O DESCONFORTO TÉRMICO ESTIVAL EM LISBOA UMA ABORDAGEM BIOCLIMÁTICA¹

HENRIQUE ANDRADE²

Resumo – Foi estudada a frequência estival de dias com desconforto devido ao calor, em Lisboa/Portela, no período 1981/97. Para esse efeito, utilizou-se a *Physiological Equivalent Temperature*, índice de conforto térmico obtido através da modelização do balanço energético do corpo humano. Encontraram-se 10 % de dias com desconforto térmico, com um máximo de frequência em Julho e uma grande irregularidade interanual. Foi analisada igualmente a relação entre o desconforto térmico e o regime do vento, encontrando-se uma forte relação com a ocorrência de brisas entre a cidade e o estuário do Tejo. O regime de nortada, muito frequente no Verão, é um importante factor de atenuação do desconforto devido ao calor.

Palavras-chave: Lisboa, conforto térmico, balanço energético do corpo humano, *Physiological Equivalent Temperature*, brisas, nortada.

Abstract – The SUMMER THERMAL STRESS IN LISBOA; A BIOCLIMATIC APPROACH. The summer frequency of hot days was studied, in Lisboa/Portela, with daily data from the period 1981/97. We used the Physiological Equivalent Temperature, an index of thermal comfort based on the human energy balance, and calculated with air temperature, vapour pressure, wind speed and mean radiant temperature. It was assumed that mean radiant temperature was equal to air temperature, which is acceptable in the shade. The days were classified in two groups: hot days and very hot days, according to the thresholds of PET of 29° C and 35° C; 10 % of the days had warm stress, with a maximum of frequency in July and a great interanual variability. The relation between the thermal discomfort and the wind regime was analysed. Most of the uncomfortable days had breeze conditions, with the wind blowing from the East (from the estuary) during the morning; in the afternoon, the barometric gradient between the Ocean and the Iberian Peninsula increases, the breeze is replaced by a week northerly wind. The frequent occurence of strong northerly winds in summer is an inportant factor of reduction of the warm stress in Lisbon.

Key words: Lisbon, thermal comfort, human energy balance, Physiological Equivalent Temperature, breeze, northerly wind.

¹ Este trabalho integra-se no projecto "Bioclimatologia Humana em Lisboa", realizado em colaboração com o Instituto de Meteorologia de Freiburg no âmbito das acções integradas Luso-alemãs.

² Investigador do Centro de Estudos Geográficos. Assistente da Universidade de Lisboa (Endereço do CEG no início do volume). E-mail: henriqueandrade@mail.doc.fl.ul.pt

INTRODUÇÃO

A influência directa da atmosfera sobre os seres humanos é um dos aspectos mais relevantes para a aplicação prática da climatologia ao planeamento, nomeadamente nas áreas urbanas. O conforto térmico de exterior condiciona directamente muitas actividades ao ar livre, a saúde (sobretudo para os grupos mais vulneráveis: crianças, idosos, indivíduos com patologias sensíveis às condições atmosféricas – AULICIEMS, 1997) e o consumo de energia, através da influência sobre as condições de interior (VDI 3787, 1998).

O clima de Lisboa tem sido, muitas vezes, descrito pela sua moderação térmica. No século XVI, AMATO LUSITANO (citado por DALGADO, 1914), considerava que a sua amenidade era tal, que tornava difícil distinguir o Inverno do Verão; segundo DALGADO, (1914, p. 193) a temperatura de Lisboa é "...more constant and more equable than that of any other similar region of the Continent...".

Contudo, durante o Verão, as situações de desconforto devido ao calor não são desconhecidas dos Lisboetas. É certo que, durante esta estação do ano, a elevada frequência da nortada atenua as consequências das elevadas temperaturas; mas o vento pode tornar-se, também, incomodativo.

Neste trabalho faz-se uma abordagem do clima de Lisboa, quanto ao conforto térmico, tema tratado em poucos estudos anteriores. De referir dois desses estudos: um de FERREIRA et al. (1983), em que é feita uma classificação de tipos de tempo para Lisboa, com base no conforto térmico (utilizando um digrama psicrométrico modificado de Carrier), insolação e precipitação; outro, mais recente, de ALCOFORADO (1996), em que é estudado o conforto térmico estival nos espaços verdes de Lisboa, com base na Temperatura Efectiva.

Utilizaram-se dados diários da estação de Lisboa/Portela, para o período de Verão (entre 1 de Junho e 30 de Setembro), de 1981 a 1997. O principal objectivo foi o estudo da frequência de situações de desconforto devido ao calor e da sua relação com outros aspectos do estado da atmosfera. A interpretação bioclimática das condições térmicas foi feita recorrendo a um índice de conforto térmico: a *Physiological Equivalent Temperature* – PET – (MAYER e HÖPPE,1987; VDI 3787, 1998). Na primeira parte, serão esclarecidos alguns conceitos teóricos básicos, relacionados com o conforto térmico.

I – OS PRINCÍPIOS BÁSICOS DO CONFORTO TÉRMICO

1 - O balanço energético do corpo humano e o conforto térmico

A primeira condição do conforto térmico (e da saúde e bem-estar dos seres humanos) é a manutenção de uma temperatura corporal constante, de cerca de 37° C. Para isso, é necessário manter o equilíbrio do balanço energético do corpo humano, expresso por FANGER (1972) da seguinte forma (fig. 1):

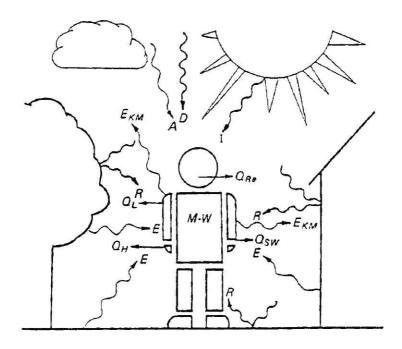


Fig.1 – O balanço energético do corpo humano (extraído de VDI 3787, 1997)

Fig. 1 – The Human Energy Balance (after VDI 3787, 1998)

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

M = taxa metabólica (produção de energia por via metabólica)	Componentes do Balanço de radiação na figura 1:				
W = Eficiência mecânica (consumo de energia para a execução de trabalho físico)	I = Radiação solar directa				
Q* = Balanço de radiação	D = Radiação solar difusa				
Q _H = Fluxo turbulento de calor sensível (sobretudo por convecção)	R = Radiação reflectida em ondas curtas				
Q _L = Fluxo turbulento de calor latente (difusão do vapor de água a partir da pele)	A = Radiação térmica da atmosfera				
Q _{sw} = Fluxo turbulento de calor latente (evaporação do suor)	E = Radiação térmica das superfícies envolventes				
Q _{re} = Fluxo respiratório de calor (sensível e latente)	E _{km} = Radiação térmica do corpo humano				

A produção metabólica de calor (M-W) é a entrada básica de energia no sistema, enquanto os restantes termos correspondem a vias de transferência de calor entre o corpo humano e a atmosfera. O controlo dos diferentes termos da equação, com o objectivo de manter a temperatura corporal constante, é a termorregulação. Segundo a generalidade dos autores, as condições térmicas mais favoráveis, correspondentes ao esforço termorregulatório mínimo, verificam-se com temperaturas entre 20° e 25° C, para um indivíduo vestido e em situação de repouso, num local com agitação do ar muito fraca, humidade atmosférica moderada e sem radiação solar directa. Um afastamento desta "zona de conforto" desencadeia respostas fisiológicas, pelas quais o sistema termorregulatório procura manter constante a temperatura corporal. Os mecanismos de termorregulação podem ter um carácter puramente fisiológico (involuntários) ou comportamental (voluntários), com forte condicionamento cultural. De facto, verifica-se uma constante interacção entre as respostas comportamentais e fisiológicas (GUYTON, 1977; HENSEL, 1979; OKE, 1987; PARSONS, 1993).

Os fluxos de calor entre o corpo e a atmosfera são consideravelmente modificados pelo vestuário, cuja principal função térmica é isolar a superfície do corpo, reduzindo as transferências de calor e vapor de água com a atmosfera. A importância desse isolamento depende de muitos factores, como o tipo de material e a sua espessura, a forma e o grau de cobertura do vestuário. De modo simplificado, a resistência térmica do vestuário pode ser expresso através de uma unidade: o *Clo*. Um *Clo*, corresponde ao vestuário necessário para manter confortável, um indivíduo sedentário, a uma temperatura de 21° (PARSONS, 1993; YAN e OLIVER, 1996). É possível avaliar, com alguma aproximação, o isolamento térmico proporcionado por qualquer vestuário (Quadro I).

Quadro I – Isolamento térmico proporcionado por alguns tipos de vestuário, em Clo

Table I – Heath	transfer resistance	of	clothing
			_

Tipo de vestuário	Isolamento térmico (Clo)		
Ausência de vestuário	0		
Calções	0,1		
Vestuário ligeiro de Verão	0,5 a 0,6		
Fato completo	1,0		
Fato e sobretudo de algodão	1,5		
Fato pesado e sobretudo de Inverno	2,0		
Vestuário Polar	3,0 a 4,0		

Segundo VDI 3787 (1998)

Em geral, a temperatura corporal é mais elevada do que a temperatura ambiente e o equilíbrio do balanço energético é mantido através das transferências de calor para a atmosfera, sobretudo por convecção, radiação e evaporação. Com temperatura ambiente muito elevada, o único mecanismo fisiológico eficaz para equilibrar o balanço energético do corpo humano é a evaporação do suor. Esta é favorecida pela agitação do ar e por uma baixa humidade atmosférica e dificultada pelo vestuário. Em situações de

excesso de calor, o desconforto térmico é devido às elevadas taxas de sudação, à humidade da pele e à elevação da temperatura interna e da pele (BERGLUND e CUNNINGH, 1986; PARSONS, 1993). A capacidade dos seres humanos para suportarem temperaturas elevadas é muito grande, desde que o fornecimento de água seja suficiente, embora a eficácia dos mecanismos de termorregulação tenha limites: em casos extremos, o aumento da temperatura corporal pode levar à morte, por hipertermia (GUYTON, 1977; PETERSDORF, 1982; PARSONS, 1993)

Verifica-se, portanto, que o esforço dos mecanismos termorreguladores aumenta com o afastamento da "zona de conforto térmico", levando, em princípio, a um incremento do desconforto. Contudo, a relação real entre o esforço de termorregulação e o conforto é complexa³; o conforto térmico tem uma forte componente subjectiva, existindo por isso importantes diferenças entre individuos (FANGER, 1975; DE DEAR et al, 1991; PARSONS, 1993). Os chamados "índices de conforto térmico", procuram representar apenas a componente fisiológica dessa variável.

2 – Os índices de conforto térmico

A principal dificuldade da análise das interacções entre a atmosfera e os seres humanos, reside no facto de os diferentes elementos climáticos não actuarem separadamente, mas de forma combinada. A tentativa de expressar a acção das condições atmosféricas sobre o conforto térmico, através de um índice, tem sido um dos objectivos principais da Bioclimatologia humana. Até meados deste século, foram criados vários índices empíricos. Os mais conhecidos são a Temperatura Efectiva, de HOUGHTEN e YAGLOU (1923), que sofreu sucessivas modificações posteriores (GONZALEZ, NISHII e GAGGE, 1974) e o Wind-Chill, de SIPLE e PASSEL (1945, citados por DIXON e PRIOR, 1987). Todos estes índices, apesar de serem ainda utilizados, foram objecto de muitas críticas, sobretudo pela sua falta de relevância fisiológica e por considerarem apenas um reduzido número das variáveis que condicionam o conforto térmico humano (em geral, ignoram os fluxos radiativos e os parâmetros de carácter pessoal).

Desde meados do século XX, os estudos mais actualizados sobre conforto térmico, têm-se baseado na modelização do balanço energético entre o corpo e a atmosfera. Foram desenvolvidos vários modelos (FANGER, 1972; GONZALEZ, NISHI e GAGGE, 1974; HÖPPE, 1993; PARSONS, 1993; STEADMAN, 1994), bastante complexos, mas que permitem chegar a índices de utilização simples, que expressam a influência das variáveis atmosféricas e pessoais mais significativas para o conforto térmico humano. É essa abordagem, através da modelização do balanço energético, que se pretende seguir neste trabalho.

³ Embora na prática a distinção nem sempre seja fácil, é importante, em termos conceptuais, diferenciar "sensação térmica" e "conforto térmico", como duas fases diferentes da percepção do ambiente térmico. A primeira corresponde à simples identificação dos dados sensoriais (Rohles, 1974; Hensel, 1979; DE FREITAS, 1985); o conforto térmico, que a ASHRAE (1969, cit por Rholes, 1974, p. 28) definiu como "... that condition of mind wich expresses satisfaction with the thermal environment..." é a apreciação, subjectiva, da sensação térmica, em que intervêm numerosos factores de carácter afectivo e cognitivo, não correspondendo necessariamente o estado de maior conforto, à neutralidade da sensação térmica (Rholes, 1974; Hensel, 1979; de Freitas, 1985; Parsons, 1993).

II - O DESCONFORTO TÉRMICO EM LISBOA/PORTELA

1 – Aspectos metodológicos

1.1 - O índice de conforto utilizado

A caracterização bioclimática do Verão, em Lisboa/Portela, foi feita através da *Physiological Equivalent Temperature*⁴ – PET (MAYER e HÖPPE,1987; VDI 3787, 1988), cuja base foi desenvolvida por FANGER (1972). Este autor estabeleceu a relação entre o ambiente térmico e a sensação subjectiva de conforto, através de estudos em câmara climatizada, com um elevado número de indivíduos (mais de 1300), o que permitiu validar estatisticamente o modelo (FANGER, 1972; ISO 7730, 1984). Obteve um índice (o *Predicted Mean Vote* – PMV), índice adimensional, que corresponde à sensação média de conforto de indivíduos numa câmara climatizada, expressa em termos de uma escala de 9 pontos (Quadro II). O PMV tem larga utilização, sobretudo em estudos de conforto térmico de interior, tendo sido adaptado posteriormente ao exterior por JENDRITZKY (VDI 3787, 1998); apresenta, contudo, limitações na aplicação a situações extremas (ISO 7730, 1984).

O modelo MEMI (Munich Energy Balance Model for Individuals), de HÖPPE (1984), baseia-se em FANGER (1972), incorporando equações de GAGGE et al. (1971), para estimação dos processos fisiológicos de termorregulação. Este modelo permite calcular, para um dado ambiente térmico (e para uma dada actividade física e vestuário), os fluxos de calor entre o interior do corpo e a pele, por um lado, e entre o corpo humano e o ambiente, por outro. A partir daí, determinam-se as variáveis mais relevantes para o conforto térmico: as temperaturas interna e da pele e a taxa de sudação (HÖPPE, 1993; VDI 3787, 1998). O modelo MEMI permite também obter o índice de conforto Physiological Equivalent Temperature, que avalia, através de uma escala em graus centígrados, o efeito da influência combinada das variáveis atmosféricas sobre o conforto. A PET é definida como a temperatura do ar que, numa situação de interior, com um conjunto padrão de condições atmosféricas (temperatura do ar igual à temperatura radiativa média⁵, tensão de vapor igual 12 hPa e velocidade do vento de 0,1 m/s), resulta nas mesmas temperatura da pele, temperatura interna e taxa de sudação que um dado ambiente térmico real de exterior (VDI 3787, 1998). Assim, por exemplo, para um ambiente térmico real caracterizado por uma temperatura do ar de 32° C, uma temperatura radiativa média de 53° C, uma tensão de vapor de 20 hPa e uma velocidade do vento de 3 m/s, o valor de PET é de 38° C (assumindo uma produção de calor interno de 80 W/m² e um vestuário correspondente a 0.9 Clo - Quadro I); isto significa que o conjunto dado de condições atmosféricas exige a mesma temperatura interna (37,1° C),

⁴ A partir daqui, a *Physiological Equivalent Temperature* passará a ser designada pela abreviatura: PET

⁵ A temperatura radiativa média (*Tmrt*) é definida como a temperatura uniforme de uma superfície envolvente negra, com a qual o corpo humano tenha as mesmas transferências radiativas que com o ambiente real, frequentemente não uniforme (FANGER, 1972; MAYER e MATZARAKIS, 1997). A *Timrt* permite integrar o conjunto de fluxos radiativos (em ondas curtas e ondas longas) do ambiente.

temperatura da pele (35,6° C) e taxa de sudação (272.5 gr/h), que um ambiente com as condições "padrão" acima referidas e uma temperatura do ar de 38° C.

A PET é obtida por meio de um programa iterativo em linguagem *FORTRAN*. O *software* utilizado foi cedido pelo Instituto de Meteorologia da Universidade de Freiburg, no âmbito do projecto "Bioclimatologia Humana em Lisboa".

MAYER e MATZARAKIS (1997) estabeleceram a relação entre a escala de conforto do PMV, determinada por Fanger (1972) e os valores de PET, o que permite definir limiares das principais classes de sensação térmica (Quadro II), para uma produção metabólica de calor de 80 W/m² (correspondente a um exercício físico ligeiro) e um vestuário com um isolamento térmico de 0,9 Clo (Quadro I). Neste estudo, assume-se assim, sempre, a aplicação do índice a um índivíduo com as características agora referidas.

Quadro II – Limiares de PET para classes de sensação térmica e esforço termorregulatório

PMV	PET (° C)	Sensação térmica	Nível de esforço termorregulatório		
-3,5	4	Muito frio	Esforço extremo		
	- 120°	Frio	Esforço elevado		
-2,5	8	Fresco	Esforço moderado		
-1,5	13	Ligeiramente fresco			
-0,5	18	www.hataataa	Esforço ligeiro		
0,5	23	Confortável	Ausência de esforço		
1,5	29	Ligeiramente quente	Esforço ligeiro		
		Quente	Esforço moderado		
2,5	35	Muito quente	Esforço elevado		
3,5	41	Extremamente quente	Esforco extremo		

Table II - Boundaries of PET for classes of thermal sensation and thermal stress

Baseado em MAYER e MATZARAKIS (1997)

1.2 - Os dados para a avaliação do conforto térmico

A estação meteorológica de Lisboa/Portela foi escolhida pela disponibilidade de dados diários. Situa-se na periferia NE da cidade (cerca de 2,5 km a Oeste do estuário do Tejo), numa área de construção pouco densa. Pela sua localização, a estação não se

pode considerar representativa da área urbanizada de Lisboa. ALCOFORADO (1992) comparou Lisboa/Portela com Lisboa/Geofísico, estação próxima do centro da cidade⁶: no Verão, em Lisboa/Portela, as temperaturas mínimas e máximas médias são mais baixas e a velocidade média do vento é mais elevada do que em Lisboa/Geofísico. A análise a efectuar aqui será, portanto, apenas uma introdução ao bioclima humano de Lisboa, que deverá ser complementada com dados de um maior número de estações e, sobretudo, da área urbanizada.

A PET foi calculada a partir da temperatura do ar (°C), da tensão de vapor (hPa), da velocidade do vento (m/s) e da temperatura radiativa média (°C). A tensão de vapor foi obtida com a temperatura do ar e da humidade relativa ou a temperatura do ponto de orvalho.

A velocidade do vento, medida a 10 m, foi corrigida para a altura de 1,5 m acima do solo recorrendo à expressão (DEACON, 1949 citado por LINACRE, 1992):

 $uz = us (z/zs)^a$

Sendo.

uz = velocidade do vento à altura z (m/s)

us = velocidade do vento a 10 m (m/s)

zs = 10 m

a = expoente dependente da estabilidade da atmosfera:

para atmosfera estável a = 0.4para atmosfera neutra a = 0.14para atmosfera instável a = 0.1

A estabilidade da atmosfera, em cada observação, foi avaliada com base nas classes de estabilidade de Pasquill – Gifford, a partir da nebulosidade e velocidade do vento (DOMINGOS *et al.* 1980).

A radiação (sobretudo a radiação solar) é um factor extremamente importante para o conforto térmico, não sendo incluída nos dados publicados para a estação de Lisboa/Portela. Existem valores de radiação solar e difusa para a estação de Lisboa/Geofísico, mas sem a discriminação temporal necessária para um estudo deste tipo. Embora, numa fase posterior do estudo bioclimático de Lisboa, se pretenda modelizar essa variável, optou-se, neste trabalho, por considerar a temperatura radiativa média (que integra o conjunto dos fluxos radiativos do ambiente) igual à temperatura do ar. Essa assunção é aceitável, desde que se considerem apenas situações de sombra, durante o dia e temperaturas de superfície muito próximas da temperatura do ar. Chama-se portanto a atenção para o facto de, neste estudo, se analisar unicamente o conforto térmico à sombra; se fosse considerada a radiação solar, os resultados seriam, sem dúvida, muito diferentes.

São publicadas quatro observações diárias da estação de Lisboa/Portela (0 h, 6 h, 12 h e 18 h) e ainda a temperatura máxima e mínima do dia, sem indicação da hora de

⁶ Mas que também não se pode considerar representativa do clima urbano de Lisboa, devido à sua localização numa área verde relativamente extensa (ALCOFORADO, 1992).

ocorrência. Para aumentar o número de valores diários de PET e permitir a utilização dos valores máximo e mínimo diário de temperatura (os mais significativos para a caracterização do ambiente térmico local), atribuiu-se a temperatura máxima às 14 h e a temperatura mínima aproximadamente à hora do nascer do Sol; em seguida, os valores de velocidade do vento e de tensão de vapor foram interpolados para essas horas, a partir das observações mais próximas. Trata-se, evidentemente, de um processo discutível e algo arbitrário, mas justificado pelo grande ganho de informação assim obtido. Evidentemente, isto implica que os valores de PET, calculados para as temperaturas máximas e mínimas diárias devam ser encarados com maior reserva do que as outras observações.

1.3 – A classificação bioclimática dos dias e das noites

Os dias estudados foram classificados em função dos valores de PET registados nas seis observações, com base nos limiares indicados no Quadro II. Foram considerados separadamente os períodos diurno e nocturno. No primeiro período, caracterizado pelas observações das 12 h, 18 h e máxima, foram consideradas duas classes: dias quentes (Q), em que pelo menos duas observações se situaram entre 29° C e 35° C e dias muito quentes (MQ), em que pelo menos uma observação teve um valor de PET superior a 35° C. No período nocturno, foi considerada uma única classe de desconforto: noites quentes (NQ), em que uma observação esteve acima de 25° C ou, pelo menos duas, acima de 23° C.

2 - Os resultados obtidos

2.1 - O desconforto térmico diurno

a) Frequência de dias com desconforto devido ao calor

No período estudado, 10 % dos dias tiveram condições de desconforto devido ao calor, sendo 4,5 % dias quentes e 5,5 % dias muito quentes. Os valores de PET superiores a 41° C (extremamente quentes – Quadro II) só ocorreram em 0,4 % dos dias.

As situações de desconforto térmico distribuiram-se de forma muito desigual pelos anos estudados (fig. 2), com 50 % dos dias desconfortáveis, em apenas 6 dos 17 anos estudados. O ano com maior número de dias muito quentes foi 1981: 18 dias, nos meses de Junho e Julho; neste ano registou-se o valor mais elevado de PET: 47,2 °C, no dia 14 de Junho. Por outro lado, 1994 só conheceu três dias desconfortáveis, sendo apenas um destes muito quente.

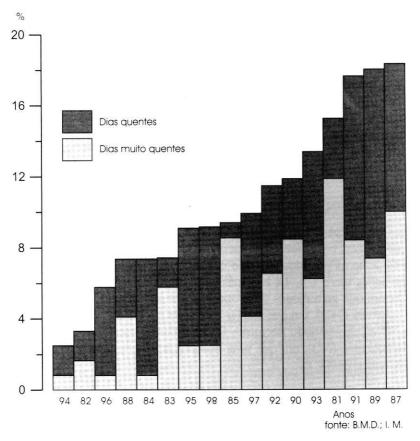


Fig. 2 – Frequência relativa estival de dias quentes e muito quentes, em Lisboa/Portela (1981/97)

Fig. 2 – Summer relative frequency of hot and very hot days at Lisboa/Portela (1981/97)

Naturalmente, essa frequência variou muito ao longo do Verão (fig. 3). Apresentou um máximo bem definido em Julho, com 23,5 % de dias desconfortáveis na segunda década do mês (e uma elevada proporção de dias muito quentes). Os meses de Junho e Setembro tiveram um comportamento irregular, com valores particularmente elevados na segunda década de Junho e na primeira e segunda de Setembro e um ritmo interanual muito irregular: na segunda década de Junho, dois anos (1981 e 1983), perfizeram 61 % do total de dias desconfortáveis; no mês de Setembro, 70 % dos dias quentes e muito quentes ocorreram em apenas quatro anos (1983, 1985, 1987 e 1988).

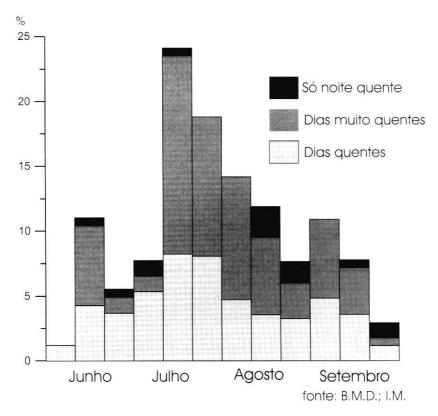


Fig. 3 – Frequência de dias com desconforto devido ao calor, por décadas (1981/97)

Fig. 3 – Frequency of days with warm stress, per decade (1981/97)

b) Desconforto térmico diurno e regime de vento

Existe uma forte relação entre o campo térmico, em Lisboa, e as condições de advecção. Essas relações foram estudadas, para o Verão, por ALCOFORADO (1987), num período de oito anos, tendo a autora descrito diferentes regimes de vento. No presente trabalho, procurou-se analisar a influência da advecção sobre o conforto térmico. O facto de se utilizarem apenas dados de Lisboa/Portela e só duas observações diurnas de vento, limitou muito essa análise; mesmo assim, foi possível encontrar algumas relações claras entre determinados regimes de advecção e as condições bioclimáticas.

Uma tendência dominante no período estival é o aumento de velocidade do vento durante a tarde: em 83 % dos dias estudados, a velocidade do vento aumentou entre as 12 h e as 18 h, só tendo decrescido em 12 %. Outro facto frequente é a rotação do vento, entre as duas observações diurnas, para N ou W. Ambos os aspectos referidos se devem ao incremento do gradiente térmico entre o interior da Península e o litoral ocidental, ao longo do dia (FERREIRA, 1984; ALCOFORADO, 1987).

Segundo ALCOFORADO (1987), os regimes de vento mais frequentes em Lisboa, no Verão, são a nortada (45 % do total) e as brisas (30 % dos dias estudados), distinguindo-se diferentes tipos dentro de cada um desses regimes.

No presente trabalho, procedeu-se a uma classificação dos dias, com base nas características do vento às 12 h e às 18 h (Quadro III).

Quadro III – Principais regimes diurnos de vento no Verão, em Lisboa (1981/97)

Table III – Main daytime wind regimes in Lisbon (1981/97)

Tipo	Sub-tipo	Caracterização			
1.50	N/NW	Vento de N a NW nas duas observações; velocidade superior a			
_	Forte	5 m/s às 12 h.			
Nontada N/NW Fraca		Vento de N a NW nas duas observações; velocidade inferior a			
Non	Fraca	5 m/s às 12 h.			
_	NE-N	Vento de NE às 12 h, com velocidade superior a 5 m/s; rotação			
		para o quadrante N às 18 h.			
dade npre m/s)	E-N	Vento do quadrante E às 12 h; rotação para N ou NW às 18 h.			
Brisa (velocidade às 12 h sempre inferior a 5 m/s)	E-W	Vento do quadrante E às 12 h; rotação para W às 18 h.			
Brisa às 12 inferi		Vento do quadrante S às 12 h; rotação para N ou NW às 18 h.			
Ø	Calma/N	Ausência de vento às 12 h; vento do quadrante N às 18 h			
Outros Regimes	E/NE	Vento do quadrante E a NE nas duas observações			
Ш	S/SW	Vento de S a SW nas duas observações			

Entre 1981 e 1997, em Lisboa/Portela, os dias com nortada representaram 45 % do total e os dias com brisa 28 %. O tipo mais frequente foi a nortada forte (fig. 4).

As dias com brisa tiveram as temperaturas fisiológicas mais elevadas (Quadro IV) e contribuiram para a maior percentagem de dias quentes e muito quentes: verificaram-se brisas em 78 % dos dias muito quentes e 68 % dos dias quentes. As condições favoráveis à formação das brisas, correspondem a um gradiente de pressão muito fraco e a uma situação de abrigo aerológico, com presença de uma inversão térmica de subsidência, relativamente baixa (ALCOFORADO, 1987). Verificou-se na maior parte dos dias um fluxo à superfície do quadrante E, condicionado pela depressão térmica peninsular ou pela do Norte de África, ou situações de colo barométrico. Isto não significa, evidentemente, que o desconforto térmico mais acentuado se verifique durante o período em

que sopra a brisa, mas sim que as condições sinópticas que originam este vento local são também as que provocam as temperaturas fisiológicas elevadas, embora não às mesmas horas.

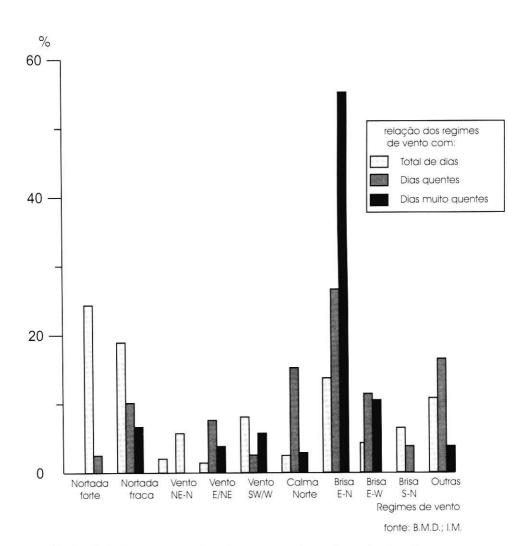


Fig.4 – Relação entre o regime do vento e o desconforto térmico diurno, em Lisboa/Portela (1981/97)

Fig. 4 – Relation between the wind regime and the daytime thermal stress, at Lisboa/Portela (1981/97)

De facto, segundo ALCOFORADO (1987), a rotação do vento correspondente à brisa, provoca um afluxo de ar relativamente fresco e húmido, do estuário do Tejo ou do oceano, interrompendo o habitual aumento de temperatura diurno e fazendo com que a temperatura máxima se registe relativamente tarde, quando se restabelece a nortada. Não dispomos de dados para analisar essa evolução, que poderá ter consequências bioclimáticas importantes; contudo, o aumento da velocidade do vento ao longo da tarde deve compensar o aquecimento do ar, pelo que o valor de PET, às 18 h, foi quase sempre inferior ao das 12 h. Em 28 % dos dias de brisa é mesmo inferior ao limiar de 18° C (ligeiramente fresco – Quadro II), sobretudo nos meses de Junho e Setembro.

Também contribuiram muito para o desconforto térmico estival as situações com fluxo de carácter continental (vento NE-N ou E/NE) – Quadro IV; fig. 4. As situações sinópticas correspondentes ao fluxo de E/NE favoreceram a manutenção do vento de gradiente, ao longo do dia. Estas situações são mais frequentes em Junho e Setembro (78 % das suas ocorrências no Verão), quando a nortada tem menor expressão.

Quadro IV – Condições atmosféricas associadas aos principais regimes de vento, em Lisboa/Portela (1981/97)

Table IV – Atmospheric conditions associated to the main wind regimes, in Lisboa/Portela (1981/97)

Regimes de vento.	Temperatura mediana do ar (° C)			Velocidade mediana do vento (m/s)		PET mediana (°C)		
	12 h	Max.	18 h	12 h	18 h	12 h	Max.	18 h
Nortada forte	23	25	22	6.2	7.7	16,8	18,9	15,0
Nortada fraca	24	26	23	3.6	6.2	19,3	21,5	16,5
Vento NE-N	28	30.5	27	2.1	6.2	23,0	27,3	21,0
Vento E/NE	27	32	29	5.1	4.6	21,7	29,8	25,4
Vento SW/W	22	24	22	4.6	5.7	15,6	18,8	15,6
Calma/Norte	26	30	26	0.0	5.1	27,8	28,0	20,6
Brisa E-N	28	32	28	2.1	6.2	24,9	30,4	22,9
Brisa E-W	26	30	27	1.5	4.1	22,8	28,3	22,6
Brisa S-N	24	28	24	2.1	5.1	20,1	23,8	18,2

Siglas no Quadro III

Fonte de dados de base: B.M.D.; I. M.

Apesar da frequência do vento de Norte no Verão, a sua participação nas situações de desconforto devido ao calor foi muito reduzida (fig. 4), sobretudo para a nortada forte. Este regime de advecção ocasionou as temperaturas mais baixas (juntamente com o vento de SW/W), as maiores velocidades do vento e, consequentemente, os valores mais baixos de temperatura fisiológica (Quadro IV). Em 60 % das observações, os valores de PET situaram-se mesmo abaixo do limiar de conforto de 18° C (Quadro II) e em 16 % abaixo de 13° C, limite superior dos valores frescos.

A nortada fraca correspondeu a valores de temperatura fisiológica mais elevada (Quadro IV, fig. 4); contudo, devido ao aumento da velocidade do vento às 18 h, a mediana da PET aproximou-se da das situações de nortada forte; os valores inferiores a 18° C corresponderam ainda a 60 % do total, e abaixo de 13° C (fresco) ocorreram em 8.5 % das ocasiões.

As situações sinópticas associadas a nortada fraca corresponderam, como havia já sido referido por Alcoforado (1987), à margem de um anticiclone atlântico com extensão para NE, frequentemente associada à depressão térmica peninsular, ou a um núcleo anticiclónico a S ou SE da Península Ibérica.

Nas situações com vento SW/W, o valor mediano de PET foi baixo (quadro IV), porque muitos destes dias tiveram condições depressionárias ou perturbadas, com tempo fresco e ventoso. Nos dias mais quentes com este rumo do vento, as condições foram semelhantes às que originam as brisas. O vento, durante a noite, foi do quadrante N e, na maior parte dos dias, rodou de SW, às 12 h, para W às 18 h. Nestes casos, coloca-se a hipótese de se tratar de situações de brisa de SW, com origem no oceano (ALCOFORADO, 1987); o esclarecimento deste aspecto exigiria um estudo mais detalhado.

A dependência estatística entre as duas tipologias – regimes de advecção; classes de conforto térmico – foi medida através do teste do Qui-Quadrado ($\rm X^2-CLARK$ e HOSKING, 1986). Essa relação revelou-se muito significativa: $\rm X^2=263$, sendo o limiar mínimo de significância 32,9, para um nível de probabilidade de 0,001.

2.2. O desconforto térmico nocturno

Registaram-se condições de desconforto em 5 % das noites estudadas, com uma distribuição interanual e sazonal semelhante à dos dias quentes e muito quentes (figs. 2 e 3). O limiar de PET considerado para a classificação das noites como desconfortáveis é inferior ao dos dias quentes; contudo, na avaliação dos efeitos deste tipo de noites, deve ser considerado o facto de estas, na sua maioria (68 %), se seguirem a dias já desconfortáveis. A acumulação do esforço termorregulatório, não permitindo ao organismo ter um período de recuperação nocturno, é particularmente nociva ao organismo humano (VDI 3787, 1998).

Durante a noite, o vento foi do quadrante N nas duas observações, em 48 % dos casos (fig. 5), embora a velocidade do fluxo seja muito inferior à da nortada diurna (velocidade mediana de 3,6 m/s às 0 h; 3,0 m/s às 6 h); 71 % dessas noites foram precedidas por um dia de nortada. A frequência de situações de calma foi muito superior à diurna (13 %, contra menos de 2 % das observações diurnas). Em 8,5 % das noites, o vento foi de N às 0 h, registando-se calma às 6 h.

As noites quentes apresentaram uma forte relação com as situações de calma (fig. 5): em 33 % não se observou vento em nenhuma observação e, em 30 %, o vento de N, às 0 h (com uma velocidade baixa: 2,3 m/s), foi substituído por calma às 6 h. As noites com estas características sucederam-se com muita frequência a dias desconfortáveis com brisa. As situações de vento persistente de N corresponderam apenas a 6 % das noites quentes. A relação estatística entre a classificação dos regimes de vento nocturnos e da temperatura fisiológica é igualmente muito significativa ($X^2 = 330$).

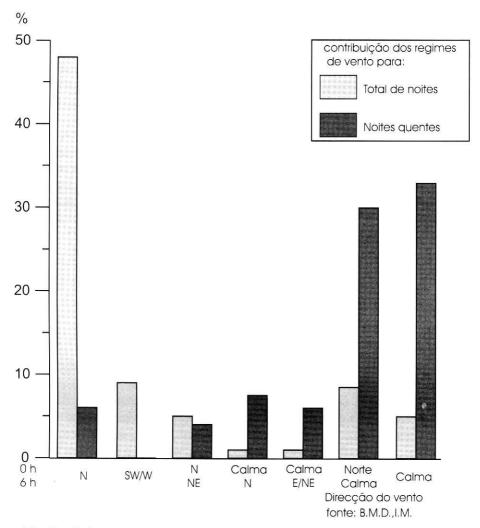


Fig. 5 – Relação entre o regime do vento e o desconforto térmico nocturno, em Lisboa/Portela (1981/97)

Fig. 5 – Relation between the wind regime and the nighttime thermal stress, at Lisboa/Portela (1981/97)

CONCLUSÃO

Nos 17 Verões estudados, 10 % dos dias conheceram desconforto devido ao calor, com uma forte irregularidade interanual e um máximo de frequência, muito acentuado, no mês de Julho; contudo, em qualquer período do Verão, podem ocorrer valores muito elevados de temperatura fisiológica, embora com maior irregularidade do que em Julho. Se o cálculo de PET tivesse em consideração o balanço de radiação, sem dúvida que a frequência de dias desconfortáveis aumentaria muito, aspecto que se pretende estudar, futuramente.

A elevada frequência de ventos de N no Verão, em Lisboa, é um importante factor de limitação do desconforto devido ao calor, tanto diurno como nocturno. Contudo, mesmo durante o dia, as elevadas velocidades do vento, em situações de nortada, podem originar situações de desconforto, associado a valores de temperatura fisiológica relativamente baixos (em geral desconforto moderado).

As situações mais favoráveis à ocorrência de dias quentes e muito quentes são as que dão origem às brisas do quadrante E (mais raramente de S ou SW) sobre Lisboa. Neste caso, a temperatura elevada e a baixa velocidade do vento contribuem para a ocorrência de valores de PET elevados, apesar de uma possível influência moderadora da brisa (que transporta ar mais fresco, do estuário ou do oceano para a cidade), sobre a temperatura. No final do tarde, a aceleração do vento (em geral do quadrante N) provoca uma diminuição acentuada da temperatura fisiológica.

As noites com maior desconforto devido ao calor seguem-se, na sua maior parte, a dias quentes ou muito quentes; predominam nestas noites situações de calma (ou vento muito fraco do quadrante N) e a baixa velocidade do vento contribui para os valores de PET elevados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio que me foi dado pelo Prof. H. Mayer e pelo Dr. A. Matzarakis no Instituto de Meteorologia da Universidade de Freiburg.

BIBLIOGRAFIA

- ALCOFORADO, M. J. (1987) Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa. *Finister-ra*, XXII (43): 71-112.
- ALCOFORADO, M. J. (1992) O clima da região de Lisboa, contrastes e ritmos térmicos. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, vol. 15, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- ALCOFORADO, M. J. (1996) Comparaison des ambiances bioclimatiques estivales d'espaces verts de Lisbonne. *Publ. Assoc. Intern. Climat.*, 9: 273-280
- AULICIEMS, A. (1997) Comfort, clothing and health. in: THOMPSON, R.; PERRY, A. (ed.) *Applied Climatology, Principles and Pratice*, part 3: 155-174, Routledge, London.
- DALGADO, D. G. (1914) The climate of Portugal and notes on its health resorts. H.K. Lewis, London.
- DE DEAR, R. J.; LEOW, K. G.; FOO, S. C. (1991) Thermal comfort in the humid tropics: field experiments in air conditioned and naturally ventilated buildings. *International Journal of Biometeorology*, 34: 259-265.

- DE FREITAS, C. R. (1987) Bioclimates of heat and cold stress in New Zealand. Weather and Climate, 7: 55-60.
- DIXON, J. C.; PRIOR, M. J. (1987) Wind-Chill indices a review. *The Meteorological Magazine*, 116, 1374: 1-16.
- DOMINGOS, J. J. D.; PINTO, M. F.; PONTES, M. T. (1980) Ocorrência média anual no território português das classes de estabilidade atmosférica de Pasquill-Gifford. *Revista de Engenharia Técnica*, XLII, 460: 27-41.
- FANGER, P. O. (1972) Thermal Comfort. McGraw-Hill.
- FERREIRA, A. B.; ROXO, M. J.; VIEIRA, M. J.; QUINTAL, R. (1983) Ambiência atmosférica e recreio ao ar livre. Relat. nº 17 da L. A. G. F., Centro de Estudos Geográficos. I.N.I.C., Lisboa.
- FERREIRA, D. B. (1984) Le Système Climatique de L'Upwelling Ouest Ibérique. Relat. nº 19 da L. A. G. F., Centro de Estudos Geográficos. I.N.I.C., Lisboa.
- GAGGE, A. P.; STOLWIJK, J. A. J.; NISHI, Y. (1971) An Effective Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response. *ASHRAE Transactions*, 77, II: 247-262.
- GONZALEZ, R. R.; NISHI, Y.; GAGGE, A. P. (1974) Experimental evaluation of Standart Effective Temperature, a New Biometeorological Index of Man's Thermal Discomfort. *Int. Journal of Biometeorology*, 18 (1): 1-15.
- GUYTON, A. C. (1977) Tratado de Fisiologia Médica. Interamericana, Rio de Janeiro.
- HENSEL, H. (1979) Thermoreception and comfort in Man. in: TROMP, S. W; BOUMA, J. J., Biometeorological Survey, Vol. 1, Part A: 3-9, Heyden & Son, London.
- HÖPPE, P. (1993) Heat Balance Modelling. Experientia, 49 (9): 741-747.
- ISO 7730 (1984) Moderate Thermal Environments Determination of The PMV And PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfor., International Standards Organisation, Geneva.
- LINACRE, E. (1992) Climate data and resources. Routledge, London.
- MAYER, H.; MATZARAKIS, A. (1997) The urban heath island seen from the angle of human-biometeorlogy. *Proc. Intern. Sympos. Monit. Urban Heath Island*, Fujisawa (Japan) in Keio Univ.: 84-95.
- MAYER, H.; HÖPPE, P. (1987) Thermal comfort on man in different urban environments. *Theor. Appl. Climat.*, 38: 43-49.
- OKE, T. R. (1987) Boundary Layer Climates. Routledge, London.
- PARSONS, K. C. (1993) Human thermal environments. Taylor & Francis, London.
- PETERSDORF, R. G. (1982) Altérations de la température corporelle. In: HARRISON, T. H., Principes de Médicine interne, Flammarion Médecine-Sciences, Paris: 54-62,.
- ROHLES, F. H. (1974) The Measurement and Prediction of Thermal Comfort. *ASHRAE Transactions*, 80 (2): 90-114.
- STEADAMN, R. G. (1984) A Universal Scale of Apparent Temperature. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 1675-1687.
- VDI 3787 (1998) Environmental Meteorology, Methods for the human-biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level. Dusseldorf, VDI-Verlag.
- YAN, Y. Y.; OLIVER, J. (1996) The CLO: a utilitarian unit to measure weather/climate comfort. Int. Journal of Climatology, 19 (9): 1045-1056.

Fonte de dados diários:

Boletim Meteorológico Diário, I.N.M.G./I.M., Lisboa