

ESTUDO CLIMÁTICO DE UM
ESPAÇO VERDE DE LISBOA:
O JARDIM DA FUNDAÇÃO
CALOUSTE GULBENKIAN



CENTRO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS

ÁREA DE INVESTIGAÇÃO DE GEO-ECOLOGIA
Universidade de Lisboa

2005

Henrique Andrade
Rute Vieira

**ESTUDO CLIMÁTICO DE UM ESPAÇO VERDE DE LISBOA:
O JARDIM DA FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN**

Henrique Andrade
Rute Vieira

Área de Investigação de Geo-Ecologia
Centro de Estudos Geográficos
Universidade de Lisboa
Relatório nº 5
2005

Ficha técnica

Título: Estudo climático de um espaço verde de Lisboa: o Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian

Autores: Henrique Andrade, Rute Vieira

Unidade de Investigação: 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 -10: 972-636-166-4

ISBN -13: 978-972-636-166-4

Índice

Resumo	5
<i>Abstract</i>	6
I. Introdução	9
II. Funções climáticas dos espaços verdes urbanos	13
III. Caracterização local e microclimática do Jardim Calouste Gulbenkian	19
1. Estudo local	19
1.1. Métodos	19
1.2. Análise dos resultados	22
1.2.1. Temperatura de superfície	22
1.2.2 Temperatura do ar	23
2. Estudo microclimático	35
2.1. Métodos	35
2.2. Análise dos resultados	35
Conclusão	39
Apêndice	41
Bibliografia	43

Este estudo foi elaborado no âmbito do projecto “Princípios climáticos para o planeamento e o ordenamento urbano em Lisboa”, por solicitação do Departamento de Planeamento Estratégico da C.M.L. e foi financiado pela Câmara Municipal de Lisboa

Os autores agradecem à Fundação Calouste Gulbenkian as facilidades concedidas para a realização deste trabalho; um agradecimento particular deve ser endereçado ao Eng. Morgado Fonseca. É também necessário referir que o equipamento utilizado na medição da radiação foi adquirido oferecido pela Fundação Calouste Gulbenkian. À Prof. Maria João Alcoforado agradecem a leitura crítica do texto e os conselhos indispensáveis à conclusão deste relatório. À D^{ra} Sandra Oliveira agradecem o auxílio na revisão e formatação do texto e na tradução dos títulos das figuras e quadros.

Resumo

Foram efectuadas medições de diferentes parâmetros climáticos no Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian, em Lisboa, com dois objectivos: a) analisar o contraste climático entre o espaço verde e a área construída envolvente (escala local) tanto de dia como de noite e b) conhecer a diferenciação microclimática no interior do espaço verde, no período diurno. Numa primeira parte, foi feita uma síntese das principais influências dos espaços verdes sobre o clima urbano, com base na bibliografia. O estudo climático local baseou-se em medições de temperatura do ar, com sensores fixos colocados a cerca de 3 m de altura, no interior e no exterior do Jardim, durante cerca de 117 dias nos Verões de 2004 e 2005 e ainda em 10 dias de Outono e 12 dias de Inverno.

A análise das diferenças entre o espaço verde e a área envolvente baseou-se no cálculo da “ilha de frescura do parque”: $\text{Dif max}_t = T_{\text{max}_{ut}} - T_{\text{min}_{vt}}$, em que $T_{\text{max}_{ut}}$ e $T_{\text{min}_{vt}}$ correspondem, respectivamente, às temperaturas mais elevadas e mais baixa medidas na área construída e no espaço verde, num dado momento. Foi calculada também a $\text{Dif med}_t = \text{med}_{ut} - \text{med}_{vt}$, com a diferença entre os valores medianos de temperatura do ar na área construída e no espaço verde, num dado momento.

Na escala microclimática foram feitas medições diurnas de seis parâmetros (temperatura e humidade do ar, velocidade do vento e radiação solar e infra-vermelha), em diferentes micro-ambientes no interior do espaço verde. A integração de todos os parâmetros atmosféricos foi feita através do cálculo da temperatura Fisiológica (*Physiological Equivalent Temperature*).

O espaço verde foi mais fresco do que a área envolvente tanto de dia como de noite, em todas as estações do ano, mas especialmente no Verão e no Outono. Nos dias de Verão, as diferenças medianas entre o Jardim e a área envolvente situaram-se com muita frequência entre 1.0°C e 1.5°C, enquanto os valores extremos de Dif max_t chegaram a atingir 9.0°C, em situações de tempo muito quente e seco. Isto vem demonstrar a importância dos espaços verdes na mitigação dos efeitos das vagas de calor.

As diferenças de temperatura referidas foram calculadas sem ter em consideração os contrastes na exposição à radiação solar directa. Obviamente, os locais ao sol foram sempre mais quentes do que os locais à sombra, independentemente de se situarem dentro ou fora do espaço verde. Para avaliar em que medida o espaço verde influencia a temperatura do ar, independentemente da exposição solar, foram comparados locais em idênticas condições de insolação. Os locais no interior do Jardim foram sempre mais frescos do que os do exterior: ao sol, a diferença foi de 2°C a 3°C e, à sombra, atingiu 5°C.

Durante a noite, o parque foi também mais fresco do que a área envolvente, embora com uma diferença inferior à diurna (Dif med_t de 0.8°C; diferenças extremas de cerca de 4.0°C). Um importante factor condicionante da temperatura nocturna é o *Sky View Factor* (SVF); locais com um SVF elevado terão temperaturas mais baixas, independentemente da sua localização no espaço verde. Foi por isso analisada a influência deste factor sobre o campo térmico, tendo-se concluído que a localização no interior do espaço verde é mais importante para o comportamento térmico de cada local do que o SVF.

Na escala microclimática, foram analisadas as diferenças diurnas entre diferentes ambientes no interior do espaço verde, no período de Verão. As diferenças mais importantes foram observadas na radiação solar e na temperatura radiativa média (T_{mrt}). O fluxo de radiação solar nas áreas à sombra foi, em média, 12% do que foi medido nas áreas ao sol. As diferenças na temperatura do ar foram muito inferiores (apenas 2°C, em média), mas o resultado termofisiológico demonstra claramente a importância da sombra, em dias de Verão (a diferença média de PET foi 18.5°C). Para além disso, observou-se que, sob maciços de árvores, a redução da radiação solar foi muito maior do que sob árvores isoladas; estas diferenças deveram-se sobretudo à redução dos fluxos laterais de radiação difusa: sob árvores isoladas, estes últimos foram 9 vezes inferiores aos registados sob grupos de árvores, enquanto o fluxo através da copa foi apenas 4.1 vezes menor.

Abstract

CLIMATIC STUDY OF A GREEN SPACE OF LISBON: THE CALOUSTE GULBENKIAN FOUNDATION PARK

Measurements of various climatic parameters were carried out in Calouste Gulbenkian Foundation Park, an average-sized green space (8.5 ha) in central Lisbon (fig. 1). The objectives were twofold: a) to measure the thermal differentiation between the park and the neighbouring urban area (local scale) during the day and at night; and b) to analyse the daytime microclimatic differentiation within the green space itself. The first part of the paper is a synthesis of the main influences of the green areas in urban climate; green spaces contribute to attenuating the effects of the Urban Heat Island, which is particularly important in a context of global warming. The climatic specificities of green spaces are mainly due to the reduction of incident solar radiation at the ground level under tree covering and to the increment in latent heat flux due to evapotranspiration. Contrasts within green areas create a mosaic of microclimatic conditions which are favourable to a variety of uses under different weather conditions.

In order to achieve the former objective (local scale), several air temperature measurement devices were set up both within and outside the park (fig. 2), at a height of around 3m. The air temperature was recorded every 10 minutes. The analysis of the results was made using the average value for each 30 minute period. The sensors gathered data over 117 days in the summers of 2004 and 2005, as well as during 10 days in the autumn and 12 days in winter.

In order to analyse the differences between the park and the surrounding built-up area, the park cool island was calculated: $Dif\ max_t = T_{max_{ut}} - T_{min_{vt}}$, with $T_{max_{ut}}$ and $T_{min_{vt}}$ as the maximum and minimum temperatures in the built-up area and the park, respectively; besides estimating $Dif\ max_t$, the median of the differences between the temperatures in the built-up area and the park at any given moment, which was designated as the median park cool island ($Dif\ med_t$), was also calculated.

At the microclimatic scale, six itinerant measurements of the air temperature, relative humidity, wind speed and solar and infra-red radiation were carried out in several different micro-environments within the park. All the measurements were made during daytime, the period in which the park is subject to greatest use. In order to integrate all the atmospheric parameters in a physiologically significant way, the Physiological Equivalent Temperature (PET) was calculated.

The local scale study confirmed that the Park is cooler than the surrounding built-up area both during the daytime and at night and in all the seasons, but especially so in the summer and autumn (tables V and VI); in winter time, the differences were usually much less significant. It should be borne in mind that the measurement periods were much shorter in the autumn and winter than in the summer. Therefore, the results for the latter seasonal period are much more consistent. Moreover, due to the fact that the particular period in the autumn in which the measurements were carried out was very hot and dry, the thermal behaviour was in fact very similar to that of a summer period.

The daytime differences were more significant than the nighttime ones. In the summer daytime, the median differences were most commonly between 1 and 1.5°C, although extreme values of $Dif\ max_t$ above 9°C could also be found; these extreme differences occurred under very hot and dry weather conditions. The largest nighttime differences also occurred under hot and (mainly) dry conditions. This demonstrated the importance of the urban green spaces in terms of locally mitigating the heat waves, which can have dangerous effects upon the human health.

The aforementioned daytime differences between the park and the surrounding built-up area were computed without taking into account the exposure to direct solar radiation. Obviously, the places in the sun were always hotter than those in the shade, regardless of being located inside the park or not.

In order to find out the extent to which the park contributes to the cooling of the atmosphere, independently of the solar exposure effect, a comparison was made between measurement places under identical conditions of exposure to direct solar radiation inside and outside the park (figures 3 and 4). The sites inside the park were always cooler than the sites outside: under the sun (fig. 4), the temperature inside the garden was 2 to 3° C lower than that in the built area; the differences between the places in the shade were even larger, reaching 5°C.

During the nighttime (fig. 8), the level of thermal differentiation was found to be lower, but still the park was almost always cooler than the built-up area in all the seasons. As has been amply discussed, the night time urban temperatures are highly dependent upon the Sky View Factor (SVF). This parameter is often higher in green areas, although this is not a general rule. It is important to understand the extent to which the lower temperatures that can be found inside green areas are merely a consequence of a higher SVF (in which case it is the geometry of the place that is important, rather than effect of being located inside a green space). By comparing two measuring sites, J2 (inside the park, with dense arboreal coverage and SVF = 0.16) and E4 (in an open space outside the park, with SVF = 0.75), it was found that the former site (J2, inside the park) was almost always cooler than E4, with a statistically significant median difference of 0.8°C ($F=27.3$ to $df = 1, 2220$; probability level = 0.95). This indicates that the effect of being located inside the green space is more important for the thermal environment than the SVF.

At the microclimatic scale, the daytime differences between several measurement sites inside the park were analysed. As might be expected, the most significant differences were found to occur with regard to solar radiation (and, consequently, mean radiant temperature), while microclimatic variations of infra-red radiation, wind speed and air temperature, though present as well, have a less significant impact upon the bioclimatic conditions. The solar radiation flux in the shaded areas averaged 12% of that recorded in the places subject to direct sunlight. The differences in the air temperature were much smaller (only around 2°C), but the thermophysiological result clearly demonstrates the importance of shade in the summer days (the mean difference in the PET was 18.5°C). Moreover, it was found that groups of trees cause a much greater reduction in solar radiation than isolated trees: in one site under a group of trees, a reduction in solar radiation of 94 % was recorded, and the mean T_{mrt} was 26°C; in the same period, under an isolated tree, the reduction in solar radiation was only 76 % and the mean T_{mrt} was 33°C. This difference was mainly due to the lateral fluxes of diffuse radiation, which under isolated trees were 9 times as high as those under groups of trees, whereas the vertical fluxes (which penetrate through the tree top) were only 4.1 times as high.

I. Introdução

Os **espaços verdes urbanos** têm importantes funções biofísicas, sociais e culturais. É geralmente reconhecida a sua importância na melhoria da **qualidade de vida** dos cidadãos e na criação de uma **imagem atractiva** (e competitiva) das áreas urbanas (Telles, 1997, Givoni, 1998; Santamouris, 2001; G.L.A., 2001; Baycan-Levent *et al.* 2002; Andrade, 2003).

Do ponto de vista biofísico, são apontadas aos espaços verdes diversos benefícios **climáticos, hidrológicos e biológicos**. Num contexto de **degradação ambiental** urbana e global, essas funções assumem uma importância crescente.

Contudo, o reconhecimento dessas vantagens, nomeadamente no aspecto climático (o qual é o tema deste relatório), nem sempre se baseia em **estudos devidamente fundamentados**, passando muitas vezes por ideias gerais, imprecisas e mesmo, em certos casos, incorrectas. Se faltam bases claras relativamente aos benefícios climáticos dos espaços verdes urbanos, em geral, essa falta é ainda mais sentida em relação a um **contexto urbano e climático particular**, como o de **Lisboa**.

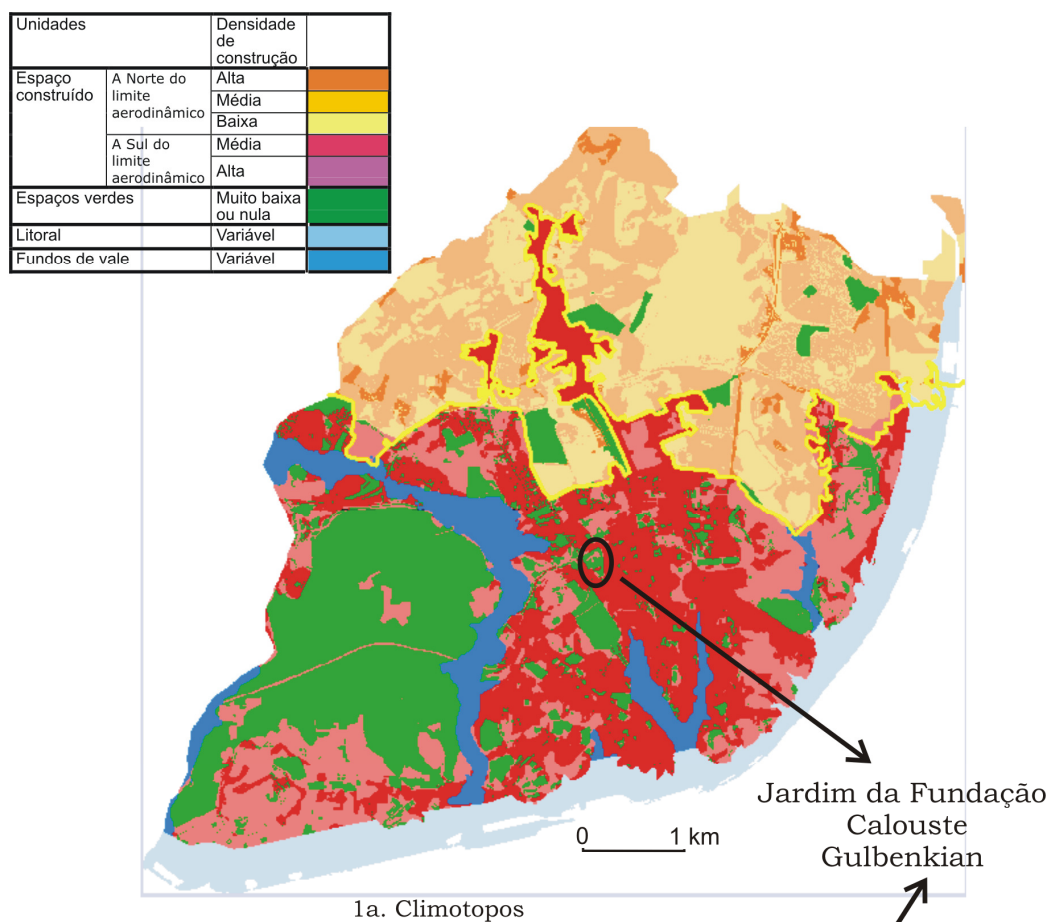
Neste relatório são apresentados os resultados do **estudo do clima do Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian** (fig. 1), com objectivo de contribuir para o conhecimento do comportamento climático dos espaços verdes de Lisboa. O estudo foi desenvolvido no âmbito de um **projecto entre a CML e o CEG** (Área de investigação em Geo-ecologia); no âmbito do mesmo projecto, foi já apresentado um relatório (Orientações climáticas para o planeamento e o ordenamento em Lisboa, Alcoforado *et al.*, 2005), no qual se fazem algumas considerações sobre o papel dos espaços verdes em Lisboa; no presente relatório, esses aspectos são desenvolvidos e aprofundados. Os estudos aqui apresentados vêm na continuidade de outros, levados a cabo no CEG desde há mais de 20 anos, sobre o clima urbano de Lisboa (Alcoforado, 1985; 1986; 1987; 1991; 1992a; 1992b, 1998; Alcoforado e Andrade, 2005; Alcoforado e Vieira, 2004; Alcoforado *et al.*, 1995, 1999, 2000; 2003, 2005; Andrade, 1994, 1998, 2003a; 2003b; Andrade e Lopes, 1999; Andrade e Alcoforado, aceite para publicação; Lopes, 1994, 1998, 2003; Lopes *et al.*, 2001; Lopes e Vieira, 2001; 2002).

Na classificação de classes de ventilação e de unidades homogéneas quanto à topografia e morfologia urbana (designadas na figura 1 como climoptopos¹), apresentada em Alcoforado *et al.* (2005), a área onde se situa o espaço verde em estudo foi enquadrada no Planalto Sul de Lisboa, sendo o Jardim envolvido por áreas construídas alta e média densidade. São, no essencial, áreas já consolidadas, em que a possibilidade de alterar a estrutura urbana é muito reduzida. Uma das orientações climáticas incluídas no referido relatório, referentes a essas áreas, é a **maximização da área ocupada por espaços verdes**, assumindo-se que estes têm uma função positiva no clima da cidade, sobretudo (mas não exclusivamente), através da **mitigação da Ilha de Calor Urbano**. Com o estudo apresentado neste relatório pretende-se, precisamente, testar a validade dessa orientação.

A **escolha do Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian** para este estudo obedeceu a diversos critérios: a sua condição de espaço verde de médias dimensões (8.5 ha²), na área central da cidade (Avenidas Novas), o que o torna particularmente interessante como “caso de estudo”; as características do relevo da área, relativamente plana, tornando os resultados independentes da topografia, factor que interfere com o comportamento climático de muitos espaços verdes, tornando mais difícil a generalização dos resultados; por fim, mas não menos importante, o facto de ser um espaço verde fechado e vigiado, proporcionando condições de segurança para a realização de diferentes actividades de investigação.

¹ As áreas da cidade com características físicas homogéneas e que apresentarão uma “resposta” climática semelhante (correspondentes, portanto, a diferentes topoclimas - Andrade, 2005), têm sido designadas como climotopos, “unidades climo-topológicas”, (Alcoforado, 1999) ou morfo-topográficas (Alcoforado *et al.*, 2005b).

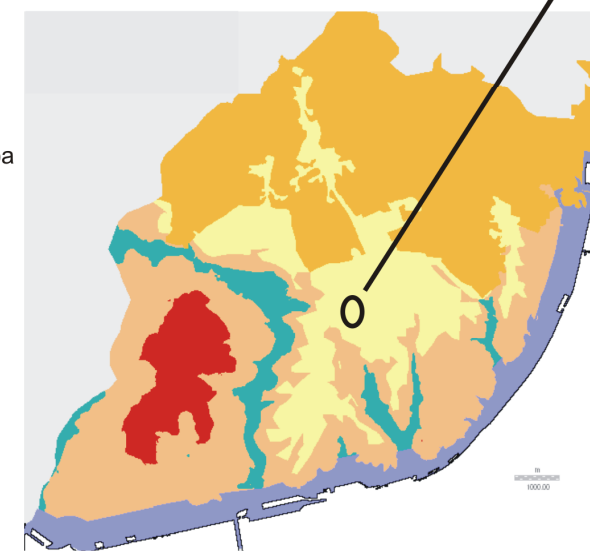
² Desses 8.5 ha, apenas 6.0 pertencem à Fundação Calouste Gulbenkian. Contudo, o Parque da Fundação é contíguo, a Sul, com outro espaço verde, de propriedade particular. Dada a continuidade entre os dois espaços verdes, estes podem ser considerados como uma unidade de ocupação do solo.



- Monsanto
- Vertentes
- Vales
- Planalto Sul de Lisboa
- Planalto Norte de Lisboa
- Faixa ribeirinha

Figura 1. O Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian no espaço urbano de Lisboa (Alcoforado et al., 2005)

Figure 1. The Calouste Gulbenkian Foundation Park in the urban space of Lisbon (Alcoforado et al., 2005)



O estudo foi levado a cabo em 2004 e 2005, tendo sido desenvolvido em duas perspectivas:

- Objectivo 1 - Análise da **diferenciação do espaço verde em relação à área construída envolvente** (escala climática local);
- Objectivo 2 - Análise da **diferenciação microclimática no interior do espaço verde**, em função das características da vegetação, cobertura do solo, posição no interior do espaço verde e disposição e características dos edifícios.

O trabalho baseou-se em medições de diferentes variáveis climáticas (equipamento utilizado descrito no quadro I) e, de forma complementar, na análise de uma imagem de satélite *LandSat*.

Como foi referido, os benefícios climáticos dos espaços verdes urbanos, embora muitas vezes referidos, raras vezes são explicados ou comprovados com dados concretos. Como ponto de partida para o estudo que adiante se apresenta, sintetizam-se os estudos já efectuados.

Quadro I. Equipamento utilizado nas observações no Jardim Calouste Gulbenkian

Table I. Equipment used in the measurements in the Calouste Gulbenkian Park

Parâmetros	Aparelho
Temperatura do ar	Registador de temperatura do ar <i>Tiny Talk – Gemini Data Loggers</i>
	Termo- higrómetro <i>Rotronic A1</i>
Humidade relativa	
Velocidade do vento	Anemómetro <i>Kestrel 3000 Neilsen-Kellerman</i>
Radiação solar	Piranómetro <i>CM 21 Kipp & Zonen</i>
Radiação infra - Vermelha	Pirgeómetro <i>CG1 Kipp & Zonen</i>

II. Funções climáticas dos espaços verdes urbanos.

Como em relação a outros aspectos do clima urbano, a noção de **escala** é importante para a compreensão do papel da vegetação na cidade. É possível distinguir desde o efeito de plantas individuais (por exemplo, árvores isoladas) até ao de extensas áreas verdes (grandes parques urbanos e mesmo áreas florestais urbanas e suburbanas). Com base em Oke (1987, 1989, 2004), Spronken-Smith e Oke (1998), Alcoforado (1992b, 1996, 1999) e Andrade (2005). Procurou sintetizar-se a classificação das consequências climáticas dos espaços verdes de acordo com a sua escala (Quadro II). Nesta classificação foram tidos em conta dois aspectos diferentes: por um lado, os efeitos dos espaços verdes, considerados como “entidades individuais”, em relação ao espaço construído envolvente (Quadro II.a); neste caso, como é evidente, a escala da influência do espaço verde prende-se, essencialmente, com a sua dimensão; por outro lado, a escala da diferenciação climática, no interior de cada espaço verde, em função de condições como o tipo de vegetação, a topografia, etc.(Quadro II.b). Não se pretende, com este esquema, classificar os fenómenos de forma rígida, mas definir um quadro conceptual que ajude a compreender, por um lado, o papel da vegetação no meio urbano e, por outro lado, a diferenciação climática no interior dos espaços verdes.

Na influência climática dos espaços verdes, **a diferentes escalas**, é possível, por outro lado, distinguir diversos **níveis de complexidade**:

- Influência dos espaços verdes sobre os **balanços de radiação e de energia**, hídrico e de quantidade de movimento (ver apêndice); apenas os balanços de radiação e de energia são aqui sucintamente abordados;
- Influência sobre **elementos climáticos** individuais, como a temperatura do ar e a velocidade do vento;
- Influência combinada dos elementos climáticos sobre o **balanço energético do corpo humano** (apêndice), com reflexo sobre a saúde e o conforto térmico.

Quadro II. Escalas dos principais efeitos climáticos dos espaços verdes urbanos

Table II. Scales of the main climatic effects of the urban green spaces

II.a. Classificação de acordo com a superfície dos espaços verdes

II.a. Classification according to the surface of the green spaces

Escala climática	Dimensões características	Exemplos em Lisboa
Micro	Plantas individuais, alinhamentos de árvores, pequenos espaços verdes (poucas dezenas de metros)	Espaços verdes interiores dos bairros
Local	Espaços verdes individuais com dimensões típicas de algumas dezenas a poucos milhares de metros	Jardim Gulbenkian
Mesoscala	Conjunto da vegetação urbana	Conjunto da vegetação de Lisboa
	Grandes espaços verdes urbanos (vários kms de extensão)	Parque de Monsanto

II.b. Diferenciação no interior dos espaços verdes

II.b. Differentiation inside the green spaces

Micro	Áreas até algumas dezenas de metros com diferente vegetação, condições topográficas, etc.	Diferenciação entre áreas arborizadas e relvadas no interior dos espaços verdes
Local	Áreas superiores a algumas dezenas de metros, no interior de espaços verdes extensos, com diferenças quanto à vegetação, topografia, exposição, etc.	Diferenciação entre as vertentes Norte e Sul de Monsanto

Paralelamente aos aspectos indicados, é referida habitualmente a influência dos espaços verdes sobre o **ruído e a qualidade do ar**, que constituem importantes factores da qualidade do ambiente urbano. Esses aspectos não são tratados neste relatório; alguma informação pode ser encontrada, por exemplo, em Givoni (1998), Beckett *et al.* (1998), Kuttler e Strassburger (1999) e Upamnis *et al.* (2001).

Procurou-se, no Quadro III, sintetizar as principais modificações que os espaços verdes urbanos provocam nas condições climáticas.

Os efeitos sobre o **campo de vento** são complexos: correspondem em geral a uma diminuição da velocidade do vento quando a densidade da vegetação aumenta; extensas áreas abertas podem ter efeitos contrários e, por outro lado, a disposição das árvores pode criar efeitos pontuais de atenuação ou de aceleração. A vegetação tem, além disso, a vantagem de reduzir a velocidade do vento de forma limitada (actuando como um filtro) **atenuando os valores extremos** mas mantendo um **movimento do ar suficiente** para as necessidades de ventilação.

Os espaços verdes extensos, ao criar fortes contrastes térmicos com as áreas envolventes podem originar, em noites calmas e com céu limpo, **sistemas locais de advecção (brisas de parque** – Oke, 1987; 1989; Eliasson e Upmanis, 2000), correspondentes a um fluxo divergente a partir dos parques, fraco (valores observados inferiores a 0.5 m/s), com alcance e espessura reduzidos. As consequências das brisas do parque sobre a qualidade do ar podem ser complexas: em princípio são positivas, permitindo a advecção de ar fresco e limpo sob a camada de inversão; contudo, a interacção com outros sistemas de advecção pode criar efeitos negativos.

Sintetizando, as principais modificações climáticas induzidas pelos espaços verdes contribuem para o **arrefecimento da atmosfera, dos edifícios e do corpo humano** (embora o condicionamento da velocidade do vento e o aumento da humidade atmosférica possam produzir, de forma limitada, o efeito contrário) pelo que se **tornam particularmente úteis no Verão, nas áreas urbanas** e, sobretudo, num contexto de **aquecimento global**. Salienta-se contudo a importância de **evitar soluções simplistas e normalizadas**, sem o conhecimento suficiente dos mecanismos subjacentes e que muitas vezes são desadequadas ao contexto e aos objectivos pretendidos.

Quadro III. Principais modificações climáticas devidas aos espaços verdes urbanos

Table III. Main climatic changes due to urban green spaces

Elementos climáticos	Tipo de modificação	Principais factores condicionantes	Escala típica	Valores característicos	Principais consequências
Balanco de radiação solar (K^*)	Intercepção de $K_{\downarrow}$ pelas copas das árvores; reflexão ($K_{\uparrow}$) e absorção	Densidade da folhagem; inclinação dos raios solares; características das folhas; a transmissividade de um conjunto de árvores é inferior à de uma árvore isolada	Microescala	- 80% a 85% em árvores com folhas - 30 a 45 % na fase sem folhas ³	Redução do aquecimento diurno das superfícies, dos edifícios e do corpo humano
Temperatura de superfície (T_s)/Radiação infravermelha ($L\uparrow$) da superfície	Diminuição	Noite: <i>Sky View Factor</i> ; água no solo Dia: exposição solar, albedo; conductividade térmica da superfície; água no solo	Todas	Diferenças de T_s de 8 a 10°C entre relvados secos e irrigados; 16°C a 21°C entre relvados irrigados e superfícies asfaltadas ⁴	Redução do fluxo térmico da superfície para a atmosfera, os edifícios e o corpo humano
Razão de Bowen (β_w) = Transferências de calor latente (Q_E)/Transferências de calor sensível (Q_H)	Incremento de Q_E em detrimento de Q_H ; portanto diminuição de β_w	Irrigação; exposição solar	Todas	Diminuição de β_w Para 0.02 a 0.48 (valor típico superior a 1 em áreas construídas) ⁵	Redução da temperatura da superfície e das transferências de calor para a atmosfera
Temperatura do ar	Diminuição	Dimensões do espaço verde; irrigação; áreas de sombra (dia).	Local/ Mesoscala	Valores típicos de arrefecimento de 1°C a 2°C	Facilita o arrefecimento dos edifícios e do corpo humano

³ Oke (1987) Geiger (1980) Rosenberg *et al.*(1983); Canton *et al.*; 1994

⁴ Hal-Hemiddi (1991) citado por Givoni (1998); Ca *et al.* (1998); Spronken-Smith e Oke (1998); Spronken-Smith *et al.* (2000).

⁵ Rosenberg *et al.* (1983); Oke (1987); Wilmers (1988)

Quadro III (continuação). Principais modificações climáticas devidas aos espaços verdes urbanos

Table III (continuation). Main climatic changes due to urban green spaces

Elementos climáticos	Tipo de modificação	Principais factores condicionantes	Escala típica	Valores característicos	Principais consequências
Humidade atmosférica	Aumento	Irrigação; características da vegetação; presença de superfícies de água	Local/ Mesoscala	Muito limitado	Redução das transferências por evaporação do corpo humano para a atmosfera
Velocidade do vento	Diminuição em espaços verdes arborizados ou sebes	Densidade e altura da vegetação arbórea; Tipo de folhagem (persistente/caducifolia); Eficácia das sebes depende da sua permeabilidade, estrutura, altura e extensão ⁶	Microescala/ Local	30 m de penetração numa floresta reduzem a velocidade do vento para 60 a 80 % e 120 m para 7 % ⁷ Árvores na malha urbana reduzem a velocidade média do vento entre 28 % e 46 % no Verão e entre 12 % e 41 % no Inverno ⁸	Redução das transferências de calor do corpo humano e dos edifícios para a atmosfera; redução do desconforto mecânico, em algumas situações; condições de dispersão de poluentes menos favoráveis
	Aumento em Espaços verdes extensos e abertos e efeitos pontuais de aceleração devido à disposição dos elementos	Extensão dos espaços abertos; disposição e forma dos elementos	Microescala/ Local	Rugosidade de um relvado 50 a 100 vezes inferior à de uma área urbana densa	Incremento das transferências de calor do corpo humano e dos edifícios para a atmosfera; situações pontuais de aumento do desconforto mecânico

⁶ Rosenberg *et al.* (1983)

⁷ Barry e Chorley (1992)

⁸ Heisler (1990)

III. Caracterização local e microclimática do Jardim Calouste Gulbenkian

Como foi anteriormente referido, os principais objectivos deste estudo foram a análise: 1 - do contraste climático do espaço verde em relação à área urbana envolvente, na **escala local**; 2 - da diferenciação **microclimática** no interior do espaço verde.

A apresentação e discussão dos resultados constitui o essencial deste relatório.

1. Estudo local

1.1. Métodos

Neste estudo, o Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian foi considerada como uma **unidade de uso do solo**, diferenciada em relação à área construída envolvente. Procurou-se avaliar até que ponto esse contraste corresponde também a um **comportamento térmico distinto** dos dois espaços (verde/construído).

Para esse efeito foram colocados registadores fixos de temperatura do ar (Quadro IV), em vários locais do interior e do exterior do Jardim (fig. 2). As medições foram feitas nos períodos indicados no quadro 4, totalizando 117 dias de Verão, 10 de Outono e 12 de Inverno. Os resultados do período de Verão podem por isso ser considerados estatisticamente mais significativos, do que os que dizem respeito às outras estações do ano. Os dois períodos estivais estudados abrangeram, além disso, uma grande diversidade de tipos de tempo, incluindo vários dias perturbados em Agosto de 2004 e temperaturas muito elevadas em Julho de 2004 e Agosto de 2005 (temperaturas máximas, em Lisboa/Geofísico, de 37.1°C em 27 de Julho de 2004 e 38.2°C em 4 de Agosto de 2005).

Quadro IV. Períodos de medição da temperatura do ar no Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian

Table IV. Measurement periods of air temperature in the Calouste Gulbenkian Foundation Park

	Período	Número de registadores instalados
Verão	23 de Junho a 12 de Setembro de 2004	10*
	25 de Julho a 29 de Agosto de 2005	5
Outono	28 de Setembro a 7 de Outubro de 2004	6
Inverno	12 a 24 de Janeiro de 2005	8

* Três dos registadores estiveram inactivos durante parte do período

Os registos de temperatura do ar foram feitos de 10 em 10 minutos. A análise dos dados baseou-se nas médias de períodos de 30 minutos, o que permite aumentar a consistência dos resultados. De forma complementar, a variação da temperatura de superfície foi também analisada através de uma imagem de satélite *Landsat*.

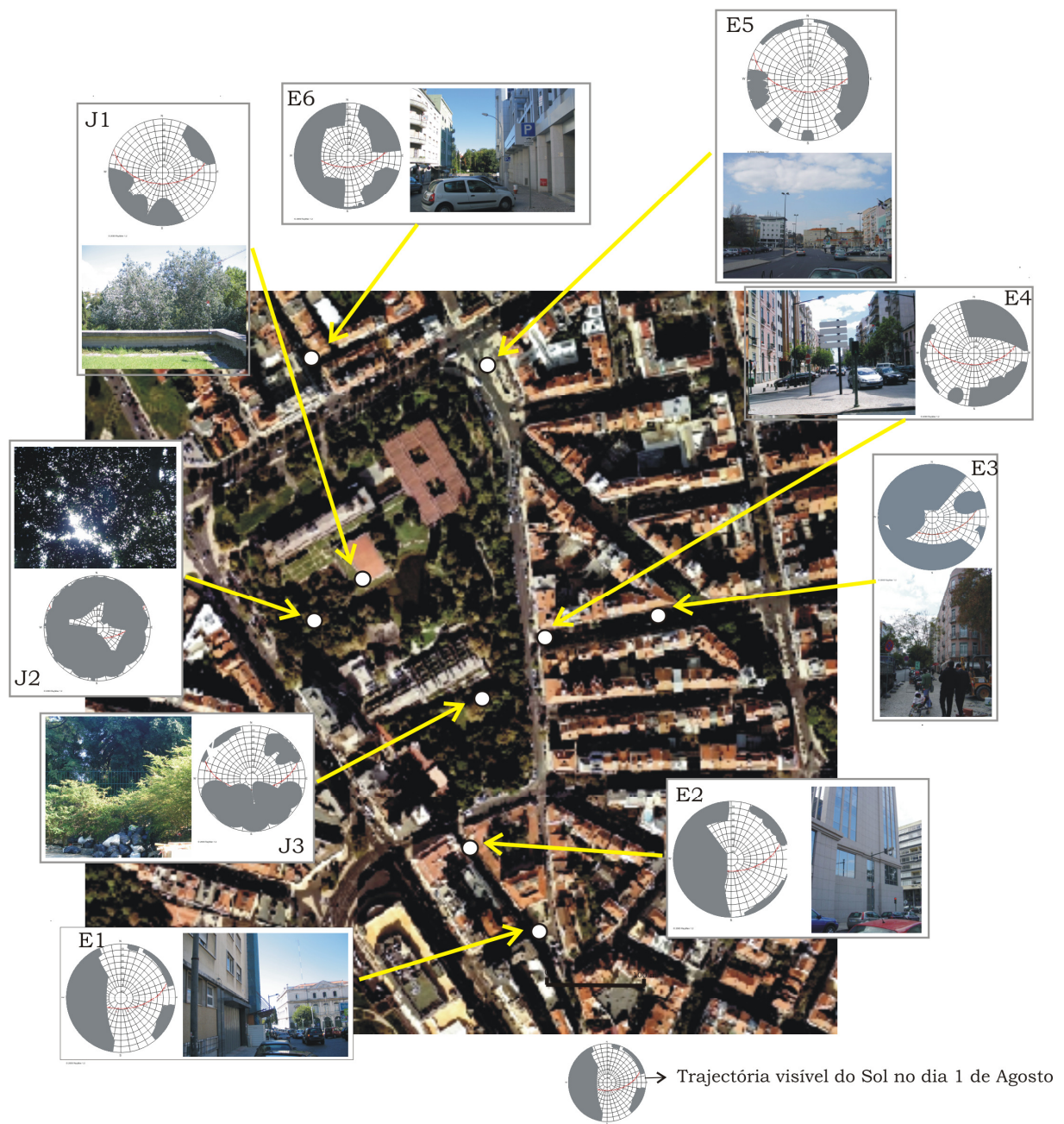


Figura 2. Locais de medição da temperatura do ar

Figure 2. Measurement sites of air temperature

1.2. Análise dos resultados

1.2.1. Temperatura de superfície

Na imagem *Landsat* de temperatura de superfície (fig. 3), obtida às 10:00 UTC do dia 21 de Junho de 2000, numa situação de vento fraco (inferior a 1 m/s em Lisboa/Gago Coutinho, do quadrante W), a temperatura de superfície indicada corresponde a médias de áreas de 60 metros, resolução insuficiente para um estudo de carácter microclimático. Embora as 10:00 UTC não correspondam ao período mais quente do dia (não existem imagens térmicas próximas das horas habituais de ocorrência das temperaturas máximas), na figura 3 verifica-se uma clara diferenciação do espaço verde estudado, com temperaturas de 35°C na área central (parcialmente ocupada por um lago); a área construída apresenta valores muito variáveis mas, em geral, bastante superiores aos do Jardim (38 a 41°C em quase toda a área). Os valores relativamente baixos a SW do Jardim correspondem já a parte da área do Alto do Parque Eduardo VII e o “ponto fresco” a E reflecte a influência de um pequeno espaço verde da Avenida de Berna.

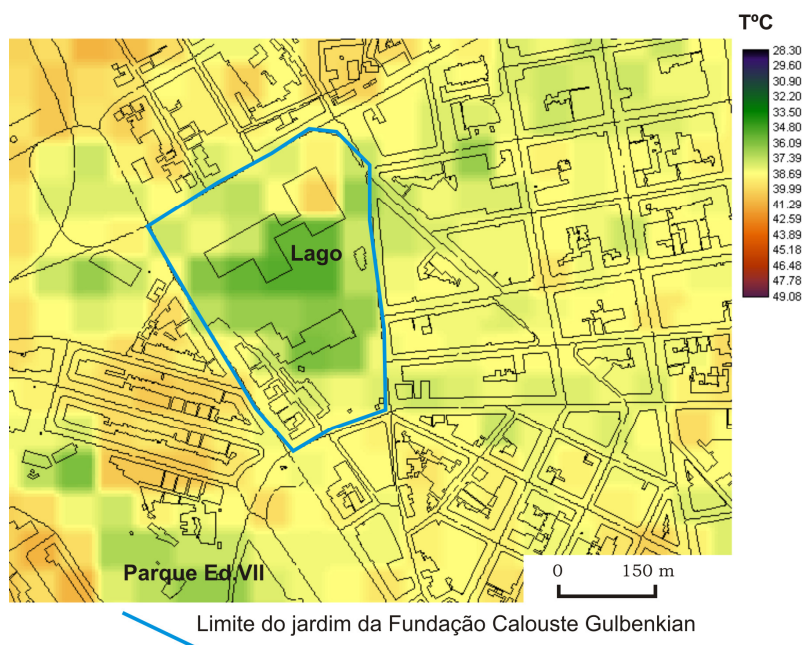


Figura 3. Temperatura de superfície (imagem *Landsat*) às 10:00 UTC de 21 de Junho de 2000

Figure 3. Surface temperature (*Landsat image*) on 10:00 UTC in the 21st June 2000

1.2.2 Temperatura do ar

Foram analisados separadamente os períodos diurno e nocturno. Saliente-se que muitos estudos efectuados sobre o comportamento térmico dos espaços verdes se debruçam exclusivamente sobre o período nocturno (por exemplo Upmanis *et al.*, 1998), por ser durante a noite que a ilha de calor urbano se encontra mais desenvolvida (Oke, 1987; Alcoforado, 1992; Andrade, 2003). Contudo, do ponto de vista da utilização dos espaços verdes, o período diurno é claramente mais importante.

a. Período diurno

O período diurno foi analisado nas seguintes horas:

Verão – das 9:00 às 18:30 UTC

Outono – das 9:00 às 18:00 UTC

Inverno – das 10:00 às 17:00 UTC

Evitou-se a análise das horas mais próximas do nascer e pôr do Sol, uma vez que a grande obliquidade dos raios solares e, de madrugada, a “herança” das condições nocturnas, torna a variação espacial da temperatura extremamente complexa; são além disso, horas em que o Jardim é muito pouco utilizado.

No quadro V são resumidos os principais aspectos da diferenciação térmica do Jardim em relação ao espaço construído envolvente. Na comparação entre as duas áreas recorreu-se a dois parâmetros estatísticos:

A diferença entre a **mediana** dos valores registados na área construída e a dos valores registados dentro do jardim, num dado momento (t):

$$\text{Dif med}_t = \text{med}_{ut} - \text{med}_{vt}$$

Sendo:

Dif med_t = diferença entre as medianas da temperatura do ar, no momento t

med_{ut} = mediana dos valores registados na área construída no momento t

med_{vt} = mediana dos valores registados no Jardim no momento t

Com este parâmetro, pretende comparar-se o **comportamento de conjunto do espaço verde** com o da área envolvente, sem considerar as particularidades dos diferentes locais de medição. Com a utilização da mediana, em vez da média, procurou evitar-se o efeito das variações extremas de temperatura e das falhas de dados, associadas a problemas técnicos, que afectam mais os valores médios do que os medianos.

A diferenciação dos espaços verdes em relação aos espaços envolventes pode também ser caracterizada pelas **diferenças espaciais extremas**, o que foi também feito para cada momento de medição:

$$\text{Dif max}_t = \text{Tmax}_{ut} - \text{Tmin}_{vt}$$

Sendo:

Dif max_t = diferença máxima no momento t

Tmax_{ut} = Temperatura do ar mais elevada na área construída no momento t

Tmin_{vt} = Temperatura do ar mais baixa do Jardim no momento t

Ficamos portanto com uma população de **diferenças medianas** de temperatura do ar (Dif med_t) e outra de **diferenças espaciais máximas** (Dif max_t). Cada um destes parâmetros estatísticos foi analisado, ao longo do período estudado (Quadro V).

Quadro V. Caracterização estatística das diferenças de temperatura do ar entre o Jardim e a área construída envolvente no período diurno

Table V. Statistical characterization of the differences in air temperature between the park and the surrounding built-up area during daytime

	Diferença mediana							Diferença máxima						
	n	Mínimo (°C)	Perc. 15	Perc. 50	Perc. 85	Maximo	% >0	n	Mínimo (°C)	Perc. 15	Perc. 50	Perc. 85	Maximo	% >0
Verão	1809	-3.5	0	1.3	2.9	5.4	83	1630	-3.2	2.2	4.1	5.8	9.5	99.9
Outono	218	-0.1	0.9	1.8	2.7	4.6	99.9	218	0.8	2.4	4.1	5.5	7.5	100
Inverno	117	-1.6	-0.7	0.12	0.49	0.9	56	117	0.2	0.7	1.4	2.3	3.7	100

Durante o dia, no Verão, a **temperatura mediana dos locais fora do jardim foi superior à do Jardim** em 83 % das observações, sendo a diferença mediana superior a 1.3°C em 50 % das observações e a 2.9 % em 15 %; o Outono apresentou um comportamento semelhante ao do Verão; no curto período de Outono estudado, predominaram condições anticiclónicas e temperaturas elevadas para a época, sendo por isso natural que o seu comportamento térmico se tenha assemelhado ao do período estival. No Inverno, a diferenciação mediana foi muito inferior, podendo considerar-se que o espaço verde, praticamente, não se distinguiu da área envolvente.

Considerando os valores extremos, verificou-se que existiram **locais fora do espaço verde mais quentes do que no seu interior**, em quase 100 % das observações, em todas as estações do ano. A magnitude das diferenças, contudo, foi muito superior no Verão, atingindo os 9.5°C (fig. 4). As **situações de grande diferenciação térmica do espaço verde** corresponderam a dias quentes (temperatura próximas de 40°C) com céu limpo ou pouco nublado e vento fraco de NE (situações características de vagas de calor). As temperaturas mais baixas (30°C a 33°C) foram observadas, naturalmente, em locais do jardim com sombra densa. O local nº 25, dentro do jardim, com muitas horas diárias de exposição solar (fig. 2), registou valores pouco inferiores aos da área construída.

Como foi já referido e se pode concluir da análise precedente, as diferenças térmicas entre os locais de medição dependem fortemente da **exposição à radiação solar directa**. Podem existir locais à sombra ou ao sol fora ou dentro do Jardim e um local ao sol, no interior do espaço verde será, provavelmente, mais quente do que um local à sombra, na área construída envolvente.

Procedeu-se, por isso, à comparação entre locais nas duas situações (interior e exterior do Jardim), em **condições de insolação semelhantes**. Isto permitiu chegar a conclusões sobre a influência do espaço verde sobre a temperatura do ar independentemente da exposição ao Sol. Essa análise foi feita sobretudo para o período de Verão, por ser aquele para o qual se dispõe de mais dados e para o qual este problema é mais importante.

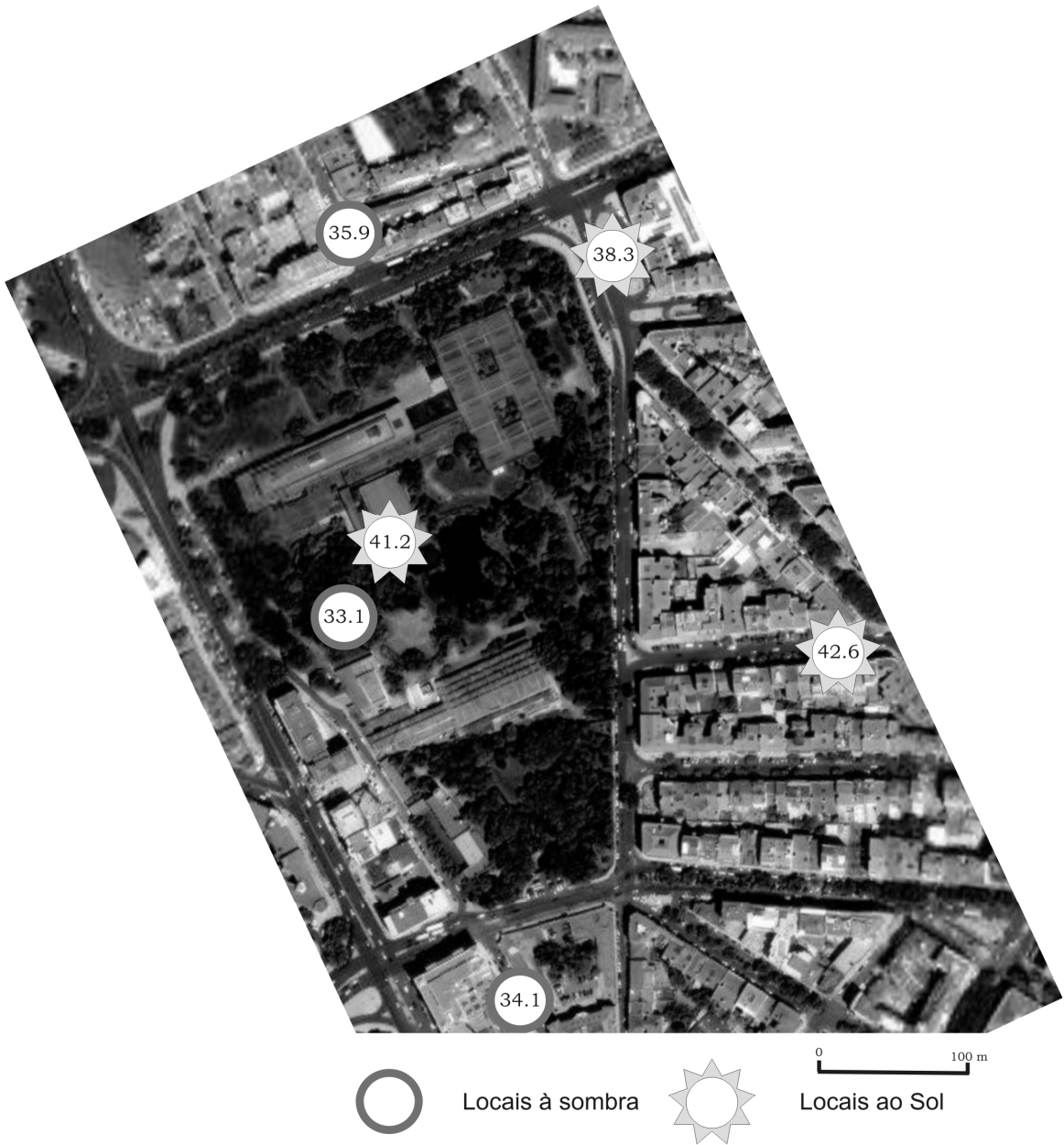


Figura 4. Temperatura do ar em 3 de Agosto de 2005, às 14:00 UTC

Figure 4. Air temperature on 3rd August 2005, at 14:00 UTC

Comparação entre locais à sombra

Na figura 5, é representada a variação da temperatura mediana, por períodos de 30 minutos, durante a tarde, em vários locais à sombra, dentro e fora do Jardim (fig. 2). É evidente a influência do espaço verde sobre a temperatura. A temperatura mediana no local J2 (dentro do Jardim) chega a ser 5.1°C inferior à do local E3 (numa rua com orientação E-W), às 15:00 UTC. Mesmo em relação ao local E6 (o segundo mais fresco), a temperatura do jardim foi 0.9°C a 1.6°C inferior. No comportamento complexo das ruas, deve ser considerado o “jogo” da exposição das fachadas dos edifícios em todo o espaço envolvente.

A **proximidade de fachadas expostas a S ou a W** (durante a tarde) favorece a ocorrência de temperaturas mais elevadas, devido à reflexão e à emissão de radiação infra-vermelha, mesmo que o local em causa esteja à sombra. O local E3, por exemplo, situado numa rua arborizada com orientação E-W, encontra-se à sombra; contudo, a fachada dos edifícios exposta a S continua a receber radiação solar ao longo da tarde, acima do nível das árvores (cerca de 9 a 10 m de altura), o que justifica em parte a temperatura elevada deste local.

Comparação entre locais ao sol

Na figura 6 é representada a variação mediana de temperatura, durante a manhã, em locais expostos à radiação solar directa (fig. 2). Os locais J1 (no Jardim), E4 e E5 (em espaços abertos, muito próximos do Jardim), destacaram-se pelas temperaturas mais baixas, sobretudo a partir das 10:00 UTC; os valores nos três locais não se distinguem estatisticamente, sendo possível que, para isso, contribua a proximidade dos locais E4 e E5 em relação ao espaço verde. A diferença mediana mais elevada em relação aos dois locais (2.9°C) verificou-se às 10:30 UTC, sendo o local mais quente o E1. A proximidade de paredes expostas a Este e a Sul pode contribuir para as temperaturas elevadas registadas nos locais E1, E5 e E6.

Ao longo das tardes de Verão, os locais J1 (no Jardim), E4 e E5 (na área construída) receberam radiação solar directa. No local J1 as temperaturas foram inferiores às dos outros dois locais ao longo de toda a tarde (fig. 7). Neste caso, a diferenciação do Jardim em relação aos locais exteriores foi maior do que de manhã, sobretudo entre as 16:00 e as 17:00 UTC. O local E4, próximo de uma parede exposta

a Oeste, registou os valores mais elevados; a diferença mediana em relação ao local J1 atingiu 2.2°C às 17:00 UTC.

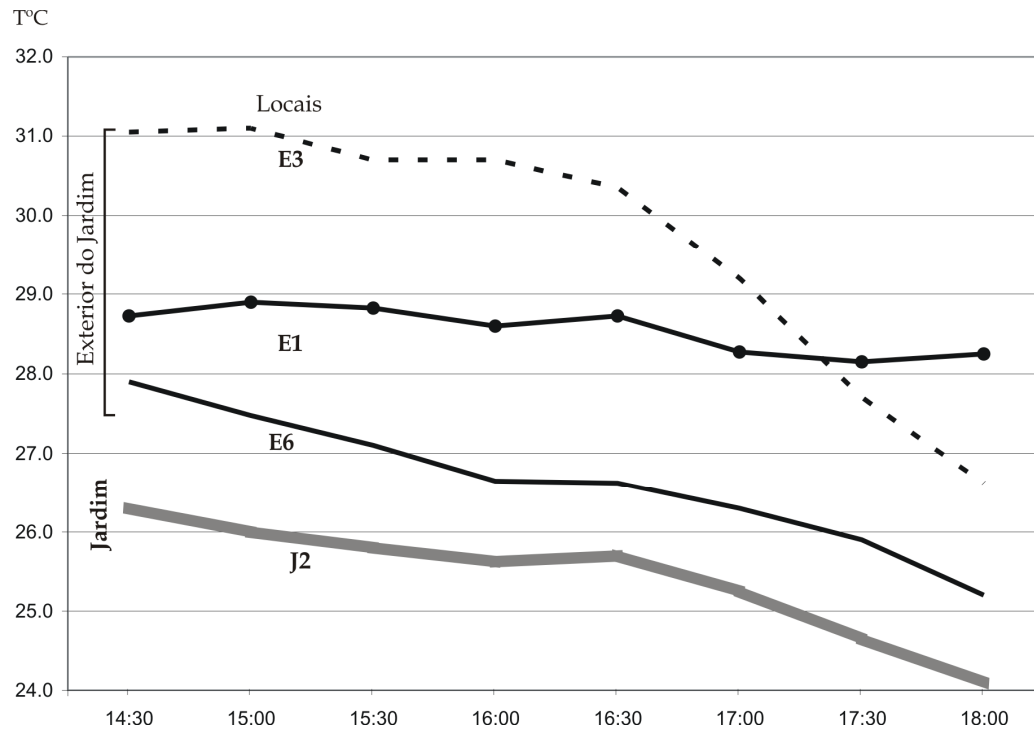


Figura 5. Temperatura mediana em locais à sombra, durante as tardes de Verão

Figure 5. Median temperature in sites in the shade, during summer afternoons

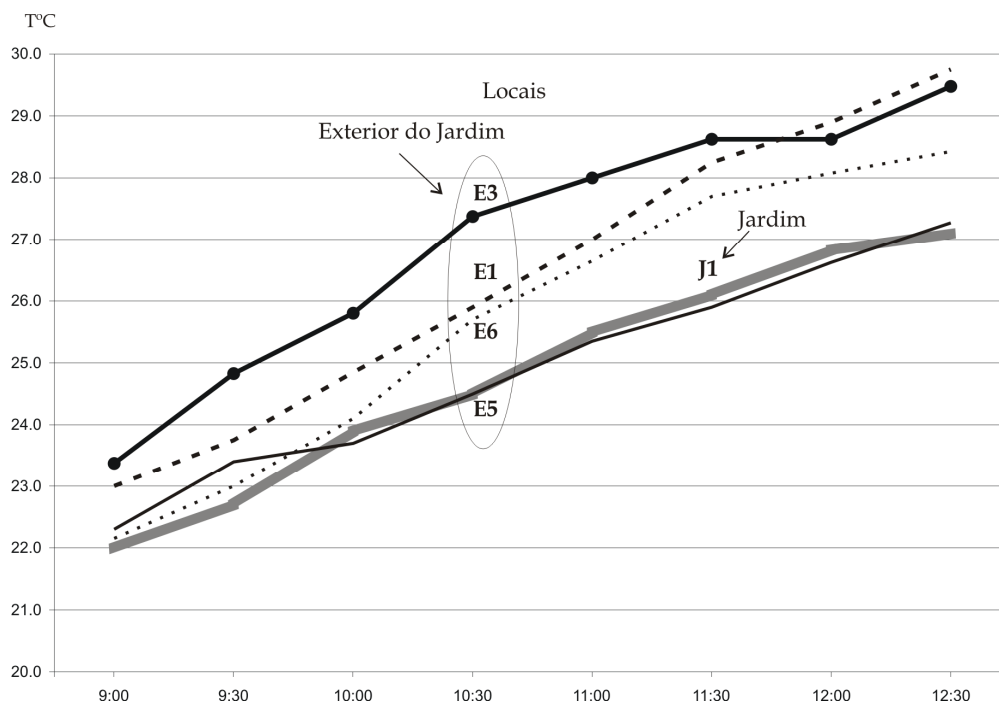


Figura 6. Temperatura mediana em locais expostos ao sol, durante as manhãs de Verão

Figure 6. Median temperature in sites in the sun, during summer mornings



Figura 7. Temperatura mediana em locais ao sol, durante as tardes de Verão

Figure 7. Median temperature in sites in the sun, during summer afternoons

b. período nocturno

Em função da variação da duração do dia, considerou-se o período nocturno compreendido entre as seguintes horas:

Verão/Outono – das 23 h às 5 h

Inverno – das 21 h às 7 h

A análise estatística das diferenças entre locais de medição foi semelhante à realizada para o período diurno. Os principais resultados são apresentados no quadro VI.

Como se pode verificar, o Jardim foi quase sempre mais fresco do que a área envolvente, com diferenças medianas entre 0.4°C e 1°C, aproximadamente; em 15 % dos casos, o jardim esteve mais de 2°C mais fresco do que a área construída. Para a diferença espacial máxima os valores foram, naturalmente, mais elevados: no Verão, em 50 % dos registos a diferença foi superior a 1.4°C e em 15 % superior a 2.5°C. As maiores diferenças medianas foram registadas no Outono e as menores no Inverno.

Quadro VI. Caracterização estatística das diferenças entre o Jardim e a área construída envolvente, no período nocturno

Table VI. Statistical characterization of the differences between the Park and the built-up area, during nighttime

	Diferença mediana							Diferença máxima						
	n	Mínimo	Perc. 15	Perc. 50	Perc. 85	Maximo	% >0	n	Mínimo	Perc. 15	Perc. 50	Perc. 85	Maximo	% >0
Verão	555	-0.3	0.3	0.7	1.02	2.0	96	487	0.5	0.9	1.4	2.5	4.1	100
Outono	70	0.34	0.52	0.8	1.58	2.1	100	70	0.77	0.88	1.36	2.67	3.3	100
Inverno	130	-0.1	0.1	0.44	1.4	1.77	95	130	0	0.3	0.74	2.34	3.9	98

Para compreender melhor o comportamento térmico nocturno do espaço verde e da área envolvente, foram comparadas as séries de quatro locais, representativos de diferentes micro-ambientes: dentro do jardim os locais J2 e J1 (o primeiro debaixo de cobertura arbórea densa, o segundo junto ao rebordo do terraço ajardinado de um dos

edifícios, no centro do jardim, a cerca de 6 m acima da superfície topográfica – fig. 2) e, fora do espaço verde, os locais E3 (numa rua com orientação E-W, a cerca de 140 m do limite do espaço verde) e E4, num espaço aberto, 35 m a E do limite do jardim.

A temperatura mediana foi calculada para cada hora da noite (fig. 8). Os dois locais exteriores apresentaram valores superiores aos do interior do espaço verde: a diferença mediana de temperatura do Jardim em relação ao local E4 foi 4°C e em relação ao local E3 foi 1°C. O contraste acentuado entre os locais E4 e E3 reflecte essencialmente a “abertura ao céu” (expressa através do *Sky View Factor* – *SVF*; apêndice): 0.75 no local E4; 0.29 no local E3). Quanto maior o *SVF* (portanto maior superfície de céu visível a partir de um determinado local), maior a perda de radiação infra-vermelha para o espaço e, portanto, maior o arrefecimento. A maior distância do local E3 em relação ao Jardim e o seu maior abrigo do vento podem, também, contudo, contribuir para o contraste térmico. O local J2, no Jardim, sob cobertura arbórea (*SVF* = 0.16), foi mais fresco do que o local E5 (*SVF* = 0.76) em 83 % das observações, com uma diferença mediana de -0.5°C. A diferença térmica entre os dois locais é estatisticamente significativa (testada através da análise de variância, $F = 27.3$, para um limiar de significância de 3.8, com probabilidade de 0.95). Isto indica que factores específicos do espaço verde (nomeadamente o arrefecimento evaporativo) foram mais importantes no condicionamento do comportamento térmico do local J2 do que o *SVF*. Note-se que, no Inverno, a diferença entre os dois locais não foi significativa ($F = 0.31$, para um limiar de 3.8, com probabilidade de 0.95), o que parece indicar que, nas noites estivais, as temperaturas mais baixas do local J2 se associaram, sobretudo, à evapotranspiração (muito reduzida, naturalmente, nas noites de Inverno). No Inverno, sobrepõe-se claramente o efeito do *SVF*: nos 10 % de observações com temperaturas médias mais baixas o local E5 foi sempre mais fresco do que o local J2, mas mais quente do que o local J1 (com *SVF* = 0.79).

No conjunto do período, a mediana horária da temperatura nos dois locais do Jardim foi muito semelhante, não reflectindo a diferença acentuada quanto ao *SVF* (0.79 local J1; 0.16 o local J2). Estatisticamente, as duas séries não se diferenciaram, com $F = 0.21$ (limiar de significância de 3.8). Para além do *SVF*, outros aspectos podem condicionar esse comportamento: no local J1, o arrefecimento nocturno pode ser parcialmente compensado pela libertação de calor do edifício sobre o qual se situa o registador; no local J2 por outro lado, em noites muito quentes e secas, o

arrefecimento nocturno pode ser acentuado pela evapotranspiração, dado que este local tem um volume de vegetação muito superior ao J1.

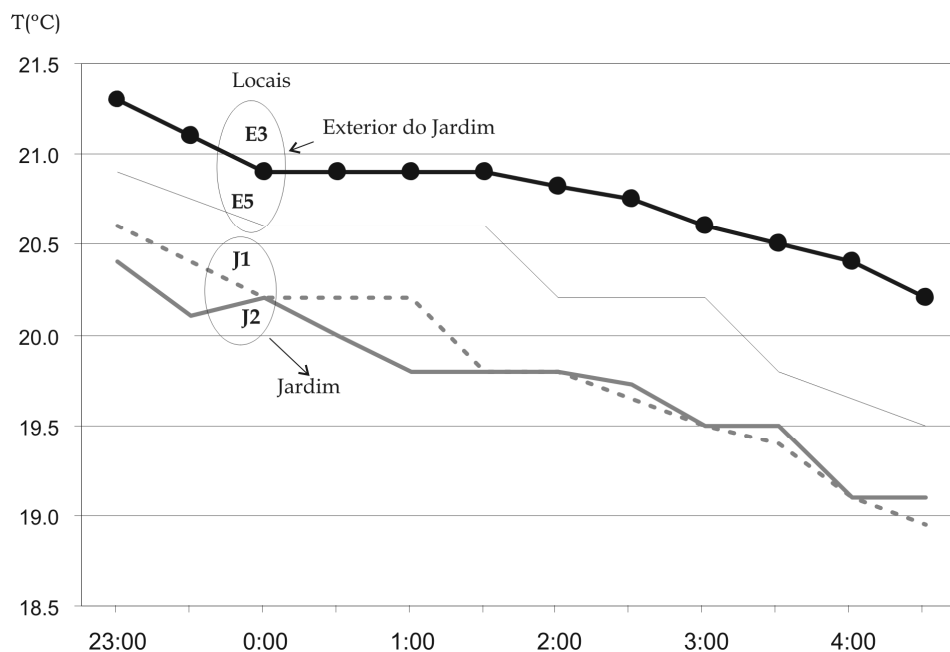


Figura 8. Temperatura mediana nocturna, no período de Verão

Figure 8. Median temperature during summer nights

O que foi dito diz respeito à comparação do conjunto das séries; contudo, se forem consideradas apenas as noites mais frias, verifica-se que o local J2 foi quase sempre o mais quente, quer no Verão quer no Inverno. Foram seleccionadas as 5 noites mais frias de cada um dos períodos e calculada a mediana das diferenças entre os locais J2 e J1. Verifica-se que a diferença é quase sempre positiva (local J2 mais quente), embora, no Verão, apenas a partir das 23:30; nestes casos, a diferença acentua-se ao longo da noite, sendo máxima de madrugada.

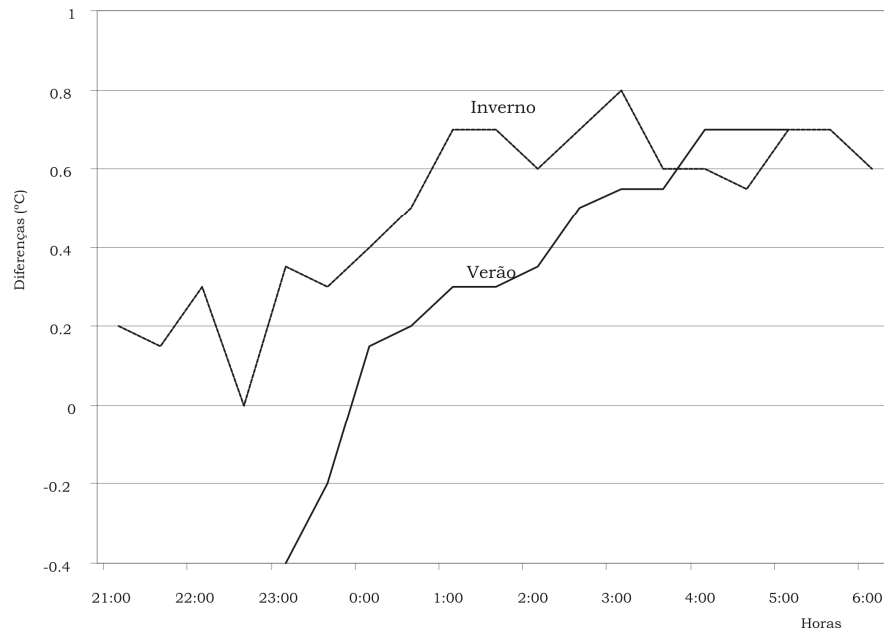


Figura 9. Mediana das diferenças entre os locais J1 (aberto) e J2 (cobertura arbórea densa), nas 5 noites mais frias de cada estação do ano

Figure 9. Median of the differences between the site J1 (open place) and J2 (dense tree cover), in the 5 coldest nights in each season

2. Estudo microclimático

2.1. Métodos

O segundo estudo (objectivo 2), baseou-se em medições móveis (Alcoforado, 1992, 1996; Andrade, 2003a) de temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e radiação infra-vermelha (equipamento descrito no quadro I), em diferentes locais do Jardim. Foram feitas medições em cinco dias de Verão em 2004 e 2005 e ainda uma em 1 de Outubro de 2004, durante o dia, no início da tarde, período no qual a utilização do jardim tem maior significado. Neste estudo, além da variação dos elementos climáticos medidos, foi analisada a influência combinada desses elementos sobre o corpo humano, através de um índice termofisiológico (a *Temperatura Fisiológica - Physiological Equivalent Temperature* (Mayer e Höppe, 1987; Höppe, 1993, 1999; Matzarakis, Mayer e Iziomon, 1999; Andrade, 2003), o que permitiu chegar a algumas conclusões também em relação ao conforto térmico dos utilizadores do jardim.

2.2. Análise dos resultados

O principal factor de diferenciação microclimática é, claramente, a **exposição à radiação solar directa**. Uma síntese das diferenças entre os registos efectuados à sombra e ao sol é feita na figura 11.

Como seria de esperar, as maiores diferenças entre os locais à sombra e os locais ao sol dizem respeito à **radiação solar global** (redução média de 88% à sombra em $K_{\downarrow}$ e Q^*); apesar de haver um incremento de L^* à sombra (devido ao aumento de $L_{\downarrow}$, nos locais com cobertura arbórea densa), o resultado final é um **balanço de radiação** (Q^*) e uma T_{mrt} bastante mais elevados nas áreas expostas à radiação solar directa. A diferença média de **temperatura do ar** é muito menor (apenas 4.0°C); contudo, a **temperatura fisiológica**, que expressa o resultado integrado de todos os fluxos energéticos sobre o corpo humano, regista uma diferença superior a 18°C. Nas medições feitas no Verão/início do Outono, o efeito da sombra, em termos de conforto térmico humano, é claramente positivo; nos períodos mais frios do ano, contudo, o efeito sobre o conforto térmico pode ser o oposto.

Considerando apenas os **locais à sombra**, verifica-se que a redução da radiação que chega à superfície, debaixo das copas das árvores⁷, variou entre 97 e 70%. A redução da radiação solar chegada à superfície e da T_{mrt} , sob **maciços de árvores**, foi consideravelmente superior à que foi medida sob **árvores isoladas**: no local representado na figura 12 a redução média de radiação solar foi 94% e a T_{mrt} foi 26°C; no local da fig. 13 a redução média foi de 76 % e T_{mrt} 33°C. Essa diferença entre maciços de árvores e árvores isoladas deve-se sobretudo aos fluxos “laterais” de radiação (sobretudo radiação difusa): enquanto a $K_{\downarrow}$ sob árvores isoladas foi 4.1 vezes superior à medida sob maciços, os fluxos laterais foram 9 vezes superiores.

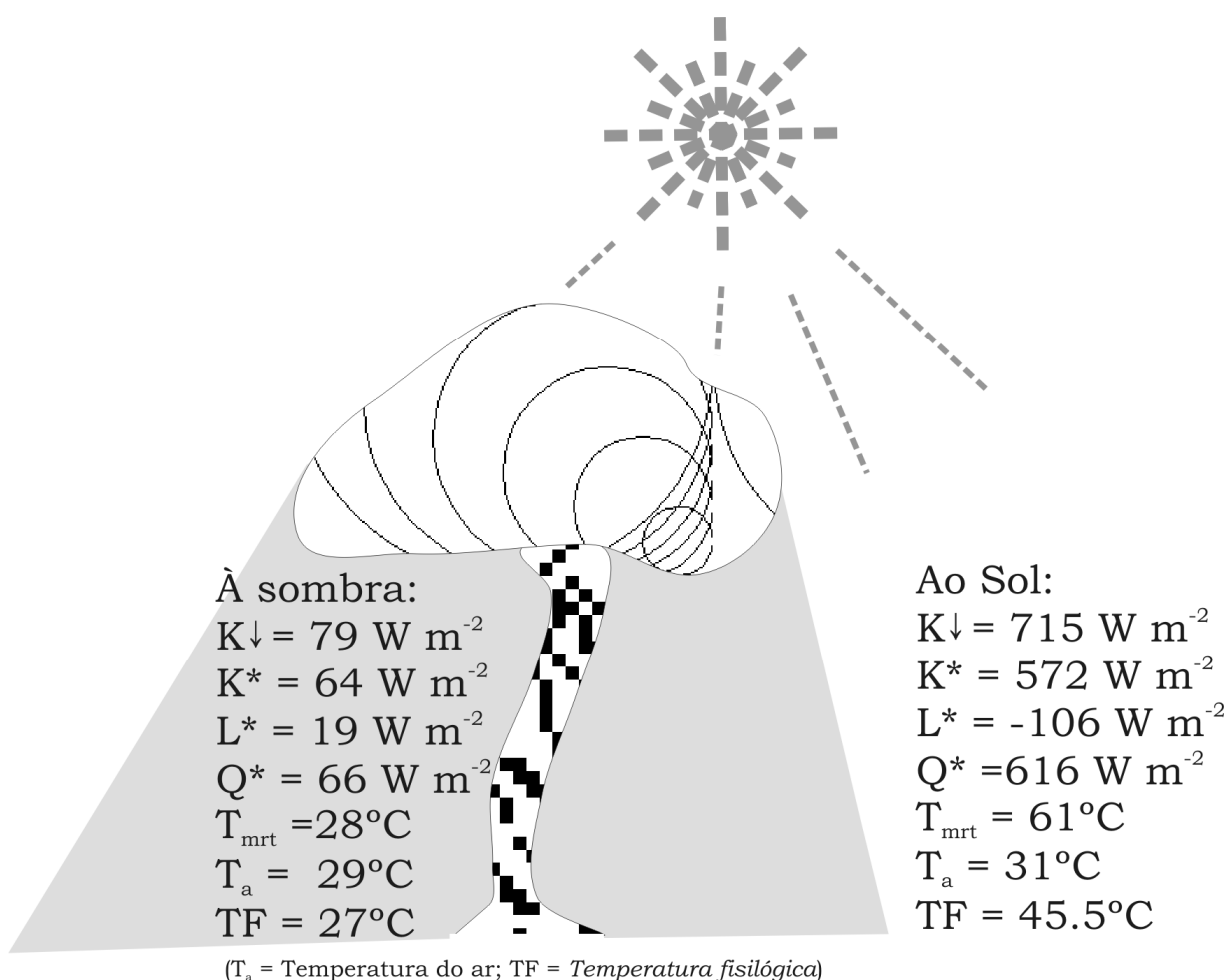


Figura 11. Mediana dos resultados das medições à sombra e ao sol

Figure 11. Median results from measurements in shade and in the sun

⁷ Calculada como a razão entre a radiação solar medida sob as copas e a radiação global estimada através de um modelo descrito em Andrade (2003, p. 74)

Note-se que estas as medições de radiação foram feitas com as árvores totalmente cobertas de folhas. Os resultados no período frio do ano, sob árvores caducifólias, podem ser, naturalmente, muito diferentes. A ideia corrente de que, no Inverno, a copa das árvores de folha caduca não constituem qualquer obstáculo à passagem da radiação solar é discutida por vários autores (Rosenberg *et al.*, 1983; Oke, 1989; Canton *et al.*, 1994); por exemplo, Canton *et al.* (1994) citam um valor de redução da radiação solar de 59 %, no Inverno, no plátano europeu, na Argentina⁸.

Em medições de radiação feitas no Jardim Calouste Gulbenkian, no Inverno de 1998 (Andrade, 2003), sob cobertura parcial de árvores de folha caduca, a redução de $K_{\downarrow}$, variou, ao longo do Inverno, entre 95% e 56%. Essa variação foi atribuída a dois factores: a diminuição da cobertura foliar ao longo do Inverno (no início de Dezembro grande parte as folhas ainda se mantinham nos ramos; no final de Janeiro estes já se encontravam quase totalmente despídos) e o aumento da altura do Sol, favorecendo uma maior penetração dos raios solares (as medições foram sempre feitas à mesma hora – cerca das 15:00 UTC - pelo que a altura do sol foi aumentando ao longo do Inverno). Evidentemente, um conhecimento mais completo das características da sombra proporcionada pelas árvores, ao longo do ano, exigiria uma amostragem maior e também que fossem tidos em consideração aspectos como a altura e densidade das copas, albedo das folhas, etc.

⁸ Segundo Canton *et al.* (1994) a elevada obstrução à radiação solar sob o plátano, no Inverno deve-se, em parte, ao clima regional de Mendoza (Argentina). A suavidade do Inverno faz com que muitas das folhas mortas se mantenham nas árvores até à Primavera. Isto demonstra o risco de generalizar resultados experimentais a condições climáticas diferentes daquelas em que foram feitas as medições.

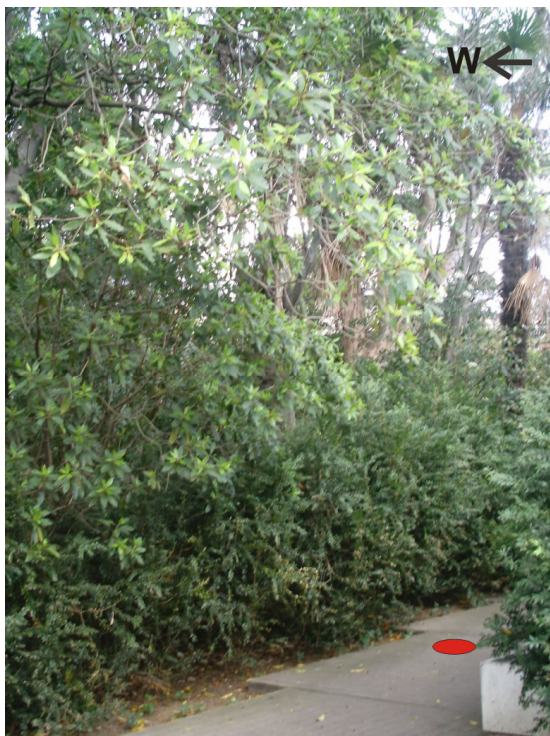


Figura 12. Local de medição sob cobertura arbórea densa

Figure 12. Measurement site under dense tree cover



Figura 13. Local de medição sob uma árvore isolada

Figure 12. Measurement site under an isolated tree

Conclusão

As conclusões a extrair deste estudo dizem respeito, por um lado, ao comportamento de conjunto do Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian e do seu contraste com o espaço construído exterior e, por outro lado, à diversidade microclimática no interior do Jardim.

O espaço verde foi **mais fresco do que a área construída envolvente em todas as estações do ano, mas sobretudo no Verão**. Durante o dia, nesta estação do ano, a diferença mediana em relação à área envolvente foi de 1.3°C e a diferença espacial máxima foi superior a 4.1°C em 50 % das observações e superior a 5.8°C a 15%). A frescura do Jardim foi particularmente evidente em situações de tempo muito quente (temperatura média nos locais de medição superior a 35°C), em que a diferença máxima entre o Jardim (áreas à sombra) e a área envolvente atingiu cerca de 9°C. Essas observações vêm comprovar a **importância do espaço verde na mitigação de situações de calor extremo**.

As diferenças referidas foram calculadas sem ter em consideração as condições de exposição solar; naturalmente, em cada momento do dia, existem locais à sombra ou ao sol, fora e dentro do espaço verde e os locais ao sol são sempre mais quentes, independentemente da sua localização. Contudo, verificou-se que para **iguais condições de exposição solar** (sombra/Sol) **os locais dentro do jardim são quase sempre mais frescos**: ao Sol, a temperatura dentro do jardim situou-se 2 a 3° C abaixo da temperatura no exterior; entre locais à sombra, dentro e fora do Jardim, a diferença foi ainda maior, atingindo 5°C.

Durante a noite, o Jardim foi ainda, quase sempre mais fresco, mas as diferenças foram em geral menores: diferença mediana no Verão 0.7°C; diferenças extremas superiores a 1.4°C em 50% das observações e 2.5°C em 15%. No interior do espaço verde, a diferenciação térmica nocturna foi reduzida, embora, nas noites com maior arrefecimento, este se faça sentir de forma mais acentuada nos espaços mais abertos.

De acordo com vários autores, a diferenciação térmica dos espaços verdes depende em grande medida, das suas **dimensões**. Uma questão importante para o planeamento urbano, é, sem dúvida, a dimensão mínima acima da qual as áreas deste tipo podem ter uma contribuição significativa para a melhoria das condições climáticas

urbanas. Contudo, as medições até agora feitas em espaços verdes de pequenas dimensões, em Lisboa, não permitem obter conclusões claras sobre o assunto. Alcoforado (1996), encontrou diferenças térmicas diurnas significativas em espaços verdes com dimensão próxima de 4 hectares (cerca de metade da área do Jardim Calouste Gulbenkian); Andrade (2003), estudou vários pequenos espaços verdes (entre 0.1 e 5 hectares), não tendo observado qualquer diferenciação significativa. Isto parece indicar que não é possível estabelecer uma relação linear entre dimensão do espaço verde e arrefecimento por ele provocado, sendo essa relação modificada por diferentes factores como as características da vegetação e da área envolvente, a estação do ano e o tipo de tempo em que são feitas as observações. Note-se que, em todos os estudos referidos, a amostragem foi relativamente limitada. A **relação entre a dimensão dos espaços verdes e o seu comportamento climático** é, por isso, um dos assuntos que exige a continuação da investigação. Deve ser salientado também que, embora espaços verdes de pequenas dimensões possam não afectar a temperatura do ar, têm **outras importantes funções climáticas de micro escala** (além de diversas funções não climáticas), como a redução do fluxo de radiação solar à superfície.

As principais **variações microclimáticas no interior do espaço verde**, durante o dia, observam-se nos **fluxos de radiação** e na **temperatura radiativa média**: a radiação solar à superfície, nos locais à sombra, foi em média 12 % da registada nos locais ao Sol, e a T_{mrt} foi 33°C inferior. As diferenças quanto à temperatura do ar entre os dois tipos de locais foram muito menores (apenas cerca de 2°C), mas o resultado termofisiológico demonstra claramente a **importância da sombra em dias de Verão** (*temperatura fisiológica*, em média, 18.5°C mais baixa nos locais à sombra). Além disso, verificou-se que **a redução da radiação solar devida a maciços de árvores é significativamente maior do que devida a árvores isoladas**. Considerando que, durante o período mais frio do ano a sombra, tem frequentemente uma influência oposta sobre o conforto, isto permite reforçar a ideia (já expressa em Alcoforado *et al.*, 2005) de que a **diversidade microclimática** é um importante factor de qualidade climática dos espaços verdes.

Apêndice

Balanco de radiação (segundo Oke, 1987):

$$Q^* = (K\downarrow + K\uparrow) + (L\downarrow + L\uparrow)$$

Sendo:

$K\downarrow$ = radiação solar incidente na superfície; $K\uparrow$ = radiação solar reflectida;

$L\downarrow$ = radiação infra-vermelha atmosférica; $L\uparrow$ = radiação infra-vermelha da superfície

Balanco de energia no meio urbano (segundo Oke, 1987):

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

Sendo

Q^* = balanço de radiação; Q_F = fluxo de calor de origem antrópica; Q_H = Fluxo turbulento de calor sensível; Q_E = Fluxo turbulento de calor latente; ΔQ_s = Variação da acumulação térmica sub-superficial; ΔQ_A = Variação do transporte horizontal de energia.

O excedente de energia diurno resultante de Q^* e Q_F é dissipado através de Q_H , Q_E , e ΔQ_s

Quantidade de movimento (p) de um corpo com massa m e velocidade v é o produto das duas quantidades:

$$p = m v$$

Balanco energético do corpo humano

O balanço energético do corpo humano é (segundo Fanger, 1972, modificada por HÖPPE, 1993 e VDI, 1998):

$$M + W + Q^* + Q_H + Q_L + Q_{sw} + Q_{Re} = 0$$

Sendo:

M = Taxa metabólica; W = Energia mecânica; Q^* = Balanço de radiação; Q_H = Fluxo turbulento de calor sensível (essencialmente transferência de calor por convecção); Q_L = Fluxo turbulento de calor latente (difusão do vapor de água); Q_{sw} = Fluxo turbulento de calor latente (evaporação do suor); Q_{Re} = Fluxo respiratório de calor sensível e latente

As componentes do Balanço Energético do corpo humano, são medidas em w por m² de superfície corporal, calculada segundo o processo de DuBois (Parsons, 1993; Auliciems E de Dear, 1998).

O balanço de radiação do corpo humano pode expressar-se como:

$$Q^* = [(I + D + R) \cdot a_k + (A + E) \cdot a_l] - E_{km}$$

Sendo:

I = Radiação solar directa; D = Radiação solar difusa; R = Radiação solar reflectida pelas superfícies envolventes; A = Radiação térmica da atmosfera; E = Radiação térmica das superfícies envolventes; E_{km} = Radiação térmica emitida pelo corpo humano.

a_k = coeficiente de absorção para a radiação solar; a_l = coeficiente de absorção para a radiação de grande comprimento de onda

Sky View Factor (Factor de visão do céu – Oke, 1987):

O **Sky View Factor (SVF)** corresponde à razão entre o céu visível, a partir de um determinado ponto e o máximo possível, na ausência total de obstáculos. Varia entre 1 (ausência total de obstáculos) e 0 (céu completamente oculto).

Bibliografia

- Alcoforado, M. J. (1985) – Dois exemplos de utilização de termografias obtidas de avião. *Primeiro Seminário sobre Cartografia Temática e Cadastral, LNEC, Lisboa* : 12-23.
- Alcoforado, M. J. (1986) – Contribution to the study of Lisbon's heat island. Analysis from an infra-red image. *Freiburger Geographische Hefte*, 26: 165-176.
- Alcoforado, M. J. (1987) – Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXII (43): 71-112.
- 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. (1992a) – Lisbon's thermal patterns. *Pre-congress meeting of the Commission on Climatology, 27th international Conference of the IGU, Pennsylvania*: 101-108.
- Alcoforado, M. J. (1992b) – *O clima da região de Lisboa, contrastes e ritmos térmicos*. Memórias do C.E.G, Univ. de Lisboa (PhD Thesis), nº 15, Lisboa.
- 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. (1998) – Estudos de clima urbano em Portugal. In: F. F. Garcia, E. G. Gallego; R. C. Torrecilla (Eds), *Clima y ambiente urbano en ciudades Ibéricas e IberoAmericanas*. Madrid, Editorial Parteluz: 41-66.
- 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.; Andrade, H. (2003) – Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Fifth International Conference on Urban Climate*, University of Łódź, Poland: 21-24.
- Alcoforado, M. J.; Andrade, H. (2005) – Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3): edição electrónica.
- 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): 123-138.
- Alcoforado, M. J.; Lopes, A.; Andrade, H. (1998) – Studies on urban Climatology in the area of Lisbon. *Pre-Regional Conference Meeting on the Commission on Climatology*, Évora: 45-46.
- Alcoforado, M. J.; Lopes, A.; Andrade, H. (1999) – Cartes thermiques et cartes du "risque" d'occurrence de basses températures en milieu urbain à Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 12: 433-441.
- Alcoforado, M. J.; Lopes, A.; Andrade, H. (2000) – A ilha de calor de Lisboa. Aspectos e problemas da sua representação cartográfica. *Jornadas sobre clima e aplicações*, Bragança: 9-10.
- Alcoforado, M. J.; Vieira, H. (2004) – Informação climática nos planos directores municipais de concelhos urbanos. *Sociedade e Território*, 37-38: 103-118.
- Alcoforado, M. J.; Lopes, A.; Andrade, H.; Vasconcelos, J.; Vieira, R. (2005) - Orientações climáticas para o planeamento e o ordenamento em Lisboa. Relatório da Área Científica de Geo-Ecologia, nº 5, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.

- Alcoforado, M. J.; Lopes, A.; Andrade, H.; Vasconcelos, J.; Vieira, R. (2005b) – Princípios climáticos para o planeamento e o ordenamento em Lisboa, Relatório apresentado à C.M.L.
- Andrade, H. (1994) – *Poluição Atmosférica e Clima de Lisboa. Aspectos da Variação Espacial e Temporal no Semestre de Inverno*. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Lisboa, Universidade de Lisboa.
- Andrade, H. (1998) – O desconforto térmico estival em Lisboa. Uma abordagem bioclimática. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia* XXXIII, (66): 41-58.
- Andrade, H. (2003a) – *Bioclima humano e Temperatura do ar em Lisboa*. PhD, Faculdade de Letras. Lisboa, Universidade de Lisboa.
- Andrade, H. (2003b) - Microclimatic variations of thermal comfort in a Lisbon city district. *Fifth International Conference on Urban Climate*, University of Łódź, Poland: edição em CD.
- Andrade, H. (2005) – O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, xxx, nº 80: xxx.
- 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: 24-30.
- Andrade, H.; Alcoforado, M-J. – Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. aceite para publicação na *Theoretical and Applied Climatology*.
- Barry, R. G.; Chorley R. J. (1992) – *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge, London.
- Baycan-Levent, T.; Leeuwen, E. V.; Rodenburg, C.; Nijkamp, P. (2002) – Development and management of green spaces in european cities: a comparative analysis. In: *Research Memoranda*, 25, Free University Amsterdam, Faculty of Economics, Business Administration and Econometrics.
- Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H.; Taylor, G. (1998) – Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 99(3): 347-360.
- Ca, V. T., Asaeda T.; Abu, E. M. (1998) – Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings*, 29: 83-92.
- Canton; M. A.; Cortegoso J. L.; Rosa, C. (1994) – Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings*, 20: 219-230.
- Eliasson I.; Upmanis, H. (2000) – Nocturnal outflow from urban parks – implications for the city ventilation. *Theoretical and Applied Climatology*, 66: 95-107.
- G.L.A. (Greater London Authority) (2001) – The benefits of green space. In: *Scrutiny of Green Spaces in London*. Greater London authority, London.
- Givoni, B. (1998) – *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Heisler, G. M. (1990) – Mean wind speed below building height in residential neighborhoods with different tree densities. *Ashrae Transaction*, 96 (1): 1389-1396.
- Höppe, P. (1993) – Heat balance modelling. *Experientia*, 49 (9): 741-747.

- Höppe, P. (1999) – The physiological equivalent temperature - an universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43, 71-75.
- Kuttler, W.; Strassburger, A. (1999) – Air quality measurements in urban green areas - a case study. *Atmospheric Environment*, 33 (24-25): 4101-4108.
- Lopes, A. (1994) – Interpolação de temperaturas à escala do clima local. *Geo-Sistemas*, 3: 153-157.
- Lopes, A. (1998) – Modelling night temperatures in the south of Lisbon Peninsula with a GIS. *Pre-Regional Conference Meeting on the Commission on Climatology*, Évora: 25-26.
- Lopes, A. (2002) – The influence of the growth of Lisbon on summer wind fields and its environmental implications. *Tyndall/CIB International Conference on Climate Change and the Built Environment*, UMIST, Manchester:
- Lopes, A. (2003) – *Modificações no clima urbano de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*, PhD, Faculdade de Letras. Lisboa, Universidade de Lisboa.
- 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): 151-160.
- Lopes, A.; Alcoforado, M. J.; Andrade, H.; Prior, V.; Vieira, H. (2001) – Nouvelles observations sur la température de l'air et du terrain à Lisbonne. *XIV Colloque International de Climatologie - Sevilha*, Association Internationale de Climatologie.
- Lopes, A.; Vieira, H. (2001) - Heat fluxes from Landsat images: a contribution to Lisbon urban planning. In: C. Jürgens (eds) *remote sensing in urban areas. Fernerkundung in urbanen Räumen*. Regensburg, Regensburg Geographische Schriften, 35: 169-176.
- Matzarakis, A.; Mayer, H.; Iziomom, E. (1999) – Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43 (2): 76-84.
- Mayer, H.; Höppe, P. (1987) – Thermal comfort on man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38: 43-49.
- Oke, T. R. (2006) – Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3): 179-189.
- Oke, T.R. (1987) – *Boundary Layer Climates*. Routledge, London.
- Oke, T.R. (1989) – The micrometeorology of the urban forest. *Phil. Trans. R. Soc. Lond., B* (324): 335-349.
- Rosenberg, N., Blad, B.; Verma, S. (1983) – *Microclimate. The biological environment*. New York, John Wiley & Sons.
- Santamouris, M. (2001) – The role of green spaces. In: M. Santamouris, (ed.), *Energy and Climate in the Built Environment* Londres, James & James Ltd: 145-159.
- Spronken-Smith, R. A.; Oke, T. R.; Lowry, H. P. (2000) – Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park. *International Journal of Climatology*, 20:1033-1047.
- 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.

Telles, G. R. (coordenador) (1997) – *Plano verde de Lisboa - Componente do Plano Director Municipal de Lisboa*, Edições Colibri, Lisboa.

Upmanis, H.; Eliasson, I., Lindqvist, S. (1998) - The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden)." *International Journal of Climatology*, **18**: 681-700.

Upmanis, H.; Eliasson, I.; Andersson-Sköld, Y. (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.

Wilmers, F. (1988) – Green for melioration of urban climate. *Energy and Buildings*, 11: 289-299.