadernos de Geografia*, Coimbra, 18:97-127.
- Grimmond, C.S.B.** (2006) Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology*, 84:3-22.
- Heisler, G.M.; Brazel, A.J.** (2010) The urban physical environment: temperature and urban heat islands. In: Aitkenhead-Peterson, J.; Volder, A. (Ed.) *Urban ecosystem ecology*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science, Society of America, Madison: 29-56.
- Howard, L.** (1818) *Climate of London*. Harvey and Darton, London.
- Katsoulis, B.D.; Theoharatos, G.A.** (1985) Indications of the urban heat island in Athens, Greece. *Journal of Applied Meteorology*, 24: 1296-1302.
- Kim, H.H.** (1992) Urban heat island. *International Journal of Remote Sensing*, 13(12): 2319-2336.
- Lee, D.O.** (1975) Rural atmospheric stability and the intensity of London's heat island. *Weather*, 30 (4): 102-109.
- Lee, H.Y.** (1993) An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands. *Atmospheric Environment, Part B: Urban Atmosphere*, 27B(1):1-13.
- Montavez, J.P.; et al.** (2000) A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20: 899-911.
- Moreno-Garcia, C.M.** (1994) Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *International Journal of Climatology*, 14: 705-710.
- Nery, J. et al.** (1997) Primeira aproximação para o estudo de clima urbano em Salvador. Anais do Encontro Nacional de Conforto no Ambiente construído: 124-128.
- Nkemdirim, L.C.** (1995) Urban and suburban heat island intensities during a warm period. *Climatology and air pollution Conference*, Mendoza, Argentina: 51-66.
- Oke, T.R., B.D. Kalanda, and D.G. Steyn** (1981) Parameterization of heat storage in urban areas. *Urban Ecol.* (5):45-54.
- Oke, T.R.** (1995) Classics in Physical Geography revisited. *Progress in Physical Geography*, 19 (1): 107-113.
- Oke, T.** (1999) City size and the urban heat island - revisited. *15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, Sydney - Australia, Macquarie University, 1p.
- Saaroni, H.; et al.** (2000) Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. *Landscape and Urban Planning*, 48: 1-18.
- 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.
- Shahgedanova, M. et al.** (1997) Some aspects of the three-dimensional heat island in Moscow. *International Journal of Climatology*, 17: 1451-1465.
- Svensson, M.; Eliasson, I.** (2002) Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 61: 37-54.
- Taha, H.** (1997) Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and antropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25: 99-103. DOI: 10.1016/S0378-7788(96)00999-1
- Yoshikado, H.** (1994) Interaction of the sea breeze with urban heat islands of different sizes and locations. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 72(1): 139-142.
- Zmudzka, E. et al.** (2003) Circulation's Requirements of the Urban Heat Island Variations in Warsaw. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź, Poland, CD, 4p.

5. Balanço hídrico na cidade

Este tema tem sido um dos menos tratados em climatologia urbana. No que diz respeito à precipitação, apenas 15% das referências de *Kratzer* (na segunda edição do seu manual, em 1956) tratam da precipitação na cidade. Aproximadamente a mesma percentagem é mantida na lista de *T. Oke*, referente ao período entre 1900 e 1985 (Lowry, 1998). A quase totalidade dos estudos diz respeito a precipitações convectivas. Recentemente, no entanto, vários autores tentam aprofundar o tema e fazer a síntese dos conhecimentos (e das controversas) actuais (Lowry, 1998; Shepherd, 2005, entre outros).

5.1. Humidade do ar na cidade

Os parâmetros mais apropriados para a comparação cidade-campo são a humidade absoluta, a concentração do vapor ou densidade do vapor (Oke, 1987, p.63) (g/m^3), a humidade específica (g/kg), a razão de mistura (g/kg de ar seco) e pressão do vapor (hPa).

5.1.1. O excesso urbano de *humidade na atmosfera urbana inferior*

Nalgumas publicações recentes, é referido o excesso urbano de humidade (*Urban Moisture Excess*, em Holmer e Eliasson, 1999; Mayer *et al.*, 2003). Em estudos mais antigos, era utilizada a humidade relativa que, além de depender da quantidade de vapor de água presente no ar, está fortemente relacionada com a temperatura; assim, a cidade era considerada “mais seca do que o campo”, por ser em geral mais quente (Landsberg, 1981).

5.1.2. Factores condicionantes do excesso de humidade na atmosfera urbana inferior

- Características físicas da cidade.

Neste ponto, deve notar-se a grande variação espacial de valores nocturnos de excesso de humidade em função da morfologia urbana (Mayer *et al.*, 2003), da influência do atrito urbano nas transferências de calor sensível e de calor latente e da reduzida evapotranspiração, devido a exíguas áreas verdes e impermeabilização das superfícies. No entanto, existe “excesso de humidade” diurna em espaços verdes urbanos. Citem-se os exemplos de Lisboa (Alcoforado 1996), Coimbra (Ganho, 1996; Leal *et al.*, 2008) e de Gotemburgo (Upmanis, 1999).

Além disso, refira-se a **emissão de vapor de água** pelas actividades antrópicas, a menor extensão das superfícies propícias para condensação nocturna (Richards, 2004) e também o **tempo e clima** da área em investigação (condicionam a remoção de vapor de água pela condensação e formação de orvalho/geada, transferência de calor latente, etc.).

5.1.3. Ritmo diário

É o seguinte o esquema teórico para o Verão: no **campo**, dois máximos de humidade, um depois do nascer do Sol (incremento da evaporação e ainda fracos movimentos convectivos); o segundo, no início da noite, também devido à menor intensidade dos movimentos ascendentes do ar húmido. Os mínimos ocorrem a meio do dia (intensa convecção de ar quente e húmido) e de noite. Na **cidade**, o ritmo é semelhante de dia (com picos menos pronunciados) mas, de noite, verifica-se um excesso de humidade na cidade devido à diminuição da formação de orvalho e ao contínuo fornecimento de vapor de água de origem antrópica. Nas cidades subárticas, o excesso de humidade é contínuo durante as 24 horas do dia (Fezer, 1995; Oke, 1987). N. Ganho (2000) apresenta a situação em Coimbra.

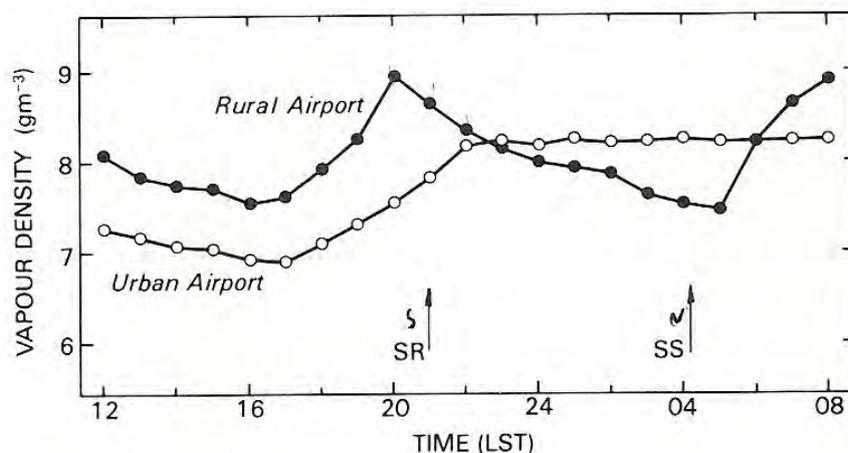


Fig.5.1. Variação da humidade absoluta em Edmonton (na cidade e nos arredores). (Oke, 1987, p.295) SR= Sun rise (nascer do Sol); SS= Sun set (pôr do sol).

5.1.4. Neblina e nevoeiro

Em média, nas cidades, aumenta o número de dias de neblina e diminui a visibilidade. Por outro lado, diminui a frequência de dias de nevoeiro (visibilidade inferior 1000m). Segundo Oke (1987), um aumento da densidade de núcleos de condensação na atmosfera urbana tem como resultado uma maior “competição” em relação ao vapor de água e formam-se mais

pequenas gotas, que não ocasionam nevoeiro denso. Nas altas latitudes, regista-se a formação de *ice-fogs*. A libertação de vapor de água no ar a temperaturas inferiores a -30°C tem como resultado um nevoeiro de cristais de gelo, uma vez que a pressão do vapor saturante é muito baixa.

5.2. Precipitação líquida

Embora o reconhecimento da influência da cidade na precipitação date, pelo menos, do início do século XX (Schmauss, 1927), a relativa escassez dos estudos sobre a possível influência das áreas urbanizadas na precipitação deve-se, em parte, à falta de informação de base, com algumas excepções, como o grande projecto *Metromex* (Changnon, 1974), às características de descontinuidade espacial deste parâmetro meteorológico e à insuficiência de conhecimentos sobre a física das nuvens (Lowry, 1998). A metodologia utilizada durante várias décadas (baseada na análise de médias anuais de totais de precipitação, Changnon, 1974), não permite delimitar com precisão as áreas onde ocorrem os valores máximos de precipitação e, menos ainda, compreender a génese das diferenças espaciais inferidas. Só partindo do estudo de episódios pluviosos isolados, será possível compreender as suas causas. Os diversos episódios poderão, numa segunda fase, ser agrupados, para permitir generalizações. Esta metodologia foi seguida por Dixon e Mote (2003) que, para a cidade de Atlanta, no Verão, relacionaram a intensificação de precipitação urbana com o tipo de massa de ar, a humidade do ar junto ao solo, a estabilidade do ar e a intensidade da ilha de calor.

Se a influência da cidade nas precipitações convectivas ainda era posta em dúvida ou aceite com reservas por alguns autores (Lowry, 1998; WMO, 1997, citado por Lowry, 1998; Rosenfeld, 2000), outros aceitam a influência urbana na intensificação da precipitação na cidade (Bornstein e Lin, 2000; Dixon e Mote, 2003; Rozoff *et al.*, 2003). Encontra-se uma síntese dos trabalhos realizados a partir de 1990 e uma extensa lista bibliográfica em Shepherd (2005). Entre outras conclusões, Shepherd refere que, para desenvolver este tema, será necessário começar por aperfeiçoar a monitorização do uso do solo (Ex. imagens Landsat e outras que possibilitem representações do edificado), dos aerossóis (medições a partir de aviões, determinação por satélite), da microfísica das nuvens (a partir de aviões e satélites) e da precipitação (sobretudo a partir de radares, fig. 5.2.). Assim, a modelação poderá também ser aperfeiçoada e desenvolvida a diversas escalas espaciais. Este autor refere, ainda, que serão necessários estudos no terreno para validar as simulações e permitir entender melhor os processos em causa.

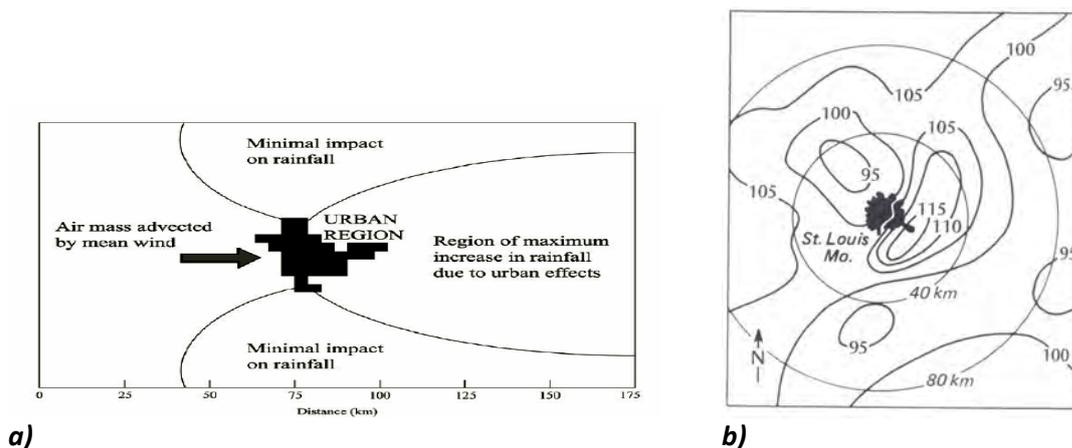


Fig.5.2. Precipitação na cidade. (a) Conceptualização da extensão espacial da influência urbana na precipitação (Shepherd e Mote, 2009); (b) Quociente entre a precipitação estival rural e urbana (%) em St Louis (segundo Changnon et al., 1971, in Oke, 1987)



Fig.5.3. A precipitação na região de Lisboa a 18 de Fevereiro de 2008 e inundações resultantes. A linha a tracejado representa o limite do concelho de Lisboa e os círculos as estações e postos meteorológicos utilizados no estudo (Fragoso et al., 2010). No projecto RAIDEN, em curso (www.ceg.ul.pt), investiga-se a possível influência da urbanização no incremento e padrão da precipitação

Ainda segundo Shepherd (2005), será necessário, numa fase posterior, inserir os estudos levados a cabo na mesoscala no ciclo da água na escala planetária e investigar os impactes da precipitação induzida pelas cidades nas populações urbanas.

5.2.1. Os factos

A maior parte dos trabalhos evidencia um aumento do número de dias de chuvas intensas, não só sobre a cidade como nos arredores a sotavento dela (Atkinson, 1969;

Changnon, 1974; Bornstein e Lin, 2000; Dixon e Mote, 2003; Shepherd, 2005; Kishtawal *et al.*, 2009). Foi abundantemente documentado o caso particular da anomalia de *La Porte* (Chicago, Changnon, 1974).

5.2.2. Possíveis causas da intensificação da precipitação

- Causas atmosféricas

No Verão, intensificação urbana das chuvadas por ocasião de precipitações convectivas (vários autores). No Inverno, relacionadas com a passagem de frentes quentes (Fezer, 1995).

- Causas urbanas

1) Libertação de mais calor sensível na cidade (IC). Por exemplo, *Jauregui e Romales* (1996) relacionam a ilha de calor urbano com a “ilha de precipitação urbana”, na estação húmida, na Cidade do México. *Bornstein e Lin* (2000) e *Sato e Takahashi* (2003) apontam também para a influência da ilha de calor no aumento de precipitação na cidade. 2) Aumento da turbulência mecânica resultante da maior rugosidade (Bornstein e Lin, 2000). Estas duas causas vão contribuir para a diminuição da estabilidade vertical da atmosfera. Sobre a ilha de calor, a convecção inicia-se mais cedo do que no campo e atinge maior altitude. No entanto, são necessárias mais observações e modelização para aperfeiçoar a compreensão dos mecanismos básicos dos impactes das áreas urbanas nos mecanismos atmosféricos, que induzem ou amplificam a precipitação.

2) Aumento de núcleos de condensação na atmosfera urbana (3 a 5 vezes mais do que no campo, segundo Fezer, 1995). No entanto, *Landsberg* (1981) faz notar que os aerossóis podem intensificar ou inibir a precipitação, em função das suas propriedades físicas e das suas dimensões.



Fig.5.4. Gênese da precipitação na cidade – Susan Gonnelli Byrne, Goddard TV Animation, NASA Goddard Space Flight Center
http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/1211urban_prt.htm

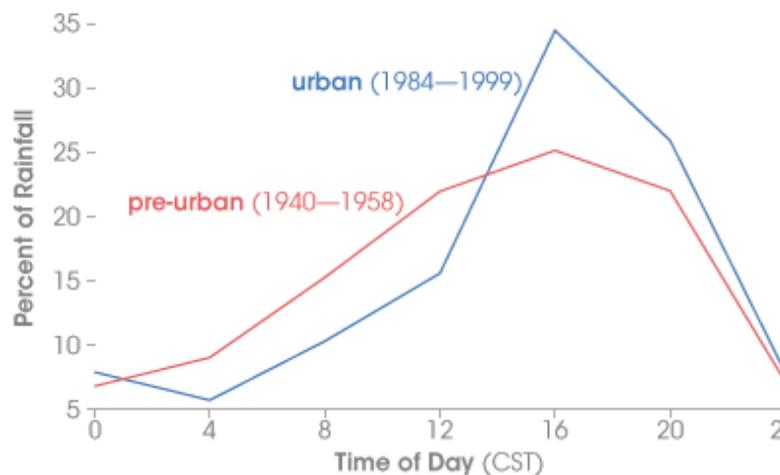


Fig.5.5. Percentagem de precipitação em função da hora do dia a sotavento de Houston, nos períodos “pré-urbano” e “urbano”. (adaptado de Burian and Shepherd, 2005, <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/UrbanRain/urbanrain4.php>)

3) Aumento da humidade absoluta na cidade (excesso de humidade urbana, como referido acima), menos frequentemente citado como causa da intensificação da precipitação na cidade (Shafir e Alpert, 1990).

5.2.3. Variação estacional, semanal e diária do incremento da precipitação

Máximos no Verão

Máximos da frequência de chuvas fortes (>10mm) nos dias úteis

Máximos à 5ª e 6ª feira (Lawrence, 1971; Dettwiller, 1974); de 2ª (ou 3ª) a 6ª (Jauregui e Klaus, 1982, citado por Fezer, 1995; Sato e Takahashi, 2003). Estabelecimento de relação com o aumento, ao longo da semana, de núcleos de condensação na atmosfera urbana.

Máximos a meio da tarde, relacionados com a génese das precipitações (no Verão) (fig.5.4)

5.3. Precipitação sólida

Queda de neve.

Menos queda de neve na cidade provavelmente devido a sublimação dos cristais de

gelo, no seu movimento subsidente na atmosfera urbana aquecida. Exemplo por *Lindqvist* (1968, citado por Fezer, 1995) para a cidade de *Lund* onde, a 28 de Janeiro de 1965, caíram 30 mm de neve, contra 60 a 80 mm no exterior da cidade,

Neve no solo

Menos neve no solo, devido à sua passagem ao estado líquido em contacto com as superfícies menos frias urbanas

5. 4. Conclusão: o balanço hídrico na cidade

$$P + F + I = E + \Delta r + \Delta S + \Delta A$$

P – Precipitação (mais intensa na cidade em certas condições, ver acima)

F – Água libertada para a atmosfera por combustão (maior na cidade)

I – Contributo de água canalizada a partir de rios e barragens (frequentemente do exterior da bacia-vertente, maior na cidade)

E – Evapotranspiração (menor na cidade, embora com grande variação espacial)

Δr – Escoamento (maior na cidade; uma parte de I é canalizado numa rede de esgotos; o restante é devido à impermeabilização da superfície e escoamento artificial)

ΔS – Água armazenada na cidade (solo, edifícios e ar da *atmosfera urbana inferior*)

ΔA – Advecção de vapor de água e gotas de água de/para o volume de ar urbano



Fig. 5.6. Principais modificações no balanço hídrico urbano em relação às áreas rurais (*H. Andrade, inédito*)

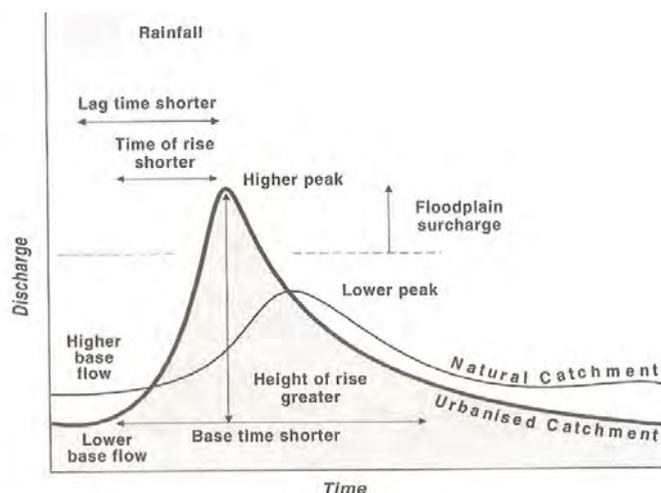


Fig. 5.7. O hidrograma urbano (Bridgman, Warner e Dorson, 2000)

Em resultado, o escoamento é intensificado na cidade. As bacias-vertentes urbanizadas respondem mais rapidamente ao *input* de água, sobretudo em caso de precipitações intensas e o pico de cheia é mais elevado. O aumento do escoamento depende fortemente do grau de impermeabilização da bacia-vertente. Por outro lado, a urbanização intensifica a carga de sedimentos nos rios e deteriora a qualidade da água.

As diversas condutas urbanas devem ser adaptadas ao volume de água esperado em caso de precipitações intensas. Diversas soluções para melhorar o comportamento hídrico do espaço urbano têm sido propostas, nomeadamente através da promoção de soluções naturais e integradas de escoamento e retenção da água e da utilização de superfícies permeáveis.

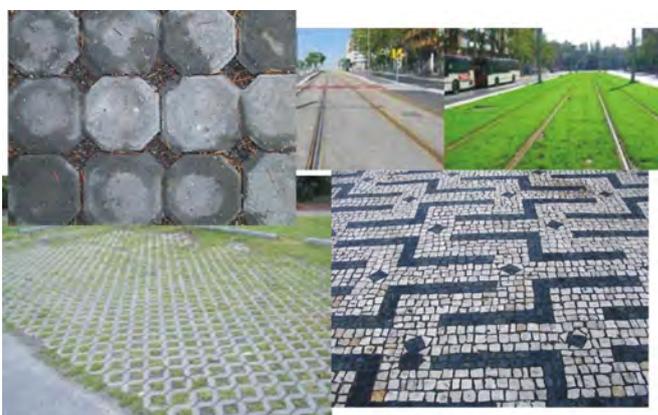


Fig. 5.8. Exemplos de diversos tipos de pavimentos permeáveis para favorecer a infiltração nas áreas urbanas

Bibliografia essencial

- Oke, T.R.** (1987) *Boundary Layer Climates*. Methuen, London. Sub-capítulos *Energy and water balance of a building-air volume* (p. 274-279) e *Humidity and fog* (p.295-297) do capítulo *Inadvertent climate modifications*.
- Shepherd J.M.** (2005) A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. *Earth Interactions*, vol. 9 (12): 1-27.
http://irina.eas.gatech.edu/irina/EAS_Spring2008/Shepherd2005.pdf

Bibliografia citada

- Alcoforado, M. J.** (1996) Comparaison des ambiances bioclimatiques estivales d'espaces verts de Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 9: 273-280.
- Atkinson, B. W.** (1969) A further examination of the urban maximum of thunder rainfall in London. *The Institute of British Geographers*, 48: 97-119.
- Bornstein, R.; Lin, Q.** (2000) Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies. *Atmospheric Environment*, 34: 507-516.
- Bridgman, H.; Warner, R.; Dodson, J.** (2000) *Urban Biophysical Environments*, Oxford University Press, Melbourne, 152p.
- Changnon, S. A.** (1974) Recent studies of urban effects on precipitation in the Unites States, *In: Urban Climates*, WMO, Technical note 108: 327-343.
- Dettwiller, J.** (1974) Incidence possible de l'activité industrielle sur les précipitations à Paris. *In: Urban Climates*, WMO, Technical note 108:361-362
- Dixon, P.G.; Mote, T.L.** (2003) Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation. *Journal of Applied Meteorology*, 42: 1273-1284.
- Fezer, F.** (1995) *Das Klima der Städte*. Klett-Perthes Verlag, 199p.
- Fragoso, M.; Trigo, R.M.; Zêzere, J.; Valente, M.A.** (2010) The exceptional rainfall event in Lisbon on 18 February 2008. *Weather*, 65 (2):31-35.
- Ganho, N.** (1996) Espaços verdes no interior do tecido urbano de Coimbra, Portugal: Contrastes topoclimáticos, influência bioclimática e riscos de poluição atmosférica. *Territorium*, 3:35-55.
- Ganho, N.** (2000) Contrastes higrométricos entre o centro e a periferia urbana de Coimbra - Sentido, intensidade e ritmo diário. *Cadernos de Geografia*, 19: 69-81.
- Holmer, B.; Eliasson, I.** (1999) Urban-rural vapor pressure differences and their role in the development of urban heat islands. *International Journal of Climatology* 19: 989-1009.
- Hough, M.** (2004) *Cities & natural process. A basis for sustainability*, Routledge, London (2º capítulo).
- Jauregui, E.; Romales E.** (1996) Urban effects on convective precipitation in Mexico city. *Atmospheric Environment*, 30(20): 3383-3389.
- Kishtawal, C.; Niyogi, D.; Tewari, M.; Pielke Sr, R.A.; Shepherd, M.** (2009) Urbanization signature in the observed heavy rainfall climatology over India. *International Journal of Climatology*, 30(13):1908-1916. DOI: 10.1002/joc.2044
- Kratzer, P.A.** (1956) *Das Stadtklima*, 2º edi., Vieweg, Braunschweig.
- Landsberg, H.** (1981) *The urban climate*. International Geophysics Series, volume 28, Academic Press, New York, 275p.
- Lawrence, E. N.** (1971) Urban Climate and day of the week. *Atmospheric Environment*, 5: 935-948.
- Leal, C.; Ganho, N.; Rochette, A.** (2008) A influência dos espaços verdes da cidade de Coimbra (Portugal) no topo-clima, no microclima e no conforto bioclimático. *Cadernos de Geografia*, 26/27: 333-341.
- Lowry, W.P.** (1998) Urban effects on precipitation amount. *Progress in Physical Geography*, 22: 477-520.
- Mayer, H. et al.** (2003) Spatio-temporal variability of moisture conditions within the Urban Canopy Layer. *Theoretical and Applied Climatology*, 76(3-4): 165-179.
- Richards, K.** (2004) Observation and simulation of dew in rural and urban environments. *Progress in Physical Geography*, 28(1):76-94.
- Rosenfeld D.** (2000) Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science*, 287: 1793-1796.
- Rozoff, C.M. et al.** (2003) Simulation of St. Louis, Missouri, Land use impacts on thunderstorms. *Journal of Applied Meteorology*, 42: 716-738.

- Sato, N.; Takahashi, M.** (2003) Possible Anthropogenic Changes in Midsummer Precipitation in the Tokyo Area. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódz, Poland, CD, 4p.
- Schmauss, A.** (1927) Grossstädte und Niederschlag. *Meteor. Zeitschrift*, 44:339-341.
- Shafir, H.; Alpert, P.** (1990) On the urban orographic rainfall anomaly in Jerusalem - a numerical study. *Atmospheric Environment*, 24B(3): 365-375.
- Shepherd, M.; Mote, S.** (2009) Urban effects on rainfall variability: potential implications for Georgia's water supply. *Proceedings of the 2009 Georgia Water Resources Conference*, University of Georgia.
http://www.gwri.gatech.edu/uploads/proceedings/2009/4.6.1_Shepherd.pdf
- Upmanis, H. et al.** (1999) The Influence of Green Areas on Nocturnal Temperatures in a High Latitude City (Göteborg, Sweden). *International Journal of Climatology*, 18:681-700.

Bibliografia Complementar

- Ackerman, B.** (1987) Climatology of Chicago area urban-rural differences in humidity. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26(3): 427-430.
- Atkinson, B. W.** (1974) – The reality of the urban effect on precipitation a case-study approach. In *Urban Climates*, WMO, Technical note 108: 342-360.
- Baik, J.J.; Kim, Y.H.; Kim, J.J.; Han, J.Y.** (2007) Effects of boundary layer stability on urban heat island induced circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 89: 73-81.
- Burian, S.; Shepherd, J.** (2005) Effect of urbanization on the diurnal rainfall pattern in Houston. *Hydrological Processes*, 19: 1089-1103.
- Cabral, E., et al.** (1992) Eventos pluviais concentrados sobre a Grande São Paulo ocorridas em 1991: seus reflexos na vida urbana. *SITIENBUS, Revista da Universidade Estadual de Feira de Santana*, 12: 31-54.
- Changnon, S. A.** (1978) Urban effects on severe local storms at St. Louis. *Journal of Applied Meteorology*, 17: 578-586.
- Crawshaw, J.A.; Beggs, P.J.** (2003) Impacts of urbanization on rainfall in Sydney, Australia. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódz, Poland, CD, 4p.
- Fernández-García, F.** (1990) La influencia de la ciudad sobre las precipitaciones: el caso de Madrid. *Estudios Geográficos*, 199-200: 397-411.
- Flocas, A.A.; Giles, B.D.** (1979) A record rainfall in Athens – 2 November 1977. *Archiv. Met. Geophys. Biokl., A*, 28: 375-386.
- Ganho, N.** (1998) Clima urbano e contrastes de precipitação em Coimbra (Portugal). In: Fernández García, F. et al. (Ed.) *Clima y ambiente urbano en ciudades Ibéricas e IberoAmericanas*. Parteluz, Madrid: 93-111.
- Goldreich, Y.** (1977) Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. *Climatic Change*, 12: 361-373.
- Grilo, R. C.** (1993) Clima urbano: proposta de estudo sobre a precipitação. *Boletim de Geografia Teórica*, 23 (45-46): 137-149.
- Jauregui, E.** (1994) Areal and temporal humidity variations in Mexico City. *Contemporary Climatology - IGU*. B. E. Kolar, Universitas Masarykiana Brunensis. Brno: 287-292.
- Jáuregui, E.; Romales, F.** (1994) Urban effects on convective precipitation in Mexico City. *1994 AAG Annual Meeting Abstracts*: 177
- Martín Vide, J. et al.** (1998) Distribución de la precipitación según el día de la semana en varias ciudades españolas. In Fernández García, F. et al. (Ed.), *Clima y ambiente urbano en ciudades Ibéricas e IberoAmericanas*. Parteluz, Madrid: 197-205.
- Matos, M.R.S.** (1987) *Métodos de Análise e de Cálculo de Caudais pluviais em sistemas de drenagem urbana. Estudos referenciado em dados experimentais de bacias urbanas portuguesas*. 2 vol., Tese Hidráulica, LNEC, Lisboa, 244P + apêndices. +375p.
- Mote, T. L.; Lacke, M.C.; Shepherd, J.M.** (2007) Radar signatures of the urban effect on precipitation distribution: A case study for Atlanta, Georgia, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L20710. doi: 10.1029/2007GL031903.

- Pielke Sr., R. A.; Adegoke, J.; Béltran-Przekurat, A.; Hiemstra, C.A.; Lin, J.; Nair, U.S.; Niyogi, D.; Nobis, T.E.** (2007) An overview of regional land-use and land-cover impacts on rainfall. *Tellus*, 59B: 587-601
- Shepherd, J.M.** (2006) Evidence of urban-induced precipitation variability in arid climate regimes. *J. Arid Environ.*, 67:607–628.
- Shepherd, M.J.; et al.** (2002) Rainfall Modification Urban Areas: Observations from Spaceborne Rain Radar on the TRMM Satellite. *Journal of Applied Meteorology*, 41: 689-701.
- Shepherd, J.M.; Carter, M.; Manyin, M.; Messen, D.; Burian, S.** (2010) The impact of urbanization on current and future coastal precipitation: a case study for Houston. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 37 (2): 284-304 doi:10.1068/b34102t

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/UrbanRain/>

6. Vento na cidade

O conhecimento das características do vento no espaço urbano é talvez menos divulgado do que o da ilha de calor. Embora, em 1909, *Kremser* (citado por Fezer, 1995) já tivesse referido a desaceleração do vento nas aglomerações, o estudo deste elemento climático foi, durante muito tempo, apenas baseado na comparação entre duas estações meteorológicas, uma na cidade, outra “no campo”. Ora, tanto o rumo como, sobretudo, a velocidade do vento variam incessantemente no espaço e no tempo. Com a vulgarização das sondagens, dos balões estabilizados, do SODAR e do LIDAR obtiveram-se mais informações sobre a estrutura vertical da atmosfera e a altura da “camada de mistura”.

No entanto, ainda eram (e são) escassos os dados relativos à velocidade do vento no interior do espaço urbano (na *atmosfera urbana inferior*), uma vez que a informação, que se recolhe em medições itinerantes, com anemómetros portáteis, apenas se pode utilizar a título indicativo. A modelação numérica e física em túneis aerodinâmicos (exemplo na fig.6.1) veio, em parte, colmatar esta lacuna, embora a validação dos resultados não seja tarefa fácil. Não se referirá aqui em pormenor a modelação do vento em áreas urbanas, aspectos que serão desenvolvidos em disciplinas mais adiantadas. Refiram-se algumas teses de doutoramento e de mestrado, em que a utilização de modelos como o *WaSP*, o *Envimet*, o *Meso-NH*, entre outros, têm vindo a ser utilizados: Lopes, 2003; Andrade, 2003; Vasconcelos, 2004; Neto, 2005; Baltazar, 2010.

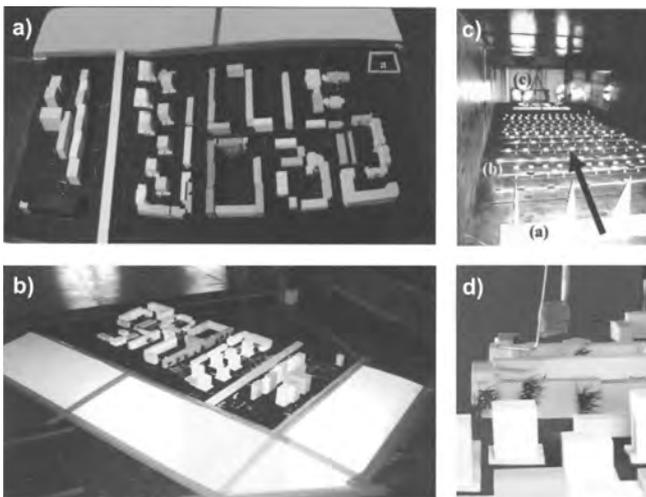


Fig. 6.1. Maquetas no túnel de vento do LNEC, para estudo da ventilação no bairro de Telheiras, em Lisboa (Lopes, 2003) – a – Maqueta vista de Sul; b- Maqueta vista de NW; c – Vista do interior do túnel de vento com blocos de madeira que simulam a rugosidade a barlavento da maqueta. No fundo, a maqueta e as turbinas; d – Detalhe da maqueta com o tubo Pitot-Prandtl, usado para medir a velocidade do vento

Por outro lado, a circulação induzida pela ilha de calor (tal como a brisa do campo) foi reconhecida por *Schmauss*, em 1921 (citado por Fezer, 1995), mas só recentemente está a ser alvo de estudo sistemático, sobretudo devido à importância do fluxo de ar fresco para o “arejamento” das cidades (Barlag e Kuttler, 1990/91; Baumüller, 2008). A brisa do mar (ou de lagos) pode contribuir para uma “ilha de frescura” urbana, tal como se referiu no tema 4 (Alcoforado, 1992; Alcoforado *et al.*, 2006, Vasconcelos, 2004; Lopes, S. 2008).

6.1. Modificação da velocidade e do rumo do vento de gradiente

6.1.1. Diminuição da velocidade do vento e perfil vertical da velocidade do vento.

As áreas urbanas contribuem para diminuir a velocidade média do vento junto ao solo, devido ao atrito causado por elementos urbanos. A equação de *Ekman* adapta-se bem ao perfil vertical do vento

$$U(z) = U_G \left(\frac{z}{z_G} \right)^a \quad (1)$$

(Davenport, 1965 in Lopes, 2003), em que U é a velocidade do vento (ms^{-1}) na altura z (m), U_G é o vento geostrófico (ms^{-1}), e z_G (m) a altura a partir da qual o fluxo geostrófico deixa de ser perturbado. O expoente a foi dado por Davenport para áreas planas (0.16), áreas suburbana (0.28) e centro da cidade (0.40).

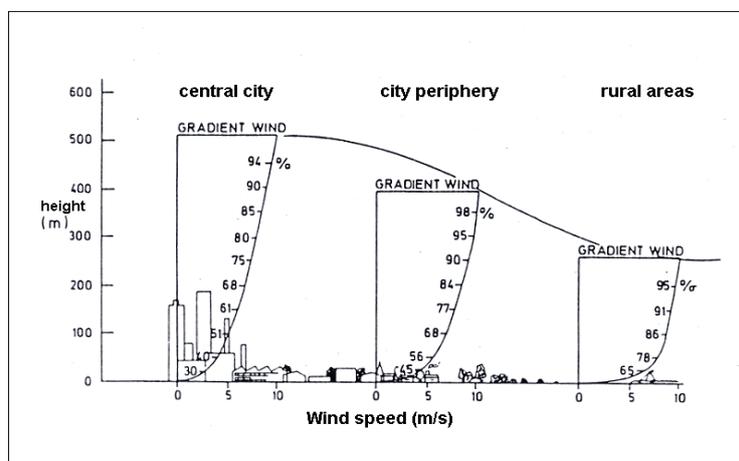


Fig. 6.2. Perfil vertical do vento na cidade, na periferia da cidade e em áreas rurais (Robel *et al.*, 1978, in Baumüller, 2008)

Os perfis mostram que a altura acima do solo em que o perfil do vento não é modificado é mais elevada na cidade, onde a rugosidade é maior. Os elementos de rugosidade de uma cidade são sobretudo os seus edifícios, relativamente altos, com arestas agudas e não flexíveis. Segundo Davenport, em atmosfera neutra, Z_G médio atinge 270m em áreas rurais, 390m nos subúrbios e 420m no centro da cidade. “Em situações de vento fraco, Z_G também depende da convecção térmica gerada à superfície” (Oke, 1987, p. 54). No entanto, na camada superficial turbulenta (ver tema 1) e em condições neutras de estabilidade, pode-se apresentar a seguinte fórmula:

$$U(z) = \frac{U_*}{k} \ln \frac{z}{Z_0} \quad (2)$$

Onde $U(z)$ é a velocidade média do vento (ms^{-1}) à altura z (m), U_* a velocidade de fricção, k a constante de von Karman (~ 0.4) e o parâmetro de rugosidade (Z_0 , *Roughness length*, m).

O parâmetro z_0 é uma medida da rugosidade aerodinâmica da superfície (Oke, 1987, p.57) e corresponde à “altura a partir do solo, em que a velocidade do vento é igual a 0, se o perfil do vento tiver uma variação logarítmica com a altitude” (Lopes, 2003, p.47).

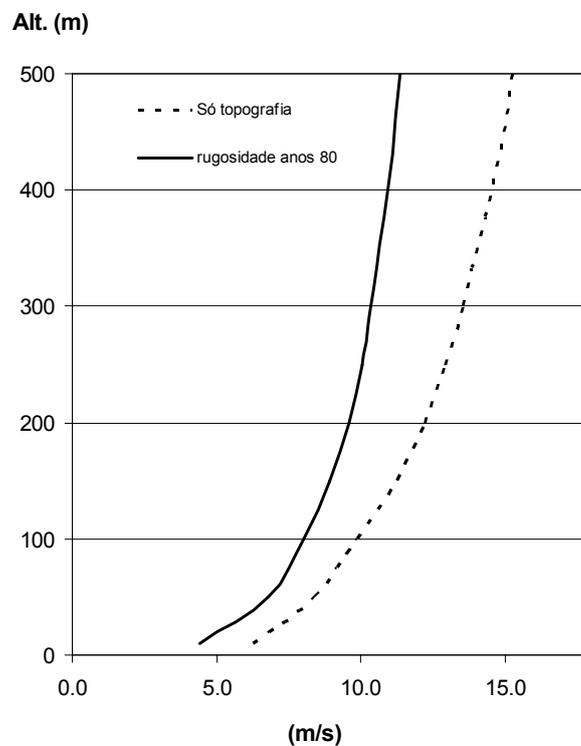


Fig. 6.3. Redução estimada da velocidade do vento sobre Lisboa devido ao crescimento urbano na década de 80 do séc. XX (Lopes, 2003)

Apresentam-se as classes de rugosidade para Lisboa nos anos 1980 (Lopes, 2003), que entretanto foram actualizadas por Baltazar (2010).



Fig. 6.4. Rugosidade aerodinâmica (z_0) em Lisboa nos anos 80 (Lopes, 2003)

Z_0 também pode ser calculado para obstáculos, seguindo a equação de Lettau (1969, in Oke, 1987)

$$Z_0 = 0.5 h \frac{s}{S} \quad (3)$$

Em que h é a altura média dos obstáculos, s a velocidade média do vento e S a área que o obstáculo ocupa no solo. Em caso de haver n obstáculos na área A , então $s=A/n$.

Há, no entanto, algumas excepções à diminuição da velocidade do vento no centro da cidade: nos casos em que o vento das camadas superiores, mais veloz, é ou deflectido em direcção ao solo por edifícios altos, ou canalizado ao longo de ruas de orientação próxima da do rumo do vento, e no caso de “brisas do campo”.

6.1.2. Incremento da turbulência na cidade

6.1.3. Particularidades da circulação do ar na cidade (na escala microclimática)

- Efeito de um obstáculo na circulação do ar (Oke, 1987). Noções de área de

deslocamento do fluxo (*displacement zone*); esteira (*wake zone*); área da cavidade (*cavity zone*); turbilhão a sotavento (*lee eddy*) e efeito de abrigo. O fluxo será afectado até à altura de $3h$, sendo h a altura do obstáculo; um obstáculo induzirá a modificação do fluxo, para barlavento, até à distância de $10-15h$.

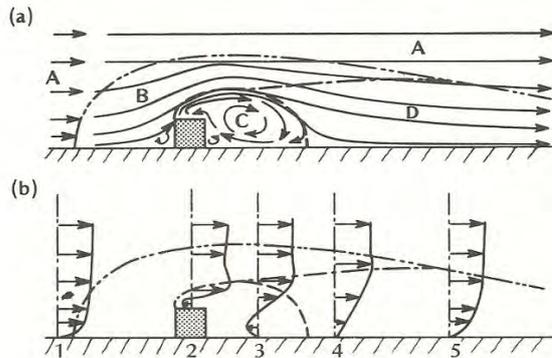


Fig. 6.5. Vento em torno de um edifício. (a) linhas de fluxo. A: fluxo não perturbado; B: fluxo deslocado (*displacement zone*); C: cavidade; D: esteira. b) Perfis da velocidade do vento (Oke, 1987, p.265)

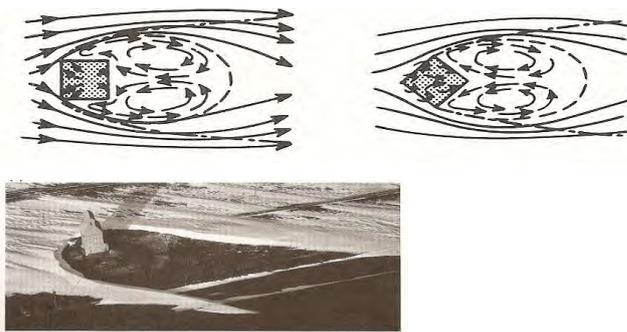


Fig. 6.6. Vento em torno de um edifício em plano (Oke, 1987, p.265)

- **Influência do espaçamento entre os edifícios**, no caso do vento ser normal ao eixo maior das ruas (fig.6.7)

* Com $H/W^7 < 0.4$, pequena modificação do fluxo em relação àquele que se observa próximo de edifícios isolados.

* Com H/W de cerca de 0.7, a influência de um edifício vai interferir com o vizinho, dando lugar a padrões complexos de circulação do ar

* Com H/W superiores a este valor, a maior parte do fluxo vai passar sobre os edifícios e dá origem a um turbilhão a sotavento nas “cavidades” (que normalmente correspondem às ruas).

⁷ H/W – *Height/Width* – razão entre a altura dos prédios e a largura das ruas, que pode substituir a fracção visível da abóbada celeste (*Sky View Factor, SVF*). Voltará a ser referido no tema 10.

Este turbilhão é reforçado pelo fluxo descendente ao longo da parede barlavento do prédio seguinte.

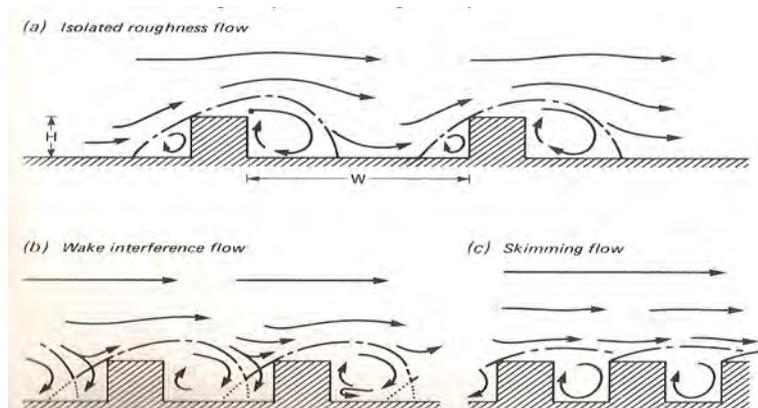


Fig. 6.7. Fluxos associados a diferentes geometrias urbanas (Oke, 1987)

Se o **fluxo for paralelo ao eixo maior das ruas**, o efeito de abrigo é destruído e ocorre uma aceleração do vento, devido a um “estreitamento” do fluxo, que se torna mais forte do que em área não perturbada pelos edifícios: forma-se um *jet* ao longo da rua (Lopes, 2003, p.33).

- **Aumento da velocidade do vento junto ao solo devido a um edifício alto** (fig.6.8, ver também Oke, 1987, p.269). Se um edifício particularmente alto forma uma saliência, acima do nível geral dos telhados, vai ocorrer um “ponto de estagnação” a aproximadamente $\frac{3}{4}$ da altura do prédio (Lopes, 2003, p.31-32). O ar diverge a partir deste ponto. Uma parte do fluxo ultrapassa o topo e dá origem a um turbilhão a sotavento, enquanto a maior parte do fluxo tem uma trajetória descendente na face barlavento do prédio. A restante parte do fluxo é deflectida ao longo das paredes laterais do edifício alto (*corner streams*), que delimitam a circulação dos turbilhões a sotavento e contribuem para a forma característica em ferradura de cavalo, bem visível em ensaios em túneis de vento.

- **Consequências do vento junto aos edifícios:**

Estragos causados por força exercida pelo vento nos prédios (Plate e Kiefer, 2001) ou por chuva arrastada por ventos (*driving rain*). Influência negativa do vento no acesso a edifícios e na segurança e o conforto dos peões.

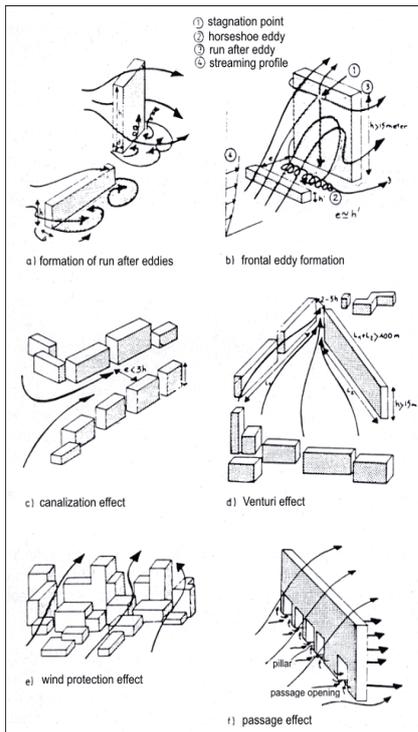


Fig. 6.8. Influência dos edifícios no vento (Gandemer, 1977, in Baumüller, 2008)

6.2. Sistema de ventos devido à diferença de temperatura cidade-campo

6.2.1. Brisa do campo

Quando os ventos regionais são muito fracos e a nebulosidade fraca ou nula, existem as condições ideais para a formação da ilha de calor. Os gradientes térmico e barométrico horizontal na fronteira entre a cidade e o campo podem ser suficientes para induzir uma brisa nas mais baixas camadas da atmosfera do campo em direcção à cidade (mecanismo semelhante ao da brisa do mar). O fluxo converge até ao centro da cidade, vindo de diversos rumos. Teoricamente, isto poderá ter como resultado uma ascendência do ar no centro da cidade e um fluxo de retorno em direcção ao campo em altitude. Se o fluxo junto ao solo na cidade for suficientemente forte para não ser travado pela força de atrito dos elementos constituintes dos canhões urbanos, a velocidade do vento pode ser ligeiramente superior na cidade (ou nos bairros limítrofes da mesma) em relação aos arredores. *Barlag e Kutler* (1990/91) enunciam as regras a que estes ventos devem obedecer, para que sejam considerados brisas do campo. *Zimmerman* (1984, citado por Fezer, 1995) apresenta observações que não deixam margem para dúvidas, em que a NW da cidade de *Ludwigshafen*, a brisa do campo tem direcção contrária ao vento de gradiente. Nem sempre a distinção entre os vários tipos de vento é tão evidente.



Fig.6.9. Esquema da brisa do campo (Baumüller, 2008)

6.2.2. Brisa do campo e o arejamento da cidade

A brisa do campo converge em direcção à cidade, tal como foi verificado por Barlag e Kuttler (1990/91) em Essen, a partir de anemógrafos, estrategicamente localizados. Dada a sua grande frequência nas noites de Verão, em que a intensidade da ilha de calor é forte, estes autores sugerem que, no ordenamento dos bairros limítrofes da cidade, os “canais” através dos quais circula a brisa do campo não sejam bloqueados por construções, de modo a provocar não só a diminuição da temperatura na cidade, como a renovação do ar.

Por seu turno, *Eliasson e Holmer* (1990) identificaram este fenómeno a partir de observações sistemáticas de penachos de fumo de chaminés a dois níveis acima do solo, o que lhes permitiu distinguir a brisa do campo (que designam por *urban heat island circulation*, UHIC) do vento sinóptico. Este exemplo será dado para mostrar um tipo particular de indicadores climáticos (referidos no tema 2), se bem que, neste caso, o estudo tenha sido complementado com algumas sondagens. Este trabalho, tal como o de *Matzarakis e Mayer* (1992), para Munique foi levado a cabo a pedido das autoridades municipais.



Fig. 6.10. Esquema simplificado da circulação do ar por causas térmicas, durante a noite, no espaço urbano (Andrade, inédito).

6.3. O vento e os cidadãos

A influência da cidade na velocidade do vento afecta directa e indirectamente o conforto dos cidadãos no exterior e pode incrementar o risco devido a ventos fortes.

6.3.1. Influência do vento no conforto dos seres humanos

Auliciems (1997) define o conforto como o estado mental de um indivíduo, quando os seus mecanismos termo-regulatórios estão praticamente inactivos e quando se considera satisfeito com o ambiente térmico. Deve distinguir-se o conforto mecânico do conforto térmico; em qualquer deles, o vento tem uma forte importância (Andrade, 1998, 2003; Oliveira e Andrade, 2007; Andrade *et al.*, 2010).

Os limiares de conforto mecânico são baseados em velocidades médias de 10 minutos medidas a dois metros do solo, combinadas com frequências das rajadas (vento efectivo) (Saraiva, 1997). Velocidades superiores a 9 m/s podem afectar significativamente a marcha de um indivíduo, enquanto valores superiores a 20 m/s podem ser perigosos para as pessoas fisicamente mais debilitadas. Saraiva (1997) delimitou certas áreas do recinto da EXPO 98, mais susceptíveis do ponto de vista do conforto mecânico, onde, segundo estimação, ocorrerão anualmente mais de 43 horas com velocidades de vento efectivo superior àquele limiar crítico de 20 m/s. Na escala do *Building Research Establishment* (Grã-Bretanha), é introduzido o limiar de 5m/s, acima do qual se considera que existe perturbação para os peões. No seu estudo para determinar qual a velocidade do vento que dificulta o movimento, Lopes *et al.* (2008b) concluíram que 14m/s é o limiar entre “alguma dificuldade a caminhar” e “muita dificuldade ao caminhar”.



Fig.6.11. Efeito mecânico do vento. Ensaios em túnel de vento no âmbito do projecto UrbKlim.

<http://www.ceg.ul.pt/urbklim/index.html>

É difícil considerar isoladamente o efeito mecânico, sobretudo quando não é

ultrapassado o limiar de segurança (Oliveira e Andrade, 2007; Andrade *et al.*, 2010). Por exemplo, em climas frios, o vento aumenta o factor de *wind-chill* (Dixon, e Prior, 1987; Giles e Balafoutis, 1992). Um vento forte torna uma ambiência fria muitíssimo desagradável. Pelo contrário, em climas quentes e húmidos, o aumento da velocidade do vento (até certo limiar) torna uma ambiência quente e húmida, muito mais fácil de suportar (Prianto e Depecker, 2003; Lopes *et al.*, 2008b).

6.3.2. O vento como factor de risco

Em determinados tipos climáticos, ventos fortes ocorrem periodicamente (áreas sujeitas a ciclones tropicais, por exemplo). Noutros locais, os ventos fortes são menos frequentes, mas não mais inofensivos; citem-se as tempestades que, em 1999, assolaram a Europa Ocidental (Lopes, 2003). Nos Estados Unidos, os ventos fortes (extremos) são a principal causa de morte anual em acidentes naturais, superando sismos (*American Association for Wind Engineering*, 1997, citado por Lopes, 2003).

Ora, uma vez que, em certos locais das cidades, existem quase sistematicamente acelerações do vento do gradiente (ver acima), haverá toda a vantagem em delimitá-los pormenorizadamente, não só a partir da investigação sobre o vento, como também através da verificação de objectos de grandes dimensões deslocados depois da ocorrência de ventos fortes.

Um estudo sobre a queda de árvores e os danos em veículos por ocasião de tempestades de vento (Lopes *et al.*, 2008a, 2008c, 2009, projecto UrbKlim) permitirá tomar medidas de prevenção em ocasiões em que existe previsão de ventos fortes. As tempestades de Sul e de SW são as que provocam mais danos (fig. 6.13).



Fig.6.12. Choupo partido num dia de vento forte, em Lisboa (UrbKlim, mais imagens em http://www.ceg.ul.pt/urbklim/18_07_06.html).

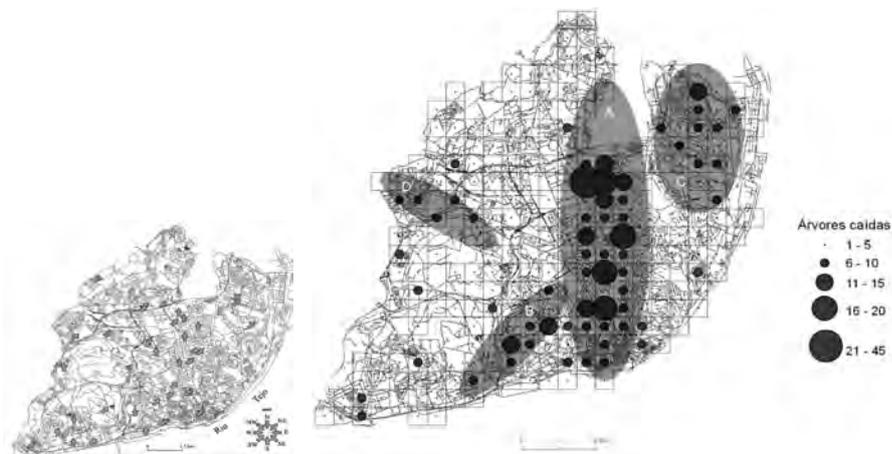


Fig. 6.13. Queda de árvores em função do rumo do vento durante a tempestade de 8 de Outubro de 2004 (Lopes et al., 2008c). Ver também outras figuras em Lopes et al., 2008c.

Lopes et al. (2008a) tentaram correlacionar a queda de árvores durante as tempestades de Sul e a morfologia urbana (Outubro-Dezembro 1990-2006) (Quadro 6.1)

Quadro 6.1. Relação entre a orientação das ruas e queda de árvores/ramos durante tempestades de Sul. (Lopes et al., 2008a)

Orientação das ruas	Árvores	(%)	Ramos	(%)	Total	(%)
N/S	238	44.5	64	12.0	302	56.4
E/W	90	16.8	35	6.5	125	23.4
Praças	50	9.3	20	3.7	70	13.1
Mal definidas	32	6.0	6	1.1	38	7.1
Total	410	76.6	125	23.4	535	100

A velocidade média do vento nestas tempestades foi de 9.5 m/s nas 12h que as antecederam e que provocaram a chamada dos bombeiros. A relação entre a direcção do vento e a orientação da rua, onde ocorreram mais danos, é evidente: mais de 56.4% das quedas ocorreram em ruas N/S e 23.4% em ruas W/E. As restantes 20.2% de quedas de árvores e ramos tiveram lugar em praças ou ruas sem orientação definida.

6.3.3. Influência do vento na qualidade do ar

- Negativa. Os turbilhões podem provocar a movimentação de poeira, folhas e outros resíduos que contribuem para aumentar a poluição do ar, do solo e das águas.

- Positiva. Um vento forte pode ser muito útil para a remoção da poluição do ar. Pelo contrário, em ruas muito estreitas, onde apenas se desenvolvem turbilhões a poluição fica retida (Ver fig.8.5, Oke, 1987, p.273).

Bibliografia essencial

- Lopes, A.** (2003) *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, Universidade de Lisboa, 369p (Caps.1 e 2)
- Oke, T.R.** (1987) *Boundary layer climates*. 2nd ed. Methuen. London, 435p. (p.264-272)
- Lopes, António; Oliveira, Sandra; Fragoso, Marcelo** (2008c) Vento Forte e queda de árvores em Lisboa. Avaliação e primeiros resultados, In: Alcoforado, M.J. et al (Ed), *Estudos sobre Cidades e Alterações Climáticas*. CEG/A.I.G-E., 8: 71-91.

Bibliografia citada

- Alcoforado M.J.** (1987) Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa, *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXII (43):213-225.
- Alcoforado, M. J.** (1992) *O clima da região de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos*. Lisboa, Memórias do C.E.G, vol.15, (edição policopiada da dissertação de 1988, Universidade de Lisboa) Lisboa, 347p.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Vasconcelos, J.; Vieira, R.** (2006) Observational studies on summer winds in Lisbon (Portugal) and their influence on daytime regional and urban thermal patterns. *Merhavim*, vol. 6: 90-112.
- Andrade, H.** (1998) O desconforto térmico estival em Lisboa. Uma abordagem bioclimática. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XXXIII (66): 41-58
- Andrade, H.** (2003) *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, Universidade de Lisboa, 435p.
- Andrade H.; Alcoforado, M.J.; Oliveira, S.** (2010) Perception of temperature and wind by users of public outdoor spaces: relationships with weather parameters and personal characteristics, *International Journal of Biometeorology*, on line first, DOI 10.1007/s00484-010-0379-0
- Baltazar, S.** (2010) *Mapas bioclimáticos de Lisboa*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, 73p.pol.
- Barlag, A. B.; Kuttler, W.** (1990-91) The significance of country breezes for urban planning. *Energy and Buildings*, 15-16: 291-297
- Baumüller, J.** (2008) Climate booklet for urban development online. Stuttgart.
http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/Climate_Booklet/index-1.htm
- Dixon, J; Prior, M.** (1987) Wind-chill indices - a review. *The Meteorological Magazine*, 116(1374): 1-16.
- Eliasson, I.; Holmer, B.** (1990) Urban heat island circulation in Goteborg, Sweden. *Theoretical and Applied Climatology*, 42: 187-196.
- Fezer, F.** (1995) *Das Klima der Städte*. Klett-Perthes Verlag, 199p.
- Gilles, B. D.; Balafoutis, J.C.** (1992) Cold windchill spells in the south Balkans: a study of the synoptic situations. *International Journal of Climatology*, 12(3): 305-312
- Lopes, A.; Oliveira, S.; Fragoso, M.; Andrade, J.; Pedro, P.** (2008a) Wind risk assessment in urban environments: the case of falling trees during windstorm events in Lisbon, In: Štřelcová, K. et al (Ed.), *Bioclimatology and Natural Hazards*, Springer: 55-74.
- Lopes, A.; Oliveira, S.; Silva F.M.; Saraiva, J.** (2008b) Assessment of thermal and mechanical comfort of people based on wind tunnel experiments. *ICB 2008, Proceedings of the 18th International Congress of Biometeorology*. Tokyo, September 22-26th.
- Lopes, S.** (2008) Regimes dos ventos estivais no Funchal e sua influência nos padrões térmicos. Tese de Mestrado, FLUL, UL, Lisboa.
- Lopes, A.; Fragoso, M.** (2009) – Tree damages in Lisbon during southern windstorms. In H. Mayer et al (Eds.). Proceedings of the 2nd International Conference Wind Effects on Trees, *Berichte des*

- Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* Nr. 19 (reviewed extended abstract): 195-200.
- Matzarakis, A.; Mayer, H.** (1992) Mapping of urban air paths for planning in Munich. *Planning applications of urban and Building climatology*. U. Karlsruhe. Karlsruhe, Wiss. Bern. Inst. Meteor. Klimafor. 16: 13-22.
- Neto, J.** (2005) Estudo da circulação atmosférica de Verão sobre a Região de Lisboa. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Évora, 171 p. pol.
- Oliveira, S.; Andrade, H.** (2007) An initial assessment of the climatic comfort in an outdoor public space of Lisbon. *International Journal of Biometeorology*, 52(1): 69-84.
- Plate, E. J.; Kiefer, H.** (2001) Wind loads in urban areas. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89 (14-15): 1233-1256.
- Prianto, E.; Depecker, P.** (2003) Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach. *Energy and Buildings*, 35: 273– 280.
- Saraiva, J. G.** (1997) O vento, a cidade e o conforto. *IV National Meeting on Comfort in Built Environments*, Bahia, Brasil.
- Vasconcelos, J.** (2004) *Avaliação climática para o planeamento urbano de Lisboa: influência do crescimento urbano no sistema de brisas do estuário do Tejo*, Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Nova de Lisboa, 172p.
- Vasconcelos, J.; Lopes, A.; Salgado, R.; Neto, J.** (2004) Modelling of the estuarine breeze of Lisbon (Portugal): preliminary results, in García Codron, J.C. et al., ed., *El Clima entre el Mar y la Montaña*. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, nº 4, Santander: 165-169. <http://www.aeclim.org/4congr/vasconcelosJ04.pdf>

Bibliografia complementar

- 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.
- Auliciems, A.** (1997) Comfort, clothing and health. In: Thompson, R.; Perry, A. (Ed.) *Applied climatology. Principles and practice*. Routledge, Londres:155-174.
- Capeluto, I. G.** (2005) A methodology for the qualitative analysis of winds: natural ventilation as a strategy for improving the thermal comfort in open spaces. *Building and Environment* 40 (2): 175-181.
- Cermak, J. E.; Davenport, A.; Plate, E.; Viegas, D.X.** (Ed.) (1994) *Wind climate in cities*, NATO ASI. Series E: Applied Sciences, Kluwer Academic Publishers.
- Chan, A. T. et al.** (2003) Strategic guidelines for street canyon geometry to achieve sustainable street air quality-part II: multiple canopies and canyons. *Atmospheric Environment*, 37 (20): 2761-2772.
- Duryea, M.L.** (2004) *Wind and Trees: surveys of tree damage in the Florida Panhandle after hurricanes Erin and Opal*. University of Florida. Cooperative Extensive Service, Circular 1183, 7p.
- Johnson, G. T.; Hunter, L. J.** (1999) Some insights into typical urban canyon airflows. *Atmospheric Environment* (33): 3991-3999.
- 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*. Manchester.
- Lopes, A.; Fragoso, M.** A tempestade de 23 de Dezembro de 2009. Causas meteorológicas e impactes na região oeste (aceite para publicação na revista *Territorium*).
- Lopes, A.; Saraiva, J.; Alcoforado, M.J.** (2011) Urban boundary layer wind speed reduction in summer due to urban growth and environmental consequences in Lisbon, *Environmental Modelling & Software*, 26(2): 241-243
- Oliveira, S. ; Lopes, A.** (2007) Metodologia de avaliação do risco de queda de árvores devido a ventos fortes na cidade de Lisboa, *Actas do VI Congresso da Geografia Portuguesa*. FCSH, Lisboa, 21 p.
- Oppenheim, D.; et al.** (2004) Outside the square: Integrating wind into urban environments. *Refocus* 5 (3): 32-35.
- Prior, V. ; Carvalho, R. ; Neto, J. ; Manso, M.D.** (2001) Simulation du vent sur des zones urbaines côtières. Abstract presented at the *12th Meeting of the Association Internationale de Climatologie*, Sevilha: 209-210.

- Saraiva, J.** (1983) *Aerodinâmica dos edifícios altos: característica do escoamento e resposta à turbulência de formas prismáticas*. Tese de Doutoramento. LNEC, Lisboa.
- Saraiva, J.** (1996) Acção do vento e nível de conforto em espaços urbanos. *Seminário "A cidade e o clima"*, Lisboa, DGOTDU.
- Stathopoulos, T.; et al.** (2004) Outdoor human comfort in an urban climate. *Building and Environment* 39 (3): 297-305.

7. Qualidade do ar

A poluição do ar é um problema grave em numerosas cidades, sobretudo naquelas onde o tráfego é mais intenso. Apesar dos melhoramentos técnicos a que os veículos têm sido submetidos, a sua multiplicação tem contribuído para uma progressiva diminuição da qualidade urbana do ar. As indústrias, a incineração de resíduos, o aquecimento/arrefecimento dos edifícios são outras causas da poluição atmosférica urbana (Baldasano *et al.*, 2003). Neste capítulo, será dada particular atenção às inter-relações causais entre poluição do ar e estado do tempo e o clima. Além de se relembrem algumas noções de base referentes às características da poluição atmosférica, serão salientadas as causas atmosféricas da variabilidade temporal da concentração dos poluentes na atmosfera e será promovida uma reflexão sobre as principais consequências da poluição do ar no clima urbano e nos habitantes das cidades e perspectivas futuras.

7.1. Enquadramento legislativo e definições

7.1.1. Enquadramento legislativo

- Decreto-lei nº352/90 de 9 de Novembro (Quadro normativo relativo à gestão da qualidade do ar)
- Portaria nº286/93 de 12 de Março (Estabelecimento de valores limite e guia)
- Portaria 286/93 (Valores limite)
- Portaria nº623/96 de 31 de Outubro (Estabelecimento dos limiares de protecção à saúde (para o ozono), à vegetação, limiar de alerta)
- Directivas Comunitárias (por exemplo Directiva 92/72/CEE)
- Decreto-lei 276/99 (Definição dos objectivos para a qualidade do ar ambiente)
- Decreto-lei 111/2002 (Geral)
- Decreto-lei 320/2003 (Ozono)
- *WHO Air Quality Guidelines for Europe* (WHO, 2000 e 2006)
- Decreto-lei 351/2007 (Metais pesados)

7.1.2. Definições

Poluição do ar: modificação qualitativa ou quantitativa da composição normal da atmosfera (Coin, 1974). Segundo Peixoto (1987), na definição da poluição do ar também se

deve incluir o facto de ser prejudicial aos seres vivos, bens materiais ou actividades humanas. Em *Janoueix-Yacono* (1993) e nos decretos-lei 352/90 e 276/99, é incluída a origem antrópica (directa ou indirecta) da poluição do ar, opinião não partilhada por todos os autores.

Algumas definições do decreto 276/99

Margem de tolerância	Percentagem do valor limite em que este valor pode ser excedido, de acordo com as condições constantes no presente diploma
Limiar de alerta	Nível de poluentes na atmosfera acima do qual uma exposição de curta duração apresenta riscos para a saúde humana e a partir do qual devem ser adoptadas medidas imediatas, segundo as condições fixadas no presente diploma
Nível	A concentração no ar ambiente ou a deposição superficial de um poluente num dado intervalo de tempo
Poluentes atmosféricos	Substâncias introduzidas, directa ou indirectamente, pelo homem no ar ambiente, que exercem uma acção nociva sobre a saúde humana e ou meio ambiente
Valor alvo	Nível fixado com o objectivo de evitar a longo prazo efeitos nocivos para a saúde humana e ou meio ambiente, a ser alcançado, na medida do possível, num período determinado
Valor limite	Nível de poluentes na atmosfera, fixado com base em conhecimentos científicos, cujo valor não pode ser excedido, durante períodos previamente determinados, com o objectivo de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e ou no meio ambiente.

Algumas definições do decreto 111/2002

Óxidos de azoto	Soma das concentrações de monóxido e dióxido de azoto, adicionadas como partes por bilião, e expressas em microgramas por metro cúbico de dióxido de azoto
PM10	Partículas em suspensão susceptíveis de serem recolhidas através de uma tomada de amostra selectiva, com eficiência de corte de 50%, para um diâmetro aerodinâmico de 10 µm
PM2,5	Partículas em suspensão susceptíveis de serem recolhidas através de uma tomada de amostra, com eficiência de corte de 50%, para um diâmetro aerodinâmico de 2,5 µm.



Fig. 7.1. Estação de medição da qualidade do ar do Beato (Qualar)
<http://www.qualar.org/INDEX.PHP?page=4&subpage=3&estacao=3070>

7.1.3. Escalas de análise da poluição do ar

Os estudos podem ser levados a cabo nas escalas global, regional (transporte de poluentes a longa distância, chuvas ácidas), local (poluição do ar devido a emissões por veículos e em áreas industriais nas cidades, concentração em áreas topograficamente deprimidas, etc.) e microclimática (poluição nos “canhões urbanos”, em áreas confinadas, etc.).

7.2. Classificação dos poluentes atmosféricos e tipo de implantação das fontes emissoras

Segundo o estado físico (aerossóis e gases) e a composição química; poluentes primários (emitidos directamente para a atmosfera) e secundários (formados na atmosfera a partir de outros poluentes e outras substâncias presentes na atmosfera); quanto à origem. Quanto à fonte, os poluentes podem ser naturais ou de origem antrópica (Quadro 7.1). A implantação das fontes pode ser pontual (chaminés, fogueiras), linear (estradas, aviões), em área (cidades, fogos florestais). É necessário ter igualmente em conta as taxas de emissão, a temperatura e velocidade das emissões e a altura das mesmas.

Quadro 7.1. Tipos e fontes dos principais poluentes atmosféricos (a partir de Miranda, 2001)

Principais Poluentes	Principais Fontes
SO ₂	Indústria
NO	Tráfego Indústria
NO ₂	
Outros compostos de azoto	
CO	
Partículas (PM10)	Tráfego Indústria Construção Incêndios florestais Agricultura Erosão eólica
Compostos orgânicos voláteis (COV)	Tráfego Indústria Construção (pintura) Vegetação Diversas pequenas fontes
O ₃ -poluente secundário – Principais precursores: NO ₂ , CO, COV	

7.3. Principais poluentes atmosféricos na atmosfera urbana

(Miranda, 2001)

7.3.1. Enumeração de alguns poluentes

Óxidos de azoto – NO_x. Proveniente de fontes industriais e combustões a alta temperatura. NO₂ forma-se sobretudo a partir do NO por oxidação; os veículos a gasóleo são também emissores primários de NO₂.

Dióxido de enxofre – SO₂. Proveniente de queima de combustíveis fósseis, indústria (existia em grande quantidade nas unidades fabris a E de Lisboa e na margem Sul do Tejo, Andrade, 1996). Reage com a água, dando origem a ácidos (sulfídrico, sulfuroso e sulfúrico).

Óxidos de Carbono – CO. Proveniente de combustão incompleta em veículos automóveis a gasolina; poluente típico de áreas com trânsito congestionado.

Dióxido de Carbono - CO₂. (nem sempre considerado um poluente, Oke, 1987) é devido à queima de combustíveis fósseis na presença de oxigénio.

Ozono (O₃) e NO₂ e o ciclo fotolítico

(Equações 1 a 3 em Oke, 1987, p. 319; Ferreira, 1991; Comrie, 1990; Stone, 2005; fig.7.2).

Aerossóis (Partículas em suspensão na atmosfera, de diferente dimensão e composição 90% são de origem natural, Oke, 1987 – particularmente importantes em cidades tropicais - El-Shobokshy e Al-Saedi (1993). Classificação granulométrica das partículas (ver acima, definições nos decretos-lei). Fontes antrópicas: combustão, processos industriais e perturbações da superfície devido a actividades de construção (de casas e de estradas). Fumos negros, poeiras e cinzas.

7.4. Ritmo temporal da concentração de poluentes na cidade

Os ritmos estacional, semanal e diário da concentração dos poluentes atmosféricos variam muito no espaço e de poluente para poluente. Serão dados exemplos referentes a alguns dos seguintes locais: Los Angeles, Lisboa, Madrid, Melbourne, Estugarda, Atenas e Trier (Oke, 1987; Ferreira, 1991; Andrade, 1996; Garcia Fernandez *et al.*, 1995; Simmonds *et al.*, 1997; Mayer, 1999; Asimakopoulos, citado por Santamouris ed., 2001 e Junk *et al.*, 2003).

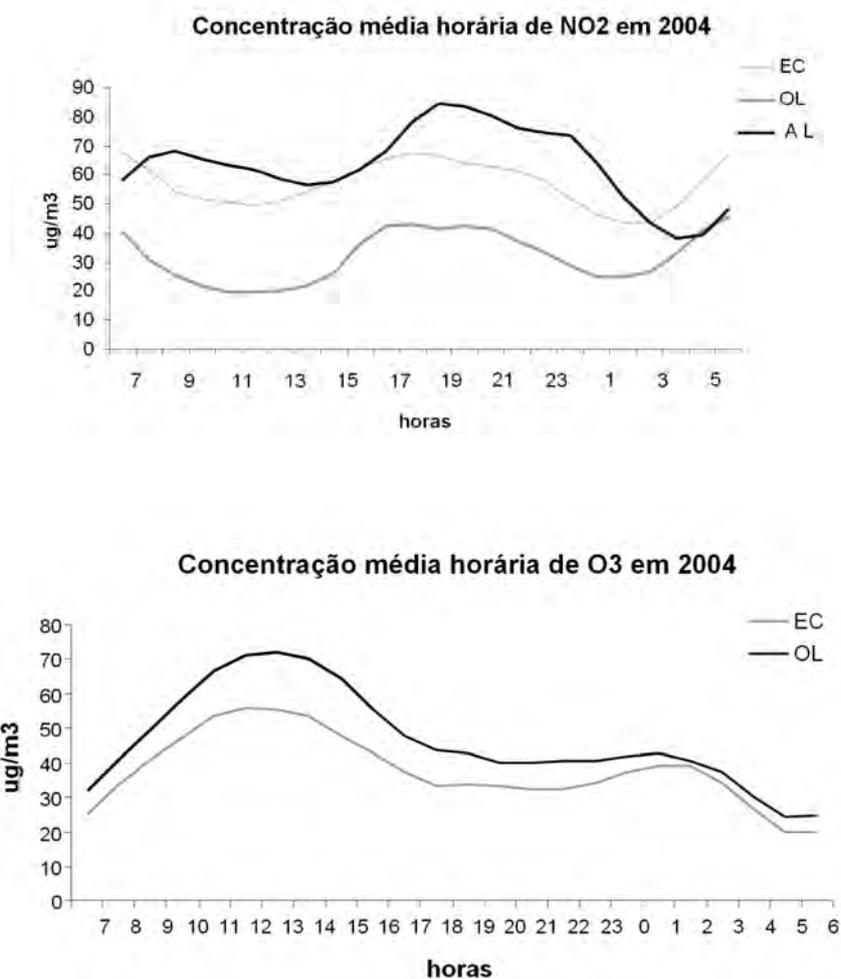


Fig.7.4. Ritmo diário de NO₂ e de O₃ em Lisboa. EC: Entrecampos; AL: Avenida da Liberdade; OL: Olivais. (Andrade, inédito)

7.5. Controlo atmosférico da poluição do ar

7.5.1. Factores de dispersão dos poluentes

- Macroescala (circulação de escala sinóptica)
- Mesoscala (efeito urbano, topografia e circulação resultante, brisas marítimas (Simpson, 2004; Eliasson *et al.*, 2009))

- Microescala (posição relativa e características dos edifícios e da vegetação)

7.5.2. Efeito da estabilidade/instabilidade do ar na dispersão dos poluentes.

Análise de penachos característicos para diversas situações de estabilidade/instabilidade do ar na camada-limite (fig.7.5); as classes de estabilidade de *Pasquill-Gifford* (a utilizar na ausência de informação sobre a estrutura vertical da atmosfera, Domingos *et al.*, 1980).

7.5.3. Efeito do vento no transporte dos poluentes.

A direcção do vento; as rosas de poluição; exemplos para Madrid (García Fernández *et al.*, 1995), Lisboa (Andrade, 1994 e 1996, fig. 7.6) e Sul de França (Baeriswyl e Sierro, 1993); a

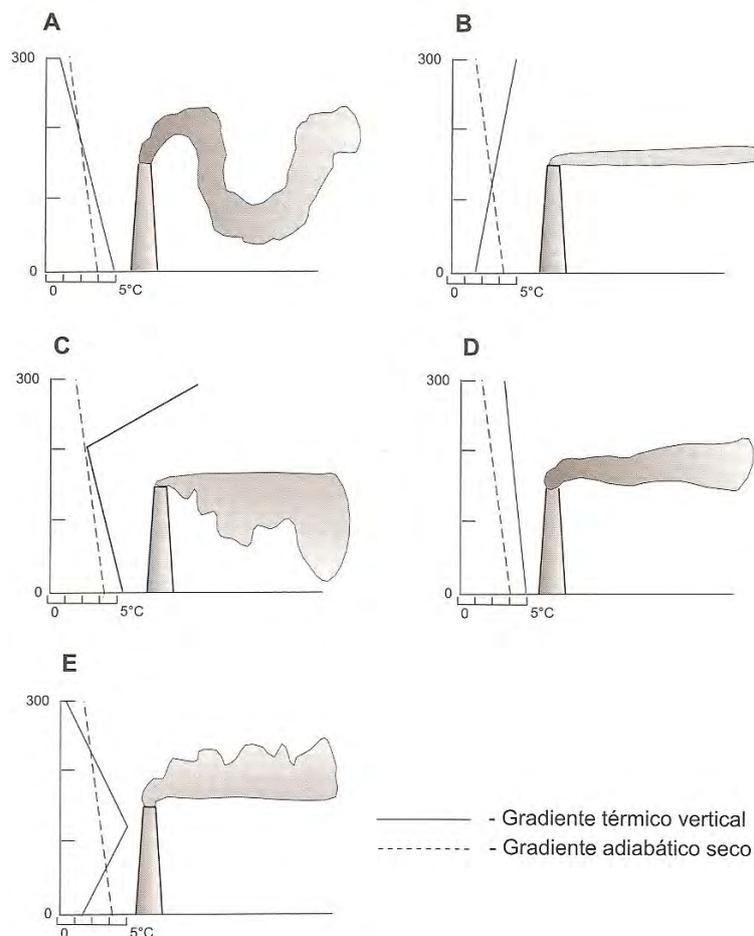


Fig.7.5. Trajectória típica dos poluentes industriais em diferentes situações de estabilidade da atmosfera (Andrade, 1996)

velocidade do vento (aumenta a diluição dos poluentes na atmosfera, mas reduz a altura efectiva das emissões); diferentes tipos de brisa e poluição atmosférica (Simpson, 2004).

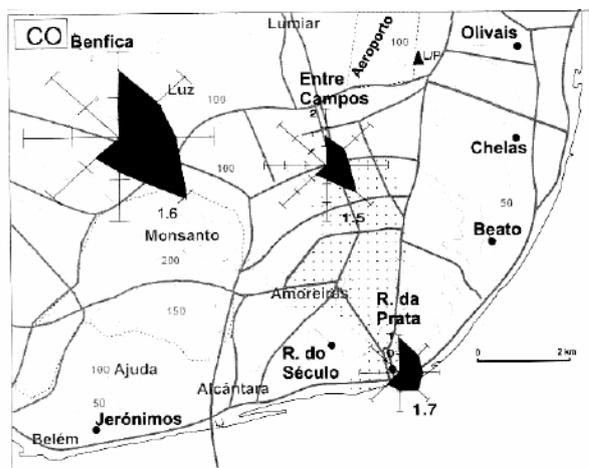


Fig.7.6. Concentração média de monóxido de carbono por rumo sinóptico do vento em Janeiro de 1993 (valores normalizados da concentração média nas 6h precedentes à observação do fluxo) (Andrade, 1996).

7.5.4. Remoção dos poluentes

A concentração de um dado poluente na atmosfera resulta de um balanço entre os processos de emissão e de remoção (Miranda, 2001).

Processos de remoção: Deposição seca; deposição húmida, por reacções químicas ou fotoquímicas.

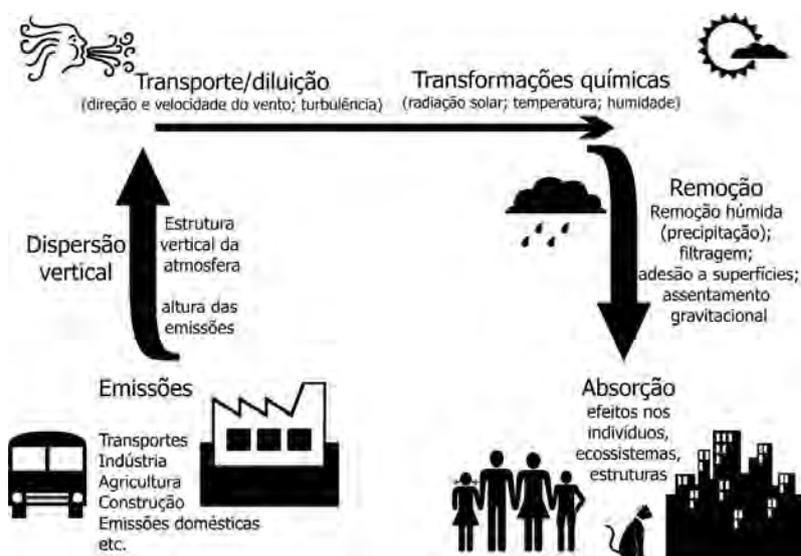


Fig. 7.7. Dispersão, transporte, reacções químicas na atmosfera e deposição dos poluentes (seca e húmida) (H. Andrade, inédito)

7.6. Mapas de emissões e mapas de impactes da poluição do ar

Disponibilização e harmonização dos dados de inventários.

I. Roussel (2010) discute as várias técnicas para a elaboração de mapas de qualidade do ar.

7.7. Algumas consequências da poluição urbana do ar

7.7.1. Climáticas

Encontra-se informação em Paszynski (1995; Repapis *et al.* (1998); Jauregui *et al.*, (1999) e Parry *et al.* (2007). Efeitos na visibilidade (O « Clean Air Act » no Reino Unido) na temperatura. Dever-se-á analisar, separadamente, a acção dos aerossóis e dos gases no tema seguinte.

7.7.2. Sanitárias

Para os seres humanos: problemas respiratórios e oftalmológicos (Touraine, 1986; Bignon, 1988; Kondakis *et al.*, 1992; Gburcik *et al.*, 2003; Gonçalves *et al.*, 2005). Dever-se-á também ter em conta a poluição no interior dos edifícios. Para os vegetais: utilização de bio-indicadores para monitorização da qualidade do ar (Bento-Pereira *et al.*, 1981; Sérgio *et al.*, 1981; Catarino *et al.*, 1991; Oksanen *et al.*, 1990).

7.7.3. No património cultural, equipamentos e infraestruturas

(Alvarez *et al.*, 1998).

Quadro 7.2. Valores-limite e limiares de alerta de óxidos de azoto, de PM10 e de CO (a partir de Miranda, 2001, actualizado com os Decretos-Lei nº 276/99 (de 23 de Julho), nº 111/2002 (de 16 de Abril), e nº 351/2007 (de 23 de Outubro).

	Composto	Período considerado	Valor limite	Limiar de alerta
Valor limite horário para protecção da saúde humana	NO ₂	Uma hora	200 µg/m ³ NO ₂ 1 de Janeiro de 2010. (≤ 18 vezes/ ano civil)	400 µg /m ³ , medido em três horas consecutivas, em locais que sejam representativos da qualidade do ar numa área de pelo menos 100 km ² , ou numa zona ou aglomeração
Valor limite anual para protecção da saúde humana	NO ₂	Ano civil	40 µg /m ³ NO ₂	
Valor limite anual para protecção para protecção da vegetação	NO _x	Ano civil	30 µg /m ³ NO _x	
Valor limite diário para protecção da saúde humana	PM ₁₀	Vinte e quatro horas	50 µg /m ³ (≤ sete vezes/ ano civil)	
Valor limite anual para protecção da saúde humana	PM ₁₀	Ano civil	20 µg /m ³	
Valor limite para protecção da saúde humana	CO	Máximo diário das médias de oito horas	10 mg/m ³	

Quadro 7.3. Alguns poluentes perigosos para a saúde humana e valores-guia a não ultrapassar na legislação portuguesa (a partir de Miranda, 2001, com base em Seinfeld e Pandis, 1998, actualizado de acordo com directrizes legislativas posteriores)

	Composto	Risco	Fontes	Tempo de residência	Valor Guia	Período de média
Poluentes Clássicos	CO		Combustão incompleta	30-90 dias	100 mg/m ³	15 min
					60 mg/m ³	30 min
					30 mg/m ³	1 hora
	O ₃		Produção fotoquímica		10 mg/m ³	8 horas
					120 µg /m ³	8 horas
	NO ₂		Combustão	1-4 dias	200 µg /m ³	1 hora
SO ₂		Combustão	1-7 dias	40 µg /m ³	Ano	
				350 µg /m ³	1 hora	
				125 µg /m ³	24 horas	
Partículas PM ₁₀		Combustão		50 µg /m ³	Ano	
				40 µg /m ³	24 h	
Orgânicos	Benzeno	A	Gasolina, fumo tabaco		5 µg /m ³	Ano
	Tricloroetileno	B	Solvente, Ind. Química	5-8 dias	4,3x10 ⁷ / µg m ³	U/R vida
Inorgânicos	Arsénio	A	Combustão, pesticidas		6 ng/m ³	Ano
	Cádmio	B	Combustão, baterias	7 dias	5 ng/m ³	Ano
	Crómio 6	A	Cromagem		4x 10 ² / (µg m ³)	U/R vida
	Chumbo	T	Gasolina, baterias	7-30 dias	0,5 µg m ³	Ano
	Manganésio				0,15 µg m ³	Ano
	Mercúrio	T	Pilhas, indústria electr.	0,3-2 anos	1 µg m ³	Ano
	Níquel	B	Ligas metálicas, cerâmicas		3.8x10- 20 ng/m ³	Ano
Platina		Ligas metálicas				

A- Carcinogénio humano; B- provável carcinogénio humano; T – tóxico

Quadro 7.4. Percentagens de óbitos atribuídos aos cinco maiores riscos ambientais segundo a WHO (Organização Mundial de Saúde, 2009).

Risk	World	Low and middle income	High income
<i>Percentage of deaths</i>			
Indoor smoke from solid fuels	3.3	3.9	0.0
Unsafe water, sanitation, hygiene	3.2	3.8	0.1
Urban outdoor air pollution	2.0	1.9	2.5
Global climate change	0.2	0.3	0.0
Lead exposure	0.2	0.3	0.0
All five risks	8.7	9.6	2.6

Bibliografia essencial

Agência Portuguesa do Ambiente: <http://www.qualar.org/>

- Andrade, H.** (1996) A qualidade do ar em Lisboa. Valores médios e situações extremas. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XXXII (62): 43-66.
- Ferreira, D. de Brum** (1991) Structure de la couche limite à Lisbonne/Portela et variations de la concentration de l'air en ozone. In Besancenot, J.P. (Ed.), *Risques Pathologiques - Rythmes et Paroxysmes Climatiques*, John Libbey Eurotext. Paris: 77-88.
- Oke, T.R.** (1987) *Boundary Layer Climates*. Methuen. London (Capítulo 9).

Bibliografia citada

- Alvarez, M., et al.** (1998) Influencia del clima y de la contaminación atmosférica en la degradación de los materiales de fachada de un edificio histórico del siglo XVII de Alcalá de Henares (Madrid). In Garcia Fernández (Ed.), *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*, Madrid, Parteluz: 371-379.
- Andrade, H.** (1994) *Poluição Atmosférica e Clima em Lisboa. Aspectos da variação espacial e temporal no semestre de Inverno*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Lisboa, 214 p. pol.
- Baeriswyl, P.A.; Sierro, A.** (1993) Les roses de pollution: méthodologie et application à l'étude de l'ozone dans la cluse du Rhône par vents du Sud. *UKPIK* (9): 159-179.
- Baldasano, J. M.; Valera, E.; Jiménez, P.** (2003) Air quality data from large cities. *The Science of the Total Environment*, 307: 141-165.
- Bento-Pereira, F., et al.** (1983) Líquenes e briófitos como indicadores da poluição atmosférica. Utilização de uma escala quantitativa para Lisboa. *Revista de Biologia*, 10 (12): 297-312.
- Bignon, J.** (1988) La Pollution Oxydante. Effets Sur La Santé. *Pollution atmosphérique*, 120: 378-388.
- Catarino, F. et al.** (1991) Lichens and Bryophytes as Bioindicators for Air and Water Pollution in Portugal. *Environmental Pollution*, 1(1): 170-178.
- Coin, L.** (1974) La pollution de l'air en milieu urbain. In *Urban Climates*, WMO, Technical note 104: 141-163.
- Comrie, A.C.** (1990) The climatology of surface ozone in rural areas: a conceptual model. *Progress in Physical Geography*, 14(3): 297-316.
- Domingos, J. J. et al.** (1980) Ocorrência média anual no território português das classes de estabilidade de Pasquill-Gifford. *Revista de Engenharia Técnica*, 460:27-42.
- Eliasson, I.; Jonsson, P.; Holmer, B.** (2009) Diurnal and intra-urban particle concentrations in relation to windspeed and stability during the dry season in three African cities. *Environ Monit Assess.*, 154: 309-324
- El-Shobokshy, M. S., et al.** (1993) Atmospheric turbidity and transmittance of solar radiation in Riyadh, Saudi Arabia. *Atmospheric Environment*, 27B (4): 401-411.
- García Fernández, F., et al.** (1995) Clima y contaminación atmosférica en Madrid. *Estudios Geográficos* 56(219): 263-284.
- Gburcik, V., et al.** (2003) Topoclimate and Air Pollution Effects on Respiratory Diseases Occurrences in Belgrade. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź, Poland, CD, 4p.
- Gonçalves, F.L.T. ; Carvalho, L.M.V.; Conde, F.C.; Saldiva, P.H.N.; Braga, A.L.F.** (2005) The effects of air pollution and meteorological parameters on respiratory morbidity during the summer in São Paulo City. *Environment International*, 31: 343-349.
- Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; Hanson, C.E.** (Ed.) (2007) *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability - Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Pinto, D.; Gaspar, P.; Ganho, N.; Rochette, A.** (2008) Poluição Atmosférica e Clima Urbano de Coimbra. Alguns dados preliminares". *Cadernos de Geografia*, 26/27 : 325-332.
- Janoueix-Yacono, D.** (1993) La pollution atmosphérique et ses rapports avec l'environnement biophysique et l'environnement socioéconomique. *Hommes et Terres du Nord*, numéro hors-série : 78-91.

- Jauregui, E., et al.** (1999) Global radiation attenuation by air pollution and its effects on the thermal climate in Mexico City. *International Journal of Climatology*, 19(6): 683-694.
- Junk, J., et al.** (2003) Urban climate and air quality in Trier Germany. *International Journal of Biometeorology*, 47: 230-238.
- Kondakis, X. G., et al.** (1992) Les Enquêtes épidémiologiques des effets de la pollution atmosphérique sur la santé: discussion à propos d'un cas. *Pollution Atmosphérique*: 24-33.
- Makra, A, Mayer, H., Béczi, R., Borsos, E.** (2003) Evaluation of the air quality of Szeged with some assessment methods. *Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis*, 36-37: 85-93.
- Mayer, H.** (1999) Air pollution in cities. *Atmospheric Environment*, 33:4029-4037.
- Miranda, P.** (2001) *Meteorologia e Ambiente*. Universidade Aberta, Lisboa, 321p.
- Oksanen, J.; Tynnyrinen, S.; Karenlampi, L.** (1990) Testing for increased abundance of epiphytic lichens on a local pollution gradient. *Annal. Botani. Fenni.*, 27: 301-307.
- Paszynski, J.** (1995) Influence of Air Pollution upon the Radiation Balance in Urban and Industrial Areas. *Climatology and air Pollution*, Mendoza, Argentina: 179-189.
- Peixoto, J.P.** (1987) O Homem, o clima, e o ambiente (3 volumes). Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais. Lisboa.
- Repapis, C. C., et al.** (1998) Case Study of UV-B modification during episodes of urban air pollution. *Atmospheric Environment*, 32(12): 2203-2208.
- Roussel, I.** (2010) Geographical Information, Climate and atmospheric Pollution. In Carrega, P. ed. *Geographical Information and Climatology*, Wiley, NY: 159-193
- Santamouris, M.** (Ed.) (2001) *Energy and Climate in the urban built environment*. James and James, London, 402p.
- Sérgio, C. et al.** (1981) Líquenes e Briófitos como bioindicadores da poluição atmosférica. Utilização de uma escala qualitativa para Lisboa. *Boletim da Sociedade Broteriana*, 54(2ª série): 291-303.
- Simmonds, I., et al.** (1997) Weekly cycle of meteorological variations in Melbourne and the role of pollution and anthropogenic heat release. *Atmospheric Environment*, 31 (11): 1589-1603.
- Simpson, J. E.** (1994) *Sea breeze and local winds*. Cambridge University Press: 234p
- Stone Jr., B.** (2005) Urban Heat and Air Pollution - An emerging Role for Planners in the Climate Change Debate. *Journal of the American planning Association*, 71 (1): 13-25.
- Touraine, R.** (1986) La place de la pollution atmosphérique urbaine dans la Bronchite chronique et l'asthme. *Pollution Atmosphérique* (Abril-Junho): 144-146.
- Upmanis, H. et al.** (2001) Case studies of the spatial variation of benzene and toluene concentrations in parks and adjacent built-up areas. *Water, Air and Soil Pollution*, 129: 61-81.
- Vários** (2009) *Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. World Health Organization, Geneva. ISBN 978 92 4 156387 1
http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf
- WHO** (2000, 2ª edição) *Revised WHO Air Quality Guidelines for Europe*. WHO European Center for Environment and Health, Bilthoven, Holanda.
- WHO** (2006) WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005, Geneva.
http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

Bibliografia complementar

- Boko, M.** (1991) La pollution urbaine à Cotonou (République du Bénin, Afrique Occidentale). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 4: 55-61.
- Borrego, C., et al.** (1994) Atmospheric pollution in the Lisbon airshed. In Power, H.; Moussiopoulos, N. and Brebia, C.A. (Ed.), *Urban air pollution: volume I*. Computational Mechanics Publications: 101-136.
- Irving, P., et al.** (2004) New Zealand traffic and local air quality. *Science of the Total Environment*, 334 - 335: 299-306.
- Kastner-Klein, P., et al.** (2004) The influence of street architecture on flow and dispersion in street canyons. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 87: 121-131.
- Leriche, P. et al.** (1999) Les situations météorologiques associées aux fortes concentrations de polluants atmosphériques: exemple de l'agglomération Lilloise. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 12: 468-476.

- Payen, M.** (1998) La modélisation de la pollution atmosphérique: état et perspectives. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 11: 31-39.
- Roussel, I.** (1992) La Pollution Pluviale. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 5: 375-381.
- Spicer, C.W.** (1996) Variability of hazardous air pollutants in an urban area. *Atmospheric Environment*, 30(20): 3443-3456.

Exemplos de sítios de previsão da qualidade do ar

Sítio da Agência Portuguesa do Ambiente. Qualar <http://www.qualar.org> . Base de dados online sobre qualidade do ar. Informações sobre índices, medidas, previsões, excedências, estações e estatísticas, assim como informações várias.

Monitoring Atmospheric composition and climate (Europe) <http://macc-raq.gmes-atmosphere.eu/>

European Operational Air Quality Forecasts: MM5-CMAQ-EMIMO (Universidad Politécnica de Madrid)
http://verde.lma.fi.upm.es/cmaq_eu/

Sítio experimental *Air Quality forecast model in the Earth Sciences Division of the Barcelona Supercomputing Center (BSC) for Europe and the Iberian Peninsula*
<http://www.bsc.es/projects/earthscience/aqforecast-en/>

Outros sítios na internet :

Agência Europeia do Ambiente - <http://www.eea.europa.eu/themes/air>

<http://www.bsc.es/projects/earthscience/aqforecast-en/>

http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/airpollution_intro.html

8. Clima urbano e “alterações climáticas globais”

A população urbana continuará a crescer e as áreas urbanas estão em expansão e desenvolvimento em grande número de países. Estes dois factos terão impactes não só a nível do clima urbano, como também a nível global. Por outro lado, as cidades são a fonte da maior parte dos poluentes (Idso *et al.*, 1998) que, muito provavelmente, irão alterar o estado da “atmosfera global”. Por outro lado, uma vez que grande número de estações meteorológicas estão localizadas em cidades, não poderão os dados aí obtidos “enviesar” os resultados respeitantes às alterações climáticas globais?

Viu-se, nos temas anteriores, que as características da atmosfera urbana constituem uma das mais fortes evidências de que as actividades humanas modificam o clima.

Tratar-se-á, aqui, da influência das cidades nas alterações climáticas ditas globais, focando principalmente o caso da temperatura do ar.

8.1. A “temperatura global”

Começar-se-á por discutir a aceção do termo “temperatura global” e o modo de cálculo (Pielke *et al.*, 2010; IPCC- Solomon *et al.*, 2007) e análise de séries temporais de dados “globais” disponíveis na Internet (NASA, NOAA, CRU, etc.).

<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>

<http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/ghcn-gridded-temp.html>

Deve notar-se que a “temperatura média global superficial” nem sempre é calculada do mesmo modo e nem sempre de modo correcto. Pielke Sr. *et al.* (2007), por exemplo, alertam, de modo especial, para a comparação incorrecta de séries de temperaturas nocturnas, de estações a diferentes alturas acima do solo⁸ e a não contabilização da influência da velocidade do vento na temperatura. A fraca espessura da camada limite urbana de noite faz com que a temperatura do ar seja fortemente influenciada por modificações no uso do solo, ou por forçamentos externos como radiação descendente de grande comprimento de onda. Para alguns autores, as temperaturas observadas a 2m do solo não são uma medida robusta de mudanças do conteúdo de calor na atmosfera Pielke *et al.* (2007).

⁸ Tendo em conta as frequentes inversões térmicas nocturnas e que, nestas circunstâncias, há grande variação vertical de temperatura.

8.2. Projecções para 2100

Serão relembradas as causas das variações climáticas, tanto naturais como antrópicas, enumerados os gases de estufa, as suas fontes e sumidouros, discutido o efeito dos gases de estufa e dos aerossóis na temperatura do ar [esta matéria consta de disciplinas básicas de climatologia]. Posteriormente, será dado conhecimento (ou lembrado) o trabalho do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC- Solomon et al., e Pachauri et al., 2007), em que são apresentadas as alterações observadas e simuladas dos gases de estufa, dos aerossóis, de outros gases importantes do ponto de vista radiativo, assim como da actividade solar e da actividade vulcânica (Alcoforado *et al.*, 2009). Será focada a projecção da emissão dos gases de estufa e aerossóis até 2100, em função de diversas famílias de cenários (A₁, A₂, B₁ e B₂).

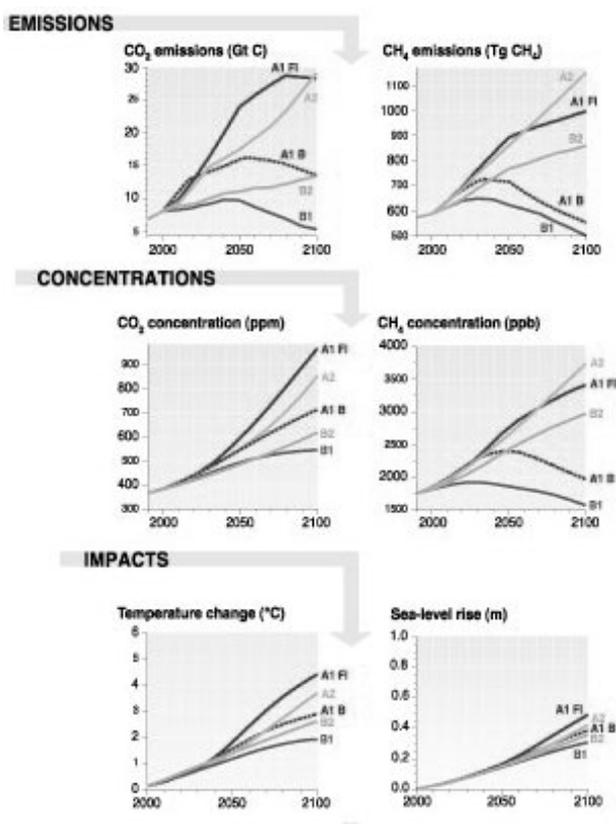


Fig. 1.1. Projecção das emissões e concentrações de GEE e do aumento de temperatura do ar e de subida do nível médio das águas do mar, para diferentes cenários. (IPCC- Solomon et al, 2007)

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1

Será discutida a projecção do aumento de temperatura e suas consequências, formulada pelos peritos deste grupo e apresentadas outras opiniões. De qualquer modo, existe grande variedade de sinais e de intensidade da variação de temperatura na escala

regional e, ainda mais, na escala local. Segundo Oke (1997) e Grimmond (2007) já se verificam hoje, em numerosas cidades, as diferenças térmicas, previstas, numa escala global para 2100.

8.3. O efeito urbano e o aquecimento global

8.3.1. Efeito urbano no aquecimento global

As cidades são os mais importantes “fornecedores” de gases de estufa (Oke, 1987, Mills, 2007), mas também de aerossóis, cujo efeito climático não é o mesmo. Praticamente todos os autores concordam com a influência indirecta das emissões produzidas nas (ou próximo das) cidades no aumento da temperatura média do planeta, devido a um incremento da concentração de gases de efeito de estufa.

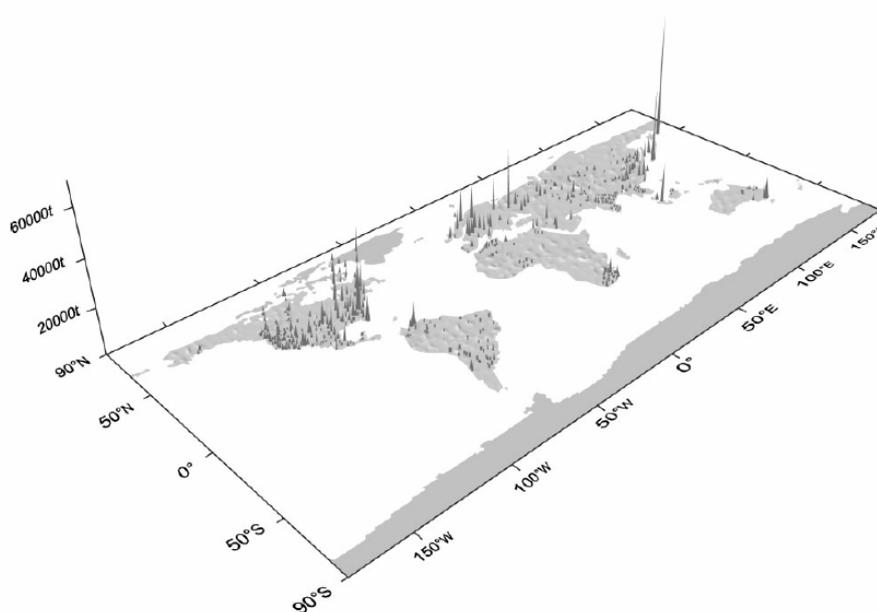


Fig. 1.2. Estimativa de emissões de CO₂ em 1995 em milhares de toneladas métricas de carbono por células de uma grelha 1º latitude x 1º longitude. Estes valores são a soma de emissões de combustão de combustíveis fósseis, produção de cimento hidráulico e combustão de gás. O valor máximo registado é aproximadamente 70 000 milhares de toneladas métricas. (Mills, 2007).

No entanto, as áreas urbanas cobrem menos de 1% dos continentes. E como a influência urbana nas propriedades térmicas, hídricas e cinemáticas da atmosfera só se faz sentir, na maior parte dos casos, até algumas dezenas de quilómetros para sotavento da cidade, o impacto urbano directo no clima global será, segundo Oke (1997) e Grimmond (2007), de desprezar.

8.3.2. Efeito urbano no sinal do aquecimento global

É necessário isolar o efeito urbano, para avaliar, de modo correcto, as variações climáticas de uma determinada área. Não se devem confundir fenómenos que são “respostas” a diversos factores naturais e antrópicos, mas a escalas espaciais muito diversas (Alcoforado e Andrade, 2008).

Praticamente em todas as cidades, os locais onde estão implantadas as estações meteorológicas têm vindo a sofrer modificações constantes, decorrentes do processo de urbanização (na hipótese – que nem sempre se verifica – que a própria estação não tenha sido realocizada). Noutros casos, a estação “rural” passou a estar circundada por edifícios. O “enviesamento” das séries de temperatura é devido a características micro-meteorológicas do local das estações meteorológicas, à localização deficiente do equipamento e instrumentação e à influência da modificação da cobertura do solo (Oke, 2004; Pielke Sr. *et al.*, 2007). Além disso, é difícil a quantificação de incertezas na homogeneização das séries de temperatura

Para tentar isolar a influência crescente da cidade no sinal (tendência) da variação global de temperatura, foi empreendida a comparação de séries longas urbanas e rurais (ou sub-urbanas), em locais tão diferentes como o SW dos Estados Unidos (Cayan e Douglas, 1984), cidades do Japão (Kato, 1996; Fujibe, 2009), Praga (Brazdil e Budíková, 1999), Guadalajara-México (Tereshchenko e Filonov, 2001) e Atenas (Philandras *et al.*, 1999). Brázdil e Budíková (1999) apresentam uma interessante discussão sobre este tema, que inclui uma comparação com resultados obtidos em numerosas cidades, sempre que o período estudado e as técnicas de tratamento dos dados o permitem. Verificam que se se “subtrair o efeito urbano”, o sinal de aumento de temperatura será bem menos forte (-27% em Praga, no que diz respeito aos valores anuais).

Muitos autores concordam que é forte o efeito urbano no sinal do aquecimento global; existem, contudo, posições contrárias (IPCC- Houghton *et al.*, 2001; Parker, 2004 e 2006; Peterson, 2003); a discussão desta questão, com base na análise da bibliografia, é feita em Pielke Sr. *et al.* (2007) e Alcoforado e Andrade (2008). Posteriormente, tem continuado uma acesa discussão sobre este tema em revistas científicas (Pielke Sr. *et al.*, 2009; Parker *et al.*, 2009). No entanto, no decorrer dessas discussões, os diversos autores concordam que deveria existir uma rede global melhorada, que monitorizasse todas as variáveis climáticas essenciais, incluindo a temperatura e a humidade. Deveriam estar disponíveis os chamados *metadata* (informações sobre os dados), compreendendo documentação fotográfica e a história das estações, incluindo as mudanças de sítio e de

instrumentos, que ajudariam a explicar as anomalias encontradas. Ver também as conclusões em Alcoforado e Andrade (2008, p.258).

8.3.3. Efeito do aquecimento global no clima urbano, particularmente na ilha de calor

O efeito do aquecimento global no clima urbano dependerá da evolução futura da frequência das situações sinópticas, em que ocorre intensificação da ilha de calor. Um aquecimento global não se traduzirá, necessariamente, num aumento da intensidade da ilha de calor: as diferenças cidade-campo podem não aumentar num globo mais quente (Oke, 1997); as previsões regionais são, quanto a este ponto de vista, muito diversificadas, dependendo sobretudo da evolução estimada em relação à frequência de situações anticiclónicas, da velocidade do vento e da nebulosidade (LCCP, 2002; Brázdil e Budiková, 1997). No entanto, a investigação neste tópico está ainda demasiado incipiente: todos os termos do balanço energético deveriam ser analisados em função das previsões e projecções futuras, para todos os tipos climáticos. Por exemplo, em climas quentes, se o aumento de temperatura global se traduzir num maior gasto de energia para arrefecimento da cidade, aumentarão QF e a intensidade da ilha de calor. No entanto, em climas frios, QF poderia diminuir.

Segundo Brázdil e Budikova (1999), num período de aquecimento global, a intensidade da ilha de calor poderia até diminuir, devido a um provável decréscimo de situações de estabilidade vertical da atmosfera e a subsequente dissipação do calor urbano.

8.4. Exemplos de transferências possíveis dos resultados na escala global para a escala local

- Se se continuar a verificar a intensificação do “buraco do ozono”, passará a aumentar a radiação global também na cidade (maior percentagem de radiação ultra-violeta, com os efeitos nefastos para a saúde, já conhecidos).

- É possível, e até provável, que o efeito de estufa se intensifique nas cidades, mas o efeito dos aerossóis ainda não está suficientemente estudado e varia muito de cidade para cidade (Eliasson et al., 2009)

8.5. Modificação da frequência de episódios meteorológicos extremos

Ver também tema 10, fig.10.1

8.5.1. Aumento da frequência e/ou intensidade das vagas de calor

Este aumento foi previsto pelo IPCC (Solomon et al. e Pachauri et al., 2007) para diversas regiões, incluindo a Europa do Sul e, para Portugal, por Santos e Miranda (2006). No presente ponto, serão dados exemplos (vaga de calor de 2003, entre outras) e serão também focados trabalhos sobre calor e mortalidade em Lisboa e Porto (Canário, 2010; Almeida *et al.*, 2010). Os artigos de Gosling *et al.* (2009) e Basu e Samet (2002) constituem excelentes sínteses sobre a investigação em curso. No artigo de Alcoforado e Matzarakis (no prelo) são enunciadas outras referências bibliográficas das consequências das repetidas vagas de calor, no conforto, na saúde, no consumo de energia e na disponibilidade de água em períodos de altas temperaturas, salientando, nalguns casos, diferenças no interior do tecido urbano.

8.5.2. Aumento da frequência e/ou intensidade de precipitações intensas

Embora se preveja uma diminuição da precipitação anual nalgumas regiões do globo, esperam-se, em quase todas, mais episódios de precipitações intensas. Estas podem ter causas sinópticas muito diversas, por exemplo em Portugal (Fragoso *et al.*, 2010), na Austrália (Grumm and Krekeler, 2010) ou no Brasil (Liebmann *et al.*, 2001; Carvalho *et al.*, 2004). Nalguns casos, a precipitação pode ser intensificada nas cidades ou a sotavento destas (tema 5). Alguns cientistas estabelecem a correlação entre aquecimento planetário e intensificação da precipitação, embora não haja unanimidade sobre este facto.

(<http://www.nature.com/news/2011/110216/full/470316a.html>)

Mas, mesmo que a previsão meteorológica seja feita atempadamente, as consequências podem ser agravadas por um inadequado ordenamento do território, sempre que se permite construção em locais indevidos, como por exemplo leitos de cheia e vertentes. As inundações no estado do Rio de Janeiro, em Dezembro de 2010 são um exemplo recente. Nas áreas urbanas já consolidadas, deverão existir mapas de zonas de maior perigosidade. Oliveira e Ramos (2002) apresentam o exemplo de Lisboa.

8.5.3. Episódios de vento forte

A influência urbana na modificação do rumo e velocidade do vento é bem clara e foi já referida no tema 6. Não há ainda unanimidade sobre a variação temporal do vento regional.

Bibliografia essencial

- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.** (2008) Global warming and urban heat island. In Marzluff, J.M.; Shulenberg, E.; Endlicher, W.; Alberti, M.; Bradley, G.; Ryan, C.; Simon, U.; ZumBrunnen, C. (ed.), *Urban Ecology, An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*, Springer US: 249-262.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Oliveira, S.; Festas, M.J.; Rosa, F.** (2009) Alterações climáticas e desenvolvimento urbano. Série *Política de Cidades*, 4, Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Lisboa, 90p.
- Grimmond, S.** (2007) Urbanization and global environmental change: Local effects of urban warming, *Geogr. J.*, 173: 83–88, doi:10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x.

Bibliografia citada

- Alcoforado, M.J.; Matzarakis, A.** – Planning with urban climate in different climatic zones. *Geographicalia*, no prelo.
- Almeida, S.; Casimiro, E.; Calheiros, J.** (2010) Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto, Portugal. *Environmental Health* 2010, 9:12 doi:10.1186/1476-069X-9-12
- Basu, R.; Samet, J.M.** (2002) Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Epidemiologic Reviews*, 24(2): 190:202.
- Brázdil, R.; Budíková, M.** (1999) An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementium, Prague. The Czech Republic. *Atmospheric Environment*, 33:4211-4217.
- Canário, P.** (2010) Thermal extremes mortality risk assessment in urban areas. *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, XLV(89):171-177.
- Carvalho, L.M.; Jones, C.; Liebmann, B.**(2004) The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, persistence and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, 17:88-103.
- Cayan, D.R.; Douglas, A.V.** (1984) Urban influences on surface temperatures in south-western United States during recent decades. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 21: 1520-1530.
- Eliasson, I.; Jonsson, P.; Holmer, B.** (2009) Diurnal and intra-urban particle concentrations in relation to windspeed and stability during the dry season in three African cities. *Environ Monit Assess.*, 154:309–324
- Fragoso, M.; Trigo, R.; Zêzere, J.L.; Valente, M.A.** (2010) The exceptional rainfall event in Lisbon on 18 February 2008. *Weather*, 65(2):31-35
- Fujibe, F.** (2009) Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan, *International Journal of Climatology*, 29: 1811–1822, doi:10.1002/joc.1822.
- Gosling, S.N.; Lowe, J. A.; McGregor, G.R.; Pelling, M.; Malamud, B.D.** (2009) Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature, *Climatic Change*, 92: 299-341.
- Grumm, R.H.; Krekeler, J.** (2010) *Meteorological conditions during the northeast Australian Floods of December 2010*. National Weather Service-Pennsylvania State University weather events (disponível na internet).
- Houghton, J.T; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer, M.; van der Linden, P.J.; Xiaosu, D.** (Eds) (2001) *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, UK, 944p.
- Idso, C.D.; Idso, S.B.; Idso, K.E., Brooks, T.; Balling Jr., R.C.** (1998) Spatial and temporal characteristics of the urban CO₂ dome over Phoenix, Arizona. *Preprint volume of the 23rd Conference on Agricultural & Forest Meteorology, 13th Conference on Biometeorology and Aerobiology and 2nd Urban Environment Symposium*, American Meteorological Society, Boston, MA: 46-48.
- Liebmann, B.; Jones, C.; Carvalho, L.** (2001) Interannual variability of daily extreme precipitation events in the state of S. Paulo, Brazil. *Journal of Climate*, 14: 208-218.
- Pachauri, R.K.; Reisinger, A.** (Eds), (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva, Switzerland, 104p.

- Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L.** (Eds.) (2007) *Climate Change 2007: the Physical science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Kato, H.** (1996) A statistical method for separating urban effect trends from observed temperature data and its application to Japanese temperature records. *Journal of the Meteorological Society of Japan, Tokyo, Japan*, 74(5): 639-653.
- London Climate Change Partnership (LCCP)** (2002) *A climate change impacts in London evaluation study*. Final Technical Report, Entec UK Ltd. 293 p.
- Mills, G.** (2007) Cities as agents of global change. *International Journal of Climatology* . 27:1849–1857.
- Oke, T.R.** (1987) *Boundary layer climates*. 2nd ed. Methuen. London, 435p.
- Oke, T.R.** (1997) Urban Climates and Global environmental change. In Thompson, R.D.; Perry, A., *Applied Climatology. Principles and Practice*. Routledge, London: 273-287.
- Oliveira, P.; Ramos, C.** (2002) Inundações na cidade de Lisboa durante o século XX e seus factores agravantes. *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, XXXVII(74): 33-54.
- Parker, D.E.** (2004) Large-scale warming is not urban. *Nature* 432: 290.
- Parker, D.E.** (2006) A demonstration that large-scale warming is not urban, *Journal of Climate*, 19 (12): 2882-2895.
- Parker, D. E.; Jones, P.; Peterson, T.C.; Kennedy, J.** (2009) Comment on ‘Unresolved Issues with the Assessment of Multi-Decadal Global Land Surface Temperature Trends’ by Roger A. Pielke, Sr. *et al.*, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2008JD010450, in press.
- Peterson, T.C.** (2003) Assessment of Urban versus Rural in Situ Surface Temperatures in the Contiguous United States: No Difference found. *Journal of Climate*, 16(18): 2941-2959.
- Pielke Sr., R. A. et al** (2007) Unresolved issues with the assessment of multidecadal global land surface temperature trends, *Journal of Geophysical Research*, 112, D24S08, doi: 10.1029/2006JD008229 DOI: 10.1002/wcc.21
- Pielke Sr., R. A.; Davey, C.A.; Niyogi, D.; Fall, S.; Steinweg-Woods, J.; Hubbard, K.; Lin, X.; Cai, M.; Lim, Y.-K.; Li, H.; Nielsen-Gammon, J.; Gallo, K.; Hale, R.; Mahmood, R.; Foster, S.; McNider, R.T.; Blanken, P.** (2009) Reply to comment by David E. Parker, Phil Jones, Thomas C. Peterson, and John Kennedy on “Unresolved Issues with the Assessment of Multi-Decadal Global Land Surface Temperature Trends”. *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2008JD010938, in press. [the AGU on-line version is at <http://www.agu.org/journals/pip/jd/2008JD010938-pip.pdf>].
- Pielke Sr., R.A.** (2010) Comments on “A Unified Modeling Approach to Climate System Prediction. *Bul. Amer. Meteor. Soc.*: 1699-1701. <http://dx.doi.org/10.1175/2010BAMS2975.1>
- Philandras, C.M., et al** (1999) Climate variation and urbanization in Athens. *Theoretical and Applied Climatology*, 63: 65-72.
- Santos, F. D.; Miranda, P.** (Eds.), (2006) Alterações climáticas em Portugal. Cenários, Impactes e Medidas de Adaptação, Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa.
- Tereshchenko, I.E; Filonov, A.E.** (2001) The temperature fluctuations in Guadalajara, México, from 1926 to 1994 in relation to urban growth. *International Journal of Climatology*, 21:483-494

Bibliografia complementar

(Outros títulos em Alcoforado e Andrade, 2008)

- Bitan, A.** (1992) Global warming and its possible impact on urban planning. *Proceedings of the Pre-Congress Meeting of the Commission on Climatology*, UGI, University Park, Pennsylvania: 85-86.
- Brázdil, R.; Pfister, C.; Wanner, H.; von Storch, H.; Luterbacher, J.** (2005) Historical Climatology in Europe – The State of the Art. *Climatic Change*, 70: 363-430.
- Gallo, K.; Hale, R.** (2008) Recognition of the influence of the urban climate in assessment of large-scale temperature trends. Available at <http://www.urban-climate.org/> (verified 9 Feb. 2010). *Urban Climate. News*, 29:5–7.
- Kalnay, E.; Cai, M.** (2003) Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423:528–531.
- Karl, T.R.; Jones, P.D.** (1989) Urban bias in area-averaged surface air temperature trends. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 70:265–270.

- Koppe, C. et al** (2004) *Heat-waves: risks and responses*. Regional Office for Europe. Health and Global Environmental Change, Series No. 2. Copenhagen, Denmark, 123p.
- Lee, D.O.** (1992) Urban warming - an analysis of recent trends in London's heat island. *Weather*, 47(2): 50-56.
- Meehl, G.A.; Tebaldi, C.** (2004) More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305:994-997. DOI: 10.1126/science.1098704
- Lough, J.M.** (1995) Temperature variations in a tropical-subtropical environment: Queensland, Australia, 1910-1987. *International Journal of Climatology*, 15: 77-95.
- Obrebska-Starklowa, B. et al** (1994) The diagnosis of climate change in Cracow against a background of circulation and local conditions. *Geographia Polonica*, 63: 51-62.
- Ojo, O.** (1994) Implications of global warming and climate change on urban planning and building operations in west and central Africa. In: *Conference on Tropical Urban Climates*. WMO, Technical Note. 547: 573-575.
- Jauregui, E.; Tejada, A.** (1997) A scenario of the human bioclimate in a large tropical city with CO₂ doubling. *Proceedings of the AAG 93rd Annual Meeting, Fort Worth, Texas, USA. 1997*.
- McCarthy, M. P.; Best, M.J.; Betts, R.A.** (2010) Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*, 37, L09705, doi: 10.1029/2010GL042845
- Stone Jr., B.** (2008) Urban and rural temperature trends in proximity to large U.S. cities: 1951–2000. Available online <http://www.urban-climate.org/> (verified 9 Feb. 2010). *Urban Clim. News*, 30: 7-10.

III – Perspectivas de aplicação da climatologia urbana

9. A qualidade do clima e do ambiente urbano

Este tema é mais subjectivo que os anteriores, e também menos tratado por quem se ocupa de Climatologia Urbana. No entanto, a importância da qualidade dos climas urbanos está a ser redescoberta, depois de ter caído no esquecimento durante mais de 20 anos (Landsberg, 1973; Mills, 2003). A propósito de alguns textos, será proposta a reflexão sobre o tema e, particularmente, sobre o papel que os geógrafos podem vir a desempenhar na melhoria do clima urbano.

Tal como afirma *Bruse* (2003), as “estratégias inteligentes” para melhorar os climas urbanos não são seguidas apenas por razões estéticas, mas também pelos seus efeitos directos e indirectos em diversas áreas da vida pessoal, social e económica dos habitantes da cidade. Entre aqueles, incluem-se a poupança de energia, a redução de riscos para a saúde e a melhoria da qualidade do ar e consequentemente da qualidade de vida das populações.

Para se alcançar a **qualidade do clima**, será necessária a criação de climas locais o mais aprazíveis possível no exterior (e, indirectamente, no interior dos edifícios), através de um conhecimento correcto dos parâmetros climáticos e da sua integração nos diferentes níveis do planeamento. Em áreas em reconversão, o termo “qualidade do clima” aplica-se à melhoria das condições climáticas existentes (Bitan, 1992).

9.1. A “cidade meteorologicamente utópica”

Metutopia – Landsberg, 1973

A palavra utopia vem do grego e significa o “não-lugar”. Thomas More (1516) usou-a pela primeira vez. Em 1973, Landsberg introduz a noção de cidade meteorologicamente utópica: *metutopia*. Os problemas ambientais que mais o preocupavam nas cidades eram, já nesta altura, as inundações, a ilha de calor e a poluição do ar. Para mitigar a ilha de calor e aumentar os espaços livres propõe a utilização de torres e estacionamentos subterrâneos e a ocupação das áreas entre os edifícios por espaços verdes, os quais também contribuiriam para diminuir as áreas impermeabilizadas e minorar os riscos de inundação. Para aumentar a qualidade do ar, propõe a cidade compacta, que originará menos deslocações. Sugere igualmente o favorecimento da ventilação, o desvio do tráfego para circulares e o favorecimento de transportes públicos eléctricos. Propõe várias medidas para poupar energia, diminuindo a poluição do ar.

- *A cidade futura com elevada qualidade climática (Bitan, 1992)*

Bitan (1992) afirma que a “cidade futura com elevada qualidade climática” não é utópica, apresentando exemplos de cidades e bairros planeados tendo em conta, não só a futura qualidade do ar, mas também a elevada qualidade do clima. Para Bitan, a correcta utilização dos elementos do clima e a sua integração nos diversos níveis de planeamento e construção podem levar à melhoria dos climas locais, incluindo das áreas urbanas e até mesmo ao melhoramento do clima no interior. É dado o exemplo de uma cidade com boa qualidade do ar (todos os transportes públicos e privados eléctricos, utilização de energia renovável e de alta tecnologia industrial), mas má qualidade do clima. A qualidade do clima será boa se

- se planear uma correcta ventilação na cidade, permitindo suficiente arejamento, mas evitando canalização e excessiva aceleração do vento;
- se tomar em consideração tanto as necessidades de sombra na cidade no Verão, como o “direito ao Sol” da população urbana no Inverno;
- em certos tipos de clima, se se mitigar a ilha de calor.

As consequências de uma má qualidade do clima podem ser quantificadas em maiores gastos de energia para climatização e para iluminação, além de contribuírem, por exemplo, para menor conforto e saúde dos habitantes.

- *A cidade compacta*

Jenks *et al.* (1996) afirmam que a cidade ideal é aquela que é mais facilmente gerida em termos de consumo de recursos e de produção de resíduos. É frequentemente descrita como a cidade sustentável e é caracterizada por alta compacidade, reduzindo distâncias e o consumo de recursos ambientais.

São óbvios os conflitos entre soluções propostas por diversos autores. As cidades compactas têm efeitos negativos para a circulação do ar e a dispersão de poluentes na camada-limite. Gerald Mills escreve sobre “a cidade meteorologicamente utópica revisitada” (2003 e 2006) e afirma: “Pode conceber-se que a cidade compacta reduza a emissão de poluentes, mas aumenta a exposição dos seus habitantes à poluição do ar” (Mills, 2003). Devido à modificação na direcção e, sobretudo, da velocidade do vento no interior da malha urbana, mesmo que haja menos emissões, haverá uma muito deficiente remoção de poluentes atmosféricos e as concentrações aumentarão.

9.2. Objectivos e ferramentas para melhorar a qualidade do clima a diversas escalas (adaptado de Mills, 2003)

Objective	Impacts	Limits		
		Buildings	Building Groups	Settlement
Indoor comfort	Buildings	Location Materials Design (e.g. shape, orientation, etc.)	Access to light, solar energy, wind. Air quality	Building codes
Outdoor comfort Outdoor health	Building groups	Local climate change: Emissions Materials/surfaces Building dimensions – flow interference & shadow areas	Building placement. Outdoor landscaping, materials and surfaces. Street dimensions & orientation	Guidelines on Densities Heights Uses Green-spaces
Energy use Air quality Protection from extremes	Settlement	Energy efficiency Air quality Urban climate effect	Mode and intensity of traffic flows. Energy efficiency Air quality Urban climate effect	Zoning Overall extent and shape. Transport Policy

Fig.9.1. Síntese de instrumentos (diagonal a cinzento) utilizados (nas escalas dos edifícios, grupos de edifícios e aglomeração) para atingir objectivos de qualidade do clima. A aplicação dos instrumentos tem impactes noutras escalas (abaixo da diagonal) e impõe limites às decisões a outras escalas (acima da diagonal) (Mills, 2003)

- **Objectivo 1: conforto no interior**, que dependerá das condições no exterior (com utilização do mínimo de energia para aquecimento no Inverno e para arrefecimento no Verão, Bitan, 1992). Necessidade de um estudo na **escala microclimática**: ter em conta a localização do edifício, os materiais de construção e o desenho urbano. Adicionalmente, informação nas escalas local (influência de edifícios vizinhos: acesso a luz, vento, qualidade do ar) e mesoclimática (posição na aglomeração). Começa a haver colaboração com arquitectos neste tópico.

- **Objectivo 2: conforto no exterior e saúde dos habitantes da cidade**. Evitar aceleração do vento em ruas estreitas – efeito *Venturi* –, ou acrescida turbulência em torno de “arranha-céus”; criar zonas de sombra para o Verão, ou para todo o ano, nos climas quentes; salvaguardar o “direito ao Sol” dos habitantes das cidades no Inverno, ou todo o ano, nos climas frios (Bitan, 1992). Necessidade de um estudo na **escala local**: ter em conta os espaços envolventes do edifício, materiais de construção, espaços verdes, dimensão e orientação das ruas. Complementarmente, será útil informação na escala microclimática (características dos edifícios e espaço envolvente) e mesoclimática (densidade de construção, altura média dos edifícios na cidade, uso do solo).

- **Objectivo 3: minimizar o consumo de energia***, melhorar a qualidade do ar e proteger a cidade de episódios meteorológicos extremos. Promover a ventilação correcta e adequada ao clima regional, aconselhar a orientação dos principais eixos viários; promover a

utilização de energia solar para aquecimento e iluminação; reduzir os efeitos nocivos da atmosfera sobre a saúde das populações. Para cumprir estes objectivos será necessário ter em conta a organização espacial das diversas actividades urbanas, adaptar a política de transportes e **efectuar estudos climáticos na mesoescala** (Ilha de calor urbano, balanço hídrico na cidade, modificação do vento de gradiente, etc.).

No desenvolvimento do tema 10, serão passadas em revista algumas medidas de planeamento/ordenamento com implicações no clima urbano.

9.3. A percepção da qualidade do clima pelos cidadãos

“When a man is tired of London, he is tired of life; for there is in London, all that life can afford”
Samuel Johnson, sec. XVIII

“..Hell is a city much like London”
Shelley, sec XVIII

Estas citações, apresentadas por Pacione (2003a), ilustram bem como a mesma realidade pode ser apreendida de modo diferente, antagónico mesmo, neste caso. Em 2002, realizou-se em Utreque uma conferência internacional sobre a qualidade do ambiente urbano, cujas principais comunicações foram compiladas num volume da revista *Landscape and Urban Planning*. Um dos objectivos dessa publicação foi ilustrar a aplicação do estudo da qualidade de vida, a partir de um número de elementos significativos da qualidade do ambiente urbano e do bem-estar dos cidadãos. No mesmo sentido, foi levado a cabo um inquérito pela Agência Europeia do Ambiente em 2009, referido em 9.4. Entretanto, os resultados de bastantes estudos experimentais foram sendo divulgados, incidindo sobre a percepção que os utentes de espaços exteriores têm das “ambiências atmosféricas” que neles experimentam (Nikolopoulou e Steemers, 2003; Stathopoulos *et al.*, 2004; Knez and Thorsson, 2006, Oliveira e Andrade, 2007, Andrade *et al.*, 2010).

No entanto, é necessário distinguir a percepção que os cidadãos têm de uma ambiência térmica concreta (ou seja “do tempo que faz” num determinado momento, em determinado local), daquela que têm da qualidade do clima no mesmo local (e que será a integração, no tempo, das ambiências térmicas, ao qual se adicionarão numerosos factores subjectivos, Westerberg *et al.*, 2003). Embora este tema não esteja tradicionalmente incluído

na climatologia urbana, será talvez a altura de reflectir sobre estas matérias com futuros geógrafos. Existe uma bibliografia cada vez mais extensa sobre o tema, parte dela da autoria de geógrafos.

9.3.1. A percepção da qualidade das ambiências térmicas (em determinado momento e num dado local)

Para o tratamento deste tema, deverão ser feitas simultaneamente a monitorização de parâmetros climáticos para cálculo de “índices de conforto” e inquéritos.

- Existem inúmeros “índices de conforto” (vários compilados em Andrade, 1998 e 2003). Grande parte dos autores (por exemplo, Knez e Thorsson, 2011; Andrade *et al.*, 2010; Hwang *et al.*, 2010) utiliza a “temperatura fisiológica” - PET: *Physiological Equivalent Temperature*, descrita por Höppe (1999), Matzarakis *et al.* (1999) e Andrade (2003).



Fig. 9.2. Equipamento utilizado no projecto UrbKlim (Oliveira e Andrade, 2007)

Em 1º plano: à direita, o piranómetro, que mede a radiação em pequeno comprimento de onda; à esquerda, o pirgeómetro, que mede a radiação em grande comprimento de onda infra-vermelho térmico.

Em 2º plano: à direita, tinytag datalogger com o seu abrigo; à esquerda, Testo data logger com os seus sensores de temperatura, humidade e vento.

- Complementar e simultaneamente, deverão ser levados a cabo inquéritos (Stathopoulos *et al.* 2004; Nikolopoulou e Lykoudis, 2006; Oliveira e Andrade, 2007; Andrade *et al.*, 2010) para indagar o grau de satisfação dos utentes de certo espaço com a “ambiência atmosférica” num determinado momento. Tal deverá ser repetido em diversos tipos de tempo, nas quatro estações do ano: experiências deste tipo foram levadas a cabo em diversas cidades e, nomeadamente, em Lisboa, no âmbito do projecto UrbKlim (<http://www.ceg.ul.pt/urbklim/index.html>).



Fig.9.3. Inquéritos sobre conforto bioclimático efectuados no âmbito do projecto Urbklím (Oliveira e Andrade, 2007)

O processo de análise dos inquéritos deve ser muito cuidadoso e também terá de ser feito em equipas pluri-disciplinares. Será necessário ter em conta os vários tipos de adaptação a ambiências adversas (física, fisiológica, psicológica), que dependem, entre outros factores, da expectativa, da experiência, do tempo de exposição e da tolerância (Nikolopoulou e Steemers, 2003). Efectivamente, Knez e Thorsson (2011) evidenciaram as influências culturais e de proveniência geográfica (comparando suecos e japoneses) na avaliação das condições de conforto. Noutro estudo (Projecto RUROS, Nikolopoulou e Lykoudis, 2006), em que foram feitos 10 000 inquéritos em 14 locais de cinco países europeus, verificou-se uma forte correlação entre microclima (sobretudo radiação solar e temperatura) e conforto, mas os autores verificaram também a importância da adaptação, tanto física (modificações no vestuário e nas taxas metabólicas), como psicológica.

Nas figuras 9.4 a 9.6, mostram-se alguns resultados do projecto Urbklím, nomeadamente a relação expressa de conforto em função da temperatura, a influência da idade na percepção do conforto relacionado com a temperatura do ar e a influência do género na percepção do vento (Andrade *et al.*, 2010).

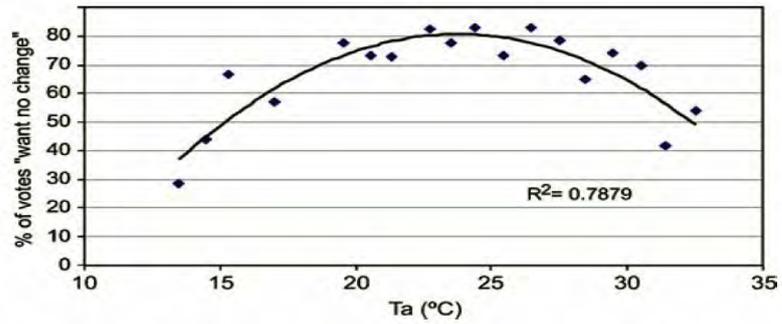


Fig. 9.4. Percentagem de inquiridos que não desejariam modificar a ambiência térmica em que se encontram (Andrade et al., 2010)

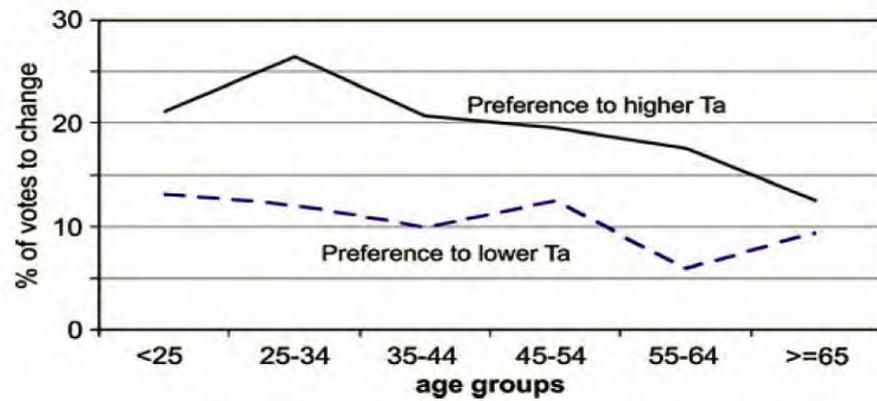


Fig.9.5. Relação entre o desejo de modificar a temperatura do ar e a classe etária (Andrade et al, 2010).

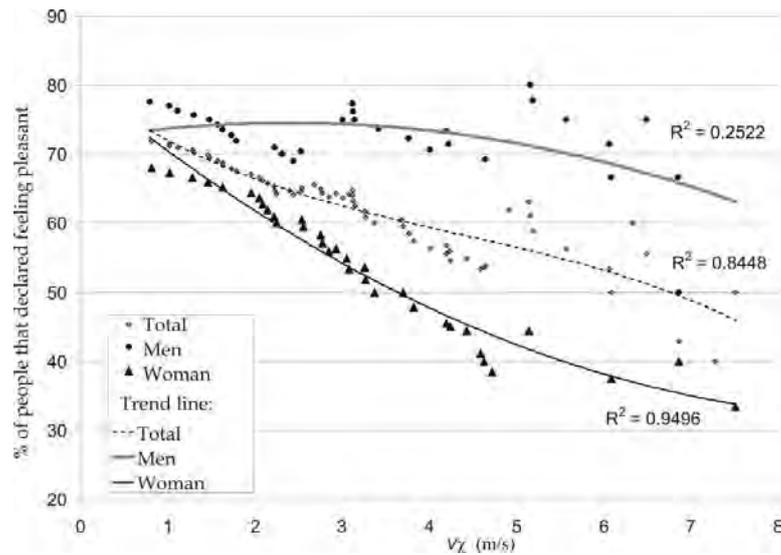


Fig.9.6. Percepção do vento, em função do género (Oliveira e Andrade, 2007)

9.3.2. A percepção do clima de determinado local

O estudo da percepção que os utentes têm do clima de determinados espaços exteriores pode ser feito por inquérito ou por observação sistemática de comportamentos. A relação com elementos do clima só poderá ser levada a cabo de modo indirecto. Estudos desse tipo foram também realizados no âmbito do projecto UrbKLIM, tendo como objectivo compreender a relação entre a utilização de espaços verdes urbanos de Lisboa e as condições microclimáticas (Oliveira *et al.*, no prelo).

Cadima (2000) realizou um inquérito a frequentadores de certas esplanadas de Lisboa sobre as razões que os levavam a apreciá-las. A percepção do estado habitual do tempo e do conforto/desconforto que proporciona ocupa o 3º lugar no conjunto dos factores de agrado por esses espaços.

9.4. A percepção de outros elementos da qualidade ambiental nas cidades

A União Europeia efectuou um inquérito sobre a percepção urbana (EC, 2007) em 75 cidades europeias. Entre os principais problemas ambientais focados, contam-se a poluição do ar, a falta de espaços verdes e o ruído (EEA, 2009).

- **Poluição do ar** (tratada no tema 7). A maioria das pessoas inquiridas afirmou que a poluição do ar era um problema grave. Esta percepção nem sempre corresponde à situação objectiva de concentração de NO₂ e PM₁₀. As discrepâncias sugerem que existem outros factores que influenciam a percepção individual (imagem da cidade, sua atractividade, espaços verdes disponíveis e níveis de ruído) (EEA, 2009).

- **Disponibilidade de Espaços verdes.** A maioria das pessoas que responderam ao inquérito está satisfeita com o número e a qualidade dos espaços verdes. No entanto, há discrepâncias consideráveis entre a percepção e a proporção de espaços verdes disponíveis (comparar Bruxelas e Bratislava, por exemplo). Aquelas podem ser devidas a efeitos de amostragem estatística, mas também a diferenças culturais e às características dos espaços verdes (acessibilidade, mobiliário e equipamento para lazer, tipo de vegetação, etc.) (EEA, 2009).

- **Ruído.** O ruído urbano afecta a saúde e a qualidade de vida dos cidadãos, porque interfere no descanso, no trabalho e na comunicação entre indivíduos. A exposição crónica ao ruído está associada ao risco acrescido de doenças coronárias, problemas auditivos e impactes na saúde mental. Estes efeitos podem ser ampliados pela interacção com outros factores

originadores de *stress*, como a poluição do ar. Pode ser observado num gráfico da EEA (2009) que existe bastante discrepância entre ruído percebido e medido, o que também pode ter a ver com a aquisição de dados de ruído ou a sua modelação.

As cartas de ruído de Lisboa podem ser consultadas no site da CML. Um estudo sobre o “Ruído Ambiente em Portugal”, realizado em 1996 pelo CAPS/IST em colaboração com o Ministério do Ambiente, concluiu que 19% da população estava exposta a níveis sonoros superiores a 65 db(A) em Portugal. Em Lisboa, verificou-se que tal percentagem é de 50%. Estes valores estão em linha com o estado do ruído ambiente existente, na generalidade, nos outros países da Europa” (CML).

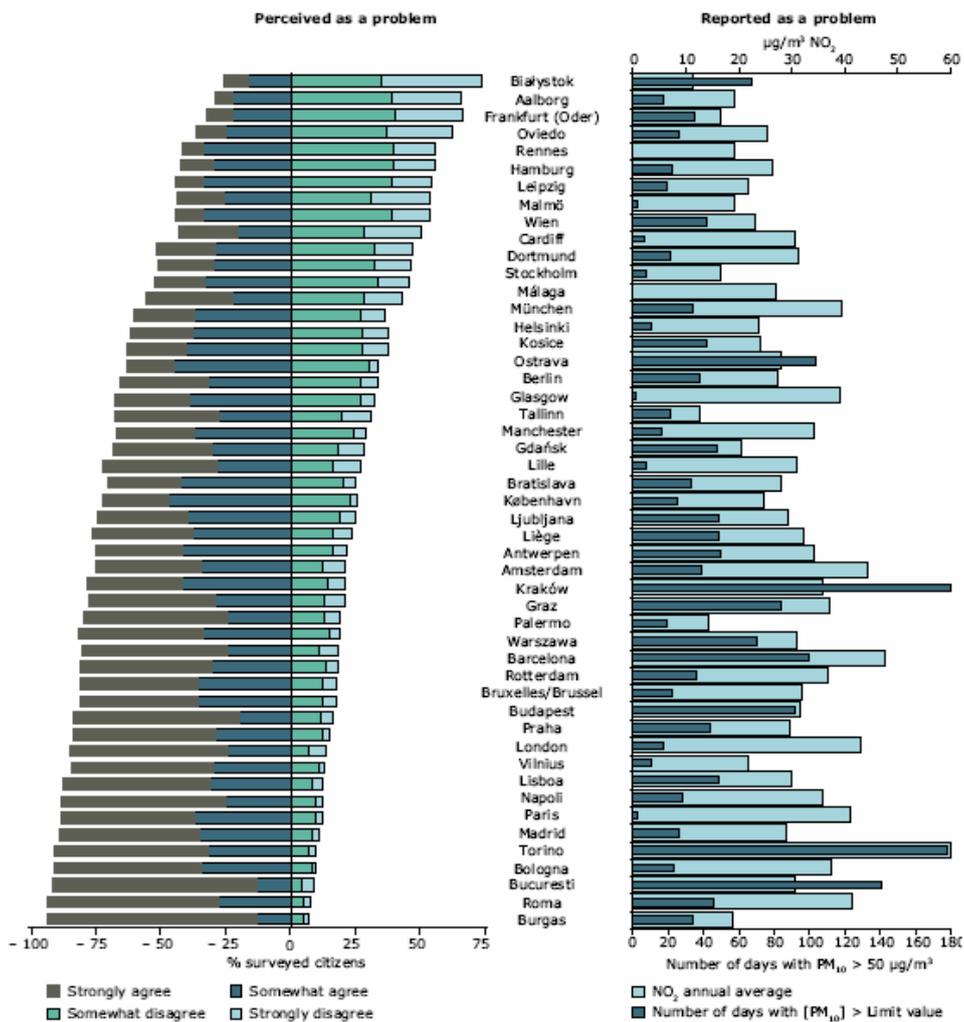
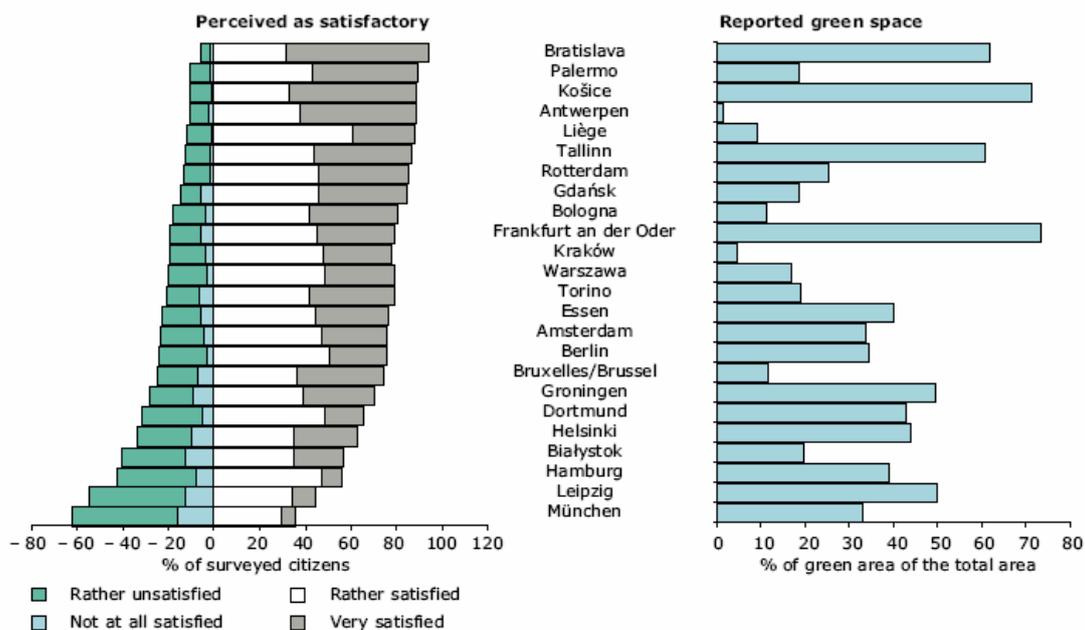


Fig.9.7. Percepção da poluição do ar como um problema (à esquerda) e concentração de poluentes (média anual de NO₂ e número de dias com PM10 superior ao valor limite) (EC, 2007 e EEA, 2009)



Source: EC, 2007a and Urban Audit Database, data 2004 on core cities (Eurostat).

Fig. 9.8. Percepção da existência de espaços verdes urbanos (as barras à esquerda da linha vertical representam percentagem de cidadãos não satisfeitos; à direita, satisfeitos) e percentagem de área verde nas diversas cidades. (EC, 2007 e EEA, 2009)

Bibliografia essencial

- Andrade, H.** (1998) O desconforto térmico estival em Lisboa. Uma abordagem bioclimática. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*. XXXIII (66): 41-58
- (EEA) European Environment Agency** (2009) *Ensuring quality of life in Europe's cities and towns. Tackling the environmental challenges driven by European and global change*. Report nº5. Copenhagen.
- Mills, G.** (2003) The Meteorologically Utopian City Revisited. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz, Poland, CD, 4p.
- Oliveira S., Andrade H.** (2007) An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public space in Lisbon, *International Journal of Biometeorology*, 52(1): 69-84.

Bibliografia citada

- Andrade H.; Alcoforado M.J.; Oliveira, S.** (2010) Perception of temperature and wind by users of public outdoor spaces: relationships with weather parameters and personal characteristics. *International Journal of Biometeorology*, online first. DOI 10.1007/s00484-010-0379-0
- Andrade, H.** (2003) *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 435p.
- Bitan, A.** (1992) The high climatic quality city of the future. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere* 26(3): 313-329.
- Bruse, M.** (2003) Assessing Urban Microclimate using Multi-Agent Simulations: A new approach to answer an old problem? *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz, Poland:4 p
- Cadima, P.** (2000) *Tansitional Spaces*, PhD Thesis, Architectural Association Graduate School, London.
- European Commission, Directorate-General for Regional Policy** (2007) *Survey on perceptions of quality of life in 75 European cities*. Brussels

- European Comission, Directorate General for Regional Policy** (2010) *Survey on perceptions of quality of life in 75 European cities*. Brussels.
http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/urban/survey2009_en.pdf
- Höppe, P.** (1999) The physiologically equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43: 71–75.
- Hwang, R.L.; Lin, T.P.; Matzarakis, A.** (2010) Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort, *Building and Environment*, 46(4): 863-870. doi:10.1016/j.buildenv.2010.10.017
- Jenks, M.; Burton, E.; Williams, K.** (Eds.), (1996) *The Compact City: A Sustainable Urban Form?* Oxford: E&FN Spon, London.
- Landsberg, H.** (1973) The meteorologically utopian city. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 54:86-89.
- Matzarakis, A.; Mayer, H.; Iziomom, E.** (1999) Applications of a universal thermal index: physiologically equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43: 76–84.
- Mills, G.** (2006) Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theor. Appl. Climatol.*, 84: 69–76. DOI 10.1007/s00704-005-0145-0
- Nikolopoulou, M.; Steemers, K.** (2003) Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings* 35(1): 95-101.
- Nikolopoulou, M.; Lykoudis, S.** (2006) Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment*, 41(11): 1455-1470.
- Knez, I.; Thorsson, S.** (2006) Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a square. *International Journal of Biometeorology*, 50: 258-268.
- Knez, I.; Thorsson, S.** (2011) Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. *International Journal of Biometeorology*, 50 (5): 258-268. DOI: 10.1007/s00484-006-0024-0
- Oliveira, S.; Andrade, H.; Vaz, T.** The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat. A case study in Lisbon. *Building and Environment*, no prelo.
- Pacione, M.** (2003a) Introduction on urban environmental quality and human wellbeing. *Landscape and Urban Planning*, 65: 1–3.
- Pacione, M.** (2003b) Urban environmental quality and human wellbeing — a social geographical perspective. *Landscape and Urban Planning*, 65: 19–30.
- Stathopoulos, T.; Wu, H.; Zacharias, J.** (2004) Outdoor Human Comfort in an Urban Climate, *Building and Environment*, 39 (3): 297-305.
- Westerberg, U. et al.** (2003) Urban Climate Spaces. A Multidisciplinary Research Project. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz, Poland, CD. 4p.

Informação sobre o ruído em Lisboa:

<http://ulisses.cm-lisboa.pt/data/002/003/004/artigo.php?ml=4&x=b17a3pt.xml>

Bibliografia complementar

- Auliciems, A.** (1981) Towards a psycho-physiological model of thermal perception. *International Journal of Biometeorology*, 25(2): 109-122.
- Becker, S. et al.** (2003) Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and dry climate. *Energy and Buildings*, 35: 747–756.
- Bruse, M.** (1999) Modelling and strategies for improved urban climates. *15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, Macquarie University: 6 p.
- Givoni, B. et al.** (2003) Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, 35: 77-86.
- Lawrence, R. J.** (2003) Human ecology and its applications. *Landscape and Urban Planning*, 65(1-2): 31-40.
- Nikolopoulou, M. et al.** (2001) Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy*, 70(3): 227-235
- Toupin, J.** (1997) Perception de l'hiver par les résidents de la plaine du Saint-Laurent (Canada). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 10: 110-117.

Van Kamp, I., et al. (2003) Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and Urban Planning*, 65(1-2): 5-18.

10. Clima urbano, impactes das alterações climáticas e ordenamento do território

Como conclusão da matéria, é lançada a discussão sobre as potenciais aplicações da climatologia urbana no processo de ordenamento urbano a diversas escalas espaciais, a partir da análise comparativa de dois textos (Oke, 1984 e 2006). Separados no tempo por mais de 20 anos, incidem no mesmo assunto: como devem os conhecimentos climáticos ser divulgados para que possam ser úteis?

É certo que o clima é apenas uma das muitas variáveis a considerar no ordenamento do território e no desenho urbano e, às vezes, os interesses de “agentes de ordenamento, políticos e cientistas entram em conflito” (Thamm et al., 1999). No entanto, este tema, pouco tratado até há uma ou duas décadas atrás, passou a estar na ordem do dia, quando se verificou o papel das cidades nas alterações do clima, tanto “globais”, como locais (tema 8). Em Portugal, foi recentemente aprovada pelo Conselho de Ministros a “Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAA, 2010), que refere várias medidas que, no quadro da acção de ordenar o território, devem ser alvo de especial atenção; entre elas, são mencionadas acções de “promoção de condições favoráveis à circulação atmosférica e ao controlo das temperaturas do ar, em especial nas áreas urbanas”. A ENAAC tem quatro principais objectivos: informação e conhecimento [sobre as alterações climáticas], redução da vulnerabilidade e aumento da capacidade de resposta, sensibilização e divulgação e, por último, cooperação a nível internacional. Embora a ENAAC não se restrinja a cidades, o tema tratado neste ponto pode contribuir para os dois primeiros objectivos.

Uma vez conhecidos os impactes actuais do clima e os previstos para as próximas décadas, será necessário tomar **medidas de mitigação** e/ou de **adaptação** (definições em Alcoforado et al., 2009b, p.14 e 15, Santos e Miranda, 2006, entre outros). Embora seja imprescindível o conhecimento das características teóricas gerais sobre o clima das áreas urbanas, cada uma tem as suas características climáticas próprias (regionais e locais, incluindo as urbanas). Seja para um estudo teórico, seja para um plano de ordenamento (PDM, PP ou PU), a área urbana deve ser alvo de investigação, utilizando técnicas e métodos propostos nos temas anteriores. Ou seja, deve-se começar por estudar as características actuais do clima urbano (Ex. Alcoforado et al., 2007), os seus impactes e as oportunidades que delas possam advir.

Depois disso, num contexto de alterações climáticas (IPCC, 2007; Santos e Miranda,

2006), devem ser estudadas as tendências na evolução de determinados parâmetros e destrinchadas – sempre que possível - as causas urbanas da alteração do clima observadas (temas 3, 4, 5, 6 e 8). Por outro lado, é preciso ter presente **que são enormes as variações climáticas espaciais em meio urbano** e que as projecções climáticas feitas para grelhas, por vezes de dimensões consideráveis, não se poderão ajustar e aplicar directamente ao espaço estudado, sem um estudo adicional.

10.1. Alterações climáticas regionais e urbanas e seus impactes

No esquema da figura 10.1, indicam-se algumas alterações do clima já em curso (e projectadas para o fim deste século) para regiões da “Europa do Sul”, devidas a causas regionais e urbanas. Acrescentam-se os factores urbanos “agravantes”, sobre os quais se pode actuar. Efectivamente, a própria cidade modifica o seu clima, como vimos atrás, criando situações muitas vezes indesejáveis para os habitantes (do ponto de vista do conforto, saúde, dispêndio de energia, entre outras). Estas situações também podem ser evitadas por medidas de ordenamento do território, aproveitando as potencialidades e lutando contra os impactos negativos das AC.

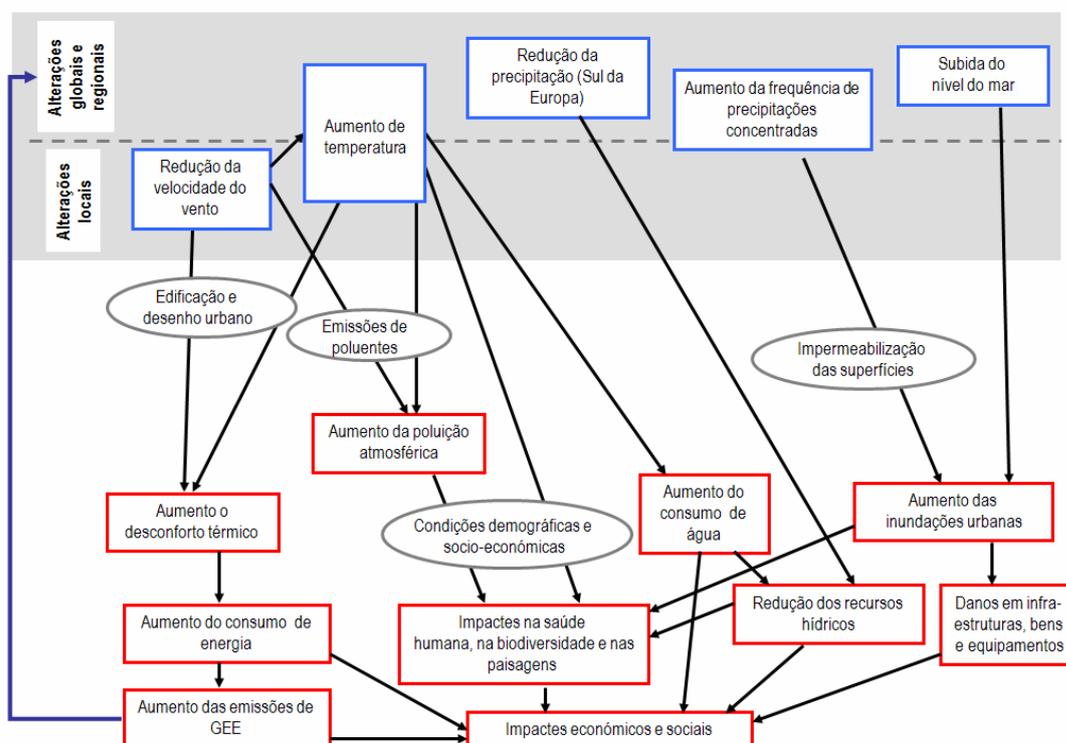


Fig.10.1. Alterações climáticas regionais e urbanas e seus principais impactes (Alcoforado et al., 2009b)

Elipses: factores agravantes urbanos
Rectângulos: modificações do clima e impactes.

Temperatura do ar

Foi já referido que a urbanização origina actualmente incrementos térmicos semelhantes aos esperados a nível “global” para daqui a algumas dezenas de anos. A ilha de calor (IC) urbana é um fenómeno que se pode considerar favorável nos climas frios. Pelo contrário, é considerada desfavorável em praticamente todos os outros tipos climáticos. No caso dos climas “temperados com estações termicamente contrastadas”, e tendo em conta as projecções para 2100 (IPCC, 2007a), que apontam para o aumento da temperatura, assim como da frequência das vagas de calor, a IC tem vindo a ser encarada como um factor negativo para o conforto e a saúde das populações, que deve ser mitigado, mesmo nos países da Europa do Norte, como o Reino Unido, a Alemanha e a Suécia. A maior frequência e intensidade das vagas de calor tem tido uma influência perniciosa no conforto dos cidadãos urbanos (Mayer e Matzarakis, 1997), na sua saúde nomeadamente o aumento da mortalidade em casos de vagas de calor (Dessai, 2002; Koppe et al., 2004; Alcoforado e Andrade, 2007; Marques e Antunes, 2009; Canário, 2010) e ainda sobre o consumo energético, nomeadamente para climatização no interior das habitações. A IC, que apresenta o seu valor máximo durante a noite, vem ainda aumentar os riscos para uma população urbana, principalmente a mais vulnerável devido à faixa etária e condições sócio-económicas, que não lhe permitem tomar as medidas necessárias para minorar os efeitos nefastos do calor.

Ventilação

Viu-se que, na cidade, diminui a velocidade do vento de gradiente, geram-se situações em que há aceleração do fluxo, aumenta a turbulência, criam-se fluxos intra-urbanos ou entre a cidade e o campo e intensifica-se a brisa do mar. Todas as modificações são devidas a causas locais e urbanas, tal como está esquematizado na parte superior da figura 10.1 e detalhadamente exposto em numerosas publicações (Lopes, A. 2003; Lopes et al., no prelo; Alcoforado et al., 2005; Alcoforado et al., 2010; Lopes S., 2008; Santos, 2008; Madeira, 2010).

Na acção directa do vento sobre o conforto dos habitantes da cidade, haverá várias situações a considerar. Em climas frios, a diminuição da velocidade do vento de gradiente é benéfica, uma vez que poderá diminuir o desconforto por excesso de frio. Em climas quentes e húmidos, a diminuição da velocidade do vento é prejudicial, uma vez que a circulação do ar beneficia o conforto térmico (Alcoforado e Matzarakis, no prelo). Em climas quentes e secos, a diminuição da velocidade do vento pode ser benéfica em termos de conforto e por diminuir o transporte de poeiras e areia. A aceleração pontual do vento é sempre perigosa, uma vez que põe em risco a segurança das pessoas e dos equipamentos.

A combinação do efeito de IC com a diminuição da velocidade do vento (fig.10.1) pode ser considerada uma potencialidade no Inverno, mas tem inegáveis efeitos negativos no conforto dos cidadãos na estação quente de climas com estações contrastadas ou em climas quentes (Andrade et al., 2010; Baltazar, 2010), com efeitos no maior consumo de água, no incremento da poluição fotoquímica, no aumento da morbilidade e da mortalidade, na produtividade laboral e na economia urbana. O desconforto térmico no interior dos edifícios, por seu lado, pode levar a um incremento acentuado de consumo de energia para climatização (5 a 10% a mais devido à IC, segundo Rosenfeld et al., 1995). Além dos efeitos económicos directos, lembre-se uma retroacção positiva: o aumento de emissões de GEE e contribuição para o aquecimento do planeta.

Diminuição da precipitação (efeito regional). Para os países da Europa do Sul, os totais pluviométricos anuais mostram uma grande variabilidade (Tildes-Gomes, no prelo), mas está prevista pelo IPPC (2007a) uma diminuição dos valores anuais, tendo exemplos de *downscaling* sido levados a cabo pelos investigadores do SIAM (Santos e Miranda, 2006). Os impactes, esquematizados na fig.10.1, serão a possível quebra de recursos hídricos e hidroeléctricos, a falta de água para o consumo, com consequências nas condições sanitárias e na saúde das populações, na economia e na sobrevivência de certos ecossistemas (relação com a perda de biodiversidade). Parecendo contraditório com o ponto anterior, espera-se, para as próximas décadas, um incremento **da frequência e intensidade dos eventos de precipitação intensa** na Europa do Sul, eventualmente acompanhadas por trovoadas e granizos. (efeito regional/local, IPCC, 2007a). Viu-se, no tema 5, que as próprias cidades podem contribuir para incrementar as quedas de precipitação convectiva, e concorrem, sem dúvida, para intensificar as inundações urbanas (*flash floods*, Oliveira e Ramos, 2002; Alcoforado et al., 2009b). As principais causas estão na progressiva impermeabilização do solo urbano, existência construções em locais indevidos, como vertentes e leitos de cheia, e o facto dos cursos de água serem canalizados por condutas subterrâneas, inadaptadas para os elevados caudais de cheia. Além dos danos intangíveis, como os óbitos, as inundações urbanas causam prejuízos em pessoas e bens, assim como nas infra-estruturas urbanas (sistemas de transporte, produção de energia), inundam estações de tratamento de água e desencadeiam movimentos de vertente. Cite-se o infeliz exemplo das inundações do fim de 2010 no Estado do Rio de Janeiro, cujas consequências foram agravadas por um muito deficiente ordenamento do território. Além disso, poderá haver transporte indevido de elementos químicos provenientes de pólos industriais, que contaminam a água potável (fig.10.1).

Qualidade do ar

A qualidade do ar depende, fundamentalmente, das emissões (“factor agravante, na figura 10.1, condicionado por factores sócio-económicos), da remoção e dispersão dos poluentes na atmosfera urbana (dependentes do vento e da estrutura térmica vertical da atmosfera). Em todos os tipos climáticos acima referidos, a diminuição da velocidade do vento no espaço urbano é uma clara desvantagem, no que diz respeito à qualidade do ar, pois diminui o transporte de poluentes atmosféricos para sotavento. A posição na cidade em relação às fontes emissoras e aos ventos dominantes terá obviamente influência na qualidade do ar. O aumento da turbulência pode levar à recirculação de poluentes, sem que todavia sejam removidos da camada de ar junto ao solo. O facto das inversões térmicas serem menos frequentes e menos intensas na atmosfera urbana constituirá uma vantagem para a qualidade do ar nas cidades.

10.2. Clima e ordenamento urbano. Enquadramento teórico e exemplos no estrangeiro

Uma vez determinados os problemas e as potencialidades devidas às alterações climáticas regionais e urbanas (Alcoforado, 2006), será necessário proceder a representações cartográficas de áreas com igual resposta climática, úteis para o ordenamento do território. Esta matéria está detalhadamente exposta em numerosas publicações, algumas delas em português e, por isso, será aqui apenas apresentada por tópicos.

- a) Relevância e aplicabilidade da informação climática para o ordenamento do território (Alcoforado, 1999, p.86)
- b) Trabalhos de climatologia aplicada noutros países e descrição pormenorizada dos exemplos da Alemanha (*Mapas Sintéticos das Funções Climáticas e Mapas de Avaliação climática*) e da Suíça (*Mapas de Ventilação, de Carga Térmica*) (Scherer et al., 1999; Thommes et al., 2004; Alcoforado, 1999)
- c) A noção de *unidades climo-topológicas*, *climatopos* ou de *unidades de resposta climática homogénea*. Estas expressões, utilizadas como sinónimos, são apresentadas e discutidas em Scherrer et al. (1999); Alcoforado (1999); Alcoforado et al. (2005); Alcoforado et al. (2009a), entre outras publicações. São áreas homogéneas do ponto de vista físico (em termos de morfologia urbana e posição topográfica), que interagem de modo particular com a atmosfera. A cada *climatopo* corresponderá um clima local próprio, que condicionará de forma diferenciada a vida e as actividades humanas e que exigirá, portanto, medidas específicas para reduzir os impactes negativos e aproveitar as características positivas do clima urbano.
- d) A representação cartográfica do campo térmico urbano (Andrade, 2003; Alcoforado e Andrade, 2006).

10.3. Exemplos de medidas de ordenamento para mitigar a ilha de calor e melhorar a qualidade do ar e do clima.

10.3.1. Modificar a densidade de construção

Quanto maior a **densidade de construção**, ou seja da fracção do solo coberto por edifícios, teoricamente mais intensa irá ser a Intensidade da ilha de calor (ΔT_{u-r}): >QF, <QE, >libertação de QS de noite, Barring, 1985; Oke, 1981; Eliasson, 1990/91; Eliasson, 1996a e b.

A decisão terá de ser precedida da discussão da necessidade de mudanças na densidade de construção na cidade em causa. As vantagens ambientais de uma cidade menos compacta (< densidade de construção) são as seguintes: diminuição da IC; menores gastos em energia para iluminação e arrefecimento (no Verão ou em climas quentes), menor dificuldade de utilização de energia solar; melhor qualidade do ar. A construção de ruas circulares para diminuir o tráfego no centro das cidades é uma opção para melhorar a qualidade do ar em partes das cidades (Fenger, 1999). Existem defensores da cidade compacta (tema 9) que, além de outras vantagens não ambientais (Jenks et al, 1996), sustentam que seria menor a emissão de poluentes, devido, principalmente, a trajectos mais curtos da população em transportes públicos ou privados. No tema 7 viu-se que, muito provavelmente, a concentração dos poluentes não diminuiria, devido à redução das condições para a sua remoção (por exemplo, diminuição da velocidade do vento).

10.3.2. Modificar a geometria urbana

Será referida a influência da altura média dos edifícios na rugosidade (z_0 , tema 6) e a importância da sua “altura relativa” (Givoni, 1998). Segundo Givoni (1998, p. 284), as condições de ventilação podem ser melhoradas em bairros de grande densidade de construção, se a altura dos edifícios não for uniforme e se se conservarem eixos viários paralelos à direcção do vento dominante, às brisas do campo e às brisas do mar, nas cidades em que elas são frequentes (Barlag e Kutler, 1990-91; Baumüller, 2008; Alcoforado *et al.*, 2005; Lopes, 2009; Vasconcelos, 2004). A orientação das ruas influencia principalmente as condições de iluminação e a circulação do ar.

A síntese de algumas características da geometria urbana pode ser feita através da determinação da fracção visível da abóbada celeste (*Sky-view factor* - SVF). As duas principais técnicas de determinação do SVF foram referidas no tema 3. Na impossibilidade de as utilizar, o SVF pode ser substituído pelo quociente H/W, em que H (*Height*) representa a altura dos

edifícios e W (*Width*) a largura das ruas⁹.

Oke (1987) exprimiu relação entre ΔT_{u-r} e SVF ou H/W

$$\Delta T_{u-r} = 15.27 - 13.88 \text{ SVF}$$

Ou

$$\Delta T_{u-r} = 7.54 + 3.97 \ln (H/W)$$

Em estudos levados a cabo em Lisboa, também para a noite, foram estabelecidas relações numéricas entre a temperatura do ar e vários factores geográficos, entre os quais se incluiu o parâmetro H/W e o SVF (Alcoforado, 1994; Alcoforado e Andrade, 2006).

Durante o dia, a situação é mais complexa. A radiação difusa recebida numa superfície depende fortemente do SVF, particularmente em situações de céu muito nublado (Andrade, 2003). Givoni (1998) indica técnicas para determinar as temperaturas diurnas de canhões urbanos (ruas com SVF fracos ou elevados H/W). Existem modelos (Swaid, 1993, por exemplo) para determinar a importância do efeito de sombra na temperatura do exterior.

10.3.3. Modificar o albedo

O aumento do albedo da cidade ou de determinados bairros (por exemplo, pintando os telhados e certas fachadas de branco) incrementa a radiação reflectida, levando à diminuição da IC (Givoni, 1998; Bretz et al., 1998). Os materiais de construção podem ser classificados de “quentes” e “frios”, em função das suas características que mais afectam o albedo: a cor e a textura. Os materiais escuros e rugosos (“quentes”) absorvem mais energia do que os materiais (“frios”) claros e lisos (Doulos *et al.*, 2004; Rosenfeld et al., 1995).

10.3.4. Integrar planos de água artificiais

Outra opção é integrar planos artificiais de água nas cidades das regiões quentes e secas ou com Verão seco, uma vez que a sua influência na diminuição do stress térmico foi verificada em determinados locais (Saaroni e Ziv, 2003; Andrade, 2003).

10.3.5. Regular a circulação do ar na área urbana

À excepção de cidades pouco poluídas de climas frios, devem ser criados ou mantidos “corredores de ventilação” ao nível do conjunto da cidade. Estes deverão ser áreas abertas no sentido dos ventos dominantes, contribuindo para melhor qualidade do ar e do clima. Apresenta-se um exemplo na figura 10.2. No interior de cada bairro, dever-se-á facilitar a circulação do ar mas, simultaneamente, criar algumas áreas abrigadas, principalmente em climas com estações termicamente contrastadas, para permitir a permanência no exterior na

⁹ Referido, por exemplo no tema 6, a propósito da circulação do vento junto ao solo.

estação fria e evitar que todas as ruas se transformem em canais de vento. As ruas/praças com maior risco de ventos fortes devem ser assinaladas (Lopes *et al.*, 2009)

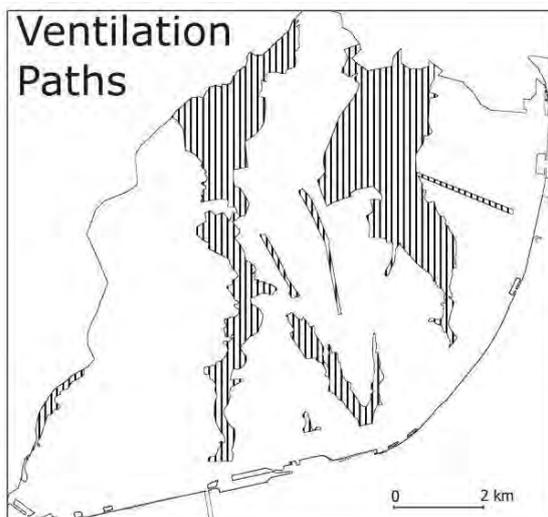


Fig. 10.2. Corredores de ventilação propostos para Lisboa (Alcoforado *et al.*, 2005 e 2009)

10.4. Os espaços verdes, como modificadores do clima urbano

Funções climáticas gerais dos espaços verdes

Os espaços verdes desempenham importantes funções climáticas, biológicas, hidrológicas, sociais e culturais nas áreas urbanas (Alcoforado, 1996; Eliasson e Upmanis, 2000; Andrade e Vieira, 2005 e 2007; Alcoforado *et al.*, 2009b; Oliveira *et al.*, no prelo). Apenas se abordarão as primeiras. Em Andrade e Vieira (2007), encontrar-se-á um quadro muito detalhado das principais modificações que os espaços verdes imprimem ao balanço energético e ao clima (a várias escalas).

Dimensão dos espaços verdes como condicionante da sua “área de influência”

Segundo Spronken-Smith e Oke (1998), a influência térmica de um parque urbano, para sotavento, terá uma extensão semelhante ao sua largura. A ilha de frescura do parque (tradução literal de *park cool island*, PCI) tem uma média de 2 a 3°C, podendo atingir 6°C, mas varia muito no tempo e no espaço. De noite, os espaços verdes abertos e relvados podem arrefecer tanto como o “campo” próximo. Em Gotemburgo, Upmanis *et al.* (1999) verificaram também que os parques de maior dimensão refrescavam, tanto de dia como de noite, extensões maiores dos bairros próximos.

Pelo contrário, para outros autores (Givoni, 1998, p. 306), a dimensão de um espaço verde não terá interferência na sua “área de influência climática”. Neste caso, a existência de

numerosos pequenos espaços verdes será climaticamente (e não só) mais eficaz do que a criação de um ou dois grandes parques numa cidade. No caso de pequenos espaços verdes de Lisboa e de Coimbra, apenas se verificou arrefecimento nas imediações directas dos jardins (Alcoforado, 1996; Ganho, 1996).

Quadro 10.1. Principais benefícios dos espaços verdes urbanos (Alcoforado et al., 2009b)

<p>1. Mitigação das alterações climáticas Fixação de CO₂ (sobretudo no caso de manchas arbóreas extensas)</p> <p>2. Adaptação às alterações climáticas</p> <p>2.1 Redução da ilha de calor urbano</p> <p>2.2 Redução dos riscos de cheias urbanas (favorecimento da infiltração e retenção da água)</p> <p>2.3 Criação de áreas frescas, como refúgio da população, em situações de vagas de calor</p> <p>2.4 Efeitos directos sobre o comportamento energético dos edifícios (telhados e paredes verdes, ensombramento dos edifícios por árvores próximas)</p> <p>3. Outros benefícios</p> <p>3.1 Biofísicos</p> <p>3.1.1 Melhoria da qualidade do ar (filtragem e fixação de poluentes)</p> <p>3.1.2 Fixação dos níveis de ruído</p> <p>3.1.3 Aumento da biodiversidade</p> <p>3.1.4 Melhoria do conforto nas ruas, durante o Verão (efeito das árvores de arruamento)</p> <p>3.2 Socioeconómicos e culturais</p> <p>3.2.1 Proporciona áreas de lazer e socialização</p> <p>3.2.2 Benefícios directos ao nível da saúde física e psicológica</p> <p>3.2.3 Valorização estética e cultural do espaço urbano</p> <p>3.2.4 Funções de carácter educativo e pedagógico</p> <p>3.3 Económicos</p> <p>3.3.1 Redução dos custos com a saúde</p> <p>3.3.2 Redução do consumo de ar condicionado</p> <p>3.3.3 Redução dos danos associados a cheias urbanas</p> <p>3.3.4 Utilização como atractivo turístico no caso de espaços verdes de particular interesse histórico, cultural ou científico</p> <p>3.3.5 Valorização do património imobiliário próximo de espaços verdes de qualidade</p>

Influência dos espaços verdes na poluição atmosférica

Ainda que muito ainda esteja por conhecer nesta matéria, distinguem-se as influências directas e indirectas dos espaços verdes. A primeira engloba aspectos positivos (retenção de partículas sólidas em suspensão na atmosfera, embora haja diferenças em função da dimensão das mesmas) e negativos (os espaços verdes podem ser emissores significativos de compostos orgânicos voláteis, com efeitos negativos sobre a qualidade do ar, Givoni, 1998). Indirectamente, os espaços verdes actuam sobretudo pela modificação das condições de ventilação. Por outro lado, os espaços verdes podem servir de barreira para combate à poluição sonora.

Funções climáticas em diferentes tipos de espaço verde

- Modificações climáticas no interior dos parques e jardins

Os espaços verdes arborizados e irrigados favorecem sobretudo o arrefecimento diurno, essencialmente por diminuição de $K\downarrow$ e aumento de energia “gasta” para evapotranspiração (QE) (Andrade e Vieira, 2007, Fig.10.3 e 10.4). Os espaços verdes abertos e não irrigados favorecem sobretudo o arrefecimento nocturno e conseqüente diminuição de L^* . O efeito sobre a velocidade do vento depende da estrutura e rugosidade da vegetação, devendo ser planeado em função da região climática. Ca *et al.* (1998) referem a diminuição dos custos para arrefecimento do ar num bairro próximo de um espaço verde.

- Influência dos espaços verdes próximo de edifícios:

Os espaços verdes próximos de edifícios têm como principal papel incrementar o efeito de sombra (devem utilizar-se espécies caducifólias em climas de estações termicamente contrastadas) e, reduzindo a velocidade do vento, provocar o decréscimo da infiltração de água das chuvas nos edifícios (*driving rain*) e das perdas de calor por convecção para a atmosfera exterior.

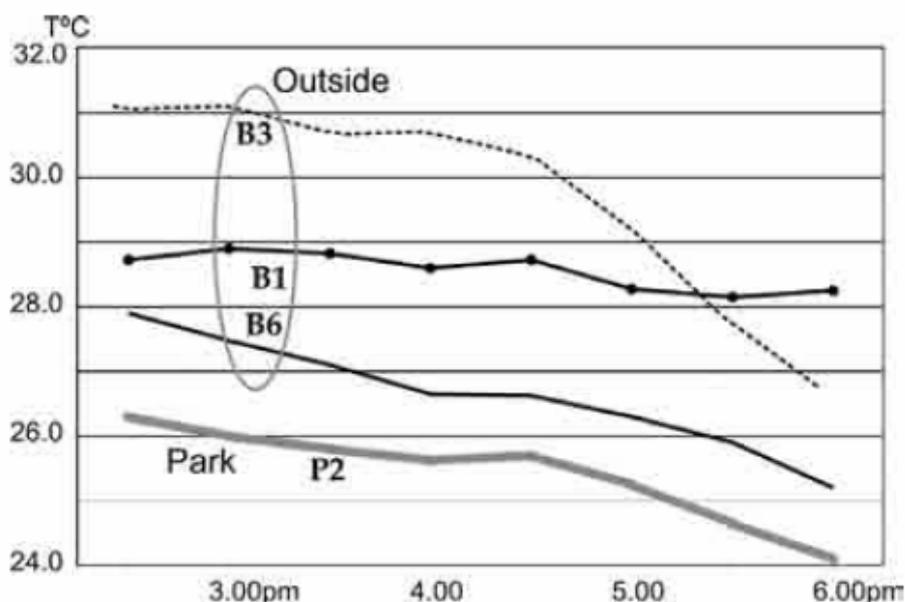


Fig.10.3. Mediana da temperatura do ar em locais à sombra do Jardim da Gulbenkian (“Park”) e das ruas próximas (“outside”) (117 dias do Verão-Outono 2004, Andrade e Vieira, 2007)

Influência das fiadas de árvores nos arruamentos

Efeito diurno significativo no arrefecimento das ruas arborizadas, devido sobretudo ao efeito de sombra (Sashua-bar e Hoffman, 2004); no caso de espécies caducifólias, efeito estacional).

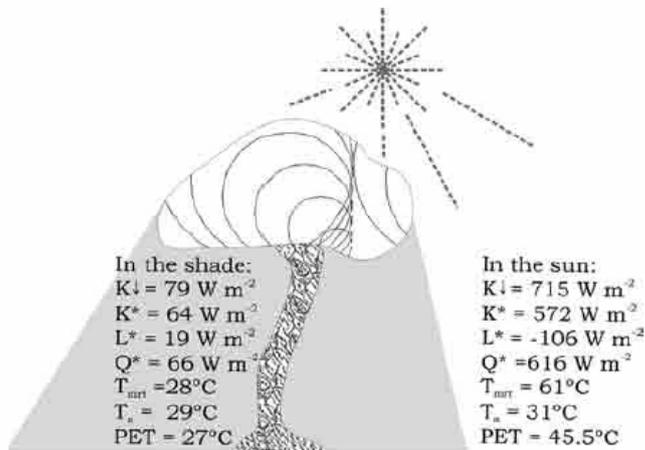


Fig.10.4. Mediana das observações em dias de Verão de 2004 à sombra e ao Sol no Jardim da Gulbenkian (Andrade e Vieira, 2007) (siglas no tema 3 e no fim do volume)

O efeito dos espaços verdes no conforto/desconforto das populações

Depende muito do tipo de clima, da estação do ano, da hora do dia e da estrutura do jardim. Existe normalmente um aumento das condições de conforto nos espaços verdes, no Verão, e em climas quentes (fig.10.5) (Andrade e Vieira, 2005, 2007) e influência positiva de lagos, mesmo de pequenas dimensões (Saaroni e Ziv, 2003; Alcoforado, 1996). O abrigo em relação ao vento favorece conforto em climas frios.

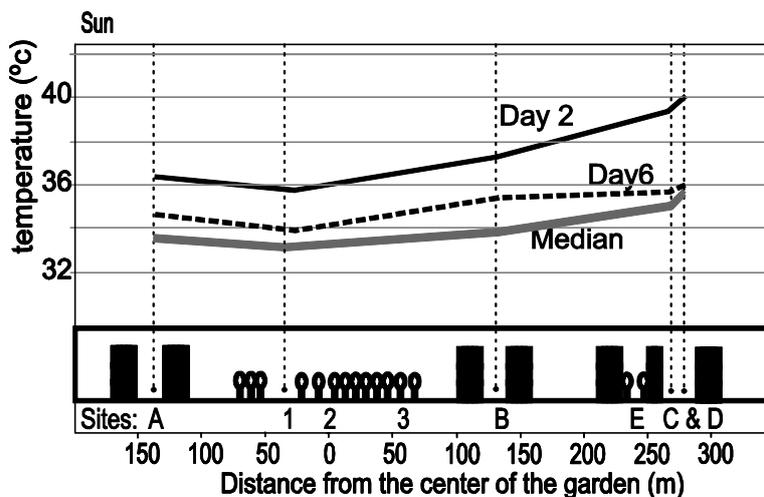


Fig.10.5. Diferença de temperatura do ar entre um pequeno jardim de Campo de Ourique (Lisboa) e as ruas próximas: O "day 2" corresponde a 9.08.2006 e foi o mais quente do período estudado e o "day 6" (3.08.2007) foi o mais fresco. (Oliveira et al., no prelo)

10.5. O exemplo de Lisboa

10.5.1. Na escala mesoclimática

O trabalho de Lisboa tem um cariz aplicado e foi feito depois de analisados 15 PDMs de concelhos fortemente urbanizados (Alcoforado e Vieira, 2004), em que se verificou a inexistência de orientações climáticas concretas e aplicáveis ao ordenamento do território. O exemplo de Lisboa na escala mesoclimática será resumidamente apresentado sob a forma de

um poster (ver página seguinte) e está detalhadamente descrito em Alcoforado *et al.* (2005) e Alcoforado *et al.* (2009a). Apresenta-se, na figura 10.6, uma ampliação a preto e branco do mapa que agrupa áreas de resposta climática homogénea, para as quais se propõem as mesmas orientações climáticas para o ordenamento e que foi apresentado juntamente com o poster. Estas encontram-se nas publicações acima referidas e estão sintetizadas num quadro em Alcoforado *et al.* (2010).

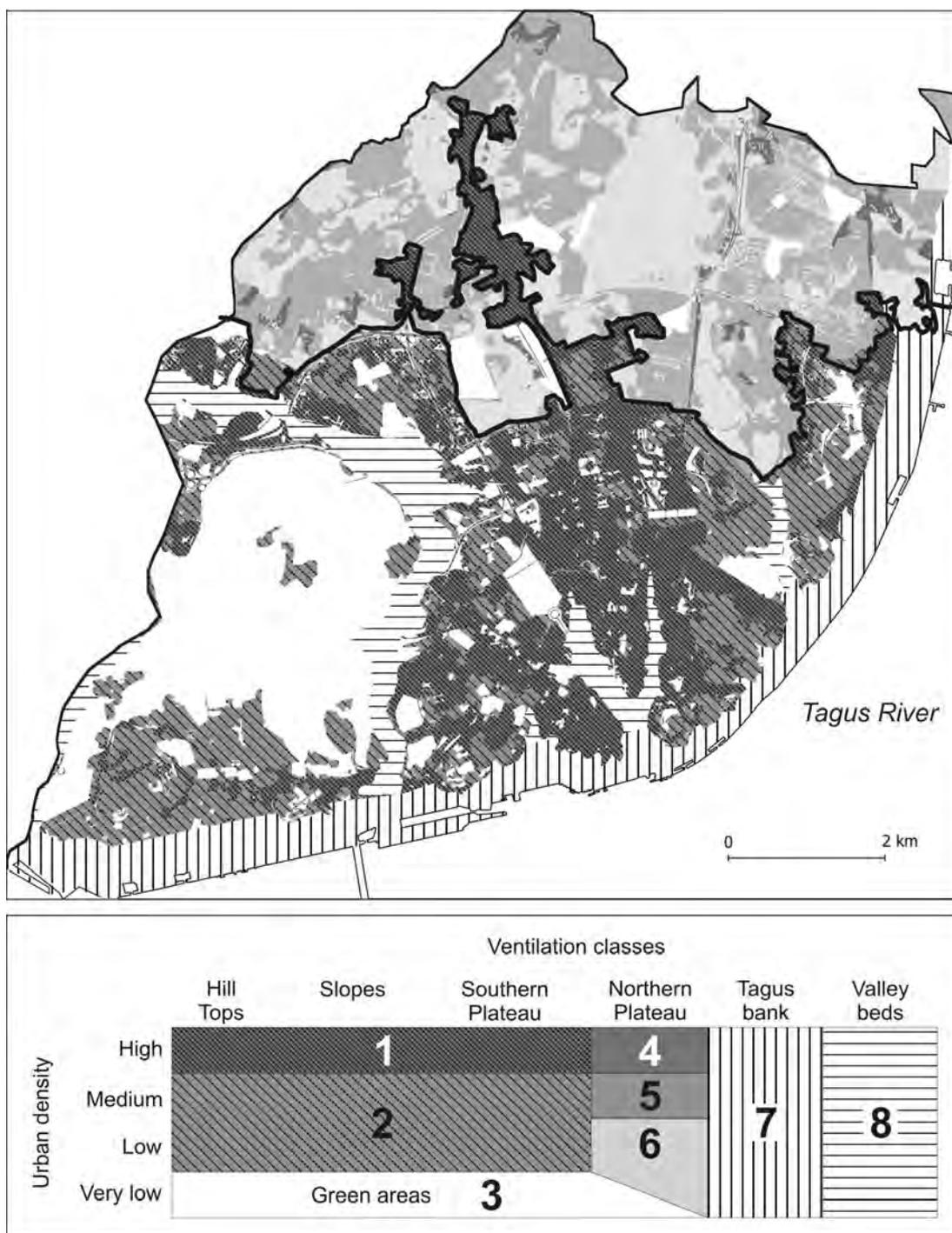


Fig. 10.6. Unidades de resposta climática homogénea em Lisboa (Alcoforado *et al.*, 2009a)

Urban planning as a tool to cope with climate change. Cooperation between the University of Lisbon and the Municipality



IGOT
Institute of Geography and
Spatial Planning

Maria João Alcoforado¹⁾, Henrique Andrade, António Lopes

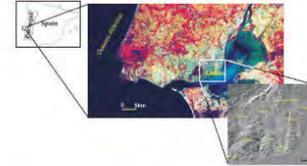
Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa
Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa, Portugal
(1) mjoao.alc@gmail.com

9th EMS Annual Meeting
Applications of Meteorology

28 September - 2 October 2009
Toulouse, France

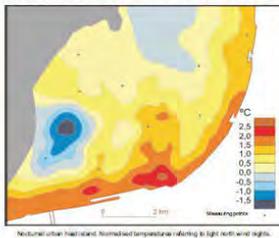
Climate change is a current and urgent topic. Urban areas are particularly vulnerable to climate change due to the concentration of population, infrastructures and activities and to their specific climatic features, for example the urban heat island. In certain cities, temperature has already risen to values predicted for the planet's mean temperature in 2100. Some questions arise: Is there a direct or indirect effect of urban warming upon planetary climate change? What are the consequences of global warming to the urban heat island? What can be done to cope with climate change impacts in urban areas without compromising their sustainability, that is, to minimise the impacts upon the environment while maintaining the quality of life of urban dwellers? On the other hand, cities have the potential (in terms of critical mass and technology) to promote innovative solutions that are easily reproducible on a wider scale. The great concentration of resources may, in certain cases, improve our capacity to take the most appropriate action. In cities, there are potentially less obstructions to the implementation of measures and to decision making than at a national and global level. So, the main question is: should we not consider cities as privileged places to test different types of adaptation to climate change? We are still at an initial stage in the development of a global answer to the threat of climate change and in this sense cities can be an advantageous starting point.

STUDY AREA

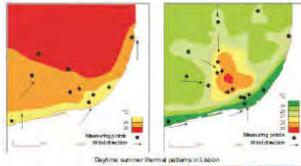


DIFFERENT URBAN THERMAL PATTERNS IN LISBON

The Lisbon UHI has an average intensity of 3°C; the highest air temperatures occur mostly in the more densely built-up areas near the Tagus river bank and along the main circulation axis where urban development is under way. Under prevailing North or Northwest wind conditions, the core of the UHI is situated in the downtown areas.



Notional urban heat island: Normalised temperatures referring to night air and night sky.

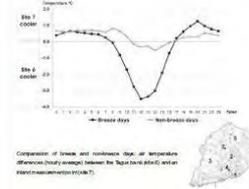
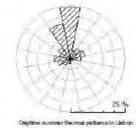


In the presence of weak regional wind and estuarine breezes and fog on the Tagus, the core of the UHI moves to the North and the downtown area remains relatively cooler.

Lisbon thermal patterns on a fog winter day

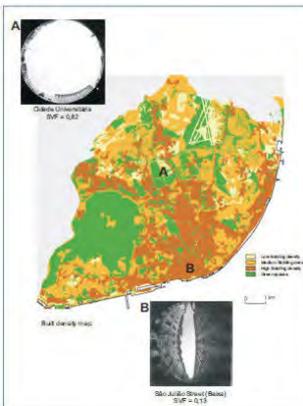
WIND IN LISBON

N and NW winds prevail on a yearly basis, although there is large seasonal variability (higher frequency in summer). In the summer, N and NW winds occur on 40% of the days for 24 h a day and, on an additional 30%, only in the late afternoon. This means that the prevailing N and NW winds are so frequent that they must be taken into account in planning and building design.



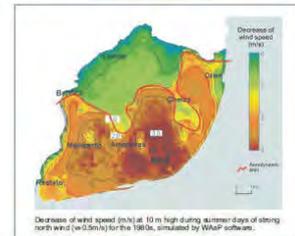
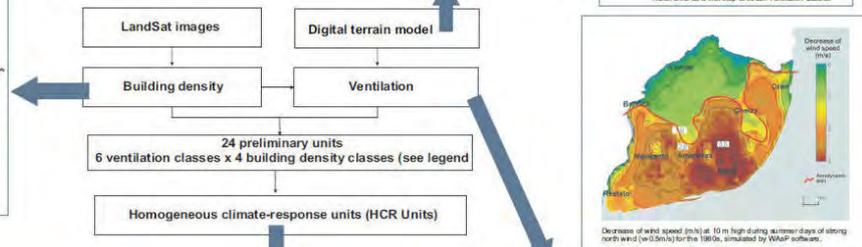
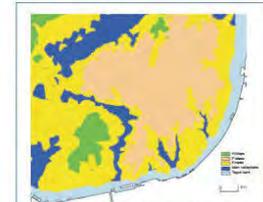
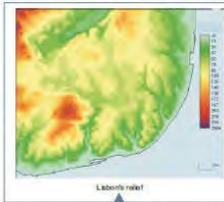
On the other hand, when weak regional winds occur (speed under 4 m/s), ocean and estuary breezes reach the neighbourhoods closer to the river Tagus on 30% of the late mornings and early summer afternoons, before the wind veers to the North in late afternoons and evenings. Even though they do not travel very far inland, the estuarine breezes play an important role in cooling the urban air near the river bank, where air temperature may be up to 4°C lower than the city centre.

METHODOLOGY FOR THE DELIMITATION OF CLIMATIC UNITS FOR PLANNING PURPOSES

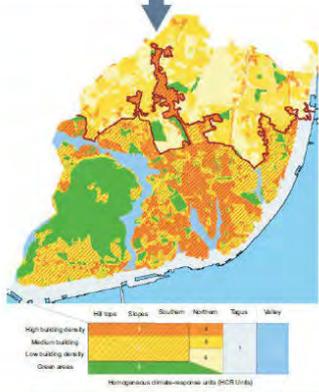


Feedback from city planners and the experience of different authors working on the same topics, made it obvious that climatic guidelines can only be of use if they refer to areas whose limits are very precisely drawn on a detailed map.

A cartographical representation of Lisbon's physical features had to be carried out, as existing land-use categories were not suitable, because these are mainly based on functional criteria.



http://pdm.cm-lisboa.pt/rev_est2.html



Our aim was to produce a final map that depicted a set of areas interacting in a homogeneous way with the urban atmosphere. These were named homogeneous climate-response units (HCR Units). The HCR units map is an indispensable tool in defining the limits of the different areas for which climatic guidelines are to be put forth. The methodology to define these units is mainly objective, but there were several final subjective adjustments, such as roughness length (z0) thresholds, altitudinal limit for the low lying areas, etc.

FINAL MAP: CLIMATIC GUIDELINES FOR URBAN PLANNING. APPLICATION TO LISBON

10.5.2. Na escala microclimática

Na sequência do trabalho realizado na escala mesoclimática, houve necessidade de concretizar estas orientações numa escala de maior pormenor (e que pudesse, por exemplo, ser utilizada para um PP ou um PU). Escolheu-se o bairro de Telheiras em Lisboa por se tratar de uma área pouco acidentada (permitindo mais facilmente isolar os factores climáticos urbanos) e que se encontra numa área de expansão urbana do Norte da cidade, possibilitando extrapolar os resultados para áreas em expansão a Norte da cidade. Este local foi alvo de partes importantes de duas teses de doutoramento, em que foram tratados, a partir de metodologias diversas (observação, modelação numérica e física) o bioclima térmico e a ventilação (Andrade, 2003; Lopes, 2003) e de numerosos artigos (Andrade e Alcoforado, 2008; Lopes, 2009; Alcoforado *et al.*, 2010). As conclusões permitiram sugerir diversas orientações para o ordenamento, descritas em Alcoforado *et al.* (2010, p.76 a 78).

Bibliografia essencial

Dependerá do trabalho em curso.

Bibliografia citada

- Alcoforado, M. J.** (1994) L'extrapolation spatiale des données thermiques en milieu urbain. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 7: 493-502.
- Alcoforado, M. J.** (1996) Comparaison des ambiances bioclimatiques estivales d'espaces verts de Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 9: 273-280.
- 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** (2006) Planning procedures towards high climatic quality cities. Example referring to Lisbon. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XLI(82): 49-64.
- Alcoforado, M.J.** (2010) Assessing and modeling the urban climate in Lisbon. In Carrega P (ed), *Geographical Information and Climatology*, ISTE (London) and WILEY (Hoboken, NJ): 125-158.
- Alcoforado, M.J.; Vieira, H.** (2004) O Clima urbano nos Planos Directores Municipais de concelhos urbanos. *Sociedade e Território*, 37: 101-116.
- Alcoforado, M.J.; Lopes, A.; Andrade, H.; Vasconcelos, J.; Vieira, R.** (2005) *Orientações climáticas para o planeamento e o ordenamento em Lisboa*. Área de Investigação em Geo-Ecologia, 4, CEG, Lisboa, 83p.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.** (2006) Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3): 151-159.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Oliveira, S.** (2007) A ilha de calor de Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano. In *Geophilia - O Sentir e os Sentidos da Geografia. Homenagem a Jorge Gaspar*, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa: 593-612.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.** (2007b) Clima e saúde na cidade. Implicações para o Ordenamento. In Santana P *et al.* (ed) *A cidade e a saúde*, Coimbra, Almedina: 99-118.
- Alcoforado M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Vasconcelos, J.** (2009a) Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning*, 90(1-2): 56-65.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Oliveira, S.; Festas, M.J.; Rosa, F.** (2009b) *Alterações climáticas e desenvolvimento urbano*. Série Política de Cidades, 4, Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Lisboa, 90p. (disponível na internet no site da DGOTDU).

- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.** (2010) Clima e ordenamento urbano na escala microclimática: o exemplo do bairro de Telheiras em Lisboa. In Figueiredo et al. (eds) *Clima e Recursos Naturais*, Instituto Politécnico de Bragança: 43-82.
- Alcoforado, M.J.; Matzarakis, A.** - Planning with urban climate in different climatic zones. *Geographicalia*, no prelo.
- Andrade, H.** (2003) *Bioclima humano e temperatura do ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 435p.
- Andrade, H.; Alcoforado, M.J.** (2008) Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. *Theoretical and Applied Climatology*, 92(3-4): 225-237.
- Andrade, H.; Alcoforado, M.J.; Oliveira, S.** (2010) Perception of temperature and wind by users of public outdoor spaces: relationships with weather parameters and personal characteristics. *International Journal of Biometeorology*, on line first, DOI 10.1007/s00484-010-0379-0.
- Andrade, H.; Vieira, R.** (2005) *O estudo climático de um Espaço Verde de Lisboa: o Jardim da Gulbenkian*. Área de Investigação em Geo-Ecologia, 5, CEG, Lisboa, 46p.
- Andrade, H.; Vieira, R.** (2007) A climatic study of an urban green space: the Gulbenkian Park in Lisbon (Portugal). *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XLII(84): 27-46.
- Baltazar, S.** (2010) *Mapas bioclimáticos de Lisboa*. Dissertação de Mestrado. IGOT-UL, Lisboa.
- Barlag, A. B.; Kuttler, W.** (1990-91) The significance of country breezes for urban planning. *Energy and Buildings*, 15-16: 291-297.
- Bärring, L.** et al. (1985) – Canyon Geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden, *Journal of Climatology*, 5: 433-444.
- Baumüller, J.** (2008) *Climate Booklet for Urban Development Online – References for Zoning and Planning*, Stuttgart.
- Bretz S.** et al. (1998) Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. *Atmospheric Environment*, 32: 95-101.
- Ca, V.T.** et al. (1998) Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings*, 29: 83-92.
- Canário, P.** (2010) Methodology to assess thermal extremes mortality risk in urban areas. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XLIV, 89:167-173.
- Dessai, S.** (2002) Heat stress and mortality in Lisbon part I. model construction and validation. *International Journal of Biometeorology*, 47: 6-12.
- Doulos, L.** et al. (2004) Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77: 231-249.
- Eliasson, I.** (1990/91) Urban Geometry, surface temperature and air temperature. *Energy and Building*: 15-16: 141-145.
- Eliasson, I.** (1996a) Urban nocturnal temperature, street geometry and land uses. *Atmospheric Environment*, 30(3): 379-392.
- Eliasson, I.** (1996b) Intra-urban nocturnal temperature differences: a multivariate approach. *Climate Research*: 7:21-20.
- Eliasson, I; Upmanis, H.** (2000) Nocturnal airflow from urban parks-implications for city ventilation. *Theoretical and Applied Climatology*, 66: 95-107.
- Fenger, J.** (1999) Urban air quality. *Atmospheric Environment*, 33: 4877-4900.
- Ganho, N.** (1996) Espaços verdes no interior do tecido urbano de Coimbra, Portugal: Contrastes topoclimáticos, influência bioclimática e riscos de poluição atmosférica. *Territorium*(3): 35-55.
- Givoni, B.** (1998) *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley and Sons, New York, 464 p.
- IPCC** (2007a) Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- IPCC** (2007b) Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry M, Canziani O, Palutikof J, Van der Linden P, Hanson C (eds) Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Jenks, M.; Burton, E.; Williams, K.** (Eds.), (1996) *The Compact City: A Sustainable Urban Form?* Oxford: E&FN Spon, London.

- Koppe, C.** et al. (2004) *Heat-waves: risks and responses*. Regional Office for Europe. Health and Global Environmental Change, Series No. 2. Copenhagen, Denmark.
- Lopes, A.** (2003) *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa.[Disponível na internet]
- Lopes, A.** (2009) O sobreaquecimento das cidades. Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *Territorium*, 15: 39-52
- Lopes, A.; Oliveira, S.; Fragoso, M.; Andrade, J.A.; Pedro, P.** (2009) Wind risk assessment in urban environments: the case of falling trees during windstorm events in Lisbon. In Strelcová K, Matyas C, Kleidon A, Lapin M, Matejka F, Blazenec M, Škvarenina J, Holecý J (eds), *Bioclimatology and Natural Hazards*, Springer: 55-74
- Lopes, A.; Saraiva, J.; Alcoforado, M.J.** Urban boundary layer wind speed reduction in summer due to urban growth and environmental consequences in Lisbon. *Environmental Modelling & Software*, 26(2), no prelo.
- Lopes, S.** (2008) *Regimes dos ventos estivais no Funchal e sua influência nos padrões térmicos*. Dissertação de Mestrado. UL, Lisboa
- Madeira, J.P. A.** (2010) *Variabilidade dos regimes de vento e potencial eólico na região de Cascais*. Dissertação de Mestrado. IGOT-UL, Lisboa
- Marques, J.; Antunes, S.** (2009) *Influência da onda de calor de Agosto de 2003 na mortalidade em Portugal*; Divisão de Observação Meteorológica e Clima. Centro de Investigação e Acompanhamento do Clima e das Alterações Climáticas Alterações Climáticas, IM, Lisboa, 51p.
- Mayer, H.; Matzarakis, A.** (1997) The urban heat island seen from the angle of human-biometeorology. *Proc. Intern. Sympos. Monitor. Manag. Urban heat island*, Fujiama, Japan: 84-95.
- Oke, T. R.** (1981) Canyon Geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *International Journal of Climatology*, 1: 237-254.
- Oke, T.R.** (1984) Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy and Buildings*, 7: 01-10.
- Oke, T.R.** (1987) *Boundary layer climates*. 2nd ed. Methuen. London, 435p.
- Oke, T.R.** (2006) Towards better communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84:179-189
- Oliveira, P.; Ramos, C.** (2002) Inundações na cidade de Lisboa durante o século XX e seus factores agravantes. *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, XXXVII(74): 33-54.
- Oliveira, S.; Andrade, H.; Vaz, T.** The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat. A case study in Lisbon. *Building and Environment*, no prelo.
- Rosenfeld, A.H.; et al.** (1995) Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings*, 22: 255-265.
- Saaroni, H.; Ziv, B.** (2003) The impact of a small lake on heat stress in a Mediterranean urban park: the case of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Biometeorology*, 47: 156-65.
- Santos, A.** (2008) *A implementação de parques eólicos em Portugal: disponibilidades e condicionantes*. Dissertação de Mestrado. UL, Lisboa
- Santos, F. D.; Miranda, P.,**Eds. (2006) *Alterações climáticas em Portugal. Cenários, Impactes e Medidas de Adaptação*, Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa.
- Scherer, D. et al.** (1999) Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimising urban planning processes. *Atmospheric Environment*, 33: 4185-4193.
- Spronken-Smith, R. A.; Oke, T.R.** (1998) The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 2085-2104.
- Swaid, H.** (1993) Urban climate effects of artificial heat sources and ground shadowing by buildings. *International Journal of Climatology*, 13: 797-812.
- Thamm, H.P. et al.** (1999) Conflicting interests of planners, politicians and scientists in urban climatology as exemplified by the city of Freiburg i. br. Germany. 15th *International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, Macquarie University, Sydney, CD, 4p.
- Thommes, W. et al.** (2001) *Klima und Raumplanung*. Reklip. Regionales Klimaprojekt- Editions Coprur, Basel, Band 4.
- Tildes-Gomes, P.** Oscilações interanuais da precipitação na Europa e Península Ibérica. *Finisterra, Revista Portuguesa de Geografia*, XLVI(91), no prelo.

- Upmanis, H. et al.** (1999) The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). In *Influence of Parks on Local Climate*, Earth Sciences Center, University of Göteborg.
- Vasconcelos, J.** (2004) *Avaliação climática para o planeamento urbano de Lisboa*. Dissertação de Mestrado. UNL, Lisboa

Bibliografia complementar

- Alcoforado, M.J.** (1998) Estudos de Clima urbano em Portugal. In Fernández, Felipe et al. (eds) *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*. Madrid, Editorial Parteluz: 41-63.
- Alcoforado, M.J.; Dias, M.H.** (2002) *Imagens climáticas da região de Lisboa. Enquadramento na Diversidade Climática de Portugal Continental*. CEG, Lisboa.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Vasconcelos, J.; Vieira, R.** (2004) *Urban climate studies in Lisbon*. Área de Investigação em Geo-Ecologia, 1, CEG, Lisboa, 72.
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H.; Fragoso, M.; Lopes, A.; Lombardo, M.; Matzarakis, A.; Oliveira, S.** (2008) *Estudos sobre Cidades e Alterações Climáticas*. Área de Investigação em Geo-Ecologia, 8, CEG, Lisboa, 108p.
- Baker, L.A.; Brazel, A.J.; Selover, N.; Martin, C.; McIntyre, N.; Steiner, F.R.; Nelson, A.; Musacchio, L.** (2002) Urbanization and warming of Phoenix (Arizona, USA): Impacts, feedbacks and mitigation. *Urban Ecosyst.* 6:183–203.
- Benson, K.; Kocagil, P.; Shortle, J.** (2000) Climate change and health in the Mid-Atlantic Region. *Climate Research*, 14: 245–253
- Correia Guedes, M.** (2000) *Thermal Comfort and passive cooling design in southern European offices*, PhD Thesis, University of Cambridge, Cambridge
- Eliasson, I.** (1994) Urban-suburban-rural air temperature differences related to street geometry. *Physical Geography*, 15(1): 1-22.
- Eliasson, I.** (2000) The use of climatic knowledge in urban planning. *Landscape and urban planning*, 48: 31-44.
- Gill, S.E.; Handley, J.F.; Ennos, A.R.; Pauleit, S.** (2007) Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environ.* 33: 115–133.
- Giridharan, R.; Lau, S.S.Y.; Ganesan, S.; Givoni, B.** (2006) Urban design factors influencing urban heat island intensity in high rise high density environments of Hong Kong. *Build Environment* 42:3669-3684. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.09.011.
- Giridharan, R. et al.** (2004) Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 36: 525–534
- Givoni, B.** (1991) Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environment*, 25B:289–299.
- Golany, G. S.** (1996) Urban design morphology and thermal performance. *Atmospheric Environment*, 30(3): 455-465
- Hart, M.A.; Sailor, D.J.** (2009) Quantifying the influence of landuse and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 95:397-406. DOI: 10.1007/s00704-008-0017-5.
- London Climate Change Partnership (LCCP)** (2002) *A climate change impacts in London evaluation study*. Final Technical Report, Entec UK Ltd. 293 p.
- Marques, J.; Antunes, S.** (2009) A perigosidade natural da temperatura do ar em Portugal continental. A avaliação do risco de mortalidade. *Territorium*, 16, Coimbra: 49-61.
- Mills, G.** (2006) Progress toward sustainable settlements: A role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 84:69–76.
- Oliveira S, Andrade H** (2007) An initial assessment of the climatic comfort in an outdoor public space of Lisbon. *International Journal of Biometeorology*, 52(1): 69-84.
- Shashua-Bar, L.; Hoffman, M.E.** (2004) Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees. *Building and Environment*, 39(9): 1087-1099.
- Smith, C., and G. Levermore** (2008) Designing urban spaces and buildings to improve sustainability and quality of life in a warmer world. *Energy Policy* 36:4558–4562.
- Souch, C.; Grimmond, S.** (2006) Applied climatology: Urban climate. *Progress in Physical Geography*, 30: 270–279.

- Svensson, M.K.; Eliasson, I.** (2002) Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 61:37-54. doi:10.1016/S0169-2046(02)00076-2.
- Tol, R.S.J.; Fankhauser, S.; Smith, J.B.** (1998) The scope for adaptation to climate change: what can we learn from the impact literature? *Global Environmental Change*, 8(2):109–123.
- Tol, R.S.J.; Downing, T.E.; Kuik, O.J.; Smith, J.B.** (2004) Distributional aspects of climate change impacts. *Global Environmental Change, Part A* 14(3):259–272
- Tol, R.S.J.** (2005) Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods. *Environmental Science Policy*, 8(6): 572–578.
- Thorsson, S. et al.** (2004) Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in a park in Göteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 48: 149-156.
- Vieira, H. ;Vasconcelos, J.** (2003) Urban morphology characterisation to include in a GIS for climatic purposes in Lisbon. Discussion of two different methods. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Lodz, Polónia, University of Lodz, Poland: 1-4.

PARTE C

**PROPOSTAS DE
MATÉRIA PRÁTICA**

Nas aulas práticas poderão ser levadas a cabo tarefas diversas, além do apoio a um trabalho teórico-prático, que poderá ser realizado em grupo. Os pequenos exercícios práticos servirão de exemplos para outros que os estudantes terão de integrar no seu trabalho prático. Sugere-se, além disso, a análise de textos seleccionados e a elaboração de glossários temáticos.

Trabalho de grupo a desenvolver ao longo do semestre

Nesta disciplina, os estudantes poderão executar um estudo de climatologia urbana referente a uma pequena área (escala local). Será um trabalho de grupo e incluirá necessariamente aquisição e tratamento de dados, lançado na altura em que se apresenta o tema 2. Inclui-se, seguidamente, um exemplo-tipo de um trabalho prático de grupo, com a indicação metodológica das diversas fases de elaboração. Poderá parecer um pouco rígido, mas tem-se verificado que é necessário dar, de início, informações bem precisas, deixando que, no decorrer do trabalho, os estudantes (ou os grupos) prossigam o seu trabalho com pesquisa pessoal e imaginação.

Propõe-se que todos os estudantes partilhem a mesma área de estudo, devido ao pequeno número de instrumentos de que se dispõe. Em turmas pequenas, ou no caso de maior disponibilidade de equipamento, cada grupo poderá levar a cabo um trabalho em área à sua escolha.

1. Fases do trabalho

- 1ª fase: Definir o objectivo (por exemplo, a variação da temperatura do ar no Sul do Concelho X) e delimitar a área de estudo (não corresponderá provavelmente a um limite administrativo).
- 2ª fase: No gabinete, análise de mapas da área escolhida, a diversas escalas, marcação da localização das estações meteorológicas existentes (redes referidas no tema 2) na área de estudo e na sua vizinhança. Selecção, com a ajuda do docente, das formas de relevo ou tipos de uso do solo não documentados e dos pontos para a localização da rede fixa (referida também no tema 2) e dos pontos de observação nos percursos de medições itinerantes (ver 2.)
- 3ª fase: Saída de campo para confirmar a localização dos pontos das medições fixas e itinerantes e para completar a caracterização de cada ponto de observação. Serão também procurados elementos da paisagem que possam funcionar como indicadores climáticos. Deve ser explicado aos estudantes a importância deste trabalho prévio para a análise posterior. A escolha dos pontos depende da escala a que se trabalha. Por exemplo, H. Andrade (2003) utilizou uma rede “de

mesoescala” com sensores em locais abertos (elevado SVF) espalhados na cidade de Lisboa (Fig. 2.4 a, tema 2), ao passo que, para estudar parte do bairro de Telheiras, os seus critérios para a “rede de microescala” foram diferentes (Fig.2.4b, tema 2 e fig.C1): os sensores foram colocados em posições representativas da morfologia daquele bairro (ruas N-S e E-W, praças, sob as árvores, etc.). Das decisões tomadas nesta fase dependerão o tipo de resultados a obter e a fiabilidade dos mesmos. Na saída de campo, os estudantes poderão também manusear os aparelhos disponíveis, sob a orientação do docente.

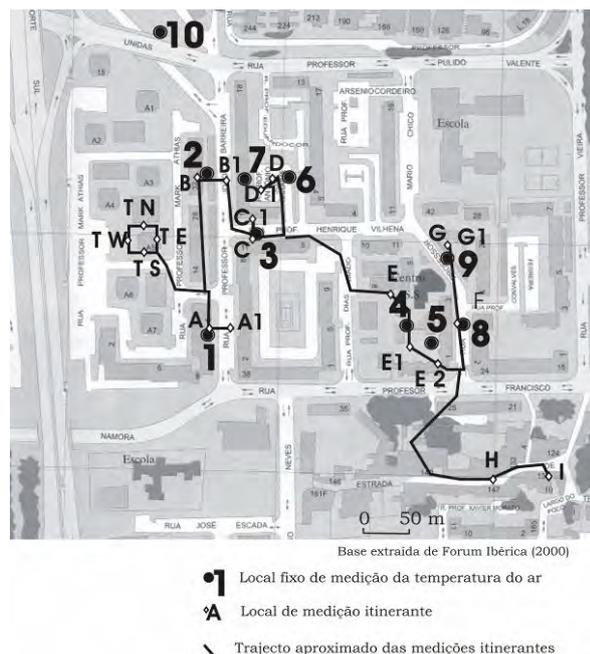


Fig. C.1. Locais da rede de microescala em Telheiras e pontos de observação das medições itinerantes (Andrade, 2003)

Depois do trabalho sobre mapas e/ou plantas e a observação no terreno (por exemplo para a determinação do H/W ou da orientação das ruas), os estudantes devem obter um quadro do tipo do seguinte com as características do local de observação.

	Altitude	Distância ao litoral (Sul)	Distância ao litoral (W)	Índice que exprima a posição topográfica	Exposição	SVF (ver tema 3)	H/W (ver tema 3)	Orientação das ruas etc...
Local 1								
Local 2, etc.								

4ª fase: Recolha de informação adicional considerada útil sobre a área de estudo. Certos estudantes terão interesse em analisar no PDM do Concelho ou em Planos de Pormenor, a forma como é tratado o clima e que problemas climáticos se põem. A selecção e leitura de trabalhos geográficos sobre a área de estudo é imprescindível.

5ª fase: Eventual utilização de imagens obtidas via satélite. No entanto, será na disciplina de Detecção Remota, que se poderá adquirir prática no tratamento de imagens.

6ª fase: Instalação dos sensores de temperatura e humidade e início das medições itinerantes em condições atmosféricas, que propiciem um maior contraste térmico espacial. Cada grupo terá de executar um percurso diurno e outro nocturno.

7ª fase: Interpretação dos resultados. Numa primeira fase, cada grupo analisará os dados obtidos em função do estado do tempo e a partir de procedimentos clássicos, perfis térmicos, mapas de isolinhas, etc. Ainda em relação aos seus próprios dados, cada grupo poderá tentar uma quantificação das relações entre factores geográficos (que terá tentado quantificar e registado no quadro, que acima se incluiu), por exemplo utilizando regressões múltiplas. Os dados das estações da rede de mesoscala poderão ser disponibilizados para os dias das medições itinerantes, se estas se realizarem em Lisboa.

8ª fase: Todos os dados serão postos em comum e os estudantes terão de mostrar alguma originalidade no tratamento estatístico dos mesmos, na apresentação dos resultados, cumprindo os objectivos que se fixaram no início ou na 4ª fase. Existem alguns programas simples de modelação numérica e outros que incluem Sistemas de Informação Geográfica.

A apresentação do clima regional funcionará como enquadramento do estudo na escala local. Algumas regras de redacção e de apresentação de bibliografia serão dadas aos estudantes.

2. Medições itinerantes

Nos seus primórdios, a Climatologia Urbana era considerada a “Ciência do bom tempo” (atmosférico). Uma vez que as maiores diferenciações climáticas espaciais ocorrem com calma atmosférica e nebulosidade fraca ou nula, as observações itinerantes – fonte dos primeiros dados – eram empreendidas unicamente nessas condições. Multiplicaram-se os estudos e os resultados eram apresentados sem indicação da representatividade temporal das observações itinerantes. Se, em países de clima continental da Europa, onde se levaram a cabo os primeiros trabalhos, as referidas condições atmosféricas são suficientemente frequentes para serem representativas do clima de determinada cidade, tal não acontece em muitos outros locais, em que a mesma técnica foi aplicada. Passado mais de um século sobre os primeiros resultados, o problema ainda não está resolvido, na maior parte dos locais, devido à falta de uma rede de estações urbana, correctamente localizadas e cujos dados sejam postos à disposição dos investigadores. Só com informação contínua no tempo é possível confrontar os estudos de variação espacial – cada vez mais sofisticados - com a informação sobre a representatividade temporal dos fenómenos estudados. Também, e sobretudo, para as vertentes aplicadas do clima urbano é essencial o desenvolvimento deste aspecto.

Os estudantes deverão encarar, com a precaução necessária, os resultados obtidos nas medições itinerantes do seu grupo. Por isso, é proposto aos alunos uma repetição dos mesmos percursos de medição, pelos diversos grupos, para que os resultados possam ser objecto de análise de conjunto e relacionados com o estado do tempo na altura das medições.

No tema 2, estão listados outros modos de levar a cabo monitorização de informação climática, com equipamentos mais sofisticados e meios financeiros mais avultados, normalmente no âmbito de grandes projectos internacionais. Mesmo na era da modelação, que os estudantes terão oportunidade de praticar mais adiante, a aquisição de informação de base não deve ser descurada, pois é essencial para a construção dos modelos e a sua validação.

Exercícios para ilustração de temas teóricos e para aprendizagem de técnicas

Os temas abaixo indicados são apenas propostas a discutir com os estudantes e não serão realizados todos, cada vez que a cadeira for leccionada.

Tema 2

Visita ao Instituto de Meteorologia. Observação do lançamento do balão-sonda; observação do parque de Instrumentos; visita ao departamento de previsão do Tempo.

Tema 3

a) Cálculo da altura do Sol num determinado local e certa data do ano, assim como do fluxo de radiação em superfícies inclinadas, precedidos por indicações sobre cálculos básicos necessários como a declinação e o azimute do Sol. Depois de feitos um ou dois exemplos manualmente, serão indicados sítios na Internet, dos quais estes parâmetros podem ser retirados como, por exemplo, <http://soda.cma.fr/SoDa/SoDa.html>

b) Ritmo diário dos vários parâmetros do balanço radiativo. Depois de apresentados alguns exemplos clássicos (como Oke, 1988, figuras 8, 9, 10, 11 e 12), serão comentadas medições, feitas pelos estudantes com um piranómetro e um pirgeómetro (K e L, nos vários sentidos) no *campus* universitários, em vários locais (pátio, relvado, sob a copa das árvores). A utilizar no trabalho, caso seja possível levar a cabo medições de K e de L.

c) Treino na utilização do programa *Rayman*. Representação de um local no *Rayman* com o respectivo SVF e cálculo do período de insolação em diferentes dias. Conhecimentos a utilizar na 3ª fase do trabalho.

d) Modelação de diversos termos do balanço energético a partir de um SIG . Análise das figuras 9.5 e 9.7 (Lopes, 2003), onde estão incluídos os passos necessários para o cálculo de diversos termos do balanço energético. Se o número de estudantes o permitir, serão feitas aplicações práticas de utilização de um algoritmo para a transformação de radiâncias em temperaturas (tipo *split window*).

Tema 4

a) Percursos de medição de temperaturas de superfície com um radiómetro portátil, no campus universitário e análise dos resultados



Fig. C.2. Radiómetro de superfície

b) Treino na interpretação de regressões múltiplas, em que a variável independente é a temperatura do ar (medida pelos estudantes na 6ª fase do trabalho) e as variáveis independentes são aquelas que exprimem, de forma quantitativa, os factores geográficos (escalas local e microclimática) que a influenciam (7ª fase do trabalho).

c) Interpretação dos resultados das observações itinerantes (6ª fase do trabalho), em função do estado do tempo e da situação sinóptica, a partir da utilização do Boletim Meteorológico Diário e de outra informação extraída da *Internet*. Servirá para completar a 7ª fase do trabalho.

Tema 7

Visita ao Laboratório de Engenharia Civil, para assistir a um ensaio de modelação física em túnel aerodinâmico.

Tema 8

Estudo de episódios de “picos de poluição” (tal como em Andrade, 1996), das suas causas e consequências a partir de informação sobre a concentração de um poluente durante um determinado período (por exemplo, um mês) e num certo local, sua interpretação em função de informação relativa à estrutura térmica vertical da atmosfera e dados da estação meteorológica sinóptica mais próxima, assim como de análise de cartas sinópticas. Encontram-se alguns dados de qualidade do ar nos sítios referidos no tema 7. A inclusão deste tipo de dados no trabalho dependerá do objectivo delineado para o mesmo e a disponibilidade da informação.

Tema 10

Medição de H/W em diversas ruas e estudo da relação com a temperatura do ar.

No tema 10, ficou clara a necessidade de tradução da informação climática para que possa ser útil. Um dos modos de o conseguir é de realizar mapas a uma escala conveniente, baseados em toda a informação disponível ou adquirida para o efeito, tanto para o conjunto de uma cidade (escala mesoclimática), como para áreas “não consolidadas” (na escala local ou microclimática). A apresentação de mapas de análise climática e de orientações para o planeamento, realizados na Alemanha e na Suíça, e de que já foram feitas experiências para Lisboa, poderá dar algumas ideias aos estudantes para a 8ª fase do trabalho.

É importante para qualquer tipo de representação cartográfica é dispor de uma “base” adequada que, na maior parte das vezes, tem de ser elaborada: delimitação de áreas homogéneas do ponto de vista das características físicas da cidade (fig. C3; Alcoforado et al., 2005 e 2009).

Exemplo de informação espacializada a utilizar

Altura dos prédios	}	Morfologia urbana (Fig. C3a)
Percentagem de área construída		
Espaços verdes	}	Classes de ventilação (Fig. C3b)
Relevo (morfologia)		
Padrões de ventilação		

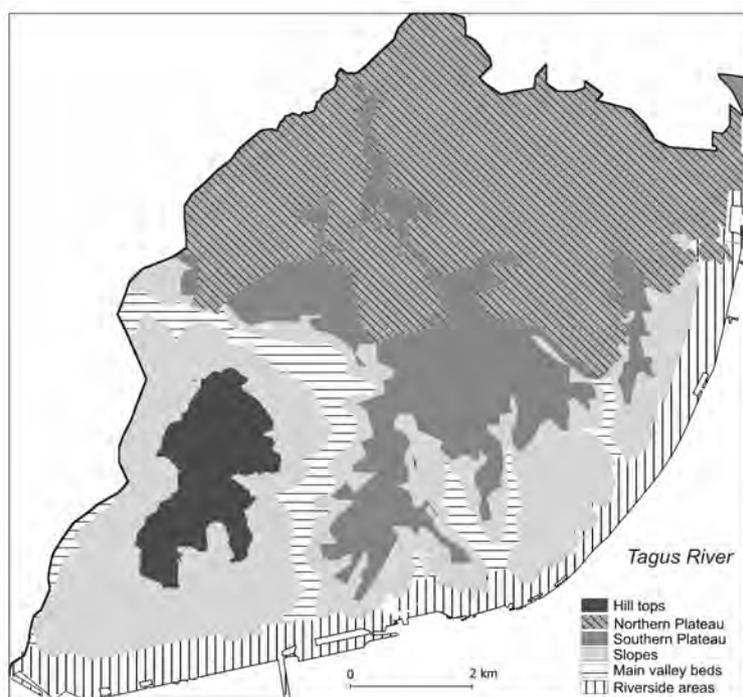
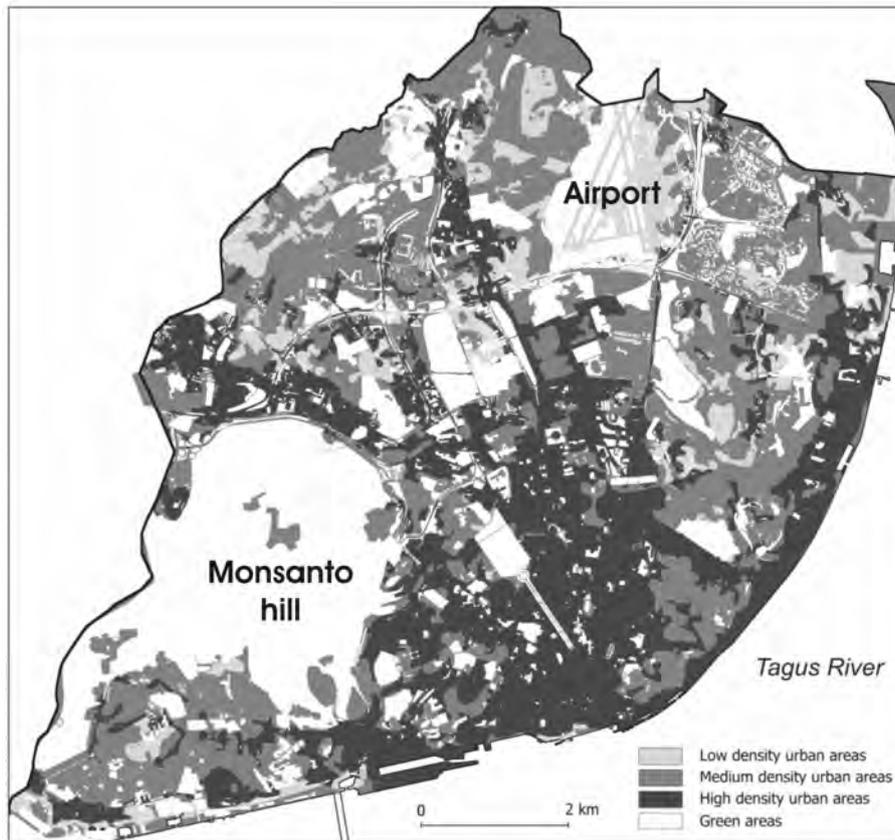


Fig.C.3. Mapas da morfologia e das “classes de ventilação” de Lisboa (Alcoforado et al., 2009)

A modelação física e numérica, referida, em 3, não poderá, salvo raras excepções, ser levada a cabo no âmbito da disciplina.

Análise e discussão de textos

Análise e discussão de textos, relativos à matéria teórica, mas que serão também utilizados, seja para a redacção da introdução teórica do trabalho, seja para retirar sugestões para o desenvolvimento do mesmo. Serão escolhidos na bibliografia referente ao tema. Para cada sessão, poderá haver um estudante (ou um grupo) encarregue de pesquisar outros textos sobre o mesmo tema, mais recentes, com diferentes perspectivas, ou referentes a outros climas regionais, que poderão ser confrontadas nas aulas. Paralelamente, propõe-se a elaboração de glossários temáticos.

Siglas e abreviaturas utilizadas

E – Evapotranspiração

F - água libertada para a atmosfera por combustão

H/W – *Height/Width* – razão entre a altura dos prédios e a largura das ruas, que pode substituir a fracção visível da abóbada celeste (Sky View Factor, SVF)

I - contributo de água canalizada a partir de rios e barragens

IAUC - *International Association on Urban Climate*

$K \downarrow$ - Radiação global (directa + difusa) (pequeno comprimento de onda)

$K \uparrow$ – Radiação reflectida (pequeno comprimento de onda)

K^* - Balanço de radiação (pequeno comprimento de onda)

$L \uparrow$ – Radiação emitida pela superfície da terra (grande comprimento de onda)

$L \downarrow$ - Radiação emitida pela atmosfera (grande comprimento de onda)

L^* - Balanço de radiação (grande comprimento de onda)

P – Precipitação

PCI - *Park cool island*, ilha de frescura num espaço verde

PET – *Physiological Equivalent Temperature*

Q^* - Balanço de radiação

QE – Fluxo de calor latente

QF – Fluxo de calor antrópico

QH – Fluxo de calor sensível

SVF – *Sky-view factor*: fracção visível da abóbada celeste

UBL – *Urban boundary Layer – Atmosfera urbana superior*

UCL – *Urban canopy Layer – Atmosfera urbana inferior*

UHIC - *Urban heat island circulation*, circulação induzida pela ilha de calor urbana.

z_0 - *Roughness length* – Parâmetro de rugosidade

ΔA – Advecção de vapor de água e gotas de água de/para o volume de ar urbano

ΔQA - Advecção

ΔQS – Fluxo de calor armazenado no solo

Δr - escoamento

ΔS - Água armazenada na cidade (solo, edifícios e ar da *urban canopy layer*)

ΔT_{u-r} - intensidade da ilha de calor urbana

Publicações do Núcleo CliMA

- 2009: Neto C - Fitogeografia de Portugal. Núcleo CliMA, 2: 246 p.
- 2009: Alcoforado M J, Alegria M F, Ramos Pereira A, Sirgado C - Domínios Bioclimáticos em Portugal, Definidos por Comparação dos Índices de Gaussen e de Emberger (3ª edição), 8. Núcleo CliMA, 1: 59 p.

Publicações da Área de Investigação de Geo-Ecologia (A.I.G-E.)

- 2008: Alcoforado M J, Andrade, H, Fragoso, M, Lopes, A, Matzarakis, A, Oliveira, S - Estudos sobre Cidades e Alterações Climáticas. A.I.G-E., 8: 108 p.
- 2007: Dias MH - Cartografia Temática: Programa. A.I.G-E, 6:146 p.
- 2006: Mora C - Climas Locais da Serra da Estrela. Características Regionais e Particularidades Locais dos Planaltos e do Alto Vale do Zêzere. A.I.G-E., 7 [CD].
- 2005: Andrade H, Vieira R - Estudo Climático de Um Espaço Verde de Lisboa: o Jardim da Gulbenkian. A.I.G-E., 5: 45 p.
- 2005: Alcoforado M J, Lopes A, Andrade H, Vasconcelos J - Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa. A.I.G-E, 4: 81 p.
- 2005: Dias M H, Garcia J C, Almeida A F de, Moreira L (coord.) - Cartografia Militar Portuguesa dos Séculos XVIII e XIX: Cartas, Plantas, Esboços e Projectos [CD].
- 2005: Lopes A - Modificações no Clima de Lisboa como Consequência do Crescimento Urbano. Vento, Ilha de Calor de Superfície e Balanço Energético. A.I.G-E, 3 [CD].
- 2004: Taborda J P, Alcoforado M J, Garcia J C - O Clima do Sul de Portugal no Século XVIII. Reconstituição a Partir de Fontes Descritivas e Instrumentais. A.I.G-E., 2: 211 p.
- 2004: Vários (eds.) - Urban Climate Studies in Lisbon. A.I.G-E., 1: 72 p.
- 2003: Dias M H (coord.) - Contributos para a História da Cartografia Militar Portuguesa. CEG-IgeoE [CD].
- 2002: Alcoforado M J, Dias M H - Imagens Climáticas da Região de Lisboa. A.I.G-E. [CD].
- 1997: Neto C S - A Flora e a Vegetação dos Meios Palustres do Superdistrito Sadense. A.I.G-E., 96 p.