

MARIA JOÃO ALCOFORADO

O CLIMA DA REGIÃO DE LISBOA



M. J. ALCOFORADO nous présente une vaste étude de Climatologie régionale et urbaine, basée en grande partie sur ses propres mesures effectuées de jour comme de nuit. L'auteur montre une ample connaissance méthodique et développe les résultats de ses recherches avec une grande habileté. Cette "Climatologie de Lisbonne" est particulièrement bienvenue en ce moment où la discussion sur le changement climatique de notre planète est à l'ordre du jour.

WILFRIED ENDLICHER

(Professeur à l'Université de MARBURG, Allemagne)

MEMÓRIAS
DO CENTRO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS

N.º 15

MARIA JOÃO ALCOFORADO

O CLIMA
DA REGIÃO DE LISBOA
CONTRASTES E RITMOS TÉRMICOS

LISBOA
1992

NA MESMA COLECÇÃO

- 1 — Jorge Gaspar, *A Área de Influência de Évora. Sistema de Funções e Lugares Centrais*. 414 p., Lisboa, 1972.
- 2 — Carlos Alberto Medeiros, *A Colonização das Terras Altas da Huíla (Angola). Estudo de Geografia Humana*. 705 p., Lisboa, 1976.
- 3 — Suzanne Daveau, avec la collaboration de C. Coelho, V. Gama e Costa, L. Carvalho, *Répartition et Rythme des Précipitations au Portugal*. 192 p., 2 mapas a cores fora do texto, na escala 1:500 000, Lisboa, 1977.
- 4 — António de Brum Ferreira, *Planaltos e Montanhas do Norte da Beira. Estudo de Geomorfologia*. 374 p., um mapa geomorfológico fora do texto, Lisboa, 1978.
- 5 — Geneviève Coudé-Gaussen, *Les Serras da Peneda et de Gerês. Etude Géomorphologique*. 261 p., 2 mapas a cores fora do texto, Lisboa, 1981.
- 6 — Denise de Brum Ferreira, *Carte Géomorphologique du Portugal*. 56 p., 1 mapa a cores fora do texto, na escala 1:500 000, Lisboa, 1981.
- 7 — Suzanne Daveau e colaboradores, *Mapas Climáticos de Portugal. Nevoeiro e Nebulosidade. Contrastes Térmicos*. 95 p., 2 mapas a cores fora do texto, na escala 1:1 000 000, Lisboa, 1985.
- 8 — Suzanne Daveau, avec la collaboration de Pierre Birot et Orlando Ribeiro, *Les Bassins de Lousã et d'Arganil. Recherches Géomorphologiques et Sédimentologiques sur le Massif Ancien et sa Couverture à l'Est de Coimbra*. 450 p., Lisboa, 1985-86.
- 9 — Júlia Galego e Suzanne Daveau, *O Numeramento de 1527-1532. Tratamento Cartográfico*. 118 p., Lisboa, 1986.
- 10 — Mariano Feio e Virgínia Henriques, *As Secas de 1980-81 e de 1982-83 e as Principais Secas Anteriores. Intensidade e Distribuição Regional*. 103 p., Lisboa, 1986.
- 11 — João Ferrão, *Indústria e Valorização do Capital. Uma Análise Geográfica*. 444 p., Lisboa, 1987.
- 12 — Maria Fernanda Alegria, *A Organização dos Transportes em Portugal (1850-1910). As Vias e o Tráfego*. 560 p., Lisboa, 1990.
- 13 — Maria Helena Dias, *Leitura e Comparação de Mapas Temáticos em Geografia*. 433 p., Lisboa 1991.
- 14 — Maria Lucinda Fonseca, *População e Território do País à Área Metropolitana*. 416 p., Lisboa 1990.

O CLIMA DA REGIÃO DE LISBOA

CONTRASTES E RITMOS TÉRMICOS

TÍTULO

O Clima da Região de Lisboa

1.ª edição 1993

ISBN 972-636-094-3

AUTOR

Maria João Alcoforado

EDIÇÃO

Tiragem: 750 exemplares

Centro de Estudos Geográficos

CAPA

Arranjo gráfico de José Peres

COMPOSIÇÃO, IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Tipografia Guerra — Viseu

Contribuinte n.º 500 295 697

Depósito legal n.º 60304/93

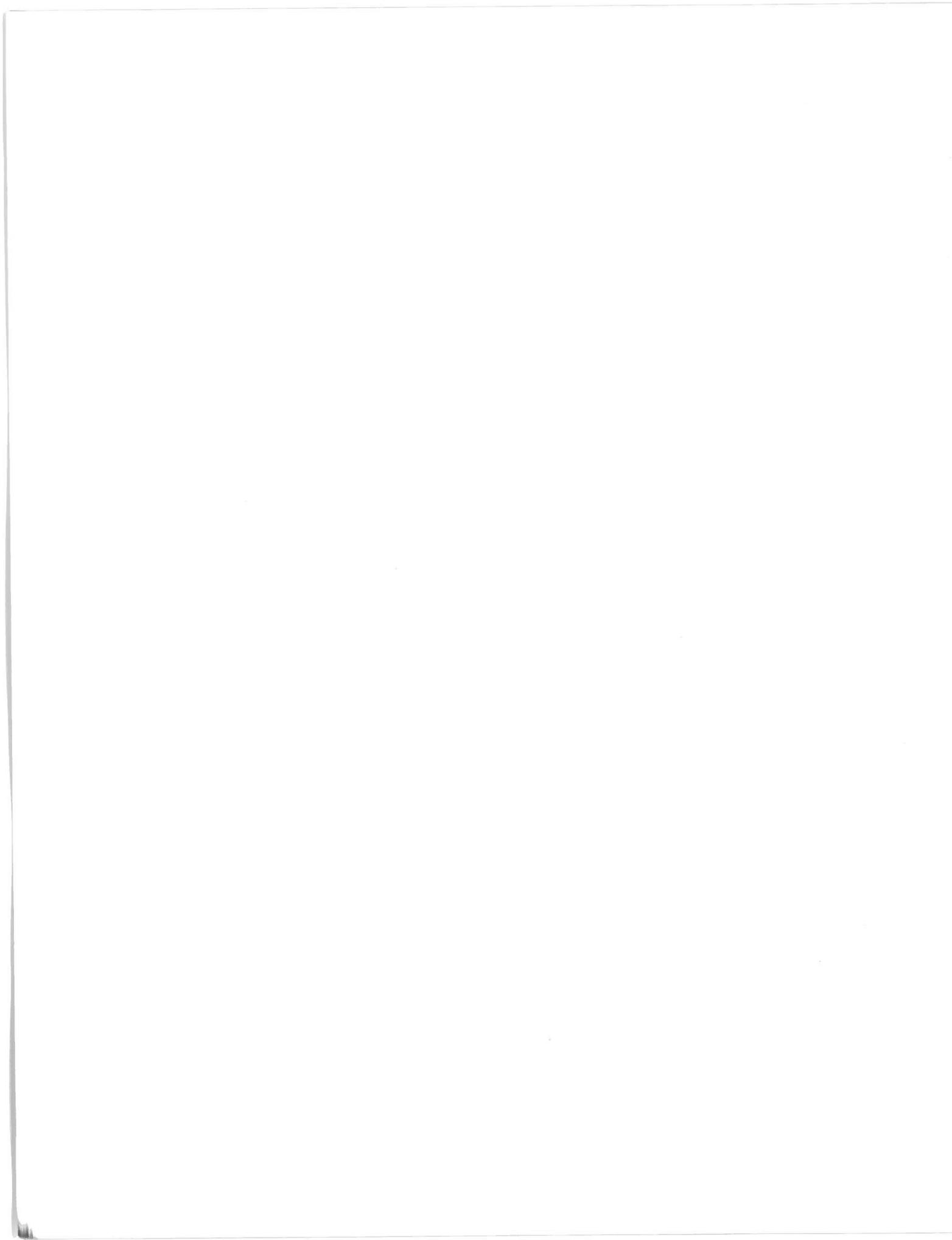
Maria João Alcoforado

**O CLIMA
DA REGIÃO DE LISBOA**

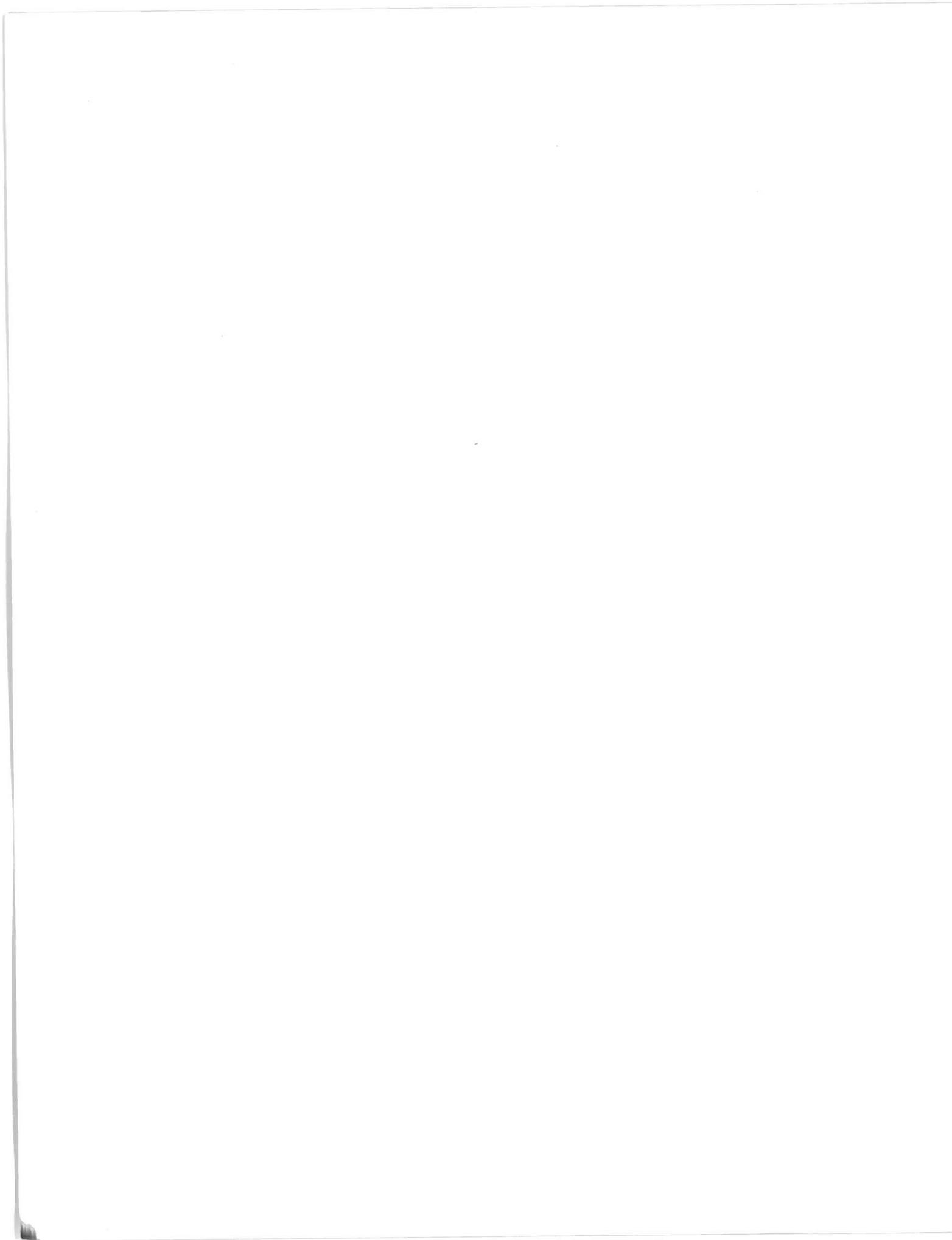
CONTRASTES E RITMOS TÉRMICOS

Centro de Estudos Geográficos
Universidade de Lisboa

LISBOA — 1993



*AO MIGUEL
AO TIAGO*



PREÂMBULO

O trabalho que agora se publica foi apresentado em Setembro de 1988, como dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Não se fizeram modificações substanciais ao texto então difundido, embora se tenha alterado um pouco a estrutura da segunda parte. Tentou aligeirar-se a apresentação, omitindo quadros de valores que não se consideraram essenciais e algumas figuras.

Diversas vicissitudes atrasaram a publicação deste estudo. E, como nestes últimos anos, passámos a dispor mais facilmente de material informático, muitos dos temas não seriam agora tratados de mesmo modo.

Apesar disso, considerou-se útil a divulgação deste trabalho. São aqui dados os primeiros passos em estudos de clima local, praticamente inexistentes em Portugal há uma década. É descrito, pela primeira vez, o clima urbano de Lisboa. São salientadas as grandes variações do «tempo» no litoral ocidental. Alguns resultados aqui divulgados poderão ser utilizados a nível aplicado como, por exemplo, o estudo dos dados diários de insolação para o aproveitamento de energia solar ou para fins turísticos. As técnicas e os métodos têm vindo a ser aperfeiçoados e espera-se, para breve, o aparecimento de novas investigações sobre temas afins. Aliás, muitas das pistas de trabalho futuro, então sugeridas, começaram já a ser desbravadas. ()*

Devo reconhecer que este trabalho deve muito a numerosas pessoas; não é possível mencionar aqui todas as ajudas directas e indirectas que recebi, não só no Centro de Estudos Geográficos, como noutros Organismos em Lisboa e no Estrangeiro. Agradecendo a todos, saliento algumas das contribuições.

Começo pela Professora Suzanne Daveau, que me sugeriu iniciar a investigação do clima de Lisboa e o estudo dos ventos no litoral ocidental a partir da deformação das árvores. Nessa investigação, que constituiu a minha primeira experiência de estudo do clima à escala local, muito aproveitei da sua companhia em vários dias de trabalho de campo, bem como da orientação que se lhe seguiu para a conclusão de outros trabalhos sobre o mesmo tema. Desde os anos em que fui sua aluna, devo-lhe a aprendizagem do rigor, da autocrítica e da disciplina no desenrolar da investigação. As suas críticas e sugestões estimulantes muito contribuíram para a correcção de falhas e imprecisões das primeiras versões, assim como para a definição da estrutura deste texto. E, muito particularmente, saliento o interesse, o apoio e a amizade que manifestou, nos muito frequentes contactos e trocas de impressões, que se tornaram quase diários na fase final da redacção. O estímulo que dela recebi, em períodos de desânimo, foi insubstituível. Ao Professor Orlando Ribeiro, amigo sempre interessado, que directa e indirectamente muito contribuiu para a minha formação, dirijo um agradecimento especial.

(*) Acaba de ser aprovado pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica um projecto com o título «Imagens e Representações para o Ordenamento Biofísico em meio urbano: Lisboa», do qual sou responsável e em que colaboram outros membros do Centro de Estudos Geográficos, a Universidade de Coimbra e o Instituto Geográfico e Cadastral.

Ao Professor António de Brum Ferreira, de quem nunca fui aluna, a não ser, esporadicamente, em curtos estágios de campo, agradeço ter aceite, em 1982, co-orientar esta dissertação. A partir de então, pude sempre contar com a sua total disponibilidade e boa vontade para ler e comentar textos provisórios e os capítulos que ia redigindo. Admiro o cuidado e o rigor dos seus comentários, que me permitiram corrigir e apurar muitos aspectos deste trabalho. Saliento e agradeço muito particularmente as importantes sugestões que me fez na sua leitura final do texto. As nossas trocas de impressões foram sempre francas, cordiais e muito proveitosas para mim.

Estou grata também a muitos colegas estrangeiros, particularmente os do Grupo de Trabalho de Topoclimatologia da U.G.I.. Devo-lhes bibliografia não disponível em Portugal, programas para tratamento automático da informação, leitura e comentário de alguns textos provisórios, esclarecimentos sobre problemas práticos do trabalho, acolhimento em numerosos Centros e Laboratórios (mais longamente em Freiburg, Grenoble e Nice) e apoio técnico para certas observações de terreno (equipa de Fribourg).

Às Professoras Maria Eugénia Soares de Albergaria Moreira e Maria Fernanda Alegria, não diretamente ligadas a este trabalho, agradeço a amizade e os encorajamentos em períodos mais difíceis.

Fico reconhecida também a todos os que, fora do Centro de Estudos Geográficos, me apoiaram de uma forma ou de outra. Recordo a amabilidade com que fui recebida pelo Senhor Engenheiro Mário Vieira e pelo Senhor Edgar, nas Instalações da Petrogal, em Cabo Ruivo; os conselhos dos Senhores Dr. Calado e do Dr. Costa Malheiro, no Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, a boa vontade com que aí era atendida na biblioteca pela Senhora doutora Manuela Maranhas e pela Senhora D. Arlete Pacheco. Estou grata por me ter sido permitida, por esta Instituição, a consulta de toda a documentação necessária, por vezes volumosa, e a simpatia com que me era fornecida, pelo Senhor J. Pereira, cada vez que era solicitada. Recordo ainda que o I.N.M.G. aferiu, a título gracioso e por duas vezes, os meus dois termo-higrógrafos e financiou parte da campanha de lançamentos de balões estabilizados no Verão 1987. Também no Instituto Geofísico Infante D. Luís me foram concedidas todas as facilidades para a consulta de extensa documentação sobre a estação meteorológica de Lisboa (Geofísico).

No Centro de Estudos Geográficos, estou particularmente grata a Celeste Mendes, que dactilografou as legendas das figuras e alguns quadros e a Luís Mendes, que se encarregou de passar a limpo a maior parte dos meus esboços. Ao Senhor José Peres e a António Eanes, agradeço a colaboração na preparação de parte da ilustração.

Para a apresentação do primeiro texto que eu própria dactilografei, devo um agradecimento especial a António Eanes, a Isabel Margarida André e a Ana Mafalda Alcoforado, assim como a todos os que, na Reprografia da Associação de Estudantes da Faculdade de Letras se esforçaram, com simpatia, não só pela qualidade do trabalho, como pelo respeito dos prazos pré-estabelecidos.

Foi muito importante a ajuda recebida de alunos do curso de Geografia que, em diversas fases da pesquisa, me ajudaram na recolha de dados, na sua introdução no computador e noutras tarefas, por vezes morosas. Refiro aqui particularmente o empenhamento de Maria Luísa Abreu que me ofereceu, durante horas sem fim, o seu esforço e amizade, sobretudo durante a última fase de redacção. A minha colega e amiga de longa data, Maria Teresa Malafaia, ajudou-me na revisão das provas de todo o texto.

Devo um agradecimento especial a meus Pais que, desde o início, me encorajaram a prosseguir a tarefa iniciada, e a tornaram possível encarregando-se dos meus filhos. Eles souberam, junto deles, substituir-me com carinho nas minhas ausências demasiado prolongadas. Foi o meu marido que me incentivou no início da investigação, quando pensava não conseguir meios materiais para a levar a cabo. Agradeço a sua participação em todas as observações nocturnas que, na maior parte dos casos, antecediam dias normais de trabalho. Sem o seu apoio, parte do estudo do clima urbano não teria sido possível.

A meus filhos, só tenho de pedir desculpa pela atenção que não lhes dispensei durante tanto tempo.

INTRODUÇÃO

Qualquer das definições de clima, desde a de J. HANN, no fim do século passado, à de M. SORRE, em 1944, e outras mais recentes, demonstram que o clima é uma noção abstracta, construída pelo espírito humano para representar, por uns poucos valores numéricos, o conjunto de estados do tempo a que o Homem está sujeito e que, esses sim, são concretos para ele.

É igualmente difícil delimitar as várias escalas espaciais de trabalho em Climatologia. No seu manual, M. YOSHINO (1975), apresenta, num quadro, o ponto de vista de 36 autores: há subdivisões muito diversas, embora os termos macroclima e microclima apareçam sempre. E, dada a ausência de um critério único, cada autor vê-se na obrigação de esclarecer o seu ponto de vista pessoal, alongando-se cada vez mais a lista, já comprida, apresentada por M. YOSHINO.

As normas para a instalação de parques de instrumentos, definidas pela Organização Meteorológica Mundial (O.M.M.) são rigorosas, para que as observações meteorológicas sejam «representativas» do clima de áreas de vários km² (ou várias dezenas de km²) de extensão. Os dados assim recolhidos, cujas médias e frequências são publicadas periodicamente pelos Serviços Meteorológicos de grande número de Países, são utilizados para definir o macroclima. Este é também denominado «clima zonal» e «clima sinóptico» (embora as condições sinópticas tenham sempre grande importância, seja qual for a escala a que se trabalhe).

O mesoclima (que será empregue como sinónimo de clima regional) caracteriza o clima de «compartimentos» no interior de cada zona ou área com o mesmo macroclima e depende de acidentes geográficos de grande dimensão, como por exemplo de uma cadeia montanhosa, ou da distância a um oceano. Numa área de mesmo macroclima, diferenciar-se-ão, por exemplo, o mesoclima da planície, da encosta a barlavento, do topo da montanha e da encosta a sotavento. Normalmente, a densidade de estações e postos meteorológicos é suficiente para o estudo do clima regional ou mesoclima.

A palavra topoclima foi proposta, em 1953, por C. W. THORNTHWAITE, durante a primeira reunião da Comissão de Climatologia da O.M.M., para designar o clima directamente dependente das características do substrato (topografia, tipo de solo, ocupação vegetal, presença ou proximidade de extensões de água, etc.) ou seja, o clima local. Alguns autores (A. BITAN, 1975 e J. PASZYNSKI, 1983) preferem a utilização do termo topoclima em vez de clima local, pois a palavra grega *topos* significa literalmente local. Assim, fala-se em topoclima de fundo de vale e de vertente, mas também de topoclima urbano, de floresta, de campos cultivados. No conjunto das escalas espaciais, o clima local situa-se entre o mesoclima ou clima regional e o microclima, com o qual é frequentemente confundido.

O microclima corresponde ao clima de áreas reduzidas junto ao solo, nas quais há grandes variações verticais e horizontais dos valores dos vários elementos climáticos, ou ao clima de áreas mais confinadas ainda. Como exemplos, cite-se o clima de uma rua muito estreita («city canyon»), de um pátio, de uma gruta, ou mesmo do interior de um edifício ou uma divisão de um apartamento. A microclimatologia é, segundo o ponto de vista de numerosos estudiosos (R. GEIGER, J. PASZYNSKI, por exemplo),

da competência de meteorologistas. Mas, o geógrafo-climatólogo não terá, neste campo, um papel passivo: tal como no caso das outras escalas espaciais, deverá testar leis e modelos meteorológicos e micro-meteorológicos na sua área de estudo, propondo eventuais modificações (A. HUFTY, 1988). T. R. OKE apresenta no seu manual (1987) um esquema interessante, relacionando as escalas espacial e temporal nos estudos climatológicos.

O estudo de climatologia local que, no Kaiserstuhl (SW da Alemanha), permitiu a representação cartográfica dos locais impróprios para o cultivo da vinha, por serem propícios à acumulação de ar frio, despertou-me a atenção, pela sua evidente aplicação prática (W. ENDLICHER, 1982). Decidi, mais tarde, centrar a minha investigação sobre os problemas do clima urbano da Aglomeração lisboeta e do tempo, no Verão, no litoral ocidental. Dada a insuficiência dos dados das estações meteorológicas para este fim, a investigação inicia-se invariavelmente pela medição dos elementos necessários. E, como a investigação da variação da precipitação em pequenas áreas é impossível com a escassez dos meios de que dispunha, decidi estudar, em maior pormenor, os fenómenos térmicos.

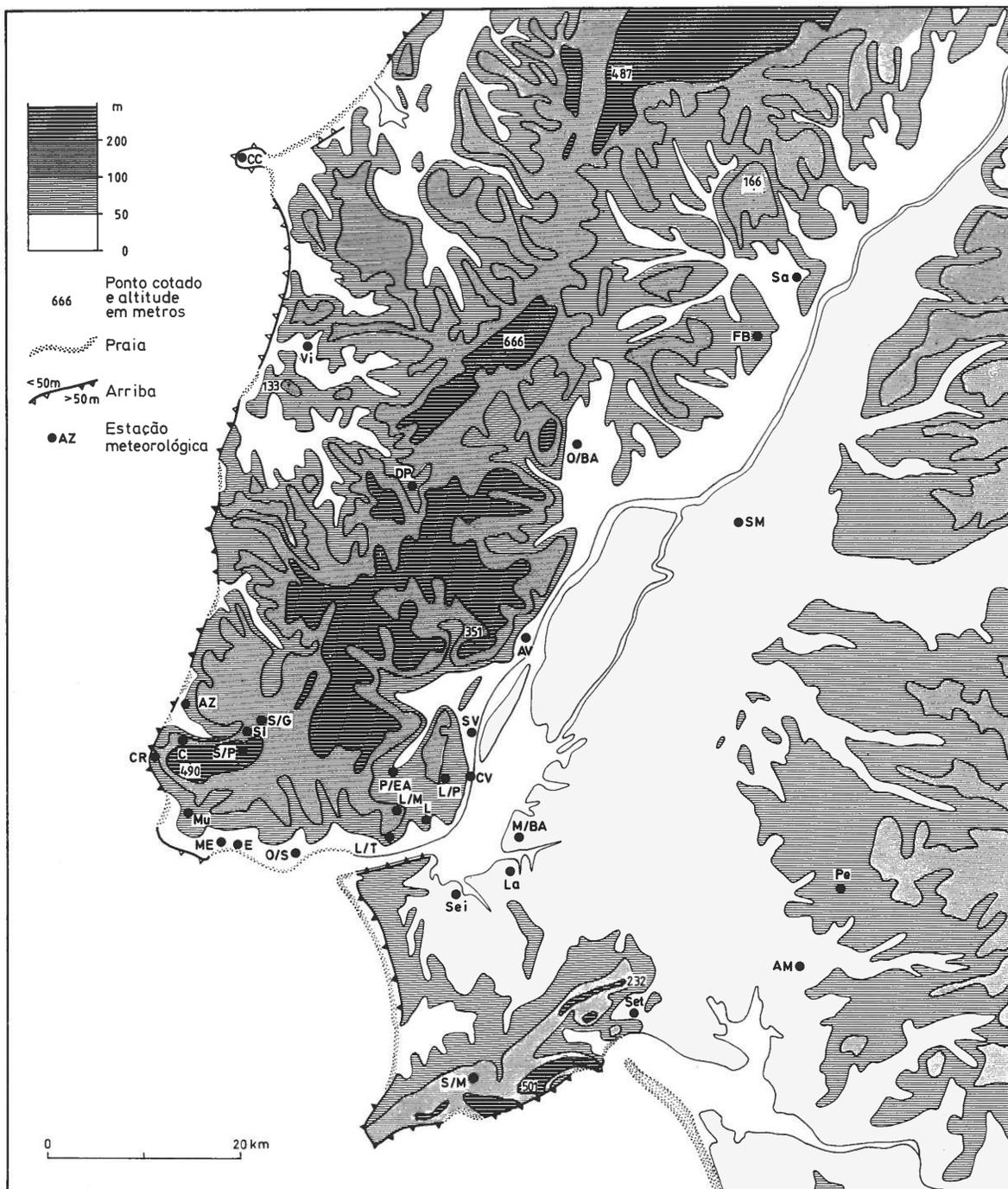
Mas, antes de tentar entender as variações climáticas a grande escala, era necessário um conhecimento do clima regional, nem sempre difundido, com o pormenor desejado, na bibliografia. Centrou-se o estudo sobre as temperaturas, mas foram igualmente incluídos os principais responsáveis das variações espaciais de temperatura: a insolação (e os fenómenos que a alteram, a nebulosidade e o nevoeiro) e o vento. Não se espere, portanto, encontrar aqui uma síntese completa do clima da região de Lisboa. Os dados meteorológicos são fornecidos isoladamente e isolados têm de ser estudados na abordagem de cada tema, tal como foi expresso por S. DAVEAU (1977) e D. de BRUM FERREIRA (1980).

O leitor pode-se interrogar com que critério foi delimitado o espaço, cujas características climáticas foram estudadas e que foi apelidado de região de Lisboa. Aproveitando a ambiguidade e polivalência do termo região, deixar-se-á de lado a discussão do nome dado ao espaço estudado. Deve-se, porém, explicar a razão da escolha dos seus limites. Poderá sobretudo intrigar o alongamento da área para Norte: interessava ter uma estação meteorológica de características francamente oceânicas (Cabo Carvoeiro); apesar de mais próximo de Lisboa, Cabo da Roca não as apresenta, visto a sua posição na vertente ocidental da Serra de Sintra e no topo de uma arriba de mais de 150m lhe conferirem características demasiado peculiares.

O limite oriental escolhido possibilitou a utilização dos dados de Santarém, Fonte Boa, Salvaterra de Magos e Pegões. A ausência de estações meteorológicas de período de funcionamento conveniente no litoral a Sul do rio Sado, orientou a escolha do limite meridional. Notar-se-á que este limite passa a meio da Península de Setúbal, quando não há informação respeitante às estações de Setúbal, Sesimbra/Maçã e/ou Águas de Moura.

Há grandes contrastes climáticos neste espaço de dimensões reduzidas, devido à sua posição próxima do Atlântico e ao relevo acidentado (Mapa de Enquadramento). A Norte de Lisboa, os interflúvios formam uma barreira não muito alta, mas quase contínua, separando os pequenos vales de direcção E-W junto ao Oceano dos que desaguam no Tejo, a Oriente. À latitude de Lisboa, existe um relevo importante junto ao mar: a Serra de Sintra, cuja influência nos ventos e nas temperaturas é notável. A Serra da Arrábida, a Sul da Península de Setúbal, certamente origina também modificações climáticas, por enquanto apenas documentadas pelas diferenças do coberto vegetal. (*)

(*) Na altura da revisão das provas deste texto (Setembro de 1992), já iniciei a investigação sobre a climatologia local da Arrábida em colaboração com a U. de Marburg e o I.N.I.A..



Mapa de Enquadramento

Significado das siglas no Quadro da página 20.

A primeira parte deste trabalho (capítulos 1 a 4) trata do clima regional e agrupa as análises dos dados anuais, mensais ou diários das estações meteorológicas. Na segunda parte (capítulos 5 a 8), apresentam-se e analisam-se dados colhidos no terreno e dados de poluição.

A diversidade da documentação disponível teve como resultado um certo desequilíbrio no tamanho e tratamento dos diferentes capítulos.

Nos três primeiros capítulos, analisam-se e interpretam-se as médias mensais e anuais do rumo e velocidade do vento, razão de insolação, número de dias de nevoeiro e nebulosidade forte, temperatura máxima e mínima. O longo período de funcionamento da estação de Lisboa (Geofísico) e a fiabilidade de todos os seus dados, permitiu estudar a evolução secular do número de horas de insolação anual e de temperatura; um estudo paralelo não foi empreendido a propósito do vento, por razões adiante expostas. Em cada capítulo, referem-se as características anuais e estacionais dos diferentes elementos climáticos em Lisboa (Geofísico), antes de passar à comparação com os valores disponíveis para todas as outras estações meteorológicas do espaço estudado, de mais curtos períodos de observação. A técnica de regressão linear, simples e múltipla, foi aplicada na tentativa de estimar os valores de insolação das estações que não possuem heliógrafo, a partir dos dados do nevoeiro e da nebulosidade. Sintetizou-se a informação das matrizes de dados mensais a partir de análises em componentes principais.

Conhecidas as «fraquezas» das médias, foi necessário passar ao estudo dos dados diários (capítulo 4) para clarificar e concretizar numerosos aspectos do clima regional, embora não se pudesse alterar a discontinuidade espacial da informação (são as mesmas, as estações meteorológicas utilizadas). Foi difícil a escolha dos dados e a forma de os tratar, tendo-se optado pela temperatura (máxima e mínima, separadamente), visto serem os fenómenos térmicos que fundamentalmente se pretendia estudar. Restringiu-se o estudo ao Verão e ao Inverno. Para sintetizar as extensas matrizes de valores de temperatura máxima e mínima (250 dias x 20 estações) foram utilizadas análises em componentes principais, indispensáveis aqui, embora também úteis nos capítulos 2 e 3. Este tratamento permitiu agrupar dias com semelhante repartição de temperatura e estabelecer as relações possíveis entre os diferentes padrões de repartição térmica espacial e vários elementos da circulação atmosférica.

Foi, por este meio, também possível «situar», no seu contexto, os dias de medições de terreno (capítulos 6 e 8 na 2ª Parte). Tem-se constatado, na bibliografia, que certos autores que se dedicam a este tipo de estudo (nomeadamente observações itinerantes) apenas falam muito vagamente da situação sinóptica e condições do tempo durante o período em que efectuaram medições, limitando-se a observar que «o céu estava limpo e não havia nuvens».

Ora, o interesse dos estudos de Climatologia local depende muito da possibilidade de determinação da frequência de ocorrência das observações efectuadas. Tentou-se, no presente trabalho, agrupar os resultados das observações em função dos diferentes padrões de distribuição de temperatura a nível regional (e dos tipos de tempo que os condicionam). Antevêem-se, agora, outros métodos de generalização que, a seu tempo, serão referidos e que se conta aplicar num futuro próximo. Como se incluíram na análise em componentes principais a maior parte dos dias de medição no terreno, os vários grupos formados (correspondentes a certos tipos de tempo), identificarão o «cenário» a que pertence o dia, em que foi efectuada cada medição de campo.

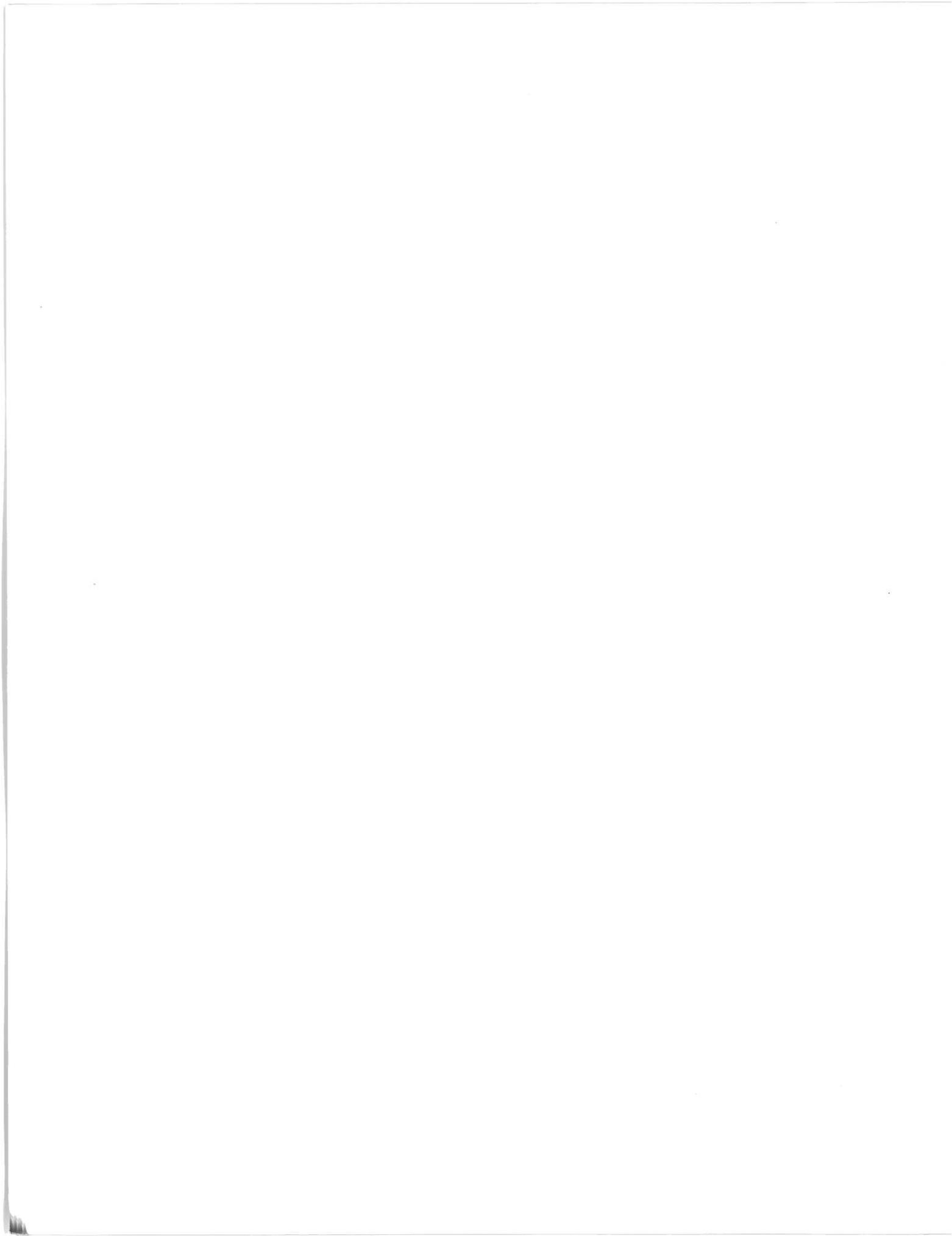
Descrevem-se, pormenorizadamente, nos capítulos 5, 6 e 7, as técnicas de estudo utilizadas e as conclusões possíveis sobre alguns aspectos do clima urbano de Lisboa. No capítulo 8, relacionam-se resultados de um estudo anterior sobre os ventos dominantes em torno da Serra de Sintra com a influência que tais ventos dominantes (a Nortada) têm no ser humano que ali habita ou veraneia. Assim, apresentam-se as observações levadas a cabo ao longo do litoral durante alguns dias de Verão, salientando as diferenças de grau de conforto das praias a Sul e a Norte do referido obstáculo montanhoso.

Na 2ª Parte agrupam-se, portanto, os resultados de estudos experimentais, realizados com grande escassez de meios, que mais não poderão dar senão pistas para investigação futura. Advêm-lhes daí imperfeições, deficiências e falhas de várias ordens. Destas, enumeram-se três:

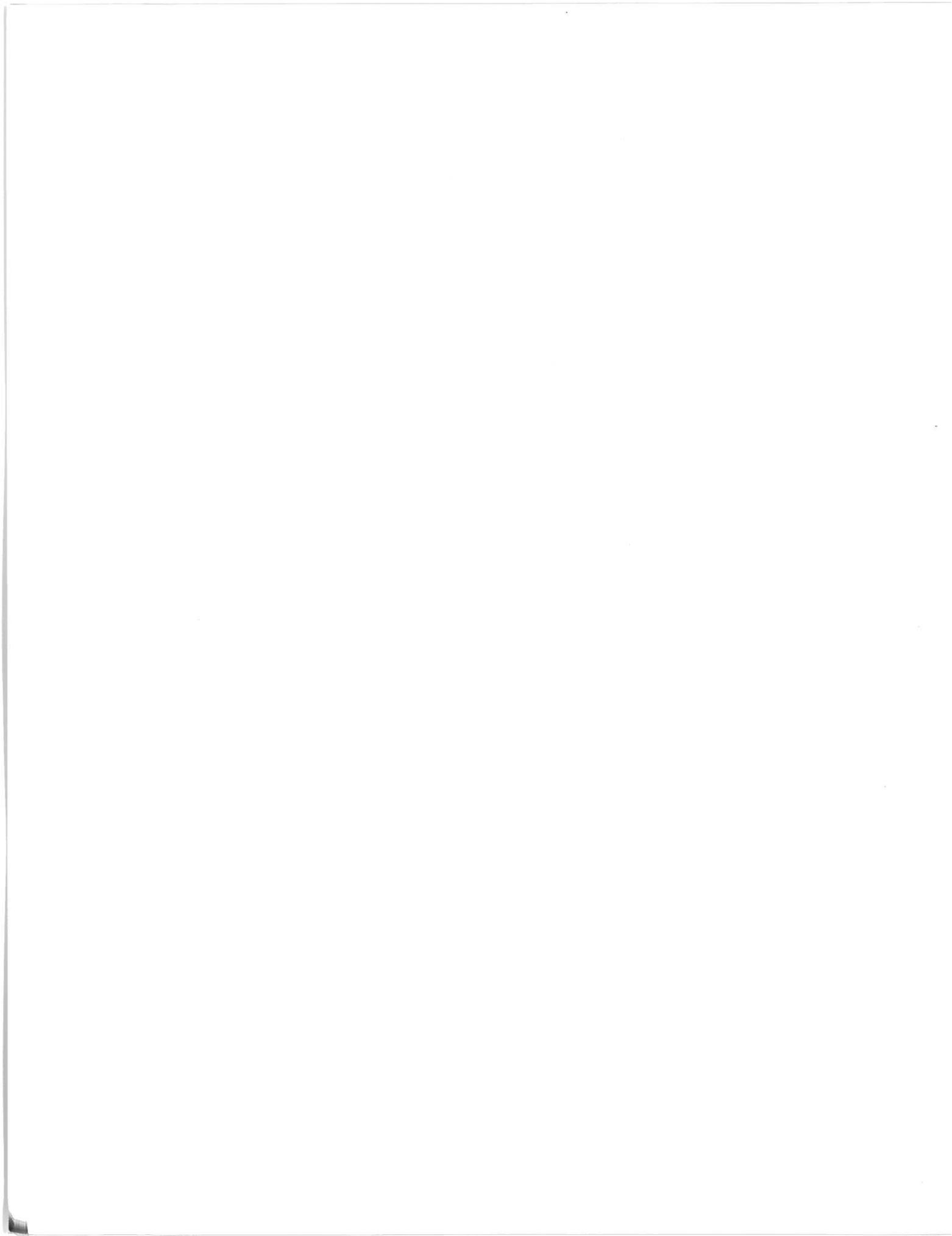
— Por impossibilidade prática, as observações foram muito limitadas no tempo: dias e noites de Verão e Inverno em Lisboa e, unicamente, de Verão, no litoral (época de maior afluência de turistas, para a qual os resultados podem ter mais interesse prático).

— Nunca há grande densidade de pontos de observação, embora se tenha aumentado o seu número, à medida que se foi adquirindo material de resposta mais rápida e mais manejável. Pensa-se, porém, ter conseguido mostrar a grande diversidade espaço-temporal do «tempo» sobretudo na cidade e propor — espera-se — pistas de novas e mais completas investigações.

— A morfologia da cidade está propositadamente descrita em termos muito simples. Terá interesse, futuramente, sistematizar as correlações existentes entre o clima urbano e a tipologia de cada bairro.



PARTE I
ASPECTOS DO CLIMA REGIONAL



OBSERVAÇÕES PRELIMINARES

Nesta primeira parte, tratam-se, como foi dito na Introdução, os dados das estações meteorológicas com vista à apresentação do clima regional.

1 — Estações meteorológicas utilizadas

Utilizaram-se regularmente dados de estações meteorológicas, numeradas de 1 a 28 no Quadro da página seguinte. A estas, acrescentaram-se mais quatro: Murches, Lisboa/Monsanto, Alverca e Sacavém; os dados da primeira foram utilizados no 1.º capítulo, os da 2.ª no capítulo 3 e os da 3.ª e da 4.ª no capítulo 4. Não foram usadas outras estações dos arredores de Lisboa (como Belém e Queluz), por não se dispor dos valores mensais necessários.

Indicam-se as coordenadas geográficas de cada estação, o seu período de funcionamento, e a sigla que lhe foi conferida e pela qual será referida nas figuras e nalguns quadros.

A repartição das estações meteorológicas é irregular, tal como está patente no mapa de enquadramento. Se, próximo da capital, o seu número é suficiente, a sua densidade torna-se fraca, à medida que nos afastamos de Lisboa. E, mais grave é o facto de haver locais de características particulares (colinas da Estremadura, litoral ocidental e grande parte da Península de Setúbal como a Serra da Arrábida) desprovidos de qualquer informação climática.

As características locais do sítio de implantação das diferentes estações meteorológicas, todas visitadas no início da investigação, serão referidas no texto sempre que isso possa contribuir para a explicação dos valores de elementos climáticos nelas registados.

Na maioria das estações, procede-se a 2 ou 3 observações directas por dia (às vezes apenas uma) às 9, 15 e 18 horas (ou, raramente, 21h). Nas bases aéreas (Sintra/Granja e Montijo), no Aeroporto (Lisboa/Portela) e na estação de Lisboa (Geofísico), no Jardim Botânico, as observações são mais frequentes, embora nem todos os valores sejam publicados. Nos faróis, (Cabo Carvoeiro e Cabo da Roca), as observações iniciam-se mais cedo (7h).

2 — Períodos de observação

Devido a diversos condicionalismos práticos e às diferentes técnicas de estudo, vários períodos de observação foram utilizados:

— Série centenária (1856/1980) de Lisboa (Geofísico), a mais antiga e mais completa estação da região estudada.

	Nome da estação	Dados disponíveis					Lat. Norte	Long. Oeste	Alt. (m)	Período de observações	Observações	
		SIGLA	ACLP	CLP								
				fasc. VI	fasc. XVI	fasc. XXII						fasc. XII
1	C. Carvoeiro	CC	*	*	—	*	*	39°24'	9°24'	32	1948-74	In 1922., Mud. 39.
2	Santarém	Sa	*	*	—	*	*	39°15'	8°42'	54	1948-74	In 1924. Mud. 56, 59m.
3	Fonte Boa	FB	*	—	*	*	—	39°12'	8°44'	73	1955-74	In 1955. Mud. 56, 60m.
4	Vimeiro	Vi	*	—	—	*	—	39°11'	9°20'	10	1967-74	In 1964.
5	Ota/B.A.	O/BA	*	—	*	*	—	39°07'	8°59'	46	1951-74	In 1945.
6	Dois Portos—	DP	*	*	*	*	*	39°02'	9°11'	110	48/9-73/4	In 1926. Mud. 60, 90m.
7	Salv. Magos.	SM	*	—	—	*	—	39°02'	8°44'	5	1948-74	In 1948. Mud. 56, 22m.
8	Az. do Mar	Az	*	—	—	*	—	38°50'	9°27'	78	1948-67	In 1946. Ext. 67.
9	Sint./Granja	S/G—	*	*	—	*	*	38°50'	9°20'	134	1948-74	In 1932.
10	Sintra	Si	*	—	—	*	—	38°48'	9°23'	200	1949-73	In 1946. Mud. 75.
11	Sintra/Pena—	S/P—	*	—	—	*	*	38°47'	9°23'	471	1952-73	In 1931. Ext. 75.
12	Colares	C—	*	—	—	*	—	38°48'	9°27'	55	1965-74	In 1965.
13	C. da Roca	CR	*	*	—	*	*	38°47'	9°30'	142	1948-74	In 1922.
14	Paiã/E.A.	P/EA	*	—	*	*	*	38°47'	9°12'	70	1949-74	In 1941. Ext. 76.
15	Albarraque	A—	*	—	—	*	—	38°45'	9°21'	120	1964-74	In fim 64. Ext. 75.
16	Cabo Ruivo	CV	*	—	*	*	—	38°45'	9°06'	16	1960-74	In 1958. Mud. 62, 24m.
17	Lx/Portela	L/P—	*	—	*	*	—	38°47'	9°08'	104	1948-74	In 1947. Mud. 49, 106m.
18	Lx/Geofísico	L—	*	*	*	*	*	38°43'	9°09'	77	1948-74	In 1856. Mud. 41, 25m.
19	Lx/Tapada—	L/T—	*	*	*	*	*	38°42'	9°11'	60	1948-74	In 1921. (Ajuda)
20	Oeiras/Sass.	O/S—	*	—	—	*	—	38°42'	9°19'	50	1954-74	In fim 1954.
21	Mt. Estoril	ME	*	*	—	*	*	38°42'	9°23'	6	1948-70	In 1931 Mud. 49. Ext. 70.
22	Montijo/B.A.	M/BA	*	—	*	*	—	38°42'	9°03'	14	1957-74	In 1955.
23	Lavradio	La	*	—	—	*	—	38°41'	9°03'	6	1967-74	In 1967.
24	Pegões	Pe	*	—	—	*	—	38°38'	8°39'	64	1950-74	In 1950.
25	Seixal	Sei—	*	—	—	*	—	38°37'	9°05'	10	1959-65	In 1959. Ext. 65.
26	Setúbal—	Set—	*	*	—	*	—	38°33'	8°53'	35	1948-70	In 1948. Mud. 52.
27	Ág. de Moura	AM	*	—	—	*	—	38°34'	8°45'	5	1950-64	In 1950. Ext. 79.
28	Sesimb./Maçã	S/M—	*	—	—	*	—	38°28'	9°05'	120	1954-74	In 1953. Ext. recente.
29	Lx/Monsanto—	L/M—	*	—	—	*	—	38°44'	9°11'	220		In 1925(?) a 48.
30	Murches —	Mu	*	—	—	*	—	38°44'	9°26'	98		In 1958. Ext. 61.
31	Alverca—	Av	*	—	—	*	—	38°54'	9°02'	9		Func.31/37. Reinício em 1967.
32	Sacavém —	Sc	*	—	*	*	—	38°49'	9°05'	9		Func.43/54. Reinício em 1970.

Estações Meteorológicas utilizadas

ACLP: Anuários Climatológicos de Portugal

CLP: O Clima de Portugal

In: Início de funcionamento

Mud.: Mudança de localização

Ext.: Extinção

— Séries de 26 anos (ou outros períodos mais curtos, especificados no quadro atrás referido): agruparam-se os meses em «anos hidrológicos», de Setembro a Agosto, de 1947/48 a 1974/75, aproveitando todos os dados publicados na altura em que se fez a sua recolha (1983).

— Dados diários, recentes, porque de mais fácil acesso: foram copiados no Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, à excepção dos da estação de Lisboa, consultados no Instituto Geofísico Infante D. Luís.

3 — Publicações utilizadas

A maior parte dos dados utilizados foram extraídos dos vários fascículos anuais dos ANUÁRIOS CLIMATOLÓGICOS DE PORTUGAL, editados pelo SERVIÇO METEOROLÓGICO NACIONAL (SMN), actualmente INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA (INMG). Os dados estão organizados por estações meteorológicas, encontrando-se, em cada «mapa de apuramento anual e mensal» os valores médios e/ou os totais de todas as variáveis climáticas referentes a cada uma.

Dos ANAIS DO INSTITUTO GEOFÍSICO INFANTE D. LUÍS, utilizaram-se certos dados de Lisboa, desde o início do funcionamento da estação.

Alguns dos parâmetros estatísticos calculados foram comparados e completados com outros, publicados nos fascículos de O CLIMA DE PORTUGAL, editado também pelo INMG.

Fascículo VI: ESTREMADURA, RIBATEJO e ALTO ALENTEJO, em que estão disponíveis os valores médios mensais e anuais de períodos infelizmente sempre diversos (Ex: Cabo Carvoeiro 1937-47, Santarém 1924-41, Lisboa 1912-41). Os dados são também apresentados em quadros individuais por estações. Esta publicação tem a vantagem de conter valores de estações que funcionaram durante curtos espaços de tempo (antes de 1941).

Fascículo XIII: NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO CONTINENTE, AÇORES E MADEIRA CORRESPONDENTES A 1931-60, onde se publicam, em quadros organizados por estações, as «Normais Climatológicas de Comparação» de 1 de Janeiro 1931 a 31 de Dezembro 1960 de 52 estações, 6 das quais na área em estudo.

Fascículo XVI: REGIÃO DE LISBOA-SANTARÉM, onde estão, entre outras, condensadas as médias de dados climáticos de 13 das estações utilizadas, sendo também variados os períodos de observação. Foi para a Paiã que as médias se elaboraram com dados mais antigos (início em 1924) e o Montijo com dados mais recentes (1955), terminando os períodos de observação entre 1960 e 1964.

No Fascículo XXXII, CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO AGRÍCOLA DO RIBATEJO E OESTE, são apresentadas médias de períodos mais longos (até 1980?) de 49 estações (16 das quais actualmente extintas, e em que 3 só funcionaram depois de 1970).

Nos dois fascículos mais recentes, cada «TÁBUA» inclui os valores de uma única variável (Ex: Temperatura do ar, média das máximas) para todas as estações meteorológicas, o que facilita a utilização dos dados.

4 — Elementos meteorológicos estudados

Utilizam-se dados de vento, insolação, nevoeiro, nebulosidade e temperatura retirados das publicações acima mencionadas.

4.1 — O Vento

O vento pode ser considerado como um vector definido por uma grandeza, a velocidade, expressa em km/h, em m/s ou em nós e por uma direcção (ponto da rosa dos ventos de onde sopra). Há calma quando a velocidade do vento é igual ou inferior a 1 km/h, sem rumo determinável.

O anemómetro deve estar colocado a 10 metros de altura, sobre terreno aberto e nivelado, ou seja, num local em que a distância entre o instrumento e qualquer obstáculo seja pelo menos igual a 10 vezes a altura do obstáculo. Na maior parte dos casos, estes aparelhos (ou o anemógrafo) encontram-se no parque de instrumentos, mas também podem estar colocados em torres ou outros pontos altos.

Estando a velocidade do vento, e também o seu rumo, sujeitos a rápidas flutuações, deve-se ter um cuidado especial na interpretação dos dados das estações desprovidas de anemógrafo: o rumo e a velocidade apontados a determinada hora do dia correspondem, na realidade, às condições no intervalo de tempo das observações (alguns minutos) e podem não ser representativas da altura do dia (manhã, tarde ou noite) em que foram obtidas.

4.2 — *A radiação global e a insolação*

A radiação global apenas é medida em Lisboa, na torre do Instituto Geofísico. Embora aquela tenha sido calculada para 9 estações da região estudada (fasc. XXXII de O CLIMA DE PORTUGAL), preferiu utilizar-se a duração de insolação ou insolação, ou seja o número de horas de Sol descoberto, num determinado local, e durante o intervalo de tempo considerado. O quociente entre este valor e a duração astronómica do dia no local de observação é designada por percentagem ou razão de insolação. Utilizam-se heliógrafos (o de Campbell-Stokes na maior parte das estações) para a sua determinação; estes devem estar instalados em terreno aberto, num local de onde o Sol seja visível logo que a sua altura ultrapasse 2 graus acima do horizonte.

4.3 — *O Nevoeiro e a nebulosidade*

«Nevoeiro é uma suspensão de gotículas de água muito pequenas na atmosfera, que reduzem a menos de 1 km a visibilidade horizontal» (O CLIMA DE PORTUGAL, fascículo XXXII).

Define-se nebulosidade como a fracção de céu coberto de nuvens de todas as formas. Esta exprime-se em décimos ou em oitavos, mas é indicada por números inteiros de 0 a 10 ou de 0 a 8. Zero corresponde a céu limpo e 10 (ou 8) a céu totalmente coberto de nuvens.

A determinação desta grandeza é bastante subjectiva, sobretudo nos valores intermédios (4, 5, 6).

4.4 — *A temperatura*

«Para efeitos de meteorologia, a temperatura atmosférica à superfície refere-se ao ar livre a uma altura compreendida entre 1,25 e 2m acima do nível do solo. Em geral, considera-se esta temperatura representativa das condições experimentadas pelos seres humanos que vivem à superfície do Globo terrestre» (RETALLACK, 1979). Para darem uma indicação correcta da temperatura do ar livre, os termómetros devem estar protegidos da radiação solar directa e difusa e devem ser convenientemente ventilados, havendo dois sistemas de protecção: abrigo meteorológico com persianas ou protecções de metal polido com ventilação forçada. Este sistema foi utilizado nas medições de campo, sendo os aparelhos das estações do INMG colocados em abrigos de madeira, tipo Stevenson e com a base à altura de 1,5 m do solo. O abrigo deve estar longe de edifícios ou outros obstáculos: a uma distância igual a pelo menos 10 vezes a altura destes obstáculos (por exemplo a 50 m de uma sebe de árvores de 5 metros de altura). As portas do abrigo estão orientadas para Norte (no Hemisfério Norte), para que os raios solares não incidam nos aparelhos no momento das leituras.

CAPÍTULO 1

O REGIME DOS VENTOS

1 — Os fluxos a 500 hPa e à superfície

Antes de se proceder ao estudo dos ventos a partir das observações de superfície (em estações meteorológicas, neste capítulo, e, no terreno, nos capítulos 6 e 8), analisam-se os fluxos: determinou-se a direcção do vento, considerando-o paralelo às isóbaras e às isoipsas, nas cartas sinópticas das 12 horas, de superfície e de 500 hPa, do Boletim Meteorológico Diário (I.N.M.G. de Lisboa e I.M.N. de Madrid). O estudo refere-se a 5 anos (1978 a 1983) e, tal como nos casos em que, à frente, se utilizam dados diários, limitou-se a análise ao Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) e ao Verão (delimitado, por razões práticas, entre 16 de Junho e 15 de Setembro). Os resultados encontram-se expressos na figura 1.1.

A 500 hPa, livre dos efeitos perturbadores do relevo, o fluxo provém, quase todo o ano, do quadrante Oeste: W, NW durante o Inverno, correspondendo a situações de fluxo zonal de Oeste, ramo descendente de vales depressionários, depressões, etc. A componente SW tem (depois do quadrante Oeste) mais importância no Verão: margem norte de anticiclones atlânticos, ramo ascendente de dorsais etc. O fluxo de Leste é raro a 500 hPa, podendo ser devido a situações muito diversas tais como depressões em altitude, por vezes associadas a gotas frias ou, pelo contrário, a margem de anticiclones centrados a Oriente de Portugal.

A percentagem de dias de gradiente fraco é semelhante nas duas épocas do ano (28% no Verão, 24% no Inverno) e, como seria de esperar, superior aos valores de superfície: na estação fria, o gradiente é fraco ou nulo em 17% dos dias, e, no Verão, em apenas 13%, devido aos muito fortes contrastes térmicos.

À superfície, a frequência de ocorrência do fluxo de Norte atinge quase 50% (fig. 1.1). Este valor, elevadíssimo, resulta do facto da posição relativa dos grandes organismos sinópticos não variar muito estatisticamente durante os meses de Junho, Julho e Agosto: o fluxo é de Norte no litoral ocidental de Portugal, quando existe um anticiclone atlântico eventualmente prolongado em crista segundo os meridianos e/ou uma depressão (de origem térmica ou não) sobre a Península Ibérica ou a Oriente desta.

À latitude de Lisboa, durante o Inverno, a rosa dos fluxos superficiais apresenta-se alongada no sentido SW-NE: as perturbações provêm de SW, Oeste ou, mais raramente de NW, enquanto certas massas de ar frias e secas têm trajectórias de NE ou de Este.

2 — O vento na estação meteorológica de Lisboa (Geofísico)

Analisam-se, aqui, brevemente, os ventos registados na estação meteorológica de Lisboa (Geofísico), no Jardim Botânico. Estuda-se apenas a frequência de ocorrência e a velocidade média mensais

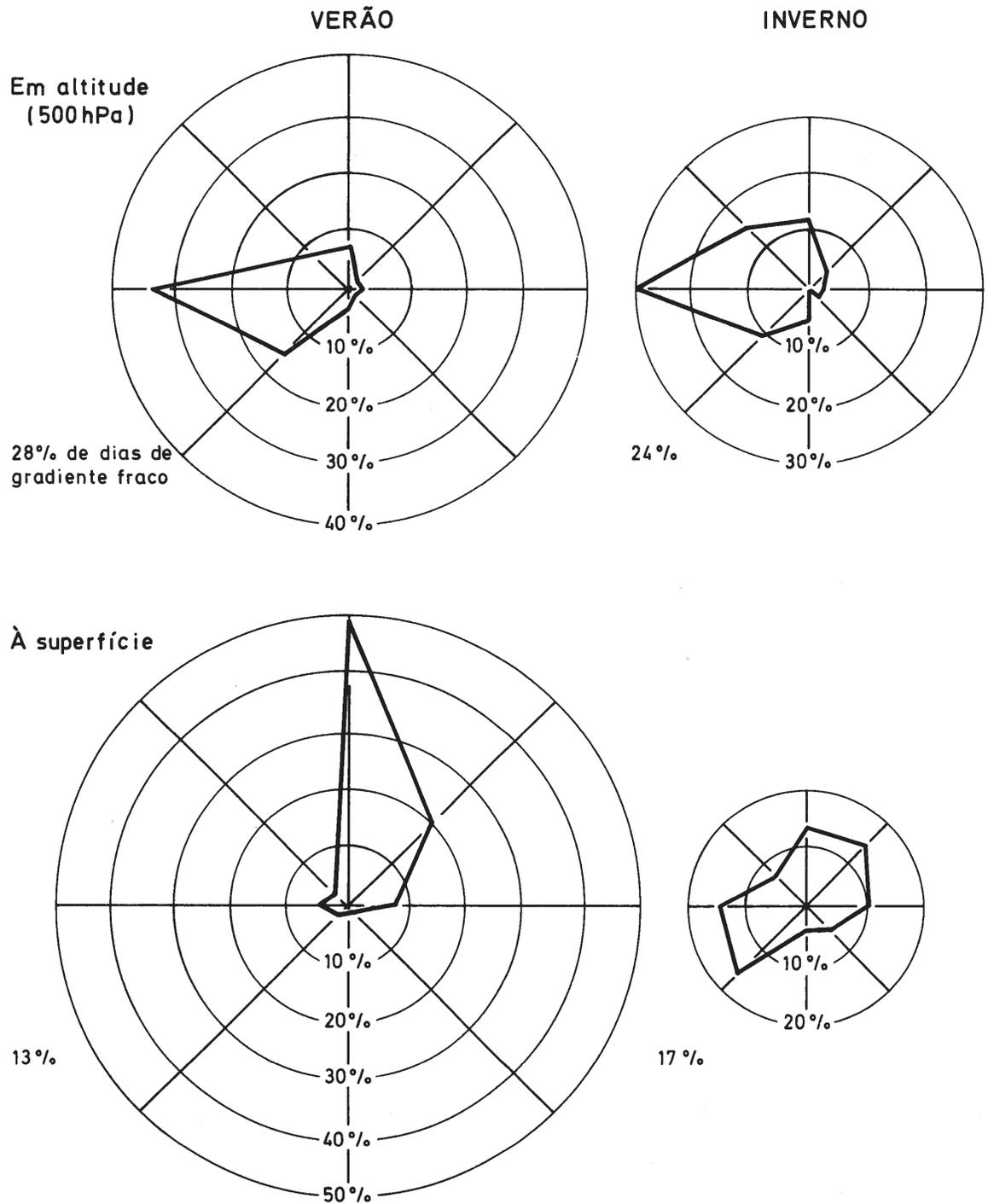


Fig. 1.1 — Fluxos em altitude (500hPa) e à superfície no Verão e no Inverno, à latitude de Lisboa.

dos ventos de cada rumo, embora se pudesse ter aprofundado a análise, utilizando a extensa e pormenorizada documentação publicada nos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís de 1856 a 1974, tendo os valores mais recentes podido ser consultados no Instituto Geofísico. Mas esse estudo, em que se poderia efectuar uma comparação precisa e objectiva entre as características e a evolução secular do vento no topo de um edifício do centro da cidade e as situações sinópticas, pressuporia uma longa recolha e um demorado tratamento dos dados. Foi necessário atender a outros casos, considerados prioritários, dada a organização do trabalho.

Sobressai, na figura 1.2, o grande número de observações de vento do quadrante Norte, que aumenta muito entre Março e Abril: de 22 para 36%, atingindo a máxima frequência em Julho (60%). A velocidade média é, nessa altura, elevada: 20 km/h, valor apenas igualado em Agosto.

Mesmo no Inverno, a percentagem de ocorrência destes ventos, então mais fracos, é superior a 20% (21% em Janeiro e Fevereiro). De Novembro a Fevereiro, o vento sopra mais vezes de NE do que de Norte e as velocidades dos ventos provenientes de ambos os quadrantes são próximas e semelhantes às dos ventos de NW, pouco frequentes em Lisboa (Geofísico).

Os ventos de Este e SE são raros (frequência sempre inferior a 11%).

Os ventos de Sul e, sobretudo, os de SW, foram detectados mais frequentemente no mês de Março, atingindo as maiores velocidades neste e nos outros meses da Primavera.

De frequência intermédia entre os ventos de Sul e de SW, os ventos de Oeste ocorrem maior número de vezes na Primavera.

A percentagem de calmas é muitíssimo baixa na estação meteorológica de Lisboa, particularmente de Abril a Setembro.

3 — O vento na região

Em dois trabalhos anteriores, já referi a variação estacional dos ventos. No estudo sobre as brisas do Tejo e do Oceano foram apresentadas as rosas dos ventos mensais de Cabo Ruivo e Montijo, numa e noutra margem do estuário do Tejo (M. J. ALCOFORADO, 1987). Observou-se que as rosas dos ventos, quase circulares, dos meses de Inverno (demonstrando semelhante frequência de ocorrência dos ventos de vários rumos), se alongam, no Verão, devido ao extraordinário aumento de frequência dos ventos de Norte e NW em Cabo Ruivo e de Norte e NE no Montijo. O segundo texto (M. J. ALCOFORADO, 1984) incidiu sobre o regime dos ventos no litoral a ocidente de Lisboa e a utilização das árvores deformadas como indicadores das trajectórias preferenciais dos ventos dominantes (Nortada). Comparar-se-ão, no capítulo 8, as conclusões anteriores sobre a intensidade relativa dos ventos dominantes e o conforto ou desconforto nas praias do litoral junto à Serra de Sintra.

Antes, porém, é necessário indagar se as observações sobre os ventos de Norte se podem generalizar ao conjunto do espaço estudado e analisar o comportamento dos ventos dos outros rumos.

Partindo do número de observações mensais dos ventos de cada rumo e respectiva velocidade e do número de calmas do período 1947—75, constituíram-se numerosos quadros de percentagens de ocorrência e velocidade média para cada rumo e cada local de observação; os quadros-sínteses podem-se consultar no exemplar policopiado desta dissertação (M. J. ALCOFORADO, 1988, Quadros 1-2 a 1-5, p. 24 a 27).

Apresenta-se parte desta informação nas figuras 1.3 a 1.6. Optou-se por não desenhar as rosas dos ventos convencionais, que, quando muito numerosas, tornam os desenhos pesados e dificultam a análise. Indicam-se, para cada estação meteorológica, a frequência de ocorrência e a velocidade média dos três principais rumos. A informação foi repartida por dois mapas de escala diferente, devido à desigual

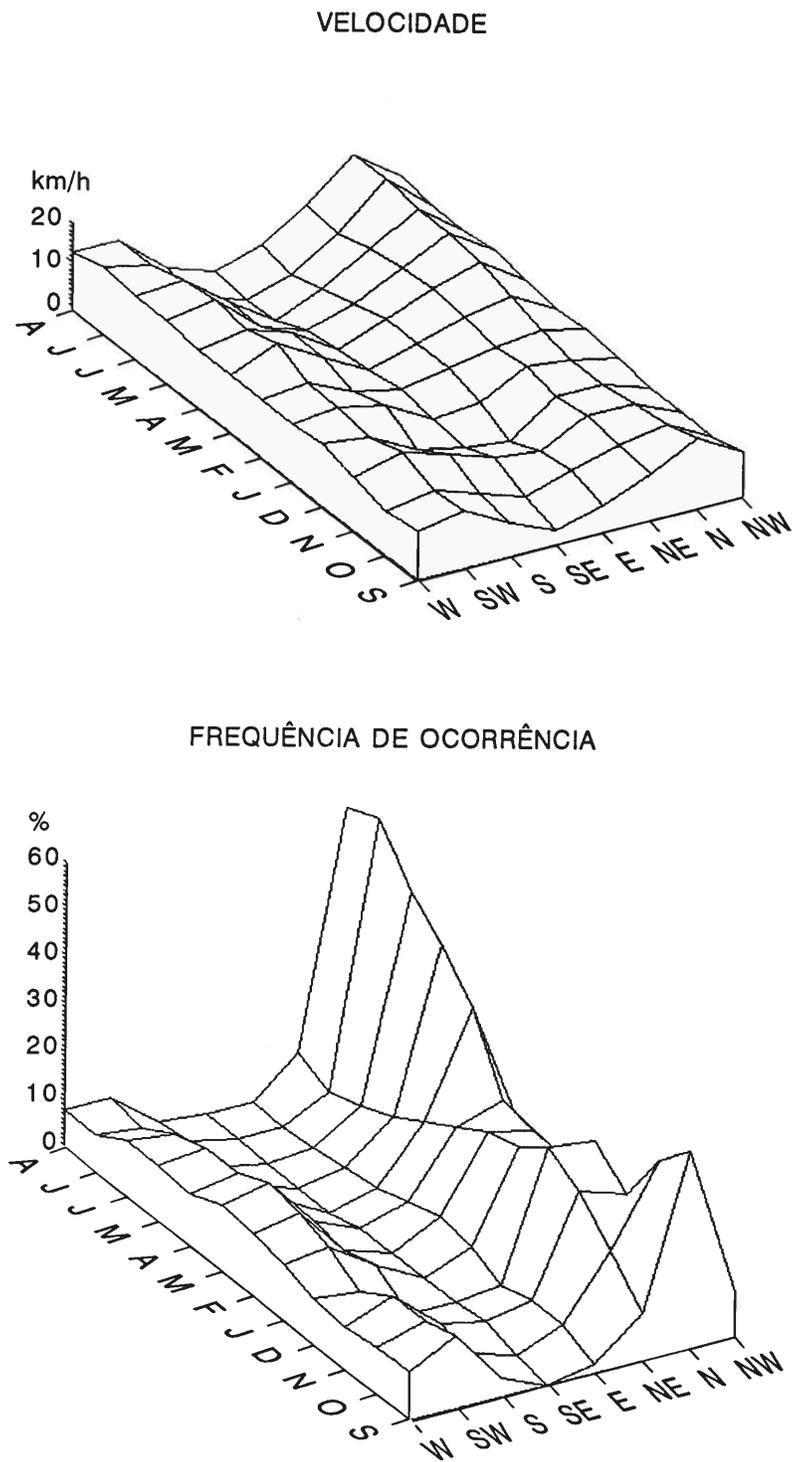


Fig. 1.2 — Velocidade e frequência de ocorrência do vento dos vários rumos, em Lisboa (Geofísico).

densidade dos postos de observação: um mapa de todo o espaço estudado e uma ampliação daquilo que, por vezes, se denomina a «Península de Lisboa». Aparecem, em duplicado, os esquemas correspondentes a algumas estações meteorológicas, para facilitar a comparação dos dois mapas.

As figuras referentes ao Verão (fig. 1.3) são, por si só, elucidativas da predominância dos ventos de Norte e de NW, em praticamente todos os locais de observação. Os ventos são mais fortes em Lisboa/Portela, Sintra/Pena e na Ota. Nalgumas estações próximas de Lisboa, ocorrem cerca de 10% de ventos de Sul e de SW, o que foi também verificado no estudo sobre dados diários (M. J. ALCOFORADO, 1987) para a estação meteorológica de Cabo Ruivo (14% de ventos de Sul e SW, então catalogados de «ventos do quadrante Sul», enquanto aqui o total é de 12%). Praticamente não há situações de calma, excepto em Santarém, na Ota e no Monte Estoril.

A ausência — estatística pelo menos — de ventos de Este e SE, que impera no Verão, só lentamente se vai modificando. A principal diferença entre o Verão e o Outono reside na diminuição da percentagem e da velocidade dos ventos provenientes de Norte e de NW, no aumento dos de NE (sobretudo nos arredores de Lisboa), de Este, SE e Sul, e da percentagem de calmas (Fig. 1.4).

No Inverno, nos dois rumos mais frequentes, incluem-se frequentemente o Norte e o NE. O terceiro rumo é geralmente NW ou Oeste ou ainda SW. As velocidades são maiores em Cabo Carvoeiro e Montijo (todos os rumos), Sintra/Pena (NW a NE), Sintra/Granja (Este e SE) e Lisboa/Portela (SW a NW). A percentagem de calmas pode atingir valor muito elevado (+ de 30% em Santarém e Ota) mas, mesmo nesta época do ano, aquelas são raras na Aglomeração lisboeta, aumentando nos arredores (fig. 1.5). Pegões e Colares apresentam diagramas muito diferentes do conjunto dos outros: em Pegões, a frequência de ocorrência de ventos dos vários rumos é semelhante e, para esta estação, a representação gráfica escolhida carece de significado. Colares, devido à sua posição na vertente Norte da Serra, recebe frequentemente ventos de SW que a contornam e ventos de SE que a ultrapassam, seguindo as suas portelas (fig. 1.6b).

Na Primavera, há uma diminuição da percentagem de calmas, sobretudo em Santarém, Ota e Sintra/Granja. No litoral, os ventos de Oeste são menos frequentes do que no Inverno; em Lisboa/Portela são também dos mais fortes. Os ventos provenientes de SW sopram com maior frequência mas menor força do que no Inverno (fig. 1.6).

Deve-se notar que há, nesta área, alguns pontos de observação, em que a direcção dos ventos está fortemente dependente do relevo circundante:

Santarém, de frequentes ventos de NE e de SW (ao longo do Vale do Tejo) e também de NW; os dois primeiros, mais frequentes no Inverno, os segundos preponderantes no Verão.

Ota — Base/Aérea, em que os dois rumos mais frequentes são sempre Norte e NW, direcção dos vales mais próximos.

Dois Portos, onde predominam todo o ano os ventos de NW canalizados por um vale próximo. Excepto no Verão, são também frequentes os ventos de SW, que chegam a Dois Portos, passando por uma portela entre duas elevações de 200 metros de altitude.

Paiã/Escola Agrícola, onde é nítida a influência dum vale de direcção SW — NE, rumo dos dois ventos dominantes; no Verão, no entanto, são os ventos de NW os mais frequentes (embora a sua velocidade seja muito menor do que em Lisboa/Portela).

Oeiras/Sassoeiros, cujos ventos dominantes seguem a direcção Norte-Sul, soprando geralmente de Norte, canalizados pelo vale da ribeira da Lage, de grande velocidade no Verão.

Frequência de ocorrência

0 50% em a)

0 15% em b)

Velocidade média

..... 0-5 km/H

----- 5,1-10 km/h

----- 10,1-15 km/h

----- 15,1-20 km/h

----- 20,1-25 km/h

----- 25,1-30 km/h

Porcentagem de Calmas

Algarismos sob a sigla de cada estação

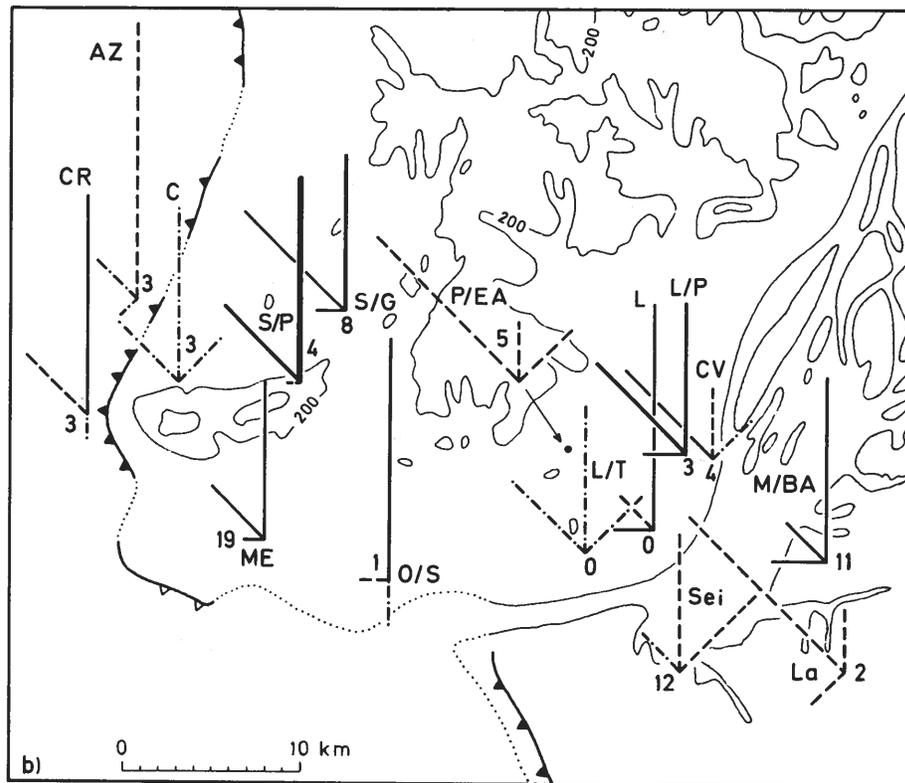
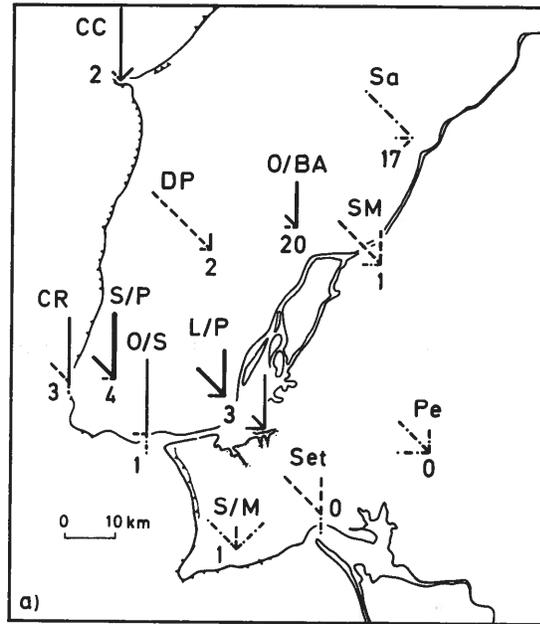


Fig. 1.3 — Frequência e velocidade média dos três rumos dominantes e percentagem de calmas no Verão (Junho, Julho e Agosto).

Frequência de ocorrência
 0 50% em a)
 0 15% em b)

Velocidade média
 0-5 km/H
 - - - - - 5,1-10 km/h
 - - - - - 10,1-15 km/h
 - - - - - 15,1-20 km/h
 - - - - - 20,1-25 km/h
 - - - - - 25,1-30 km/h

Percentagem de Calmas
 Algarismos sob a sigla de cada estação

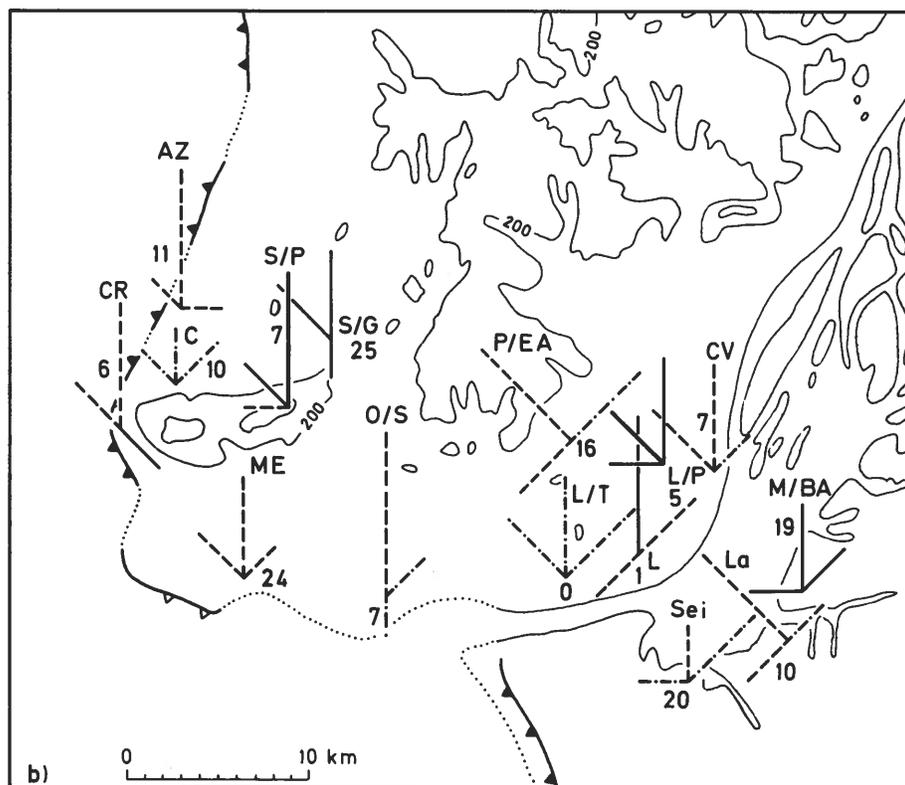
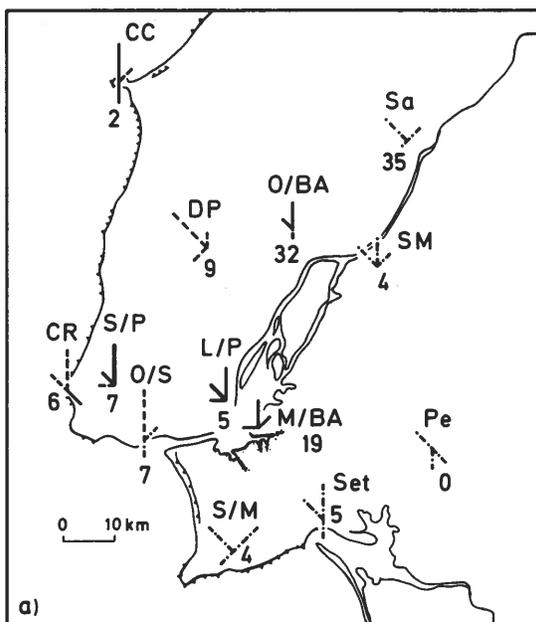


Fig. 1.4 — Frequência e velocidade média dos três rumos dominantes e percentagem de calmas no Outono (Setembro, Outubro e Novembro).

Frequência de ocorrência

0 50% em a)

0 15% em b)

Velocidade média

..... 0-5 km/h

----- 5,1-10 km/h

----- 10,1-15 km/h

----- 15,1-20 km/h

----- 20,1-25 km/h

----- 25,1-30 km/h

Porcentagem de Calmas

Algarismos sob a sigla de cada estação

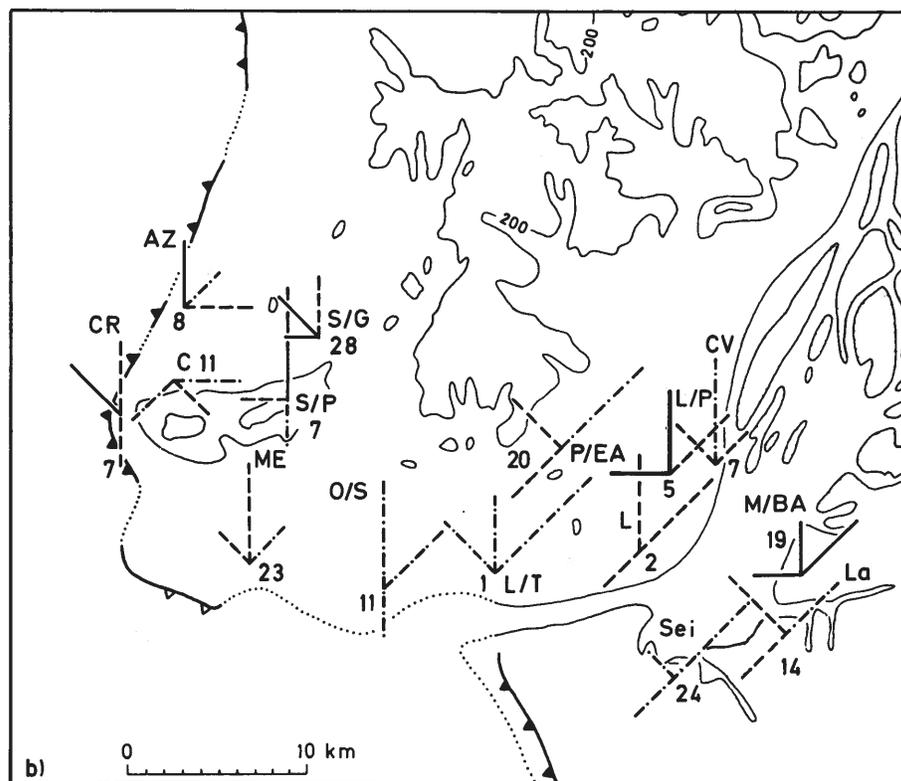
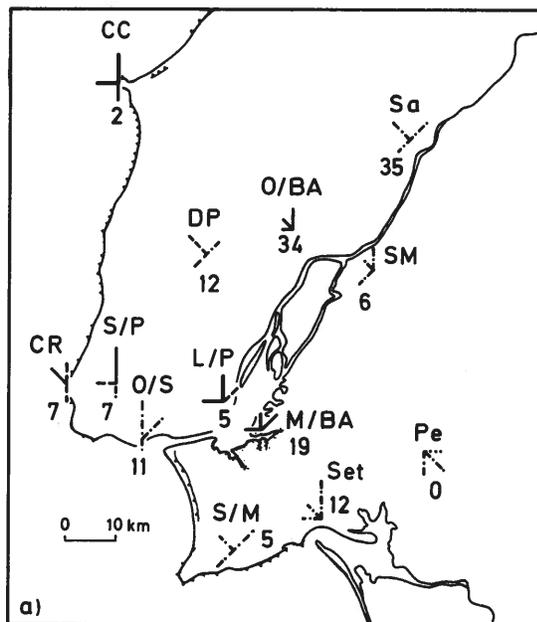


Fig. 1.5 — Frequência e velocidade média dos três rumos dominantes e percentagem de calmas no Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro).

Frequência de ocorrência

0 50% em a)

0 15% em b)

Velocidade média

..... 0-5 km/h

----- 5,1-10 km/h

----- 10,1-15 km/h

----- 15,1-20 km/h

----- 20,1-25 km/h

----- 25,1-30 km/h

Percentagem de Calmas

Algarismos sob a sigla de cada estação

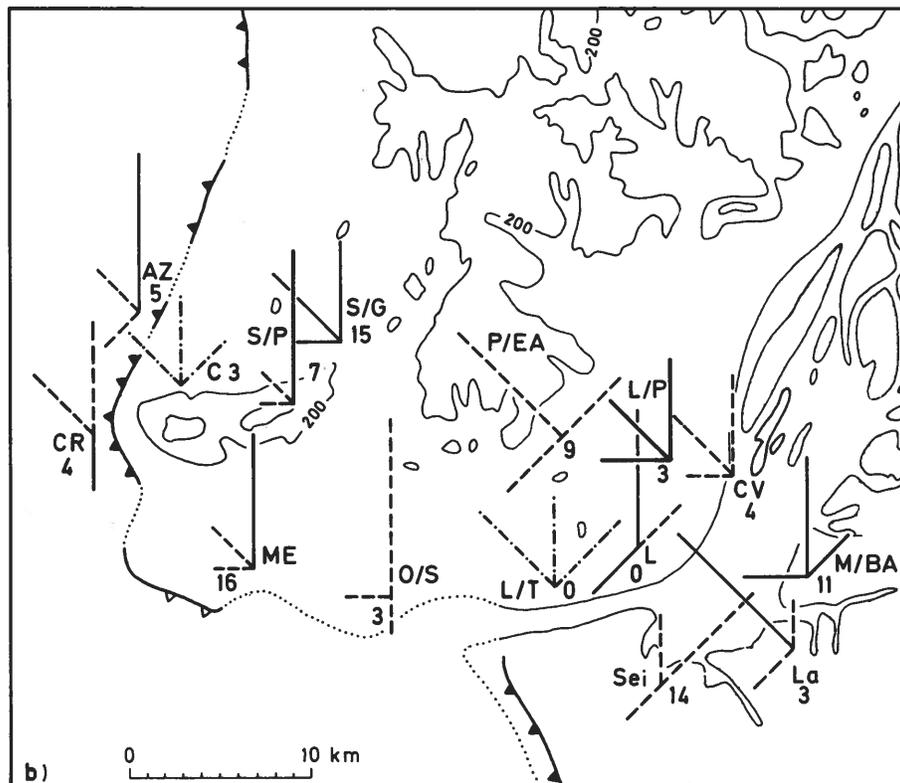
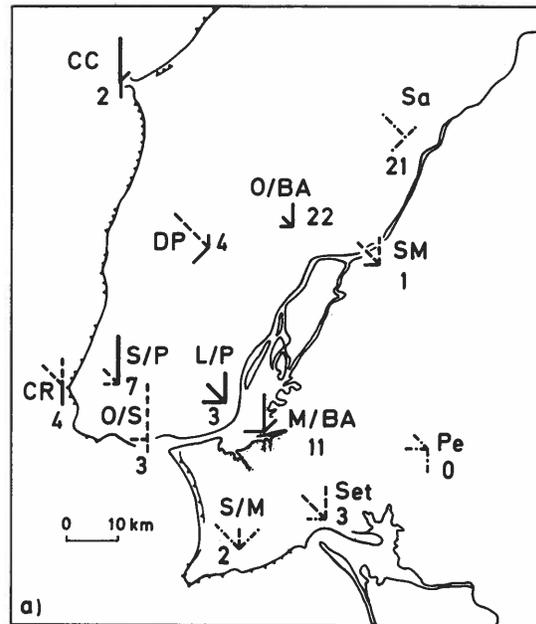


Fig. 1.6 — Frequência e velocidade média dos três rumos dominantes e percentagem de calmas na Primavera (Março, Abril e Maio).

Sesimbra/Maçã que, no Outono e no Inverno, recebe ventos paralelos à vertente Norte da Serra da Arrábida e outros de direcção perpendicular, mas apenas no sentido NW-SE: estes últimos são frequentes todo o ano.

Indicaram-se aqui os casos em que a influência orográfica na direcção dos ventos pôde ser directamente observada a partir da consulta da carta topográfica. No entanto, há certamente outras influências locais não detectadas ou cujos mecanismos não são ainda bem claros: por exemplo, a influência da altura e da orientação das arribas na direcção e força dos ventos. Nada nos diz que um rumo predominante, por exemplo, em Cabo da Roca não seja mais do que inflexão de outro rumo (esse sim, preponderante), ou não corresponda a remoinhos locais.

4 — Resumo e conclusões

Foi constatada, no início, a constância do fluxo de Ocidente a 500hPa, que se mantém à superfície no Inverno. No Verão, o fluxo superficial provém do sector Norte. Em todas as estações meteorológicas, o vento do quadrante Norte, cuja frequência de ocorrência aumenta a partir do mês de Março, atinge a sua maior frequência em Julho e Agosto. Em Lisboa, na estação do Instituto Geofísico, o rumo Norte é francamente preponderante, seguido pelo de NE no Inverno e de NW, nos meses de Junho, Julho e Agosto. Os ventos de SW e Oeste não chegam a soprar em 20 % das observações de Inverno e não atingem 10% em Julho e Agosto, sendo sempre a percentagem de calmas muito baixa.

O ritmo anual da frequência de ocorrência dos ventos de cada rumo é semelhante no conjunto das estações meteorológicas da região estudada. É em Lisboa/Portela, em Sintra/Pena e na Ota/Base Aérea que os ventos de Norte são mais fortes no Verão e no Outono; os de Este, SE e Sul — mais fracos — atingem maiores velocidades em Azenhas do Mar, Cabo da Roca, Sintra/Granja e Montijo; os de SW e Oeste em Sintra/Granja, Lisboa/Portela e Montijo.

Os ventos de Norte e NE são frequentes, no Inverno, nas estações da região de Lisboa, sendo os de NE particularmente violentos no Montijo. Os de Norte e NW sopram a velocidades maiores junto à costa (Cabo Carvoeiro, Sintra/Pena). Nesta estação do ano, embora os ventos dos rumos Este, SE, Sul, SW e Oeste sejam fortes em Cabo Carvoeiro, as maiores velocidades médias dizem respeito a Sintra/Granja e ao Montijo. Em certos locais (Santarém, Ota) a percentagem de calmas é superior a 30%, no Inverno.

Na Primavera, há uma franca diminuição de calmas em relação ao Inverno. Na transição para a situação de Verão, já descrita, ventos de Norte mais frequentes e fortes no litoral e em Lisboa/Portela, ventos fortes de Este e SE em Cabo Carvoeiro, Sintra/Granja e Cabo da Roca, ventos violentos de Sul, SW e Oeste em Sintra/Granja, Lisboa/Portela e Montijo.

Enumeraram-se também as estações meteorológicas em que a direcção dos ventos predominantes depende particularmente da posição topográfica do local de observação: Santarém (NE e SW), Ota (Norte e NW), Dois Portos (NW e SW), Oeiras (Norte e Sul), Paiã (SW e NE) e Sesimbra (NW, SW e NE).

CAPÍTULO 2

O REGIME DA INSOLAÇÃO E DA NEBULOSIDADE.

1 — A evolução secular da insolação em Lisboa (Geofísico).

A estação de Lisboa, no Instituto Geofísico, é a estação fundamental da rede actinométrica nacional, procedendo-se também no Porto, Coimbra, e Faro a observações de radiação directa e global e, em Bragança, Penhas Douradas e Évora, apenas às de radiação global. Para possibilitar uma posterior comparação com as outras estações da região de Lisboa, analisam-se, em maior pormenor, os ritmos interanual e anual da insolação e não o da radiação em Lisboa (Geofísico).

Os valores de radiação e de insolação, registados desde 1890 e sistematicamente publicados nos «Anais», permitiram verificar (desvios à média na figura 2.1) a existência de grande número de anos de forte insolação (embora com grande irregularidade interanual) entre 1915 e 1958, notando-se um novo aumento depois de 1969. O período 1958-69 corresponde precisamente ao de excedente pluviométrico no mesmo local (M. J. ALCOFORADO, 1984). Os valores elevados de 1942-57 coincidem, por seu lado, com o período de défice de precipitação. Estes dois períodos de défice e de excedente de precipitação foram também detectados em Coimbra (S. MARTIN, J. P. MARCHAND, J. MOUNIER, 1981). Observar-se-á, à frente, que a correlação entre as variações da insolação e da temperatura não é tão evidente.

Aplicando um modelo de regressão simples, verificou-se não ser significativa a relação linear entre a insolação e o tempo (coeficiente de correlação de 0.18, para os valores dos 89 anos de observação). Não se detectou portanto, por este meio, qualquer tendência a longo prazo, embora a comparação de médias de períodos diferentes sugira um aumento da insolação entre o início do século e os anos 60, em Lisboa e Monte Estoril (Quadro 2.1). Este aumento observa-se nos valores médios de todos os meses. Uma excepção: a diferença negativa em Agosto, no Monte Estoril.

	Ja	F	Mç	Ab	Mi	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	Ano
Lisboa	4.1	19.7	-1.8	9.8	1.2	9.3	18.4	0.2	16.9	17.1	14.2	20.2	129.5
M. Estoril	3.6	14.1	0.5	17.0	9.1	7.2	5.4	-9.2	6.8	12.6	11.8	-0.1	87.4

Quadro 2.1 — Diferença do número médio de horas de insolação entre os valores «normais» 1931-60 e 1901-30 em Lisboa (Geofísico) e entre os períodos 1931-60 e 1913-46 no Monte Estoril.

Fonte: O Clima de Portugal, SMN fasc. I, VI e XIII.

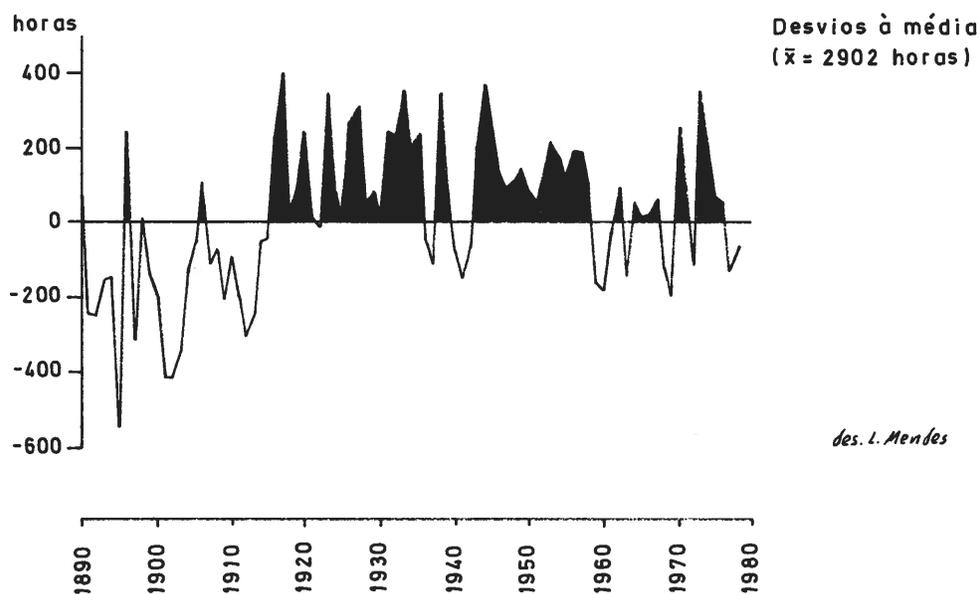


Fig. 2.1 — Desvios à média do número de horas anual de insolação em Lisboa (Geofísico).

Dados dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís: 1890-1978

2 — O regime mensal da insolação em Lisboa (Geofísico)

2.1 — Os valores médios e o seu significado

Numa publicação sobre a radiação solar, J. P. PEIXOTO (1981) apresenta valores de radiação e de insolação da estação de Lisboa, utilizados para a construção dos gráficos das figuras 2.2 e 2.3. Nota-se que, no topo da atmosfera, à latitude de Lisboa, a radiação solar é máxima no mês de Junho; mas a radiação global só em Julho atinge o seu valor mais elevado e o máximo de insolação ocorre apenas em Agosto. Verifica-se um atraso comparável em relação aos mínimos: o mais baixo valor de radiação regista-se em Dezembro e o de insolação só em Janeiro.

Os dados aqui utilizados foram obtidos pelo cálculo da razão de insolação quotidiana a partir do número de horas diárias de Sol de 1940 a 1980, tendo em conta a latitude da estação de Lisboa/Geofísico ($38^{\circ} 42'N$) para a determinação diária do número máximo de horas de sol possível (*).

(*) Todos os tratamentos estatísticos dos dados diários acima referidos foram levados a cabo durante um estágio efectuado em Maio de 1983 em Grenoble, na E.R. 30 do C.N.R.S., utilizando programas elaborados e gentilmente cedidos pelo Engenheiro SERGE MARTIN, cuja colaboração foi preciosa para a interpretação dos resultados.

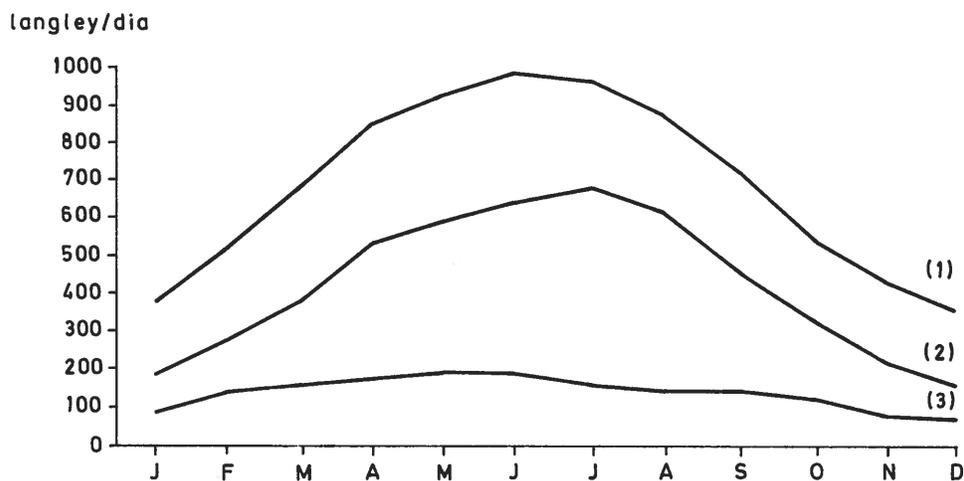
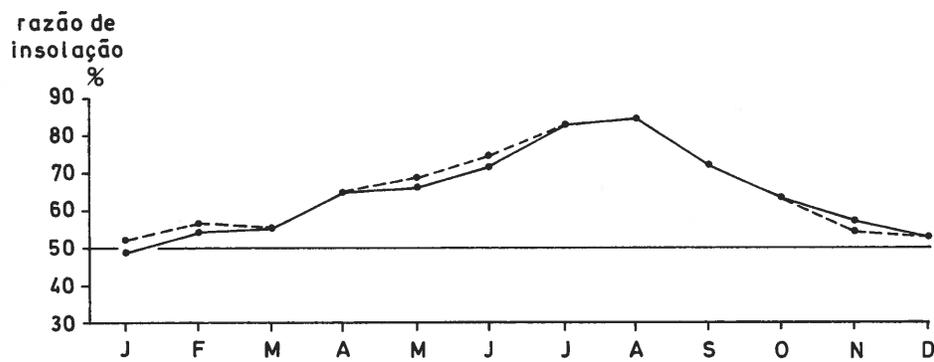


Fig. 2.2 — A radiação em Lisboa (Geofísico).

- (1) Radiação no topo da atmosfera (valores calculados)
- (2) Média da radiação global.
- (3) Média da radiação difusa.

Dados de J. P. Peixoto, 1981, Q. X., período de observação não especificado.



des. L. Mendes

Fig. 2.3 — A razão de insolação em Lisboa (Geofísico).

— Média 1940-80 (Número de horas diário de insolação extraído dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luis. Cálculos efectuados na E.R. 30, C.N.R.S., Grenoble).

— — — Valores calculados a partir do número mensal de horas de insolação (J. P. Peixoto, 1981, Q.X., p. 135, período de observação não especificado).

Recorrer-se-á, primeiro, às médias da razão de insolação, parâmetro de utilização particularmente cómodo. Na interpretação, deve-se ter em conta que os valores desta variável climática não seguem a lei de Gauss; um simples relance aos histogramas da figura 2.4 é suficiente para o confirmar. É nos meses de Verão, que a média da razão de insolação (entre 0.80 e 0.85) está mais próxima da moda (0.95), mas a distribuição é francamente dissimétrica, dada a raridade dos dias de insolação baixa ou média. De Outubro a Março, a distribuição da razão de insolação é bimodal (uma moda de 0.05 e outra de 0.95); a frequência de ocorrência dos dias desta última classe é sempre a mais elevada e, só em Janeiro, as frequências de ocorrência das duas classes extremas são próximas (fig. 2.4).

Com estas reservas em relação à média, observa-se na figura 2.3 que, depois do já referido mínimo de Janeiro (próximo de 0.5), os valores de razão de insolação de Fevereiro e Março são próximos e há fortes aumentos entre Março e Abril e entre Junho e Julho (fig. 2.2). As médias de Verão (Julho e Agosto) são superiores a 0.80 e a diminuição da razão de insolação no Outono e princípio do Inverno é mais rápida e regular do que a subida primaveril.

Estas fortes variações não se explicam só por modificações do valor da radiação solar, mas pela variação intermensal dos tipos de circulação: segundo C. RAMOS (1986) e J. VENTURA (1986) há, entre Março e Abril, uma diminuição de situações perturbadas de Oeste, que poderá ser uma das causas do aumento de insolação média de 0.55 em Março para 0.65 em Abril. Provavelmente devido à causa atrás apontada, Março tem mais de 10% de dias totalmente nebulados (e cerca de 20% de céu limpo), enquanto Abril apresenta 6% dos primeiros e 26% dos segundos (fig. 2.4).

A passagem da razão de insolação de 0.72 em Junho para 0.82 em Julho explicar-se-á pela acentuada diminuição do número de centros depressionários de um mês para outro. Note-se a configuração dos histogramas de Junho, com a moda compreendida entre 0.80 e 0.90. Passa-se de 20% de dias de céu limpo em Junho para 44% em Julho e 58% em Agosto, o que explica os elevados valores médios acima comentados.

As relações estabelecidas neste capítulo — e nos outros em que se trabalha com médias e frequências — entre as horas de Sol e a diversidade das situações sinópticas não podem passar de hipóteses de trabalho sujeitas a verificações (algumas das quais efectuadas no capítulo seguinte), essencialmente por duas razões:

Estão a comparar-se fenómenos apreendidos a escalas temporais diferentes: médias de 20 a 30 anos de razão de insolação, com frequências de ocorrência de situações sinópticas de 6 anos (aliás não incluídos nos primeiros) .

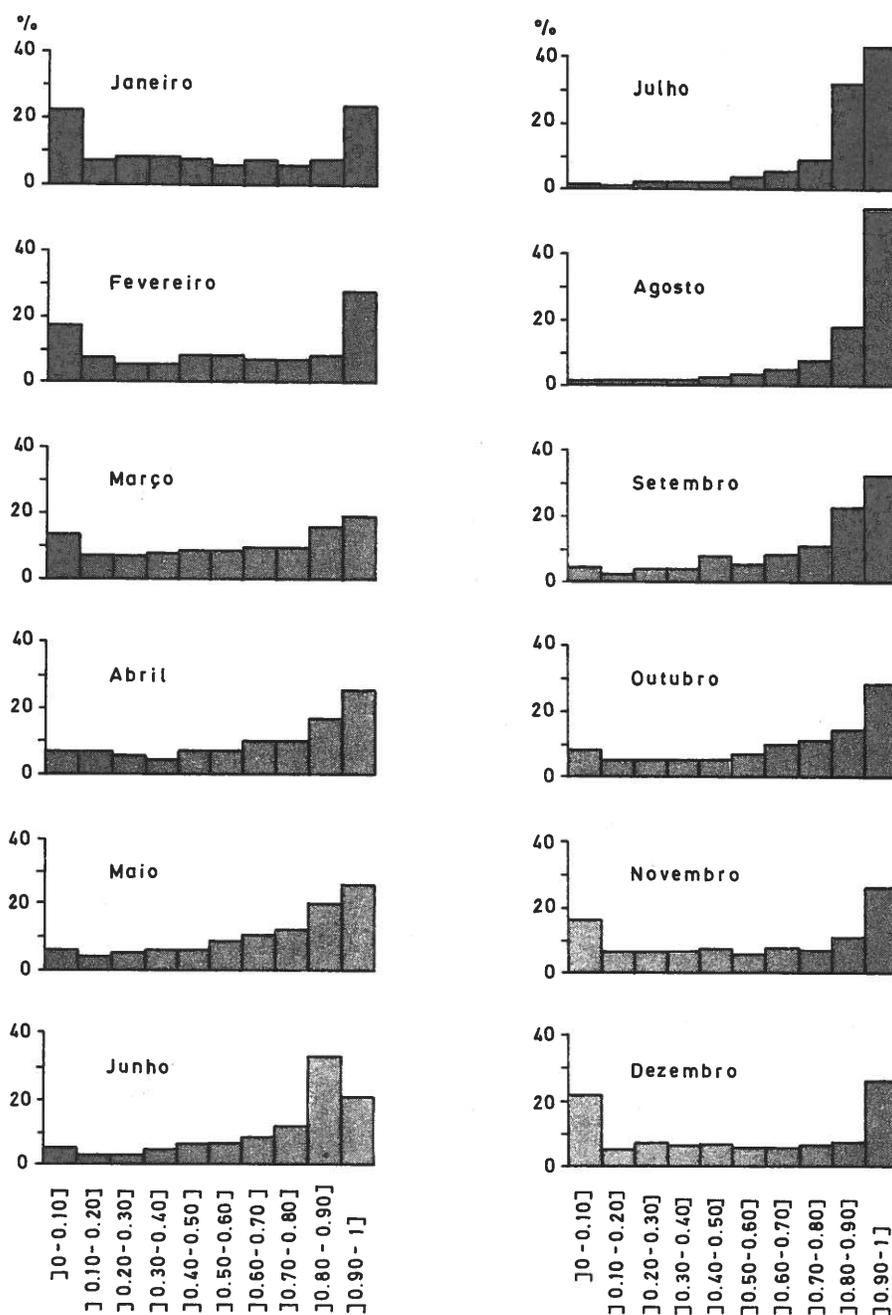
Por outro lado, as relações entre as várias situações sinópticas e a razão de insolação não são simples e directas; por exemplo, a passagem ou a aproximação de uma superfície frontal não leva forçosamente a modificações da insolação no (ou nos) locais que nos interessam.

Uma explicação segura e objectiva dos factos atrás apontados, implicaria que fossem analisados, dia a dia (e, por vezes, hora a hora), os anos de 1941 a 1980, período correspondente ao dos dados estudados.

2.2 *A variabilidade interanual*

O ritmo anual das frequências de insolação pode ser visualizado num «calendário de probabilidades» (PEGUY, 1974, 1976a, 1976b, 1978a, 1978b) ou calendário de frequências (fig. 2.5) que constitui uma síntese gráfica da variabilidade interanual de qualquer parâmetro (climático ou não).

Tal como já referi, numa outra aplicação desta técnica (M. J. ALCOFORADO, 1987), o gráfico é constituído por um eixo horizontal em que a escala representa 365 dias. A origem deste eixo pode



des. L. Mendes

Fig. 2.4 — Frequência de ocorrência das razões de insolação quotidianas em Lisboa (Geofísico): 1940-1980.

Dados dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís. Cálculos efectuados na E.R. 30, C.N.R.S., Grenoble.

corresponder a um dia qualquer do ano civil, escolhido em função das aplicações em vista. Adoptou-se, no eixo vertical, uma escala de Gauss expressa em centésimos (ou em %, se se multiplicar por 100). No gráfico, traçam-se 9 curvas que, cotadas em valores discretos das variáveis (aqui de 0.10 a 0.90 de razão de insolação) permitem a leitura (no eixo vertical) da probabilidade dos vários valores serem ultrapassados, em cada data (eixo horizontal).

Note-se, por exemplo, que, no início do mês de Janeiro, há em Lisboa, 30% de probabilidade da razão de insolação ultrapassar 0.80 (fig. 2.5) e que, no começo de Agosto, aquela probabilidade aumenta

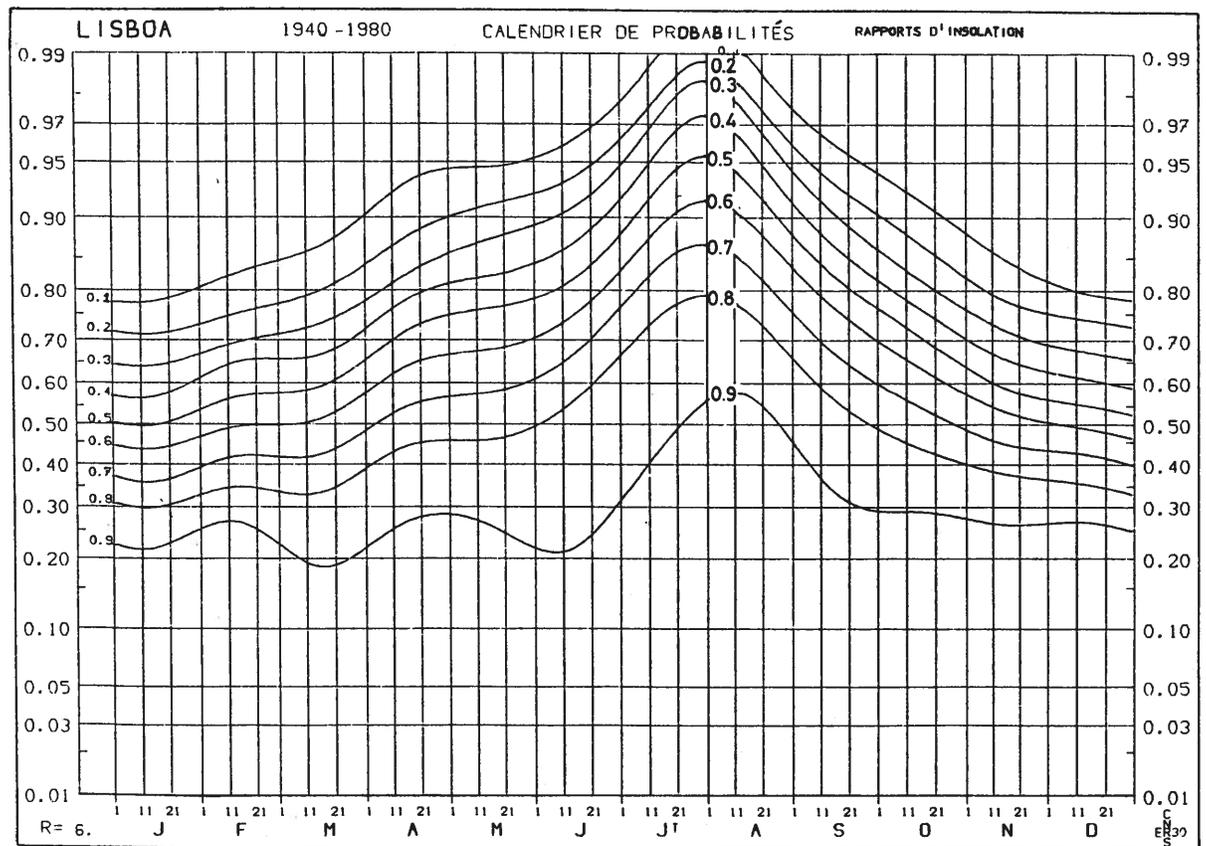


Fig. 2.5 — Calendário de Probabilidades da razão de insolação em Lisboa (Geofísico).

Dados diários (número de horas de insolação de 1940 a 1980) dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís. Cálculos e gráfico efectuados na E.R. 30, C.N.R.S., Grenoble.

para 78%! Como é apontado no «Atlas des Fréquences de l'Insolation Journalière» (C.N.R.S., 1980) um utilizador, necessitando de dar um significado económico aos valores de probabilidade, poderá transformar estes em equivalentes dias por mês, multiplicando o valor da escala vertical pelo número de dias de cada mês. Assim, em Janeiro, em Lisboa, esperar-se-ão, pelo menos 9 dias de razão de insolação ≥ 0.80 (31×0.30 a 15 de Janeiro). Em Agosto aquele valor sobe para 23 dias (31×0.75 a 15 de Agosto).

O calendário de Lisboa foi traçado utilizando o programa elaborado por SERGE MARTIN para o Atlas acima mencionado. Para cada valor de razão de insolação, os pontos são marcados, no gráfico, no dia 15 de cada mês, sendo a curva obtida por ajustamento de uma função «spline» de ordem 2 a uma dimensão e de um coeficiente de «regularização» (*lissage*) de 10^6 (L. PAIHVA MONTES, 1978, citado no Atlas des Fréquences de l'Insolation Journalière, C.N.R.S., p. 8); estes pontos correspondem, para cada mês, à frequência de ultrapassagem dos diversos limiares da razão de insolação quotidiana.

A comparação do calendário de probabilidades da razão de insolação em Lisboa, com qualquer dos referentes às estações do Sul da França e da Córsega (apresentados num dos volumes do Atlas), revela que há grandes semelhanças entre Lisboa, Nîmes, St. Raphael, Nice, Orange, Ajaccio e Bastia no que diz respeito à frequência de ocorrência das razões de insolação médias (0.70 a 0.40) e baixas (0.10 a 0.30). Mas, à excepção do mês de Março, há sempre pelo menos 20% de dias de insolação ≥ 0.90 em Lisboa (8% em Bastia, 5% em Ajaccio, 10% em Nice). Em Agosto, há 58% de hipóteses de ocorrência destes dias em Lisboa (30% em Bastia, 28% em Ajaccio, 25% em Nice).

Para todas as frequências, tal como para os valores médios, não há aumento de insolação entre Abril e Maio, tanto em Lisboa como na maior parte das estações acima utilizadas como termos de comparação.

O máximo de insolação tem lugar no início de Agosto em Lisboa e na Córsega, ao passo que, na maior parte das outras estações, os valores mais elevados se observam a meados de Julho.

Em Nice, no Inverno, apesar de haver menor probabilidade de ocorrência de dias de céu quase permanentemente limpo, (15% em Nice em Janeiro, 22% em Lisboa, no mesmo mês), existe maior número de dias de valores médios de insolação: em Lisboa, 45% de dias de insolação ≥ 0.60 , 55% em Nice no mês de Janeiro.

O decréscimo da probabilidade de ocorrência de forte insolação no Outono é rápido e regular em Lisboa (mas não nas estações tomadas como termos de comparação) e a probabilidade de ocorrência dos vários valores praticamente não varia entre 1 e 21 de Janeiro, sendo, como já se disse, a evolução primaveril mais lenta e irregular.

Mas, se o decréscimo outonal é efectivamente forte para razões de insolação compreendidas entre 0.10 e 0.80, a curva de 0.90 (fig. 2.5) tem um fraco declive a partir de Outubro e é sub-horizontal a partir de 1 de Novembro. Durante este mês e também em Dezembro há sempre 25% de dias de insolação ≥ 0.90 . O número relativamente elevado de situações anticiclónicas, por exemplo no mês de Novembro, tanto em anos secos como em anos húmidos (C. RAMOS, 1986, p. 102 e 104; J. VENTURA, 1986, p. 105), provoca, naquelas ocasiões, dias de céu limpo, que constituem quase 30% da amostragem daquele mês.

Para averiguar mais concretamente as potencialidades da região em energia solar por exemplo para aquecimento doméstico, o estudo deve ser completado pelo das características da insolação em dias consecutivos. Porém, esta investigação encontra-se ainda numa fase preliminar, em termos de modelos matemáticos.

Devido ao encadeamento das diferentes situações sinópticas, os valores de insolação em dias consecutivos (sequências) não são independentes. SERGE MARTIN, num trabalho sobre as sequências secas (1977) começa por lembrar a definição de sequência: uma série cronológica de fenómenos consecutivos

e idênticos. Uma sequência de n dias secos é, assim, uma sucessão de dias durante os quais não ocorreu precipitação. Estudam-se aqui as sequências de dias seguidos de insolação ≥ 0.80 e ≤ 0.20 . Escolheram-se estes dois limiares por isolarem os dias de céu limpo quase permanentemente que, excepto nalguns dias muito frios de Inverno, correspondem a dias de «muito bom tempo» e de «mau tempo» (dias permanentemente nebulados). Cada sequência foi incluída no mês em que se inicia, mesmo que ela apenas termine no mês seguinte.

Apresentam-se, na figura 2.6, as frequências de ocorrência das sequências de dias de razão de insolação ≥ 0.80 e ≤ 0.20 , agrupadas em função do seu comprimento. A amostragem é a mesma do que para a execução dos calendários de probabilidades: 365 dias \times 40 anos + dia 29 de Fevereiro dos anos bissextos. Nos histogramas do lado esquerdo da figura, repara-se que, à medida que se caminha para o Verão, aumenta o comprimento das sequências de dias de insolação ≥ 0.80 : se bem que raramente (1 a 2% dos casos), estas podem durar 19 ou 20 dias no mês de Agosto. Os dias isolados de bom tempo diminuem de mais de 40% de Dezembro a Março, a 17% em Agosto.

Notar que, mesmo no Inverno, as sequências de bom tempo podem ser longas: 12 dias em Fevereiro, 11 em Dezembro. Em Janeiro e Março há, em Lisboa, menor frequência de dias seguidos de Sol.

Pelo contrário, mais de 60% dos dias de céu sempre encoberto (lado direito da figura 2.6) ocorrem quase sempre isoladamente. No Verão, nunca houve, no período estudado, mais de 3 dias seguidos de nebulosidade elevada, enquanto em Dezembro e Janeiro ocorreram até 7 dias consecutivos de céu quase totalmente encoberto.

SERGE MARTIN adaptou a este estudo um esquema probabilístico dito de Polya, embora vários outros modelos pudessem ter sido escolhidos: modelo de Bernoulli, cadeias de Markov, não raro utilizadas nestes casos pelas escolas anglo-saxónicas. E. GALLOY (1982) usou modelos baseados nas leis de probabilidade binomiais negativas, para o estudo das sequências secas.

O tratamento estatístico desenvolvido por SERGE MARTIN informa também sobre a probabilidade de se iniciar (ou de continuar) uma sequência mais ou menos longa de dias de igual insolação (probabilidade de passagem): ou seja, a probabilidade de um dia de forte (ou fraca) insolação ser seguido de outro (ou outros) de características idênticas. Repare-se, nos Quadros 2.2 e 2.3, que esta probabilidade de passagem pode aumentar, diminuir ou conservar-se constante, à medida que o número de dias da sequência aumenta.

Por exemplo, no caso das sequências de dias de insolação ≥ 0.80 , em Julho e Agosto a probabilidade de passagem praticamente não varia com o aumento de comprimento da sequência (Quadro 2.2). Pelo contrário, por exemplo no meses de Outubro e Novembro, a probabilidade de se passar de um dia de Sol a outro, aumenta à medida que aumenta também o número de dias do período de céu limpo.

Concretiza-se, comparando os meses de Agosto e de Outubro: em Agosto há maior percentagem de sequências longas do que em Outubro (há, por exemplo, 7% de sequências de 6 dias de céu limpo, e apenas 4% em Outubro, fig. 2.6). Mas, no mês de Agosto, a probabilidade que um dia de bom tempo se siga a outro é constantemente de 83%, Quadro 2.2; ao passo que, em Outubro, um dia de céu limpo tem 69% de probabilidades de ser seguido por outro, mas 6 dias de bom tempo têm 77% de probabilidades de fazer parte de uma sequência mais longa. Em Novembro a probabilidade passa de 65% para 70% (outros exemplos no Quadro 2.2). O conhecimento das condições que levaram ao aparecimento do bom tempo permite explicar esta aparente contradição: os dias «bonitos» de Outubro são, não raro, devidos a anticlones de bloqueio, situação esta que tem tendência a perdurar vários dias e, às vezes, mais de uma semana; o bom tempo de Verão é devido, frequentes vezes, a anticlones atlânticos, em circulação zonal ou correspondentes a correntes ondulatórias, na circulação dos quais podem eventualmente ser transportadas massas de ar mais húmidas, que originam um aumento temporário da nebulosidade, independentemente da duração do bom tempo anterior.

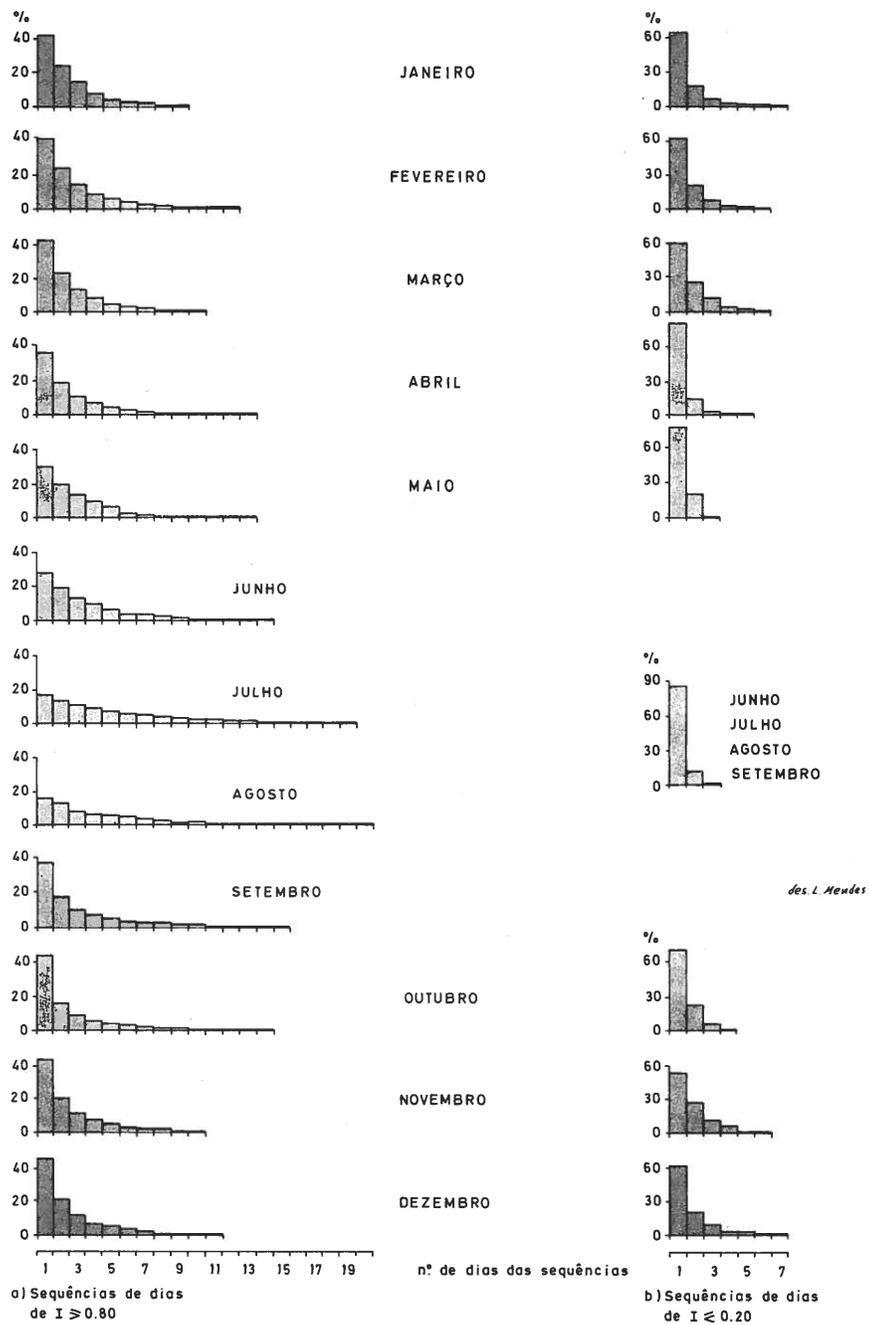


Fig. 2.6 — Percentagem de seqüências de dias de muito forte (≥ 0.80) e de muito fraca (≤ 0.20) insolação em Lisboa (Geofísico).

Proveniência e tratamento dos dados: ver fig. 2.4.

Resumindo, à excepção dos meses de Julho e Agosto, no caso dos dias de insolação superior a 0.80, à medida que se alonga a sequência em que cada dia de céu limpo está incluída, aumenta a probabilidade de se passar a outro dia com as mesmas características e, portanto, da sequência se alongar. Estas probabilidades de passagem, próximas dos 80% nos meses de Verão, são menores de Novembro a Março (58 a 73%).

Nos meses de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), as variadas situações sinópticas que originam nebulosidade e precipitações terão tendência a instalar-se, conduzindo à persistência do mau tempo; ou então, este pode ser prolongado por diferentes situações que se sucedem rapidamente, tendo como consequência a persistência de céu muito nebulado.

Ao contrário dos meses de «Inverno» (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), nos meses «de transição» Março, Maio, Outubro e Novembro, à medida que os dias de insolação ≤ 0.20 se seguem, o mau tempo tem cada vez uma mais forte probabilidade de acabar: há cada vez menor probabilidade de um dia de mau tempo ser seguido por outro igual. O mês de Abril, pelo contrário, é caracterizado por um aumento de probabilidade da continuação do mau tempo, à medida que as sequências se alongam. A análise dos dados de C. RAMOS e de J. VENTURA forneceu uma hipótese de explicação (por exemplo, C. RAMOS, 1986, pags. 26 e 32): há, em Abril, particularmente nos anos secos estudados pelos referidos autores, um muito grande aumento de situações de bloqueio na circulação em altitude, e à superfície, uma forte diminuição do fluxo zonal já atrás mencionado. Será uma frequência apreciável de anticiclones em circulação de bloqueio que levará ao aumento da insolação média? Noutras ocasiões, mais raras, instalar-se-ão centros depressionários à superfície, que têm tendência a permanecer durante vários dias no mesmo local, se não houver modificações da situação em altitude e contribuir para aumentar a probabilidade de passagem de dias de insolação ≤ 0.20 .

3 — O regime da razão de insolação na região de Lisboa

Partindo do princípio que o tipo de distribuição estatística dos valores de razão de insolação é semelhante nas várias estações da região de Lisboa e, uma vez afirmado que a média está mais próxima da moda nos meses de Verão, exprimindo no Inverno uma posição intermédia entre os frequentes casos extremos, as médias serão aqui apresentadas, devido ao seu cómodo manuseamento. Esta opção possibilitou a condensação da informação numa matriz de 17 (indivíduos: estações meteorológicas, equipadas com heliógrafos) \times 12 (variáveis: meses), à qual foi aplicada uma análise em componentes principais. (*)

Uma prévia observação dos números revela que há variações consideráveis de insolação mesmo entre locais próximos. Esta nunca ultrapassa 0.65 nos Cabos e 0.60 em Colares, elevando-se a mais de 0.80 no Verão, em grande número de locais de medição.

Nas figuras 2.7 e 2.8, apresentam-se as projecções das variáveis (meses) e dos indivíduos (estações meteorológicas) no plano factorial 1-2.

O facto de todas as variáveis terem coordenadas positivas em relação a F1 (fig. 2.7), revela existir um efeito de dimensão, cuja importância é dada pela percentagem de variância tida em conta pelo primeiro factor (67%).

(*) A partir daqui, os dados serão apresentados por anos hidrológicos (de Setembro a Agosto, M. FEIO e V. HENRIQUES, 1986). Dado que, na primeira fase do trabalho, ainda se coligiram e trataram dados de precipitação, cuja apresentação ficou posteriormente adiada, decidiu-se, então, usar o mesmo «corte» no ano para os valores de insolação, nevoeiro, nebulosidade e temperatura compilados simultaneamente.

n° de dias mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ja		58	59	59	59	59	59	59	59	59	59	60	60	60	60	60	60
F		66	68	69	70	71	71	71	72	72	72	72	72	72	72	73	73
Mç		60	61	62	62	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Ab		70	72	74	74	75	75	76	76	76	76	77	77	77	77	77	77
Mi		71	72	73	73	73	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Jn		74	74	75	75	75	75	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Jl		83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
A		83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
S		73	75	77	78	79	79	80	80	80	80	81	81	81	81	81	81
O		69	73	75	76	77	77	78	78	79	79	79	79	79	79	79	79
N		65	68	69	70	70	71	71	72	72	72	72	72	72	72	73	73
D		63	65	66	67	68	68	69	69	69	69	69	70	70	70	70	70

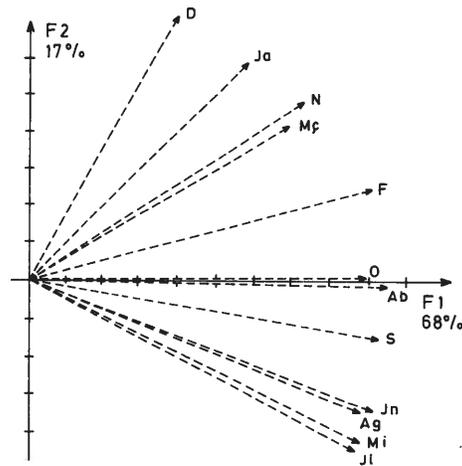
Quadro 2.2 — Probabilidade de passagem (%) de uma sequência de n dias de razão de insolação ≥ 0.80 a uma sequência idêntica de n + 1 dias, em cada mês (ver comentários no texto).

n° de dias mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ja		49	53	56	57	58	58	59	59	60	60	60
F		40	41	41	42	42	42	42	42	4	42	42
Mç		36	34	33	33	32	32	32	31	31	31	31
Ab		31	34	36	37	37	38	38	39	38	39	39
Mi		7	4									
Jn		17	17	18	18	18	19	19	20	24	33	50
Jl		17	17	18	18	18	19	19	20	24	33	50
A		17	17	18	18	18	19	19	20	24	33	50
S		17	17	18	18	18	19	19	20	24	33	50
O		22	20	18	17	17	17	16	16	16	17	
N		43	42	42	42	42	41	41	41	41	41	41
D		45	47	48	49	49	50	50	50	50	51	51

Quadro 2.3 — Probabilidade de passagem (%) de uma sequência de n dias de razão de insolação ≤ 0.20 a uma sequência idêntica de n + 1 dias em cada mês ou conjunto de meses (ver comentários no texto).

A consulta dos resultados da análise sinótica de C. RAMOS (1986) e J. VENTURA (1986) parece confirmar a hipótese posta: há, nos meses de Julho e Agosto, em média, respectivamente, 18 e 20 dias de circulação zonal cujo número desce para 10 em Outubro e é de 12 em Novembro.

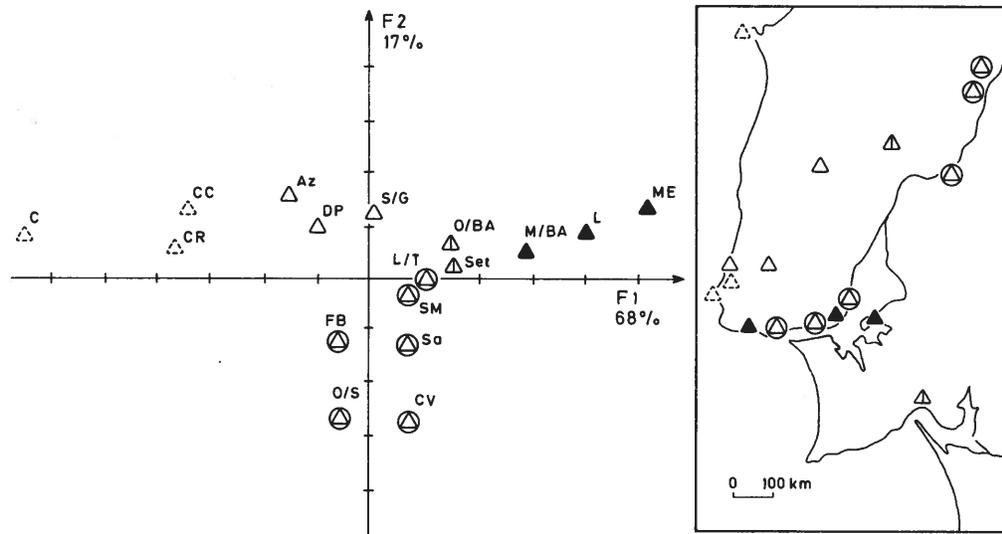
Nota-se, comparando os valores dos Quadros 2.2 e 2.3, que é em Janeiro que a probabilidade de passagem de um dia praticamente sem insolação (≤ 0.20) a outro com as mesmas características é a mais elevada do ano (49%), aumentando aquela com o comprimento total da sequência em que está incluído o dia considerado; mesmo assim, a referida probabilidade de passagem é inferior ou igual às probabilidades de um dia de forte insolação preceder outro com as mesmas características (58 a 60%, no Quadro 2.2).



des. L. Mendes

Fig. 2.7 — Análise em componentes principais da razão de insolação em 17 estações da região de Lisboa: projecção das variáveis (meses) no plano factorial 1-2.

Médias 1947/48-1974/75. Dados dos Anuários Climatológicos de Portugal, cálculos efectuados na Universidade de Nice.



a) Projecção dos indivíduos (estações) no plano factorial 1-2

b) Repartição espacial

des. L. Mendes

Fig. 2.8 — Análise em componentes principais da razão de insolação em 17 estações da região de Lisboa (significado dos símbolos no texto).

Médias 1947/48-1974/75. Dados dos Anuários Climatológicos de Portugal. Cálculos efectuados na Universidade de Nice. Significado das siglas no Quadro da página 20.

No litoral ocidental, a média da razão de insolação é sempre baixa (estações de coordenadas mais fortemente negativas para F1, na figura 2.8). Não havendo dados de Sintra/Pena, Colares apresenta-se como o local com menos insolação: tanto a sua proximidade do oceano como a sua posição na vertente Norte da Serra de Sintra contribuem para o aumento da nebulosidade e a maior frequência dos nevoeiros.

Desde que não intervenha o factor orográfico, a insolação aumenta rapidamente para o interior: mesmo em Azenhas do Mar, a escassas centenas de metros da costa, o somatório das horas de Sol descoberto é já mais elevado do que, por exemplo, em Cabo da Roca.

A insolação é máxima em estações, relativamente distantes no espaço, como Monte Estoril, Lisboa e Montijo e também Ota e Setúbal a sotavento dos principais relevos desta área (Mapa de Enquadramento). A estação de Lisboa, a uma altitude suficiente para evitar os nevoeiros do Tejo, regista um número de horas de Sol quase tão elevado como Monte Estoril.

O segundo factor ilustra o comportamento contrastado das estações de Fonte Boa, Santarém, Oeiras/Sassoeiros e Cabo Ruivo (fig. 2.8): no Verão, estas estações meteorológicas fazem parte dos locais com maior número de horas de Sol, ao passo que, no Inverno, apresentam valores muito baixos de razão de insolação (em Dezembro, Oeiras/Sassoeiros tem uma insolação mais fraca ainda do que Colares). Comparam-se, na figura 2.9, as razões de insolação de Oeiras/Sassoeiros e Azenhas do Mar, estações de projecção próxima em relação a F1 e coordenadas opostas para F2. São as referidas estações do Vale e do estuário do Tejo que apresentam os menores valores de insolação no Inverno, devido aos frequentes nevoeiros de irradiação do Vale do Tejo e de advecção nas margens do estuário.

À medida que se analisavam as características da insolação, foram inevitavelmente referidas as da nebulosidade, grandeza considerada praticamente simétrica da primeira. Verificar-se-á, seguidamente, que a nebulosidade é a principal responsável das variações da insolação, não se devendo esquecer que o nevoeiro e os fumos e poeiras actuam no mesmo sentido, se bem que geralmente em menor escala.

A insolação tem a vantagem de ser uma grandeza medida objectivamente, tal como já foi referido no início. Mas, dado que das 28 estações utilizadas para o estudo das temperaturas (capítulo seguinte), apenas 17 possuem heliógrafo, enquanto para quase todas existem indicações sobre o número de dias de nebulosidade elevada ($N \geq 8/10$) e de nevoeiro, tratam-se seguidamente estas duas grandezas, relacionando-as depois com a insolação.

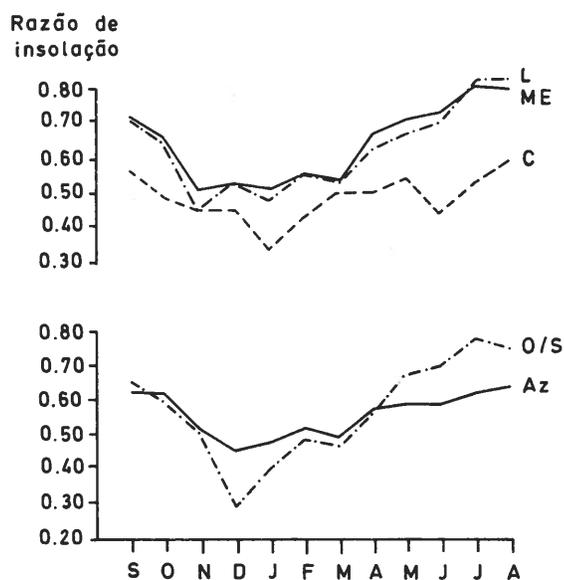


Fig. 2.9 — Razão de insolação em cinco estações da região de Lisboa.

Médias 1947/48-1974/75. Dados dos Anuários Climatológicos de Portugal. Significado das siglas no Quadro da página 20.

4 — O Nevoeiro e a Nebulosidade na região de Lisboa

Foram utilizados os valores do número de dias de nevoeiro e de nebulosidade elevada ($N \geq 8/10$), publicados nos Anuários Climatológicos de Portugal, de que foram calculadas as médias mensais.

4.1 — O nevoeiro

A falta de precisão das observações de nevoeiro podem ser ainda mais graves do que as da nebulosidade tal como S. DAVEAU advertiu (1980, p.11): ignora-se se o nevoeiro registado de manhã persistiu 24 horas, se desapareceu a meio da manhã ou só ao fim da tarde; também não se sabe se o observador o vê ao longe ou se a estação está mergulhada nele, embora, em princípio, só se registem os hidrometeoros observados na estação meteorológica.

Calcularam-se as médias mensais do número de dias de nevoeiro e constituiu-se uma matriz de 23 indivíduos (estações meteorológicas que dispunham de suficientes dados de nevoeiro) x 12 variáveis (meses) à qual se aplicou uma análise em componentes principais. O efeito de dimensão é muito forte (90% da variância) e, tal como no caso anterior, o ritmo estacional do nevoeiro nos vários locais é expresso pela posição de cada estação (indivíduo) em relação ao eixo 2, que entra em conta com 8% da variância(*).

Projectando os pontos-indivíduos no plano 1-2, sobressaem as estações de Sintra/Pena e de Dois Portos, de coordenadas muito fortemente positivas em relação a F1 e, no outro extremo, Monte Estoril, de médias sempre muito baixas, assim como Lisboa/Tapada, Paiã, Lisboa: note-se, porém, que o fenómeno classificado de «nevoeiro» a 100 ou a 500 metros de altitude, (casos respectivamente de Dois Portos e Sintra/Pena) corresponde ao fenómeno «nebulosidade» para um observador na planície.

Devido aos valores muito elevados de Sintra/Pena (sempre mais de 13 dias) e de Dois Portos (mais de 5 dias), os pontos correspondentes às projecções de todas as outras estações estão muito próximos no plano 1-2.

Ao contrário da insolação, sempre mais elevada no Verão do que no Inverno em cada local de observação e em que apenas as diferenças entre os valores de razão de insolação de certos postos sofrem mudança de sinal do Verão para o Inverno, há inversões do ritmo estacional de nevoeiro, no interior do espaço estudado, evidenciadas pela posição das estações em relação a F2.

Com valores positivos para F2, os locais onde o nevoeiro é mais frequente nas madrugadas e manhãs de Inverno (meses de Dezembro e Janeiro): nevoeiro de irradiação no Vale do Tejo (Salvaterra de Magos, Ota/Base Aérea); no estuário do Tejo, desenvolvem-se nevoeiros que resultam da advecção de ar húmido sobre o continente que então se encontra mais frio (Montijo/Base Aérea, Cabo Ruivo e mesmo Lisboa/Portela). Também a estação de Lisboa de valores fracos para F1 tem, no entanto, um máximo pouco marcado no Inverno (fig. 2.10).

Sintra/Pena, de muito fortes coordenadas em relação a F1, é mal representada pelo segundo factor. De facto, não se nota, neste local, variação estacional do número médio de dias de nevoeiro (fig. 2.10). Nos locais de observação do litoral ocidental, de coordenadas negativas para F2, o nevoeiro, resulta da condensação da humidade atmosférica ao contacto das águas frescas do Oceano (exemplo de Cabo da Roca, Azenhas do Mar, Cabo Carvoeiro) e manifesta-se sobretudo durante o Verão (fig. 2.10).

(*) Os quadros dos valores originais assim como a projecção de variáveis e indivíduos no plano 1-2 da A.C.P. podem ser consultados no exemplar policopiado deste estudo (M. J. ALCOFORADO, 1988).

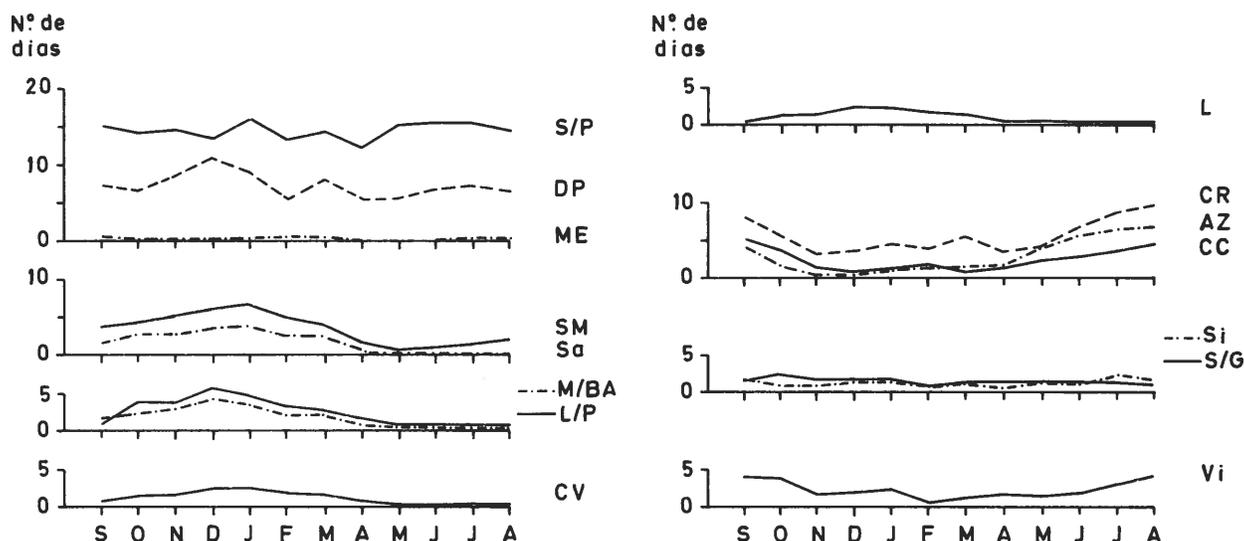


Fig. 2.10 — Número médio de dias de nevoeiro em estações da região de Lisboa.

Médias 1947/48—1974/75. Dados dos Anuários Climatológicos de Portugal. Significado das siglas no Quadro da página 20.

S. DAVEAU refere, além dos já citados tipos de nevoeiros (1980 e 1985), um outro, de tipo misto, característico dos fundos de vale da fachada ocidental de Portugal, sem nítida variação inter-mensal da frequência do nevoeiro. É o caso de Vimeiro, na área agora estudada (fig. 2.10), onde se nota, no entanto, um ligeiro aumento do número de dias de nevoeiro no Verão, tal como no litoral próximo.

4.2 — A Nebulosidade forte

Apenas se utilizaram os registos do número de dias de $N \geq 8/10$, susceptíveis de constituírem um mais válido elemento de explicação para as variações da insolação. Como as horas de observação não são sempre as mesmas, apenas se trataram os registos das 9 horas. O inconveniente de apenas se considerar um determinado momento do dia é menor do que o de comparar médias de valores da nebulosidade observada a horas diferentes.

Foi aplicada uma análise em componentes principais a uma matriz de 25 indivíduos (estações meteorológicas) \times 12 variáveis (meses), em que se registou o número médio de dias de nebulosidade $\geq 8/10$.

Observa-se uma maior dispersão dos pontos referentes à projecção dos indivíduos no plano 1-2 do que no caso do número de dias de nevoeiro. O efeito de dimensão é ligeiramente inferior (80%), visto que não há uma discrepância tão grande entre os valores absolutos das variáveis; opõem-se as estações de Sintra/Pena, Vimeiro e Colares, de mais forte nebulosidade, às de Oeiras, Paiã e Águas de Moura (fig. 2.11). As diferenças são mais marcadas nos meses de Verão.

A dispersão das projecções dos indivíduos (estações) no plano 1-2 é maior para os valores positivos de F1, ou seja as mais nítidas diferenças de ritmo anual dizem respeito às estações onde se registam

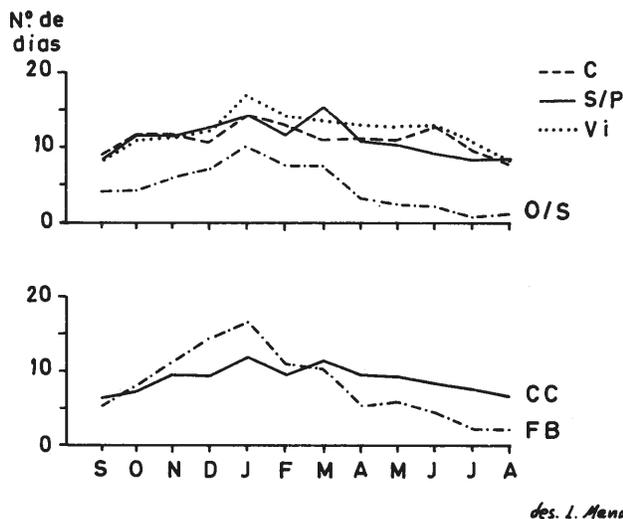


Fig. 2.11 — Número de dias de nebulosidade $\geq 8/10$ em 6 estações da região de Lisboa.

Médias 1947/48-1074/75, dados dos Anuários Climatológicos de Portugal. Significado das siglas no Quadro da página 20.

valores mais elevados de nebulosidade. Ao contrário do nevoeiro, o máximo anual ocorre no Inverno em todos os locais de observação.

O segundo factor traduz uma inversão da hierarquia Inverno-Verão entre as estações litorais (relativamente mais nebulosas no Verão) e os locais situados imediatamente a Leste dos relevos da Estremadura (Fonte Boa, Ota e Santarém, de coordenadas positivas para F2), relativamente nebulosas no Inverno, onde parece não existir, no mês de Dezembro, um mínimo relativo de número de dias de nebulosidade forte, tal como acontece por exemplo, em grande parte de estações do litoral como Cabo Carvoeiro, Colares e Vimeiro, de coordenadas negativas para F2 (fig. 2-11).

Não se conhece a razão de tal diferença entre o litoral ocidental e as estações atrás referidas. É provável que a causa resida em diferenças nas direcções dos fluxos causadores de nebulosidade forte e precipitação, entre Dezembro e Janeiro. Maior frequência de perturbações ou centros depressionários com fluxo de Norte e NW em Janeiro e de SW em Dezembro.

No Verão, os valores mínimos tanto podem ocorrer em Julho como em Agosto (no litoral), mas as diferenças de valores médios são sempre muito pequenas.

5 — Relações numéricas entre insolação, nevoeiro e nebulosidade forte

Existe uma muito estreita relação entre a ocorrência de nevoeiro ou de nebulosidade e o número diário de horas de sol. Interessa aqui verificar até que ponto é também possível estabelecer uma correlação entre os valores numéricos de que se dispõe para «representar» os elementos do clima atrás citados.

Comparam-se inicialmente as variáveis duas a duas, considerando a insolação a variável «a explicar» ou dependente (ou seja, cujos valores se pretendem determinar a partir das outras duas) e a nebulosidade e o nevoeiro as variáveis «explicativas» ou independentes. A relação linear que se estabeleceu

entre a insolação e cada uma das variáveis «explicativas», só é significativa de Maio a Setembro (Quadro 2.4): de Outubro a Abril, o coeficiente de correlação é demasiado baixo.(*)

	S	O	N	D	Ja	F	Mç	Ab	Mi	Jn	Jl	Ag
Nev.-Insol.(1)	-0.75	-0.57	0.20	0.14	-0.17	-0.40	-0.13	-0.50	-0.83	-0.87	-0.88	-0.85
Neb.-Insol.(2)	-0.69	-0.50	-0.20	0.27	-0.4	-0.30	0.40	-0.50	-0.77	-0.90	-0.97	-0.91

Quadro 2.4 — Coeficientes de correlação (r) entre o número médio de dias de nevoeiro e a média da razão de insolação (1) e entre o número médio de dias de nebulosidade $\geq 8/10$ e a média da razão de insolação (2).

No primeiro caso, em que se utilizaram 15 pares de valores, r só é significativo quando superior a 0.6411, com uma margem de erro de 1%. No segundo, em que havia valores para 17 estações, r é significativo desde que seja superior a 0.6055, com a mesma margem de erro.

A correlação entre insolação e número de dias de nebulosidade $\geq 8/10$ é negativa e forte durante o Verão; no Inverno há praticamente independência entre a razão de insolação e o nevoeiro e nebulosidade, tal como estas variáveis são expressas, repita-se. Poder-se-ia argumentar que estes resultados são devidos ao facto de se ter utilizado os dados da nebulosidade das 9 horas (para o nevoeiro não havia outra hipótese). Pensa-se, porém, que é simplesmente porque as médias têm um significado limitado nesta estação do ano. E a utilização da mediana também não resolveria o problema, devido ao facto, já referido, da distribuição da razão de insolação ser bimodal. Apenas se poderão considerar as regressões de Maio a Setembro, de que se incluem as equações nos Quadros 2.5 e 2.6. De futuro, estudar-se-ão, separadamente, as relações das duas modas dos valores de insolação respectivamente com a nebulosidade e o nevoeiro.

	r	Equação da recta
Maio	-0.83	$Y = 68.08 - 2,41 x$
Junho	-0.87	$Y = 70.06 - 2,3 x$
Julho	-0.88	$Y = 80.27 - 2,47 x$
Agosto	-0.85	$Y = 80.39 - 1.84 x$
Setembro	-0.75	$Y = 69 - 1.23 x$

Quadro 2.5 — Coeficientes de correlação e equação da recta de regressão entre a insolação (Y) e o número médio de dias de nevoeiro (x), para as estações da região de Lisboa, nos meses de Verão.

(*) Os programas de regressão simples e o de regressão múltipla foram elaborados pelo Professor Engenheiro HENRIQUE GARCIA PEREIRA (Instituto Superior Técnico), no decurso do seminário «A Informática e as Ciências Humanas», organizado pela Associação de Estudantes da Faculdade de Letras de Lisboa, no ano lectivo 1983/84.

	r	Equação da recta
Maio	-0.77	$Y = 76.1 - 1.74 x$
Junho	-0.9	$Y = 79.53 - 2.64 x$
Julho	-0.97	$Y = 84.19 - 3.33 x$
Agosto	-0.91	$Y = 84.95 - 3.25 x$
Setembro	-0.69	$Y = 74.63 - 2.08 x$

Quadro 2.6 — Coeficientes de correlação e equação da recta de regressão entre a insolação (Y) e o número de dias de nebulosidade (x) para as estações da região de Lisboa, nos meses de Verão.

Atente-se nas figuras 2.12 e 2.13, em que estão representados os resíduos (valor real — valor estimado a partir das equações atrás apresentadas) para cada uma das estações utilizadas na elaboração do modelo: em (a) média dos resíduos de Maio a Setembro, em (b) o valor do resíduo do mês de mais forte coeficiente de correlação: Julho.

Observam-se valores negativos (menos insolação do que seria de esperar dada a nebulosidade) na faixa costeira ocidental (até Dois Portos e Sintra/Granja) e nas margens do estuário (Lisboa/Portela, Cabo Ruivo e Setúbal, fig. 2.12). As maiores diferenças negativas encontram-se em Oeiras/Sassoeiros, mas este valor é apenas de -4% em média e de -5,2% em Julho. Os resíduos são negativos nos locais próximos da costa, onde se depreende que haverá, quase sistematicamente, durante o Verão, um aumento de nebulosidade durante a tarde, não considerado no modelo. Pelo contrário, os mais elevados valores positivos observam-se em Monte Estoril, Lisboa e Montijo assim como no Vale do Tejo (Santarém, Fonte Boa, Ota, Salvaterra de Magos) onde, no Verão, caso o céu esteja encoberto de manhã, o tempo tem tendência a «levantar» (ou seja a nebulosidade a diminuir) a partir do fim da manhã. Os dias de nebulosidade intermédia serão então, tal como os de nevoeiro, pouco numerosos. Os resíduos positivos de Cabo da Roca não se explicam facilmente, em função da informação de que dispomos. A arriba, de 150m de altura, deve provocar uma divergência local dos fluxos de ar húmido; há nebulosidade na Serra e o Cabo da Roca permanece livre de nuvens.

Na relação entre a razão de insolação e o número de dias de nevoeiro, os mais fortes resíduos negativos ocorrem onde o nevoeiro é mais frequente no Verão persistindo durante grande parte da manhã (fig. 2.13): em Cabo Carvoeiro (resíduos de -7,5% em média, de -10,6% no mês de Julho), em Sintra/Granja (-3,6% e -4,8%) etc., com menos insolação do que se poderia prever a partir do número médio de dias de nevoeiro.

Embora se pudesse já estimar os valores de insolação dos meses de Verão a partir dos dados médios de nevoeiro ou de nebulosidade elevada (equações dos Quadros 2.5 e 2.6), aplicou-se, também, para cada mês, uma regressão múltipla aos dados das estações que possuem registos simultâneos de ambas as variáveis explicativas; esta técnica consiste numa generalização da regressão simples, e entra em conta simultaneamente com as duas variáveis (nevoeiro e nebulosidade) por intermédio das quais se pretende determinar os valores de insolação, tendo-se obtido equações da forma $Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_n x_n$ em que Y é a variável «a explicar» (insolação); $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ são os coeficientes de regressão referentes a cada variável «explicativa» $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ (Quadro 2.8). No caso presente, verificou-se que a correlação entre x_1 e x_2 era fraca.

Cada coeficiente de regressão (por exemplo a_1) indica a modificação de Y (insolação), quando a variável explicativa considerada: x_1 (por exemplo, o nevoeiro) varia de uma unidade, mantendo-se a(s) outra(s) constantes.

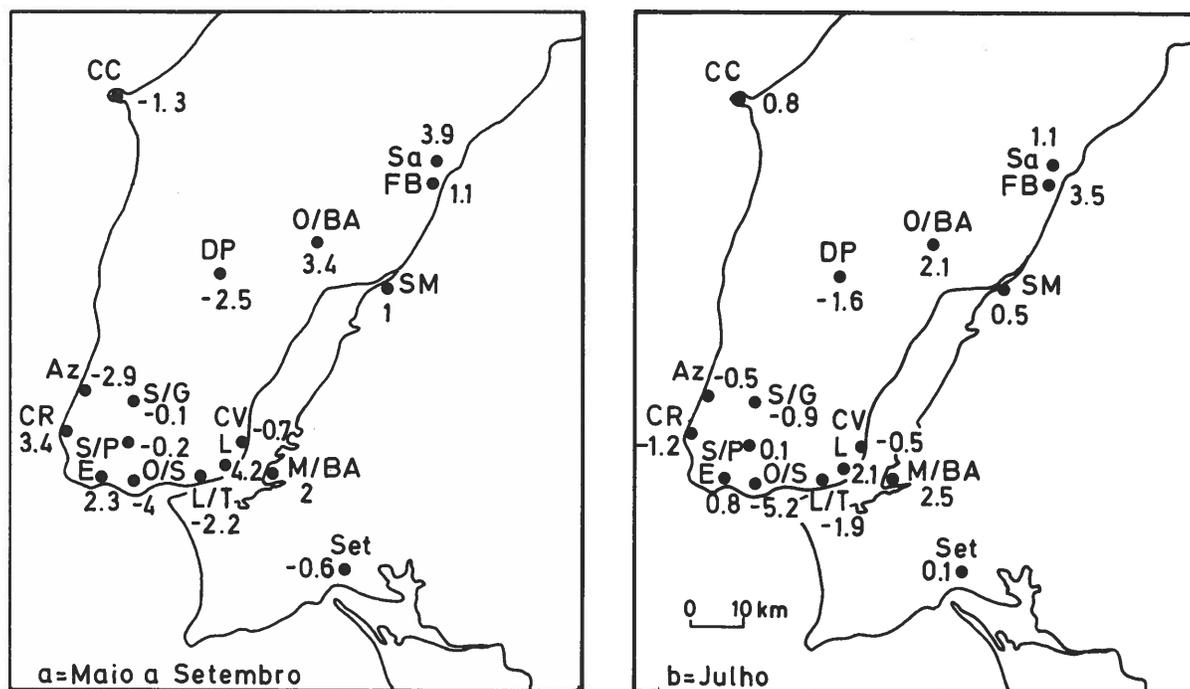


Fig. 2.12 — Regressão simples entre a razão de insolação (Y) e o número de dias de nevoeiro (x): distribuição geográfica dos resíduos (%).

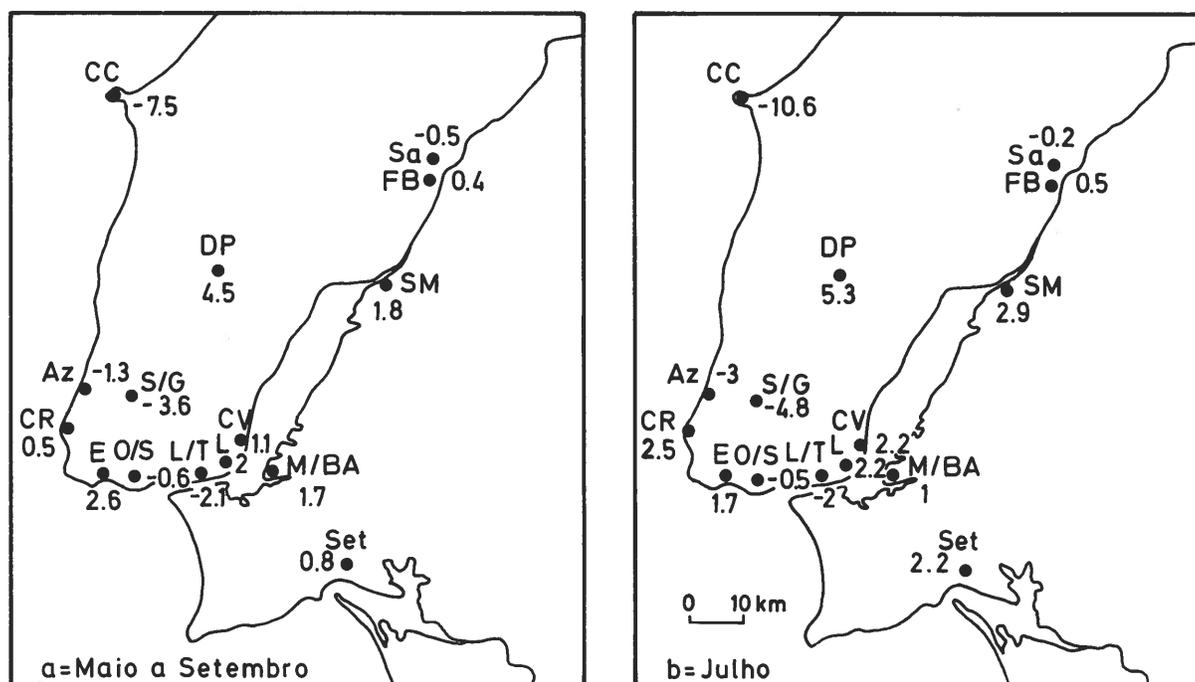


Fig. 2.13 — Regressão simples entre a razão de insolação (Y) e o número de dias de nebulosidade $\geq 8/10$ (x): distribuição geográfica dos resíduos (%).

O emprego desta técnica permite ter uma ideia da importância relativa de cada uma das variáveis explicativas na regressão.

Dado que as unidades das variáveis explicativas são as mesmas (número médio de dias), não houve necessidade de recorrer ao cálculo dos coeficientes normalizados empregues por exemplo por P. CARREGA (1982, p.110). Cada variável tem uma importância relativa tanto maior quanto mais ela contribuir (em %) para a explicação da variância. A percentagem de explicação é medida pelo quadrado do coeficiente de correlação ou coeficiente de determinação (Quadros 2.7 e 2.8).

	S	O	N	D	Ja	F	Mç	Ab	Mi	Jn	Jl	Ag
r	0.82	0.60	0.09	0.40	0.17	0.48	0.16	0.59	0.89	0.93	0.98	0.90
r ²	0.67	0.36	0.008	0.16	0.03	0.23	0.03	0.35	0.79	0.86	0.96	0.81

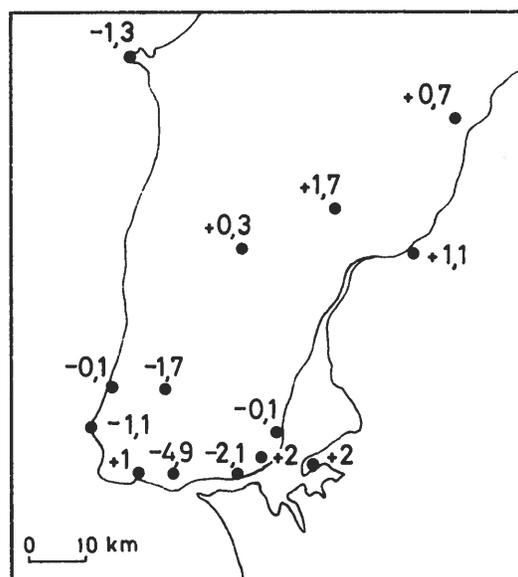
Quadro 2.7 — Coeficientes de correlação múltipla (r) entre os números médios de dias de nevoeiro (x_1) e de nebulosidade $\geq 8/10$ (x_2) e a média da razão de insolação (Y) para 15 estações da região de Lisboa e coeficientes de determinação (r^2).

	r	Equação da recta
Maio	0.89	$Y = 72.73 - 1.88 x_1 - 0.82 x_2$
Junho	0.93	$Y = 75.81 - 1.54 x_1 - 1.37 x_2$
Julho	0.98	$Y = 83.53 - 0.76 x_1 - 2.57 x_2$
Agosto	0.90	$Y = 84.31 - 0.56 x_1 - 2.62 x_2$
Setembro	0.82	$Y = 73.97 - 1.02 x_1 - 1.26 x_2$

Quadro 2.8 — Coeficientes de correlação e equação das rectas de regressão múltipla entre nevoeiro (x_1) e nebulosidade (x_2) e razão de insolação (Y), para as estações da região de Lisboa nos meses em que r é significativo.

Resolvendo a equação, torna-se possível estimar a insolação nos locais onde ela não é medida. Calcularam-se então os valores de insolação de Maio a Setembro para estações desprovidas de heliógrafo, mas de que se possuíam as médias necessárias de dias de nevoeiro e de nebulosidade $\geq 8/10$.

Verifica-se que, nas estações equipadas de heliógrafo, os resíduos (ex: Julho, fig. 2.14) são bastante inferiores aos que tinham sido obtidos anteriormente (fig. 2.12 e 2.13), excepto em Oeiras (-4%), em Lisboa/Tapada (-2%) e em Lisboa e Montijo (+2%). São negativos no litoral e positivos no conjunto das outras estações. Apenas duas excepções: Monte Estoril e Montijo, uma próximo do Oceano, outra no estuário do Tejo, onde a insolação é mais elevada do que se estima, a partir do modelo (efeito de abrigo?).



des. L. Mendes

Fig. 2.14 — Regressão múltipla entre a insolação (Y), o número de dias de nevoeiro (x_1) e o número de dias de nebulosidade $\geq 8/10$ (x_2): distribuição geográfica dos resíduos referentes ao mês de Julho (%).

6 — Resumo e conclusões

6.1 — A Insolação em Lisboa (Geofísico)

O conhecimento das condições da insolação em diferentes locais é muito importante, tanto teórica como praticamente.

Difícil é, porém, a escolha da técnica de estudo adequada à correcta apreensão dos factos e mais apta a uma eficaz utilização prática dos resultados. A dificuldade provém, em parte, da grande variabilidade temporal desta grandeza, fortemente dependente dos «caprichos» das circulações geral e regional da atmosfera.

Pensa-se que os resultados de um estudo de dados diários de 40 anos, como o que foi apresentado para Lisboa (Geofísico), são suficientemente seguros. E, se o cálculo das médias é útil e o seu manuseamento expedito, a análise dos histogramas torna os números menos abstractos, o calendário de probabilidades permite raciocinar em termos de frequência e, aliado ao estudo das sequências, proporciona noções simples e, ao mesmo tempo, ricas de informação aos eventuais utilizadores.

Que há mais insolação no Verão do que no Inverno, não é segredo para ninguém. No entanto, a análise agora realizada permitiu precisar certos factos suspeitados ou conhecidos, mas nem sempre quantificados, e forneceu indicações novas sobre frequências de ocorrência dos vários valores de insolação e de sequências de dias de igual razão de insolação.

Observa-se primeiro que, em todos os meses (mesmo no Inverno), são mais frequentes os dias de céu limpo que os de céu completamente encoberto e que, só em Janeiro, as percentagens se aproximam. Relembre-se aqui que há mais dias de céu limpo (insolação ≥ 0.90) de Inverno em Lisboa, do que em muitas estações do Sul da França, conhecidas pelas suas excepcionais condições de insolação nesta

época do ano! No período estudado, as maiores sequências de dias de céu limpo foram mais longas que as de dias de céu encoberto, mesmo no Inverno: a mais comprida sequência de «bom tempo» ($I \geq 0.80$) nos 40 anos estudados atingiu 11 dias em Dezembro, 9 em Janeiro, 12 em Fevereiro e 9 em Março, enquanto as de «mau tempo» nunca ultrapassaram respectivamente 7, 7, 6 e 5 dias.

Faz-se notar, também, que a percentagem de ocorrência dos dias das várias classes (de 0.10 de amplitude) é quase sempre inferior a 10% no intervalo de razão de insolação entre 0.20 e 0.80 (fig. 2.4) e que os dias de insolação ≥ 0.90 só no mês de Junho não são os mais frequentes. Em qualquer dos meses estudados há, pelo menos, 20% de dias de céu limpo, sendo a percentagem máxima de 54% em Agosto.

Foi esboçada uma comparação das irregularidades ou, melhor, das particularidades do ritmo da razão de insolação com elementos da circulação sinóptica (estudos de C. RAMOS, 1986 e J. VENTURA, 1986). Tais relações foram apresentadas ao longo do capítulo, ainda que se tenha sempre chamado à atenção para o seu carácter hipotético. Cite-se como exemplo o mês de Abril. A sua insolação média é bastante superior à de Março e há um aumento de 6% nos dias de céu limpo, o que poderá ser devido a uma diminuição do número de perturbações em circulação zonal. Mas este mesmo mês pode apresentar sequências de mau tempo relativamente longas (fig. 2.6) e com uma probabilidade de passagem que aumenta à medida que a sequência se alonga: ao contrário dos meses de transição de Março, Maio e Outubro pode haver, em Abril, certa percentagem de determinadas situações de bloqueio em altitude que, quando ocorrem, facilitam a instalação, durante largo lapso de tempo, de centros depressionários causadores de mau tempo.

Chama-se ainda à atenção para a possibilidade de aplicação prática dos calendários de probabilidade, comentada no texto: assim, por exemplo, esperam-se, em Lisboa, no mês de Janeiro, 9 dias de razão de insolação ≥ 0.80 , valor que aumenta para 23 dias em Agosto.

6.2 — A Insolação na região de Lisboa

A representação cartográfica da razão de insolação num mês de Verão e em dois meses de Inverno permite sintetizar a variação espacial da razão de insolação. O mapa da figura 2.15 refere-se ao mês de Julho (mais próximo de F2, na figura 2.7 e que representará, por isso, o mês de Verão mais característico), e inclui os valores calculados (x) e os valores medidos (•). Nenhum dos valores estimados (Quadro 2.9) parece «aberrante» em relação aos pontos vizinhos, notando-se um aumento de insolação para Oriente, primeiro rápido no litoral, mais lento a Leste dos relevos da Estremadura.

Estações meteorológicas	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Vimeiro	59	55	54	61	59
Sintra	64	67	69	73	65
Sintra/Pena	36	39	53	41	49
Paiã/E. Agrícola	70	72	81	82	70
Lisboa/Portela	66	69	82	81	69
Pegões	65	68	79	78	66
Águas de Moura	68	72	80	80	70
Sesimbra/Maçã	68	71	80	81	69

Quadro 2.9 — Razão de insolação de 8 estações meteorológicas (em centésimos): valores estimados a partir das equações do quadro 2.8

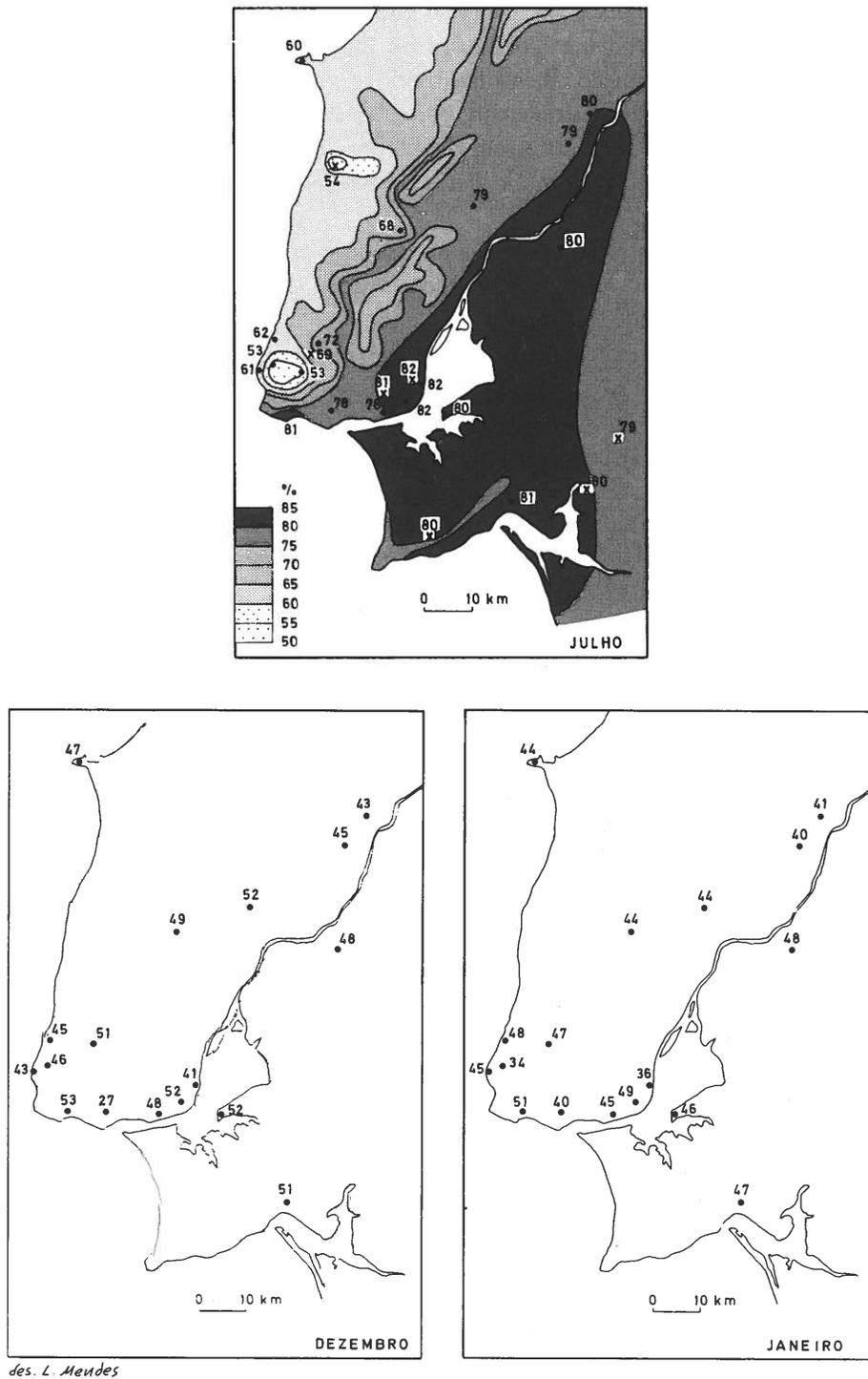


Fig. 2.15 — Razão de insolação em Julho, Dezembro e Janeiro (médias 1947/48—74/75).
 Dados dos Anuários Climatológicos de Portugal (•) e valores calculados (x)

Em Julho, os valores mais baixos de insolação encontram-se, por um lado, nos vales próximos do litoral, onde o nevoeiro é frequente; por outro, no topo e na vertente norte da Serra de Sintra. Sugeriu-se nos mapas uma diminuição da insolação nos relevos a Norte de Lisboa, no Montejunto e no extremo Sul do Maciço Calcário Estremenho, em cujas vertentes ocidentais a insolação é possivelmente ainda menor; marcou-se também, e sem qualquer outra base que a experiência pessoal, uma diminuição de insolação na vertente Norte da Serra da Arrábida, não muito grande devido ao valor calculado da estação de Sesimbra/Maçã.

Os valores mais elevados observam-se nos Vale e Estuário do Tejo, livres de nevoeiros e com fraca nebulosidade nesta altura do ano, nos postos de observação de Monte Estoril, da aglomeração de Lisboa e na Península de Setúbal.

De Maio a Agosto (meses fortemente correlacionados), embora variem os valores absolutos da insolação, o tipo de distribuição espacial é semelhante. Predomina o gradiente espacial E-W sobre o gradiente N-S: aumento forte junto ao litoral, mais lento para Oriente. Notar a maior complexidade do padrão de repartição espacial a Ocidente de Lisboa, devida à conjugação, num espaço pequeno, de influências diversas.

Durante o Outono (a partir de Setembro) a variação espacial é fraca, ocorrendo os máximos na Costa do Estoril e no Montijo.

Há menor correlação entre a repartição espacial da razão de insolação nos vários meses de Inverno, certamente devido à maior diversidade e variabilidade de situações sinópticas que afectam a região. Também não é possível estimar os valores para os locais desprovidos de heliógrafo, dado que os coeficientes de correlação entre a razão de insolação e o nevoeiro e nebulosidade forte não são significativos. Apresentam-se, por isso, dois mapas, em que não se tentou qualquer interpolação.

Um, de Janeiro, em que, como se viu, a insolação é a mais baixa do ano na maior parte das estações. Outro, de Dezembro, cuja projecção fica mais próxima de F2 (fig. 2.7).

Em Janeiro, a insolação é francamente baixa na Serra de Sintra, possivelmente também nos relevos da Estremadura e no Montejunto. Observa-se um ligeiro aumento de insolação de Norte para Sul, a Oeste do espaço estudado, embora os valores sejam fortemente condicionados pelas características locais dos pontos de observação.

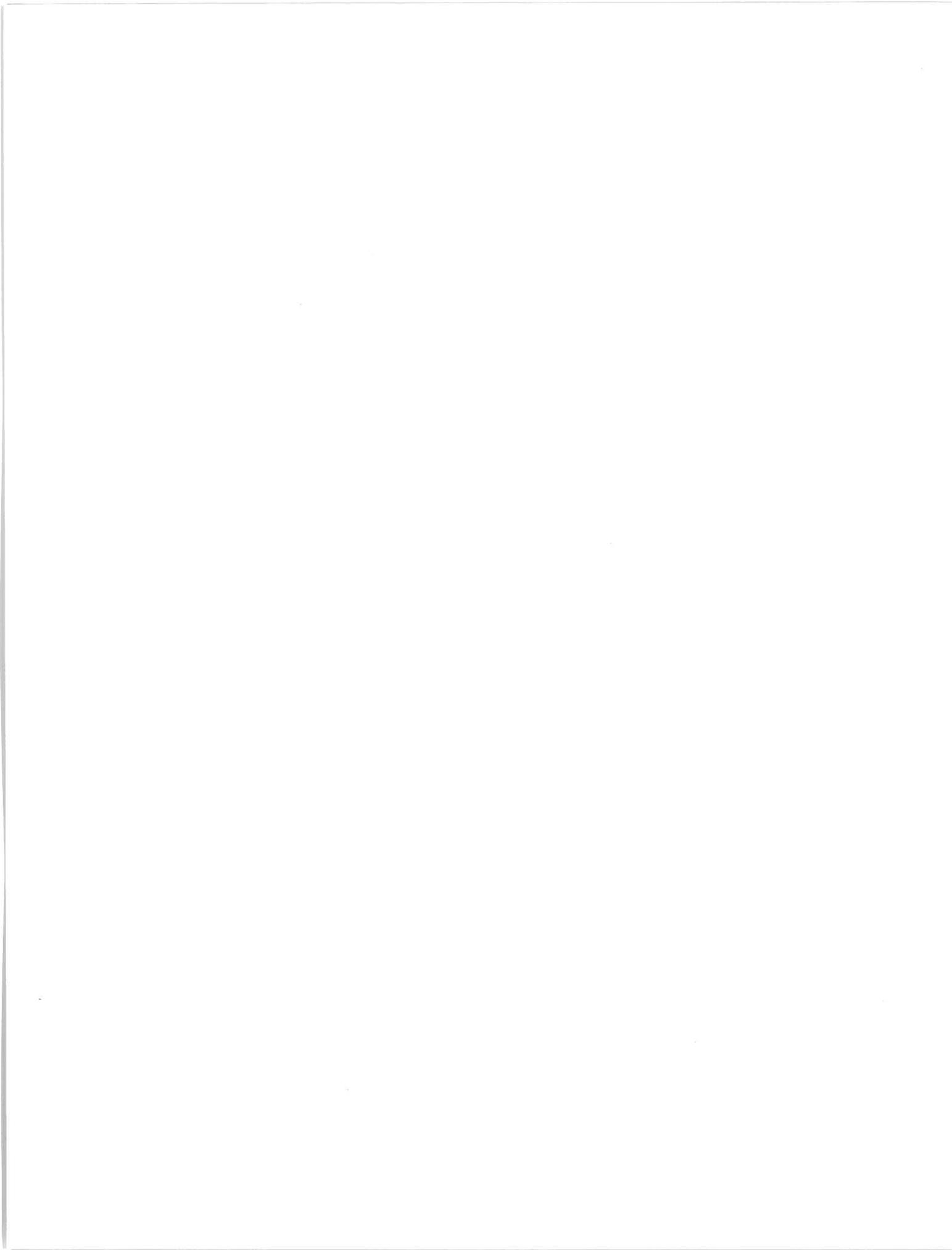
A Costa do Estoril, abrigada, apresenta valores próximos dos de Lisboa, por vezes, mesmo superiores neste período do ano. Uma excepção: Oeiras/Sassoeiros de insolação particularmente baixa, possivelmente por se encontrar a Sul de um corredor entre as Serras de Sintra e da Carregueira, por onde os ventos marítimos se canalizam facilmente.

Em Dezembro, os valores de razão de insolação são mais elevados do que em Janeiro, excepto em Oeiras, Cabo da Roca e Azenhas do Mar (Porquê nestes locais?). As regras de variação espacial da razão de insolação são difíceis de determinar. O facto das estações a leste dos relevos da Estremadura apresentarem valores particularmente elevados de número de dias de nebulosidade $\geq 8/10$, não contribui para que a insolação diminua em todas elas: Ota e Salvaterra de Magos apresentam valores médios altos.

Resumindo, tanto quanto a informação disponível permite concluir, são sempre os mesmos locais que recebem o maior (Monte Estoril, Lisboa, Montijo) e o menor número de horas de Sol (Colares, Cabo Carvoeiro, Cabo da Roca). As diferenças de ritmo estacional manifestam-se nos locais de observação de valores intermédios de insolação (fig. 2.8 e seu comentário). De um mês para o outro, as intensidades dos gradientes espaciais variam bastante: por exemplo, gradiente E-W junto ao litoral, muito forte no Verão e quase inexistente (ou não detectado) no Inverno. Tem-se a certeza de que a

complexidade da distribuição da insolação é muito maior do que a que foi marcada em função da documentação disponível.

A técnica da regressão múltipla parece interessante para aplicar a outras áreas, inclusivamente ao conjunto do País. Dever-se-á, então, recorrer a outras variáveis explicativas ou independentes, tentando encontrar um modelo para o Inverno, que não poderá basear-se na utilização de valores médios nem medianos da razão de insolação. Poder-se-ia, talvez, imaginar uma análise separada de dias de insolação ≥ 0.10 , entre 0.20 e 0.80 e ≤ 0.80 . Estes limiares, que conviriam para o espaço agora estudado, teriam de ser testados noutros locais.



CAPÍTULO 3

O REGIME ANUAL E MENSAL DA TEMPERATURA

1 — A evolução da temperatura

1.1 — *A evolução da temperatura em Lisboa (Geofísico) durante o último século.*

Possuindo a maior parte das estações meteorológicas apenas séries curtas, analisa-se primeiro a evolução da temperatura em Lisboa (Geofísico), que funciona desde 1856 (utilizam-se observações respeitantes a 125 anos).

Os dados mais antigos (de 1856 a 1946) foram extraídos dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís (inicialmente denominados Annaes do Observatório Infante D. Luíz). A partir de 1947, os dados respeitantes a Lisboa passaram a ser publicados paralelamente nos Anuários Climatológicos de Portugal do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (inicialmente dos Serviços Meteorológicos de Portugal).

A partir da altitude indicada nos vários fascículos dos *Anais*, depreende-se que os valores de temperatura se referem à estação superior até 1930. Esta estava situada no topo do Observatório, torre rectangular de 3 andares (cerca de 20 metros de altura), contígua ao Jardim Botânico, que começou a ser plantado em 1873 (C. N. TAVARES, 1979 e H. A. FERREIRA, 1962), ou seja, cerca de 20 anos depois da instalação da estação meteorológica, como já foi referido numa nota sobre a evolução das precipitações (M. J. ALCOFORADO, 1984).

Devido a um incêndio que, algum tempo atrás, destruiu parte da antiga Escola Politécnica, desapareceram os arquivos respeitantes à temperatura nos anos em que foram efectuadas medições paralelas nas estações «superior» (na torre) e «inferior» (no Jardim Botânico). Felizmente, a comparação destes valores já tinha sido feita: as correcções a aplicar aos valores da estação superior para os tornar directamente comparáveis àqueles que, a partir de 1930, passaram a ser recolhidos 21,2 m mais baixo, encontram-se publicadas nos *Anais*. Assim, somaram-se 0,16°C aos dados da temperatura média da estação superior e 0,4°C aos da máxima média de Verão (média das diferenças de Junho, Julho, Agosto e Setembro). No caso das mínimas, foram subtraídos 0,13°C aos valores de temperatura da estação superior (média das diferenças de Dezembro, Janeiro e Fevereiro). As indicações pormenorizadas sobre o tipo de termómetros e de abrigos utilizados, as horas de observação etc., que constam de cada volume dos *Anais*, revelam a grande seriedade e precisão com que os dados foram recolhidos, desde o início do funcionamento da estação meteorológica.

Não foi fácil escolher os parâmetros a utilizar para a apreensão das variações térmicas ao longo dos últimos 125 anos. A frase transcrita por P. R. CROWE (1971): «O Clima é uma invenção do Homem

...embora o tempo (weather) seja real» pretende alertar para o facto de, para se conseguir apreender uma realidade em constante mutação (o tempo), ter de se recorrer à construção de um corpo de conceitos mentais que se exprimem em termos de médias, de frequências, de desvios, etc. Considera-se aqui, isoladamente, a temperatura; o estudo de valores anuais permite eliminar as flutuações térmicas estacionais adiante analisadas, para investigar se a série cronológica (conjunto de observações referentes a momentos distintos do tempo, igualmente espaçados entre si) é aleatória (ou seja, se o valor da temperatura de determinado ano é independente da temperatura do ano anterior e da do ano seguinte) ou se, pelo contrário, a série se encontra organizada.

O problema da escolha de parâmetros considerados como representativos do clima de determinado local, sente-se com especial acuidade no estudo da evolução climática. Dos diferentes valores de temperatura, a média anual é o mais abstracto. Será aqui apenas indicado como termo de comparação com os numerosos casos em que aparece na bibliografia (K. BUTZER, 1962; M. S. MACHADO, 1973; J. CAPEL MOLINA, 1975/76; J. DETTWILLER, 1981). Preferiu-se também não utilizar as temperaturas médias de Janeiro ou de Julho (K. BUTZER, 1962, vários artigos da publicação da UNESCO-WMO, 1963; I. MAEJIMA et al. 1983), que nem sempre traduzem, como se pretende, as condições do Inverno ou do Verão; as médias de 2 ou 3 meses (H. LAMB, 1967 e 1968) podem ocultar o rigor dos Invernos e o calor dos Verões. Optou-se, então, pela análise das temperaturas máximas médias do mês mais quente e das temperaturas mínimas médias do mês mais frio, como foi feito, embora com diferente objectivo, por S. DAVEAU (1980, 1985).

Tal como se verifica nas Actas das reuniões científicas que trataram de variações climáticas, tanto em Paris em 1984 (J. ALEXANDRE, M. PINNA, P. TYSON), como em Barcelona em 1986 (A. LOPEZ GOMEZ, ed.), cada autor utiliza técnicas diferentes para estudar os mais variados tipos de dados, o que impede qualquer comparação.

A leitura de cerca de três dezenas de artigos dos últimos 20 anos sobre a evolução das temperaturas revelou que, em pelo menos metade dos casos, se comparam valores médios de períodos diferentes. Em 10%, calcula-se o desvio de cada ano à média, em 20% utilizam-se médias móveis e, apenas em 20%, se utilizam outras técnicas: por exemplo, ajustamento de polinómios ortogonais (RAMDAS, in UNESCO-WMO, 1963), regressões simples (M. S. MACHADO, 1973; A. LOPEZ GOMEZ, 1986), análise em componentes principais (A. LOPEZ GOMEZ, 1986). No entanto, as técnicas de estudo da precipitação têm-se desenvolvido mais do que as da temperatura (R. BRAZDIL, 1986: regularização dos valores por coeficientes binomiais, análise harmónica, correlação e análise espectral). São interessantes os estudos, predominantemente de autores ingleses, em que é apresentada a variação do tipo de circulação no Atlântico Oriental, nas últimas décadas. Nas Ilhas Britânicas, o período de aumento da frequência de circulação zonal corresponde ao da elevação de temperatura mínima (T. J. CHANDLER e S. GREGORY, 1976; H. FLOHN e R. FANTECHI, 1984).

Não foi ainda possível elaborar uma síntese dos principais resultados para cada país (conjunto de países com o mesmo tipo de clima ou diferentes regiões climáticas de um mesmo país) e as conclusões mais gerais apresentadas baseiam-se num número restrito de observações, assim como em cálculos teóricos: por exemplo, o aumento de temperatura, proposto por Callendar, (citado em H. FLOHN e R. FANTECHI, 1984) de 0.4°C para as latitudes temperadas do hemisfério Norte, e de 0.2°C para a zona inter-tropical, entre 1890-1919 e 1920-1949.

Devido às grandes flutuações interanuais, é difícil compreender se existe uma tendência (aquecimento ou arrefecimento) através da simples observação dos dados brutos. Mas, apesar da dificuldade de leitura do «movimento» das curvas, observa-se, na figura 3.1, que a temperatura média parece aumentar por volta de 1890 e até aos anos 40 deste século.

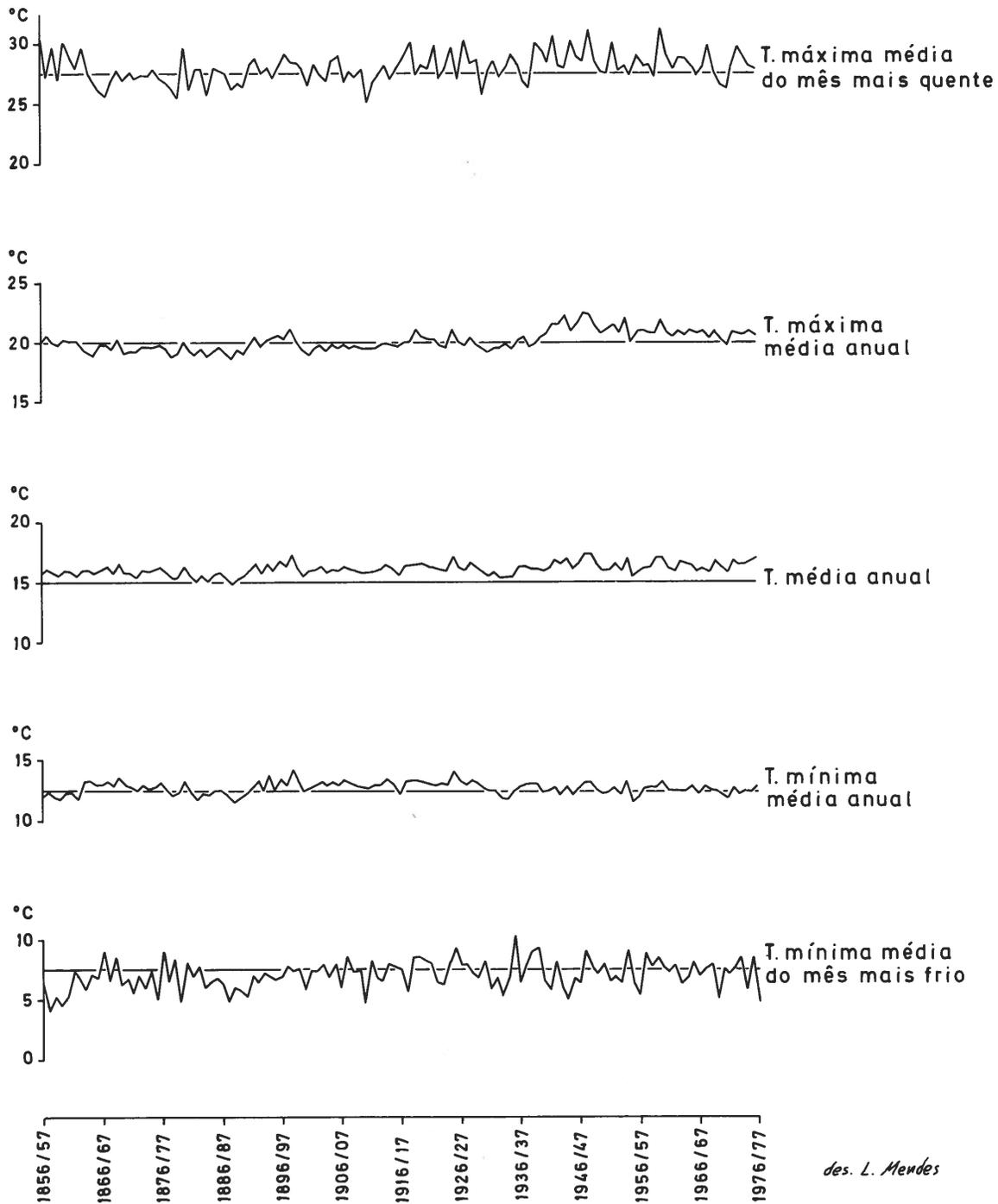


Fig. 3.1 — A evolução da temperatura em Lisboa (Geofísico).

Dados dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís (até 1974)
e dos Anuários Climatológicos de Portugal.

Nos primeiros anos de que se possuem registos, a temperatura média não foi particularmente elevada apesar do calor da maior parte dos Verões, em que a temperatura máxima média do mês mais quente foi, não raro, superior a 30°C. É durante este período que a diferença entre a temperatura máxima média do mês mais quente de Verão e a mínima média do mês mais frio de Inverno é maior (em 1860 estas são respectivamente 30°C e 4°C). Tal como em muitos outros locais, houve, a partir do início deste século, um aquecimento, mais acentuado a partir de 1935, no que diz respeito às temperaturas máximas. As mínimas mais altas ocorreram mais cedo, por volta de 1920.

Para saber se a série é aleatória ou organizada, aplicou-se o teste de Von Neumann (GROUPE CHADULE, 1974) às temperaturas máximas médias do mês mais quente e mínimas médias do mês mais frio, documentação de base deste estudo, como já se justificou. O teste não revelou qualquer organização clara dos valores da série, sobretudo para as temperaturas mínimas em que é ligeiramente maior a variação interanual (desvio padrão de 1.24°C para as mínimas e de 1,2 para as máximas) (*).

Mas, na tentativa de ajustamento das séries a uma função linear, os coeficientes de correlação entre os valores de temperatura e o tempo revelaram-se significativos; as séries foram ajustadas pelo método dos mínimos quadrados, a regressão foi feita de Y (temperatura) em t (tempo), tendo-se obtido equações da forma $Y = at + b$ (Quadro 3.1). Para as temperaturas mínimas o coeficiente de correlação é de 0.26, o que, dado o grande número de anos de observação, é significativo com uma margem de erro de 1%. O aumento teórico de temperatura mínima média desde o início da série seria de 1.2°C.

	Equação da recta de regressão	Correlação entre a temperatura e o tempo (r)
Temperatura máxima média do mês mais quente	$y = 0.0085999t + 27.5$	$r = 0.24$
Média das temperaturas máximas anuais	$y = 0.0153147t + 19.2$	$r = 0.63$
Temperatura média anual	$y = 0.00585t + 15.71$	$r = 0.41$
Temperatura mínima média do mês mais frio	$y = 0.008721t + 6.40$	$r = 0.26$

Quadro 3.1 Coeficientes de correlação (r) entre a temperatura em Lisboa Geofísico (y) e o tempo (t): 1856 a 1971 e Equações das rectas.

No caso das temperaturas máximas médias do mês mais quente, a regressão também é significativa, mas com um risco de 2% (coeficiente de correlação de 0,24). O aumento teórico de temperatura é o mesmo que no caso das temperaturas mínimas do mês mais frio. É curioso notar que o aumento da temperatura máxima média anual é mais forte (1,77°C) e o coeficiente de correlação altamente significativo, tal como já o constatara M. S. MACHADO (1973): nos meses menos quentes do ano, regista-se certamente um maior aumento de temperatura máxima do que no Verão. Pelo contrário, o aumento teórico de temperatura mínima média não é significativo, a não ser no Inverno (Quadro 3.1).

Destes resultados, aparentemente contraditórios (**), depreende-se que, se parece ter havido um aumento de temperatura nos últimos 125 anos, este se faz de uma forma tão irregular, que se deve

(*) Uma série é considerada aleatória para valores de $\delta^2/\sigma \sim 2$. No caso das mínimas obteve-se o valor de 1.94 e no das máximas 1.73.

(**) Faz-se, no entanto, notar que o coeficiente de correlação dos valores de temperatura parece merecer mais confiança do que o outro teste, menos usual, também utilizado.

optar por técnicas que não analisem os dados globalmente. E, apenas se poderão aceitar como seguros os resultados que forem confirmados por tratamentos estatísticos diversos, pois, tal como advertiu J. DETTWILLER (1969)... «des procédés statistiques raffinés permettent d'étayer un jugement mais (...) les résultats restent souvent fonction du type de test utilisé et du seuil de signification adopté...» (*).

Tentou-se, então, por vários artificios, tornar evidentes as tendências da temperatura no último século. E, dado que nenhuma das técnicas de tratamento é ideal, apenas se consideram válidos os resultados comuns a todas elas. Calcularam-se, primeiro, médias de conjuntos de anos sucessivos (10, 20 e 30 anos, na figura 3.2). Completando esta visão da evolução média, foram também determinadas as frequências de ocorrência da temperatura para períodos de 20 anos sucessivos, com sobreposição de 10 (1856 a 1876, 1866 a 1876, etc.), tendo-se expresso graficamente na figura 3.3 a evolução temporal da mediana e dos primeiro e nono decis.

Nota-se que, tal como fora sugerido pelos dados brutos, houve um aumento pronunciado de temperatura máxima até aos anos 40 — 50, embora, no início da série, os Verões tenham sido quentes, (por exemplo, a mediana de 1856/1876 é de 27.7°C, a de 1866/86 é de 27°C, a de 1946/66 é de 28.4°C e a de 1956/76 de 28.2°C). A dispersão dos valores aumenta a partir dos anos 30, ou seja as oscilações interanuais são maiores do que no início do século (fig. 3.3) em que a evolução das mínimas foi mais irregular; as temperaturas nocturnas mais baixas apresentam valores mais elevados na década de 1910-20, sendo o acréscimo nos anos 40 menos pronunciado. A conhecida técnica das médias móveis, ainda utilizada no estágio preliminar da pesquisa foi empregue por exemplo, por LYSGAARD, in UNESCO-WMO, 1963, e muitos outros. Não é aqui apresentada por não existir qualquer teste, que revele se as variações observadas são significativas ou aleatórias. Esta técnica tem o inconveniente de encurtar a série e de não ser sempre eficaz na filtragem das irregularidades («ruído»). A escolha de um período demasiado curto para o cálculo da média, deixa persistir as irregularidades da curva; a utilização de um período mais longo, pode dar uma imagem deformada do fenómeno e as variações significativas serem ocultadas. Tem, porém, a vantagem de evidenciar os casos em que a função a que se ajusta a série não é linear e de fazer sobressair — se o período for bem escolhido — as mudanças de sentido da tendência da série cronológica estudada.

Aplicou-se também o método dos desvios acumulados (descrito e exemplificado em J. P. MARCHAND, S. MARTIN e J. MOUNIER, 1981), que permite caracterizar a evolução das séries climáticas (já aplicada às precipitações em Lisboa, M. J. ALCOFORADO, 1985). A acumulação dos desvios à média a partir de uma certa data permite descrever a sucessão dos períodos de deficiência pluviométrica (ou de temperaturas sucessivamente abaixo da média) e de excedentes pluviométricos (ou de anos quentes seguidos). Contrariamente à técnica das médias móveis, cada ano conserva a sua característica (pluviométrica, térmica, etc.); no entanto, o gráfico obtido é muito sensível ao valor da média de referência.

Para dar uma ideia precisa da posição de cada ano, apresentam-se, nas figuras 3.4 e 3.5, os resultados de vários tipos de tratamentos dos dados.

— Os desvios à média: $x_i - \bar{x}$ (a)

— Os desvios à média, ponderados por esta: $(x_i - \bar{x}) / \bar{x}$ (b)

— Os desvios à média, ponderados por esta e acumulados (c e d)

A média utilizada em a) e d) é a de um período recente, relativamente curto, mas comum à maior parte das estações: 1952/53 a 1969/70 para as mínimas e 1953/54 a 1969/70 no caso das máximas.

(*) Está em curso um estudo mais abrangente de várias séries de estações portuguesas, cujos primeiros resultados serão brevemente divulgados.

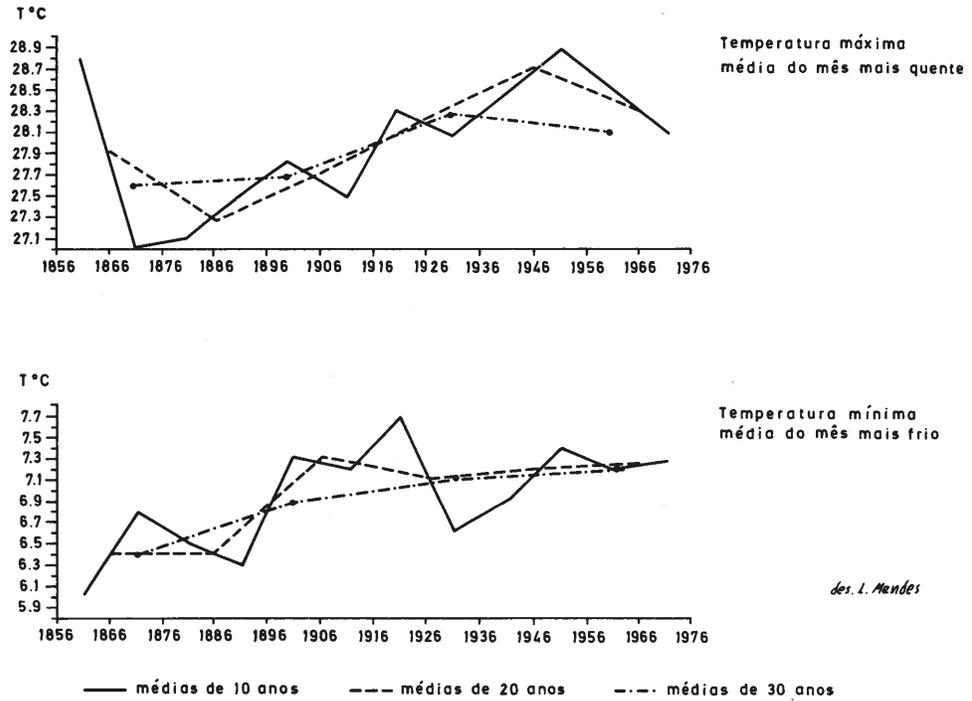


Fig. 3.2 — A evolução da temperatura em Lisboa (Geofísico): médias de 10, 20 e 30 anos consecutivos. Dados dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís (até 1974) e dos Anuários Climatológicos de Portugal.

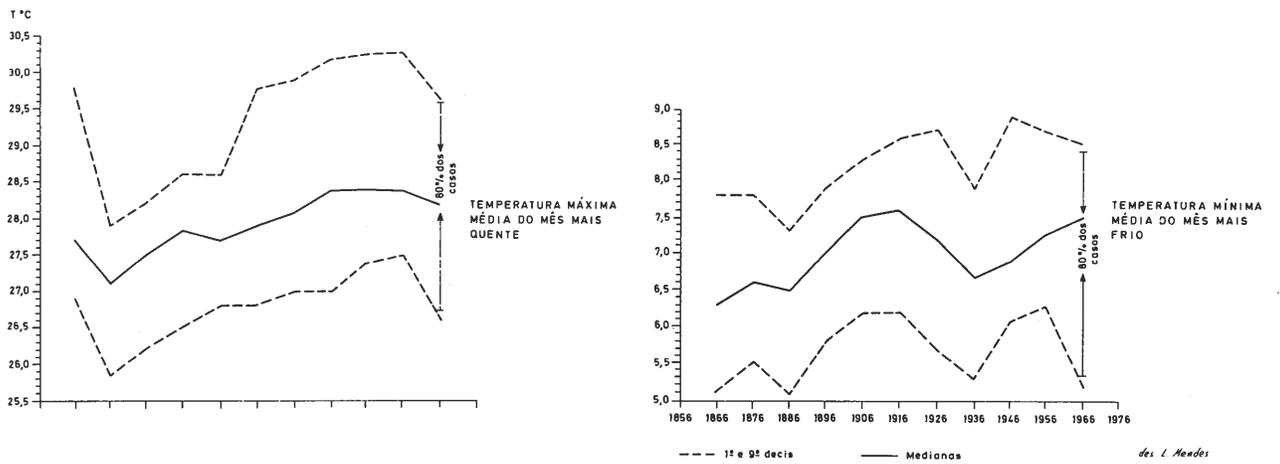


Fig. 3.3 — A evolução da temperatura em Lisboa (Geofísico) mediana, 1º e 9º decis de séries de 20 anos (com sobreposição de 10 anos). Dados dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís (até 1974) e os Anuários Climatológicos de Portugal.

Tornam-se, assim, possíveis as comparações entre estações. No caso dos desvios ponderados pela média e acumulados, repetiram-se os cálculos utilizando a média de todo o período (d).

— Os resíduos: diferença, para cada ano, entre o valor real e o valor calculado a partir da equação de regressão linear entre a temperatura (de cada ano, Y) e o tempo (ano, x).

No gráfico dos desvios à média da temperatura máxima, (fig. 3.4a) observa-se que as anomalias positivas, são frequentes nos 10 primeiros anos de observação e depois de 1917/18.

Os desvios não acumulados à média ($x_i - \bar{x} / \bar{x}$), fig. 3.4b oscilam entre -0.1 e $+0.1$ °C. Acumulando estes quocientes, obtêm-se os gráficos superiores (c e d) da mesma figura. A configuração diferente das duas curvas resulta da diferença de 0.5 °C das duas médias usadas.

Repare-se que, nos 10 primeiros anos de observação, é muito irregular a variação de temperatura máxima (fig. 3.4a e b); observa-se, porém, na fig. 3.3, o valor elevado do último decil das temperaturas compreendidas entre 1856 e 1876 e o valor médio elevado da década 1856-1866 (fig. 3.2). Alternam, neste período, resíduos positivos, com outros ligeiramente negativos. O facto das curvas dos desvios acumulados serem sub-horizontais traduzem, também, grande variabilidade interanual.

Depois, e até a meados da segunda década do século XX, sucedem-se muitos Verões frescos (desvios e resíduos quase sempre negativos, curva dos desvios acumulados descendente). As médias de 30 anos e as medianas e decis são relativamente baixos, embora alguns Verões quentes do fim do século XIX tenham contribuído para o movimento ascendente das curvas das figuras 3.2 e 3.3.

Seguem-se três décadas (até ao fim dos anos 30) de grandes variações interanuais de temperaturas máximas médias do mês mais quente (fig. 3.4a e 3.4e). Há anos em que os Verões podem ser muito quentes (veja-se o valor do 9º decil, na figura 3.3), mas não se assiste a um grande aumento sistemático de temperatura. Na década 35-45, sucedem-se vários Verões quentes (fig. 3.4a e 3.4e), cujas temperaturas se reflectem fortemente nos valores elevados das médias de 10 e 20 anos (mesmo nos Verões menos quentes, as temperaturas nunca descem muito), mas que passam despercebidos nas médias de 30 anos sucessivos.

Há menos Verões quentes, depois de 1950, embora não se note uma tendência para o arrefecimento. No entanto, diminuem as média e mediana dos últimos 20 anos, assim como os valores dos 1º e 9º decis, referentes à mesma época.

Não é possível comparar os valores do total do número de horas de insolação anual (fig. 2.1) — fortemente correlacionados com os totais anuais da precipitação —, com as temperaturas representativas do Verão e do Inverno, com que aqui se trabalha, devido à diferença de escalas temporais utilizadas.

A evolução das temperaturas mínimas é diferente da das máximas (fig. 3.2 e 3.3): as temperaturas nocturnas apresentam os valores mais elevados na década 1910-20 (a mediana de 1906-1926 é de 7.6 °C, a de 1926-36 de $6,8$ °C fig. 3.3), sendo o acréscimo nos anos 40 menos pronunciado.

O gráfico dos desvios não acumulados em Lisboa (fig. 3.5) parece evidenciar uma maior variabilidade interanual das temperaturas mínimas, que apenas é devida aos mais baixos valores da média (o quociente $x_i - \bar{x} / \bar{x}$ tem tendência a ser mais alto).

Nos primeiros 9 anos de observação de temperatura, os valores anuais são quase sempre inferiores à média, tendência que se inverte nos 3 anos seguintes. Desta data até 1896/97, há sequências de anos com Invernos frios, raramente interrompidas. A partir do início do século, constata-se a maior frequência de desvios (e de resíduos) positivos, assim como o movimento predominantemente ascendente das curvas de resíduos acumulados.

Os valores médios e medianos aumentam gradualmente até ao fim das observações para as médias de 20 e 30 anos (fig. 3.1), apresentando as médias de 10 anos, a mediana e o 1º decil um máximo nos anos 10-20. Seguem-se, neste período do século XX, Invernos relativamente pouco rigorosos: curvas ascendentes nas figuras 3.5c e 3.5d e grande número de resíduos positivos na figura 3.5e.

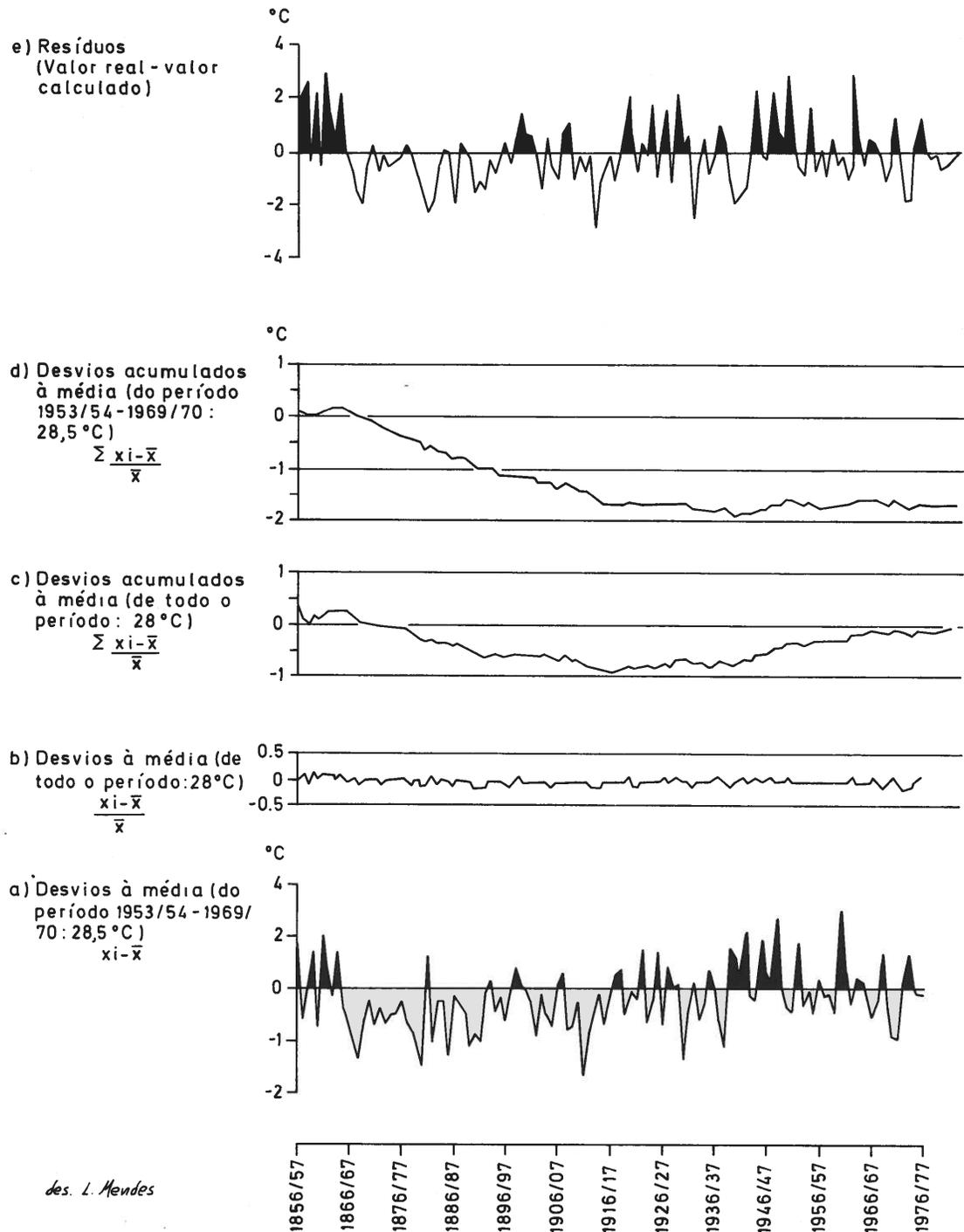


Fig 3.4 — Desvios à média e resíduos da temperatura máxima média do mês mais quente em Lisboa (Geofísico).

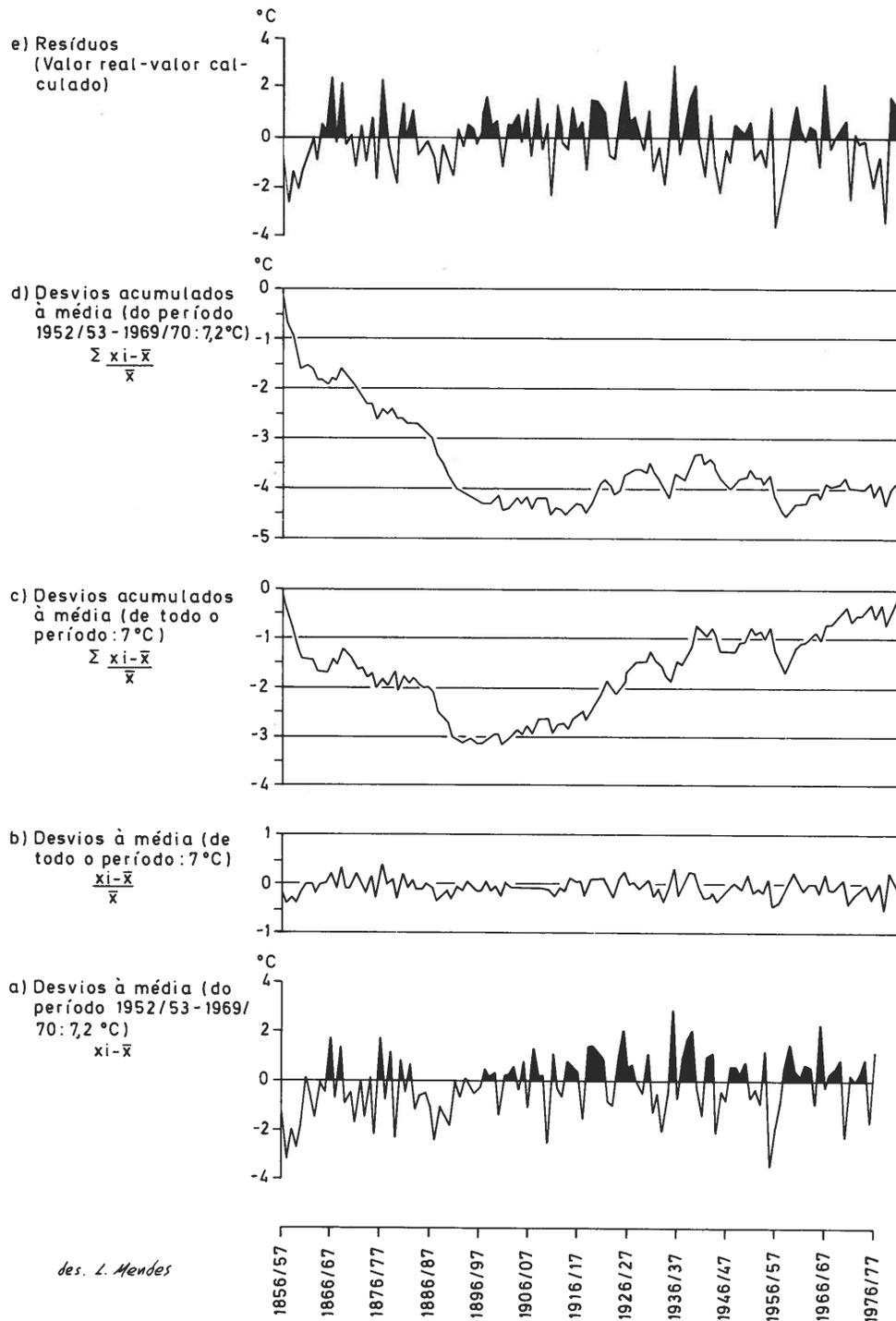


Fig. 3.5 — Desvios à média e resíduos da temperatura mínima média do mês mais frio em Lisboa (Geofísico).

Nos anos 30, na época de frequentes Verões quentes, os Invernos são frios (descida grande, figuras 3.2 e 3.3, desvios negativos). Depois, regista-se uma nova subida, cuja irregularidade se exprime em todos os gráficos da figura 3.5 e na grande descida do primeiro decil do último período de 20 anos estudado (fig. 3.3).

Resumindo, as várias técnicas utilizadas parecem evidenciar uma diminuição geral da temperatura máxima média do mês mais quente até cerca de 1917 e de temperatura mínima média do mês mais frio até 1900, assim como um aumento posterior a estas datas. As temperaturas máximas mais elevadas ocorreram na década 35-45, assim como em muitos outros locais da Europa. Os valores mais altos da temperatura mínima observaram-se nos anos 10-20 deste século, tendo uma ligeira diminuição posterior sido seguida de um aumento mais recente.

No estudo em curso atrás referido, indaga-se se as observações instrumentais portuguesas comprovam ou não os estudos teóricos do «global change» e se estão em concordância com os resultados já divulgados.

1.2 — *A evolução da temperatura nalgumas outras estações meteorológicas durante as últimas décadas*

Para indagar a evolução das temperaturas nos outros locais de medição, calcularam-se os desvios à média (período comum 1953/54-1969/70, no caso das máximas e 1952/53-1969/70, no caso das mínimas) em 12 estações meteorológicas do espaço estudado. As estações foram escolhidas em função do comprimento das séries e fiabilidade dos dados.

Não foi possível acumular os desvios, devido às diferentes datas de início de funcionamento dos vários locais de medição. Na representação gráfica dos desvios, não é possível visualizar qualquer tendência nos 30 ou 40 últimos anos de observação de temperatura. Determinam-se apenas as características dos vários «Verões» e «Invernos», representados pelas temperaturas máximas médias do mês mais quente e mínima média do mês mais frio, respectivamente. A maior parte das séries inicia-se na altura dos valores de mais elevada temperatura máxima (1935-50) e no período em que as mínimas tinham temporariamente diminuído.

A evolução é semelhante no conjunto das estações meteorológicas à excepção de Cabo Carvoeiro, de ritmo sempre diferente das outras; Cabo da Roca apenas tem um comportamento singular em alguns dos anos estudados.

Nas séries que se iniciaram mais cedo, sobressai o Verão muito quente de 1949 (o mais quente em Cabo Carvoeiro) e os de 1953, 1961, 1964, 1965, 1969, 1974 e 1978. Raros são os Verões seguidos em que a temperatura máxima média é mais de um grau superior à média. Como Verões frescos, citem-se os de 1945, 1946, 1950, 1951, 1952, 1960, 1963, 1966, 1970 e 1972. Repara-se, porém, que há aqui maiores diferenças de local para local. Ou seja, mesmo ao nível de um espaço relativamente pequeno, não são sempre os mesmos os Verões frescos, embora os grandes «calores» estivais sejam, de um modo geral, simultâneos em todos os postos de observação. No período de que se calcularam as médias, há uma amostragem relativamente boa de Verões quentes e de outros mais frescos, excepto em Cabo Carvoeiro, em que a temperatura medida no início do período de observação é sempre muito alta.

Como Invernos muito frios, citem-se os de 1943/44 em Cabo da Roca, 44/45 noutros locais, 1955/56 em todas as estações e, em quase todas: 1956/57, 1964/65, 1966/67, 1970/71 e 1975/76. Rara é, também, a sucessão de dois Invernos muito frios; pelo contrário, sucedem-se por vezes Invernos de valores ligeiramente superiores à média. Como Invernos particularmente amenos do ponto de vista térmico, os chuvosos 1954/55, 1959/60, 1965/66, 1968/69, 1976/77, alguns já «conhecidos» de outros estudos. Na série 1947/48-1974/75, de que se estudam à frente os valores médios, encontramos 3 Invernos

(ou 4 segundo as estações), com temperatura mínima média do mês mais frio dois ou três graus inferior à média.

2 — Os valores mensais da temperatura

2.1 — Os valores mensais da temperatura em Lisboa (Geofísico)

a) Distribuição normal dos valores de temperatura

Ao contrário da insolação, as temperaturas médias mensais e diárias têm uma distribuição praticamente normal, tal como foi comprovado por transformação gráfica (anamorfose) em papel gaussiano-aritmético.

Para o estudo do regime térmico, tanto em termos médios como frequenciais, utilizou-se uma matriz de 125 linhas (anos de 1856 a 1980) e 36 colunas (dias 1, 11 e 21 de cada mês). Analisam-se primeiro os valores médios destes dias, representativos das várias décadas em cada mês (fig. 3.6). Escolheram-se as datas aconselhadas por C. P. PEGUY (1976) para a elaboração dos calendários de probabilidade à frente comentados.

b) O regime médio

Tal como para a insolação (fig. 2.3), os valores mais baixos ocorrem no início de Janeiro (cerca de 13°C para as máximas e 8°C para as mínimas). A subida de temperatura primaveril é lenta e mais regular no caso das mínimas. Do fim de Fevereiro ao início de Julho, há um aumento de 11°C (2.8°C/mês) nas máximas e de 8°C nas mínimas (2°C/mês). A temperatura máxima apenas se conserva nos valores mais elevados entre 21/7 e 21/8, havendo, pelo contrário, uma estabilidade estival das temperaturas mínimas (cerca de 17°C do início de Junho a meados de Setembro). O arrefecimento outonal é mais rápido que o aquecimento primaveril: de notar que a temperatura máxima começa a diminuir mais cedo, praticamente no início de Setembro. De 21/9 a 21/12 desce 14°C (3.5°C/mês). Os mínimos apenas começam a diminuir a 21 de Setembro, primeiro lentamente até 11 de Outubro; depois desta data, nota-se uma forte diminuição das temperaturas mínimas até Novembro (4°C de 11 a 31 de Outubro) e, novamente um decréscimo mais lento, sobretudo entre 1 e 11 de Novembro.

A dispersão dos valores de temperatura máxima (expressa pelo desvio-padrão, fig. 3.6) é maior que a das mínimas, à excepção do período compreendido entre 21 de Novembro e 21 de Fevereiro.

Os desvios-padrões das temperaturas máximas são mais fortes, (maior variação interanual de temperatura: $\sigma \geq 3.5^\circ\text{C}$) no início e também no fim do Verão. Este facto mostra que é maior a variação interanual da duração, do que a da intensidade da estação quente. A descida outonal do desvio-padrão acompanha a das temperaturas.

A temperatura mínima apresenta menor variação de ano para ano, do início de Março até ao fim de Outubro ($\sigma \geq 2^\circ\text{C}$). O desvio-padrão apenas tem valores superiores a 3°C no fim de Janeiro e início de Dezembro.

A amplitude térmica em 24 horas passa dos valores médios de 5 a 6°C em Dezembro, Janeiro e Fevereiro, para cerca de 10°C em Julho e Agosto. O desvio-padrão, inferior a 2°C no coração do Inverno, eleva-se para 3° ou 3.5°C, no início da estação quente, quando é grande a variação interanual da temperatura máxima. Só no Inverno, a curva do desvio-padrão da amplitude térmica não ocupa

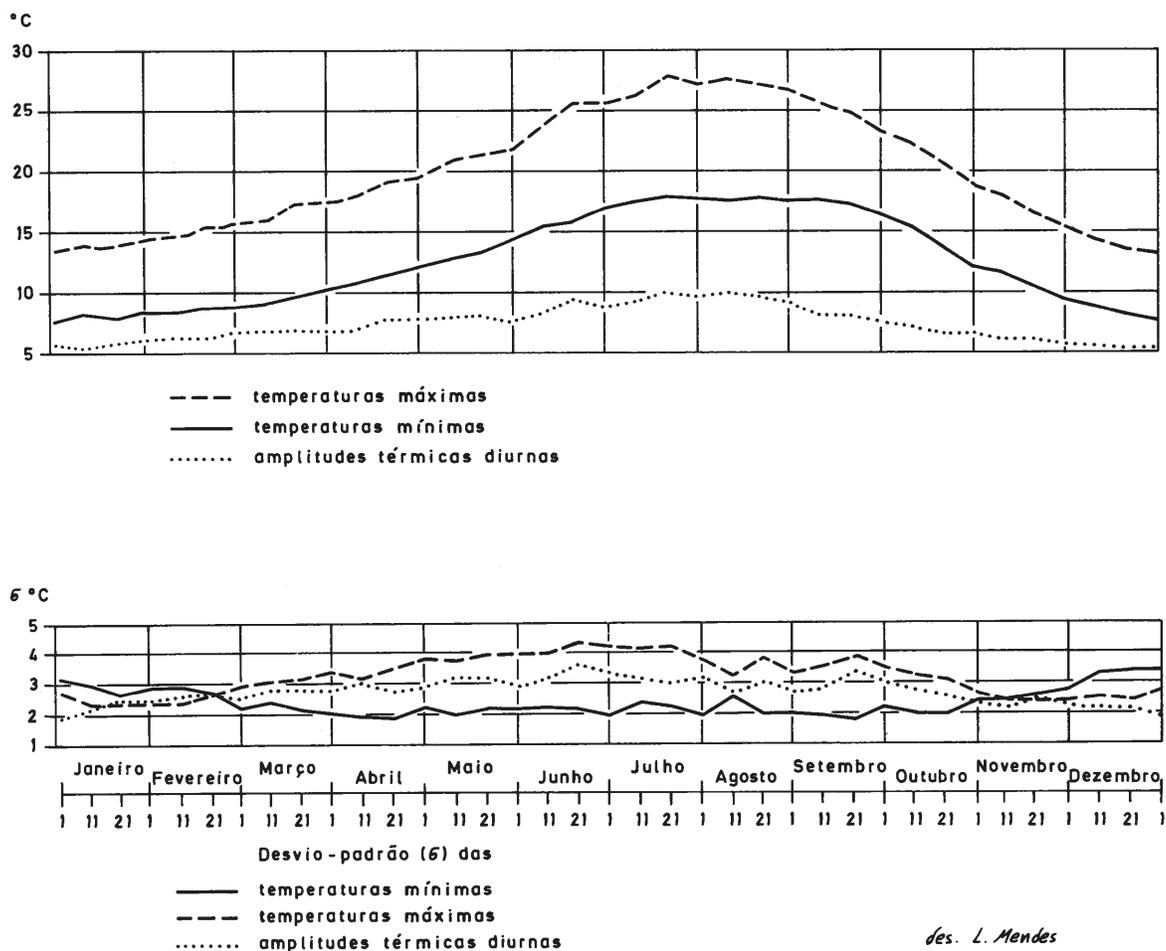


Fig. 3.6 — Médias e desvios-padrões das temperaturas máxima e mínima e da amplitude térmica dos dias 1, 11 e 21 de cada mês em Lisboa (Geofísico), 1856-1980.

Dados dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís.

uma posição intermédia entre as da máxima e da mínima. Ou seja, na estação fria, a variação de amplitude térmica de dia para dia é menor do que a dos valores absolutos de temperatura (tanto máxima como mínima).

c) A variabilidade interanual

— Os calendários de probabilidades. Técnica de construção.

Para cada coluna do quadro de 125 anos \times 36 dias (1, 11 e 21 de cada mês), foram calculadas e acumuladas as frequências de ocorrência de temperatura, registadas em cada linha vertical do calendário correspondente à respectiva data.

Apontam-se duas diferenças na técnica de construção dos calendários que seguidamente se apresentam e do calendário da razão de insolação, atrás comentado (fig. 2.5).

No caso da insolação, trataram-se conjuntamente todos os valores diários disponíveis e as frequências acumuladas foram marcadas na linha vertical correspondente ao dia 15 de cada mês. Aqui, como foi dito, os valores de temperatura de cada data foram tratados e marcados separadamente, tal como o seu autor o sugere (C.P. PEGUY, 1976).

As curvas referentes à razão de insolação foram regularizadas automaticamente. No caso da temperatura, em que os cálculos e a representação gráfica foram executados manualmente, preferiu-se executar o gráfico sem qualquer regularização manual — necessariamente subjectiva — deixando persistir as irregularidades, algumas das quais fortemente dependentes da amostragem utilizada.

Tal como já foi dito a propósito dos calendários de 5 estações portuguesas, incluindo Lisboa (M. J. ALCOFORADO, 1987), consideram-se separadamente a temperatura máxima e a mínima, no intuito de eliminar os efeitos da variação diária. Construíram-se também, neste caso, calendários de probabilidade da amplitude térmica diurna e, apresenta-se o calendário das temperaturas médias, para possibilitar uma eventual comparação com outras estações.

Principia-se a análise pelos calendários do já referido período de 125 anos (figs. 3.7 a 3.10). Mas, a maior parte das estações portuguesas não possuem séries longas; mesmo na região de Lisboa — uma das melhor documentadas — foi impossível obter séries de 30 anos para todos os locais de observação, tal como atrás foi exposto. E, acaso houvesse escolha entre diversos períodos de 30 anos, os resultados poderiam ser bastante diferentes. Para ilustrar este facto foram feitos calendários de dois períodos de trinta anos escolhidos a partir das curvas de evolução da temperatura durante os últimos 125 anos, já referidas. Escolheu-se um período particularmente fresco (1870 -1899), que será referido como período mais «antigo»; o outro (1935-64), período «recente», corresponde a um espaço de tempo de muito fortes irregularidades interanuais (*).

— Análise dos calendários de probabilidade

O regime mediano é semelhante ao regime médio, devido à normalidade da distribuição das temperaturas. O tipo de representação escolhido para o regime médio (fig. 3.6), forneceu mais pormenores do que se pode obter pela leitura da linha horizontal correspondente à frequência de ocorrência de 0.50. Aponte-se unicamente que o valor mediano da temperatura máxima se conserva acima de 26°C de 11 de Julho a 1 de Setembro, tal como se verifica no período «recente» (figs. 3.7). No período «antigo», a mediana só é superior a 26°C de 1 de Julho a 1 de Agosto, o Verão é mais curto e mais fresco (**). Mas a informação mais original a extrair dos calendários diz respeito às frequências extremas.

VERÃO

Entre 21 de Junho e 11 de Setembro há entre 5 a 10% de probabilidade da temperatura máxima ser superior a 32° (fig. 3.7) e entre 10 e 20% dos casos a temperatura é superior a 30°C. No período «antigo», temperaturas superiores a 32°C corresponderam a menos de 5% dos dias enquanto, no período

(*) Estes calendários foram divulgados na versão policopiada deste trabalho (M. J. ALCOFORADO, 1988), apresentando-se aqui os principais resultados da sua análise.

(**) Não se sabe até que ponto a mudança de localização do sítio da estação meteorológica terá influência nestas diferenças, embora se tenham «corrigido» as temperaturas do período inicial, como foi referido atrás.

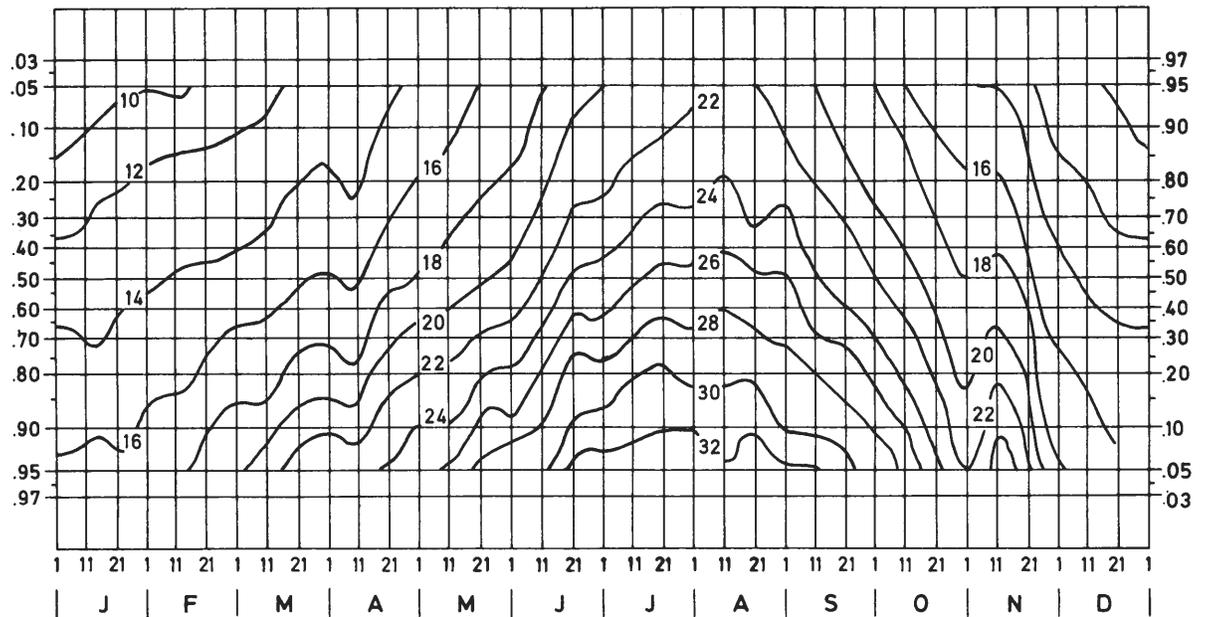
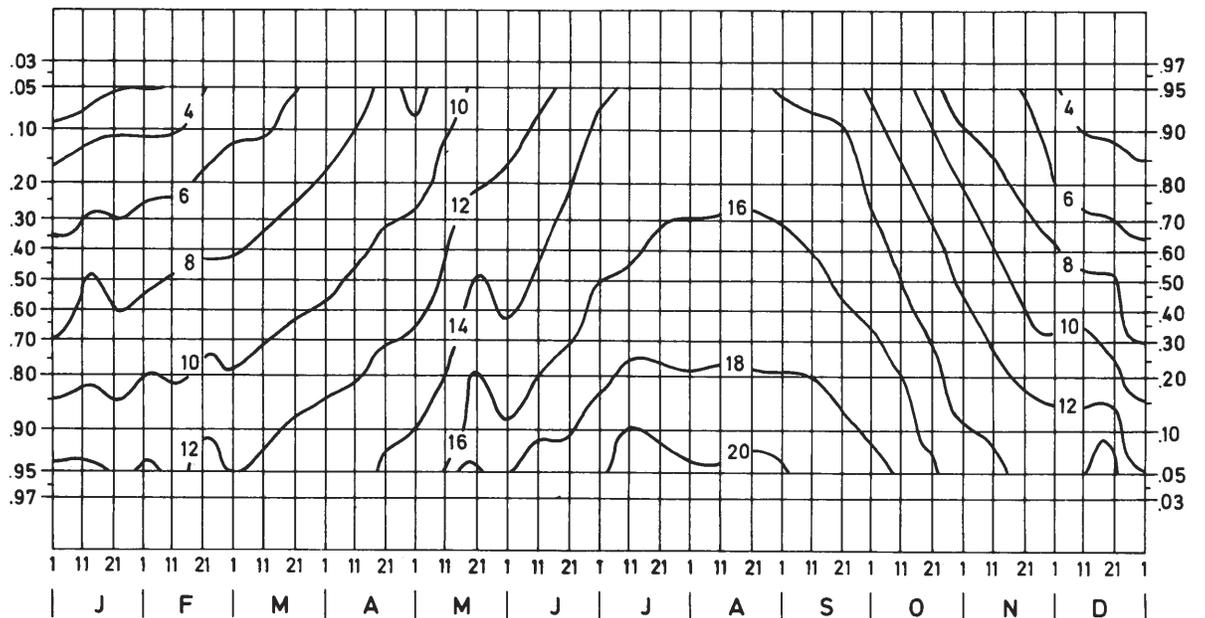


Fig. 3.7 — Calendário de probabilidades: temperatura máxima diária (°C) em Lisboa (Geofísico), 1856-1980.



des. Soares 82

Fig. 3.8 — Calendário de probabilidades: temperatura mínima diária (°C) em Lisboa (Geofísico), 1856-1980.

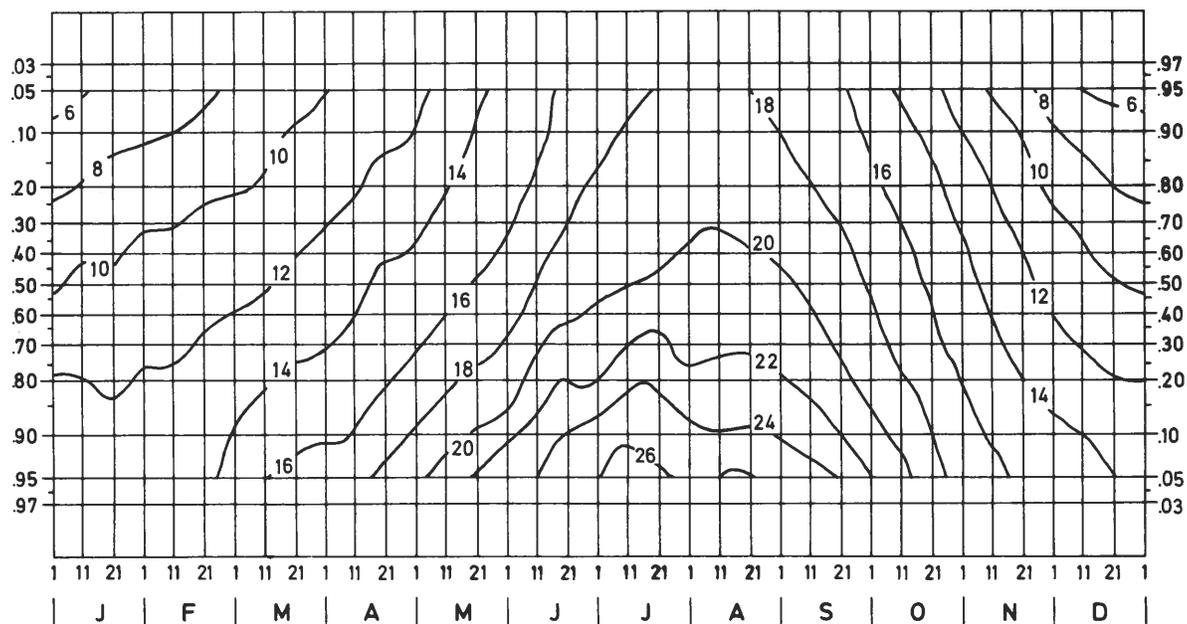
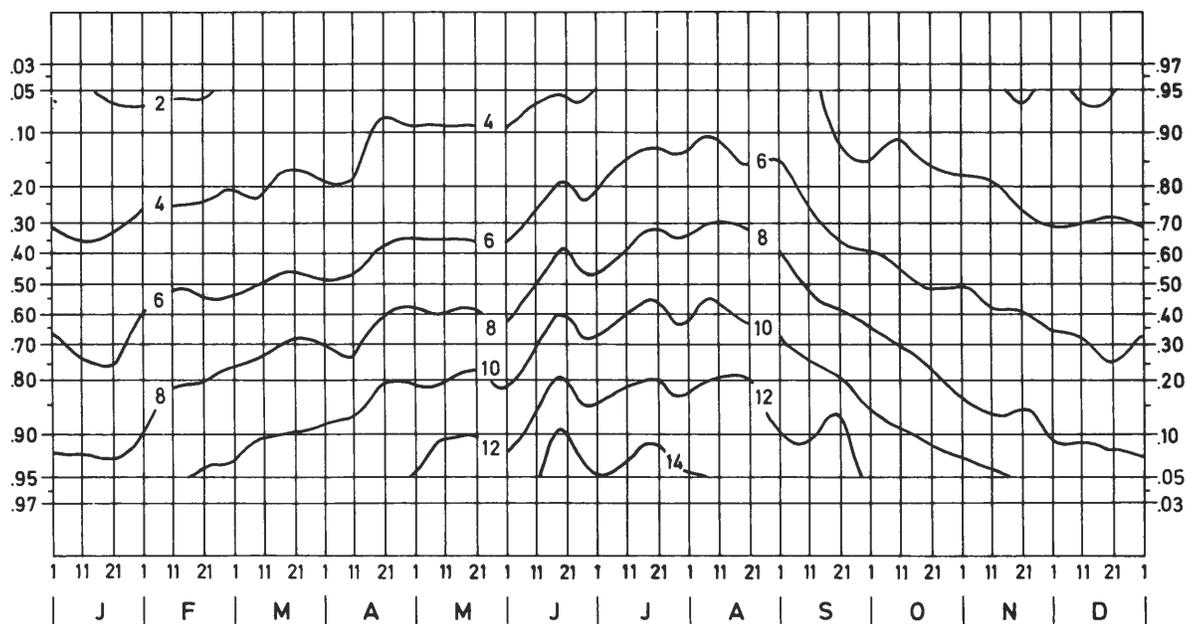


Fig. 3.9 — Calendário de probabilidades: temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$) em Lisboa (Geofísico), 1856-1980.



des. *Albano* 82

Fig. 3.10 — Calendário de probabilidades: amplitude térmica diária ($^{\circ}\text{C}$) em Lisboa (Geofísico), 1856-1980.

«recente» houve mais de 10% de dias com temperatura superior àquele valor entre 11 de Junho e 11 de Setembro, embora com grande irregularidade de década para década. Observam-se pelo menos 20% de dias frescos (temperatura máxima abaixo de 24°C), ao passo que, no período «recente», estes são bem menos frequentes de 11 de Junho até 11 de Agosto.

Os calendários da temperatura mínima (figs. 3.8), confirmam o que foi dito em relação à menor dispersão (menores desvios-padrões): nos 90% dos casos centrais a mínima oscila apenas entre 15 e 20°C. Entre 1 de Julho e 1 de Setembro há 10% de probabilidades da mínima ser superior a 20°C (limiar a partir do qual as noites são consideradas quentes). E, em 30% dos casos, a temperatura não alcança 16°C, de noite (fig. 3.8). As diferenças são pequenas entre os calendários da mínima dos outros dois períodos de tempo estudados. Uma diferença: no período mais recente há mais noites frescas, não chegando a registar-se 5% de temperaturas mínimas superiores a 20°C. O calendário elaborado a partir da frequência de ocorrência dos diversos valores de amplitude térmica diurna (fig. 3.10) mostra que a distribuição é dissimétrica no Verão. O valor médio corresponde a cerca de 0.60 e não ao centro da distribuição (0.50). De 11 de Junho a 11 de Setembro, a mediana está compreendida entre 9 e 10°C. Em 10% dos dias é inferior a 6°C e nos 10% do extremo oposto da distribuição é superior a 14°C.

OUTONO

Já foi referido que a diminuição da temperatura máxima no fim do Verão é mais precoce do que a da mínima e que este arrefecimento é relativamente rápido. Sem entrar na apresentação de outros fastidiosos valores de frequência de ocorrência de temperaturas, que um leitor interessado pode facilmente ler no gráfico, chama-se apenas à atenção para umas «irregularidades» das curvas da máxima, na primeira década de Novembro. No período de 1856-1980 (fig. 3.7), há um aumento de frequência de ocorrência de temperaturas elevadas: assim, a temperatura de 18°C tem, a 1 de Novembro, 50% de representatividade e 58% a 11 do mesmo mês; entre as mesmas datas, a temperatura máxima de 20°C passa da frequência de 18% para 34%, a de 22°C passa de 5% para 15%. Em 50% dos anos as temperaturas sofrem um decréscimo regular e a que se poderia chamar «normal» nesta época do ano. Resumindo, em metade dos anos analisados, ocorrem temperaturas particularmente altas no fim da primeira década de Novembro. Este facto é tão bem conhecido que lhe foi dado o nome popular de «Verão de S.Martinho», cuja festa se comemora a 11 de Novembro. Tal irregularidade não aparece nos calendários dos períodos mais curtos e também não é visível no calendário da razão de insolação, devido à técnica de construção atrás indicada. O patamar que se observa nas curvas do calendário das mínimas, nesta altura, exprime a ausência de modificações de temperatura entre 1 e 11 de Novembro.

Para precisar a descrição deste facto foram executados calendários de temperatura máxima a partir de um maior volume de dados, unicamente para este período do Outono: em vez de se considerarem os dias 1, 11 e 21 de cada mês, utilizaram-se os valores de grupos de 5 dias centrados a 1, 11 e 21 de Novembro e 1 de Dezembro. Não se obtiveram resultados comparáveis aos que atrás foram analisados. A diminuição das temperaturas faz-se, para todas as frequências de ocorrência, de modo contínuo durante o Outono.

Conclui-se portanto que o Verão de S. Martinho é uma realidade: caso contrário não teria designação própria, nem teria sido detectado a partir de uma certa amostragem. Porém, os dias relativamente quentes de Outono apenas ocorrem na data a que a sabedoria popular os associa em cerca de 50% dos anos.

INVERNO

É bastante curto o período do ano em que praticamente não há modificação das condições térmicas: época que se inicia na data em que as curvas são sub-horizontais (11 a 21 de Dezembro) e que se prolonga até finais de Janeiro. A 1 de Janeiro a mediana das temperaturas mínimas é de cerca de 7°C, há 15% de probabilidade destas ultrapassarem 10°C e cerca de 15% de serem inferiores a 4°C. O período mais antigo é mais frio: 25% de mínimos inferiores a 4°C e o mais recente, mais quente: apenas 10% de mínimos inferiores àquele valor. Entre 1856/1980, houve 35% de máximas superiores a 14°C (20% no período antigo e 45% no recente) e 65% de temperaturas superiores a 12°C (55% nos outros dois casos).

No Inverno, a mediana da amplitude térmica diurna (fig. 3.10) é de 5°C (enquanto a média é de 5.5 ou 6°C), o 1º decil é de 2.5°C (muito fracas amplitudes térmicas em situações perturbadas com advecção de uma única massa de ar) e o 9º decil de quase 8°C (situações de grande estabilidade, com temperaturas máximas altas e forte arrefecimento nocturno).

PRIMAVERA

O aumento da temperatura máxima inicia-se a meados de Fevereiro, enquanto a mínima permanece baixa até ao início de Março (figs. 3.7 e 3.8); mas, tanto num caso como noutro, a inclinação das curvas (e portanto a modificação da frequência de ocorrência dos vários valores de temperatura) é menor que no Outono. Há, na primeira década de Abril, uma diminuição de temperatura máxima (que aparece também nos outros calendários, mas no início do mês para o período 1870/99 e no fim de Abril no período 1935/64): por exemplo, a 1 de Abril há 28% de temperaturas $\geq 18^\circ\text{C}$ e, a 11 de Abril, esta frequência desce para 23%, enquanto a 21 do mesmo mês, já alcança 45%.

Já se falou atrás das particularidades do mês de Abril, relativamente à insolação: embora haja um grande aumento de insolação média de Março para Abril (fig. 2.3), os dias de céu encoberto são frequentes e a probabilidade de passagem de sequências de dias de insolação ≤ 0.20 é elevada, o que indica que pode haver, em certos anos, muitos dias seguidos de nebulosidade elevada e, conseqüentemente, temperaturas máximas baixas. Ao contrário do «Verão de S. Martinho», a diminuição de temperatura em Abril (menor que o aumento outonal, é certo), observa-se a todas as frequências.

Nota-se também nas curvas da figura 3.10 que, tal como para as temperaturas, o aumento primaveril das amplitudes térmicas é mais demorado do que a descida no Outono.

— Primeiros e últimos «frios» de Inverno

No entanto, e para aplicação prática, por exemplo na agricultura, é útil o conhecimento das datas de ocorrência de temperaturas mínimas baixas que possam dar origem a geadas.

O significado exacto deste termo é controverso. Alguns autores falam de geada quando a temperatura do ar é $\leq 0^\circ\text{C}$ (geada negra, *freeze* dos autores ingleses). Outros apenas consideram estar em presença de geada quando se observa gelo no solo (geada branca, *frost*). E, não cabe discutir aqui as diversas «classificações» ou «subdivisões» de geada que aparecem sempre, ou quase sempre, que o tema é abordado: geadas de irradiação (ou radiação), de advecção ou de condensação; geada negra e geada branca; geada de Outono, de Inverno e de Primavera etc. (ver por exemplo, R. DURAND e G. DIMACOPOULOS, 1969).

Os prejuízos devidos às geadas de Inverno não são muito importantes em Portugal. As plantas perenes podem suportar o arrefecimento do ar; a vinha, por exemplo, até necessita de um certo frio

durante o Inverno para «quebrar a dormência». As geadas de Outono e, sobretudo, as de Primavera são mais prejudiciais para a agricultura. No Outono, a produção de uva de mesa e de flores pode ser gravemente atingida pelas geadas precoces. As de Primavera podem ser prejudiciais às culturas hortícolas, à vinha, às árvores de fruto.

Embora fosse um estudo muito interessante, é difícil apresentar os riscos de geada no conjunto da região estudada. Sabe-se que uma temperatura de 4-5°C em abrigo, corresponde, em situações de ausência de vento, a temperatura próxima de 0°C à superfície do solo (variando obviamente a temperatura com a natureza e a cor da superfície do solo, com a cobertura vegetal e o grau de recobrimento do solo, com a topografia, etc.)

O tipo de recolha de dados de temperatura variou certamente menos durante os 125 anos de medição em Lisboa (Geofísico) do que o critério de estimativa de geada no solo; apresentam-se, por isso, para a estação de Lisboa — a única com uma série suficientemente longa — dois calendários de probabilidade, que pretendem contribuir para o estudo estatístico das datas de ocorrência de temperaturas baixas: um, diz respeito às datas do primeiro e do último dia de temperatura mínima de 5°C em abrigo; o outro, às datas de início da primeira e da última sequência de 5 dias com a referida temperatura mínima. Tentou elaborar-se o mesmo tipo de gráfico para os dias de temperatura mínima inferior a 0°C, mas este valor é demasiado raro.

Repare-se então, na figura 3.11. Só em 5% dos casos o primeiro dia de mínima $\leq 5^\circ\text{C}$ ocorre antes de 16 de Novembro, 10% antes de 23 de Novembro, 20% antes de 1 de Dezembro, 50% antes de 11 de Dezembro, 80% antes do Natal e 90% antes de 1 de Janeiro. Uma cultura que não suporte o frio durante o mês de Outubro, terá apenas 5% de probabilidades de ser danificada. A vegetação pode resistir a um dia, ou melhor, a uma noite fria isolada, mas ser vulnerável a uma sequência de noites de temperatura muito baixa. No calendário da figura 3.12, observa-se que só há 10% de probabilidades que uma sequência de temperaturas mínimas inferiores a 5°C se inicie antes de 11 de Dezembro, 20% que se inicie antes de 21 de Dezembro e 35% antes de 6 de Janeiro.

Por outro lado, há 90% de probabilidades que a última temperatura mínima abaixo de 5°C ocorra depois de 16 de Janeiro, 80% depois de 1 de Fevereiro, 50% depois de 21 de Fevereiro, 20% depois de 11 de Março, 10% depois de 21 de Março e 5% depois de 1 de Abril. E o início da última sequência de 5 dias com temperatura mínima inferior a 5°C tem 35% de probabilidade de ser posterior a 21 de Janeiro, 20% de ser posterior a 6 de Fevereiro e 10% de ser posterior a 16 de Fevereiro. Portanto, as plantas que são sensíveis ao frio durante o mês de Abril, só muito improvavelmente serão submetidas a temperaturas baixas duradouras, havendo apenas 5% de possibilidades de se registar, naquele mês, uma temperatura mínima inferior a 5°C em abrigo.

Uma interpolação espacial destes resultados poderia ser levada a cabo, no caso de se ter acesso a um número suficiente de valores diários de temperaturas mínimas simultâneas, que permitisse uma comparação das características térmicas no Jardim Botânico e em outros locais de observação.

2.2 — Os valores mensais de temperatura na região de Lisboa

a) Introdução

Para a comparação das temperaturas máximas e mínimas registadas na região, organizaram-se quadros numéricos de 28 linhas que correspondem às estações meteorológicas e 12 colunas, onde figuram os valores mensais da temperatura. Os resultados da análise em componentes principais aplicada a estes

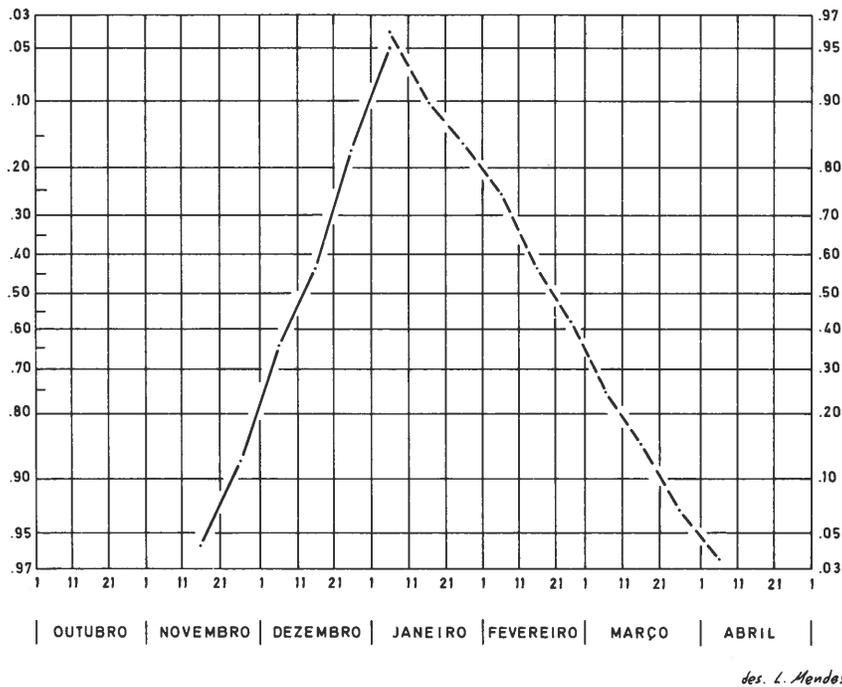


Fig. 3.11 — Calendário de probabilidades da data de ocorrência do 1.º (—) e do último (- - -) dia de temperatura mínima ≤ 5 °C em Lisboa (Geofísico): 1856-1980.

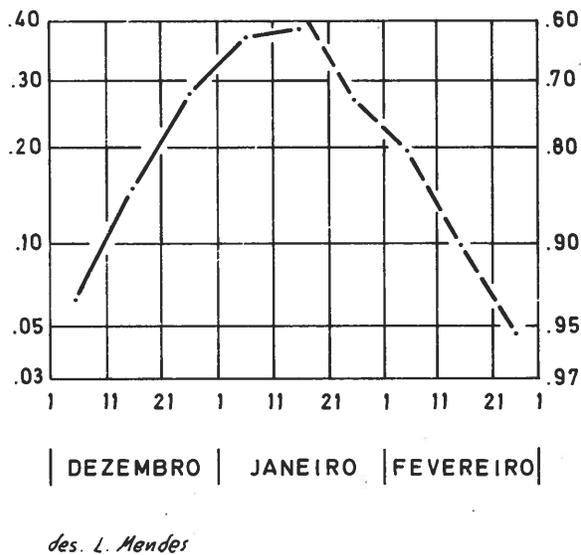


Fig. 3.12 — Calendário de probabilidades da data de ocorrência da primeira (—) e da última (- - -) sequência de cinco dias de temperatura ≤ 5 °C em Lisboa (Geofísico): 1856-1980.

Dados dos Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís.

valores estão expressos nas figuras 3.13 e 3.14. Como os dois primeiros factores representam sempre mais de 95% da variância e que o significado dos factores seguintes não é claro, estuda-se apenas a projecção dos indivíduos e variáveis no plano 1-2. Na figura 3.13, cada estação meteorológica (ou, melhor, a sua projecção) é indicada por uma simbologia diferente, atendendo à sua posição em relação a cada um dos eixos: sinal + ou —, para a posição em relação a F_1 , círculo a cheio ou a tracejado, ou ausência de círculo, para a posição em relação a F_2 . Nos mapas à direita da figura, desenhou-se, no sítio de cada estação meteorológica, o símbolo que lhe foi atribuído e que é função da sua posição no plano 1-2.

Como já se referiu, o factor 1 (F_1) ordena as estações, tendo em conta a variação térmica global nos vários meses: efeito de dimensão, aqui muito importante, pois entra em conta, nos dois casos, com mais de 80% da variância. O facto das projecções de todos os vectores-meses se encontrarem à direita de F_2 (fig. 3.14) significa — lembre-se aqui — que todos os meses contribuem de modo semelhante (e, portanto no mesmo sentido) à definição do eixo ou factor 1. É assim confirmada a existência do efeito de dimensão: a primeira grande separação entre estações é feita em função da intensidade do frio ou do calor e exprime as circunstâncias conhecidas de, no conjunto, os máximos mais elevados e os mínimos mais baixos terem lugar na mesma época do ano.

Em cada extremidade de F_2 , que entra em conta com 14% da variância no caso das máximas e 11% no das mínimas, opõem-se os locais de regime térmico mais diferenciado (fig. 3.13), tal como à frente será exemplificado.

Embora nas análises em componentes principais não seja correcto representar indivíduos e variáveis num mesmo gráfico, os respectivos diagramas devem-se considerar paralelamente, tal como se fez para a análise da insolação, cobertura nebulosa e nevoeiro mensais : por exemplo, no caso da temperatura máxima, observando a figura 3.14, repara-se que os meses de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro estão orientados no mesmo sentido em relação a F_2 , que as estações meteorológicas com as máximas mais elevadas da região no Inverno (por exemplo, Monte Estoril, na figura 3.13a); do mesmo modo, em posição oposta naquele eixo, encontram-se os meses de Maio a Setembro (fig. 3.14) e as estações meteorológicas mais quentes nos dias de Verão (Santarém, por exemplo).

b) As temperaturas máximas

O mapa da figura 3.13A sintetiza a informação disponível sobre a repartição geográfica das estações meteorológicas habitualmente frescas ou quentes (posição em relação a F_1) e as oposições de regime (posição em relação a F_2).

— Efeito de dimensão

Ao primeiro relance da figura 3.13A, a única estação de altitude do espaço estudado, Sintra/Pena, destaca-se das restantes. A posição desta estação em relação ao primeiro eixo constitui um indicador das suas temperaturas máximas extremamente baixas, em relação ao contexto regional em que está inserida. A proximidade das projecções de todos os outros pontos (à excepção do litoral) mostra que são relativamente mais fracas as diferenças de temperatura entre eles.

O efeito de dimensão é ilustrado na figura 3.15, na comparação da temperatura em pares de estações situadas em posição oposta no eixo 1: Fonte Boa e Sintra (próximos do primeiro eixo), Santarém e Sintra/Pena (coordenadas negativas para F_2), Monte Estoril e Cabo da Roca, (coordenadas positivas para F_2).

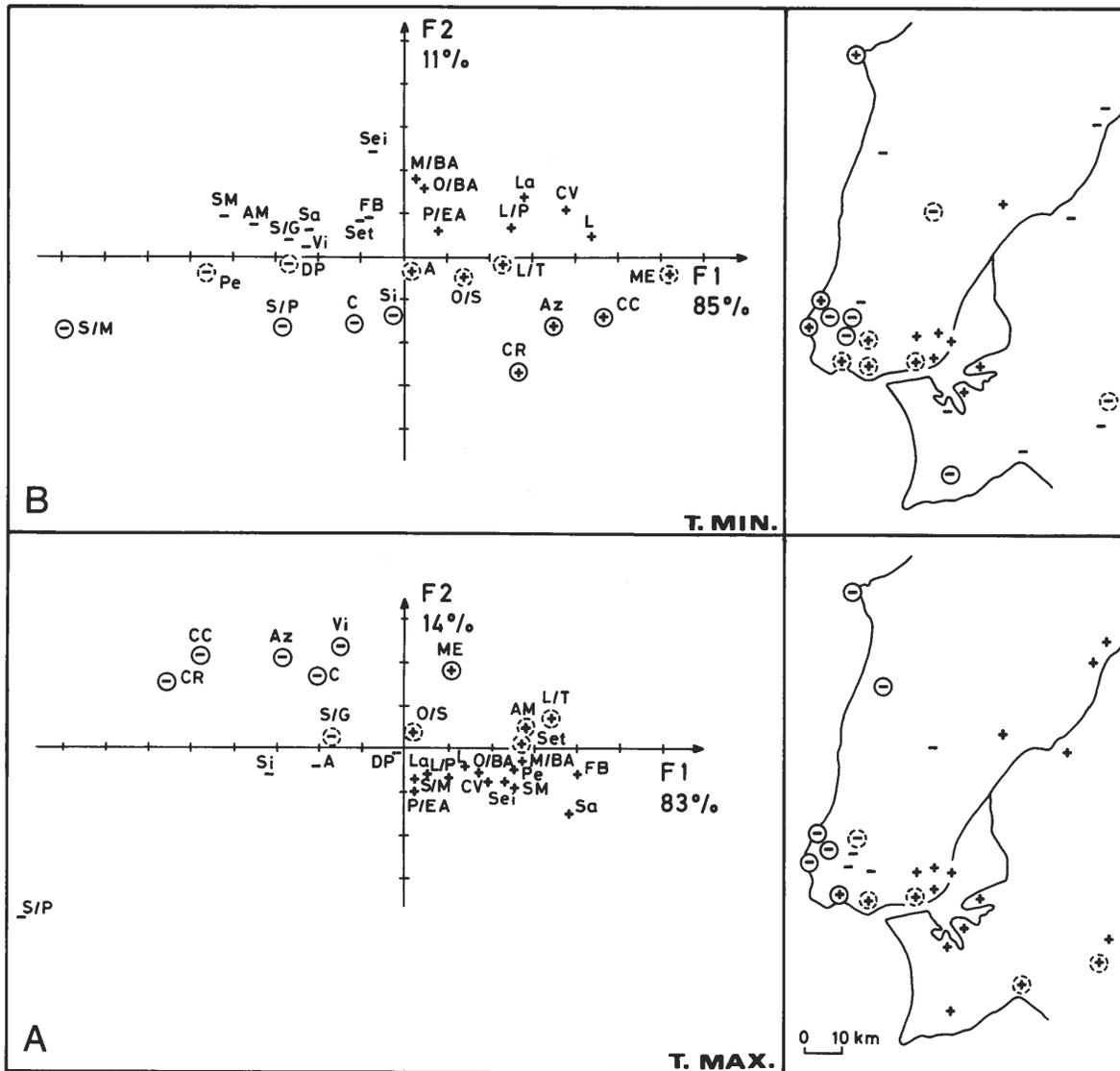


Fig. 3.13 — Análise em componentes principais da temperatura máxima média (A) e mínima média (B). Projecção dos indivíduos (estações meteorológicas) no plano 1-2 e sua repartição espacial (explicações no texto, significado das siglas na página 20).

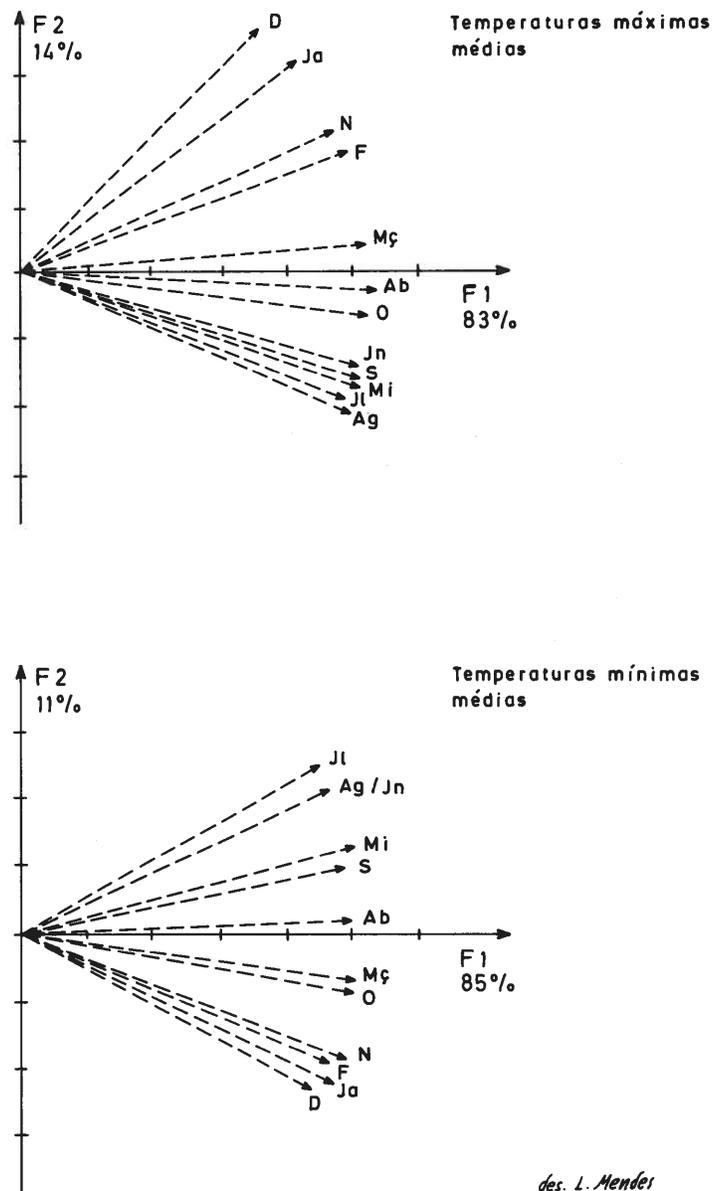


Fig. 3.14 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas e mínimas médias mensais: projecção das variáveis (meses) no plano factorial 1-2.

A diferença de temperatura máxima entre estas estações meteorológicas tem sempre o mesmo sinal, sendo mais elevada no Verão (Quadro 3.2).

Aos dois Cabos e aos locais de observação próximos do litoral, relativamente frescos ou frios, opõem-se todas as outras estações meteorológicas, mais quentes; as de Lisboa, ocupam uma posição térmica intermédia, com máximas mais baixas do que os locais a Oriente.

— Ritmos térmicos

O segundo factor evidencia as particularidades do regime térmico nos vários grupos de estações.

No conjunto dos locais «frescos» (de coordenadas negativas para F_1), F_2 opõe as estações meteorológicas litorais, a baixa altitude a Sintra/Pena, próxima do litoral e a altitude elevada. Nas primeiras, os dias de Inverno são relativamente quentes (Cabo da Roca mais quente que a Serra nos dias de Inverno) e os de Verão relativamente frescos. Junto ao litoral, as temperaturas de Julho, Agosto e Setembro são praticamente as mesmas, assim como as de Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Observa-se, pelo contrário, na Pena, um máximo bem marcado em Agosto (tendo Julho e Setembro temperaturas análogas e superiores às de Junho e Outubro) e um mínimo também bem marcado em Janeiro (temperaturas de Dezembro e de Fevereiro próximas). A configuração das curvas da temperatura é portanto bem diferente das do litoral, escassos 10 quilómetros mais a Oeste.

De entre as estações de coordenadas fracas para F_1 , F_2 opõe as estações da aglomeração de Lisboa (excepto Lisboa/Tapada) a Monte Estoril: Monte Estoril de máximas mais elevadas no Inverno e mais baixas no Verão do que a aglomeração de Lisboa (Monte Estoril — Cabo Ruivo, no Quadro 3.2 e na fig. 3.15).

Nas estações da parte oriental do espaço estudado (+ Lisboa/Tapada) de coordenadas positivas para F_1 , reconhecem-se oposições comparáveis às atrás referidas, embora muito menos pronunciadas e nem sempre dependentes da localização da estação. Águas de Moura (coordenadas muito fracamente positivas para F_2), próxima de um afluente do Sado, permanece mais fresca no Verão do que Pegões, a poucos quilómetros, certamente devido à maior frequência de nevoeiros e neblinas e à grande evaporação dos campos de arroz (fig. 3.15).

c) As temperaturas mínimas

No interior do espaço estudado há uma maior diversidade de valores de temperatura mínima do que de temperatura máxima. A dispersão dos pontos correspondentes às projecções dos indivíduos no plano 1-2, é maior do que para as máximas (fig. 3.13B).

— Efeito de dimensão

Ilustra-se o significado do primeiro factor pela comparação dos valores da temperatura mínima de Monte Estoril e de Pegões e de Cabo Carvoeiro e Sesimbra (de coordenadas semelhantes para F_2 e em extremos opostos de F_1 , na figura 3.13B). As diferenças de temperatura mínima têm sempre o mesmo sinal (Monte Estoril, por exemplo, 3 a 4°C mais quente que Pegões) e variam pouco durante o ano; ao contrário das temperaturas máximas, as diferenças são ligeiramente maiores no Inverno (fig. 3.16).

Neste caso, as estações meteorológicas da aglomeração de Lisboa destacam-se, tal como o litoral, pelas mínimas mais elevadas (coordenadas positivas na figura 3.13B). Ao contrário do que acontece para as máximas, a cidade actua no mesmo sentido que o oceano.

Os valores mais baixos correspondem a três tipos de situações: altitude (Sintra/Pena), posição topográfica deprimida, mesmo em locais próximos do litoral (Sintra/Granja, Vimeiro e Sesimbra/Maçã)

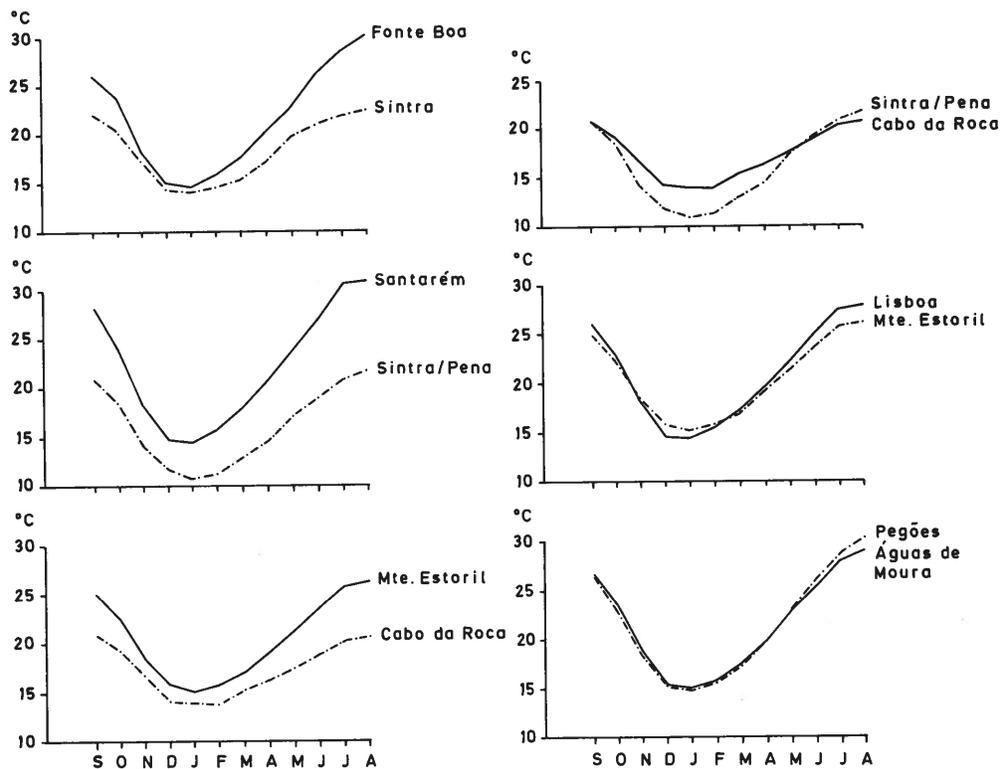
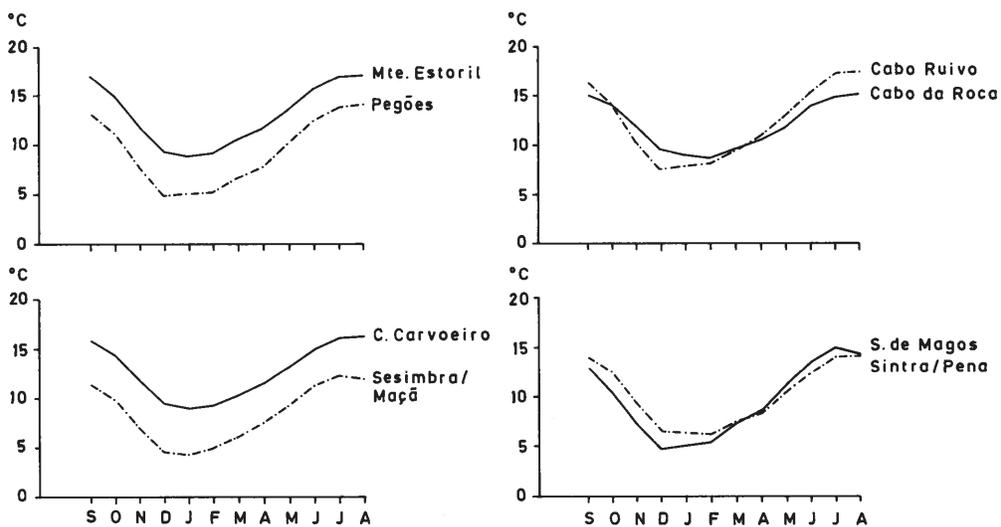


Fig. 3.15 — Temperatura máxima média mensal nalgumas estações meteorológicas (1947/48-1974/75).



das. L. Mendes

Fig. 3.16 — Temperatura mínima média mensal nalgumas estações meteorológicas (1947/48-1974/75).

Dados extraídos dos Anuários Climatológicos de Portugal.

e conjugação da distância ao mar com a posição topográfica deprimida do local de medição (Salvaterra de Magos).

Os locais de temperaturas intermédias encontram-se em diversas posições geográficas: perto do litoral mas dele relativamente isoladas (Colares e Sintra), na margem esquerda do Tejo (Montijo e Seixal, parecendo mais importante a distância ao litoral ocidental na diminuição das temperaturas mínimas do que a influência das águas do Tejo); e, longe do litoral, a leste dos relevos da Estremadura (Santarém, Fonte Boa) e da Arrábida (Setúbal). Também de temperaturas mínimas intermédias, mas ligeiramente mais altas, a Ota e a Paiã.

— Ritmos térmicos

O eixo 2 separa as estações meteorológicas de acordo com particularidades do regime térmico. Repare-se que, na figura 3.13B, as estações de temperaturas mínimas relativamente mais altas no Inverno (símbolos com círculo) se encontram mais próximas do litoral (salvo Dois Portos e Pegões) do que as de temperatura mínima mais alta no Verão. Far-se-á, no entanto, uma subdivisão tendo em conta a posição das diferentes estações em relação a F_1 .

Nas estações meteorológicas de mínimas elevadas (valores positivos de F_1), distinguem-se dois sub-grupos: a fachada atlântica (coordenadas negativas para F_2 na figura 3.13B) e a região de Lisboa (valores positivos). Na figura 3.16, comparam-se Cabo Ruivo e Cabo da Roca, em posição oposta em relação a F_2 .

Nos postos de observação da aglomeração de Lisboa, as temperaturas mínimas de Verão são mais altas do que as do litoral. Depois de três meses de temperaturas mínimas médias semelhantes (Fevereiro, Março e Abril), a diferença de temperatura entre Cabo Ruivo e Cabo da Roca aumenta no Verão, tornando-se negativa a partir do mês de Novembro. Os valores absolutos das maiores diferenças de ambos os sinais são próximos: -2.2°C em Dezembro, 2.5°C em Julho. As diferenças entre Lisboa e Cabo da Roca (no mesmo quadro), menores do que as de Cabo Ruivo e Cabo da Roca, no Inverno, ilustram a importância do efeito urbano nesta época do ano; note-se que as mínimas de Lisboa ou, pelo menos, do Jardim Botânico, onde está situado o parque de instrumentos, são mais baixas, na estação fria, do que as da fachada atlântica. No Verão, o efeito urbano tem menos importância do que a posição regional da cidade que lhe confere, como em Cabo Ruivo, mínimas médias só 2°C mais elevadas do que no Cabo da Roca.

Nos vários locais de medição da aglomeração de Lisboa e, tal como já foi referido em pormenor para a estação do Instituto Geofísico, as temperaturas mínimas de Julho e Agosto são nitidamente superiores às de Junho e Setembro, notando-se uma descida de mais de um grau entre as médias de Agosto e Setembro. Neste conjunto de estações, o período de temperaturas mínimas mais baixas também só dura dois meses: Dezembro e Janeiro.

Nas estações do litoral, as noites de Inverno são mais quentes do que em Lisboa, mantendo-se as temperaturas nos seus mais baixos valores durante Dezembro, Janeiro e Fevereiro (que frequentemente é o mês mais frio). No Verão, as mínimas de Julho e Agosto são praticamente iguais às de Setembro.

De entre os locais mais frios, repare-se, por exemplo, que as temperaturas mínimas são mais baixas em Salvaterra de Magos (coordenadas positivas para F_2) do que em Sintra/Pena (coordenadas negativas, na fig. 3.13B), excepto de Maio a Agosto. De modo geral, nos locais de observação mais afastados do litoral (Salvaterra de Magos, Águas de Moura, Santarém, de coordenadas positivas para F_2), as noites são relativamente mais quentes, no início do Verão, do que nos postos mais próximos da costa, onde são as noites de Outono as menos frias (fig. 3.16). É nítido, nestas últimas, não só o atraso do arrefecimento outonal, como também o facto de, mesmo a altitude relativamente elevada, a temperatura se conservar mais alta durante as noites de Inverno do que poucos quilómetros a oriente.

De fracas coordenadas em relação a F_2 , mas bem representadas por este eixo, Monte Estoril, Lisboa/Tapada e Oeiras/Sassoeiros estão geograficamente agrupadas na «Costa do Estoril» e apresentam um regime térmico intermédio entre as estações do litoral ocidental e as da aglomeração de Lisboa, conservando-se constantes durante o ano as suas diferenças de temperatura. Notar que Monte Estoril é ligeiramente mais frio que Cabo da Roca no Inverno e tem praticamente a mesma temperatura do que Lisboa no Verão.

O mesmo tipo de regime intermédio corresponde também a Pegões, Dois Portos e Sintra/Granja (Quadro 3.2).

	S	O	N	D	Ja	F	Mç	Ab	Mi	Jn	Jl	Ag
FB-S/G	2.2	2.6	1.0	0.5	0.4	1.9	2.0	3.2	3.4	5.0	4.8	5.9
Sa-S/P	7.4	5.4	4.2	3.0	3.6	4.3	4.9	6.2	6.6	8.0	9.7	9.2
ME-CR	4.3	3.1	1.7	1.5	1.2	1.8	1.8	2.9	3.9	4.7	5.5	5.7
CR-S/P	-0.2	0.7	2.7	2.5	3.0	2.4	2.2	1.7	0.3	-0.2	-0.6	1.1
ME/CV	-1.5	-0.8	0.5	1.3	0.5	0.0	-0.3	-0.5	-1.2	-1.9	-2.5	-2.5
ME-L	-1.0	-0.4	0.4	1.1	0.6	0.1	-0.4	-0.5	-0.8	-1.5	-1.8	-1.7
AM-Pe	1.6	-0.5	0.4	0.5	0.5	0.1	-0.4	-0.8	-1.0	-1.5	-2.5	-1.9

(a)

	S	O	N	D	Ja	F	Mç	Ab	Mi	Jn	Jl	Ag
ME-Pe	3.3	3.5	4.1	4.4	3.8	4.0	3.9	3.8	3.4	3.3	3.3	3.2
CC-S/M	4.5	4.7	5.0	4.9	4.8	4.4	4.4	4.3	4.0	3.6	3.8	4.3
CV-CR	1.4	1.0	-1.4	-2.2	-1.1	-0.5	-0.1	0.3	1.1	1.6	2.5	2.2
L-CR	1.4	0.3	-0.6	-1.1	-0.8	-0.3	-0.1	0.5	1.2	1.5	2.3	2.1
ME-CR	1.8	0.8	0.1	-0.2	0.0	0.6	1.0	1.1	1.7	1.9	2.3	2.0
SM-S/P	-0.9	-2.1	-2.0	-1.9	-1.4	-0.8	-0.2	-0.3	0.6	1.1	1.0	0.3

(b)

Quadro 3.2 — Diferenças de temperatura máxima média mensal (a) e mínima média mensal (b) entre estações do espaço estudado (°C, significado das siglas na página 20).

Albarraque, próximo da origem dos eixos, está mal representada pelos dois eixos; talvez devido ao curto número de anos da série tratada, o seu regime térmico não é coerente, não apresentando semelhanças nem em relação aos tipos extremos, nem aos de transição.

2.3 — Principais factores geográficos que influenciam a repartição das temperaturas máximas e mínimas.

a) Utilização da técnica da regressão múltipla. Os factores latitude, longitude e altitude.

Para analisar mais directamente a influência dos vários factores geográficos na repartição espacial das temperaturas máximas e mínimas, aplicou-se o modelo da regressão múltipla, já utilizado no

capítulo anterior (*). O objectivo é relacionar a repartição térmica espacial em cada mês com os factores geográficos mais facilmente quantificáveis. Constituíram-se 24 ficheiros em que a temperatura máxima média e mínima média de cada mês é a variável dependente ou «a explicar»(Y).

Escolheram-se a latitude, a longitude, e a altitude como variáveis independentes. Embora o litoral do espaço estudado seja grosseiramente orientado de Norte para Sul, a costa ocidental da Península de Setúbal está recuada em relação à área situada mais a Norte, ficando conseqüentemente mais abrigada de adveccões de N e de NNW. Utilizou-se, portanto, também a distância ao mar, para precisar a informação dada pelo valor da longitude.

As equações obtidas são da forma $Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4$, em que Y corresponde à temperatura máxima (ou à mínima) média de cada mês, x_1 representa o factor latitudinal de cada local de observação, x_2 o factor longitudinal, x_3 a altitude e x_4 a distância ao mar (Quadro 3.3). Apesar da informação fornecida pelas 2ª (x_2) e 4ª (x_4) variáveis explicativas ser, em certos casos, redundante, o modelo revelou-se satisfatório (os resultados do teste de Durbin — Watson foram, sempre, próximos de 2).

	TEMPERATURA MÁXIMA	TEMPERATURA MÍNIMA
Janeiro	$Y = 14.83 - 0.01x_1 - 0.01x_3 + 0.2x_4$	$Y = -2.21 + 0.12x_2 - 0.01x_3 + 0.2x_4$
Fevereiro	$Y = 15.97 - 0.01x_1 - 0.01x_3 + 0.06x_4$	$Y = -0.4 + 0.1x_2 - 0.01x_3 + 0.15x_4$
Março	$Y = 17.41 - 0.01x_1 - 0.01x_3 + 0.12x_4$	$Y = 1.78 + 0.09x_2 - 0.01x_3 + 0.16x_4$
Abril	$Y = 20.82 - 0.02x_1 - 0.02x_2 - 0.01x_3 + 0.15x_4$	$Y = 3.16 + 0.09x_2 - 0.01x_3 + 0.19x_4$
Maiο	$Y = 24.93 - 0.05x_1 - 0.03x_2 - 0.01x_3 + 0.24x_4$	$Y = 6.29 + 0.08x_2 - 0.01x_3 + 0.18x_4$
Junho	$Y = 27.44 - 0.05x_1 - 0.03x_2 - 0.01x_3 + 0.3x_4$	$Y = 8.4 - 0.01x_1 + 0.08x_2 - 0.01x_3 + 0.22x_4$
Julho	$Y = 29.91 - 0.07x_1 - 0.03x_2 - 0.01x_3 + 0.42x_4$	$Y = 7.51 - 0.01x_1 + 0.11x_2 - 0.01x_3 + 0.31x_4$
Agosto	$Y = 31.89 - 0.07x_1 - 0.05x_2 - 0.01x_3 + 0.39x_4$	$Y = 6.48 - 0.01x_1 + 0.12x_2 - 0.01x_3 + 0.35x_4$
Setembro	$Y = 26.92 - 0.04x_1 - 0.01x_2 + 0.01x_3 + 0.3x_4$	$Y = 5.41 - 0.01x_1 + 0.12x_2 - 0.01x_3 + 0.34x_4$
Outubro	$Y = 22.62 - 0.12x_1 - 0.01x_3 + 0.19x_4$	$Y = 3.49 - 0.01x_1 + 0.13x_2 + 0.28x_4$
Novembro	$Y = 18.04 - 0.01x_1 + 0.01x_2 - 0.01x_3 + 0.08x_4$	$Y = 1.05 - 0.01x_1 + 0.12x_2 + 0.21x_4$
Dezembro	$Y = 14.28 + 0.01x_2 - 0.01x_3 + 0.03x_4$	$Y = 2.29 - 0.01x_3 + 0.12x_2 + 0.21x_4$

Quadro 3.3 — Equações das rectas de regressão múltipla entre as temperaturas (Y), o factor latitudinal (x_1), o factor longitudinal (x_2), a altitude (x_3) e a distância ao litoral (x_4).

As constantes a_1 , a_2 , etc. revelam quais as variáveis de maior peso na regressão, isto é, no caso presente, as variáveis geográficas de maior influência na repartição espacial das temperaturas, em cada mês. Quando os valores absolutos das variáveis explicativas são muito diferentes, os coeficientes são normalizados.

(*) Este tipo de problema ganharia com a utilização daquilo a que J. THIOULOUSE e D. CHESSEL (1987) referiram como «analyse multitableaux» e que aplicaram a problemas de Ecologia. Esta técnica é complementar da análise de regressão múltipla, pois permitiria descrever a evolução, de mês para mês, das influências dos vários factores geográficos nas temperaturas.

Os coeficientes de correlação de cada variável com a temperatura, assim como os coeficientes de correlação múltipla registaram-se no Quadro 3.4; os valores normalizados dos coeficientes a_1 , a_2 , a_3 e a_4 (respectivamente β_1 , β_2 , β_3 , β_4) foram também anotados.

Observa-se que o modelo é mais adequado para o estudo das temperaturas máximas do que para o das mínimas. Para as máximas os coeficientes de correlação múltipla (r) são sempre superiores a 0.89, excepto em Dezembro ($r=0.82$). As mínimas dependem também fortemente de outros factores provavelmente não quantificados neste modelo, sendo mais baixos os coeficientes de correlação múltipla ($0.63 \leq r \leq 0.8$, Quadro 3.4).

Dadas as reduzidas dimensões da área, é praticamente nula a influência da latitude. Os coeficientes de correlação parciais são quase sempre próximos de 0, aumentando ligeiramente, porém, nos meses de Verão ($r=0.15$ em Julho e Agosto para as máximas e 0.1 em Julho para as mínimas).

TEMPERATURA MÁXIMA MÉDIA						TEMPERATURA MÍNIMA MÉDIA					
coef. correlação entre Y e						coef. correlação entre Y e					
	x_1	x_2	x_3	x_4	corr. múlt.		x_1	x_2	x_3	x_4	corr. múlt.
Ja	-0.03	-0.30	-0.90	0.29	0.93	Ja	0.03	0.70	-0.20	-0.50	0.80
F	-0.03	-0.59	-0.90	0.52	0.95	F	0.05	0.66	-0.12	-0.50	0.79
Mç	-0.02	-0.69	-0.76	0.66	0.90	Mç	0.06	0.48	-0.19	-0.36	0.67
Ab	-0.01	-0.78	-0.69	0.74	0.91	Ab	0.07	0.38	-0.32	-0.25	0.68
Mi	-0.16	-0.81	-0.53	0.77	0.90	Mi	0.07	0.22	-0.39	-0.11	0.63
Jn	-0.10	-0.80	-0.54	0.79	0.91	Jn	0.03	0.11	-0.47	0.01	0.65
Jl	-0.15	-0.82	-0.47	0.80	0.90	Jl	0.10	0.11	-0.44	0.05	0.69
Ag	-0.15	-0.86	-0.44	0.83	0.92	Ag	0.08	0.16	-0.36	0.02	0.67
S	-0.10	-0.80	-0.50	0.79	0.89	S	0.08	0.29	-0.21	-0.09	0.64
O	0	-0.70	-0.60	0.76	0.89	O	0	0.51	-0.02	-0.34	0.66
N	-0.08	-0.53	-0.80	0.48	0.93	N	-0.03	0.61	0.01	-0.48	0.69
D	-0.03	-0.23	-0.82	0.19	0.82	D	-0.01	0.63	0.09	-0.49	0.68
	β_1	β_2	β_3	β_4			β_1	β_2	β_3	β_4	
Ja	-0.10	0.09	-0.92	0.13	Ja	-0.03	1.40	-0.34	0.64		
F	-0.11	-0.05	-0.81	0.27	F	0	1.30	-0.43	0.50		
Mç	-0.14	-0.04	-0.62	0.48	Mç	-0.01	1.22	-0.45	0.63		
Ab	-0.13	-0.21	-0.50	0.40	Ab	-0.03	1.23	-0.56	0.73		
Mi	-0.28	-0.25	-0.31	0.50	Mi	-0.05	1.14	-0.59	0.79		
Jn	-0.26	-0.21	-0.32	0.56	Jn	-0.11	1.14	-0.63	0.89		
Jl	-0.29	-0.17	-0.25	0.63	Jl	-0.07	1.36	-0.62	1.14		
Ag	-0.28	-0.28	-0.20	0.57	Ag	-0.10	1.47	-0.55	1.22		
S	-0.26	-0.11	-0.30	0.65	S	-0.09	1.50	-0.43	1.20		
O	-0.14	-0.04	-0.46	0.62	O	-0.11	1.47	-0.29	0.90		
N	-0.18	0.09	-0.82	0.38	N	-0.10	1.28	-0.28	0.63		
D	-0.03	0.22	-0.86	0.16	D	-0.07	1.23	-0.19	0.60		

Quadro 3.4 — Coeficientes de correlação e coeficientes de regressão normalizados (β) do modelo de regressão múltipla entre as temperaturas (Y), a latitude (x_1), a longitude (x_2), a altitude (x_3) e a distância ao litoral (x_4).

É interessante notar a influência da altitude na diminuição das temperaturas máximas: a correlação entre a altitude e a temperatura máxima é sempre superior a -0.8 nos meses de Inverno, descendo para

-0.5 no Verão. Deve ter-se, no entanto, em conta, que a falta de postos de observação nas colinas a Norte de Lisboa e nos outros relevos da Estremadura, não permite uma análise segura da acção deste factor climático.

A temperatura mínima varia menos em função da altitude, sobretudo no Inverno (valores baixos dos coeficientes de correlação e de β no Quadro 3.4. Mesmo na estação quente, o coeficiente de correlação (r) nunca ultrapassa 0.47 (no mês de Junho).

A longitude (e o seu complemento: a distância ao mar), tem maior importância na variação da temperatura máxima de Verão, em que o gradiente térmico W-E é muito forte. A diminuição da temperatura mínima para o interior é forte de Novembro a Fevereiro, mas os coeficientes de correlação dos outros meses são bastante menores (Quadro 3.4).

Os coeficientes β confirmam que a distribuição espacial das temperaturas máximas depende principalmente da altitude de Novembro a Março (ou mesmo Abril), da distância ao mar de Maio a Outubro, sendo a influência da posição latitudinal fraca e não detectável nos mapas da distribuição espacial da temperatura máxima dos meses de Verão (fig. 3.19). A temperatura mínima fica imperfeitamente analisada por este modelo, a melhorar com a introdução de novas «variáveis explicativas» de carácter local. As mínimas médias não variam, no Verão, de Sul para Norte do espaço estudado. É a altitude que provoca o arrefecimento das noites de Verão, enquanto a distância ao litoral é, no Inverno, o factor geográfico que mais importância tem na diminuição dos mínimos de W para E.

Devido a dificuldades de expressão em termos quantitativos, nem o efeito urbano nem a posição topográfica foram introduzidos no modelo de regressão múltipla, como variáveis explicativas. A análise dos resíduos (diferença entre o valor real e o valor estimado pelo modelo) e de mapas de Verão e de Inverno, apresentados a título de exemplo, confirmam a importância daqueles factores nas temperaturas máximas e, sobretudo, nas mínimas (fig. 3.17 e 3.18).

b) Distribuição geográfica dos resíduos.

No caso das temperaturas máximas, os resíduos são frequentemente negativos no litoral, sobretudo no Verão, devido à influência directa das águas frescas oceânicas causadoras de nevoeiros ao longo do litoral (fig. 3.17). Notar também, no Verão, as temperaturas baixas da estação de Águas de Moura, já evidenciada pela análise em componentes principais, (situada próximo do estuário do Sado e num largo fundo de vale, onde se procedeu à cultura de arroz durante o funcionamento da estação, hoje extinta) e, menos frequentemente, Pegões (relativa proximidade do mesmo estuário). Em Salvaterra de Magos, também numa área de arrozais, os resíduos são frequentemente negativos no Verão (a forte evaporação provocará, tal como em Águas de Moura, sistemáticas diminuições de temperatura). Lisboa/Tapada apresenta resíduos positivos praticamente todo o ano, como já foi assinalado, provavelmente devido às condições particularmente favoráveis de exposição e abrigo da estação meteorológica. A brevidade do período de observação impede a interpretação dos resíduos positivos do Seixal.

Os mais elevados resíduos positivos das temperaturas mínimas encontram-se, no Inverno, fundamentalmente nas estações do litoral Oeste e em Lisboa, passando, no Verão, para estações mais meridionais das proximidades de Lisboa (à excepção de Cabo Carvoeiro). Os desvios positivos de Lavradio são notáveis, mas difíceis de explicar. Voltar-se-á a este assunto a propósito dos dados diários.

São os locais em posição ligeiramente deprimida (Sintra/Granja, Sesimbra/Maçã, Salvaterra de Magos) ou num fundo de vale (Vimeiro) que apresentam sistematicamente os mais fortes resíduos negativos (fig. 3.18), tanto no Verão como no Inverno. Em Colares, as temperaturas mínimas são mais

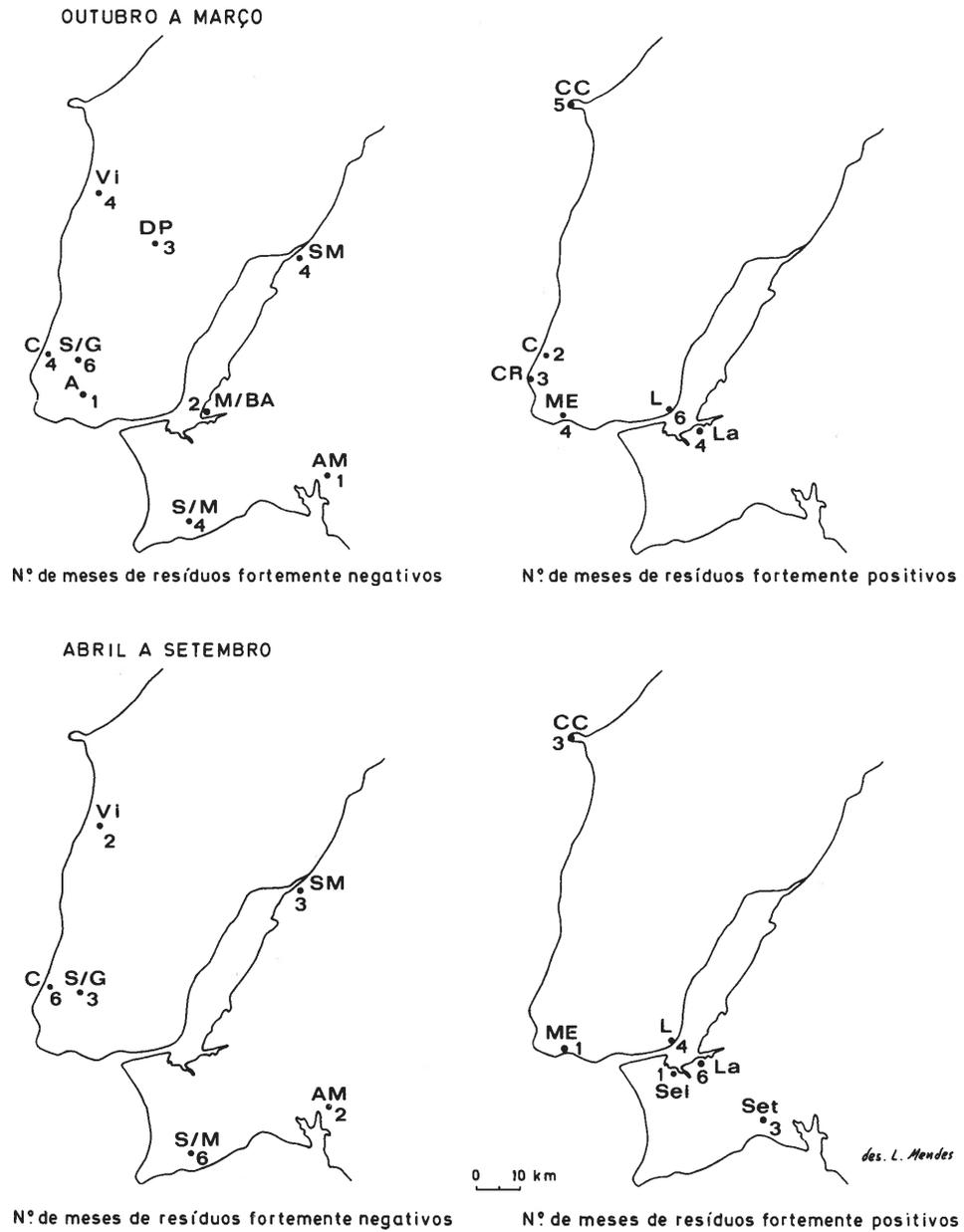


Fig. 3.17 — Número de meses de fortes resíduos de temperatura máxima média mensal em cada semestre (explicações no texto).

baixas do que previsto, provavelmente devido ao seu relativo abrigo do oceano — próximo — assim como à sua localização na vertente Norte da Serra de Sintra. A posição de Sesimbra/Maçã, na vertente Norte da Arrábida, pode aliar-se à posição topográfica ligeiramente deprimida, para que a estação apresente valores excepcionalmente baixos: as mínimas mais baixas do espaço estudado.

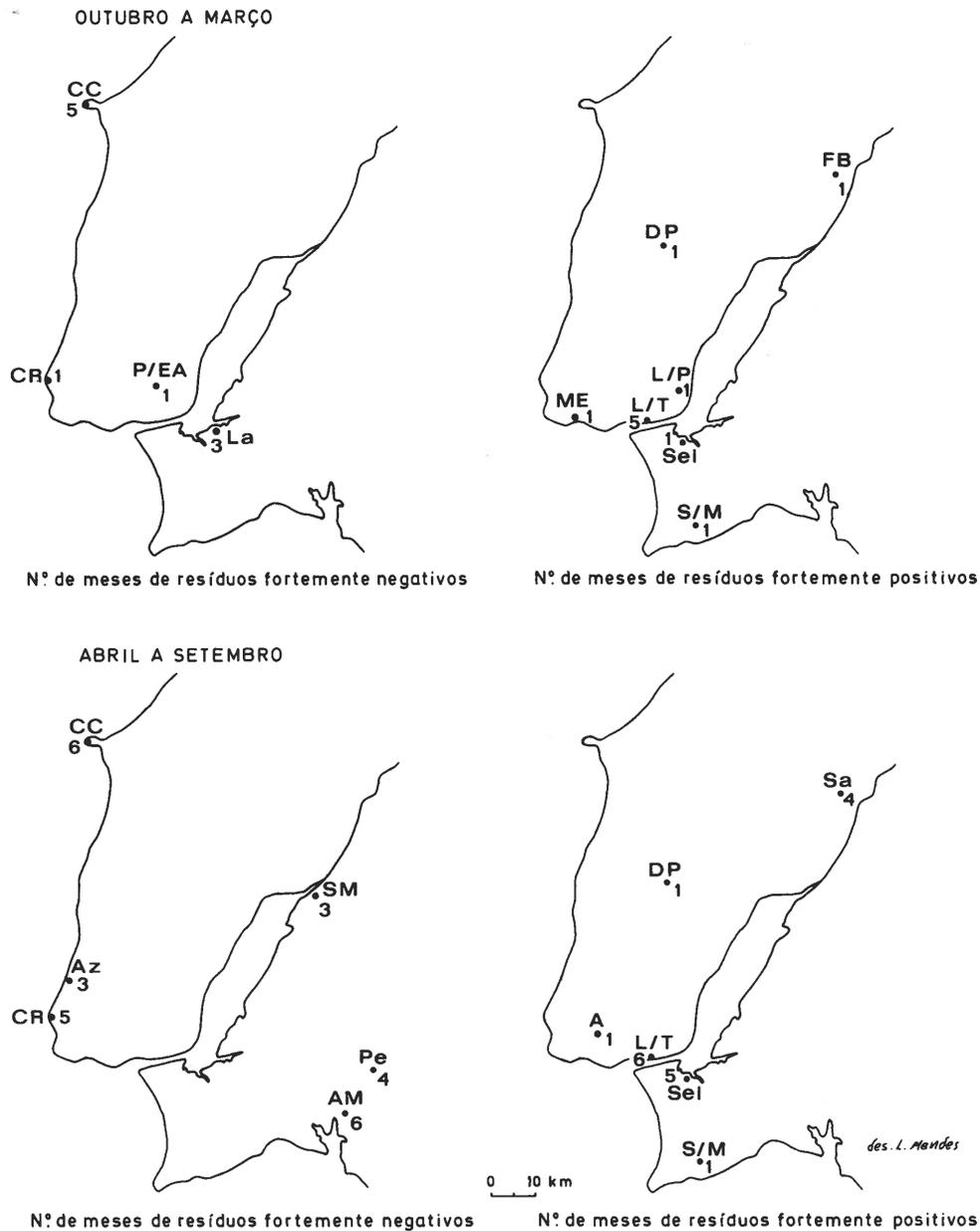


Fig. 3.18 — Número de meses de fortes resíduos de temperatura mínima média mensal em cada semestre (explicações no texto).

Para sintetizar e concretizar os resultados até aqui apresentados, elaboraram-se 4 mapas das temperaturas máxima e mínima de meses de Verão e de Inverno (fig. 3.19). Escolheram-se os meses cujas coordenadas para F_2 são mais fortes (positivas ou negativas) e que representam, portanto, as repartições térmicas mais contrastadas dos períodos frio e quente do ano (projecção dos meses no plano 1-2, fig. 3.14).

Na execução dos mapas, usaram-se classes de 1 ou 2°C de amplitude. O traçado dos limites foi feito a partir dos dados das estações meteorológicas e tendo em conta o relevo. Foi no mapa das temperaturas máximas médias de Dezembro que se levou mais longe a interpolação, devido aos elevados valores dos coeficientes de correlação entre altitude e temperaturas máximas de Inverno. Volta-se, no entanto, a referir as dificuldades de representação cartográfica devidas à falta de estações meteorológicas na maior parte dos relevos. Por isso, aproveitaram-se os 9 anos de funcionamento da estação Lisboa/Monsanto, na colina do mesmo nome a cerca de 200 metros de altitude. Indagou-se se existia uma relação linear entre as temperaturas deste local de observação e Lisboa (Geofísico), visto Lisboa/Tapada — mais próxima — não funcionar ainda entre 1940 e 1949. No caso das temperaturas máximas médias, o coeficiente de correlação (Quadro 3.5) é significativo e superior a 0.79 para todos os meses excepto Fevereiro e Abril. Para as mínimas, o coeficiente de correlação apenas é significativo para Janeiro e Fevereiro. As equações das rectas de regressão, anotadas no Quadro 3.6, permitiram calcular as temperaturas de Monsanto, nos meses em que o coeficiente de correlação era significativo. Os valores assim determinados foram utilizados nos mapas, mas não foram introduzidos no modelo de regressão.

Não se deve perder de vista que se analisam valores médios e que, em situações particulares, a repartição das temperaturas pode ser diferente daquela que é aqui apresentada. Tudo depende da trajectória e características das massas de ar, nas várias ocasiões.

Os quatro mapas ilustram as oposições sugeridas pelas análises em componentes principais e as regressões múltiplas. Os mapas das máximas de Agosto e das mínimas de Dezembro (fig. 3.19), documentam a influência do factor «distância ao mar» (coeficientes de correlação respectivamente de 0.8 e -0.5). No primeiro caso, o gradiente térmico E-W é forte, principalmente no Verão, em que se passa de valores próximos de 20°C junto ao litoral ocidental para mais de 30°C, a oriente. Este aumento será provavelmente interrompido, nas maiores elevações, tal como se esboçou na figura 3.19a. Mas nos vales de orientação W-E ou mesmo em portelas entre duas colinas em que é fácil a penetração de ar fresco e húmido para leste (ex: no vale a norte de Sintra/Granja), a temperatura conserva-se bastante mais baixa do que nas elevações vizinhas (S. DAVEAU, 1980, p. 25).

	S	O	N	D	Ja	F	Mç	Ab	Mi	Jn	Jl	Ag
T.máx.	0.79	0.96	0.89	0.84	0.95	0.48	0.96	0.77	0.98	0.90	0.91	0.84
T.mín.	0.69	0.58	0.62	0.63	0.78	0.82	0.53	0.48	0.26	-0.02	0.40	-0.16

Quadro 3.5 — Coeficientes de correlação entre temperaturas máximas médias e mínimas médias de Lisboa (Geofísico) e Monsanto (só são significativos os valores superiores ou iguais a 0.79).

No Inverno, a diminuição W-E da temperatura mínima depende mais da posição topográfica do posto de observação, do que da sua distância ao mar (veja-se o valor de Vimeiro). Marcou-se, também, uma diminuição de temperatura mínima nos relevos mais elevados em Dezembro.

Estes padrões de repartição térmica espacial, de temperaturas máximas mais baixas no litoral e mínimas mais elevadas também junto à costa, são os mais conhecidos e os que, não raro, são generalizados a todas as situações.

É difícil analisar o efeito altitudinal na modificação das temperaturas. Com efeito, apenas Sintra/Pena está a uma altitude vizinha dos 500m e a escassos 10km da costa.

	Equação da recta	Diferença das médias Lisboa-Monsanto	T. Máx. Lisboa	T. Máx. Monsanto
S	$Y = -7.43 + 0.67x$	1.2	26.0	24.9
O	$Y = -0.47 + 0.95x$	1.6	22.7	21.1
N	$Y = -3.33 + 0.75x$	1.2	17.9	16.8
D	$Y = -2.88 + 0.73x$	1.0	14.6	13.5
Ja	$Y = -0.19 + 0.92x$	1.2	14.5	13.2
F		0.8		
Mç	$Y = -1.60 + x$	1.6	17.4	15.8
Ab		2.6	19.6	
Mi	$Y = -4.04 + 1.12x$	1.4	22.2	20.8
Jn	$Y = -2.68 + 0.84x$	1.5	25.1	23.8
Jl	$Y = -7.22 + 0.7x$	1.0	27.6	26.5
Ag	$Y = -4.66 + 0.78x$	1.6	28.0	26.5
	Equação da recta	Diferença das médias Lisboa-Monsanto	T. Min. Lisboa	T. Min. Monsanto
S				
O				
N				
D				
Ja	$Y = 3.23 + 0.44x$	1.3	8.1	6.8
F	$Y = 2.58 + 0.55x$	1.3	8.4	7.2
Mç				
Ab				
Mi				
Jn				
Jl				
Ag				

Quadro 3.6 — Equações das rectas de regressão entre os valores de temperatura de Monsanto (Y) e de Lisboa/Geofísico (x) e cálculo de (Y), nos meses em que o coeficiente de correlação é significativo (quadro 3.5).

Se se generalizassem as observações de Sintra/Pena, concluir-se-ia que, em certos dias de Verão, em que existe uma cunha de ar marítima pouco espessa, a temperatura máxima é mais alta a altitude relativamente elevada, do que junto ao litoral. No mapa das máximas de Agosto, sugeriu-se apenas uma ligeira diminuição nos topos do Montejunto e no extremo Sul do Maciço Calcário Estremenho baseada nas imagens em infra-vermelho térmico, obtidas via satélite, de 2 dias de Verão, analisadas por S. DAVEAU (1980, 1982). Embora se trate de duas imagens instantâneas, correspondem a situações relativamente frequentes e a interpretação da autora coincide, em traços largos, com a representação cartográfica sugerida pelos dados pontuais de que dispomos. É durante os dias de Inverno que a temperatura parece diminuir mais com a altitude (ver coeficientes de correlação, Quadro 3.4 e posição de Sintra/Pena na figura 3.13A), tendo-se expresso esta interpretação no mapa das temperaturas máximas médias de Dezembro (fig. 3.19b).

c) Os efeitos urbano e topográfico

A documentação disponível dificilmente permite analisar o efeito urbano, devido à já referida posição da estação de Lisboa, no Jardim Botânico. Apesar disso, o cálculo das diferenças de temperatura entre Lisboa e as estações meteorológicas vizinhas levou às seguintes conclusões:

— Em média, a cidade permanece, durante a noite, mais quente do que os arredores próximos, sendo esta diferença máxima no Inverno. A diferença média de temperatura entre Lisboa e as quatro estações dos limites da cidade (Lisboa/Portela, Cabo Ruivo, Paiã e Lisboa/Tapada) é de quase 1°C no Inverno e de cerca de 0.5°C no Verão (*). Ora, tal como foi dito, as temperaturas mínimas são mais altas no Verão, na região de Lisboa, do que no litoral ocidental (fig. 3.19c). No entanto, não parece ser nesta estação do ano que a ilha de calor urbano é mais intensa.

As mais altas temperaturas mínimas estivais na região de Lisboa não são, portanto, unicamente devidas ao efeito urbano, mas à posição regional da aglomeração, a uma certa distância, e relativamente isolada do oceano por obstáculos não muito altos, mas numerosos. Por isto, e pela sua exposição aos ventos do quadrante Este, Lisboa permanece, nas noites de Inverno, mais fria do que o litoral ocidental. As diferenças de temperatura mínima seriam certamente bem maiores, na ausência da cidade. (Vejam-se as diferenças Cabo Ruivo-Cabo da Roca e Lisboa-Cabo da Roca, no Quadro 3.2).

— As temperaturas máximas da cidade (ou melhor, do Jardim Botânico) são quase sempre mais baixas do que nas estações dos arredores. As diferenças negativas de temperatura entre a cidade e os arredores próximos são, no entanto, menores em valor absoluto do que as diferenças (positivas) das temperaturas mínimas (sempre $\geq 0.5^\circ\text{C}$). As temperaturas relativamente baixas de Lisboa/Geofísico poderão corresponder a um efeito puramente local (as perdas de calor para a evapotranspiração, por exemplo), ou então, traduzir o menor aquecimento da cidade devido a advecções de massas de ar mais frescas (do rio Tejo, do Oceano), mas que deveriam também afectar Lisboa/Tapada e Cabo Ruivo, ou à diminuição da radiação solar dependente da grande concentração de poluentes na cidade. Voltar-se-á a este assunto na Parte II.

A posição topográfica deprimida do local de observação actua no mesmo sentido do que a distância ao litoral na diminuição da temperatura mínima e provoca fortes diminuições de temperatura, mesmo nas proximidades do Oceano, como já se comentou ao referir as temperaturas mínimas de Vimeiro e de Sesimbra/Maçã.

3 — Resumo e conclusões

3.1 — *A evolução da temperatura*

Antes de iniciar o estudo das séries de temperaturas máximas e mínimas de 28 estações da região de Lisboa, para o período de 1947/48 a 1974/75, indaga-se a existência de variações climáticas durante os últimos 125 anos, em relação aos quais se dispõe de séries longas e fiáveis da estação de Lisboa, no Instituto Geofísico.

Foram apresentadas várias técnicas e apenas tidos como seguros os resultados convergentes obtidos de modos diversos. Para escapar, em certa medida, ao carácter abstracto das médias anuais, trataram-

(*) Voltar-se-á a este assunto no início do capítulo 6.

-se, em maior detalhe, as temperaturas máximas médias do mês mais quente e as mínimas médias do mês mais frio. Conclui-se ter havido um aumento global, mas muito irregular, de temperatura. As variações das temperaturas máximas e mínimas não foram paralelas. Assim, os valores de temperatura máxima mais elevada ocorreram na década 35-45, assim como em muitos outros locais da Europa. Os valores mais altos da temperatura mínima observaram-se mais cedo, nos anos 10-20 deste século, tendo uma ligeira diminuição posterior sido seguida de um novo aumento, recente. O aumento teórico de temperatura (tanto máxima de Verão como mínima de Inverno) foi o mesmo: 1.2°C. As séries estudadas englobam portanto o fim do período de máximas mais elevadas e situam-se posteriormente ao período de mínimas mais altas. Devido às grandes variações inter-anuais, foi possível compilar uma amostragem de anos bastante contrastados. A comparação dos desvios à média de 12 das 28 estações utilizadas, revelou que a evolução térmica se faz paralelamente em todos os locais, excepto no Cabo Carvoeiro.

O aumento da temperatura mínima média anual é praticamente insignificante, sendo, pelo contrário, muito forte a elevação dos valores de temperatura máxima média anual; isto pressupõe um grande aumento das temperaturas máximas nos meses de Inverno e nas estações intermédias.

3.2 — *O regime mensal da temperatura em Lisboa (Geofísico)*

Antes ainda de passar ao estudo regional, são apresentados, para cada década, parâmetros de tendência central (média e mediana, muito próximos, visto que a distribuição se assemelha a uma distribuição normal) e de dispersão (desvio-padrão) das temperaturas em Lisboa. As frequências de ocorrência dos vários valores de temperatura estão sintetizados em calendários de probabilidade. Assim, delimitou-se o período mais quente do ano entre 11 de Julho e 1 de Setembro (mediana $\geq 26^{\circ}\text{C}$); neste, as temperaturas máximas superiores a 32°C têm uma representatividade de mais de 5%, e as $\geq 30^{\circ}\text{C}$, de quase 20%. A dispersão das mínimas de Verão é menor: 90% dos valores centrais estão compreendidos entre 16 e 20°C (respectivamente 22 e 32°C para as máximas). Entre 1 de Julho e 1 de Setembro, há 10% de noites «quentes» (de mínimas superiores a 20°C), e, em 30% dos casos, a temperatura não alcança, de noite, 16°C . A amplitude térmica é elevada: em 10% dos dias é $\leq 14^{\circ}\text{C}$ e é inferior a 6°C em 10% do extremo oposto da distribuição.

A diminuição das temperaturas máximas, no fim do Verão, é mais precoce do que a das mínimas e o arrefecimento outonal é rápido. Chamou-se à atenção para o «Verão de S.Martinho», que adquire significado estatístico a partir de uma determinada amostragem de temperaturas máximas.

O Inverno, ou melhor, o período do ano de maior frequência de temperaturas baixas é curto: de meados de Dezembro até ao fim de Janeiro. A 1 de Janeiro, a mediana das temperaturas mínimas é de cerca de 7°C , há 15% de probabilidades de estas ultrapassarem 10°C e também 15% de serem inferiores a 4°C . A mediana das máximas é de cerca de 13°C , o primeiro decil de 10°C e o último de 16°C , o que quantifica também, tal como o desvio-padrão que é de 2.8°C , a fraca dispersão dos valores. No Verão o desvio-padrão é superior a 4°C .

O aumento das máximas inicia-se a meados de Fevereiro, enquanto as mínimas permanecem baixas até ao início de Março. A subida de temperatura primaveril é mais lenta e irregular do que a descida no Outono, referindo-se as principais irregularidades ao mês de Abril.

No Outono e sobretudo na Primavera, os riscos de geadas respectivamente precoces e tardias são fracos. O estudo da data de ocorrência de temperaturas mínimas inferiores a 5°C (que corresponderão a valores próximos de 0 graus junto ao solo e à possibilidade de ocorrência de geadas) revelou que estas são muito raras (frequência $\leq 5\%$) até meados de Novembro, e a partir do mês de Abril.

E, mesmo no coração do Inverno, nunca há mais de 35% de probabilidade de ocorrência de 5 dias seguidos com aquele valor de temperatura mínima.

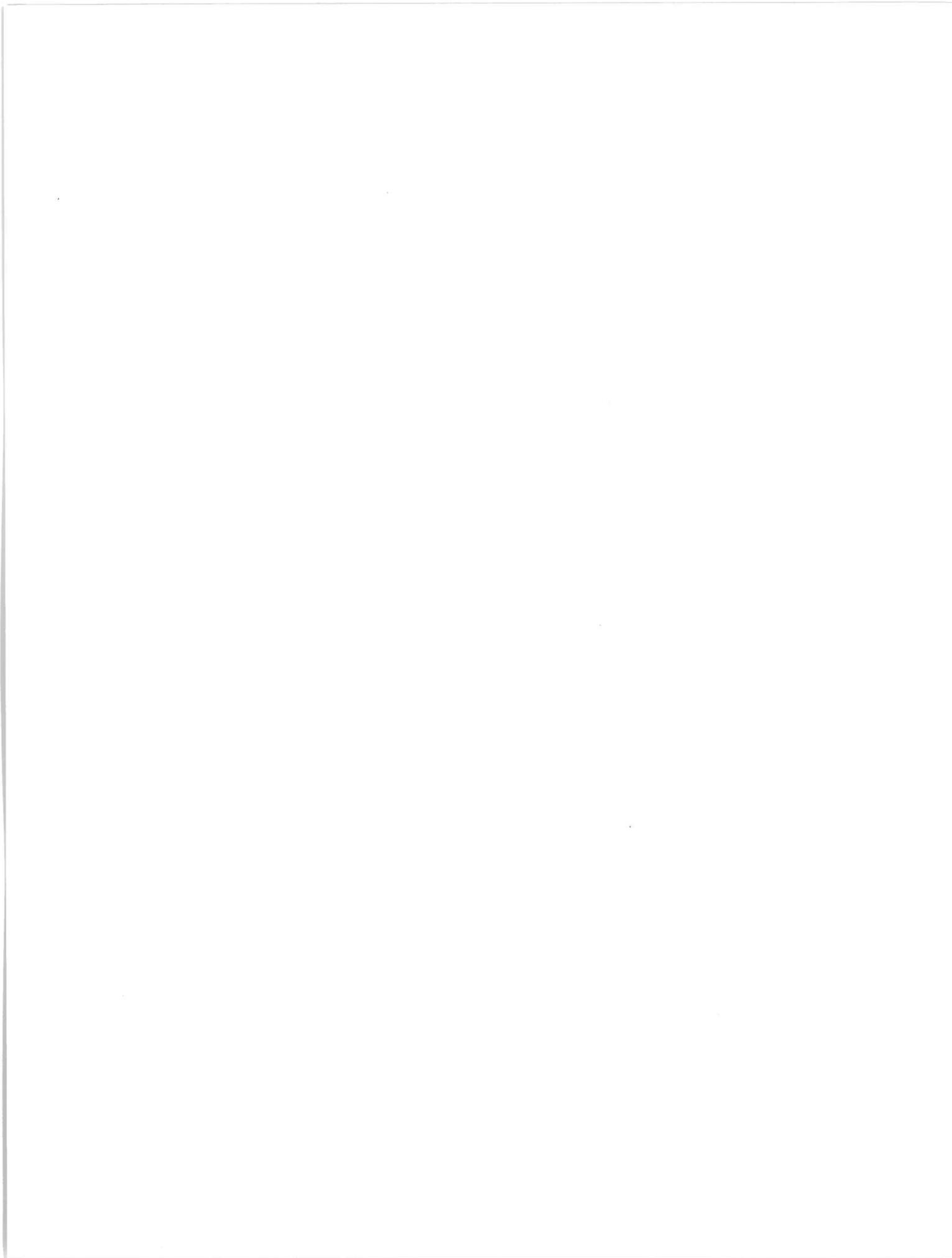
3.3 — *Distribuição espacial da temperatura*

A partir de uma análise em componentes principais, as estações meteorológicas foram ordenadas em função das suas médias de temperatura máxima e mínima e, dentro de cada conjunto, segundo as particularidades dos seus regimes térmicos. Foram utilizadas regressões múltiplas para quantificar a variação das temperaturas máximas e mínimas em função da distância ao litoral, da altitude e da latitude. Embora alguns dos resultados sejam comuns, as duas técnicas revelaram-se complementares, uma vez que a primeira sintetiza a informação contida nas matrizes iniciais e a segunda precisa o papel de cada factor geográfico, a vários momentos do ano. A variação latitudinal não tem praticamente influência na temperatura (coeficientes de correlação $(r) \leq 0.15$). A distância ao mar é muito importante no Verão no aumento da temperatura máxima de W para E ($r \sim 0.8$) e, no Inverno, na diminuição da temperatura do litoral para o interior ($r \sim -0.5$). Tanto quanto se pode depreender da documentação disponível (estação de Sintra/Pena), a influência da altitude é mais forte durante os dias de Inverno ($r \sim -0.9$), do que nos dias (e noites) de Verão, ($r \sim -0.5$) e tem muito pouca importância no caso das mínimas de Inverno ($r \sim 0.2$).

O estudo da repartição geográfica dos resíduos auxiliou a determinação da variação no espaço e no tempo dos outros factores geográficos não tomados em conta pelo modelo. Os resultados foram sintetizados em quatro mapas térmicos contrastados.

Se o efeito urbano parece ser nulo durante o dia, havendo mesmo uma diminuição de temperatura em Lisboa/Geofísico, a cidade provoca um aumento das temperaturas mínimas, maior no Inverno do que no Verão. Comenta-se a aparente contradição entre estas circunstâncias e o facto de, no Inverno, a cidade estar mais fresca que o litoral ocidental, tal como se pode observar nos mapas apresentados como exemplo.

A posição topográfica deprimida do local de observação provoca uma forte diminuição da temperatura mínima, principalmente no Inverno, mas também no Verão: os mapas dos resíduos negativos das temperaturas mínimas são elucidativos a este respeito.



CAPÍTULO 4

OS DADOS DIÁRIOS

1 — Amostragem e técnica de tratamento

As médias mensais e anuais, fáceis de manusear, apresentam, de modo estático, as variáveis climáticas, empobrecendo a informação nelas contida, tal como foi referido, em várias ocasiões, no capítulo anterior.

Para se conseguir uma mais concreta aproximação da realidade, recorre-se, agora, aos dados diários.

A sucessão dos valores quotidianos dos vários elementos meteorológicos tem a vantagem de mais facilmente ser relacionada com a sucessão das situações aerológicas (uma vez que estas têm uma apresentação diária), dando uma dimensão dinâmica e explicativa do clima, na sua diversidade temporal e geográfica.

Para a utilização de dados diários, impõem-se decisões de várias ordens, no sentido de obter os melhores resultados, limitando o mais possível o volume de dados a tratar.

A referida aproximação da realidade (climática) foi feita inicialmente por intermédio das temperaturas máximas e mínimas, que foram tratadas separadamente. Constituíram-se matrizes separadas de temperaturas máximas e mínimas (em coluna as estações meteorológicas e em linha os dias escolhidos). Posteriormente, outros elementos foram anotados, de modo a definir os estados do tempo.

O segundo problema a resolver foi o do período a estudar. Coligiram-se valores relativamente recentes, dada a maior facilidade na sua obtenção e tendo particular atenção em incluir os dias em que foram executadas observações itinerantes, de forma a que estas pudessem ser situadas com rigor, tal como à frente será exposto. Decidiu-se, também, eliminar os períodos de transição (Primavera e Outono) e centrar a análise sobre o Verão e o Inverno, remetendo para mais tarde o alargamento do estudo ao Outono e à Primavera. Para o Verão, delimitado entre 15 de Junho e 15 de Setembro, utilizaram-se dados de 237 noites (temperatura mínima) e de 249 dias (temperatura máxima), enquanto se trataram valores de 249 noites e 234 dias de Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Tanto no Inverno como no Verão, há cerca de 220 dias comuns às máximas e às mínimas, tendo os restantes sido escolhidos em função das já referidas medições de campo (Quadro 4.1).

Quanto às estações meteorológicas, utilizaram-se todas as que tinham dados disponíveis no período escolhido. Das estações do capítulo 3, foram eliminadas (por terem deixado de funcionar) Azenhas do Mar, Sintra, Sintra/Pena, Albarraque, Paiã, Seixal, Águas de Moura e Sesimbra/Maçã; Monte Estoril, extinta em 1970, foi substituída por Estoril (perto da praia de S. João). Devido a frequentes falhas nos dados de Setúbal e Lavradio, estas estações não foram utilizadas no caso das temperaturas máximas de Verão, e Setúbal, no das mínimas. Dois Portos também não foi usada no Inverno. Alverca e Sacavém, cujas séries, demasiado curtas, não tinham ainda sido utilizadas, foram agora incluídas.

Verão		Inverno	
Temp. máxima	Temp. mínima	Temp. máxima	Temp.mínima
15/ 6/83 a 15/ 9/83 15/ 6/84 a 15/ 9/84 14 a 22/ 7/81 3 e 4/ 8/81 14 e 15, 20 a 22/10/81	26 a 31/ 7/81	1/12/83 a 1/ 3/83 1/12/83 a 29/ 2/84	1 e 2/ 3/84 6 a 18/12/84 8 a 12/ 1/85 31/ 1 e 1/ 2/85 10 a 31/ 1/86 13 a 27/ 2/86 11 a 18/12/86
8 a 27/ 8/82 30 e 31/ 8/82 1 a 5/ 9/82 12 a 15/ 9/82 15 a 29/ 9/83 1 e 2/ 8/85 16 a 18/ 9/84 15 a 17/10/84			
Total 249	Total 237	Total 234	Total 249

Quadro 4.1 — Dados diários utilizados.

Deste modo, prepararam-se quatro matrizes de 19 colunas (estações) e 249 linhas (dias) para as temperaturas máximas de Verão, 20×237 para as mínimas de Verão, 19×234 para as máximas de Inverno e 20×249 no caso das mínimas de Inverno.

Restava resolver como tratar este grande volume de dados, sintetizando a informação contida nas várias matrizes. A escolha final foi fundamentalmente entre uma classificação hierárquica ascendente, frequentes vezes aplicada a dados climáticos (P. CARREGA, 1982; M. J. ALCOFORADO, 1986) e uma análise em componentes principais, pela qual se optou. A classificação automática, na qual se inclui a classificação hierárquica ascendente, agrupa os indivíduos a partir da variação de todos os seus caracteres. Ora, há uma parte por vezes importante da variação que não é interpretável (pelo menos de momento) e corresponde ao ruído. As análises factoriais analisam esta variação passo a passo, por grupos de características de ordem de importância decrescente. Os primeiros factores, que «explicam» as mais fortes fracções da variação (variância) total são, na maior parte dos casos, interpretáveis. A sua interpretação conduz, por um lado, à verificação de certos resultados esperados, aos quais se confere uma validação estatística. Por outro lado, ela pode revelar certas particularidades, que a complexidade das interacções entre variáveis não deixa transparecer, a não ser que se possua, à priori, um profundo conhecimento do espaço estudado. A análise em componentes principais proporciona também um fio condutor para posteriores investigações, utilizando outros métodos e técnicas. Ao isolar os casos originais, este tipo de análise permite confirmar, ou não, certas «anomalias» (que, às vezes, não são mais do que características desconhecidas) e denuncia os erros eventualmente cometidos quando da constituição dos ficheiros de dados, que atempadamente podem ser corrigidos.

Notar que este método se fundamenta em analogias de comportamento dos «indivíduos».

Utilizou-se para o tratamento dos dados um programa da Universidade de Paris IV em linguagem Fortran (*).

2 — A Catalogação dos dias

Uma vez executado o tratamento estatístico de que à frente se apresentam os resultados, revelou-se necessária a catalogação dos dias, em função de vários elementos aerológicos, com vista ao estabelecimento de relações entre estes e a repartição espacial das temperaturas, à semelhança do que foi feito em Marrocos e nos Alpes (H. DELANNOY e M. LECOMPTE, 1975; J. RONCHAIL e M. LECOMPTE, 1981).

Uma análise quotidiana foi levada a cabo com base no Boletim Meteorológico, editado pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica; recorreu-se ao Boletim Meteorológico Europeu, em casos de dúvida na determinação da direcção do fluxo superficial e ao Boletim Meteorológico Diário espanhol, para a consulta das cartas das isoipsas da superfície isobárica de 850 hPa.

Foram anotados, para cada dia:

a) Situação sinóptica à superfície às 0 e às 12h

Foi dado especial relevo aos anticiclones, devido à estreita relação destes aparelhos isobáricos com a repartição das temperaturas e com os ventos superficiais. Não se pretende aqui uma caracterização minuciosa dos diversos anticiclones, mas fundamentalmente indicar a sua origem (atlântica ou continental) e a sua disposição em relação à área estudada.

A consulta dos trabalhos de J. MOUNIER (1979) e, sobretudo, de A. e D. de BRUM FERREIRA (1983), C. RAMOS (1986) e J. VENTURA (1986) para os quais se remete o leitor, levou a distinguir quatro tipos de anticiclones atlânticos e três continentais, agrupando algumas das classes propostas pelos últimos autores; simplificou-se, também, a classificação das situações depressionárias. Apresenta-se seguidamente uma breve caracterização de cada número de código utilizado no preenchimento dos quadros.

Código 1 — Anticiclone atlântico subtropical (ou «Anticiclone dos Açores»): anticiclone dinâmico e homogéneo, composto por ar quente e subsidente, podendo apresentar uma inversão térmica baixa, devido ao arrefecimento das camadas superficiais pelas águas frias oceânicas. A faixa costeira ocidental de Portugal é, não raro, afectada pela margem oriental deste anticiclone. No Verão, é frequente a presença simultânea de uma depressão de origem térmica no interior da Península Ibérica, caso que se indica por código especial (8').

Código 2 — Anticiclone atlântico misto: anticiclone composto em superfície por ar polar marítimo e, em altitude, por ar quente tropical, subsidente.

Com uma forte inversão térmica (a cerca de 3000 m), a pressão no seu centro é sempre mais elevada do que no centro do anticiclone subtropical. Quando Portugal está em situação de margem deste anticiclone, o fluxo geral provém de N ou de NW (às vezes de W). Na mesma categoria foi incluído o anticiclone atlântico zonal, devido às descargas de ar frio à superfície, depois da passagem de uma família de depressões.

(*) Este programa foi melhorado recentemente pelo Doutor J. M. Comminges e foi-me amavelmente cedido pela Doutora Lena Sanders e pelo Professor Michel Lecompte (Universidade de Paris VII); agradeço também a este último a leitura, sugestões e críticas referentes a este e outros capítulos.

Código 3 — Anticiclone atlântico misto com apófise polar: anticiclone misto que se desenvolve segundo os meridianos, sendo então alimentado por ar polar ou mesmo ártico. O ar tem tendência a tornar-se convectivo, à medida que se desloca para Sul, devido a um aquecimento pela base.

Código 4 — Anticiclone de raiz atlântica, prolongando-se pela Europa Ocidental, ligado no Inverno ao anticiclone térmico Europeu, de eixo NE-SW ou E-W, constituído por massas de ar polar continentalizadas ou mesmo continentais.

Código 5 — Anticiclone continental Europeu: Em circulação meridiana, desenvolve-se frequentemente um anticiclone continental dinâmico, centrado sobre a Europa Ocidental e que perdeu características atlânticas devido à longa permanência sobre o continente Europeu. Portugal recebe fluxo do quadrante E, frio ou quente, consoante a estação do ano.

Código 6 — Anticiclones ibero-africano e ibero-mediterrâneo: O eixo do primeiro alonga-se de Norte para Sul, o do segundo de Oeste para Este. O primeiro é constituído por ar quente e seco tropical, que chega a Portugal de Sul ou SE, enquanto na circulação do anticiclone ibero-mediterrâneo são transportadas massas de ar mais húmido. Em função das diferenças de repartição das temperaturas quando da ocorrência de cada um dos anticiclones, estes foram posteriormente separados.

As situações depressionárias (Códigos de 7 a 10) são subdivididas em Centro depressionário (7), Depressão na Península Ibérica (8) (*), perturbações próximas e afastadas (9 e 10).

São agrupadas numa mesma classe as situações de pântano barométrico ou colo (Código 11), sendo a classe 12 reservada para as situações, cuja catalogação deixa muitas dúvidas e para os casos de transição. Devido à grande percentagem destas situações de «transição» (sobretudo no Verão), operou-se uma segunda catalogação dos dias de Verão, com base numa tipologia, em que se introduziram três tipos de situações «mistas»; nas duas primeiras, a região em estudo encontrava-se em zona de forte gradiente barométrico, passando-se o contrário no terceiro caso:

— Anticiclone no atlântico e depressão no interior da Península Ibérica ou na Europa Ocidental. Este tipo de organização dos organismos isobáricos mantém-se, pelo menos, até 50° de latitude Norte, sendo o fluxo geral à superfície de NE, N ou NW.

— Anticiclone Europeu ou no Mediterrâneo ocidental e depressões no Atlântico oriental, provindo o fluxo geral de SE, Sul ou SW.

— Mais raramente, a região estudada encontra-se numa faixa de pressões relativamente elevadas, entre duas depressões, uma no Atlântico e outra no interior da Península Ibérica.

b) Proveniência do fluxo na região de Lisboa às 0 e às 12h

A determinação da proveniência do fluxo foi feita a partir da observação das cartas de superfície às 0 e às 12 horas: códigos variando de 1 (fluxo ou vento de NE) a 8 (fluxo ou vento de Norte), no sentido dos ponteiros do relógio, referindo-se o 0 a condições de calma.

(*) Veio posteriormente a verificar-se que, em virtude de se ter de fazer a classificação sinóptica a pequena escala, e a área estudada se encontrar frequentemente em situação de margem (nomeadamente da depressão térmica do Centro da Península), a relação nem sempre é clara entre o organismo isobárico referido e os vários padrões de repartição de temperatura.

c) Vento em Lisboa/Portela à superfície, a 850hPa e a 500hPa

Os valores foram extraídos do Boletim Meteorológico Diário (INMG) e os códigos iguais a b). Posteriormente, foi anotada, também, para cada dia, a velocidade do vento às 0, às 6, às 12 e às 18 horas em Lisboa/Portela e em Cabo Carvoeiro.

d) Tipo de circulação em altitude

Simplificou-se a descrição do tipo de circulação em altitude (500 hPa), dada a relação aparentemente mais longínqua entre aquela e a distribuição espacial das temperaturas e dos ventos superficiais. Distinguiram-se oito casos:

Código 1 — Todos os tipos de situações sinópticas anticiclónicas (altas pressões subtropicais, anticiclones de bloqueio), à excepção das dorsais.

Código 2 — Dorsais planetárias.

Código 3 — Vales planetários (Eixos).

Código 4 — Vertentes ocidentais de vales.

Código 5 — Vertentes orientais de vales.

Código 6 — Centro depressionário, com a indicação (6') no caso da existência de línguas de ar frio e (6'') para as gotas de ar frio.

Código 7 — Fluxo rápido de Oeste (ou com ligeiras ondulações).

Código 8 — Situações de colo, pântano barométrico ou de transição.

e) Estrutura térmica vertical da atmosfera

Registou-se, a partir dos dados da sondagem publicados no Boletim Meteorológico Diário, o nível da inversão mais baixa e a sua intensidade às 12h e, quando os dados estavam disponíveis, também das 0h.

Código 1: Inversão junto ao solo

Código 2: Base da inversão mais baixa abaixo de 950 hPa

Código 3: Base da inversão mais baixa entre 950 e 850 hPa

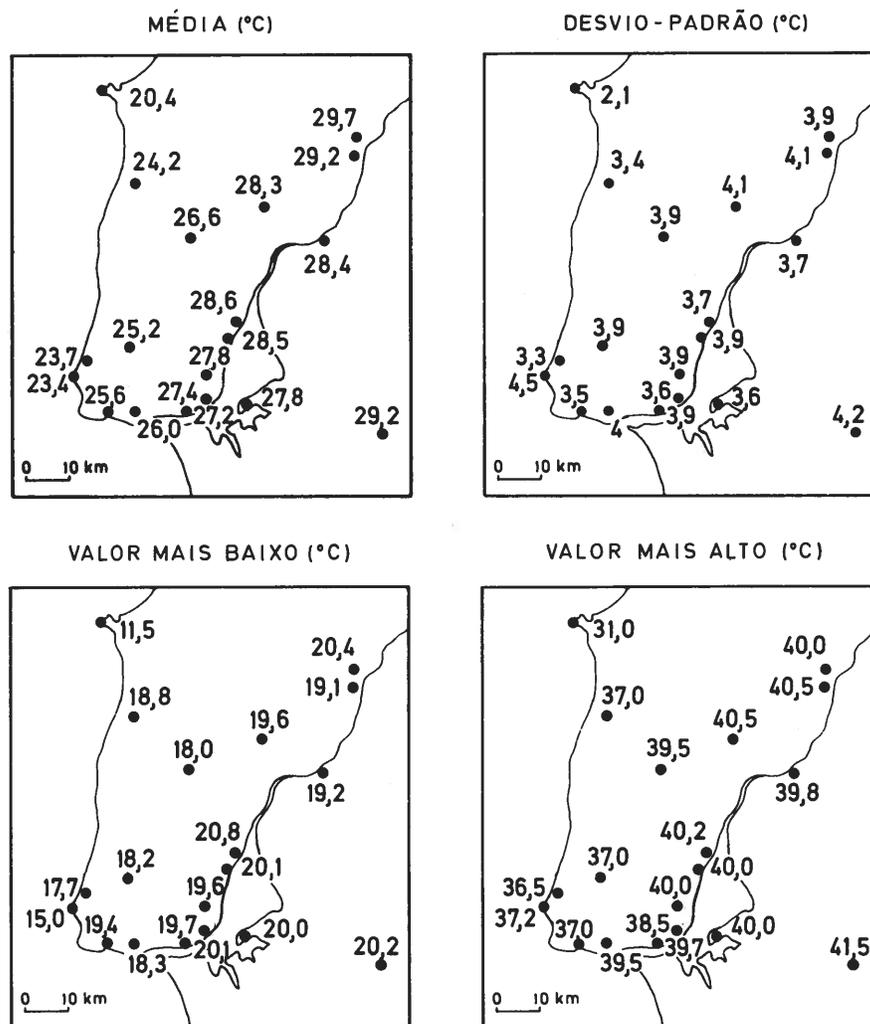
Código 4: Base da inversão mais baixa entre 850 e 700 hPa

Código 5: Ausência de inversão até aos 700 hPa. Notar que não são dadas indicações sobre o valor do gradiente vertical de temperatura, e o facto de, até 700 hPa não haver inversões, não significa forçosamente instabilidade da atmosfera.

f) Humidade relativa do ar à superfície e a 850 hPa.

Devido à ausência sistemática de sondagem às 0 horas, durante cerca de metade dos dias estudados, estas observações referem-se às 12 horas.

Com o conhecimento da velocidade e da direcção do vento, assim como com elementos da sondagem e da humidade relativa é possível precisar a posição da região estudada em relação aos vários organismos isobáricos referentes a cada dia e, nomeadamente, distinguir as situações de margem.



des L. Mendes

Fig. 4.1 — Valores médios, extremos e desvio-padrão da temperatura máxima de Verão.

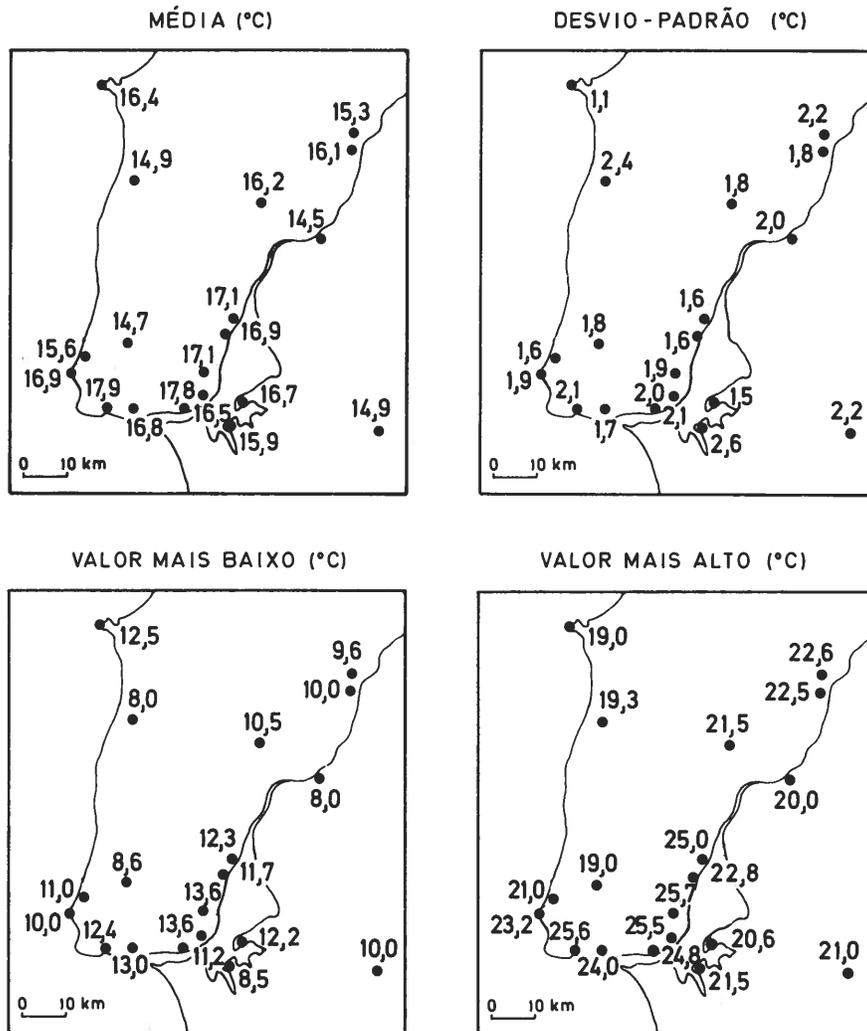
Dados de 249 dias de 1981 a 1985, recolhidos no I.N.M.G..

3 — A distribuição espacial das temperaturas no Verão

3.1 — Valores médios, extremos e dispersão das temperaturas estivais.

O estudo dos dados diários completa, como já se viu, o das médias. As diferenças entre médias exprimem, de certa maneira, uma constante geográfica entre estações, em oposição às relações mutáveis desvendadas pela análise multivariada.

Como verificação da amostragem utilizada, calcularam-se as médias dos valores diários de temperatura. Antes da apresentação das análises em componentes principais, aquelas médias são brevemente



des L. Mendes

Fig. 4.2 — Valores médios, extremos e desvio-padrão da temperatura mínima de Verão.

Dados de 237 dias de 1981 a 1985, recolhidos no I.N.M.G..

comparadas com os valores médios mensais, comentados no capítulo 3 (fig. 3.19). A dispersão das temperaturas foi quantificada a partir do desvio-padrão. Assim, incluem-se nas figuras 4.1 e 4.2 mapas das médias, desvios-padrões e valores extremos das temperaturas máximas e mínimas estivais.

No caso das temperaturas máximas, Lisboa apresenta valores intermédios, apesar de se constatarem menores diferenças de temperatura entre Cabo da Roca e Lisboa (4°) do que, por exemplo, no caso das temperaturas mensais de Agosto (7.4°). Os «valores mais baixos» dos períodos estudados são praticamente iguais em Lisboa e no sector oriental do espaço estudado e inferiores no litoral, enquanto nos «valores mais altos» se reconhece o mesmo aumento de temperatura para o interior, patente nos

mapas dos valores médios. A estação de Cabo da Roca apresenta um comportamento pouco oceânico, no conjunto de dias de Verão estudados, apesar da sua posição litoral. As oscilações da sua temperatura máxima são maiores e mais frequentes do que em Cabo Carvoeiro: o desvio-padrão é apenas de 2.1°C em Cabo Carvoeiro e atinge 4.5°C em Cabo da Roca, possivelmente devido à forma e altitude deste Cabo, que apresenta o desvio-padrão mais elevado da região. As temperaturas médias muito elevadas em Lisboa/Tapada (fig. 3.19) resultam mais de uma grande dispersão dos valores neste local (σ de 3.9°C), do que da grande frequência de ocorrência de valores elevados. Notar também, nos mapas dos valores extremos, as grandes diferenças entre as estações de Cabo Carvoeiro e do Vimeiro, próximas no espaço.

Em relação aos valores mínimos estivais (fig. 4.2), reaparecem os dois núcleos quentes de Lisboa e da Baía de Cascais; a diferença de temperatura entre o Cabo Carvoeiro e o Cabo da Roca é menor do que os valores médios mensais faziam supor, embora, também aqui, o desvio-padrão de Cabo da Roca seja alto (1.9°C). A diminuição de temperatura a Norte de Sintra aparece mais rápida do que se se tomarem em conta os valores médios mensais de Dezembro (fig. 3.19). Os menores «valores mais baixos» registam-se, tal como no Inverno, em locais deprimidos (8°C em Vimeiro e Salvaterra de Magos, 8.6°C em Sintra-Granja), os mais altos em Lisboa (13.6°C), oscilando os outros valores entre 10 e 12°C, aparentemente sem relação com a posição regional da estação. Tal como para as temperaturas médias de Lisboa (Geofísico), a dispersão dos valores de temperatura mínima é bem menor que a das temperaturas máximas (σ entre 1.1 e 2.6°C); notar a menor diferença entre as temperaturas extremas (fig. 4.2).

3.2 — Resultados da análise em componentes principais

Ao projectar as variáveis (estações meteorológicas) no plano definido pelas duas primeiras componentes principais (F_1 e F_2 nas figuras 4.3 e 4.4), repara-se que essas projecções são positivas para o primeiro factor, dado que a maior parte das variações de temperatura máxima e mínima se fazem no mesmo sentido no conjunto das estações meteorológicas. É este o efeito de dimensão do primeiro factor, já conhecido de anteriores análises (M. F. de SAINTIGNON e S. MARTIN, 1974; H. DELANNOY, M. LECOMPTE e F. ROMANE, 1978). O conhecimento da disposição dos indivíduos (dias, na figura 4.5) num primeiro eixo, por ordem crescente de temperaturas, é praticamente indispensável para interpretar correctamente a variabilidade ligada aos eixos seguintes. Precisa-se, desde já, que este efeito é muito mais forte no caso das temperaturas máximas (a percentagem de variância tida em conta pelo primeiro factor é de 79%) do que no caso das mínimas; ou seja, a correlação entre as variações de temperatura nos vários locais não é tão forte durante as noites como durante os dias de Verão. Os mínimos mais altos (e os mais baixos) não ocorrerão portanto simultaneamente em toda a parte.

Na projecção das estações, em função da sua temperatura máxima, no plano factorial 1-2 (fig. 4.3), é interessante notar que o segundo eixo opõe as estações do litoral às que se localizam a SE da área estudada (Pegões e Lisboa). Estas últimas vão ser as mais quentes em dias de fortes contrastes térmicos: dias cuja projecção, tal como a de Pegões, apresenta coordenadas negativas para o segundo factor (fig. 4.6, que à frente se comentará).

Repare-se também que, nas figuras 4.3 e 4.4, o ângulo 1, formado pelo segmento que une a origem dos eixos com a projecção das estações litorais é maior que o do ângulo 2, formado também por F_2 e pelo segmento que une a origem dos eixos e a projecção das estações «interiores» ou da região de Lisboa: isto significa que as variações manifestadas pelo eixo 2 são, sobretudo, devidas aos valores de temperatura das estações orientadas em direcção à extremidade desse eixo. Este facto quer também dizer que as diferentes posições dos pontos indivíduos (fig. 4.5 e 4.6) vão ser fortemente influenciadas pelos valores de temperatura tomados pelas estações do litoral.

F_3 separa, no domínio litoral, as estações de Cabo da Roca e Cabo Carvoeiro, de comportamento térmico mais diferenciado que a sua posição geográfica poderia fazer supor (fig. 4.3).

As temperaturas mínimas de Cabo Carvoeiro e Vimeiro são fortemente correlacionadas (fig. 4.4) só naquelas noites, cuja projecção tem valores positivos para o segundo factor, registando-se então, nos dois locais, praticamente as mesmas temperaturas apesar da diversidade do sítio de cada uma. Notar a forte correlação entre Sintra Granja e Colares, Cabo Ruivo e Estoril, Lisboa e Lisboa/Portela, que à frente, será discutida. Cabo da Roca de coordenadas médias para qualquer dos eixos (fig. 4.4), tem um comportamento térmico singular e nem sempre facilmente explicável.

A principal oposição térmica durante as noites de Verão faz-se entre as estações do litoral (à excepção de Cabo da Roca) e a aglomeração de Lisboa, cujos valores mais altos de temperatura se vão evidenciar para os dias (indivíduos) de coordenadas negativas para F_2 . Dadas as particularidades do sítio das estações meteorológicas, nem sempre é fácil descortinar qual a sua influência e qual a dos outros factores geográficos (neste caso, latitude, distância ao litoral), na variação espacial das temperaturas mínimas.

O terceiro factor (F_3), que entra em conta com 5% da variância, isola, nas noites de Verão, a estação do Lavradio, visto esta estação poder ter comportamentos térmicos diametralmente opostos de umas noites para outras. Relembre-se que, no estudo das mínimas médias, os valores da estação do Lavradio se aproximavam mais dos da aglomeração de Lisboa do que dos do Seixal e do Montijo, mais próximos e de posição semelhante, junto ao estuário do Tejo.

AS TEMPERATURAS MÁXIMAS

O diagrama das projecções de 232 dias no plano 1-2 mostra que aquelas divergem a partir dos valores fortemente negativos de F_1 , sendo depois a nuvem de pontos grosseiramente paralela ao primeiro eixo (fig. 4.5a).

Escolheram-se alguns dias de posição extrema e bem representados, pelo menos em relação a um dos eixos (indicou-se a qualidade de representação na figura 4.5), para ilustrar, não só os valores, muito diversos, que as temperaturas máximas de Verão podem apresentar (e que determinam a posição de cada dia em relação ao primeiro factor), como também, os diferentes padrões de repartição espacial (que, por sua vez, orientam as projecções dos dias em relação ao segundo factor).

Estes dias foram reunidos em grupos, (fig. 4.6) e numerados de 1 (os mais frios de coordenadas negativas para F_1) até 4 (os mais quentes) (*). Os indivíduos dos grupos 2 e 3 são bem representados pelo segundo factor; ou seja, a sua posição em relação a F_2 é elucidativa do tipo de repartição espacial das temperaturas. Deste modo, os grupos 2 e 3 foram subdivididos em 2a e 3a (de coordenadas positivas para F_2) e 2b e 3b (de coordenadas negativas). Nos primeiros, os contrastes térmicos espaciais são fracos, notando-se, pelo contrário, grandes diferenças de local para local nos dias dos grupos 2b e 3b.

A percentagem de ocorrência dos indivíduos de cada grupo está indicada no Quadro 4.2, onde se incluíram também os dias de «transição», cuja projecção no plano 1-2 se encontra entre os grupos anteriormente delimitados e que apenas são bem representados por um dos eixos. O total (232) é inferior ao número de dias analisados (249), pois não se incluíram aqueles que, devido a uma repartição original das temperaturas ou comportamento térmico excepcional de uma ou várias estações meteorológicas, apenas são bem representados pelo terceiro factor e seguintes.

(*) Relembra-se que a Análise em Componentes Principais não é um método de classificação. O termo *grupo* utilizado neste capítulo significa conjunto de dias com projecção próxima no plano dos primeiros dois eixos, bem representados por eles e com semelhante repartição térmica espacial.

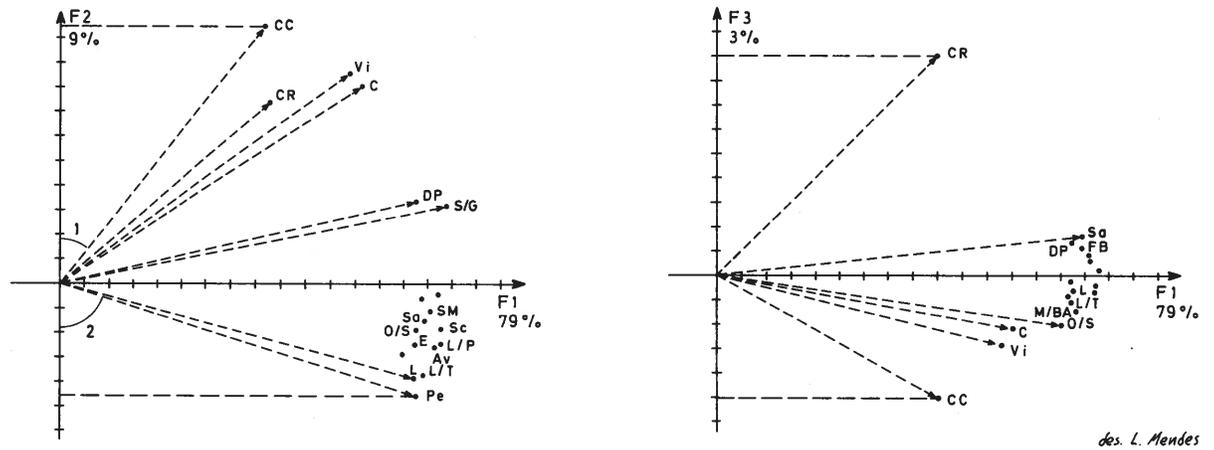


Fig. 4.3 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Verão: projecção das variáveis (estações meteorológicas) nos planos 1-2 e 1-3.

	1.º Factor (F ₁): 79 % da variância		2.º Factor (F ₂): 9 % da variância			
	Posição em relação ao eixo	Qualidade de representação	Posição em relação ao eixo	Qualidade de representação	Nº de dias	%
Grupo 1	Coord. fort. neg.	Boa	Coord. fracas	Má	17	7
Grupo 2a	Coord. neg.	Boa	Coord. Pos.	Boa	37	16
Transição 2a-2b (1)	Coord. neg.	Boa	Coord. pos.	Má	32	14
Transição 2a-2b (2)	Coord. neg.	Boa	Coord. neg.	Má	30	13
Grupo 2b	Coord. neg.	Boa	Coord. neg.	Boa	16	7
Transição 2a-3a	Coord. fracas	Má	Coord. pos.	Boa	5	2
Transição 2b-3b	Coord. fracas	Má	Coord. neg.	Boa	12	5
Grupo 3a	Coord. pos.	Boa	Coord. pos.	Boa	9	4
Transição 3a-3b (1)	Coord. pos.	Boa	Coord. pos.	Má	15	7
Transição 3a-3b (2)	Coord. pos.	Boa	Coord. neg.	Má	16	7
Grupo 3b	Coord. pos.	Boa	Coord. neg.	Boa	35	15
Grupo 4	Coord. fort. pos.	Boa	Coord. pos.	Má	8	3

Quadro 4.2 — Posição no plano 1-2, qualidade de representação em relação a F₁ e F₂ e frequência de ocorrência de grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima estival.

Coord.: Coordenadas

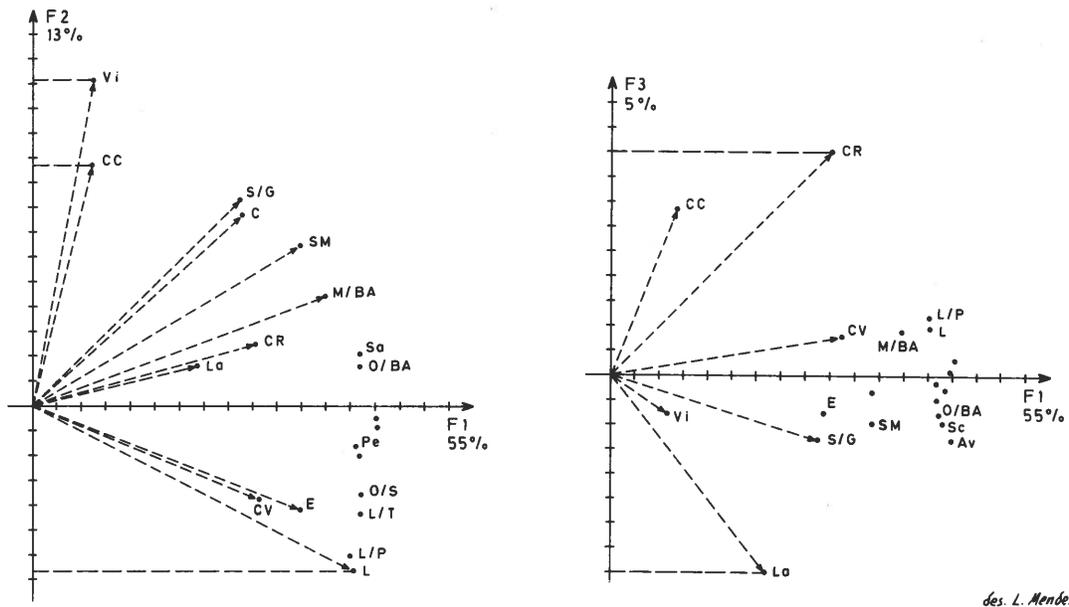
fort.: fortemente

neg.: negativas

pos.: positivas

(1): Coordenadas positivas de F₂

(2): Coordenadas negativas de F₂



des. L. Mendes

Fig. 4.4 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Verão: projecção das variáveis (estações meteorológicas) nos planos 1-2 e 1-3.

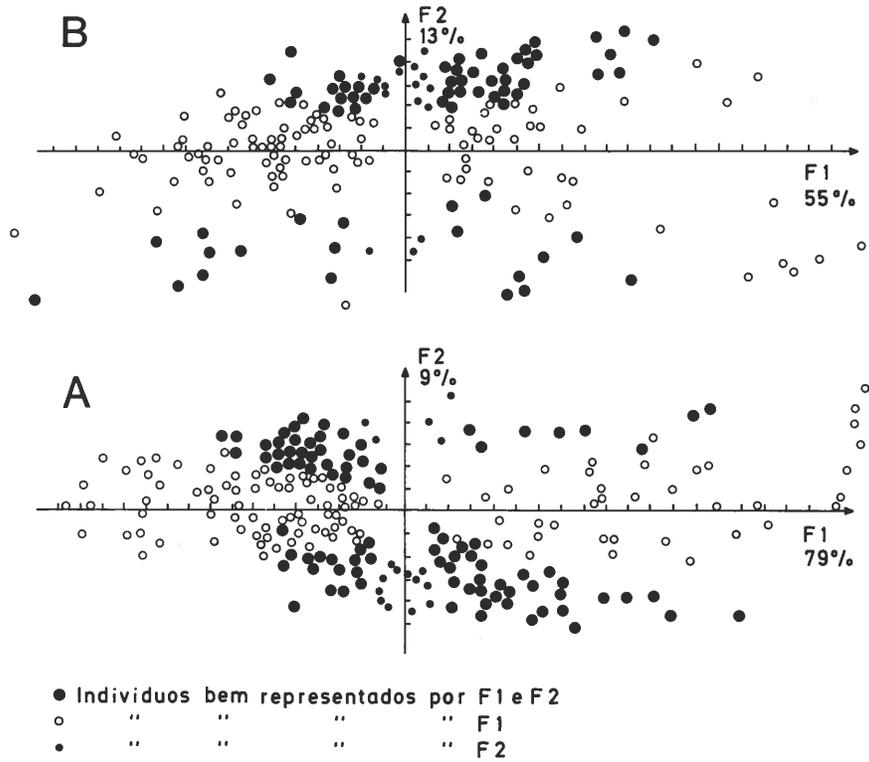


Fig. 4.5 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas (A) e mínimas (B) de Verão: qualidade de representação dos vários indivíduos (dias) em relação aos eixos 1 e 2.

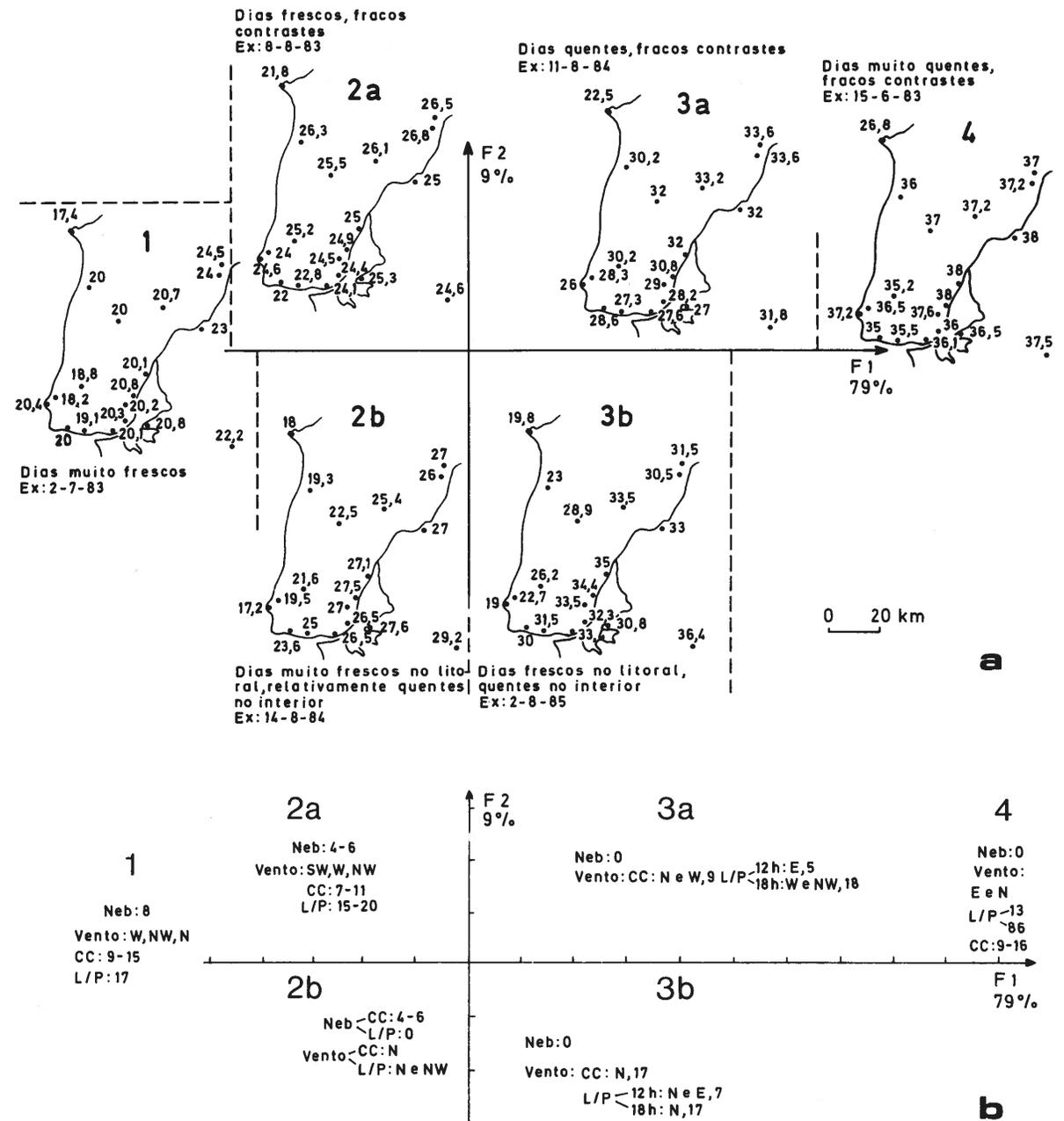


Fig. 4.6 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Verão. (1.ª Parte)

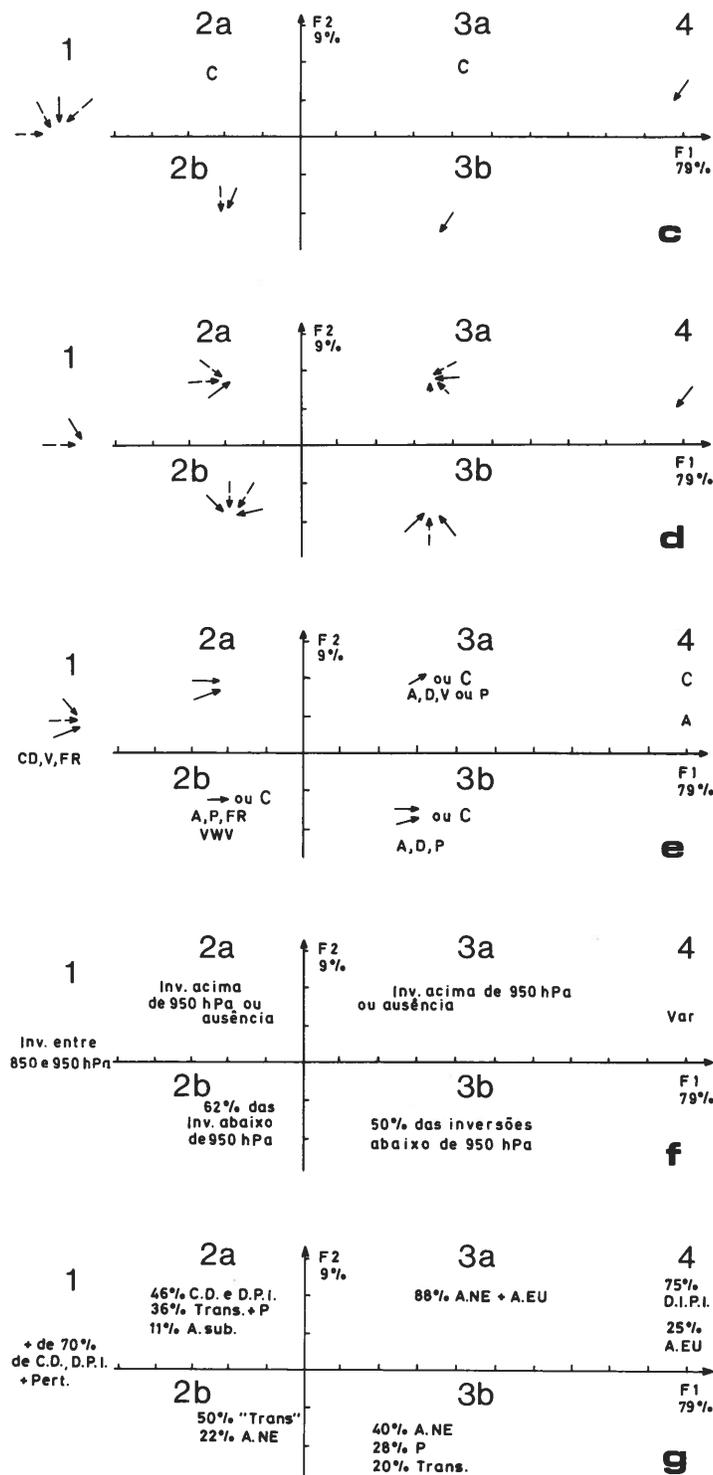


Fig. 4.6 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Verão.
(2.ª parte, legenda no fim do capítulo)

Com o objectivo de tornar mais sucinto o comentário, apresentam-se alguns factos também de forma gráfica e cartográfica (na já referida figura 4.6).

No conjunto de diagramas que se seguem aos mapas da distribuição das temperaturas num dos dias de cada grupo escolhido como exemplo (fig. 4.6a), são dadas indicações sobre a nebulosidade e os ventos em Lisboa/Portela e Cabo Carvoeiro — as duas estações sinópticas da região estudada — sobre a direcção do fluxo à superfície, o vento a 850 hPa, a situação sinóptica e o vento a 500hPa, sobre a presença ou ausência, altura e intensidade das inversões térmicas em Lisboa/Portela, assim como das situações sinópticas mais frequentes nos conjuntos de dias de cada grupo (fig. 4.6a a 4.6g).

No texto que se segue, descrever-se-ão os tipos de tempo dos vários dias, indicando a importância relativa dos elementos aerológicos apresentados, na repartição espacial das temperaturas máximas estivas na região de Lisboa.

No grupo 1 os dias são frescos em toda a área (17 a 24.5°C a 2/7/1983, escolhido como exemplo), notando-se um aumento de temperatura para Oriente; a nebulosidade é elevada (mediana de 8/8 às 12 horas, tanto em Cabo Carvoeiro como em Lisboa, Quadro 4.3). O vento sopra dos sectores N a W: 87% destes rumos às 18 horas em Lisboa, onde a sua velocidade é sempre mais forte (medianas entre 17 e 19 km/h). A maior percentagem de ventos de SW às 12 do que às 18 horas em Lisboa é devida à frequente rotação do vento de SW para W e NW, durante a tarde, possivelmente por causas térmicas (M. J. ALCOFORADO, 1987).

Mais de dois terços destes casos correspondem à presença de depressões e perturbações frontais à superfície, a que correspondem centros depressionários ou vales a 500hPa. No restante terço dos casos, Portugal está numa zona de forte gradiente de pressão entre um anticiclone atlântico e uma depressão a oriente da Península Ibérica, sendo o fluxo de Norte, NW ou mesmo NE, consoante a posição relativa destes dois organismos isobáricos.

Incluídos no grupo 2a, estão os dias frescos (22 a 27°C, a 8/8/1983), de nebulosidade elevada e ventos do quadrante W (sobretudo SW) e de fracos contrastes térmicos espaciais; as temperaturas mais elevadas observam-se em locais abrigados dos ventos (Vimeiro, Ota, Santarém, Fonte Boa). Os valores mais baixos registam-se na costa do Estoril e em Cabo Carvoeiro que, só raramente, não é o local mais frio. Tais características térmicas podem ser devidas a várias situações, como presença de depressões e perturbações frontais (46%, Quadro 4.4), margem norte de anticiclone subtropical (11%) ou situações de transição (32%). O vento sopra à superfície de SW ou de Sul e o fluxo é, não raro, também de SW a 850 e a 500hPa; a este nível isobárico dominam vales, vertentes orientais de vales ou centros depressionários (Quadro 4.4).

O grupo 2b compreende dias muito frescos no litoral ocidental e quentes a oriente da região estudada (a 14/8/1984, 17.2°C em Cabo da Roca, 29.2°C em Pegões), esquema de repartição de temperatura que se assemelha ao que frequentes vezes é apresentado como «normal».

Dias de céu limpo a oriente, mas que podem ser muito húmidos ou mesmo de nevoeiro no litoral ocidental. A advecção de massas de ar, quentes e húmidas, nos dias anteriores (materializada por ventos de Sul e SW a 850 hPa), contribui para a formação de nevoeiros. O facto da base da inversão mais baixa ser inferior a 950 hPa em Lisboa é devido à diminuição rápida da espessura da camada de ar fresco e húmido superficial para oriente; esta massa de ar perde também rapidamente a sua humidade (a 14/8/84, a humidade relativa era de 100% em Cabo Carvoeiro e de 65% em Lisboa, às 12 horas), estando criadas condições para grandes diferenciações espaciais das condições meteorológicas. Nalguns

			G 1	G 2a	G 2b	G 3a	G 3b	G 4	
Nebulosidade em oitavos (Mediana)	12h	CC	8	4	6	0	2	0	
		LP	8	6	0	0	0	0	
	18h	CC	7	4	3	0	0	0	
		LP	6	2	0	0	0	0	
Velocidade do vento em km/h (Mediana)	12h	CC	9	7	15	9	17	9	
		LP	19	15	13	6	7	13	
	18h	CC	15	11	19	9	17	17	
		LP	17	20	27	19	28	26	
Direcção do vento e calmas (% de observações)	12h	CC	C						
			NE	7	3	15	11	35	25
			E						
			SE						
			S	7					
			SW	13	28				
			W	27	55		22	4	13
			NW	19	3		11	10	
	LP	C				22	4		
		NE	7			12	7	25	
		E		6		22	30	62	
		SE		3		22	15		
		S	7	11		22			
		SW	27	37					
		W	19	17					
		NW	27	17	59		18		
18h	CC	C							
		NE	7	3	8		23	38	
		E				11	3		
		SE				22			
		S		6					
		SW	7	17		11			
		W	26	40		11			
		NW	20	20		11	13		
LP	C								
	NE		3			3	12		
	E								
	SE								
	S								
	SW	13	20			7	12		
	W	40	37		44	7			
	NW	27	34	54	56	55	38		
N	20	6	46		28	38			

Quadro 4.3 — Nebulosidade e ventos em Cabo Carvoeiro (CC) e Lisboa/Portela (LP) em grupos de dias de semelhante repartição de temperatura máxima estival.

destes dias e, sobretudo, durante a tarde, o vento sopra de NE e N no Cabo Carvoeiro e de Noroeste e Norte em Lisboa/Portela (velocidade mediana de 26,6 km/h às 18 horas).

Tal como se observa na figura 4.6, os ventos sopram do quadrante Norte à superfície e de W a 500 hPa. À superfície, metade dos casos analisados correspondem a situações de transição entre um anticiclone atlântico e uma depressão localizada a oriente da Península Ibérica. Este tipo de distribuição da temperatura pode também coincidir (36% dos casos) com situação em margem sul de anticiclone Europeu ou anticiclone atlântico, prolongando-se para NE pela Europa ocidental, provindo, neste caso, o fluxo do quadrante Este. Tal como acima já foi referido, parece muito importante, na explicação das diferenciações térmicas regionais dos dias de Verão, a estrutura térmica da atmosfera.

Entre os grupos 2a e 2b (fig. 4.5), há um grande número de dias (27%, Quadro 4.2) de características térmicas intermédias; dias relativamente quentes na parte oriental do espaço estudado, tanto mais frescos no litoral quanto mais fortemente negativas as coordenadas das projecções de cada ponto em relação a F_2 . Dominam, nestes dias, anticiclones subtropicais e situações de transição entre anticiclones atlânticos e uma depressão a Oriente da Península Ibérica. Por exemplo, a 30/8/84, aproximava-se uma frente fria; e, tal como no grupo 2a, o vento era de SW, tanto à superfície como a 850 e a 500 hPa. No dia 12/7/84, cuja projecção está mais próxima do grupo 2b, praticamente não havia nuvens, e o vento de NW era mais fraco no litoral. Estava-se em margem de anticiclone atlântico subtropical e aproximava-se uma frente fria. A 500 hPa, uma vertente ocidental de vale dirigia o vento de WNW para ESE e, a 850 hPa, o fluxo era de NW. É, sobretudo, nos dias cuja projecção apresenta coordenadas negativas para F_2 , que o vento de Norte é dominante e muito forte em Lisboa/Portela (mediana de 29,6 km/h às 18 horas, neste local. (*))

Incluem-se no grupo 3a dias quentes (23 a 34°C a 11/8/1984), em que a distribuição das temperaturas máximas depende essencialmente do jogo das brisas do Atlântico. Se, nestes dias, no Norte da região estudada, é progressivo o aumento de temperatura de Oeste para Este, a distribuição da temperatura máxima, à latitude de Lisboa, não segue qualquer regra conhecida, havendo «estranhas» variações de temperatura em locais próximos.

Estes dias são de bom tempo generalizado: céu limpo, vento fraco de leste ou nordeste durante a noite e manhã e humidade relativa baixa. Estas condições variam bastante no decorrer do dia. Assim, por exemplo, a 11/8/1984 (fig. 4.6), se as temperaturas aumentam de Oeste para Este no conjunto, elas são relativamente baixas na costa do Estoril e em Lisboa e Montijo. A consulta dos registos dos anemógrafos revelou que o vento do gradiente — de Este ou de NE — apenas soprou até cerca das 13 horas em Cabo Ruivo, até às 12 horas no Montijo, e ventos de Sul e SE até às 16 horas em Sintra; posteriormente, foram substituídos por brisas de SW em Cabo Ruivo e de W no Montijo, tendo o vento rodado para NW em Sintra/Granja. Ao fim da tarde, o vento soprava de NW na maior parte das estações da região. Dado que, só em Sintra/Granja, o aumento diurno de temperatura não foi prematuramente interrompido pela chegada de ar marítimo, a temperatura alcançou aqui 30.2°C. Em Lisboa e Montijo, onde, ao fim da manhã, já chegava vento do quadrante W, as máximas foram apenas de 28.2 e 27°C, respectivamente, devendo um fenómeno paralelo ter-se passado na costa do Estoril, onde a máxima mais alta não ultrapassou 28.6°C.

(*) Nesta versão, foram omitidos os quadros referentes à frequência de ocorrência das situações sinópticas, da direcção dos fluxos à superfície, a 850 e a 500 hPa e da estrutura térmica da atmosfera nos «grupos de transição», apresentando-se os principais resultados que deles se extraem. Os quadros podem ser consultados na edição policopiada deste estudo (M. J. ALCOFORADO, 1988).

		G 1	G 2a	G 2b	G 3a	G 3b	G 4	
Situação sinóptica à superfície	A. Atl. subtropical		11					
	A. A. misto							
	A. Atl. NE			22	44	40		
	A. Europeu			14	44	8	25	
	A. Im. e Ia.					4		
	Dep. P. Ibérica				12		75	
	Outros C. Depres.	51	37					
	Perturbações	21	9					
	Situação de transição (ver texto)	a	21	20	50		20	
	b		3					
	c		9					
	Pântano ou colo	7	11	14		28		
Fluxo à superfície	C	24	46	13	56	20	13	
	NE	13	6	44	11	57	74	
	E			6	11	3	13	
	SE		3		11			
	S							
	SW		9					
	W	13	9					
	NW	13	12					
	N	37	15	37	11	20		
Vento a 850 hPa	C						29	
	NE	7		14	13	14	57	
	E			29	49	7	14	
	SE	13	9	7	13	18		
	S	13	9		25	11		
	SW		32			18		
	W	20	18			7		
	NW	34	23	29		14		
	N	13	9	21		11		
Situação a 500 hPa	Anticiclone		3	26	23	46	62	
	Dorsal	6	6		22	17	25	
	Vale	19	20	7	22			
	Vert. W de vale		6	20		3		
	Vert. E de vale	6	25	7				
	Centro depres.	44	23		11			
	Fluxo Rápido de W	19	17	20		3		
	Pântano ou Colo	6		20	22	31	13	
Fluxo a 500 hPa	C	6		27	56	51	75	
	NE	6		7		7		
	E		3					
	SE							
	S	6	14		11	7		
	SW	13	40	13	22	16		
	W	56	40	33		16		
	NW	13	3	13		3		
	N			7	11	25		
Alt. e int. inversão em L/P	Ausência de inversão	14	48		34	21	38	
	Base da inver. + baixa	750 e 850 hPa	7		35	11	4	
		850 e 950 hPa	65	48	25	33	25	13
		abaixo de 950 hPa	14	4	40	22	50	49
	Inversão junto ao solo							

Quadro 4.4 — Frequência de ocorrência (%) das situações sinópticas e da direcção dos fluxos à superfície, a 850 e a 500 hPa e estrutura térmica da atmosfera em Lisboa, em vários grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima estival.

Nestes dias do grupo 3a, a 850 hPa, o fluxo provém, predominantemente, de Este e NE, alternando as situações de calma com ventos do quadrante Sul a 500 hPa. A inversão térmica mais baixa, detectada na sondagem das 12 horas em Lisboa/Portela, está geralmente compreendida entre 850 e 950 hPa e nunca é forte (sempre inferior a 2°C). Na maior parte destes dias (88%, Quadro 4.4), Portugal encontra-se em posição de margem sul de anticiclone europeu ou margem SE de anticiclone atlântico, prolongando-se para NE pela Europa ocidental.

Em 3b agruparam-se dias de fortes contrastes térmicos espaciais, em que o litoral permanece fresco, ao mesmo tempo que se alcançam, em Lisboa e em Pegões, temperaturas mais elevadas do que nos dias do grupo 3a (19 a 36°C a 21/8/1985). Além do gradiente Oeste-Este, observa-se também um aumento de temperatura máxima de Norte para Sul, na metade oriental da área em estudo. Nestas ocasiões, o vento sopra de N ou NE no litoral ocidental (mediana das velocidades: 17 km/h em Cabo Carvoeiro), havendo calmas ou vento de leste em Lisboa/Portela durante a manhã, substituídos à tarde por ventos de Norte e NW (Quadro 4.3). Por exemplo, a 12/8/84 (dia de projecção próxima de 2/8/1985, apresentado como exemplo na figura 4.6a), houve brisas (de SE em Cabo Ruivo e de W no Montijo) que terminaram suficientemente cedo (entre as 14 e as 15 horas) para que as temperaturas tivessem tido ainda possibilidade de se elevar bastante (máximos de 32.3°C em Lisboa, 30.8°C no Montijo). Verificou-se que, em 70% dos dias deste grupo, o regime diurno dos ventos é do tipo atrás mencionado. Nos restantes 30%, o vento, de NE durante a manhã, rodou para Norte, à tarde, em parte por causas térmicas, tal como já foi apontado num trabalho sobre as brisas da região de Lisboa (M. J. ALCOFORADO, 1987).

Nestas situações, o tempo é invariavelmente fresco e ventoso no litoral, ao passo que grandes modificações térmicas são susceptíveis de ocorrer durante o dia nas estações ribeirinhas do Tejo, tal como está sintetizado no referido estudo das brisas. A 850 hPa, o ar provém de Sul ou Este, havendo calma a 500 hPa, em mais de 50% dos casos (situações anticiclónicas, dorsais e pântanos barométricos) ou então fluxo de W ou SW. Tal como para o grupo 2b, o facto de, em mais de 50% dos casos, se detectarem inversões baixas, que traduzem a existência de uma delgada camada de ar fresco e húmido, contribui para o estabelecimento de grandes diferenciações térmicas espaciais. 40% das situações totais dizem respeito a anticlones de raiz atlântica prolongando-se para NE, 28% a colos ou pântanos barométricos e 20% a situações de transição entre um anticiclone atlântico e uma depressão a oriente da Península Ibérica. Num dos dias, Portugal encontrava-se em posição de margem ocidental de um anticiclone ibero-africano, correspondendo-lhe fluxo de SE, como aliás, na maior parte destas ocasiões.

Nos grupos de transição, merece referência especial, apesar da sua fraca frequência, o grupo de transição 2b-3b. São dias em que o vento de Norte permanece moderado em Cabo Carvoeiro (entre 13 e 16 km/h); em Lisboa, vento muito fraco (5km/h) do quadrante Este durante a manhã, rodando para N e NW a meio da tarde e atingindo velocidades de 26 km/h. Em 7 dos 10 casos analisados havia inversões muito baixas às 12 horas em Lisboa/Portela (≤ 950 hPa). Todos correspondem a situações anticiclónicas, sendo o anticiclone Europeu e o anticiclone atlântico, prolongado pela Europa ocidental os mais frequentes.

Esta observação leva a confirmar que, nos dias quentes e espacialmente contrastados (3b), o facto de haver uma inversão baixa às 12 horas em Lisboa, significa que houve, durante a manhã, calma (que a não destruiu) e que se poderá desenvolver uma circulação de brisas do Tejo, substituídas a meio da tarde por ventos do quadrante Norte, muito fortes na margem direita do rio Tejo. Se, às 12 horas, em Lisboa/Portela, não há inversões baixas, em situação anticiclónica, pressupõe-se que o gradiente barométrico pronunciado originou ventos fortes ou moderados no conjunto da região e, se se desencadeiam brisas, estas provêm directamente do Oceano (brisa de SW nalguns dias do grupo 3a).

Os dias muito quentes, reunidos no Grupo 4, são raros (3.5%). À excepção de Cabo Carvoeiro, os valores de temperatura máxima estão compreendidos entre 35 e 38°C no exemplo de 15/6/1983. Notar as temperaturas anormalmente altas de Cabo da Roca que podem estar relacionadas com a posição do local de observação (no topo da arriba), assim como com a proximidade de muros e das paredes de edifícios do farol, de cor clara e com a ausência de relva no parque de instrumentos. São muito pequenas as diferenciações térmicas regionais, nestes dias de céu limpo, vento fraco (9-10 km/h) de Leste e humidade relativa extremamente baixa (40% às 12 horas de 15/6/83 no Cabo Carvoeiro e menos de 25% em Lisboa/Portela). Quando o vento sopra de Norte no litoral (como a 10 /8/82) as temperaturas em Cabo da Roca e em Colares são relativamente mais baixas.

Nestes raros dias, o vento provém de E ou de NE, muito fraco durante a manhã, e pode rodar para Norte a meio da tarde, aumentando então de velocidade.

A este tipo de situação, corresponde — nos poucos exemplos — fluxo de E e NE a todos os níveis isobáricos, sendo a situação sempre anticiclónica a 500 hPa. À superfície 2 casos de anticiclone centrado na Europa, prolongando-se até ao Norte de África e 6 casos de depressão de origem térmica. Compreende-se assim a presença, em Portugal, de ar muito quente e seco.

AS TEMPERATURAS MÍNIMAS

Como já foi referido, há menor sincronismo entre as variações de temperatura mínima das várias estações da região de Lisboa, sendo a percentagem da variância tida em conta pelo primeiro factor de apenas 55% (13% para o segundo factor e 5% para o terceiro).

Tal como para as temperaturas máximas, delimitaram-se, na figura 4.5, já apresentada atrás, vários conjuntos de dias; apontou-se no Quadro 4.5, a frequência de ocorrência dos dias de cada grupo, assim como a sua posição no plano 1-2 e qualidade de representação em relação a F_1 e a F_2 . Seguindo a mesma ordem do que para as temperaturas máximas, anotaram-se, na figura 4.7, os mínimos de noites escolhidas como exemplos, assim como indicações sobre os ventos e a nebulosidade e elementos aerológicos referentes às mesmas datas.

Tendo em conta a percentagem da variância representada pelo segundo factor, no comentário agrupam-se as noites em função da sua projecção no plano 1-2. Repare-se que, nos mapas da parte superior da figura (dias de coordenadas positivas em relação a F_2), os contrastes térmicos espaciais são muito fracos (1-2°C de diferença), se bem que nem sempre no mesmo sentido. A costa do Estoril apresenta-se mais fresca que o litoral ocidental e a estação meteorológica de Estoril não se diferencia das estações vizinhas.

Tal como está registado no Quadro 4.6 e resumido na figura 4.7, nas noites do grupo 2a (frescas: temperaturas entre 14 e 17.5°C a 4/7/83), a nebulosidade é muito forte no litoral e fraca a oriente; o vento sopra de Norte no Cabo Carvoeiro e de NW e W, mais fraco, em Lisboa. O fluxo à superfície é de Norte. Mais de 80% dos casos correspondem a situações de transição e depressões na Península Ibérica. Diversas situações sinópticas originam, a 500hPa, ventos de SW e de Oeste (Quadro 4.7).

Menos frescas (mínimas compreendidas entre 17 e 19.5°C, a 10/7/83), mas também de nebulosidade elevada (entre 4/8 e 8/8), humidade relativa de cerca de 80% e vento de SW (W, NW e Sul) são as noites do grupo 3a. As massas de ar provém de N e NE à superfície devido à localização de uma depressão sobre ou próxima da Península Ibérica, à situação de transição entre um anticiclone atlântico e uma depressão na Europa Central ou Ocidental ou à passagem de superfícies frontais (Quadro 4.7). O fluxo é de W e SW a 500 hPa correspondendo a situações depressionárias.

	1.º Factor (F ₁): 79 % da variância		2.º Factor (F ₂): 9 % da variância			
	Posição em relação ao eixo	Qualidade de representação	Posição em relação ao eixo	Qualidade de representação	Nº de dias	%
Grupo 1	Coord. fort. neg.	Boa	Coord. fracas ou neg.	Má	6	3
Grupo 2a	Coord. neg.	Boa	Coord. pos.	Boa	23	11.5
Transição 2a-2b (1)	Coord. neg.	Boa	Coord. pos.	Má	29	14.5
Transição 2a-2b (2)	Coord. neg.	Boa	Coord. neg.	Má	26	13
Grupo 2b	Coord. neg.	Boa	Coord. neg.	Boa	13	6.5
Transição 2a-3a	Coord. fracas	Má	Coord. pos.	Boa	12	6
Transição 2b-3b	Coord. fracas	Má	Coord. neg.	Boa	2	1
Grupo 3a	Coord. pos.	Boa	Coord. pos.	Boa	36	18
Transição 3a-3b (1)	Coord. pos.	Boa	Coord. pos.	Má	15	7.5
Transição 3a-3b (2)	Coord. pos.	Boa	Coord. neg.	Má	9	4.5
Grupo 3b	Coord. pos.	Boa	Coord. neg.	Boa	17	8.5
Grupo 4a	Coord. fort. pos.	Boa	Coord. pos.	Má	3	1.5
Grupo 4b	Coord. fort. neg.	Boa	Coord. neg.	Má	9	4.5

Quadro 4.5 — Posição no plano 1-2, qualidade de representação em relação a F₁ e F₂ e frequência de ocorrência de grupos de dias de semelhante repartição da temperatura mínima estival.

Coord.: Coordenadas

fort.: fortemente

neg.: negativas

pos.: positivas

(1): Coordenadas positivas de F₂

(2): Coordenadas negativas de F₂

O último mapa (4a) representa um caso, raro (1,5%), de temperaturas mínimas altas generalizadas (temperaturas entre 18 e 22°C a 16/6/83, à excepção das estações em posição topográfica deprimida, mais frescas como Vimeiro com 15.5°C): noites sem nuvens, húmidas no Cabo Carvoeiro e muito secas na região de Lisboa; o vento é fraco, de Sul ou SW. Correspondem a situações de gradiente de pressão muito pouco acentuado, tanto à superfície como a 500 hPa.

De 1 a 4b, e, sobretudo, em 3b e 4b, é maior a diversidade térmica regional. Em todos os casos, as temperaturas mínimas mais baixas observam-se em locais topograficamente deprimidos (Vimeiro, Salvaterra de Magos e Sintra/Granja), o que raramente acontecia nos grupos 2a e 3a. A estação do Lavradio que, no caso dos mapas 2a a 4a, apresentava valores próximos dos de Lisboa tem, aqui, temperaturas baixas. Os 9.5°C do dia 4/9/83 são difíceis de entender. Erro de cópia ou ausência da influência da poluição das instalações fabris da vizinhança, variável no tempo?

Nestes três grupos, a nebulosidade é, de modo geral, fraca ou nula (medianas de 0), embora em Cabo Carvoeiro a humidade relativa seja muito elevada; nos casos em que ocorre nevoeiro no litoral, dá-se um aumento significativo de temperatura para o interior à latitude de Cabo Carvoeiro, como documenta o mapa de 6/9/83 (grupo 3b). Ao passo que, nos casos em que não há nevoeiro em Cabo Carvoeiro (ex: 4/9/83, Grupo 2b), a temperatura diminui bastante para o interior, sobretudo nos locais topograficamente deprimidos (fig. 4.7).

			G 1	G 2a	G 2b	G 3a	G 3b	G 4a	G 4b				
Nebulosidade em oitavos (Mediana)	0h	CC	0	6	0	6	0	0	0				
		LP	0	0	0	3	0	4	0				
	6h	CC	8	8	8	8	0	0	0				
		LP	0	1	0	6	0	5	2				
Velocidade do vento em km/h (Mediana)	0h	CC	19	15	15	15	17	9	11				
		LP	17	15	13	13	9	7	5				
	18h	CC	11	13	11	17	13	11	11				
		LP	6	7	6	11	9	7	7				
Direcção do vento e calmas (% de observações)	0h	CC	40	C	36	6	33	33	57				
		NE		28									
		E								5			
		SE									18		
		S										14	
		SW											9
	W	42											
	NW		67										
	N			34									
	LP				5	18	8	8	33	33	34		
	C												
	NE												
E													
SE	3												
S		3											
SW			5										
W				9									
NW					40								
N						60							
CC	25						55	9	25	17	100	33	
NE		9											
E			9										
SE				14									
S					14								
SW						14							
W	17												
NW		3											
N			8										
LP				13			27	6	17	17	67	33	14
NE					9								
E						3							
SE	9												
S		14											
SW			9										
W				17									
NW					20								
N						80							
CC	75						58	36	43	50	33	17	
NE													
E													
SE													
S													
SW													
W													
NW													
N													

Quadro 4.6 — Nebulosidade e ventos em Cabo Carvoeiro (CC) e Lisboa/Portela (LP) em grupos de dias de semelhante repartição de temperatura mínima estival.

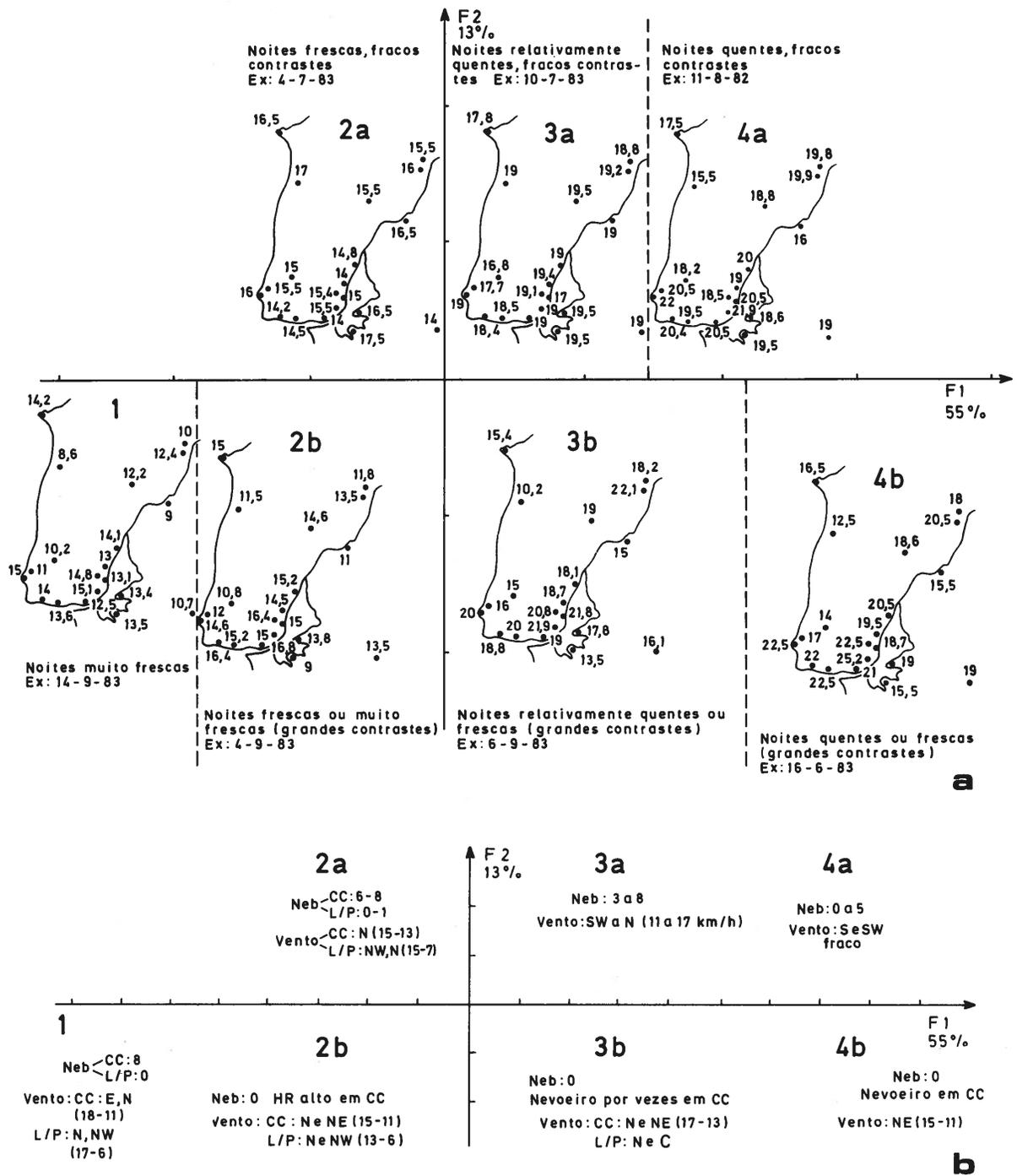


Fig. 4.7 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Verão. (1.ª parte)

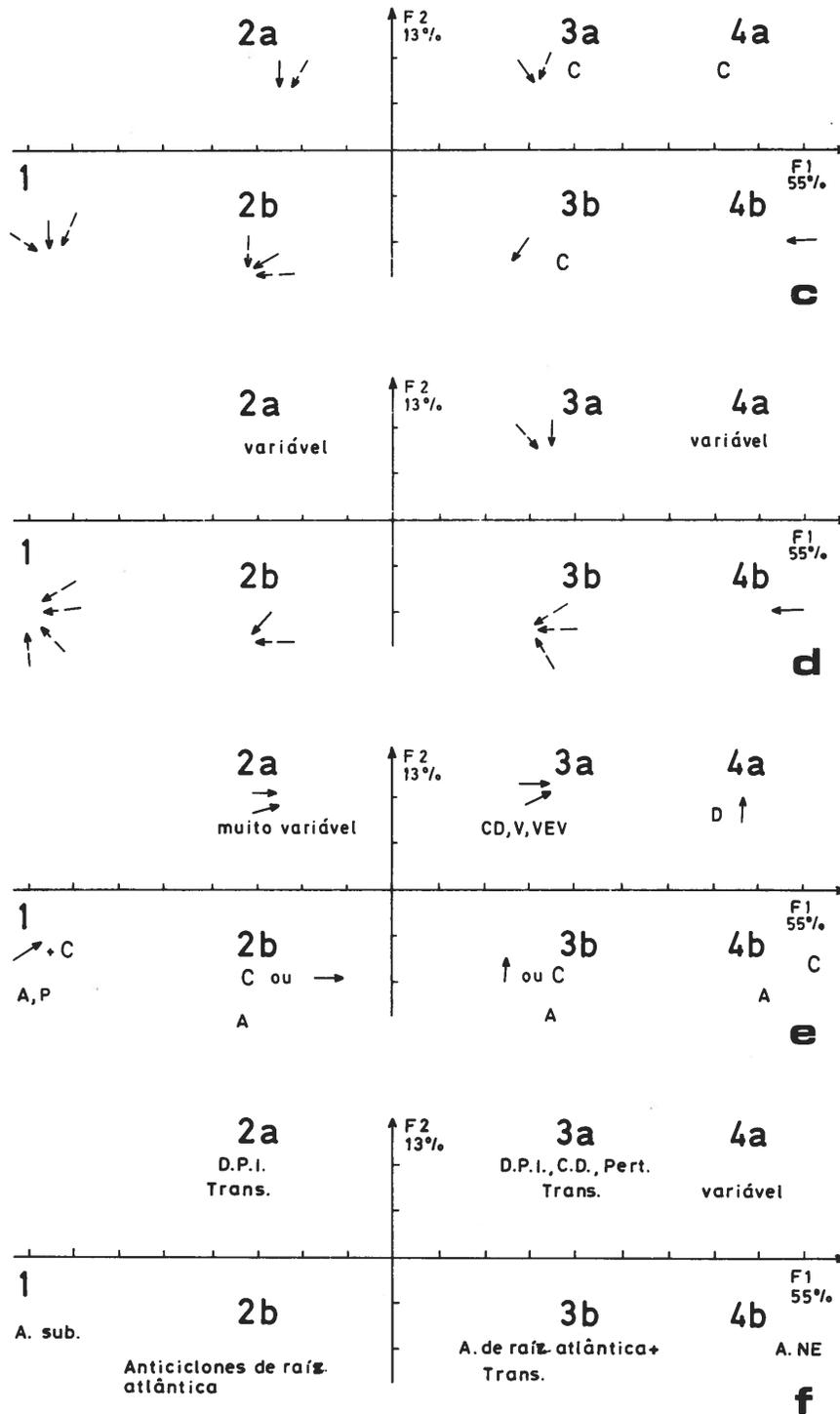


Fig. 4.7 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Verão.
(2.^a parte, legenda no fim do capítulo)

		G 1	G 2a	G 2b	G 3a	G 3b	G 4a	G 4b
Situação sinóptica à superfície	A. Atl. subtropical	60		30	11			
	A. A. misto							
	A. Atl. NE			20				
	A. Europeu					20		100
	A. Im. e Ia.			20		10		
	Dep. P. Ibérica	20	40		17	50		
	Outros C. depres.				17			
	Perturbações		4		17			
	Situação de transição (ver texto)	20	44	10	35	20		
	a							
	b							
	c		4					
	Pântano ou colo		4	20	3		100	
Fluxo à superfície	C		17	18	26	25	67	
	NE	25	26	46	17	42		28
	E			18		8		72
	SE							
	S							
	SW				9		33	
	W				6			
	NW	25	13		3			
N	50	44	18	39	25			
Vento a 850 hPa	C							
	NE	25		37	13	19		14
	E	25		25	6	18	34	58
	SE	25	14	12	3	18		14
	S	25	24		12	9		
	SW		5	13	18	18		
	W		24		3		33	
	NW		19		21	9	33	
N		14	13	24	9		14	
Situação a 500 hPa	Anticiclone	50	18	56	9	34		86
	Dorsal		14	22	3	8	100	14
	Vale		5	22	24	17		
	Vert. W de vale		5		3	25		
	Vert. E de vale		5		15	8		
	Centro depres.		31		28			
	Fluxo Rápido de W		22		12			
	Pântano ou Colo	50			6	8		
Fluxo a 500 hPa	C	50	9	37	9	25		72
	NE							
	E							
	SE			9		17		
	S		9	9	12	25	67	
	SW	50	32	9	24	9		
	W		32	18	46	8		
	NW		18		3	8	33	
N			18	6	8		28	

Quadro 4.7 — Frequência de ocorrência (%) das situações sinópticas e da direcção dos fluxos à superfície, 850 e 500 hPa e estrutura térmica da atmosfera em Lisboa, em vários grupos de dias de semelhante repartição da temperatura mínima estival.

O vento sopra sempre do quadrante Norte: em 2b e 3b é, em valor mediano, mais forte em Cabo Carvoeiro; em 3b praticamente não há vento de NW (só N e NE) em Lisboa e é grande a frequência de calmas. Nos dias mais quentes (grupo 4b) o vento é fraco, de NE. Quando os ventos de Este atingem o litoral, as temperaturas em Cabo da Roca e Estoril são semelhantes às de Pegões e Montijo, podendo haver, na mesma noite, aumento de temperatura para oriente à latitude de Cabo Carvoeiro e diminuição à latitude de Cabo da Roca (16/6/83).

Em 2b e 3b o fluxo provém de NE à superfície, estando Portugal em situação de margem de anticiclone de raiz atlântica prolongando-se pela Europa Ocidental ou margem SE de anticiclone subtropical. Observam-se vários rumos dos ventos a 850 hPa (de NE no Grupo 2b, NE, E e SE em 3b e de E em 4b). A 500 hPa, anticlones ou pântanos geram situações de calma ou de vento fraco de Sul. A chegada de ar quente de Este e de Sul nas baixas camadas da troposfera e que estagna sobre Portugal, devido às calmas frequentes, pode desencadear ou intensificar a formação de nevoeiros ao arrefecer pela base em contacto com as águas oceânicas, frias. Mas tais fenómenos restringem-se ao litoral, uma vez que em Lisboa — segundo os poucos dados de sondagens de que dispomos às 0 horas (1/3 do total de noites estudadas) — a camada de ar húmido ou não existe ou é muito pouco espessa. Efectivamente, em todas as sondagens referentes aos grupos 1b(3), 2b(1), 3b(5) e 4b(2), são detectadas inversões baixas (inferiores a 950 hPa) ou mesmo junto ao solo. A camada de ar húmido é muito delgada ou inexistente. Estas condições de estabilidade da baixa troposfera contribuem para a ocorrência de grandes variações térmicas espaciais. Pelo contrário, 50% das 42 sondagens disponíveis relativamente aos grupos 2a e 3a, de fracos contrastes térmicos na região estudada, evidenciaram instabilidade vertical da baixa troposfera.

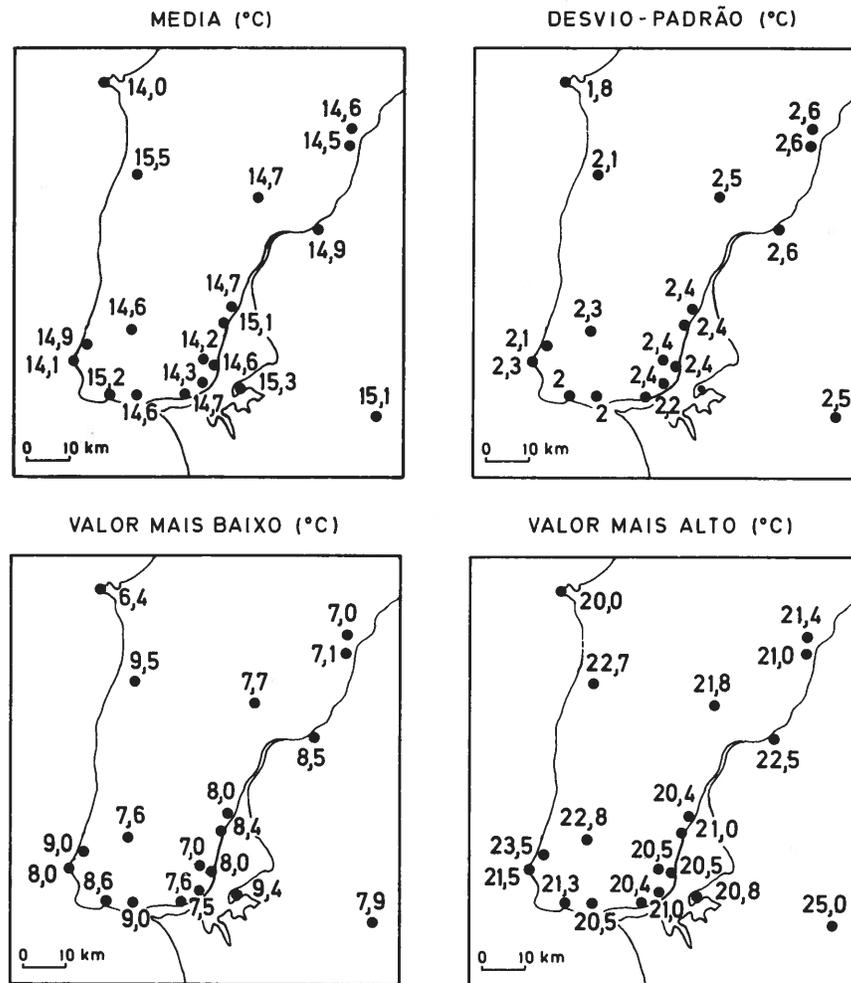
O terceiro eixo que, como se viu, entra em conta com 5% da variância, separa ocasiões em que a estação do Lavradio tem um comportamento diametralmente oposto em relação às estações do litoral ocidental. A análise de 26 noites, cuja projecção tem coordenadas positivas para F_3 , e de 21 dias, de coordenadas negativas, levou a verificar que, nos primeiros, as temperaturas são particularmente baixas naquela estação; nos segundos registam-se em Lavradio valores semelhantes aos do litoral ocidental (e próximos também de Lisboa). Verificou-se igualmente que, mais de metade dos dias de temperatura muito baixa no Lavradio, correspondem a dias de ventos fracos de Norte, NE e SE (características próximas dos grupos 1 a 4b, atrás referidos), ao passo que, em 76% de noites de temperatura elevada em Lavradio, o vento é de W e de NW (como nos grupos 2a e 3a).

Sem querer fazer afirmações para as quais os elementos recolhidos são insuficientes, pode sugerir-se o interesse do estudo da relação entre a direcção e velocidade dos ventos, a chegada de poluentes ao local da estação meteorológica — situada imediatamente a oriente da Quimigal — e os diferentes graus de aquecimento nocturno.

4 — A distribuição espacial das temperaturas no Inverno

4.1 — Valores médios, extremos e dispersão das temperaturas no Inverno

Comparando o mapa das médias das temperaturas máximas do conjunto de dias de Dezembro, Janeiro e Fevereiro utilizados (fig. 4.8) com o das máximas médias de Dezembro, apresentado no capítulo 3 (fig. 3.19), verifica-se o mesmo ligeiro aumento de temperatura de Norte para Sul da área estudada. Vimeiro é uma excepção, apresentando as mais altas temperaturas máximas: em dias de ventos



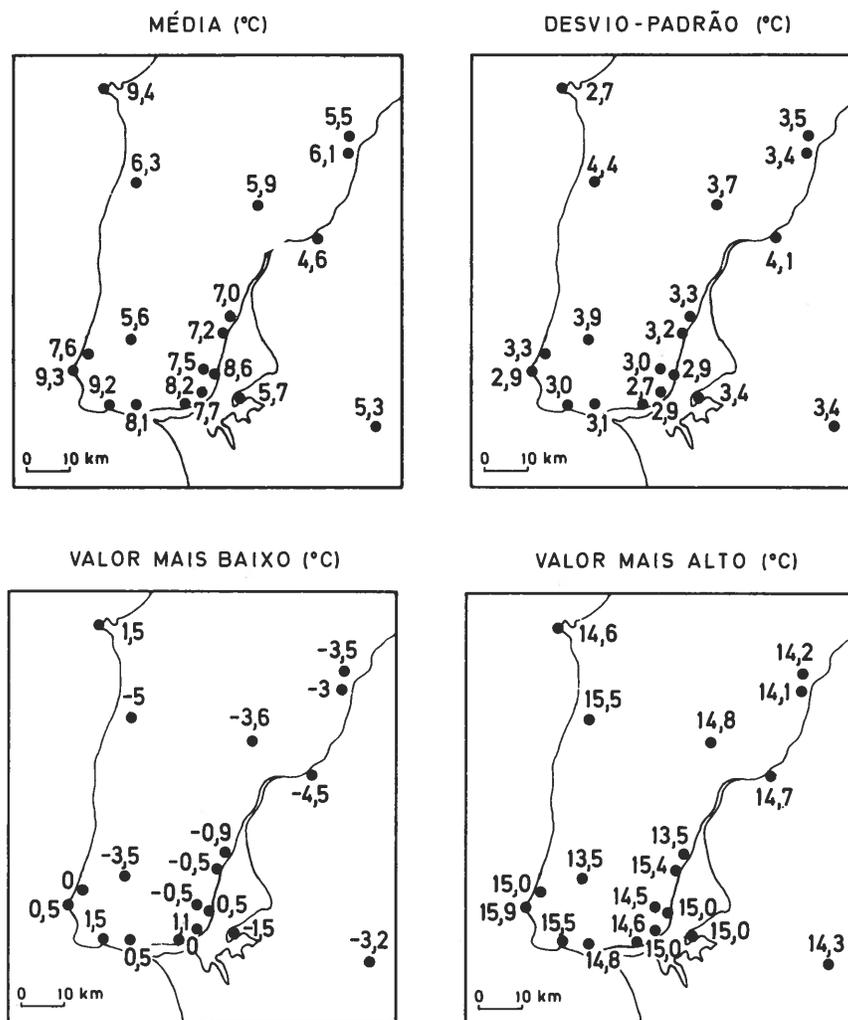
des L. Mendes

Fig. 4.8 — Valores médios, extremos e desvio-padrão da temperatura máxima de Inverno.

fortes e frios, a sua posição no fundo do vale assegura-lhe um certo abrigo; em dias de tempo anticiclónico e calmo, as vertentes escarpadas de calcário branco contribuem certamente para o aquecimento do ar no vale. Estoril também regista máximas elevadas em virtude do abrigo em relação aos ventos do Norte do limite Sul de S.João do Estoril, onde se encontra a estação meteorológica.

Os desvios-padrões, bastante mais baixos do que os das máximas de Verão, aumentam gradualmente de Oeste para Este. Tal como para o Verão, o desvio-padrão de Cabo da Roca é mais elevado do que a sua posição litoral o poderia fazer crer, em virtude da grande variabilidade das temperaturas desta estação meteorológica, já referida a propósito do Verão.

As médias dos valores mínimos de Inverno agora estudados (fig. 4.9), são bastante próximas das mínimas médias de Dezembro, apresentadas no capítulo anterior (fig. 3.19), apesar dos diferentes períodos de tempo escolhidos, e de se ter incluído, propositadamente, na amostragem agora utilizada,



des L. Mendes

Fig. 4.9 — Valores médios, extremos e desvio-padrão da temperatura mínima de Inverno.

algumas seqüências de noites de Inverno particularmente frias que, por motivos diversos, interessava estudar.

Tornam a aparecer dois núcleos quentes, no litoral ocidental e em Estoril, sendo a média das mínimas em Lisboa inferior em mais de um grau à daquela estação.

A variabilidade interdiurna das temperaturas, expressa sinteticamente pelo desvio-padrão, aumenta para Oriente, sendo porém intensificada nos locais deprimidos, onde aliás se registaram as mínimas mais baixas: por exemplo, Vimeiro: desvio-padrão de 4.4°C e mínima mais baixa de -5°C, embora como à frente se verá, as temperaturas mínimas de Vimeiro possam ser análogas às de Cabo Carvoeiro, em situação de vento forte que não permita um intenso arrefecimento por irradiação, nem acumulação de ar frio no fundo do vale.

4.2 — *Análise em Componentes Principais*

A observação dos resultados da análise em componentes principais revela que o efeito de dimensão é mais importante no Inverno do que no Verão: 82% para as máximas e 84% para as mínimas: as variações de temperatura fazem-se, pois, quase sempre no mesmo sentido e simultaneamente no conjunto das estações da região estudada.

Considerando a projecção das variáveis (estações) no plano 1-2 (fig. 4.10), nota-se que, tendo em conta os valores de temperaturas máximas, as estações litorais (Colares, Cabo Carvoeiro e Cabo da Roca e Vimeiro) opõem-se às do Vale e do estuário do Tejo (Santarém, Fonte Boa, Salvaterra de Magos, Alverca, Sacavém, Lisboa/Portela, Lisboa e Montijo).

O terceiro eixo (3% da variância) separa os casos em que Cabo Ruivo apresenta valores opostos aos do litoral ocidental, daqueles em que as temperaturas observadas em ambas são semelhantes.

No caso das temperaturas mínimas, as únicas duas estações de características marcadamente atlânticas são Cabo da Roca e Cabo Carvoeiro (fig. 4.11). Haverá portanto uma muito estreita faixa de temperaturas mínimas elevadas, que porventura se pode restringir aos dois cabos.

O segundo eixo, que apenas entra em conta com 3% da variância, opõe Cabo Carvoeiro e Cabo da Roca, já referidos, a Setúbal e Salvaterra de Magos, estações da metade oriental da área estudada que, devido à sua localização em áreas ligeiramente deprimidas apresentam as temperaturas mínimas mais baixas da região (Sesimbra/Maçã e Sintra/Pena, destacadas no capítulo 3 pelas suas baixas temperaturas mínimas, deixaram de funcionar).

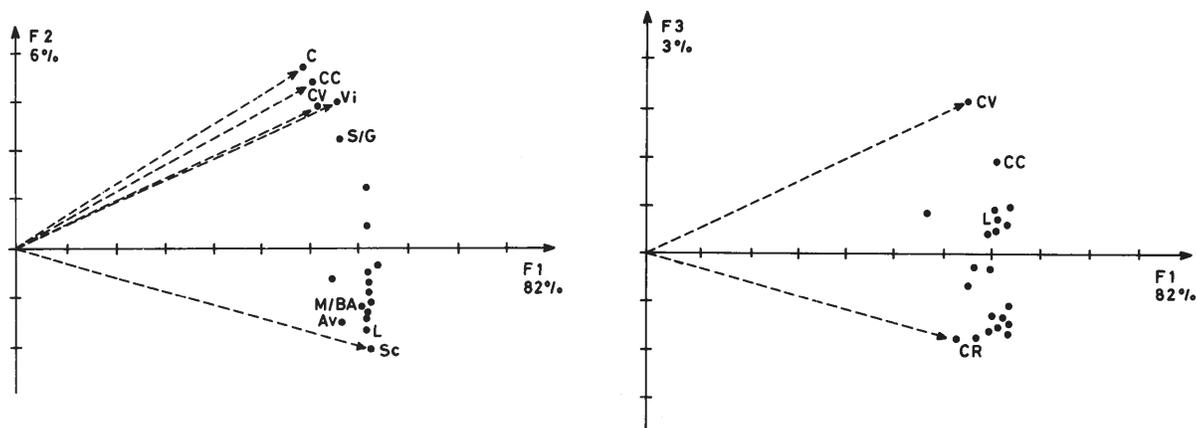


Fig. 4.10 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Inverno: projecção das variáveis (estações meteorológicas) nos planos 1-2 e 1-3. À excepção de Lisboa (L), apenas se indicam as siglas das estações bem representadas pelo segundo factor (no 1.º gráfico) e pelo terceiro (no 2.º).

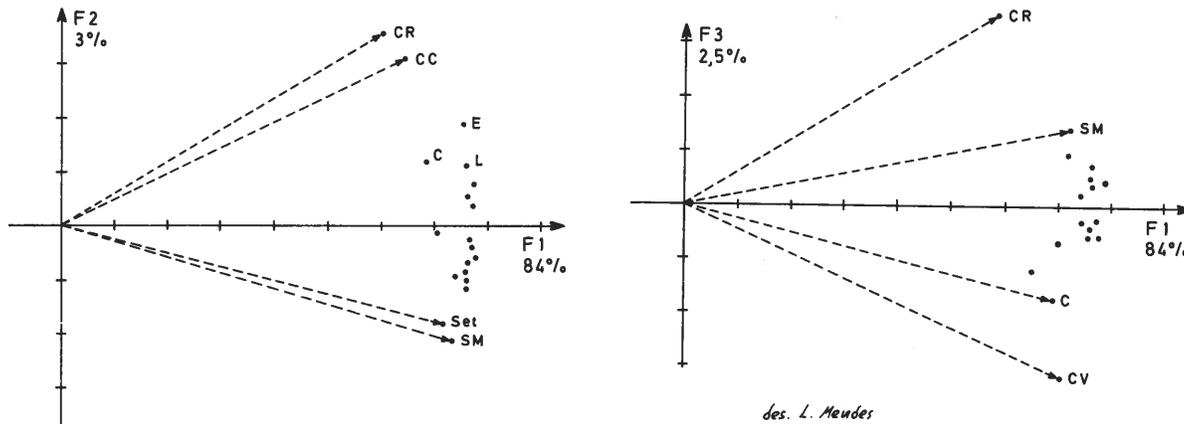


Fig. 4.11 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Inverno: projecção das variáveis (estações meteorológicas) nos planos 1-2 e 1-3. À excepção de Lisboa (L), apenas se indicam as siglas das estações bem representadas pelo segundo factor (no 1º gráfico) e pelo terceiro (no 2º).

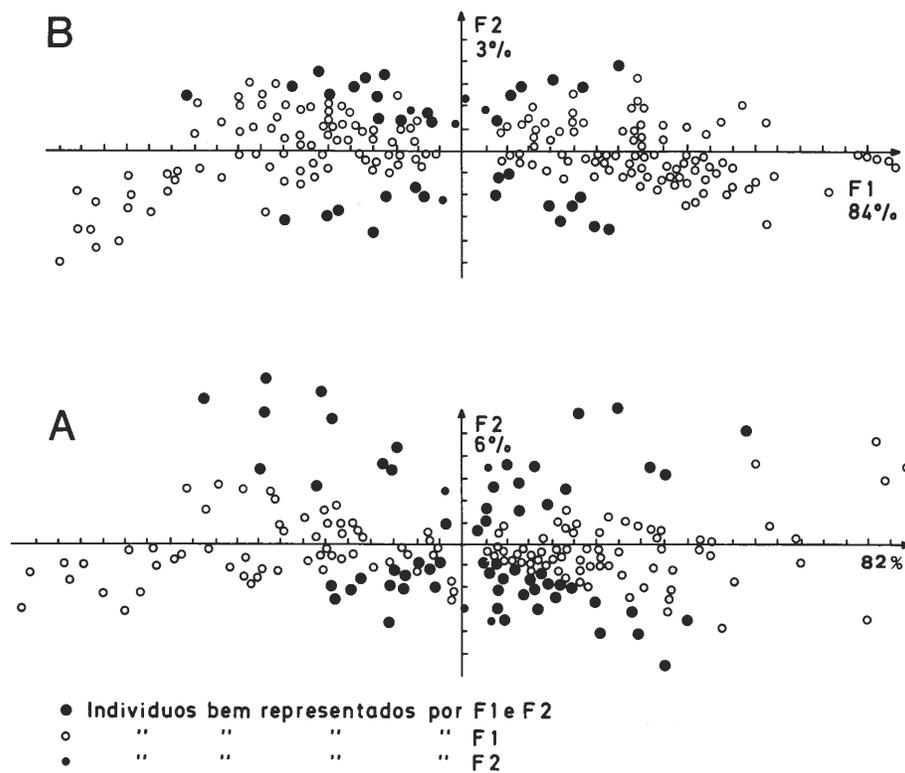


Fig. 4.12 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas (A) e mínimas (B) de Inverno: qualidade de representação dos vários indivíduos (dias) em relação aos eixos 1 e 2.

O terceiro eixo opõe Cabo da Roca a Cabo Ruivo, tal como para as máximas. Estas estações, apesar de apresentarem valores médios semelhantes têm, em certos dias, comportamento antagónico.

AS TEMPERATURAS MÁXIMAS

Da mesma maneira como se procedeu para o Verão, agruparam-se os dias a partir da sua projecção no plano 1-2 e tendo em conta a sua qualidade de representação em relação aos dois primeiros eixos (fig. 4.13); anotou-se, no Quadro 4.8, a frequência de dias de cada grupo, assim como dos outros conjuntos que constituem os grupos ditos de transição.

Os dias do grupo 1 (coordenadas negativas para o primeiro factor, mal representados pelo segundo) correspondem àqueles em que as máximas são uniformemente muito baixas; o valor mais elevado regista-se no Vimeiro, devido à já referida posição da estação.

Estas condições térmicas podem ser devidas a causas muito diversas e corresponder a tipos de tempo diferenciados. Por exemplo, a 13/2/83 e nos dias precedentes, vales planetários bastante desenvolvidos em latitude, provocavam advecção de ar setentrional frio sobre a Península Ibérica, tendo-se individualizado gotas frias a 500 hPa. As situações depressionárias corresponderam condições de instabilidade que conduziram à queda de neve imediatamente a Norte da área estudada. Em Lisboa, o tempo foi «frio e de aguaceiros», alternando os períodos de chuva e de nebulosidade elevada com outros de céu pouco nebulado, sendo a direcção do vento também variável (1", na figura 4.13).

Pelo contrário, sob condições anticiclónicas (nomeadamente anticiclones de raiz atlântica prolongando-se para NE ou com apófise polar), que permitem a continuação do arrefecimento (por irradiação) posteriormente à advecção de ar frio, as temperaturas descem muito. Ex: dia 9/1/1985, na figura 4.13. O ar frio que chegava à latitude de Lisboa, pôde ser detectado a vários níveis isobáricos. A 500hPa, os ventos sopravam do Norte da Escandinávia, na circulação de vertente ocidental de vale planetário.

O significado do segundo factor (6% da variância) não é tão claro como nos dois casos anteriores. Nota-se, no entanto, que, nos dias do grupo 2a, o Vale do Tejo está bastante mais frio que o litoral e, em 3a, está ligeiramente mais frio. Pelo contrário, em 2b e 3b (coordenadas negativas para F2, figura 4.13), é o litoral que está um pouco (2b) ou bastante (3b) mais frio do que o Vale do Tejo.

No grupo 2a, que engloba dias frescos no litoral e francamente frios e de frequentes nevoeiros no vale e estuário do Tejo, há calma à superfície ou vento fraco do quadrante Este e é grande a estabilidade atmosférica (em 77% dos casos registaram-se inversões baixas: mesmo junto ao solo ou base da inversão abaixo de 950 hPa). Tal conjunto de circunstâncias deve-se, na maior parte dos casos (59%) a situações anticiclónicas (a. Europeu, ou anticiclone de raiz atlântica, prolongando-se para NE) e, em 33% das ocasiões, a pântanos ou colos barométricos. Nalguns casos, isola-se um segundo núcleo de altas pressões no Sul da Península Ibérica. A 500 hPa, predominam situações anticiclónicas e dorsais.

São relativamente frequentes (20%), os dias de transição entre os grupos 2a e 2b (fig. 4.12). As temperaturas são baixas e a diminuição da temperatura no Vale do Tejo tanto menor quanto mais próximos do grupo 2b. O vento sopra de Este, nos dias de coordenadas positivas para F₂ e de N, NE e NW, mais forte, nos outros. Em altitude, situações anticiclónicas nos primeiros e vertentes ocidentais de vales e centros depressionários nos segundos.

Os dias do grupo 2b são frescos, no conjunto, registando-se temperaturas máximas ligeiramente mais baixas junto ao litoral (exemplo dia 24/2/84, na figura 4.13). A nebulosidade é média (entre 3/8

e 4/8 em Lisboa e 5 e 7/8 em Cabo Carvoeiro) e o vento, muito forte, de Norte e NW no litoral (30 km/h em Cabo Carvoeiro) e de N, NW e E em Lisboa (20 km/h). À superfície, passagem de depressões ou centros depressionários que, tal como para alguns dias do grupo 1, podem dar origem a precipitações. Tal repartição de temperaturas também pode corresponder à posição de Portugal em margem de anticiclone Atlântico, prolongando-se, ou não, para NE. Ao contrário dos dias do grupo 2a, nestas situações Portugal encontra-se numa zona de forte gradiente barométrico. Os ventos septentrionais a 500 hPa devem-se ao facto da região se encontrar em situação de vertente ocidental de vale planetário, soprando o vento de Oeste nos dias em que é o eixo do vale que está localizado sobre Portugal. É grande a instabilidade vertical da atmosfera e, em mais de 50% dos casos, não há, em Lisboa/Portela, inversões térmicas, pelo menos até aos 700 hPa.

Os grupos de indivíduos de coordenadas positivas para F_1 são, no conjunto, menos frios; os dias do grupo 3a são, no entanto, frescos, frios mesmo, no Vale e estuário do Tejo, ainda que de nebulosidade variável, mesmo no litoral oeste, onde sopra vento fraco de Sul e SE. Em Lisboa/Portela são frequentes as situações de calma, tal como em 2a, que alternam com ventos fracos de Norte e de Este (velocidades medianas: 6 a 7 km/h); a humidade relativa é mais elevada do que na costa ocidental, mesmo quando não se forma nevoeiro. O ar provém de SE e Sul à superfície, a 850 e, por vezes também, a 500 hPa, em que dominam as situações anticiclónicas. Também como para 2a, observam-se em Lisboa grande número de inversões baixas (Quadro 4.10). Como acontecia no Verão, e sem estabelecer relações de causa a efeito, aponta-se a coincidência entre as ocorrências de inversões térmicas baixas e a grande variabilidade espacial das temperaturas, pois a espessura da camada de ar superficial mais fresca (e húmida geralmente) deve variar muito rapidamente no espaço. Há, nestes dias, grande frequência de situações anticiclónicas (anticiclone Europeu, que se desenvolve muito em latitude, em direcção ao

	1.º Factor (F_1): 82 % da variância		2.º Factor (F_2): 6 % da variância		Nº de dias	%
	Posição em relação ao eixo	Qualidade de representação	Posição em relação ao eixo	Qualidade de representação		
Grupo 1	Coord. fort. neg.	Boa	Coord. neg.	Má	12	5
Grupo 2a	Coord. neg.	Boa	Coord. fort. pos.	Boa	13	6
Transição 2a-2b (1)	Coord. neg.	Boa	Coord. pos.	Má	19	9
Transição 2a-2b (2)	Coord. neg.	Boa	Coord. neg.	Má	23	11
Grupo 2b	Coord. neg.	Boa	Coord. neg.	Boa	13	6
Transição 2a-3b	Coord. fracas	Má	Coord. neg.	Boa	20	10
Grupo 3a	Coord. pos.	Boa	Coord. fort. pos.	Boa	16	8
Transição 3a-3b (1)	Coord. pos.	Boa	Coord. pos.	Má	20	10
Transição 3a-3b (2)	Coord. pos.	Boa	Coord. neg.	Má	46	22
Grupo 3b	Coord. pos.	Boa	Coord. neg.	Boa	24	11
Grupo 4	Coord. fort. pos.	Boa	Coord. pos.	Boa	4	2

Quadro 4.8 — Posição no plano 1-2, qualidade de representação em relação a F_1 e F_2 e frequência de ocorrência de grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima no Inverno.

Coord.: Coordenadas

fort.: fortemente

neg.: negativas

pos.: positivas

(1): Coordenadas positivas de F_2

(2): Coordenadas negativas de F_2

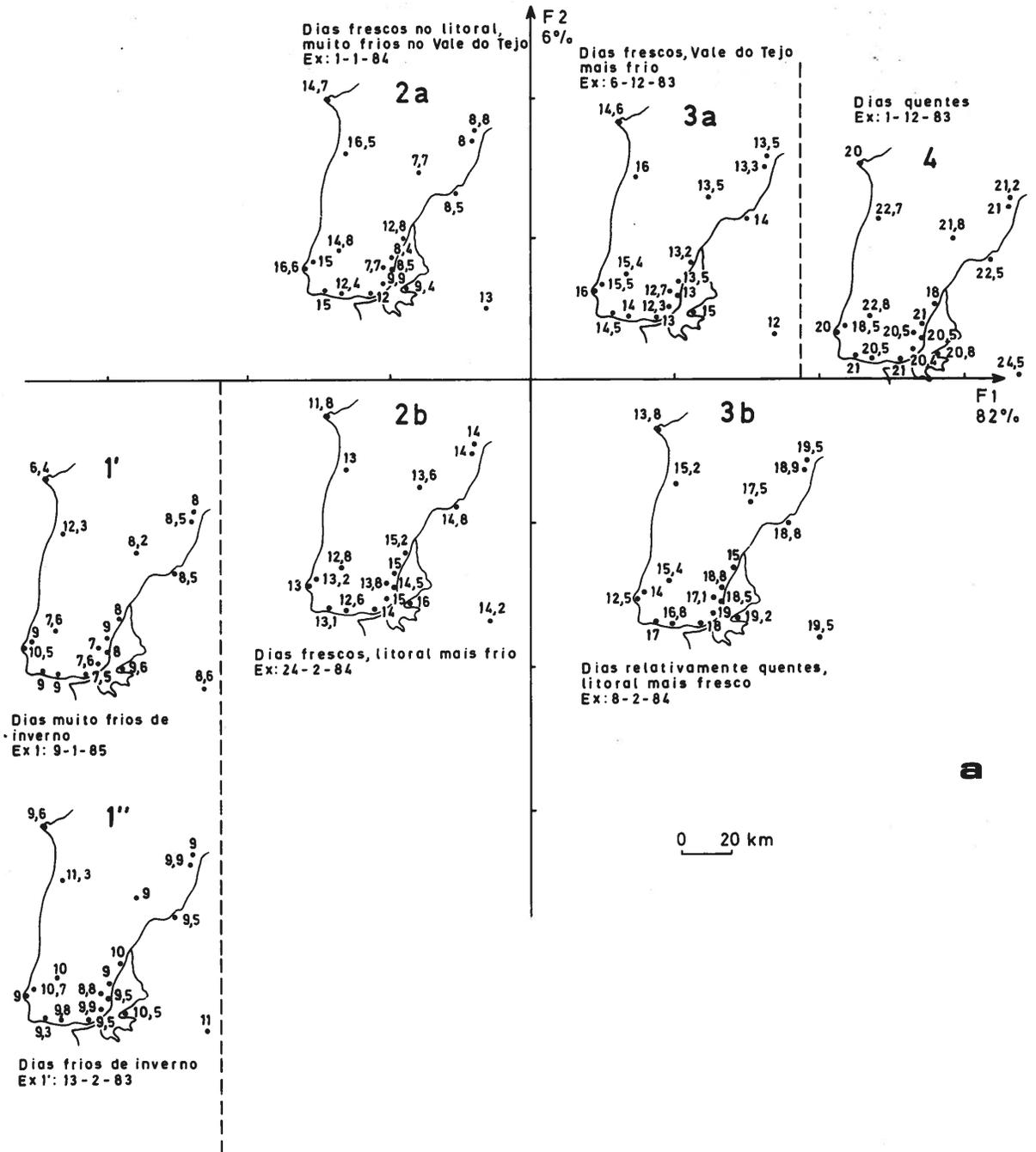


Fig. 4.13 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Inverno. (1.ª parte)

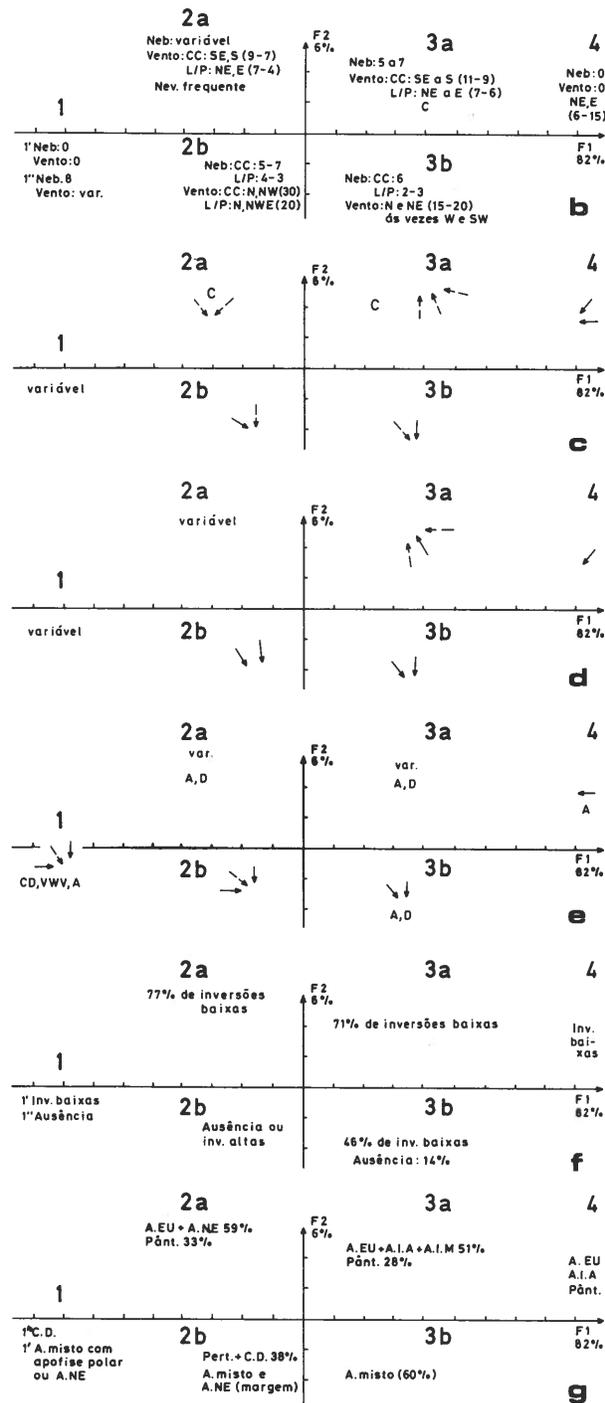


Fig. 4.13 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Inverno. (2.ª parte, legenda no fim do capítulo)

			G 1	G 2a	G 2b	G 3a	G 3b	G 4	
Nebulosidade em oitavos (Mediana)	12h	CC	5	2	5	6	6	0	
		LP	6	8	4	7	3	0	
	18h	CC	6	7	7	5	6	0	
		LP	3	3	3	6	2	0	
Velocidade do vento em km/h (Mediana)	12h	CC	19	9	30	11	17	6	
		LP	19	7	20	7	20	15	
	18h	CC	22	7	30	9	19	9	
		LP	15	4	19	6	20	7	
Direcção do vento e calmas (% de observações)	12h	CC	C						
			NE	20	9	8		39	25
			E		9	8	6	4	50
			SE	20	37	8	25		25
			S	30	27	8	50		
			SW		9			4	
			W		9	8	13	9	
			NW			15			
	N	30		45	6	44			
	12h	LP	C		8		19	4	
			NE	18	31		44	12	50
			E	37	45	31	19	4	50
			SE		8		6		
			S						
			SW					12	
			W	9	8		6		
NW			18		31	6			
N	18		38		68				
18h	CC	C							
		NE	10	23	17	6	21	50	
		E				6	4		
		SE	10	15	8	19			
		S	20	23	8	38	4		
		SW		8	8	6		50	
		W		15	17	6	8		
		NW		8		13			
	N	60	8	50	6	63			
	18h	LP	C		23		19	4	
			NE	25	53		24		75
			E	8	8	8	13	4	
			SE	8			5		
			S			8	13	4	
			SW						
			W	8	8	15	13	4	
NW			17	8	31	13			
N	34		38		84	25			

Quadro 4.9 — Nebulosidade e ventos em Cabo Carvoeiro (CC) e em Lisboa/Portela (LP) em grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima de Inverno.

		G 1	G 2a	G 2b	G 3a	G 3b	G 4
Situação sinóptica à superfície	A. Atl. subtropical					18	
	A. A. misto			31		60	
	A. Atl. NE	27	26	31		9	
	A. Europeu	18	33		37	9	25
	A. Im. e Ia.				14	4	50
	Dep. P. Ibérica						
	Outros C. Depres.	46		15			
	Perturbações	9	8	23	21		
	Situação de transição (ver texto)	a					
	b						
	c						
	Pântano ou colo		33		28		25
Fluxo à superfície	C	17	45	8	34	17	
	NE	25	8	15	6	13	50
	E	8	16		18	4	50
	SE	17		8	18		
	S	8	8		18		
	SW		8			4	
	W					9	
	NW		15	46	6	17	
N	25		23		36		
Vento a 850 hPa	C				6		
	NE	17	15	9	18	19	50
	E	8	15		12		25
	SE				23	5	
	S		8		12	5	25
	SW	8	15	9	6		
	W			9	11	10	
	NW	34	32	46	12	29	
N	33	15	27		32		
Situação a 500 hPa	Anticiclone	8	15	8	19	25	50
	Dorsal		38	8	31	29	25
	Vale	8		17	6		
	Vert. W de vale	34		59	13	13	
	Vert. E de vale		7		6		
	Centro depres.	42	25		6	4	25
	Fluxo Rápido de W	8	8	8	13	21	
	Pântano ou Colo		7		6	8	
Fluxo a 500 hPa	C					9	25
	NE		22		12	13	25
	E		8		6		50
	SE				12	4	
	S	8	8		12		
	SW		8	8	6	13	
	W	33	8	38	18	13	
	NW	25	23	8	34	17	
N	34	23	46		31		
Alt. e int. inv. em L/P	Ausência de inversão	64		54	6	14	
	Base da inver. + baixa	750 e 850 hPa			23	16	
		850 e 950 hPa		23	15	6	25
		abaixo de 950 hPa	36	62	8	64	40
	Inversão junto ao solo		15		6	5	25

Quadro 4.10 — Frequência de ocorrência das situações sinópticas e da direcção dos fluxos à superfície, a 850 e 500 hPa e estrutura térmica da atmosfera em Lisboa, em vários grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima de Inverno.

Norte de África, ibero-mediterrâneo ou mesmo ibero-africano). Num quinto dos casos, este tipo de repartição térmica coincide com momentos de melhoria do tempo, entre a passagem de superfícies frontais.

Os dias do conjunto 3b são frescos no litoral, mas já relativamente quentes a oriente (fig. 4.13). A nebulosidade permanece mais forte no litoral, o vento sopra de N ou NE (mais raramente do quadrante W), a 15-20 km/h. À superfície, situações anticiclónicas; 60% dos organismos isobáricos reconhecidos eram anticiclones mistos e o gradiente de pressão sempre pronunciado. Fluxo de NW (ou N) aos vários níveis isobáricos, presença de anticiclones, dorsais ou fluxo rápido de W aos 500 hPa.

Muito numerosos são os dias de transição entre os grupos 3a e 3b, sobretudo aqueles cuja projecção é negativa para o segundo eixo (22%, Quadro 4.8). Nestes, como a 15/12/84 (fig. 4.14), são fracas as diferenças de temperatura máxima, que aumenta, apesar de tudo, de Oeste para Este, tal como no grupo 3b. Correspondem a situações de nebulosidade elevada (8/8 a 15/12/84), de vento forte de Oeste, Sul, SW ou NW e de forte instabilidade térmica vertical (ausência de inversões até pelo menos 700 hPa); os ventos sopram também do quadrante W a 850 e a 500 hPa, nível isobárico em que predominam o fluxo rápido de Oeste em circulação zonal e vertentes ocidentais de vales planetários em circulação meridiana.

Os dias de bom tempo generalizado, de céu limpo e vento fraco de Leste não só à superfície como a 850 e a 500hPa, constituem o grupo 4 e são raros (2% da amostragem). À superfície dominam anticiclones ibero-africanos que originam temperaturas elevadas para a estação do ano (entre 20 e 24.5°C a 1/12/83), notando-se um ligeiro aumento de Ocidente para Oriente.

AS TEMPERATURAS MÍNIMAS

A observação da figura 4.15, elaborada a partir da figura 4.12 e dos Quadros 4.12 e 4.13, segundo as mesmas normas das precedentes, revela desde já que, de entre os dias bem representados pelo segundo eixo (3% da variância), os que apresentam coordenadas positivas para este eixo (2a e 3a) são aqueles em que são mais fortes as variações térmicas espaciais e em que o litoral está francamente mais quente que o Oriente da região estudada. Nos outros exemplos da mesma figura, a repartição térmica espacial é mais homogénea, excepto nas noites do grupo 1 (mal representados pelo segundo factor), em que o Vale do Tejo está mais frio, embora as temperaturas mínimas sejam muito baixas no conjunto da área estudada.

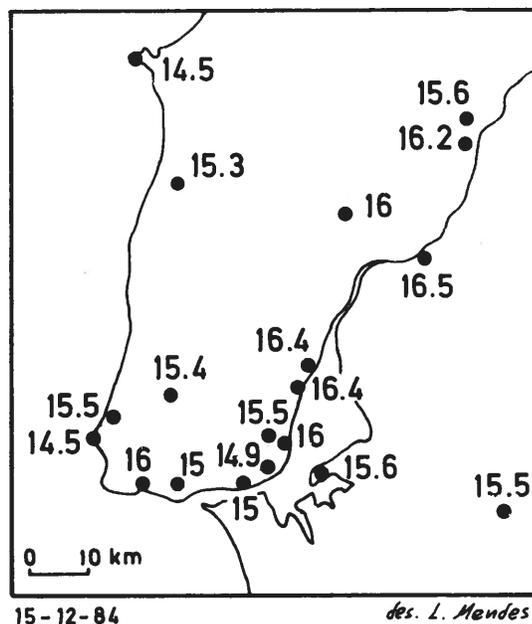


Fig. 4.14 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Inverno: repartição das temperaturas num dia do grupo de transição 3a — 3b.

Como se verificou para as temperaturas máximas, o conjunto de indivíduos que compõem o grupo 1 (7% dos dias estudados, Quadro 4.11) englobam, de facto, duas populações que correspondem a tipos de tempo e situações sinópticas diferentes.

O «frio» do dia 11 de Janeiro de 1985 (fig. 4.15a), tal como das outras noites de céu limpo e vento fraco de Este e NE, é correlativo de fluxos de N ou NE a vários níveis isobáricos e da presença de anticiclones (Europeu na maior parte dos casos, de raiz atlântica, prolongando-se para NE ou com apófise polar). Em três dos dias deste grupo, os anticiclones, classificados de ibero-mediterrâneos, estavam centrados na Península Ibérica, facto muito raro no conjunto dos boletins analisados, e prolongavam-se pouco para Oriente. Repare-se que, nestas noites em que a irradiação nocturna é favorecida, as mínimas mais baixas registam-se no fundo de vale onde está localizada a estação do Vimeiro (-4°C, contra 2.2 em Cabo Carvoeiro, poucos quilómetros a NW).

Na noite de 13/2/83 (fig. 4.15a), os valores mais baixos de temperaturas registam-se no Vale do Tejo (Santarém, Ota e Salvaterra de Magos) e são inferiores, neste caso, aos de Vimeiro. Neste segundo conjunto de noites do grupo 1, a direcção e velocidade do vento são variáveis e a nebulosidade é fraca ou nula, podendo aumentar local e temporariamente, pois são frequentes os aguaceiros (de neve, a Norte de Lisboa). Observa-se, nas cartas de superfície, centros depressionários, ainda que pouco cavados. Em altitude há advecção de ar de altas latitudes, transportado na circulação de vertente ocidental de vale planetário, tal como se viu no caso das temperaturas máximas, também extremamente baixas na região, nestes dias.

Nos grupos 2a e 3a, a nebulosidade é fraca; o vento sopra de Sul e SE em Cabo Carvoeiro e do quadrante Este no Aeroporto. Nos dias do grupo 2a, alternam as situações de calma com as de vento fraco de NE em Lisboa/Portela, que coincidem com pântanos barométricos ou anticiclones atlânticos

	1.º Factor (F ₁): 84 % da variância		2.º Factor (F ₂): 3 % da variância			
	Posição em relação ao eixo	Qualidade de representação	Posição em relação ao eixo	Qualidade de representação	Nº de dias	%
Grupo 1	Coord. fort. neg.	Boa	Coord. neg.	Má	15	7
Grupo 2a	Coord. neg.	Boa	Coord. Pos.	Boa	11	5
Transição 2a-2b (1)	Coord. neg.	Boa	Coord. pos.	Má	45	22
Transição 2a-2b (2)	Coord. neg.	Boa	Coord. neg.	Má	24	11
Grupo 2b	Coord. neg.	Boa	Coord. neg.	Boa	9	4
Grupo 3a	Coord. pos.	Boa	Coord. Pos.	Boa	7	3
Transição 3a-3b (1)	Coord. pos.	Boa	Coord. pos.	Má	31	15
Transição 3a-3b (2)	Coord. pos.	Boa	Coord. neg.	Má	52	26
Grupo 3b	Coord. pos.	Boa	Coord. neg.	Boa	9	4
Grupo 4	Coord. fort. pos.	Boa	Coord. pos.	Má	6	3

Quadro 4.11 — Posição no plano 1-2, qualidade de representação em relação a F₁ e F₂ e frequência de ocorrência de grupos de dias de semelhante repartição da temperatura mínima no Inverno.

Coord.: Coordenadas

fort.: fortemente

neg.: negativas

pos.: positivas

(1): Coordenadas positivas de F₂

(2): Coordenadas negativas de F₂

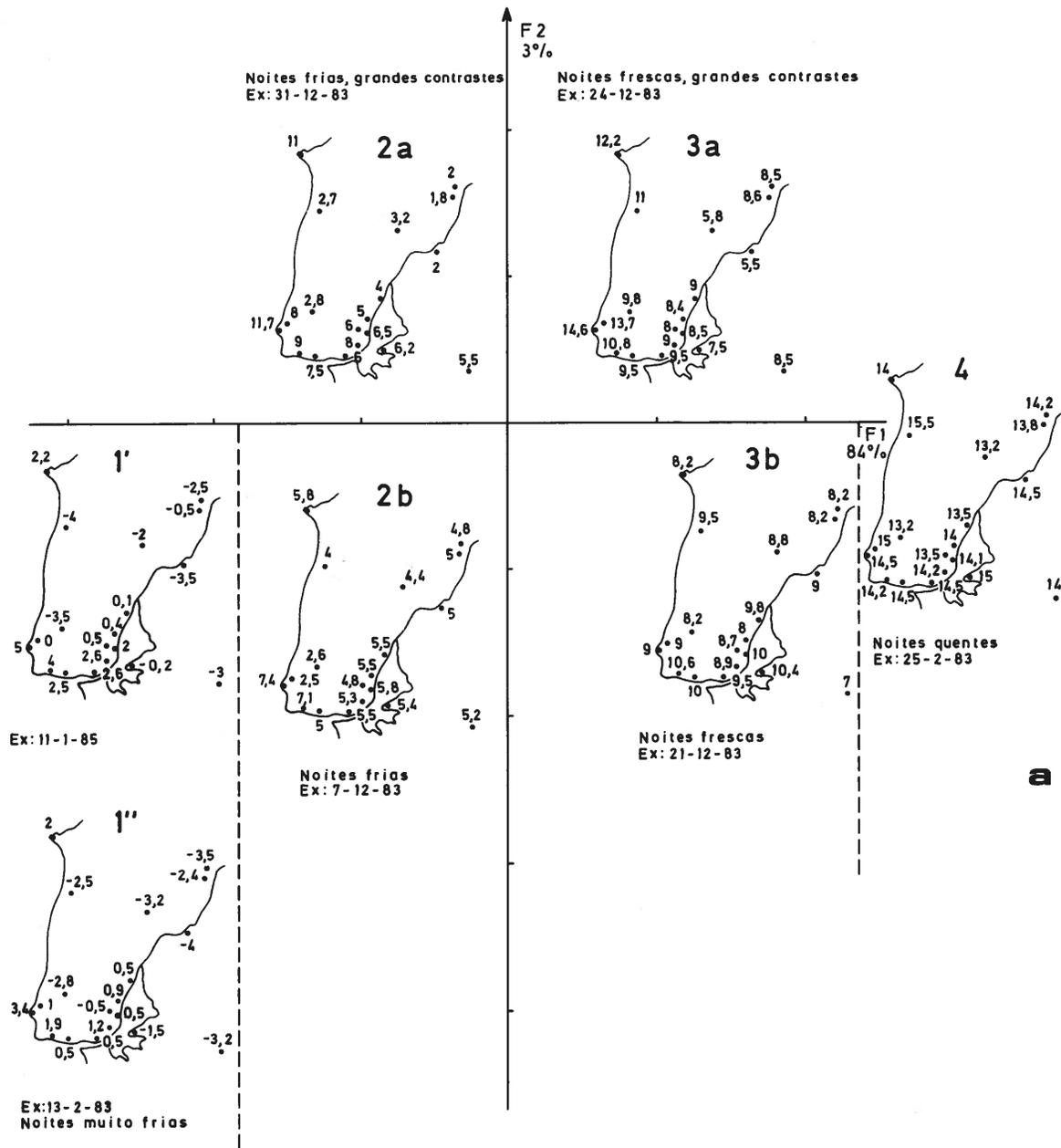


Fig. 4.15 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Inverno.
(1.ª parte)

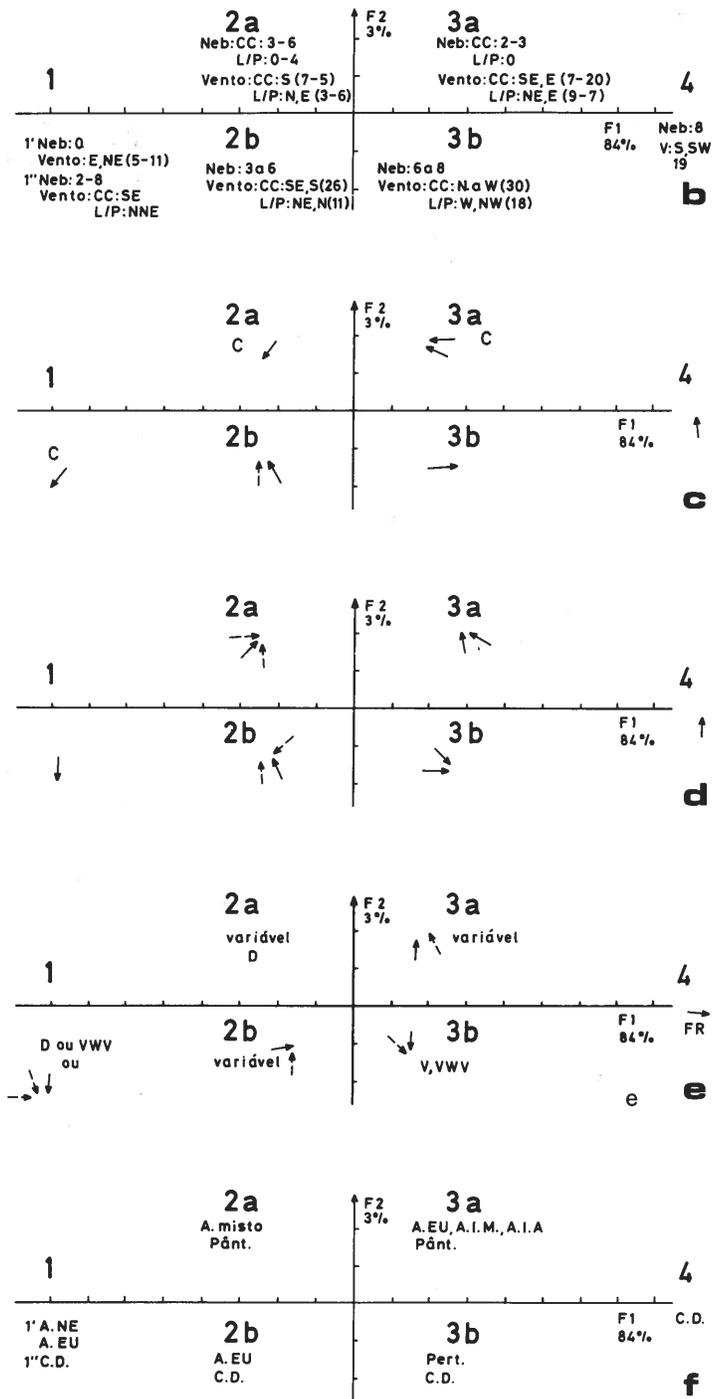


Fig. 4.15 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Inverno.
(2.ª parte, legenda no fim do capítulo)

			G 1	G 2a	G 2b	G 3a	G 3b	G 4		
Nebulosidade em oitavos (Mediana)	0h	CC	0	3	4	3	8	8		
		LP	0	0	6	0	7	8		
	6h	CC	0	6	3	2	8	8		
		LP	0	4	4	0	6	8		
Velocidade do vento em km/h (Mediana)	6h	CC	6	7	26	7	30	19		
		LP	6	4	11	9	17	19		
	18h	CC	11	6	26	20	30	19		
		LP	11	6	11	7	19	15		
Direcção do vento e calmas (% de observações)	12h	CC	C							
			NE	27	10			11		
			E	26	10	25				
			SE	26		63	29			
			S	7	40	12	71	11	67	
			SW							
			W	7	10			22	33	
			NW					22		
		N	7	30			34			
		LP	C	7	27		14			
			NE	27	9	56	43	11		
			E	7		33	29	11		
			SE				14			
			S						33	
			SW					11	34	
			W		9			34	33	
			NW	20	18			11		
			N	39	37	11		22		
	18h	CC	C							
			NE	13	9	13	14	11		
			E	27	18	13				
			SE	33	18	37	43			
			S	20	37	37	43	11	34	
			SW						33	
			W					34	33	
			NW					22		
			N	7	18			22		
			LP	C	13	18		14		
				NE	48	18	45	43	11	
				E	13	37	33	29		
			SE					11		
			S						50	
			SW					11	33	
			W	13					17	
			NW			11		56		
			N	13	27	11	14	11		

Quadro 4.12 — Nebulosidade e ventos em Cabo Carvoeiro (CC) e em Lisboa/Portela (LP) em grupos de dias de semelhante repartição de temperatura mínima de Inverno.

prolongando-se ou não para NE (Quadro 4.13). É forte, nos dois casos, o gradiente W-E de temperatura mínima, estando Lisboa e mesmo Monte Estoril francamente mais frios que o litoral ocidental, ainda que os mínimos mais baixos ocorram a Oriente, em locais deprimidos. As temperaturas globalmente mais altas do grupo 3a, parecem dever-se à direcção do fluxo de SE e Sul tanto à superfície (anticlones Europeu e ibero-africano), como aos vários níveis isobáricos. A maior parte dos referidos anticlones, centrados sobre a Europa Ocidental ou sobre o Mediterrâneo Oriental prolongavam-se para Sul, de modo que a região de Lisboa recebia massas de ar vindas do continente africano.

Nas noites do grupo 2b, ainda que se note um ligeiro gradiente de temperatura W-E, as diferenças são bastante fracas (maior diferença: 4.4°C) e praticamente não dependem da posição topográfica da estação. Nestas noites, a nebulosidade varia entre 3 e 6/8 (valor mediano, Quadro 4.12) e o vento, bem mais forte do que nos dias dos grupos 2a e 3a sopra ainda de SE e Sul em Cabo Carvoeiro e de NE e Este em Lisboa/Portela. Fluxo de SE à superfície e a 850 hPa. Nestas noites, Portugal tanto pode estar em situação de margem SW de anticiclone Europeu como, mais raramente, em margem NE de centro depressionário localizado a Sudoeste de Portugal.

Em 3b, as temperaturas mínimas são relativamente elevadas para a estação do ano, mais altas em Lisboa e Estoril do que na costa ocidental, mas as variações são pequenas de local para local; a nebulosidade é elevada (6 a 8/8) e o vento, forte ou muito forte, dos quadrantes W e NW, devido quase exclusivamente à passagem de perturbações ou proximidade de centros depressionários (Quadro 4.13). Os ventos provêm de W até 850 hPa e do quadrante Norte a 500.

Finalmente, no grupo 4, estão reunidas as raras noites «quentes», de mínimas entre 13 e 15°C, distribuídas de forma aparentemente aleatória, à excepção de Vimeiro de temperaturas elevadas, tal como acontece noutras ocasiões de vento forte. A nebulosidade é invariavelmente alta e o vento sopra de Sul e SW (mediana das velocidades: 19 km/h em Lisboa). Todos os casos correspondem à passagem de depressões. Acima de 850 hPa o fluxo é rápido do quadrante Oeste.

Estes casos extremos agora apontados não são, porém, os mais frequentes (constituem, em conjunto, 27% da amostragem total). Este facto podia-se prever, dada a fraca percentagem da variância tida em conta pelo segundo factor. Repare-se que, já no caso das temperaturas máximas de Inverno, a percentagem da variância tida em conta pelo segundo factor era mais baixa (6%) do que nos dois casos de Verão (9% e 13%). No entanto, a análise permitiu evidenciar diversos padrões de repartição térmica contrastados, facilitou a escolha de exemplos concretos e o estabelecimento de correspondências entre a variação espacial da temperatura, os estados do tempo e as condições sinóticas.

As noites de transição entre os grupos 2a e 2b (36% dos casos) correspondem a vários tipos de situações anticiclónicas, que originam ausência de nebulosidade e vento relativamente forte de N ou NE à superfície, sendo as temperaturas mínimas resultantes baixas (sempre inferiores a 10°C, frequentes vezes inferiores a 6°C). À superfície, estas situações coincidem com anticlones atlânticos prolongados ou não para NE.

Na transição entre os grupos 3a e 3b, outras (40%) noites não muito frias. Por exemplo, naquelas cuja projecção é negativa para F_2 (25% dos casos), as temperaturas oscilam entre os 9 e os 13°C, a nebulosidade é muito elevada (8/8), não raro ocorre precipitação e o vento sopra de Oeste devido à passagem de perturbações ou a centros depressionários à superfície e a 850 hPa. A 500 hPa, fluxo rápido de W ou vertentes ocidentais de vales, vales planetários e vertentes orientais de vales originando respectivamente, fluxo de NW, W ou SW sobre a região de Lisboa.

		G 1	G 2a	G 2b	G 3a	G 3b	G 4	
Situação sinóptica à superfície	A. Atl. subtropical		10					
	A. A. misto	6	40	11				
	A. Atl. NE	6	20					
	A. Europeu	34	10	67	29			
	A. Im. e Ia.	20			57			
	Dep. P. Ibérica							
	Outras C. Depres.	28		22		33		
	Perturbações					56	100	
	Situação de transição (ver texto)	a				14	11	
		b						
c								
Pântano ou colo		6	20					
Fluxo à superfície	C	40	64		29		20	
	NE	33	27	11	13			
	E	13	9	11	29			
	SE	7		45	29	11	20	
	S			22			60	
	SW					11		
	W					56		
	NW	7				11		
Vento a 850 hPa	N			11		11		
	C	7						
	NE	7	9	22	14			
	E	7		11				
	SE			34	29	23		
	S	21	18	22	29		66	
	SW	7	37			11	17	
	W	7	27		14	33	17	
Situação a 500 hPa	NW	44	9			33		
	N			11	14			
	Anticiclone	7	9		29		17	
	Dorsal	27	37	33	29			
	Vale	6				11		
	Vert. W de vale	27	9	11		56		
	Vert. E de vale				29	22		
	Centro depres.	20	18	45	13			
Fluxo Rápido de W	7	18			11	83		
Pântano ou Colo		6	9	11				
Fluxo a 500 hPa	C				14			
	NE							
	E		27		14			
	SE	13	9	11	29	11		
	S	7		22	29			
	SW		9	34		11	17	
	W	27	27			11	66	
	NW	20	19	11	14	22	17	
N	33	9	22		45			

Quadro 4.13 — Frequência de ocorrência das situações sinópticas e da direcção dos fluxos à superfície, a 850 e 500 hPa e estrutura térmica da atmosfera em Lisboa em vários grupos de dias de semelhante repartição da temperatura mínima de Inverno.

5 — Resumo e conclusões

5.1 — *A escolha da análise em componentes principais*

A técnica utilizada neste capítulo (análise factorial em componentes principais) é descritiva, na medida em que desvenda a organização interna de matrizes de dados (A. DAUPHINÉ, 1973). Permite responder à pergunta: COMO? (como estão organizados estes dados?...), mas não à pergunta: PORQUÊ?, embora forneça um fio condutor para a pesquisa das explicações. Esta técnica permitiu ordenar os dias (dos mais quentes aos mais frios) e diferenciá-los também em função da repartição térmica espacial. E, se a percentagem da variância tida em conta pelos dois primeiros factores não tivesse atingido valores tão elevados (superiores a 85%, excepto para as mínimas de Verão), continuar-se-ia a interpretação dos eixos seguintes que, à semelhança do terceiro, isolam dias em que duas ou três estações se distinguem pelo seu comportamento térmico particular.

Os principais padrões térmicos de Inverno e de Verão, na região de Lisboa, foram relacionados com várias condições aerológicas. Nalguns casos, foi possível determinar quais as características da circulação regional que mais afectam a variação espacial da temperatura do ar. Noutros, foi apenas observada a simultaneidade de ocorrência de fenómenos de várias ordens, sem poder estabelecer, necessariamente, uma relação de causa-efeito (uma relação interpretável ou inteligível) entre eles.

5.2 — *A hierarquia térmica dos dias*

As temperaturas mais altas (grupos «4») correspondem, no Verão e nos dias de Inverno, a condições de bom tempo. Nestes casos, o vento sopra, fraco, dos quadrantes SE, E, NE (mais raramente de Norte e de Sul), em função da situação sinóptica. A nebulosidade é nula, os fluxos provêm do quadrante Este a 850 hPa e anticlones ou dorsais originam calmas a 500. No caso das mínimas de Inverno, as temperaturas mais elevadas registam-se quando da passagem de perturbações, com ventos de Sul e SW a vários níveis isobáricos (W a 500 hPa): correspondem a situações de mau tempo, húmido, ventoso e muito nebulado (8/8).

As temperaturas mais baixas (Grupos «1») podem-se manifestar em contextos diferentes.

No Verão, as máximas menos elevadas correspondem à passagem de depressões (frontais ou não), fluxos de W e NW, situações depressionárias em altitude e condições de instabilidade atmosférica.

Nas mais frescas noites de Verão, a nebulosidade é forte no litoral e nula a oriente e o vento sopra, forte, de Norte ou NW, devido à posição da região em situação de margem anticiclónica.

O «frio» do Inverno é sempre provocado por fluxos originários de latitudes elevadas (advecção de ar polar ou mesmo ártico), independentemente da situação sinóptica associada: à superfície, anticlones ou depressões pouco cavadas; nebulosidade nula ou variável, vento de Este ou de Norte. As consequências térmicas são análogas ou semelhantes, os tipos de tempo diversos, como se viu.

5.3 — A distribuição espacial das temperaturas

a) Contrastes térmicos regionais

SITUAÇÕES DE FORTES CONTRASTES TÉRMICOS

Se compararmos os grupos de dias em que os contrastes térmicos espaciais são fortes (por exemplo, 2b e 3b para as máximas de Verão, 2a e 3a para as mínimas de Inverno), repara-se que estes se dão sempre em situação anticiclónica ou margem de anticiclones (embora haja situações anticiclónicas que não originam grande variação de temperatura de local para local). Os grandes contrastes térmicos ocorrem, no Verão, quando a região estudada se encontra em margem anticiclónica, acontecendo cavar-se uma depressão de origem térmica sobre a Península Ibérica.

Uma característica comum entre noites e dias de Verão de grandes contrastes térmicos espaciais: em grande parte dos casos, constatou-se a existência de inversões térmicas baixas respectivamente às 0 e às 12 horas. À superfície, ventos do quadrante Norte (N e NW para as máximas, N e NE para as mínimas); em altitude de W (SW ou NW) ou calmas.

Nos dias mais quentes e termicamente contrastados de Verão (3b), observa-se a ocorrência do mesmo tipo de situação do que para os menos quentes (2b). Mas uma diferente disposição dos organismos isobáricos e um menor gradiente barométrico favorecem a ocorrência de calmas e de ventos fracos de Este.

As mais elevadas mínimas de Verão (3b) são devidas ao mesmo tipo de situação que em 2b. Há, no entanto, em altitude, fluxo do quadrante Sul, sendo o ar transportado na circulação de vertentes orientais de vales planetários ou na margem ocidental de anticiclones ou dorsais e havendo grande estabilidade térmica vertical.

No Inverno, são fundamentalmente os anticiclones mistos que originam os grandes contrastes térmicos nocturnos, e os mais importantes contrastes diurnos são devidos a anticiclones de raiz atlântica prolongando-se para NE, a anticiclones Europeus e a pântanos barométricos. O vento sopra, nestas ocasiões, do quadrante Este ou de Sul, mas é sempre fraco, não só à superfície, como em altitude. Em mais de 70% dos dias aqui incluídos as inversões são baixas.

As temperaturas dos dias frescos em que o Vale do Tejo está mais frio e das noites frescas e termicamente contrastadas, (grupos 3a), são devidas a anticiclones Europeus, prolongando-se, por vezes, para Sul e, no primeiro caso, também a pântanos barométricos. O fluxo é do quadrante Sul, à superfície no caso das máximas, a todos os níveis isobáricos para as mínimas.

SITUAÇÕES DE FRACOS CONTRASTES TÉRMICOS

Os fracos contrastes térmicos ocorrem normalmente em condições de nebulosidade entre 3/8 e 8/8 e ventos dos quadrantes W e N. No conjunto de dias de fracos ou muito fracos contrastes térmicos, (2a e 3a para o Verão, 2b e 3b no Inverno), a nebulosidade só é nula no conjunto da região nos dias quentes de fracos contrastes (grupo 3a das máximas de Verão).

Nos dias frescos de fracos contrastes de Verão (grupo 2a) o fluxo provém de W, SW e NW enquanto, durante as noites frescas (grupo 2a), vem de NW e N, situações estas devidas a depressões ou à posição da área em estudo em situação de transição entre um anticiclone no Atlântico e uma depressão na Europa Ocidental ou a Este da Península Ibérica; o vento sopra de Oeste a 500 hPa (situações depressionárias). Nos dias mais quentes, também de pequenas variações no espaço (3a), as condições de calma e de

ventos de NE são devidas a situações anticiclónicas. Nos casos das temperaturas mínimas, ventos de Norte, devidos a margens de depressões térmicas ou a situações de transição, de forte gradiente de pressão, a que correspondem, a 500 hPa, a centros depressionários, vales e vertentes orientais de vales e vento de Oeste e SW, originam noites relativamente quentes, mediamente nebuladas e sem grandes contrastes térmicos espaciais (Grupos 2a e 3a).

A situação das mínimas de Inverno aparece diferente das outras. As noites frias (Grupo 2b) são devidas a ventos superficiais de Sul, SE ou E, desencadeados devido à situação da região em estudo em margem Oeste ou Sul de um anticiclone europeu ou margem oriental de uma depressão centrada a SW de Portugal.

As temperaturas mínimas aumentam um pouco com a chegada de ar mais húmido, directamente de W e NW (Grupo 3b); a nebulosidade é sempre total, devido às passagens de sucessivas perturbações frontais e depressões.

No que diz respeito às máximas de Inverno, os menores contrastes térmicos registam-se sempre em situações de vento muito forte de Norte em toda a região e a todos os níveis isobáricos, devido a centros depressionários e passagem de perturbações em 2b e a posição em margem de anticiclone (misto, geralmente), nos dias do grupo 3b. Note-se, porém, que nos dias do grupo 2b e, sobretudo, em 3b, o litoral está bastante mais fresco que o Vale do Tejo.

Deve-se chamar à atenção para o facto de que os dias que constituem os vários grupos, apenas ilustram condições extremas dos valores de temperatura e evidenciam padrões diversos — opostos até — de repartição térmica no espaço estudado. Nem sempre são estes os dias mais frequentes, tal como foi mencionado no texto e precisado nos Quadros 4.2, 4.5, 4.8 e 4.11. Assim, por exemplo, os dias de nortada, tão conhecidos no Verão, encontram-se num grupo de transição (entre os grupos 2a e 2b na figura 4.6), visto que as suas temperaturas não são nem muito altas, nem demasiado baixas e a repartição das temperaturas segue um padrão intermédio entre os dois extremos apresentados. O mesmo se poderia dizer dos frequentes dias e noites relativamente quentes, húmidos e ventosos de Inverno, que constituem a transição entre os grupos 3a e 3b.

b) Singularidade térmica de três conjuntos regionais

Tanto quanto os dados climáticos permitem verificar, há três sectores da região estudada susceptíveis de apresentar comportamentos térmicos particulares, sugerindo uma primeira subdivisão dos climas térmicos locais. São eles, o litoral ocidental, o Vale do Tejo e a aglomeração de Lisboa. No entanto, a sua individualidade só ocasionalmente se afirma com nitidez. Por outro lado, os fenómenos dinâmicos que concorrem para a sua explicação não são específicos de cada caso, pois também se referem a um grande número de situações intermédias. Pode-se, apenas, dizer que certas conjunções de elementos atmosféricos e, por vezes, de alguns deles isolados parecem responsáveis por certos tipos de repartição térmica espacial.

Resumem-se, brevemente, as condições aerológicas que correspondem às situações mais contrastadas para cada sector acima mencionado:

O LITORAL

O litoral distingue-se, em princípio, pela moderação dos extremos: mínimas elevadas, máximas particularmente baixas. Tal facto repercute-se, no caso das temperaturas médias, nas máximas de Verão e nas mínimas de Inverno, como foi comentado atrás (fig. 3.19).

Alguns mapas térmicos quotidianos manifestam também este tipo de contraste entre estações litorais ou sublitorais e interiores. Porém, a amplitude destas diferenças geográficas varia muito segundo a estação do ano, e o facto de se considerarem as máximas ou as mínimas.

No Verão, o litoral distingue-se pelas suas temperaturas máximas baixas nos dias do grupo 2b e 3b (fig. 4.6). A nebulosidade é média ou forte no litoral e nula a oriente do espaço estudado. O vento, forte, sopra de Norte em 2b e de N, NE e do quadrante W (brisa?) em 3b (Quadro 4.3). Em 2b são frequentes as situações de margem anticiclónica; em 3b, predominam os anticiclones atlânticos, prolongando-se para NE, donde provém o fluxo superficial, assim como os pântanos barométricos. Tanto num caso como noutro, há inversões térmicas baixas em Lisboa/Portela às 12 h. Como se viu, nestes casos, a espessura da camada de ar húmido e fresco varia fortemente de local para local (diminui, de W para E), o que ocasiona uma grande diversidade de temperaturas.

Também no Verão, os contrastes das temperaturas mínimas podem ser reduzidos, ou mesmo invertidos: as baixas temperaturas diurnas do litoral (por vezes menos 10°C do que 30 quilómetros a oriente) comprometem o aquecimento nocturno compensador. De modo que os mapas nocturnos mais contrastados traduzem não a superioridade, mas a inferioridade térmica dos mínimos no litoral (3b, 4b, fig. 4.7).

No Inverno, a acção do litoral parece ser mais «eficiente». Contrariamente às regras pré-estabelecidas, as máximas são mais elevadas junto à costa nos dias dos grupos 2a e 3a (fig. 4.13); nota-se também a superioridade dos mínimos litorais nos grupos 2a e 3a (fig. 4.15). A maior parte destes dias coincide com aqueles em que o Vale do Tejo se distingue pelas suas temperaturas baixas, e que serão adiante descritos.

Nos dias dos grupos 2b e 3b, o litoral está particularmente fresco; a nebulosidade, mais forte a ocidente, dificulta o aquecimento diurno. O vento sopra, forte, de Norte e NW em 2b e de N e NE em 3b. As situações responsáveis por esta anomalia são a passagem de perturbações ou depressões não frontais ou, em 3b, situação de margem de anticiclone misto. Em altitude, predominam vales e vertentes ocidentais de vales em 2b, podendo ser variadas as situações a 500 hPa, nos dias do grupo 3b. Só em 3b, são frequentes os casos de inversão baixa; aliás, no dia apresentado como exemplo (8/2/84, na figura 4.12), os contrastes térmicos W-E são mais marcados do que em 2b (24/2/84): diferenças entre Cabo Carvoeiro e Santarém, respectivamente de 5.3 e de 2.8°C.

Em oposição aos casos agora apontados, de fortes contrastes térmicos W-E, outros há em que a repartição das temperaturas é bastante (ou completamente) homogénea, como se pode confirmar nos mapas das máximas de Verão (grupos 1, 2a, 3a, e 4, fig. 4.6), das mínimas de Verão (grupos 2a, 3a, 4a, fig. 4.7), das máximas de Inverno (grupos 1 e 4, fig. 4.13), e das mínimas de Inverno (2b, 3b, 4, fig. 4.15). Se se somar a estes dias uma grande parte dos dias ditos de transição, mais frequentes no Inverno, em que nem sempre há modificações de temperatura junto à costa (Quadros 4.2, 4.5, 4.8 e 4.11), os dias mal representados pelas duas primeiras componentes principais e, por fim, aqueles cuja singularidade térmica tem outra explicação, averigua-se que a influência do litoral é, afinal, relativamente limitada, e a frequência da preponderância do seu papel, modesta.

O VALE DO TEJO

Existe também uma influência própria do Vale do Tejo, isto é, não resultando apenas da simples oposição «litoral-interior». Esta manifesta-se principalmente nas máximas de Inverno (2a, fig. 4.13) e nas mínimas, na mesma estação do ano (2a, 3a, fig. 4.15). Em qualquer dos casos, o Vale do Tejo destaca-se pelas suas temperaturas baixas. No caso das máximas de Inverno, a forte superioridade do litoral constitui uma curiosa anomalia (num dia do grupo 2a: 15°C em Cabo Carvoeiro, 17°C em Cabo

da Roca, 8°C em Fonte Boa, 8.5° em Salvaterra de Magos, fig. 4.13). Estas anomalias dependem (ou estão relacionadas) com a presença de nevoeiro. Mas é sempre difícil isolar causa e efeito: a presença de temperaturas baixas, permite, desde que exista humidade absoluta suficiente e estabilidade da atmosfera, a formação de nevoeiros ou neblinas. Estes, uma vez formados, vão constituir um obstáculo à radiação solar, e impedir o aumento diurno de temperatura. Cite-se como exemplo os dias de Inverno em que o Vale do Tejo, sob espessa camada de nevoeiro, tem temperaturas máximas bastante mais baixas do que o litoral ocidental. Nestes dias (grupo 2a), a nebulosidade é fraca às 12 horas no litoral (mediana 2/8 em Cabo Carvoeiro) e o céu apresenta-se completamente coberto, à mesma hora em Lisboa/Portela (nevoeiro). Às 18 horas, (Quadro 4.9), o vento é fraco do quadrante E ocorrendo calmas em Lisboa/Portela. Os anticiclones Europeus, os anticiclones atlânticos prolongando-se para NE e os pântanos barométricos são os principais responsáveis por esta situação. A 500 hPa, nota-se a preponderância de anticiclones e dorsais. Em 77% dos dias, havia inversões junto ao solo ou abaixo de 950 hPa, às 12 horas em Lisboa/Portela.

Nos grupos 2a e 3a, em que se observam as mínimas mais baixas, a nebulosidade é fraca ou média, e o vento, fraco também, sopra de Sul, SE, E e NE. Em 2a, vários tipos de anticiclones podem exercer a sua influência, predominando em 3a a acção do anticiclone Europeu prolongado para Sul. Em altitude, correspondem dorsais e anticiclones. O fluxo provém de SE e S em altitude, em 3a. Estas condições permitem forte arrefecimento nocturno por irradiação e, muito frequentemente, formação de nevoeiros. Não se dispõem de dados das sondagens para estas datas.

A AGLOMERAÇÃO DE LISBOA

Esta apresenta-se como um núcleo quente em certas noites de Verão, de forte humidade relativa no litoral ocidental (ocorrência de nevoeiros por vezes): grupos 1, 2b, 3b e 4b na figura 4.7. Nestas noites o vento sopra, na aglomeração, de NE, E, mais raramente de Norte que alternam com calmas. À superfície, a situação mais frequente é o anticiclone atlântico, prolongando-se para NE. A 500 hPa, alternam anticiclones e dorsais, com situações de pântano barométrico. Disse-se, a propósito dos valores médios, que não era no Verão, altura em que a aglomeração se destaca pelas suas mais elevadas temperaturas, que a ilha de calor urbano era mais intensa. Este tema será desenvolvido no capítulo seguinte.

5.4 — *Remate*

Este estudo permitiu obter vários «padrões-tipo» de repartição espacial das temperaturas na região de Lisboa, que servirão como termo de comparação para o estudo de novos casos. E, alargando o estudo no tempo, aumentariam as probabilidades de encontrar novos tipos de dias. Por outro lado, foi possível estabelecer, dia a dia, a relação entre a distribuição espacial da temperatura e os principais traços da circulação atmosférica regional. Constatou-se, por exemplo, que a direcção do fluxo e do vento à superfície e a 850 hPa (e às vezes mesmo a 500 hPa) constituem explicações para as mais altas e mais baixas temperaturas observadas: para as máximas de Verão, fluxo de W nos dias mais frios, fluxo de leste nos mais quentes, passando-se o contrário para as mínimas de Inverno. Para os variados padrões de repartição térmica espacial, as características da estrutura térmica vertical da atmosfera, revelada pelas sondagens em Lisboa, e os ventos locais fornecem os melhores elementos de interpretação. Observou-se também a muito grande flutuação dos limites térmicos regio-

nais em função do tipo de situação atmosférica e a modificação dos valores e direcção dos gradientes térmicos regionais no tempo.

A técnica utilizada tem a vantagem de permitir extrapolar valores quotidianos a partir de dados passados, sabendo como cada local de observação se comporta em determinada situação sinóptica. Por outro lado, se se conhecer o tipo de relação que existe entre duas estações meteorológicas para determinada situação, deverá ser possível, quando os registos terminarem numa delas, reconstituí-los a partir dos da outra.

O estudo apresentado poderia alargar-se à Primavera e ao Outono. Mas o tipo de tratamento estatístico aqui apresentado pressupõe que os valores de temperatura variem fundamentalmente em função da situação aerológica. Ora, na Primavera e no Outono, a temperatura varia muito em função da alteração, grande nestas épocas do ano, da quantidade de radiação ou, mais simplesmente, do número de horas de insolação. Agrupando valores de temperaturas de três meses, como se fez para o Verão e o Inverno, obter-se-ia uma primeira ordenação dos dias em função da sua posição cronológica e não térmica. É claro que não é isso que se pretende!

Este tipo de tratamento e de apresentação dos dados diários permitirá, no capítulo seguinte, «situar» os momentos em que foram empreendidas as medições itinerantes no terreno e, integrando-as no contexto a que pertencem, não estabelecer generalizações prematuras e arriscadas a que tais estudos por vezes dão azo.

LEGENDA DAS FIGURAS 4.6, 4.7, 4.13 E 4.15

- a) *Temperatura máxima (ou mínima)* num dos dias de cada grupo.
b) *Nebulosidade e ventos* em Lisboa/Portela (LP) e Cabo Carvoeiro (CC) no conjunto de dias de cada grupo.

Neb: Mediana da nebulosidade (em oitavos)

Vento: Indicação do rumo (ou rumos) mais frequente(s) ou de calmas (C).
Mediana da velocidade do vento (em km/h) às 12 horas (1.º número no caso de não estar expressamente indicado) e às 18 horas. A informação não é exaustiva.

Nev: Nevoeiro

- c) *Fluxo à superfície*, determinado a partir da carta das 12 horas.
d) *Vento a 850 hPa* (dado da sondagem às 12 horas, em Lisboa/Portela)
e) *Vento a 500 hPa* (dado da sondagem às 12 horas, em Lisboa/Portela)

rumo(s) ou fluxo(s)
↑ predominante
outros rumos
↑ frequentes
|
C Calmas

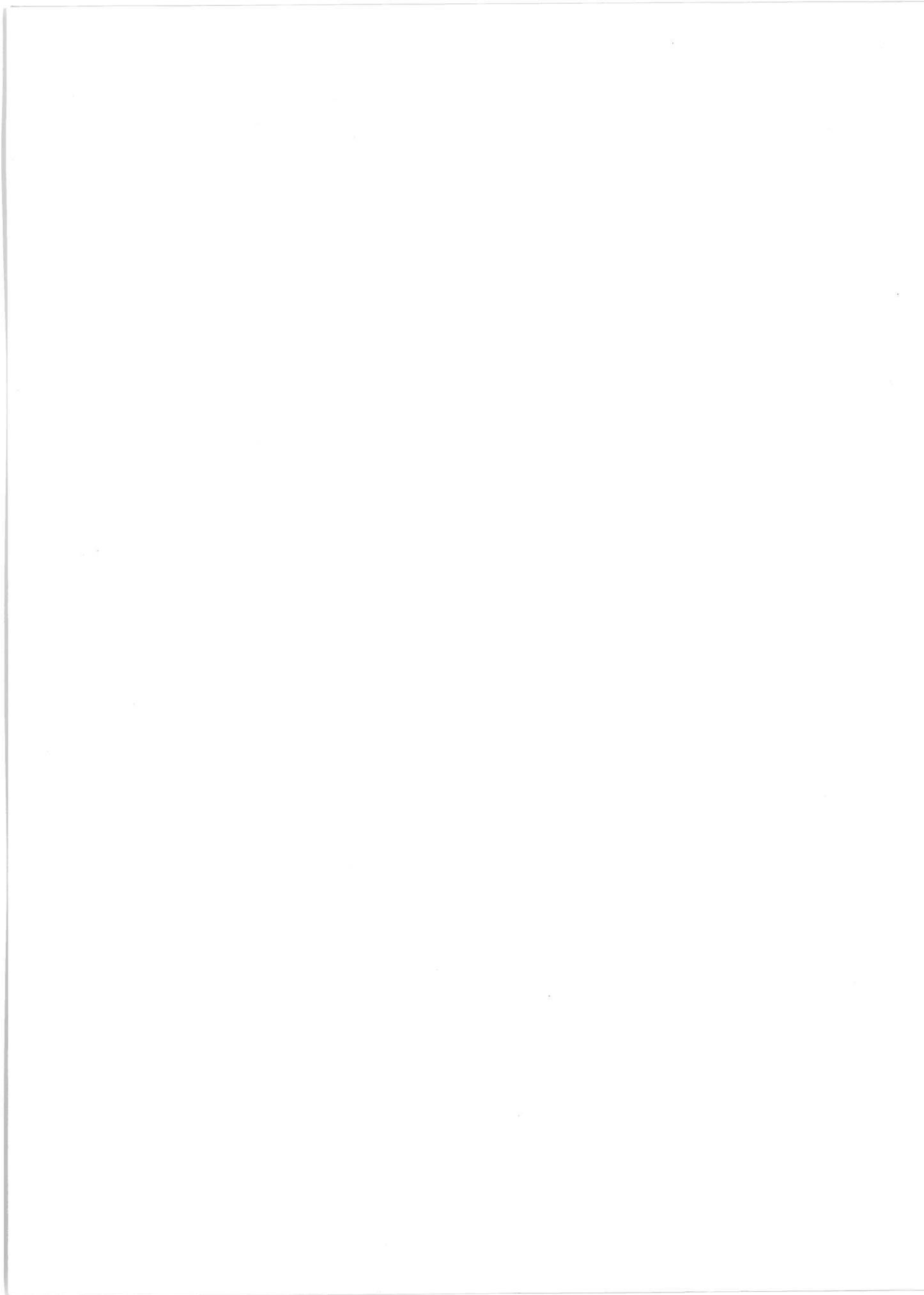
Situação sinóptica a 500 hPa, às 12 horas

A: Anticiclone
D: Dorsal
V: Vale
VEV: Vertente oriental de vale
VWV: Vertente ocidental de vale
FR: Fluxo rápido do quadrante Oeste
P: Pântano barométrico
CD: Centro Depressionário

f) *Situação sinóptica à superfície, em Lisboa/Portela às 12 horas*

A. sub.: Anticiclone atlântico subtropical
A. misto: Anticiclone atlântico misto
A.NE: Anticiclone atlântico misto, prolongando-se para NE
A.EU: Anticiclone Europeu
A.I.A.: Anticiclone ibero-africano
A.I.M.: Anticiclone ibero-mediterrâneo
D.P.I.: Depressão da Península Ibérica
D.T.P.I.: Depressão térmica na Península Ibérica
C.D.: Outros Centros Depressionários
Pert.: Perturbações
Trans.: Situação pouco clara ou de transição
Pânt.: Pântano barométrico ou colo.

g) *Altura da inversão térmica mais baixa, às 12 horas em Lisboa/Portela (dados da sondagem)*



PARTE II
ASPECTOS DO CLIMA LOCAL



OBSERVAÇÕES PRELIMINARES

O estudo dos dados diários do conjunto da região (capítulo 4) permitiu isolar três domínios de características particulares, aqueles cujo comportamento climático é, em certas ocasiões, diferente ou mesmo oposto ao do restante espaço estudado: o litoral ocidental, o Vale do Tejo e Lisboa.

Era difícil pormenorizar a análise, a partir dos dados diários das estações meteorológicas e com os programas de tratamento estatístico então disponíveis.

Os estudos necessários — à escala local — poderiam ter sido feitos a partir da análise de termografias. Mas não se dispunha deste material, e a sua obtenção, por encomenda, atinge preços inacessíveis. Apenas foi utilizada uma termografia de uma parte de Lisboa, cedida a título gracioso pelo Senhor Coronel Silva e Castro da Base Aérea nº 1 (Sintra).

Estava fora de questão, também, a instalação de uma rede densa de aparelhos de medição, em abrigo e fora deles; não só o custo, mas o problema da instalação do material impedem um investigador isolado de se encarregar dessa tarefa, que só poderá ser organizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica ou por Entidades ou Grupos interessados. No sétimo capítulo, serão enumeradas as dificuldades para a instalação de dois únicos termo-higrógrafos, em abrigo. Tentei, sem êxito, obter apoio conjunto do I.N.M.G. e da Câmara Municipal de Lisboa.

A colaboração com o I.N.M.G. veio a concretizar-se, por intermédio do Dr. Carlos Valente Marques, que organiza, de momento, um completo e interessante estudo experimental da radiação em Lisboa. Aquele organismo financiou, em parte, uma campanha de lançamento de balões estabilizados, em Agosto 1987, que será oportunamente descrita. Foi abordada, na mesma altura (Primavera 1986) a hipótese de colocação de termómetros de máximas e mínimas em abrigos elementares, semelhantes aos que investigadores do I.N.M.G. utilizavam, na altura, num trabalho de Topoclimatologia, no Algarve. Na Câmara Municipal de Lisboa (C.M.L.), o director dos Serviços dos Espaços Verdes mostrou-se interessado no estudo que lhe propunha: uma análise do clima em vários espaços verdes de Lisboa que, apesar das suas características particulares, reflectem, em certa medida, as condições dos diferentes bairros. Tendo em conta o interesse manifestado, elaborei um curto projecto para observações de temperaturas máxima e mínima, em espaços verdes da cidade, que ficou sem resposta.

Restavam as já clássicas medições de terreno. Problemas de ordem prática obrigaram a restringir a área estudada e retomou-se a ideia inicial: o estudo do clima da Aglomeração lisboeta e do litoral ocidental entre Cascais e a Praia Grande.

1 — Documentação utilizada

Os dados aqui tratados são inéditos, à excepção dos valores de poluição atmosférica (copiados na Direcção-Geral da Qualidade do ar e na Petrolgal) e dos elementos aerológicos: parâmetros meteoro-

lógicos das estações da rede sinóptica, dados das sondagens e cartas sinópticas do Boletim Meteorológico Diário, do I.N.M.G.. Nas pistas do Aeroporto de Lisboa, funciona, desde 1947, a estação referida por Lisboa/Portela e utilizada até aqui. A partir de 1982 (informação oral), passou a funcionar, paralelamente, uma outra estação meteorológica, mais a Sul, fora do recinto das pistas, e junto ao local do lançamento do balão, cujas sondagens se utilizam. Esta estação meteorológica é designada por Lisboa/Gago Coutinho, tendo passado Lisboa/Portela a funcionar como apoio à aviação.

2 — Percursos de observações itinerantes

Seguia-se, de automóvel, um percurso previamente fixado, efectuando paragens para realizar observações. A natureza dos parâmetros meteorológicos registados e o número de pontos de observação variaram em função da aparelhagem disponível e de outras condições logísticas. Depois das observações experimentais, passou-se a fazer observações sistematicamente nos mesmos locais, para mais eficaz interpretação dos resultados. Só nas raras ocasiões em que se dispôs simultaneamente de 2 carros, 2 termómetros de resposta rápida e 4 pessoas dispostas a colaborar numa tarefa morosa, foi possível obter maior densidade de observação.

A enumeração e localização dos pontos de observação será feita antes da apresentação de cada grupo de resultados.

3 — Aparelhagem utilizada

Centrei a minha atenção nas medições de temperatura (observando também, sempre que possível, a humidade relativa e o vento). Fui adquirindo, pouco a pouco, novos aparelhos de mais fácil manuseamento e alguns de resposta mais rápida

Nas primeiras medições (1981), utilizava um psicrómetro de aspiração de tipo Assman, constituído por dois termómetros, no interior de um invólucro de metal polido. Para que o ar exterior circule junto aos termómetros (a cerca de 3m/s), este aparelho é provido de um aspirador (accionado por meio de uma corda). O reservatório de mercúrio, na base de um dos termómetros, está revestido por uma gase que deve ser humedecida regularmente durante as observações, para a determinação da temperatura que o ar teria se estivesse saturado de vapor de água e avaliação da humidade relativa. O erro devido às características de cada aparelho, e às oscilações, numerosas e de curta duração, já referidas no caso dos ventos (sampling error dos autores ingleses) é, segundo G. HOFMANN, de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, no caso da temperatura (manual de R. GEIGER, 1980). Muitos aparelhos compensam, pela sua inércia, estas oscilações.

A partir de 1983, utilizaram-se termómetros de funda, em vidro, com uma pequena argola numa das extremidades, à qual se ata um cordel de cerca de 30 cm; imprimem-se movimentos circulares ao termómetro até o valor da temperatura estabilizar.

Adquiriu-se em 1984, um psicrómetro de funda que, tal como o psicrómetro Assman, é constituído por dois termómetros de precisão dispostos paralelamente (estando o reservatório de um deles envolvido em gase húmida) e aos quais se deve imprimir um movimento circular. Dadas as suas dimensões, o manuseamento deste aparelho revelou-se difícil sobretudo durante o dia, em locais de tráfego de peões intenso e foi raras vezes utilizado.

Compraram-se, finalmente, dois termómetros que, por comodidade, serão referidos por termómetros digitais. O funcionamento destes aparelhos está baseado na reacção diferente de dois metais (termo-par)

à temperatura do ar; esta reacção diversa dá origem à passagem de corrente eléctrica, por um voltímetro; aquela é proporcional à temperatura do ar cujo valor pode ser lido num visor. Estes aparelhos são precisos ($\pm 0.1^\circ\text{C}$), embora sujeitos a avarias frequentes. O sensor está ligado ao visor por meio de um fio de cerca de 60 cm de comprimento, o que permitiu utilizar um pequeno abrigo que se ajustava à janela do veículo, ficando o visor no seu interior. Basta efectuar uma breve paragem para apontar a temperatura e podem, portanto, efectuar-se percursos mais longos e muito maior número de observações.

A partir de 1983, passou-se a dispor de um pequeno anemómetro de plástico, utilizado pelos velejadores. Considerou-se a velocidade do vento, a que mais frequentemente aparecia no visor, durante 1 minuto; foi sempre seguido este critério, visto que a velocidade do vento varia incessantemente. Marcou-se, também, a velocidade da mais forte rajada, registada durante os momentos de medição. Determinava-se o rumo do vento, medindo, com uma bússola, a orientação de um cordel grosso e pesado, que se conservava vertical, em situação de calma.

4 — Períodos de observação

Como no capítulo 4, foi centrada a investigação do clima de Lisboa sobre os dias e as noites de Verão e de Inverno, deixando, por agora, de lado o Outono e a Primavera. No litoral ocidental, apenas os dias de Verão foram estudados, tendo em conta o desenvolvimento recente do turismo estival a Norte do Cabo Raso, devido à «superlotação» das praias da Costa do Estoril e, sobretudo, à crescente poluição das suas águas.

Interessava obter informação a meio da tarde, na altura em que se espera que a temperatura máxima ocorra, ao início da noite, em que as diferenciações espaciais de temperatura são supostamente as maiores e antes do nascer do Sol; este é geralmente o período de mais fraca variação temporal da temperatura e, por isso, é mais segura a comparação das temperaturas medidas durante as duas horas de observações.

Da bibliografia, extraíra-se a ideia, de que convinha efectuar medições de campo em «condições de céu limpo e ausência de vento», para se obterem as maiores diferenciações térmicas espaciais possíveis. Mas, por um lado, ignorava-se sempre, à partida para um percurso de observações, a evolução das condições meteorológicas durante o trajecto, embora as previsões fossem sistematicamente consultadas; por outro lado, foi-se, pouco a pouco, compreendendo o interesse das medições noutras circunstâncias, importantes pela sua frequência (por exemplo, os dias de nortada, no Verão, os vários tipos de situação perturbada de Inverno, etc.) (*)

5 — Apresentação dos resultados. Os desvios de temperatura em relação a uma estação de referência

Um percurso de observações itinerantes demora sempre um certo tempo. Como, durante este lapso de tempo, a temperatura segue o seu ciclo diário, não se podem comparar directamente os valores

(*) No momento em que procedo à revisão das provas deste texto, chegou-me às mãos um manual de 1988 sobre o clima urbano e poluição (editado pela «VDI — Kommission Reinhaltung der Luft») em que esta mesma ideia é expressa; H. SCHIRNER afirma, na Introdução, que a climatologia urbana deixou de ser uma «Ciência de bom tempo», mas que se deve ocupar de todas as modificações do clima regional devidas à presença da cidade com a sua estrutura urbana e tipo de construção particulares.

de temperatura anotados. Este problema pode resolver-se efectuando trajectos de ida e volta e calculando, para cada local, a média das duas observações de temperatura. Este método, utilizado por T. J. CHANDLER no seu trabalho pioneiro sobre Londres nos anos 60, não pôde ser seguido em Lisboa devido ao congestionamento do tráfego e à dificuldade de repetir as observações exactamente no mesmo local; as ruas de sentido único no centro da cidade dificultam e alongam demasiadamente os percursos. Decidiu-se, então, calcular a diferença entre a temperatura de cada local e a de uma estação de referência no mesmo instante. A temperatura da estação de referência era lida nas curvas dos registos do termógrafo. Em vez do cálculo de desvios de temperatura pode-se optar pela correcção dos valores observados, em função do curso horário da temperatura na estação de referência.

De entre as estações meteorológicas possíveis, pareceu-me a do Aeroporto a mais adequada para funcionar como estação de referência. Cabo Ruivo, Sacavém e Alverca estão demasiado perto do estuário do Tejo, Lisboa Geofísico e Lisboa/Tapada incluídas em Lisboa e instaladas em amplos espaços verdes, Paiã/Escola Agrícola, já extinta, e Oeiras/Sassoeiros demasiado longe de Lisboa e próxima do mar. Por outro lado, a fiabilidade dos dados do Aeroporto é grande, e existem dados referentes ao mesmo local, nos Boletins Meteorológicos Diários (do I.N.M.G.). Foi, então, utilizada Lisboa/Gago Coutinho a partir de 1983, visto haver algumas falhas nos valores de Lisboa/Portela, que se usou em 1981. Este facto não pareceu grave depois de comparados alguns gráficos de dias comuns. A estação das pistas parece estar sempre uns décimos de grau mais quente de que Lisboa/Gago Coutinho, mas a espessura do traço de pena do termógrafo nem sempre permite uma leitura sem dúvidas. Para tornar o texto menos pesado, tanto uma como outra podem ser referidas por Aeroporto, desde que o contexto deixe entender de qual se trata, ou que a distinção não seja absolutamente necessária. Também pesou na escolha o facto do Aeroporto estar localizado a Norte de Lisboa, bem exposto aos ventos dominantes; o abrigo em relação a estes ventos é uma das causas da diversidade dos padrões térmicos em meio urbano, como à frente se verá.

CAPÍTULO 5

A ILHA DE CALOR DE LISBOA: INFLUÊNCIA DO SÍTIO, DA MORFOLOGIA URBANA E DA POLUIÇÃO

1 — A ilha de calor urbano. Breve introdução teórica

1.1 — *Definição e historial*

O termo ilha de calor urbano sugere a existência de uma cidade «quente», rodeada pelo campo mais fresco e corresponde a uma «integração da totalidade dos microclimas originados pela urbanização» (J. SWEENEY, 1987). A ilha de calor é um fenómeno muito complexo que resulta de um sem número de interações e que, por sua vez, tem inúmeras consequências. Segundo H. LANSBERG, o termo foi usado, pela primeira vez, na literatura científica de língua inglesa por GORDON MANLEY, em 1958; no entanto, este fenómeno já fora documentado pelas medições de HOWARD, em Londres, no início do século XIX.

Para quantificar a «intensidade da ilha de calor urbano», generalizou-se a utilização da expressão ΔT_{u-r} como sendo «...the temperature differences that develop between an urbanizing area and the rural landscape.» (H. LANDSBERG, 1981). Por outras palavras «the heat island magnitude measures the maximum increase in urban temperature over that of the surrounding countryside» (S. F. CLARKE e J. T. PETERSON, 1973) ou, noutro caso, «The heat island intensity ΔT_{u-r} is the difference between the highest urban temperature figure from among all figures for places in the city at any time and the lowest background rural temperature figure among all figures for places surrounding the city at the same time» (H. S. PARK, 1987).

Tal como muitas outras de diversos manuais e artigos, estas afirmações são pouco precisas e propícias à confusão entre as escalas local e microclimática. Alguns outros autores apresentam fórmulas para calcular a intensidade da ilha de calor urbano; M. M. YOSHINO (1981), por exemplo, fá-la depender do calor sensível cedido à atmosfera, das dimensões da cidade, do gradiente vertical da atmosfera, do calor específico e da densidade do ar e da velocidade do vento. Mas, como resultado apenas se obtém um valor, em certo momento, numa cidade. E, para se apreender o padrão térmico urbano é indispensável entrar em conta com a morfologia urbana na elaboração dos modelos.

Neste trabalho, o termo ilha de calor designará, muito genericamente, a porção do espaço urbano em que a temperatura do ar é mais elevada do que nos arredores próximos. Intensidade da ilha de

calor significará a maior diferença de temperatura do ar, medida a 1.5 metros do solo num espaço relativamente amplo de cada bairro e uma estação de referência (frequentes vezes o Aeroporto) (*), num determinado momento ou em média. Não se tendo podido efectuar medições em altitude, apenas se estudam as características térmicas abaixo do nível dos telhados: «urban canopy layer» segundo a conhecida expressão de T. OKE (1976, 1978), que se poderia traduzir por atmosfera urbana inferior ou baixa atmosfera urbana. Reconhece-se, todavia, que as medições abaixo do nível dos telhados podem não ser representativas das principais trocas energéticas em meio urbano (J. HENRY *et al.*, 1989). No entanto, parece óbvia a importância do estudo das características da baixa-atmosfera urbana e da determinação de parâmetros de conforto humano, pois é aí que residem e trabalham a maior parte dos habitantes. J. TASAKA e os seus colaboradores apresentaram, em 1988, detalhadas e interessantes medições em «canyons» urbanos.

Em Londres, D. LEE (1979) estudou as diferenças de temperatura entre dois termógrafos colocados em telhados: um no edifício do Departamento de Geografia do Birkbeck College, no Centro de Londres, e outro, no campo, 17 km a Norte da cidade. E, tal como o autor expressa no título, «Contrasts in warming and cooling rates at an urban and a rural site» o estudo apenas permite analisar as diferenças entre aqueles dois locais e não a ilha de calor de Londres. Estuda as características térmicas daquilo a que T. OKE (1976, 1978) designou «urban boundary layer» (acima do nível dos telhados) e que se poderia designar, em português, atmosfera urbana superior. No presente trabalho, a utilização de balões estabilizados permitiu relacionar as condições em altitude com as observações de superfície em apenas três dias de Verão.

Não se apresenta aqui o historial dos estudos de climatologia urbana, exposto pormenorizadamente no manual de H. LANDSBERG (1981) e, em parte, retomado por A. LÓPEZ-GÓMEZ (1985) num artigo de divulgação sobre o clima das cidades.

É neles comprovado que, pelo menos desde o tempo dos romanos, se tinha consciência da influência da urbanização na temperatura, na diminuição da visibilidade e na produção de «odores desagradáveis». Apesar da multiplicação e desenvolvimento dos estudos do clima das cidades, os conhecimentos actuais são insuficientes para se estabelecerem regras universais; procura-se, no estádio actual da pesquisa, reunir as observações coincidentes e tentar explicá-las.

Em 1929, SCHMIDT efectua as primeiras medições itinerantes na cidade de Viena (R. GEIGER, 1980) e confirma que as temperaturas são superiores às dos arredores próximos.

Esta anomalia térmica positiva foi observada em numerosos domínios climáticos. Citam-se alguns exemplos de uma já muito extensa bibliografia sobre este tema: as técnicas de estudo foram obviamente evoluindo ao longo do tempo, tentando-se, hoje em dia, elaborar modelos de previsão de temperatura em meio urbano.

— No continente americano em Nova Iorque (R. BORNSTEIN, 1968), Montréal (T. OKE, 1968), Toronto (R. E. MUNN *et al.*, 1968), Sacramento (D. MORGAN e D. ROGERS, 1972), Edmonton (K. D. HAGE, 1972), Cidade do Mexico (E. JAUREGUI, 1973 e 1983), Detroit-Windsor (M. SANDERSON *et al.*, 1973), Quito (F. HANNEL, 1976), em cidades brasileiras (C. MONTEIRO e J. TARIFA, 1977 e M. LOMBARDO, 1984),

(*) Foi utilizado o Aeroporto de Lisboa (Lisboa/Portela ou Lisboa/Gago Coutinho) como termo de comparação com as temperaturas medidas no interior do espaço urbano. Esta escolha deve-se, por um lado, à credibilidade destes dados, à ausência de lacunas dos registos dos termógrafos (necessários no capítulo seguinte), à sua posição num espaço aberto na periferia da cidade e às particularidades das outras estações meteorológicas que eventualmente poderiam constituir uma outra opção.

Calgary (L. NKEMDIRIM, 1976), St. Louis (J. T. PETERSON, 1980), Minneapolis-St Paul (J. A. WRINKLER *et al.*, 1981), cidades do SW dos Estados Unidos (D. CAYAN e A. DOUGLAS, 1984).

— Na Nova Zelândia em Christchurch (N. TRAPPER *et al.*, 1981).

— Na Ásia em Singapura (S. NIEUWOLT, 1966), Tokyo (M. YOSHINO, 1981 e I. MAEJIMA, 1983), Fukushima (A. WATANABE, 1988), Sendai (I. TASAKA, 1988).

— Em África em Johannesburg (P. D. TYSON *et al.*, 1972 e Y. GOLDREICH, 1985), Ibadan (Y. ADEBAYO, 1987).

— Na Europa em Uppsala (A. SUNBORG, 1950), em Bonn (H. EMONDS, 1954), Kiel (H. ERIKSEN, 1964), Londres (T. J. CHANDLER, 1965; L. LYALL, 1970; D. LEE (1977, 1979 e 1985), Liège (A. HUFTY, 1966), Reading (J. PARRY, 1967), Glasgow (M. HARTLEY, 1976), Viena (R. BÖHM e K. GALB, 1978) Freiburg i. Br. (W. NÜBLER, 1979), Madrid (A. LÓPEZ-GÓMEZ e F. GARCIA, 1984), Paris (C. CALVET, 1985 e G. ESCOURROU, 1990, 1983 e 1984, O. CANTAT, 1986), Fribourg (M. ROTEN, 1986; RUFFIEUX, 1986; J. M. FALLOT, 1987), em várias outras cidades suíças (H. WANNER e J. HERTIG, 1984), Dublin, (J. SWEENEY, 1987).

Poucas monografias incidiram, até agora, nos climas das cidades mediterrâneas. Salientam-se aqui, os estudos de Roma (M. COLACINO, 1978, 1980, 1982 e 1987), de Atenas (B. KATSOU LIS e G. THEOHARATOS, 1985) e de Nice (P. CARREGA, 1984). Nos três casos, como em Lisboa, a proximidade do mar e o relevo são factores climáticos cujas influências nem sempre são fáceis de separar do efeito urbano.

Em Roma, no estudo de 1978, as observações de superfície e a 200 metros de altitude foram completadas com 8 imagens termográficas (dia e noite de 2 datas de Inverno e de outras duas de Verão) obtidas de avião. O autor conclui que a intensidade da ilha de calor é maior no Verão do que no Inverno. É interessante a observação das isotérmicas das noites de Verão: há uma diminuição de temperatura do ar entre o centro de Roma e os arredores a SW da cidade, e, em poucos quilómetros, um novo aumento, em direcção ao litoral, relativamente quente (o que não acontece em Portugal). Nesta estação do ano, a «ilha de calor» tem, pelo menos, 200 metros de altitude (altura do voo). Durante os dias de Verão, há um aumento regular da temperatura para o interior, reforçado pela presença da cidade. Segundo o autor, no Inverno, o padrão térmico é dominado pela presença do mar (aumento da temperatura da cidade para o litoral, tanto de dia como de noite). Não há qualquer referência a variações de temperatura em função da morfologia urbana. Nos dois estudos posteriores, o autor desenvolveu o estudo da estrutura vertical da atmosfera sobre a cidade, tentando modelizar as influências topográfica e urbana no sistema de brisas que frequentemente aí se instalam, no Verão.

O estudo do clima de Atenas foi feito a partir dos dados de 22 anos de 9 estações meteorológicas (urbanas, suburbanas e rurais, em várias posições topográficas, e a diferentes distâncias da costa). Um tratamento clássico dos dados permitiu verificar que só de noite existe uma ilha de calor, que esta é mais evidente no Verão; A sua intensidade (2° a 3°C) está fortemente dependente da velocidade do vento. Ao contrário do que sucede para Lisboa (capítulo 3), é visível na simples observação dos dados brutos o aumento secular da temperatura mínima como consequência da urbanização.

O estudo de Nice (resultado de observações preliminares de Inverno e Primavera) revelou que os maiores contrastes térmicos entre os diferentes bairros se observam de madrugada: os sectores da cidade situados a jusante dos vales por onde é drenado ar frio arrefecem muito, podendo as diferenças atingir 10°C. Nos dias de Inverno, as variações de temperatura são pequenas e nos de Primavera está mais frio junto ao mar, independentemente da morfologia urbana.

Embora a primeira síntese sobre este tema date de 1936 (manual de A. KRATZER), e tenham sido publicadas algumas notas técnicas da O.M.M. sobre o assunto (T. OKE, 1974; T. CHANDLER, 1976),

muito está ainda por observar e por entender, neste campo; o livro de H. LANDSBERG, *Urban Climates*, data de 1981, mas é mais uma sucessão bem organizada de exemplos, do que um verdadeiro manual. Os artigos mais recentes de D. LEE, *Urban Climates* (1984), e de Y. GOLDREICH, *Urban Topoclimatology* (1984), tentam ir um pouco mais longe nas generalizações.

Em todos estes estudos, as conclusões, mais ou menos elaboradas, sobre a ilha de calor urbano apenas dizem respeito a médias (J. WINKLER *et al.*, 1981) ou a valores correspondentes a alguns tipos de tempo que ocorrem na região em estudo (nem sempre os mais frequentes). Este facto é sintomático das dificuldades da obtenção de dados para um estudo exaustivo em cada local e vem inúmeras vezes expresso na bibliografia: «...explanation of effects can wait, but firmer knowledge of the existence of effects is urgently needed.. » (citado por W. LOWRY, 1977). O problema ainda não foi solucionado.

O sistema atmosfera-cidade está inserido numa complexa teia de retroacções. O clima urbano depende da radiação incidente no topo da atmosfera, da composição da atmosfera e das características geográficas do substracto. E, pelo seu lado, o homem modifica ininterruptamente as características do substracto: o espaço urbano alarga-se e a expansão e desenvolvimento das actividades do homem alteram a composição da atmosfera. Como resultado destas interferências, a influência antrópica pode ultrapassar as escalas microclimática e local e assumir proporções meso e macroclimáticas.

Nos últimos anos, foram apresentados vários modelos de explicação e previsão da intensidade da ilha de calor urbano. Por exemplo, N. J. TRAPPER e os seus colaboradores (1981) apresentam, para Christchurch (Nova Zelândia), um modelo de previsão da diferença de temperatura entre a «cidade» e o «campo» em noites de Inverno baseado no balanço de energia (não entram em conta com a advecção). Encontram-se outros exemplos em W. TERJUNG e S. LOUIE (1973), D. MORGAN *et al* (1977), T. KAWAMURA (1977), T. OKE e M. NUNEZ (1980), J. M. FALLOT e A. M. de BUMAN (1987). Num interessante artigo de 1989, J. A. HENRY faz a síntese dos principais problemas da modelização.

Apresentam-se seguidamente as mais frequentemente apontadas causas da ilha de calor urbano, tendo sempre em mente que esta é o resultado da interacção dos diferentes fenómenos a que se fará referência. Começar-se-á por descrever o balanço energético em meio urbano e far-se-á, depois, um comentário às modificações antrópicas da composição da atmosfera urbana (poluição) que mais contribuem para a modificação das características climáticas da cidade.

1.2 — Causas da ilha de calor urbano

a) Factores energéticos da ilha de calor urbano

— Balanço de radiação em meio urbano.

O balanço de radiação depende da relação entre a quantidade de radiação em onda curta (directa ou difusa) recebida pela superfície da terra, da radiação reflectida (em onda curta), da irradiação terrestre e da contra-irradiação da atmosfera, em onda longa. Neste esquema teórico, os autores partem do princípio que a atmosfera urbana está poluída. Em cada caso concreto, deve atender-se ao factor de turbidez, que depende da radiação solar, da massa óptica e do vapor de água existente na atmosfera (fórmula em H. LANSBERG, 1981, p. 58).

RADIAÇÃO EM ONDA CURTA

A diminuição da radiação solar directa e difusa (radiação global) na atmosfera urbana depende da natureza e quantidade dos poluentes lançados para a atmosfera e da dispersão destes que, por sua vez, varia em função do estado do tempo e da posição topográfica da aglomeração; a perda é maior para as radiações de pequeno comprimento de onda (ultravioleta, azuis), o que explicaria certas doenças da pele e a palidez dos habitantes das cidades.

A perda de radiação global nas cidades inglesas variava, no Inverno, entre 25 e 55% (T. CHANDLER, 1965). No entanto, a partir do fim dos anos 50, altura em que se iniciou o «CLEAN AIR ACT», constatou-se um novo aumento da radiação global no centro de Londres (J. JENKINS, 1974).

No Japão, calcularam-se desvios médios de 12% entre as cidades de Tokyo e Osaka e os seus arredores próximos (H. LANDSBERG, 1981). Em S. Louis, Missouri, J. PETERSON e T. STOFFEL (1980) calcularam que os poluentes urbanos provocam uma redução máxima de 4.5% da radiação incidente e demonstraram a importância da direcção do vento na oscilação daquele valor percentual, já referida em 1974 por L. GAJZÁGÓ. Este último autor afirma que, tanto se observam diminuições de 40% da radiação solar no centro de Budapeste (quando o vento sopra em direcção à cidade), como aumentos de 10% com ventos de rumo contrário. Em Toulouse, uma atenuação de 300 Wm^{-2} da radiação global na cidade foi medida por C. ESTOURNEL e seus colaboradores (1983).

Conclui-se que, em numerosas ocasiões, há um défice da «chegada» de radiação em ondas curtas na cidade. Os valores deste défice variam muito sendo geralmente inferiores a 10% (ou a 25% segundo os autores), mas podendo atingir 60% quando o grau de turbidez é maior ou quando subsistem inversões térmicas junto ao solo.

Esta diferença também foi expressa em termos de horas de insolação. Em Londres, T. CHANDLER (1965) constatou uma diminuição da insolação de 0.6h por dia, em média, no centro da cidade, ou seja uma perda global de 14%.

Esta redução do tempo de insolação foi igualmente medida por A. HUFTY em Liège (1966), onde a acção conjunta da frequência de calmas e a topografia deprimida contribuem para o aumento brutal da poluição: se, no Verão, apenas há menos 8 minutos de Sol na cidade do que no campo, em dias estáveis de Inverno este valor sobe para 55 minutos.

Inversamente, as «saídas» dependem muito da morfologia urbana. A radiação reflectida varia em função do albedo que, por sua vez, depende muito da cor dos edifícios, da densidade de construção, da configuração, dimensões e posição relativa dos prédios e dos espaços verdes, da presença de lagos ou outras extensões de água. Em média, o albedo é de 10 a 30% menor na cidade do que no campo não florestado: cerca de 15% em observações feitas em Los Angeles, Cincinnati, Southampton, Ibadan, Montréal e Berlim (T. OKE, 1974) ou 20% segundo M. AIDA (1982), citado em B. ATKINSON (1985).

Esta diminuição do albedo deve-se ao facto da radiação sofrer reflexões múltiplas ficando «prisioneira» entre os prédios (sobretudo no Inverno, devido à maior inclinação dos raios solares). A diferença de albedo aumenta muito quando o campo se encontra coberto de neve (na cidade, a neve funde rapidamente e é, em parte, removida). B. ATKINSON (1985) refere, citando MOINES, IOWA e LUNDE (1977) que, de Dezembro a Março, os albedos rurais são 33% mais elevados do que os urbanos, em cidades de clima continental das latitudes médias. Este fenómeno favorece termicamente as cidades, no Inverno. Os referidos autores afirmam também que, durante o resto do ano, o albedo é 25% menor na cidade. Refira-se também a importância da morfologia urbana: em Quito, a diferença de temperatura entre os dois «núcleos» da ilha de calor é devida a diferenças de albedo. A parte antiga da cidade, com

prédios pintados de branco e ruas não alcatroadas, tem um maior albedo e, por isso, conserva-se mais fresca de dia do que a cidade moderna, de altos prédios e ruas asfaltadas (F. HANNEL, 1976). Em Columbo, Ohio, os maiores valores de albedo correspondem às zonas residenciais onde, a meio da tarde, as temperaturas são as mais baixas do espaço urbano (J. ARNFELD, 1982).

RADIAÇÃO EM ONDA LONGA

Nas revisões de literatura feitas por T. R. OKE (1974, 1979), T. CHANDLER (1976) e H. LANDSBERG (1981) foi reafirmado que este termo do balanço energético em meio urbano está longe de ser entendido.

Teoricamente, se a temperatura em meio urbano for mais elevada que no campo, a emissão de radiação infravermelha em direcção à atmosfera é maior do que nos arredores próximos (lei de STEFAN-BOLTZMANN); isto contribuiria, se não houvesse outros processos em jogo, para a diminuição de temperatura na camada de ar junto ao solo. As perdas de radiação infravermelha (IR) são função da temperatura da superfície, como já se referiu (T em K), e do coeficiente de emissividade (ϵ), que depende essencialmente das características do corpo emissor, tais como a cor e a rugosidade: $IR = \sigma \epsilon T^4$ em que σ é a constante de STEFAN-BOLTZMANN (5.669×10^{-8} watt/cm². K⁻⁴).

Segundo T. OKE e R. FUGGLE (1972), os valores da irradiação terrestre (nocturna) seriam 5% maiores do que no campo (20 Wm⁻²). H. E. LANDSBERG e T. MAISEL (1972) apontaram o valor diurno de 15-20% (cerca de 130 Wm⁻²). Investigadores soviéticos (referidos por B. ATKINSON, 1985) afirmam que a cidade emite menos radiação em onda longa durante o dia do que as áreas rurais, passando-se o contrário durante a noite. Este facto parece lógico uma vez que, como veremos à frente, a intensidade da ilha de calor urbana é mais elevada e positiva durante a noite, podendo mesmo ser negativa durante o dia. Não se deve esquecer que a emissão de radiação infravermelha pela superfície da terra diminui com a redução do horizonte (*sky-view factor* dos autores ingleses, referido no capítulo 7).

A «chegada» à camada de ar junto ao solo de radiação de grande comprimento de onda (infravermelho), não é reduzida pela poluição atmosférica. Pelo contrário, os aerossóis em suspensão na atmosfera libertam tanto mais energia, quanto mais elevada é a sua temperatura. É, pois, natural que se atinjam valores mais elevados de dia do que de noite. Durante a noite, a diferença entre a radiação emitida na cidade e no campo é muito menor. Segundo ROUSE, NOAD e McCUTCHEON (1973, citados por B. ATKINSON, 1985) a radiação de onda longa é, durante o dia, 30% mais elevada na cidade do que no campo. Em Windsor, Ontário, (B. ATKINSON, 1985) e Toulouse (C. ESTOURNEL *et al.*, 1983) foram obtidos resultados comparáveis. W. TERJUNG (1970) e T. R. OKE (1975) indicam um aumento de cerca de 6% e 8%, deste componente do balanço de radiação respectivamente para as cidades de Los Angeles e de Montréal. AIDA e YAJIK (1979, citados por H. LANDSBERG, 1981, p. 62) calcularam este parâmetro a partir da temperatura da superfície, da pressão do vapor de água e do gradiente vertical da temperatura, obtendo uma diferença de 4% em meio urbano. Apesar da grande disparidade de resultados, todos os autores concordam que este maior fluxo descendente de radiação em onda longa é largamente suficiente para compensar a atenuação da radiação solar devida ao domo de poeiras urbano.

Não se deve confundir o papel dos aerossóis em suspensão na atmosfera e dos gases susceptíveis de intensificar o efeito de estufa (H₂O, CO₂, CH₄, NO₂, etc.): estes são transparentes à radiação solar e absorvem a radiação em ondas mais longas emitidas pela superfície da terra, conservando-se a temperatura da baixa atmosfera elevada. Ora se a presença destes gases é indispensável à vida na terra

(sem eles a temperatura seria de -18°C), o aumento constante que se tem vindo a verificar devido à acção antrópica poderá originar uma elevação excessiva de temperatura, já no início do próximo milénio. Segundo o relatório conjunto de organizações internacionais (J. HOUGHTON *et al.* ed., 1991), o aumento será de 2 a 3°C na Europa Meridional, a menos que as sociedades diminuam drasticamente a emissão dos referidos gases para a atmosfera.

Afigura-se todo o interesse proceder a medições dos diferentes termos do balanço de radiação nos vários bairros de Lisboa. Sabe-se, no entanto, que há uma grande variação espaço-temporal do balanço radiativo; o mesmo se pode dizer em relação ao balanço energético que, seguidamente se apresenta.

— Balanço energético em meio urbano

$$R_n + F = G + H + LE + A$$

R_n : Balanço de radiação

F: Calor de origem antrópica

G: Calor armazenado nos edifícios

H: Fluxo de calor sensível

LE: Fluxo de calor latente

A: Advecção

Na cidade, além dos contributos de calor resultantes do balanço radiativo, há que referir a importância do calor de origem antrópica (F); este é difícil de medir e o seu cálculo, é geralmente levado a cabo a partir do consumo diário de fuel (N. J. TAPPER, 1981).

Segundo alguns autores, nos países das zonas quentes, a energia de origem antrópica (F) é desprezível: a ausência de aquecimento e o nível muito baixo de desenvolvimento económico, explicam a mediocridade deste contributo, que apenas seria importante nas cidades da zona temperada. A razão R_n/F varia, nas zonas temperadas, entre 0.8 e 2. A parte de F aumenta das baixas para as altas latitudes, mas depende, também, do desenvolvimento da cidade: no Inverno, em Montréal, F é de 99 Wm^{-2} , enquanto em Budapeste, à mesma latitude (45° N) é de 43 Wm^{-2} . Mais a Norte, o valor baixo de F em Fairbanks, no Alaska, é devido à grande dispersão do habitat (A. DAUPHINÉ, s.d.). Segundo J. DETTWILLER (1970), em Paris, a energia libertada representa, no Verão, 20% da energia recebida do Sol mas, no Inverno, o contributo antrópico corresponde ao dobro do do Sol. Foi calculada a mesma proporção para Nova Iorque, no Inverno. Segundo HARRISON e MCGOLDRICK (1979, citados em B. ATKINSON, 1985), em 1.5% das terras emersas, a emissão antrópica de energia excede a energia solar nos meses de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro no hemisfério Norte). MCGOLDRICK (mesma fonte) calculou que, em condições de estabilidade atmosférica e ventos fracos, o calor antrópico libertado em Londres podia causar um aumento de temperatura de 6.5°C no centro da cidade. Este aumento de temperatura é, com certeza, pouco frequente; no entanto, o papel do calor de origem antrópica pode ser importante na formação da ilha de calor urbano.

Os termos do lado direito da equação do balanço energético acima apresentado mostram que o calor proveniente dos fenómenos radiativos e de origem antrópica é utilizado para aquecer as diferentes superfícies (G), para aquecer o ar (H) e para evaporar água (LE).

A quantidade de calor armazenada no solo e nos edifícios (G) depende da condutibilidade térmica, capacidade calorífica, etc., das superfícies urbanas. E a cidade pode conservar uma grande quantidade de energia radiativa ou antrópica no interior dos edifícios (seis vezes mais do que no campo, segundo W. TERJUNG e S. LOUIE, 1973). A energia acumulada durante o dia pelos prédios é cedida, durante

a noite, impedindo o arrefecimento rápido da atmosfera urbana. Por exemplo, às 12h, um parque de estacionamento urbano absorve $0.64 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$, enquanto um campo cultivado absorve 0.24. Às 0h, pelo contrário, a perda é de $-20 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ no primeiro caso e de -13 no segundo (H. LANDSBERG e T. MAISEL, 1972); esta maior libertação de energia armazenada (G) na cidade traduziu-se por uma diferença positiva de 2.3°C da temperatura do ar sobre o parque de estacionamento em relação à do ar no campo. Generalizando-se estas observações, a cidade deveria conservar-se mais fresca do que o campo, durante o dia, e mais quente de noite, o que é frequente.

A transferência de calor sensível (H) é mais intensa na cidade durante o dia; e, depois do pôr do Sol, o fluxo persiste durante mais tempo na cidade do que em ambiente rural, contribuindo portanto para o aumento da temperatura do ar sobre a cidade. D. YAP e T. OKE (1974) mediram em Vancouver um fluxo vertical ascendente de 100 Wm^{-2} às 8h, de 300 ao meio-dia e de 50 Wm^{-2} durante a noite.

A perda de calor latente (LE) é devida à evapotranspiração: para esta é necessária energia, em grande parte subtraída à atmosfera envolvente, cuja temperatura diminui. Ora em meio urbano, há uma muito forte redução da evapotranspiração: por um lado, os espaços verdes e as árvores nos arruamentos são raros em muitas cidades; por outro lado, grande parte das precipitações escapa ao processo de evaporação (70 a 90%). A razão de Bowen (H/LE) é de 2 em meio urbano e de 0.7 no campo.

Embora haja importantes variações estacionais destes dois termos do balanço energético, H tem, durante o dia, valores positivos mais elevados na cidade do que o campo; de noite, H continua a ser positivo em meio urbano, como se viu atrás e ao contrário do que acontece no campo. Durante o dia, há no campo maior perda de energia (e consequentemente diminuição de temperatura) devido à forte evapotranspiração mas, durante a noite, pode haver ganho de energia resultante dos processos de condensação ou sublimação (orvalho ou geada), muito mais raros em meio urbano; LE é, na cidade, quase sempre negativo embora menor, em valor absoluto, do que no campo. De um modo geral e salvaguardando variações periódicas e aleatórias, o aquecimento urbano poderia ser, em parte, explicado pela maior e mais prolongada transferência de calor sensível e pela menor perda de calor latente. Os valores disponíveis até ao momento, nem sempre têm confirmado este raciocínio teórico. E obviamente que há, também, numerosas excepções: por exemplo, na Índia, onde a proliferação de ruas de terra batida e de pequenos jardins no interior das aglomerações e em certas cidades inglesas, onde as casas feitas de tijolos, contribuem para uma perda suplementar de energia, sob a forma de calor latente. O mesmo acontece nos Parques das grandes cidades: Hyde Park, em Londres, através do qual T. CHANDLER (1965) efectuou perfis térmicos, e Central Park em Nova Iorque, estudado por R. BORNSTEIN (1968).

O efeito da advecção foi quantificado, nalguns locais, a partir de observações experimentais. O aumento da velocidade do vento diminui a intensidade ou mesmo destrói a ilha de calor urbana (exemplos em H. LANDSBERG, 1981). A ilha de calor pode não estar perfeitamente centrada sobre a cidade, como se afirmara, nos primeiros estudos, mas encontrar-se desviada para sotavento. Em 1974, T. CLARKE e J. McELROY mostraram que, sobre Cincinnati, a ilha de calor se desenvolve como um penacho, deformado pelo vento e atingindo o campo próximo.

Desta reflexão, conclui-se que nenhum dos factores atrás enunciados é o único e constante responsável pelas diferenças de temperatura entre a cidade e o campo, e torna-se evidente a variação espaço-temporal da importância de cada um. E, tal como refere T. OKE (1984) muito está ainda por conhecer sobre trocas de energia nas baixas camadas da atmosfera, devido à complexidade das interacções no sistema cidade-atmosfera, ao custo e à dificuldade de instalação de redes de observação densas, assim como a uma certa carência de investigação teórica.

Por outro lado, na maior parte das grandes cidades, não se pode falar de uma «ilha» de calor, mas antes, de um «arquipélago», pois no interior do tecido urbano, alternam áreas mais quentes e

mais frias, cuja localização depende fundamentalmente do tipo de ocupação do solo. Por exemplo em Hamilton, no Canadá, T. OKE (1970) revela a existência de duas células quentes: uma, no centro da cidade e outra, de temperaturas mais elevadas ainda, sobre a área industrial. O artigo de D. MORGAN e L. ROGERS, (1972) intitulado «Texture of the City: the Foundation to Urban Meteorology» propõe a subdivisão da cidade em células de diferente «geometria tridimensional», a partir da quantificação da textura (% de áreas com diferente ocupação do solo) e do atrito (que depende da altura média dos edifícios). O estudo «Urban Surface Thermal Response Associated With Land Use» de J. LEWIS *et al.* (1976), tem a mesma orientação, assim como as publicações de M. LAUER (1978) e de W. WEISCHET (1982). Na mesma linha, estão os artigos de J. HENRY (1987, 1988, 1989); o autor procura relacionar a textura urbana de duas pequenas cidades com temperaturas do ar obtidas em percursos de medições itinerantes, temperaturas do solo determinadas a partir de imagens HCMM com resolução de 600m e com padrões térmicos simulados em computador (modelo baseado no balanço energético).

Uma correcta representação cartográfica de base dos diferentes tipos de ocupação do solo, conjuntamente com um mapa de relevo, permite interpolações correctas. Reserva-se para um futuro próximo a elaboração de um mapa deste tipo para Lisboa. (*)

b) Factores atmosféricos da ilha de calor urbano

— Estrutura vertical da atmosfera

A estrutura vertical da atmosfera urbana, grandemente dependente do balanço radiativo, é ainda mal conhecida devido ao preço da tecnologia necessária para o seu estudo: medições a vários níveis de torres elevadas ou em helicópteros, sondagens aerológicas, lançamentos de balões estabilizados, etc.

No entanto, todos os estudos demonstram a menor frequência de inversões na cidade do que no campo (B. BORNSTEIN, 1968; J. ANGELL, 1968; J. CLARKE, 1969; T. OKE e C. EAST, 1971; L. NKEMDIRIM, 1976; SHENG-IHSU, 1981; C. ESTOURNEL *et al.*, 1983; B. ATKINSON, 1985 entre outros). O muito divulgado diagrama de estrutura vertical da atmosfera sobre Cincinnati e arredores numa noite de Primavera (J. CLARKE, 1969) mostra uma inversão de 1°C nos primeiros 100 m da atmosfera rural (a barlavento da cidade), enquanto sobre o centro urbano há uma diminuição de 2°C também em 100m. SHENG-IHSU (1981) compara radiossondagens médias sobre a cidade em diversas ocasiões e C. ESTOURNEL apresenta interessantes sondagens em diversos pontos de Toulouse e arredores, tanto de dia como de noite.

A frequência e a duração das inversões térmicas (apesar da sua raridade e menor intensidade em meio urbano), influenciam directamente a concentração dos poluentes, condicionam o balanço de radiação e conseqüentemente a repartição espacial da temperatura.

— Influência da situação sinóptica e do tipo de tempo

A existência e intensidade da ilha de calor urbano dependem fundamentalmente do tipo de tempo: teoricamente os desvios térmicos entre a cidade e os seus arredores são máximos quando o céu está totalmente descoberto e não há vento. Estas condições de tempo correspondem a situações anticiclónicas. Então, são preponderantes os fenómenos radiativos e a estrutura térmica vertical da atmosfera

(*) Será elaborado no âmbito do Projecto. «Imagens e representações para o Ordenamento Biofísico em meio urbano: Lisboa», de que sou responsável.

não é alterada pela advecção de ar alóctono. Inversamente, em situações depressionárias (instabilidade da atmosfera, vento e nebulosidade fortes, ocorrência de precipitação) atenuam-se os desvios térmicos entre a cidade e o campo. Estes factos foram confirmados na maior parte dos estudos feitos na zona temperada.

Citem-se como exemplos, os interessantes estudos de D. UNWIN (1980) «The Synoptic Climatology of Birmingham's Urban Heat Island» e de R. BÖHM e K. GALB (1978) «Die Wärmeinsel einer Großstadt in Abhängigkeit von verschiedenen meteorologischen Parametern», referente a Viena. Em Madrid, A. LOPEZ-GOMEZ e F. F. GARCIA (1984) referem que a ilha de calor desaparece quase completamente com vento forte e nebulosidade elevada, não se verificando, em dias de chuva, qualquer aumento de temperatura em meio urbano. No seu estudo sobre Toronto, R. E. MUNN e colaboradores (1968) optaram por «pré-classificar» os dias em função do padrão regional do vento e do número de horas de insolação.

Persistem ainda muitas dúvidas sobre a maneira de tornar estes estudos mais objectivos. A conclusão da reflexão de W. LOWRY (1977) sobre estes problemas «Empirical Estimation of Urban Effects on Climate: A Problem Analysis» é bastante derrotista. O autor salienta a dificuldade de comparação de elementos medidos, na mesma cidade, em momentos diversos; propõe uma tipologia de situações sinópticas para organizar os resultados, mas duvida que situações sinópticas aparentemente semelhantes, o sejam efectivamente e que tenham as mesmas consequências nos padrões térmicos urbanos.

1.3 — Ritmo temporal da intensidade da ilha de calor

Como se viu, a ilha de calor urbano não é uma característica imutável de determinado local. A sua existência e a sua intensidade dependem da situação sinóptica e tipo de tempo resultante. Os seus ritmos (estacional e diurno) nem sempre são evidentes e variam de local para local.

O ritmo estacional da variação da intensidade da ilha de calor urbano nem sempre é evidenciado pelos dados disponíveis (O. CAYAN e A. DOUGLAS, 1984). L. C. NKEMDIRIM e P. TRUCH (1978, citados por B. ATKINSON, 1985) provam que, em Calgary, a ilha de calor é bastante mais intensa no Inverno do que no fim do Verão e início de Outono. Em cidades do SW dos Estados Unidos, no Japão, na Grã-Bretanha (B. ATKINSON, 1985), em Lyon (A. DAUPHINÉ, s.d.), em Fribourg (J. M. FALLOT, 1986), e, em cidades mediterrâneas como Roma (M. COLACINO, 1978) e Atenas (B. KATSOUKIS e G. THEOHARATOS, 1985) as diferenças são máximas no Verão. Nenhuma explicação convincente foi ainda adiantada. (*) Em Nice, por razões que nada têm a ver com o efeito urbano, é no Inverno que as diferenças de temperatura são maiores entre o centro da cidade e os arredores próximos e mesmo os bairros periféricos em fundos de vales até onde é drenado ar frio (P. CARREGA, 1984).

O ritmo diurno é mais nítido. A meio da tarde, a ilha de calor é pouco marcada e acontece o centro da cidade estar mais fresco do que o campo próximo. Em Londres, em 50% dos dias, a temperatura é mais baixa do que nos arredores próximos (T. CHANDLER, 1965). O estudo muito completo de T. OKE e G. MAXWELL (1975) para Montréal e Vancouver dá precisões sobre o ritmo atrás citado: depois do pôr do Sol, o arrefecimento nocturno é muito mais lento no interior do espaço urbano (no campo, segue uma função raiz quadrada do tempo, enquanto na cidade o decréscimo das temperaturas é uma função linear do tempo); em consequência deste facto, a ilha de calor, desenvolve-se muito rapidamente

(*) Os diferentes resultados podem também exprimir os métodos diversos utilizados para quantificar a «intensidade» da ilha de calor urbano.

e atinge a sua máxima amplitude 3 a 5 horas depois do crepúsculo. Durante o dia, a ilha de calor tende a desaparecer, tal como foi também verificado em Atenas, em Roma, em Nice, em Calgary pelos autores atrás citados, em Singapura por S. NIEUWOLT (1966), em Edmonton, Alberta por K. HAGE (1972), em Fukushima por A. WATANABE (1988), entre outros.

Grande número das investigações comprovam, portanto, que a ilha de calor é menos intensa de dia do que de noite, sobretudo quando os arredores da cidade estão cobertos de neve. Há, no entanto, excepções. Por exemplo, em Fribourg, a máxima intensidade da ilha de calor observa-se durante o dia, devido à sua posição topograficamente deprimida, que lhe assegura um maior abrigo do vento e mais radiação solar directa nas encostas com exposição favorável; pelo contrário, de noite, as inversões térmicas são frequentes e intensas, não se notando praticamente aumento de temperatura na cidade.

Em clima quente e húmido, o ritmo diurno das precipitações pode também perturbar o esquema atrás descrito: as chuvas desencadeadas pelo aumento de temperatura a meio da tarde, são responsáveis pela ausência da ilha de calor no início da noite.

Além destes ritmos estacional e diurno, a acção humana cria os seus próprios ciclos, nomeadamente o ciclo semanal. E. LAWRENCE (1971) demonstrou que, próximo do palácio de Kensington, no centro de Londres e, durante o Verão, as temperaturas máximas mais elevadas se registam, em média, ao domingo e as mais baixas à 5^a feira (maior poluição?). Na estação rural de Porton, este ritmo não aparece.

Note-se que, para a explicação das características térmicas de cada cidade, é necessário recorrer ao cálculo da variação espaço-temporal dos diferentes termos do balanço energético atrás apresentado.

2 — Características físicas e morfológicas de Lisboa

A descrição das características físicas e morfológicas da cidade de Lisboa deveria ser mais completa do que as linhas que, seguidamente, se apresentam. Tem-se também consciência de não ter esgotado a bibliografia disponível e de grande interesse, apesar de apenas se desejar elucidar o leitor sobre o espaço, no qual vão decorrer as observações.

A estrutura geológica é monoclinal, de estratos inclinados para Oriente, desde o Jurássico superior até ao Miocénico, encontrando-se as camadas mais recentes a Leste. De Ocidente para Oriente do sector meridional de Lisboa, atravessam-se formações cada vez mais recentes: calcários Cenomanianos no Vale de Alcântara, complexo vulcânico do Cretácico superior (ou «manto basáltico»), constituído por uma alternância de escoadas basálticas e de escórias de granulometria variada, que afloram na vertente Este do Vale de Alcântara, a Oeste de Campo de Ourique e de Campolide; argilas, areias pouco consolidadas e calcários areníticos do Burdigaliano sobre os quais assenta a maior área da cidade; finalmente, calcários e arenitos do Helveciano. Estes últimos, de cor amarelada, foram utilizados na construção da parte antiga da cidade, em torno do Castelo de S. Jorge, por aqui aflorarem e serem relativamente brandos. No miradouro das Portas do Sol, podem-se observar restos da antiga muralha, feita em arenito fossilífero do Miocénico. A NW da cidade, aflora uma formação detrítica continental Paleogénica («Formação de Benfica», G. ZBYSZEWSKI, 1963) compreendida, portanto, entre o «manto basáltico» e o Miocénico; nesta formação estão incluídos bancos de calcário compacto «de Alforneiros», que terminam em bisel para NE.

Estes bancos de calcário (a NW) e as camadas miocénicas (a NNW e N), inclinadas para a área subsidente do estuário do Tejo, constituem o reverso de uma costeira, obstáculo natural à expansão da cidade para Norte. Neste, desenvolve-se um nível de erosão local de 160 metros a Norte de Lisboa

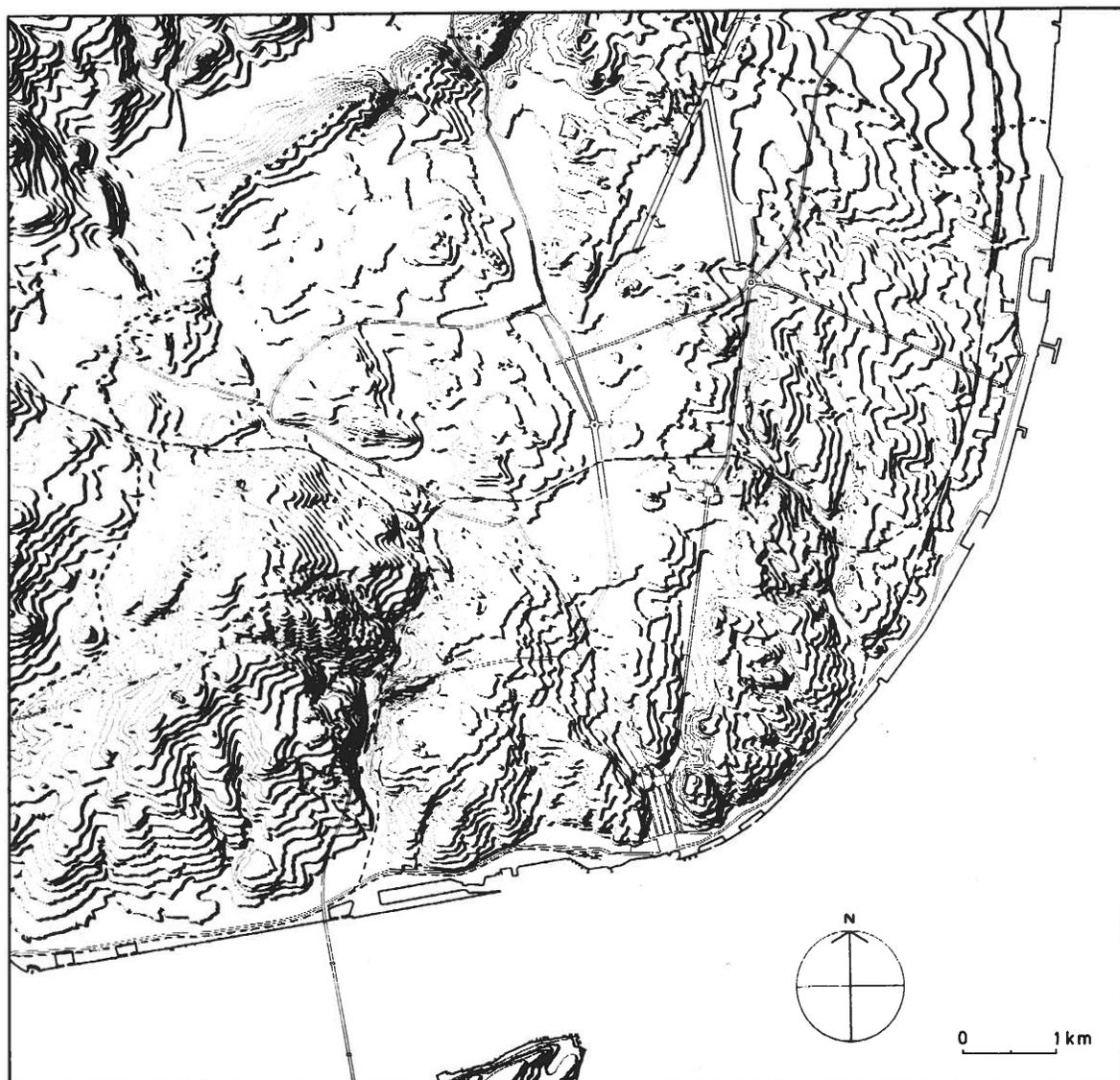


Fig. 5.1 — O relevo e as principais artérias de Lisboa (equidistância das curvas de nível: 10m).
Fonte: Plano Director da Câmara Municipal de Lisboa

e 100m no local aproveitado para a construção do Aeroporto (fig. 5.1, reprodução reduzida do sugestivo mapa de relevo do Plano Director da Câmara Municipal de Lisboa); a sua altitude diminui ainda um pouco para Sul, nos bairros a Norte da cidade. Na parte meridional da aglomeração, conservam-se restos desta antiga superfície nos pontos altos da Penha de França (74 m), do Castelo de S. Jorge (106 m) e, segundo H. LAUTENSACH (1937), também em Campo de Ourique e em Campolide (fig. 5.1).

Os vales que entalham ou limitam a referida superfície, são frequentemente profundos e de vertentes inclinadas; o seu encaixe foi desencadeado por uma sobre-elevação quase contínua, depois do fim do Terciário (A. de B. FERREIRA, 1984, p. 2). O paralelismo e a simplicidade do traçado destes cursos de água revela a sua juventude (S. DAVEAU, informação oral). S. SPÖRING (1967) refere os vales de Alcântara, onde hoje passa a Avenida de Ceuta (fig. 5.1), o de S. Bento (Rua D. Carlos I), o da Baixa, que resulta da confluência de dois outros (da Avenida da Liberdade e da Avenida Almirante Reis), o «Escuro» (cuja vertente NE é seguida pela Rua Mouzinho de Albuquerque) e o de Xabregas, a Oriente. A estes, deve-se adicionar, a NE, os vales de Chelas e de Cabo Ruivo. O Vale de Algés limita a Ocidente a Serra de Monsanto (fig. 5.1), anticlinal no centro do qual afloram calcários Cenomanianos, recobertos por «manto basáltico».

Se exceptuarmos o curso de água do Vale de Alcântara, cuja existência é comprovada por vários documentos (nomeadamente estampas e gravuras), não parece terem existido ribeiros nos outros vales, em tempo histórico (A. CELESTINO DA COSTA, 1951). Na época dos romanos, já o Vale da Baixa era habitado, pois aí se encontraram vestígios de construção e de uma ponte que ficava aproximadamente na esquina da Rua de S. Julião com a Rua do Ouro, e que ainda existia nos meados do século XV. A Baixa já devia estar atulhada, na época da conquista de Lisboa.

Próximo do Tejo, o homem foi aterrando, progressivamente, a parte do estuário, onde, outrora, havia areia e lodo: edificou-se o Aterro, os cais, as docas e toda a área do Porto de Lisboa construída no século XIX.

Não existem, em Lisboa, as 7 colinas (no sentido de relevo circunscrito) que FREI NICOLAU DE OLIVEIRA (citado em A. CELESTINO DA COSTA, 1951) pretende encontrar para a comparar a Roma e que VIEIRA DA SILVA (mesma fonte) representa num mapa do centro da cidade: Castelo, Santo André (Graça, segundo A. CELESTINO DA COSTA, 1951), S. Vicente (a Oriente); Sant'Ana entre os vales das Avenidas da Liberdade e Almirante Reis; S. Roque, Chagas, e Santa Catarina, para Ocidente. A única que, morfologicamente, é uma colina é a do Castelo de S. Jorge; as outras são restos da antiga superfície, de maior altitude a Ocidente do Vale da Baixa, lombas afeiçoadas pelo encaixe progressivo dos cursos de água. A superfície conserva-se intacta para N e NW da Praça Marquês de Pombal, no extremo Norte do Parque Eduardo VII; nela foram rasgadas as «Avenidas Novas», nas primeiras décadas deste século. A expansão urbana recente tem-se sobretudo feito através dos vales de Benfica, da Luz e do Lumiar e progride na depressão ortoclinal da costeira, a Norte da cidade.

A carta do concelho de Lisboa (S.C.E.) evidencia a importância do relevo na urbanização (ver também a figura 6.2, no capítulo seguinte). Os vales são linhas de tráfego, cujas encostas têm geralmente forte densidade de construção; a altitude relativa é expressa, por vezes, nos nomes dos Bairros: Bairro Alto, Alto do Pina e, junto ao Tejo, a Ribeira e a Baixa, cuja designação depende, não só da posição topográfica deprimida, mas das funções. Aliás, existem cidades em que a Baixa não está em posição deprimida (como por exemplo, a cidade da Beira, em Moçambique).

Não se fará um comentário exaustivo da morfologia urbana dos vários bairros de Lisboa. Limito-me a dar exemplos de três publicações, onde o tema é tratado e que poderão ser muito úteis no prolongamento do estudo que é apresentado neste capítulo: a investigação do clima a uma escala de maior pormenor.



Fig. 5.2a — Lisboa: esboço de localização

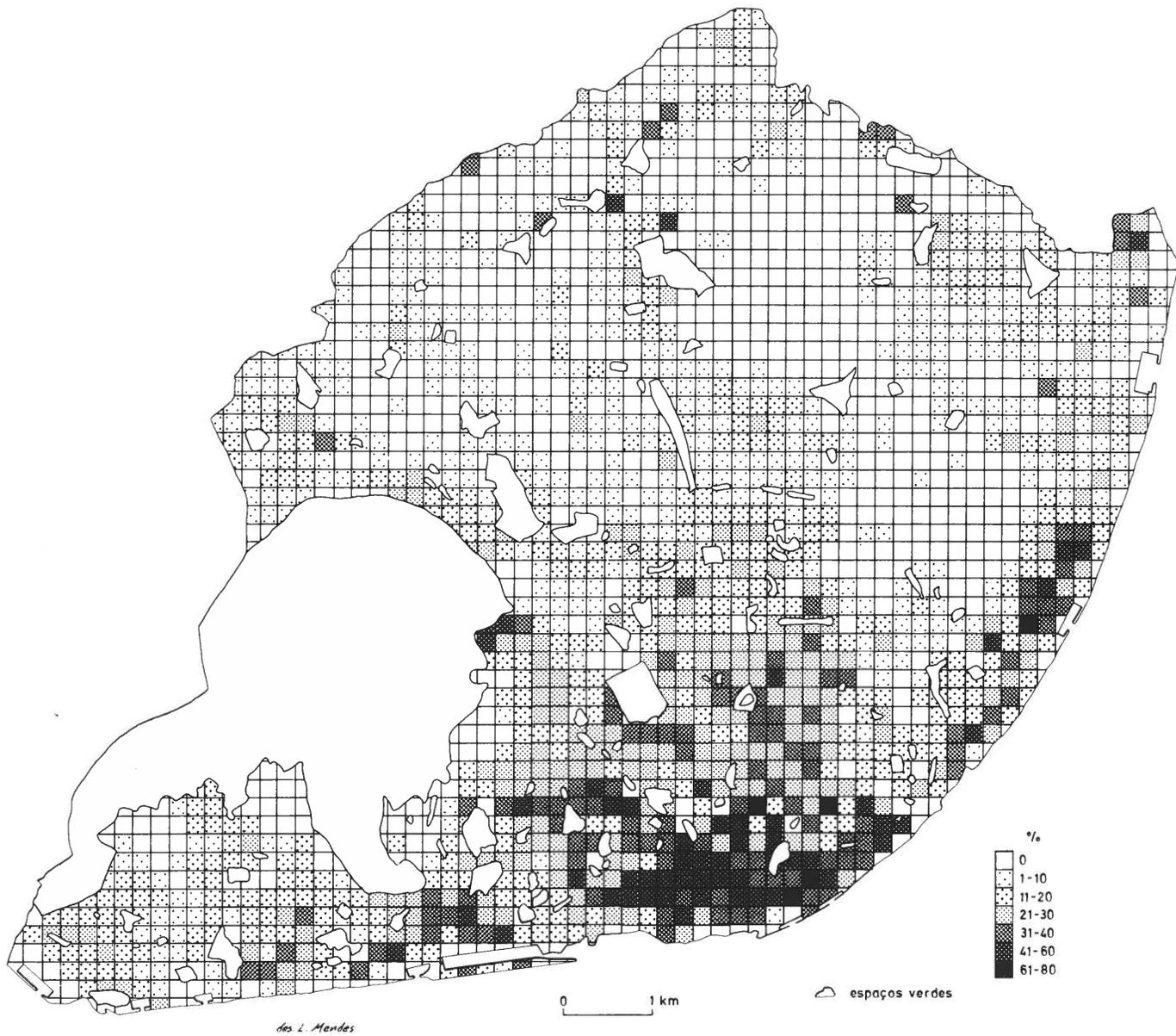


Fig. 5.2b — Lisboa: Percentagem de área construída.

No capítulo V — Planeamento e zonamento gerais — do Plano Director de Urbanização de Lisboa, do Gabinete de Estudos de Urbanização da Câmara Municipal de Lisboa (1967), é apresentada informação sobre o relevo (pormenorizada, às vezes, ao ponto de indicar a percentagem de área com diferentes orientações), o traçado das artérias, os espaços verdes, e as actividades principais da população para cada «Malha» («Malha do Centro», «Malha da Lapa», «Malha de S. Sebastião», etc.).

S. SPÖRING (1967) caracteriza os «bairros naturais» de Lisboa não delimitados administrativamente como unidades estruturais, cujos limites se impõem claramente, pela semelhança dos elementos construídos. Cada «bairro natural» terá as suas características próprias (fisionómicas, funcionais e socio-económicas).

Recorda-se também a lista de padrões morfológicos que J. GASPAS (1976), propõe para o Centro da cidade de Lisboa.

Ao propor os 9 padrões morfológicos, que seguidamente se inventariam, J. GASPAS (1976), admite a relação entre a morfologia e as funções de certos bairros. (*)

— O padrão medieval português: por exemplo, a parte da cidade envolvida pelas muralhas pré-portuguesas, a encosta que desce do Castelo para a Rua da Madalena, a Baixa anterior ao Terramoto.

— O padrão muçulmano: em Alfama, embora este bairro nunca tenha passado de um arrabalde. Segundo J. GASPAS, Lisboa nunca terá sido, quanto à sua morfologia, no seu conjunto, uma cidade de tipo muçulmano.

— O padrão geométrico do fim da Idade Média.

— O padrão renascentista: pombalino, na Baixa. A partir do século XVIII, a cidade «virou-se» mais para o interior; se a morfologia da Baixa pré-pombalina possibilitava uma vida intensa junto da ribeira (veja-se a planta com os dois tipos de traçado sobrepostos, reproduzida por A. CELESTINO DA COSTA, 1951), o traçado pombalino veio valorizar as vias Norte-Sul, entre as quais também há uma hierarquia (diferentes dimensões e funções diversas), sendo as Ruas do Ouro e Augusta, as «Ruas de comando» (J. GASPAS, p. 140). A Rua do Comércio (antiga Rua Del Rei), é a mais larga artéria, de entre as perpendiculares às anteriores. Foi aqui e na Rua Augusta que se procederam às medições regulares na Baixa. A Baixa é limitada, a Ocidente, pelas Rua do Carmo-Rua Nova do Almada e a Leste, pela Rua da Madalena «apenas parcialmente integradas no conjunto pombalino».

— O padrão linear do princípio do século (segundo o autor, relacionado com o transporte de carro eléctrico e, em certa medida, já iniciado com o transporte de tracção animal).

— O padrão «Hausmann» de fim do século XIX.

— O padrão neo-medieval (?) geometrizado (**).

Embora não sejam dados exemplos de todos os padrões, é referida a morfologia de outros bairros. J. GASPAS frisa a ausência de hierarquia das ruas em quadrícula das Avenidas Novas, mostrando que, ao contrário da Baixa, não é a rua, mas o cruzamento que valoriza a ocupação (comercial ou outra), dando como exemplo, o cruzamento entre as Avenidas Duque de Ávila e da República. Os prédios de gaveto são frequentemente mais imponentes e preparados para receberem estabelecimentos comerciais.

Foi no limite setentrional das Avenidas Novas (na Avenida de Berna), que se instalou um termo-higrógrafo e foi também nesta rua, que se mediu, por vezes, a temperatura (não fazia parte dos pontos de medição regular).

(*) Os padrões morfológicos descritos por Jorge Gaspar influenciaram a escolha dos pontos de observação; embora a sua descrição sistemática seja feita no capítulo 6, antes da apresentação dos resultados, mencionam-se aqui alguns deles.

(**) Interrogação do autor.

É, posteriormente, feita menção ao traçado em tabuleiro de xadrez das ruas de Campo de Ourique, onde, todavia, se estabeleceu uma hierarquia funcional, sendo valorizadas as vias onde passava o carro-eléctrico. As raras observações em Campo de Ourique, foram quase sempre feitas em duas artérias secundárias próximas: uma rua Norte-Sul e outra E-W, onde as diferenças de velocidade do vento e temperatura são consideráveis.

A diferente largura e morfologia dos edifícios ao longo das Avenidas da Liberdade e Almirante Reis reflectem-se, segundo J. GASPAR, nas funções de cada uma. Desenvolve-se na segunda «uma actividade comercial bastante densa e um ambiente vivo, impraticável na Avenida da Liberdade devido à grande largura, que cria um vácuo físico e psicológico entre um e outro lado». Estas diferenças reflectem-se nas temperaturas regularmente medidas na Avenida da Liberdade e, ocasionalmente, na Avenida Almirante Reis.

3 — Poluição e temperatura em Lisboa. Repartição espacial e temporal dos fumos negros.

Inclui-se, a seguir, uma nota sobre a poluição em Lisboa, dada a sua comprovada influência no clima urbano; enumeram-se alguns poluentes químicos e físicos e refere-se a sua influência sobre as temperaturas. Salienta-se a distribuição espaço-temporal dos fumos negros que, a partir de determinada concentração, interceptam uma parte da radiação solar, o que contribuiria para uma grande diminuição de temperatura, se este efeito não fosse, frequentemente, contrabalançado ou mesmo anulado pelo aumento da contra-irradiação atmosférica pelos mesmos poluentes.

Considera-se a atmosfera poluída quando a sua composição é substancialmente diferente da do ar puro, devido a um aumento dos seus componentes habituais (CO₂, por exemplo) ou por modificação qualitativa da sua composição, pelo aparecimento de elementos «anormais»: SO₂, SH₂, HCL, HFL, CH₄, CFC, além de fumos (L. COIN, 1974). Tal acontece quando o fluxo de determinado composto «excede a capacidade que a atmosfera tem de o dispersar a velocidade suficiente (...) de modo a não serem excedidas as concentrações que ultrapassam a capacidade regeneradora local da biosfera» (J. DELGADO DOMINGOS *et al.*, 1980).

3.1 — Fontes emissoras e dispersão dos poluentes em Lisboa

Dado que a maioria dos livros ou artigos, que tratam do assunto, apresentam uma lista das várias fontes naturais e artificiais de poluição, apenas serão rapidamente enunciadas as fontes artificiais de poluição, que mais importância têm na cidade de Lisboa.

Segundo o relatório da OMS *et al.* (1981), as fontes fixas de emissão de poluição na cidade de Lisboa, são constituídas pela refinaria da Petrogal, pela Petroquímica e Gás de Portugal e por uma série de pequenas unidades industriais, que se desenvolvem ao longo do estuário do Tejo.

É, pelo contrário, dado grande relevo à circulação automóvel, que contribui muito para o aumento da poluição, uma vez que o parque automóvel é antigo e a percentagem de veículos a gasóleo elevada (o gasóleo é quimicamente menos tóxico que a gasolina, mas gera grandes quantidades de fumos negros). O incorrecto planeamento do tráfego e o terreno acidentado dificultam a circulação e provocam um deficiente funcionamento dos veículos aumentando, por isso, substancialmente, as emissões de fumos negros e de óxidos de carbono. Os táxis e os autocarros, a maior parte dos quais utilizam gasóleo, circulam sobretudo no centro da cidade, contribuindo grandemente para o aumento da poluição.

O mapa das áreas de iso-contaminação da atmosfera, utilizando a vegetação epífita (líquenes e briófitos) como bio-indicadores da qualidade do ar (C. SÉRGIO e F. BENTO-FERREIRA, 1983, p. 306) revela também que é nas áreas de urbanização mais intensa, de maior tráfego, de topografia deprimida e/ou das proximidades do Tejo (influência das unidades industriais da «outra-banda») que o índice de pureza da atmosfera é menor. Nos relatórios da OMS *et al.* (1981), da Comissão da Gestão do Ar (1986) e da Direcção-Geral da Qualidade do Ambiente (1989) é confirmado que a poluição na Baixa provém essencialmente da circulação automóvel. A raridade, exiguidade ou ausência de espaços verdes na cidade de Lisboa, contribuem também para o aumento da poluição, (menor absorção do CO₂ atmosférico).

A concentração dos poluentes varia inversamente à distância da fonte emissora. A dispersão depende da turbulência da baixa atmosfera, da altura e tipo da fonte emissora, da temperatura do poluente na altura da emissão, etc.

Tendo em vista o conhecimento da possibilidade de dispersão dos poluentes em Portugal, foi estudada a estrutura térmica da atmosfera em 160 estações portuguesas (J. J. DELGADO DOMINGOS *et al.*, 1980). As classificações mais utilizadas nestes tipos de investigação são as de PASQUILL-GIFFORD (1961), assente em observações meteorológicas correntes (velocidade do vento, insolação diurna e nebulosidade nocturna), e a de TURNER (1964), mais completa, baseada também em dados de energia solar incidente e altura da base das nuvens. GOLDBERGER, estabeleceu, em 1972, a correspondência entre as duas (J. J. DELGADO DOMINGOS *et al.*, 1980).

J. DELGADO DOMINGOS e os seus colaboradores (1980) concluem que, em Lisboa/Portela, em 4 anos de observações diárias, às horas sinópticas, houve 58% de ocasiões de atmosfera considerada «neutra» e 28% de casos de estabilidade. Só em 14% dos casos, a atmosfera era instável e portanto favorável à dispersão dos poluentes. Note-se que os casos de atmosfera neutra correspondem geralmente a ventos fortes, que ocasionam o transporte lateral dos poluentes, mas não necessariamente a sua dispersão. O grande número de ruas estreitas, ladeadas de edifícios, dificultam a dispersão dos poluentes, mesmo nos casos em que as condições meteorológicas a facilitariam. Nos casos em que o rumo do vento e a orientação das ruas coincidem, pode a canalização, e conseqüente aumento da velocidade do vento, favorecer o transporte dos poluentes.

3.2 — *Breves apontamentos sobre a poluição em Lisboa.*

O estudo da poluição atmosférica na aglomeração de Lisboa constituiria, por si só, uma vasta, complexa e interessante investigação (*). Resumem-se aqui alguns resultados anteriores e apresenta-se um breve tratamento de valores de concentração de fumos negros copiados nas instalações da Petrogal em Cabo Ruivo, e outros coligidos por estudantes (**), que frequentaram o seminário «Dinâmica do Ambiente Físico», orientado pelo Professor Dr. A. de BRUM FERREIRA em 1986/87. Utilizaram-se dados de dias estudados no capítulo 4.

(*) A poluição da área metropolitana de Lisboa está a ser tratada no âmbito de uma dissertação de Mestrado, que será apresentada à F.L.U.L..

(**) Agradeço a Ana Catarina Mateus, Ana Ai Quintas e Rita Matos a cedência dos dados e a possibilidade de consulta do seu trabalho de seminário «Contribuição para o estudo da poluição atmosférica em Lisboa — Barreiro. Análise climatológica».

a) A rede de medida da qualidade do ar

A rede de Lisboa é actualmente constituída por 12 postos de medida de poluentes atmosféricos da responsabilidade da Câmara Municipal de Lisboa (5 dos quais não funcionam regularmente), da Petrolgal (4 postos) e do Instituto Nacional de Saúde de Ricardo Jorge (3 postos). Os postos localizados no mapa da figura 5.3, estão mal distribuídos no espaço urbano, não havendo informação para os limites Norte e NW da aglomeração.

Notar que, em Liège, de muito menores dimensões do que Lisboa, há 29 postos de observação da poluição atmosférica; apesar disso, J. ALEXANDRE (1979) lamenta a dificuldade no traçado das isolinhas, em parte devido à fraca densidade da informação disponível.

Os dois postos da Baixa (1 e 2) foram extintos depois do condicionamento do trânsito nas Ruas Augusta (1984) e do Carmo (1985), tendo sido substituídos, a partir de Janeiro 1986 por um outro, na Rua da Prata, onde a circulação automóvel se intensificou. Desde 1988, funciona, na Rua do Século, uma estação da Rede Nacional que permitirá, dentro em pouco, dispor de uma série considerável de valores de poluição. Alguns resultados preliminares acabam de ser publicados (Direcção-Geral da Qualidade do Ambiente, 1989).

Nos postos 0, 1, 2, 3, 4, 7, 8 e 9, executam-se amostragens de 24 horas nos dias úteis às 9h 30m e amostragens superiores a 24 horas aos fins de semana e feriados. As amostragens são de 72h, nos fins de semana, e de 48, 72, ou 96h nos feriados, conforme os dias em que ocorrem. Nos postos 5, 10, 11, 12 e 13, executam-se amostragens de 24h, automaticamente (Comissão de Gestão do Ar, 1986).

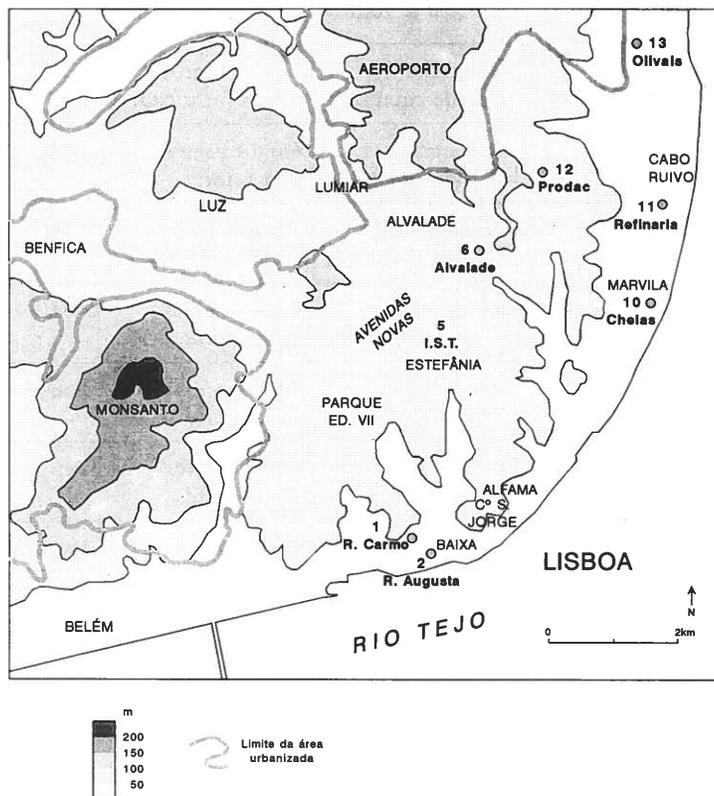


Fig. 5.3 — Localização dos postos de medição de poluentes (o).

b) Fumos negros

— Resultados anteriores

Conclui-se, no relatório de 1981 (OMS *et al*), que só os postos 5 (Técnico), 6 (Alvalade) e 13 (Olivais) se encontram dentro dos limites impostos pela Comunidade Económica Europeia. Os dois locais de observação em situação mais crítica são os da Baixa (1 e 2), localizados em ruas estreitas de edifícios altos, com tráfego automóvel intenso na altura das observações.

Pelo contrário, no relatório da Comissão de Gestão do Ar (1986, p. 25), é considerado que os valores das concentrações de fumos negros só não satisfazem as normas europeias nos postos 1 (Rua do Carmo) e 9 (Largo do Mastro). Não são referidas as causas da diminuição da concentração de fumos negros nos outros postos, à excepção do posto 2 (Rua Augusta): desde que o trânsito está aqui condicionado (só cargas e descargas desde 27 de Julho 1984), as médias anuais de fumos negros do período 1980/84 diminuíram 91% em 1985 (e as de SO₂ desceram 78%). Os valores da Rua do Carmo, agora também fechada ao trânsito, devem ser actualmente semelhantes aos da Rua Augusta. Os resultados referentes a 1988 revelam que os valores obtidos para o Largo do Mastro ainda «violam as normas fixadas, quer para a mediana quer para o percentil 98» (Direcção-Geral da Qualidade do Ambiente, 1989, p. 42). Ignora-se o que se passa actualmente noutros locais (inclusivamente na Baixa) pois as estações da Câmara Municipal não funcionaram em 1988.

Posto	Localização	Tipo de zona	Tipo de observação	Organismo responsável	Altura da tomada de ar
1	Rua do Carmo 89 (junto à casa Vareta)	Comercial Grande circulação	Fumos negros acidez forte NO ₂	CML	3m
2	Rua Augusta (junto ao Crédito Predial)	Comercial Grande circulação	Fumos negros acidez forte	CML	3m
5	Instituto Superior Técnico	Residencial Grande circulação	Fumos negros acidez forte NO ₂	CML	3m
6	Alvalade (Escola preparatória A. Gago Coutinho)	Residencial	Fumos negros acidez forte NO ₂	CML	3m
10	Chelas «nova» (ISEL)	Residencial Industrial	Fumos negros acidez forte	Petrogal	11m
11	Cabo Ruivo (refinaria)	Industrial	Fumos negros acidez forte	Petrogal	18m
12	R. José António Patrício (Prodac)	Residencial	Fumos negros acidez forte SO ₂	Petrogal	8m
13	R. General Silva Freire (Junta de freguesia de S. Maria dos Olivais)	Residencial	Fumos negros acidez forte SO ₂	Petrogal	6m

Quadro 5.1 — Postos fixos de medição de poluentes, cujos dados foram facultados.

Segundo os autores do relatório da OMS *et al.* (1981), a maior ou menor quantidade de fumos negros na atmosfera urbana, depende essencialmente da «ventilação» (que deverá corresponder à velocidade do vento) variando pouco com o seu rumo.

— Variação diária da distribuição espacial dos fumos negros em Lisboa

O estudo dos fumos negros a partir dos valores diários é aqui iniciado, no intuito duplo de precisar algumas das conclusões dos anteriores relatórios, e de exemplificar a metodologia que se tenciona aplicar, em posterior trabalho, a uma amostragem mais extensa e recolhida propositadamente. Analisam-se os valores médios da concentração de fumos negros em vários postos de Lisboa, no Inverno e no Verão com base nos valores de Dezembro de 1983, Janeiro e Fevereiro de 1984, assim como de Setembro de 1983 e Junho, Julho e Agosto de 1984.

Os resultados obtidos para a Rua Augusta devem, agora, corresponder às condições nas Ruas do Ouro e da Prata com as mesmas orientação e largura e de momento abertas ao trânsito.

Observa-se, na figura 5.4, que, tanto no Verão como no Inverno, são os postos do centro da cidade, Rua Augusta (p. 2) e Rua do Carmo (p. 1), aqueles onde a concentração média de fumos negros é maior.

No Verão, aquela é, no entanto, menor do que no Inverno. Apesar do tráfego intenso, (que talvez diminua durante as férias estivais), a orientação N-S da Rua Augusta actua favoravelmente na remoção dos poluentes, pois tanto os ventos do Norte (frequentes e, por vezes, fortes) como a brisa do Tejo, são canalizados por esta e outras ruas paralelas da Baixa pombalina e contribuem para uma eficaz renovação do ar. No Instituto Superior Técnico (p. 5), a concentração de fumos negros corresponde a cerca de 1/8 da da Rua Augusta, e a de Cabo Ruivo a menos de 1/10. Nos outros locais de observação, a concentração de fumos negros é menor ainda do que em Cabo Ruivo. O coeficiente de variação é bastante mais elevado nos postos a NE da cidade e na Rua Augusta (estes valores não devem, no entanto, ser analisados independentemente dos da média, muito maiores no centro da cidade, fig. 5.4)

Os valores da Rua Augusta alcançam, no Inverno de 1983/84, a média de $728 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e, os da Rua do Carmo, $356 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dada a sua proximidade geográfica, esta diferença deve ser devida à posição topográfica deprimida do local de observação e ao tráfego mais intenso na Rua Augusta do que na Rua do Carmo. A concentração de fumos negros na Rua do Carmo é, por sua vez, quatro vezes maior do que a média mais elevada a NE da cidade ($47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no Instituto Superior Técnico) e cinco vezes maior do que a de Cabo Ruivo. Os coeficientes de variação diminuem bastante no Inverno, na Baixa, o que não acontece a NE da cidade. Nestas áreas, normalmente pouco poluídas, o valor médio é baixo mas, em condições de que, à frente, se dá um exemplo, a poluição pode ser inabitualmente alta; assim, o desvio-padrão é alto e não se pode interpretar os valores do coeficiente de variação como indicação de frequentes variações inter-diurnas.

Distribuição espacial dos fumos negros no Verão

Apresentam-se seguidamente as principais conclusões de uma análise em componentes principais aplicada a uma matriz de 20 indivíduos (dias) e de 8 variáveis (postos de observação da concentração de fumos negros).(*)

(*) No texto policopiado de 1988 encontram-se os diversos gráficos, cuja análise conduziu aos resultados que agora se resumem.

VERÃO

INVERNO

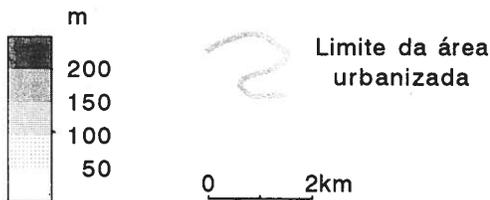
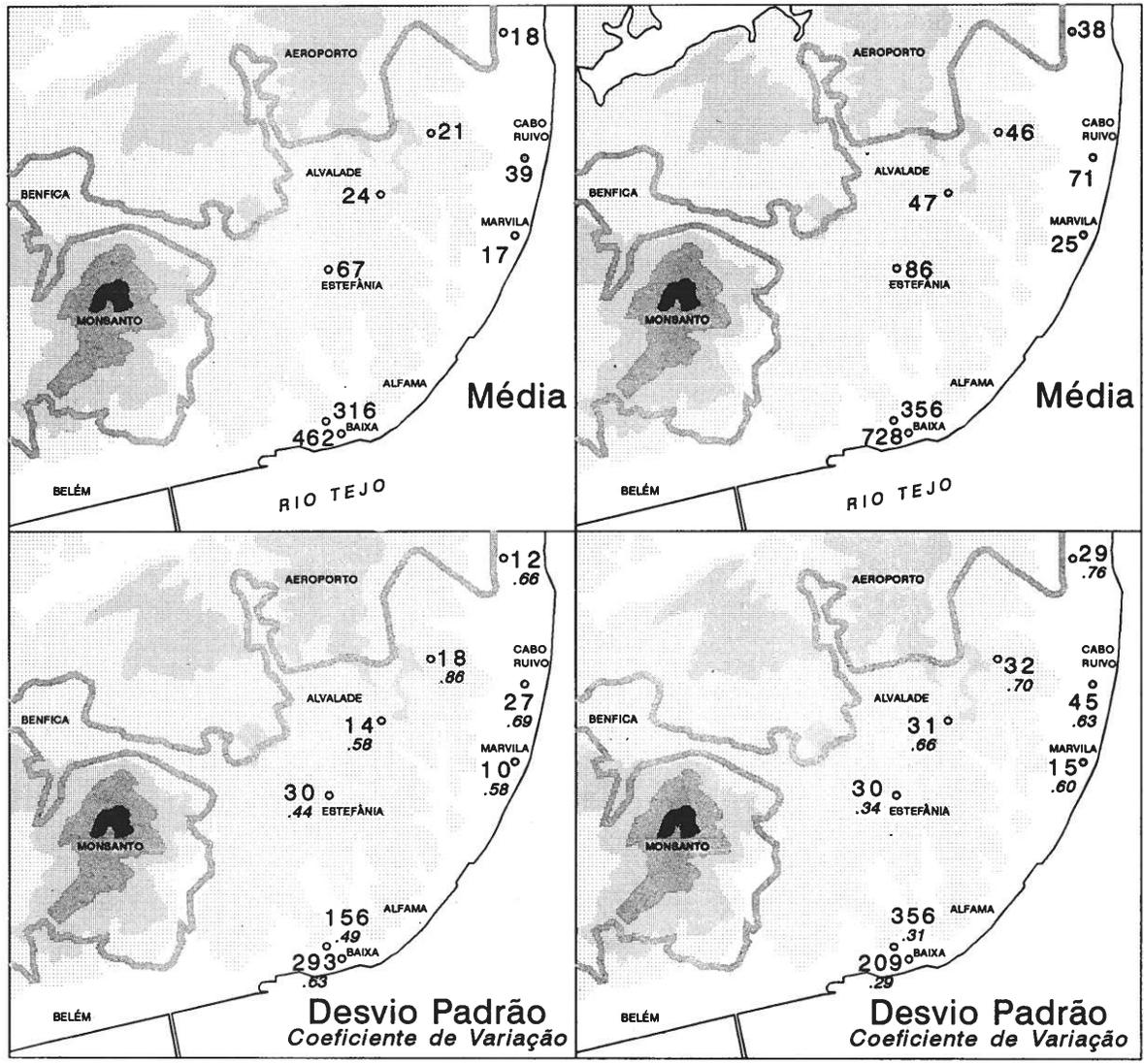


Fig. 5.4 - Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), desvio padrão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e coeficiente de variação da concentração dos fumos negros em Lisboa.

Fig. 5.4 — Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), desvio-padrão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e coeficiente de variação (%), da concentração de fumos negros, em Lisboa, em 1983 e 1984.

No Verão, a concentração de fumos negros varia, em certa medida, de maneira sincrónica: a percentagem da variância tida em conta pelo primeiro factor («efeito de dimensão») é de 42%, e todas as estações estão bem representadas por este factor.

A relação das condições de poluição com as características aerológicas dos dias isolados pela análise (*) levou às seguintes conclusões:

Foi verificado que há um aumento de concentração de poluição (dias cuja projecção está à direita de F_1), sempre que há inversões baixas às 12 horas, quando o vento é fraco, soprando de manhã do quadrante Este, às vezes de NW ou Norte à tarde e desde que tenha havido calma ou vento muito fraco durante a noite anterior às medições. Nestas condições, foi detectada a existência de inversões nocturnas junto ao solo (nas raras noites com sondagem às 0h). Os dias de menor concentração de fumos negros (à esquerda sobre F_1) são os de vento forte do quadrante Norte, de certa instabilidade da atmosfera.

O terceiro factor (12% da variância) dá uma pista para a compreensão de um padrão de poluição praticamente inverso do que está expresso na figura 5.4, com valores muito elevados a NE da aglomeração: o posto 13, a NE da cidade, é o mais bem representado por este factor (scores positivos). Na projecção dos indivíduos (dias) nota-se que é o dia 21 de Junho, o que tem coordenadas mais fortemente positivas para F_3 (e corresponde à mais elevada qualidade de representação). A consulta da matriz revelou que a média da concentração dos fumos negros naquele posto era de $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tendo o dia 21 de Junho, apresentado um desvio à média de $+ 17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A análise isolou o dia 21, porque só no posto 13 o desvio era positivo. A causa desta diferença reside no vento de SW que soprou durante parte da tarde de 20 de Junho e que terá arrastado o referido poluente para o extremo NE da cidade, onde foi detectado. Nos outros locais, o mesmo vento contribuiu para a relativa purificação da atmosfera.

Foi efectuado um tratamento semelhante de duas matrizes de dados de concentração de fumos negros de Inverno (uma matriz de 20 indivíduos (dias) e de 8 variáveis (postos de poluição) e outra de 60 indivíduos e 5 variáveis). No primeiro caso há, em certos dias de fortes scores positivos para F_1 (60% da variância), uma grande concentração de fumos negros em todos os postos (18, 20, 28 e 29 de Fevereiro e 28 de Dezembro). Nos dois primeiros dias, a velocidade do vento foi frequentemente inferior a 7 km/h. Na ausência de informação sobre a estrutura térmica da atmosfera, utilizou-se o nevoeiro como «indicador» da ocorrência de tal fenómeno. Por exemplo, entre as 9h de 17 e as 9h de 18 de Fevereiro 1984, observou-se nevoeiro em Lisboa/Portela, Alverca, Sacavém, Santarém, Fonte Boa, Vimeiro, Ota, Salvaterra de Magos e Sintra/Granja, tendo o céu permanecido limpo no litoral, o que traduz provavelmente a existência de inversão térmica junto ao solo em Lisboa, durante várias horas. Naqueles dias a nebulosidade foi fraca, pelo menos nas 6h anteriores à observação.

No entanto, nos dias 28 e 29 de Fevereiro, também de coordenadas positivas para F_1 , em que os valores de fumos negros foram os mais elevados do Inverno nos postos da Baixa, no Técnico e em Alvalade, aproximava-se uma perturbação, a nebulosidade era variável, o vento rodou de Norte para Oeste entre as 0h do dia 27 até às 6h do dia 29, e a instabilidade da atmosfera era grande. Na

(*) Para cada ocasião, anotaram-se as observações da nebulosidade e do vento das 12h e das 18h da véspera e das 0 e das 6h do dia em que foi feita a amostragem de fumos negros às 9h30, assim como indicações sobre a estrutura térmica da atmosfera às 12h da véspera e às 0h da data da amostragem (quando existia); todas estas observações, extraídas do Boletim Meteorológico Diário (INMG) dizem respeito a Lisboa/Portela; foi igualmente feita uma lista das estações meteorológicas em que foi observado nevoeiro nas 24 horas precedentes à recolha do filtro dos fumos negros.

Rua Augusta atingiu-se o valor de $1258 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na Rua do Carmo 630, no Técnico 189 e, em Alvalade, 106. A falta da sondagem às 0h impede a interpretação destes resultados, aparentemente contraditórios. Poder-se-á talvez relacionar este episódio com a passagem de uma frente oclusa.

A concentração de fumos negros é particularmente fraca (dias de coordenadas negativas para F_1) em condições de nebulosidade média ou forte, vento de Norte ou NW (moderado ou forte), humidade relativa elevada e ausência de inversão junto ao solo (também, nestes casos, não há sondagem às 0h). Não foi observado nevoeiro em nenhum dos 8 dias de fraca poluição estudados em pormenor.

O tratamento da segunda matriz confirmou o que atrás foi dito; além disso, mostrou que, também no Inverno, quando sopram ventos do quadrante Sul, se observa o aumento de poluição para NE da cidade ou, pelo menos, um decréscimo do gradiente entre os valores de poluição do Centro e os do NE de Lisboa; permanece por explicar um comportamento particular do posto 10 (Chelas), cuja concentração de fumos negros varia de modo diferente dos outros postos do NE da aglomeração.

c) Relação entre os valores de poluição e as variáveis meteorológicas.
Ensaio para Cabo Ruivo.

Para aprofundar a relação entre a concentração dos fumos negros e alguns parâmetros meteorológicos, foram feitas regressões lineares entre os dois grupos de variáveis. A concentração de fumos negros em Cabo Ruivo era a variável dependente (Y) e utilizaram-se, como variáveis independentes a direcção e a velocidade do vento e a intensidade da inversão térmica mais baixa em Lisboa/Portela, às 0h da noite anterior à recolha dos filtros, e, também, às 12 e às 0 horas da véspera, visto que certamente há um lapso de tempo (desconhecido até ao momento) necessário à «actuação» dos vários parâmetros meteorológicos no aumento da poluição atmosférica.

Trataram-se 61 casos de Verão (de 1980) e 42 de Inverno; a amostragem foi reduzida pela ausência de dados da sondagem às 0h (que considero, *à priori*, fundamental na explicação), nas ocasiões para as quais dispunha dos valores de concentração de fumos negros. Não se estudou poluição no centro da cidade porque não existem, até à data, dados meteorológicos para este local (*).

Os coeficientes de correlação simples estão reunidos no quadro 5.2. Os resultados estão em concordância com os das análises em componentes principais. Repare-se que o factor mais importante na concentração dos poluentes em Cabo Ruivo é a velocidade do vento durante a noite e, também, durante o dia anterior. A relação da concentração de poluentes com a direcção do vento é importante, sobretudo, na noite que antecede a observação da poluição ou seja a poluição diminui com ventos de W, NW e Norte. O coeficiente de correlação entre a concentração de fumos negros e a intensidade da inversão na noite anterior (-0.21) não é suficientemente alto para ser significativo; segundo a teoria, uma inversão mais intensa, deveria conduzir a uma maior concentração de fumos negros. Mas este facto depende, largamente, da distância e posição relativa do posto de observação, ao local em que os poluentes são emitidos. O vento e a intensidade da inversão mais baixa na antevéspera da recolha dos filtros não tem influência na concentração dos fumos negros em Cabo Ruivo.

(*) Posteriormente foi feito um ensaio, tentando comparar as concentrações de fumos negros na Baixa com as variáveis meteorológicas do Aeroporto. Apesar da amostragem ser mais numerosa, as relações obtidas não foram significativas provavelmente devido à distância entre os dois locais.

	Às 0h do dia			12h da véspera			0h da véspera		
	Direc. vento	Veloc. vento	Int. da inver. são + baixa	Direc. vento	Veloc. vento	Int. de inver. + baixa	Direc. vento	Veloc. vento	Int. da inver. + baixa
Inverno	-0.21	-0.16	-0.15	-0.03	0	-0.07	-0.17	0.15	0.05
Verão	-0.31	-0.26	-0.21	-0.22	-0.28	-0.14	-0.11	0.01	0.12
	(1)	(2)			(3)				

(1): $y = -0.72x + 53.6$ (2): $y = -1.17x + 41.1$ (3): $y = -1.35x + 44.2$

Quadro 5.2 — Coeficientes de correlação entre a concentração de fumos negros em Cabo Ruivo e elementos meteorológicos em Lisboa/Portela.

Sublinharam-se os coeficientes significativos.

Penso que uma metodologia deste tipo ou uma regressão múltipla seriam eficazes no estudo da poluição atmosférica: investigação da relação (linear, como neste caso, ou não) entre a concentração dos vários poluentes em todos os postos de observação e os elementos meteorológicos. Isto pressuporia uma recolha grande de valores diários para períodos em que houvesse a certeza de obter todos os elementos meteorológicos necessários, particularmente os dados da sondagem às 0h.

4 — Resumo e conclusões

Começa-se por apresentar diferentes acepções da palavra ilha de calor urbano e resumir os conhecimentos actuais sobre as causas do seu aparecimento. É comentada a perda de radiação solar nas cidades de atmosfera poluída; esta perda é, em parte, compensada pelo menor albedo da cidade, consequência das múltiplas reflexões entre os prédios. O balanço de radiação em onda longa também não é mais fortemente positivo na cidade do que no campo, pois se há uma maior perda por irradiação em meio urbano (devido à sua mais alta temperatura, lei de Stefan-Boltzmann), também a contra-irradiação dos constituintes da atmosfera é aumentada (pela mesma razão). Em termos teóricos (e à excepção de alguns casos pontuais), não são as particularidades das trocas radiativas em meio urbano as principais causas do aumento de temperatura na cidade. Não parece haver ainda consenso quanto à importância relativa das perdas de calor sensível e latente na cidade e no campo, não tendo sempre os resultados experimentais confirmado os estudos teóricos sobre este tema. Provou-se que o fornecimento de energia antrópica à atmosfera (particularmente nas cidades de latitudes médias, durante o Inverno) e, durante a noite, a libertação de calor armazenado de dia pelos edifícios contribuem largamente para as elevadas temperaturas das cidades em relação às áreas suburbanas.

No entanto, o balanço energético pode ser profundamente alterado pelo factor advecção. A partir de uma determinada velocidade de vento, deixa de haver qualquer influência da cidade como factor climático; aquela passa apenas a actuar como obstáculo, dependendo então as características térmicas espaciais da posição (abrigada ou desabrigada) dos diversos locais em relação ao vento.

Introduz-se, seguidamente, o espaço urbano estudado. Inicia-se comentando brevemente as características físicas de Lisboa. A sua posição à beira do estuário do Tejo e próxima do Oceano, mas ao mesmo tempo dele isolada pela Serra de Monsanto a Ocidente, pelas elevações que constituem a Serra da Carregueira a NW e pela mais distante Serra de Sintra, confere características peculiares ao seu

clima. Não menos importante é o relevo acidentado: refere-se no texto a existência de numerosos vales pouco hierarquizados, que entalham vigorosamente um antigo nível de erosão; este apenas se conserva intacto nos bairros setentrionais da cidade e foi também aproveitado para a construção das pistas do Aeroporto. A cidade nasceu na colina de S. Jorge, onde se encontram os bairros mais antigos (padrão medieval português, padrão muçulmano) e, pouco a pouco, foi ocupando o Vale da Baixa (reconstruída no fim do século XVIII) e os interflúvios vizinhos, tendo a urbanização progredido nas plataformas das «Avenidas Novas» apenas a partir de meados deste século. Os troços montante dos vales, pelos quais era fácil o acesso ao Centro da cidade, foram depois alvo de intensa construção que, pouco a pouco, vai ocupando, também, os interflúvios dos limites da aglomeração. A cada fase de expansão da cidade corresponde um determinado tipo de morfologia urbana, cuja influência no clima é importante. As grandes variações de relevo, de densidade de construção e de «textura» (ou morfologia) no interior da cidade originam o complexo clima local lisboeta, que resulta da justaposição de inúmeros microclimas.

Sendo a poluição um factor importante nas eventuais modificações do balanço de radiação, dedicam-se-lhe algumas páginas, antes de entrar propriamente na apresentação dos resultados sobre o clima local de Lisboa, no capítulo 6. Salienta-se a distribuição espaço-temporal dos fumos negros que, a partir de uma determinada concentração, interceptam uma parte da radiação solar, o que contribuiria para uma grande diminuição de temperatura se este efeito não fosse, frequentemente, contrabalançado ou mesmo anulado pelo aumento da contra-irradiação atmosférica pelos mesmos poluentes. Concluiu-se, a partir de um curto estudo de dados diários, que a sua concentração é muito maior no Inverno do que no Verão, variando bastante entre locais próximos. É dado como exemplo o caso da «Baixa» lisboeta: na Rua Augusta, a poluição era, na altura em que ambas estavam abertas ao tráfego, quase o dobro da da Rua do Carmo, no Inverno; pensa-se que esta diferença é devida ao tráfego mais intenso (particularmente de veículos a gasóleo) e à posição deprimida da Rua Augusta.

No Verão, e para o conjunto dos postos, os maiores valores de poluição correspondem às ocasiões precedidas por situações de calma (nas 24 horas anteriores à observação) e de atmosfera estável. No Inverno, o aumento de nebulosidade (associada geralmente a ventos fortes e ocorrência de precipitação) corresponde a uma diminuição da poluição à excepção de um caso de passagem de uma frente. Obviamente, tal como no Verão, uma atmosfera estável e situações de calma contribuem para o aumento da concentração do poluente em questão. É proposta uma técnica de estudo que poderá ser utilizada como auxiliar da previsão de episódios de forte concentração de poluentes.

CAPÍTULO 6

A ILHA DE CALOR DE LISBOA: TEMPERATURAS DIURNAS E NOCTURNAS DE VERÃO E DE INVERNO

1 — A Temperatura em Lisboa. Diferenças médias em estações meteorológicas e novos locais de observação.

1.1 — Estudos anteriores

Além de medições antigas e pontuais como por exemplo as de M. FRANZINI (de 1816 a 1856 em Alcântara), há poucos estudos dedicados exclusivamente ao clima de Lisboa. Em 1905, J. M. de ALMEIDA LIMA compila numerosos valores médios e apresenta gráficos da evolução estacional de vários elementos climáticos em Lisboa. Tanto quanto sei, é esta a primeira obra dedicada exclusivamente ao clima de Lisboa. O mesmo autor voltou a escrever sobre o tema em 1912.

D. G. DALGADO analisa, em 1906, em termos médios, o clima de Lisboa, sobretudo para o comparar com o de Monte Estoril e o de Sintra, a que ele chama «health resorts»; o autor era médico e, provavelmente, escreveu em inglês, para uma clientela estrangeira, susceptível de fazer curas em Portugal. Note-se que a climaterapia voltou a desenvolver-se e certos países aproveitam o seu clima para atrair turistas (a Roménia, por exemplo).

J. XAVIER DE BRITO publica, em 1944, os resultados do tratamento estatístico da temperatura do ar em Lisboa (período 1901-30); em 1956, o mesmo autor apresenta uma comunicação com o título: «O ajustamento das médias das temperaturas médias diárias do ar em Lisboa, durante o Verão, ao período 1901-1930».

Em 1973, M. SOUSA MACHADO (1973), analisa as variações climáticas seculares em Lisboa, já referenciadas no capítulo 3 e refere-se à ilha de calor urbano de Lisboa, que delimita por isolinhas.

A. de AZEVEDO, na publicação de 1982 com o título «O crescimento urbano e a influência no clima local», faz uma longa introdução sobre os aspectos teóricos do clima urbano, e conclui que a ilha de calor detectada por M. S. MACHADO (1973), a partir de dados de temperatura mínima de Janeiro e de Julho e da média anual (1958-1967) da rede climatológica da região de Lisboa se alongou para NW; para tirar esta conclusão, o autor utilizou as temperaturas mínimas do período 1968-1981. A certo passo, é afirmado: «Comparando as cartas do período 1968-1981 (os mapas de isotérmicas que apresenta) com a Carta Administrativa de Portugal, editada pela Comissão Nacional do Ambiente para o Atlas do Ambiente, verifica-se que a ilha de calor se alonga sobre a parte Sul do Concelho de Odivelas, a parte Norte do Concelho da Amadora e a parte Leste do Concelho de Belas, regiões em que é bem conhecido o aumento considerável de áreas habitacionais com fortes características de

«dormitório», portanto com particular influência no campo da temperatura mínima». Não são referidas as estações meteorológicas que serviram de base ao traçado das isotérmicas: tendo a de Queluz sido extinta, é possível que existam outras cujos dados não venham ainda publicados nos Anuários Climatológicos de Portugal. Antes da conclusão, há um parágrafo de uma só linha: «Mas há outra ilha de calor na região de Cascais». Pelas medições, ainda insuficientes, a que aí procedi, verifiquei que, em Cascais, tal como em Lisboa, é determinante a importância do regime dos ventos (nortada, brisa, etc.) na repartição da temperatura. O centro de Cascais pode ser alternadamente uma ilha de calor e uma «ilha de frescura». Mas não são os dados da estação actual (em S. João do Estoril) que o podem provar.

Em relação a Lisboa, há outras publicações onde são compilados dados estatísticos, como a de C. GONÇALVES e A. MATA (1962) que apresentam valores de «Cinco anos de medição de radiação solar em superfícies verticais em Lisboa»; os «Valores Médios e Horários de Pressão Atmosférica, da Temperatura e Humidade do ar e da Velocidade do Vento em Lisboa, no período de 1901-1950», foram publicados pelo Serviço Meteorológico Nacional (hoje, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica) e, o fascículo «Cem Anos de Temperatura em Lisboa» editado pelo Instituto Geofísico Infante D. Luís, entre muitos outros.

1.2 — *Diferenças médias de temperatura entre Lisboa (Geofísico) e as estações dos limites da aglomeração.*

Relembrem-se, brevemente, as diferenças de temperatura máxima e mínima média entre Lisboa (Geofísico) e as estações meteorológicas dos limites Norte, Oeste e NE da aglomeração (Lisboa/Portela, no Aeroporto, Lisboa/Tapada, na Ajuda, e Cabo Ruivo, na margem direita do rio Tejo) antes de passar à apresentação das várias medições executadas em Lisboa. Paiã/Escola Agrícola, cujas médias ainda foram utilizadas num capítulo anterior, foi, entretanto, extinta.

Devido à localização, no Jardim Botânico, da única estação meteorológica implantada no interior da cidade (Lisboa, Geofísico), nem sempre é fácil determinar em que medida a aglomeração influencia as variações de temperatura aí registadas. A posição do local de observação, num ponto alto (77m), com edifícios próximos a Norte e a Oeste, e a sua relativa proximidade do estuário do Tejo, são outros importantes factores a ter em conta.

Da comparação das temperaturas máxima e mínima médias mensais (fig. 6.1), conclui-se que as diferenças de temperatura variam pouco de mês para mês.

As temperaturas mínimas médias são sempre mais elevadas (de 0.5 a 1°C) em Lisboa do que nos arredores próximos excepto, como se disse, no Verão, em que a cidade apresenta a mesma temperatura ou está ligeiramente mais fresca do que a área ribeirinha. Mas, os maiores desvios entre a temperatura de Lisboa e Cabo Ruivo dizem respeito às mínimas de Inverno (Geofísico mais quente durante a noite).

As diferenças de temperatura máxima média entre Lisboa (Geofísico) e Lisboa/Portela oscilam entre 0.1 e 0.4°C (excepto para Março); as máximas médias são mais altas em Cabo Ruivo do que no Geofísico, nos meses de Verão. Na estação meteorológica de Lisboa/Tapada, as temperaturas máximas são sempre mais altas (+0.4° a +1.1°C) do que no Jardim Botânico.

Resumindo: no Inverno, a temperatura mínima média é mais alta na cidade (+0.5° a +1.1°C) e a máxima é praticamente igual em Lisboa, Lisboa/Portela e Cabo Ruivo (diferenças compreendidas entre 0° e 0.3°C), sendo mais elevada na Tapada da Ajuda.

No Verão, a temperatura mínima é mais alta no Geofísico do que no Aeroporto e na Ajuda, e igual ou inferior à de Cabo Ruivo. Em média, os dias são ligeiramente mais quentes no Geofísico do que no Aeroporto. Pelo contrário, a temperatura máxima é, em média, mais elevada nas proximidades do estuário (Lisboa/Tapada e Cabo Ruivo) do que no Geofísico.

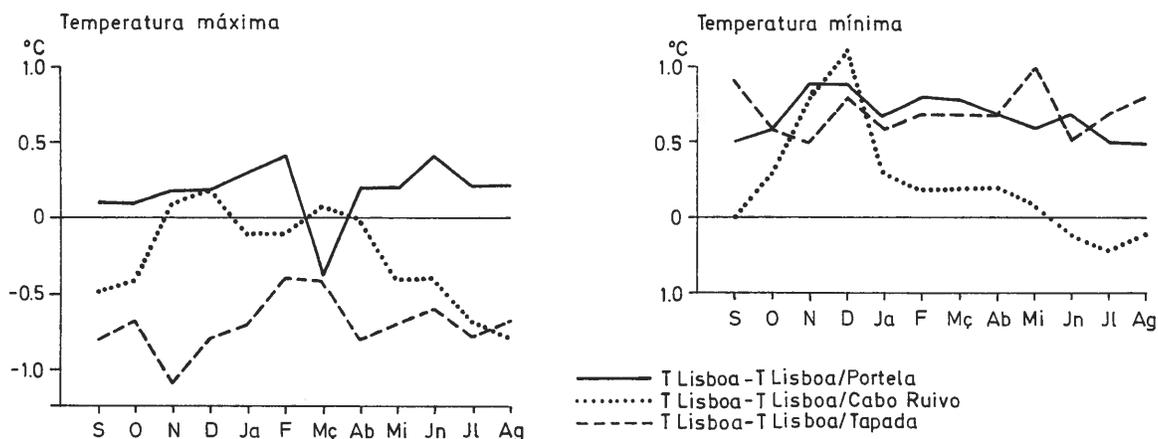


Fig. 6.1 — Diferença de temperatura máxima média e mínima média mensais entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração.

1.3 — Escolha dos novos locais de observação itinerantes.

Ao longo do tempo de trabalho de campo, foi-se adquirindo aparelhagem mais sofisticada e mais numerosa. Este facto reflecte-se nos trajectos seguidos e no número de pontos de observação das diversas fases das medições itinerantes.

Depois de algumas observações experimentais, optou-se, por seguir sempre o mesmo trajecto, de modo a facilitar a interpretação. Foram assim escolhidos 20 pontos assinalados na figura 6.2. O primeiro objectivo, na escolha destes pontos, era de permitir uma representação espacial das variações térmicas não só ao longo do rio Tejo, como nas diferentes formas de relevo e de morfologia urbana, umas e outras tão diversificadas.

Assim, escolheu-se a Cruz Quebrada, Terreiro do Paço, Santa Apolónia, Beirolas e Cabo Ruivo, ao longo do estuário do Tejo e o mais próximo possível da margem, para evitar influências da ocupação humana. Só na Cruz Quebrada, as medições não eram feitas à beira do rio, devido ao obstáculo da linha do comboio, mas no cruzamento da marginal com a estrada que segue para o Estádio Nacional, próximo do rio Jamor. Para documentar a temperatura no (excêntrico) Centro de Lisboa, duas medições na Baixa Pombalina (uma na Rua do Comércio, paralela ao Tejo; outra na Rua Augusta, que lhe é perpendicular; uma outra, para Oriente e a altitude maior, a Sul do Castelo de S. Jorge, no Largo do Contador-Mor (numa parte da cidade de «padrão medieval português» segundo J. GASPAS, 1976). Muitos dos condicionantes da escolha são de ordem prática: a maior largura e a possibilidade de circulação de Ocidente para Oriente (hoje invertida) levou à escolha da Rua do Comércio, pouco mais estreita do que a vizinha Rua Augusta, onde também foram executadas medições: assim, as diferenças de temperatura, humidade e ventos seriam apenas devidas às diferentes orientações destas artérias, que se reflectem no número de horas de Sol e na diferente influência do Tejo. A impossibilidade de efectuar medições nocturnas no Castelo de S. Jorge, que encerra ao pôr do sol, levou à escolha do Largo do Contador-Mor, na encosta, umas dezenas de metros mais abaixo.

Foram também feitas observações no local onde, hoje, está construído o Centro Comercial das Amoreiras («Phillips»), no topo do Parque Eduardo VII e na Praça de Espanha: três espaços em que



Fig. 6.2 — Locais de observação regulares e perfis principais (1 e 2) em Lisboa.

a obstrução do horizonte por edifícios era nula, documentando condições frequentes nos sectores Oeste e NW da cidade.

Como exemplos dos limites NW e Norte da aglomeração, escolheu-se Benfica, na Rua Carolina Michaelis, na base da vertente Norte de Monsanto, mas próximo de edifícios altos (mais de sete andares) e Luz, a Norte do Largo do mesmo nome, em espaço aberto; mediu-se também num local próximo do Bairro da Portela, sem obstáculos próximos (Ralis).

Em Monsanto, fui forçada a escolher, por razões de segurança, o único local iluminado durante a noite por um poderoso holofote: o portão do Batalhão Operacional de Tropas Paraquedistas. E, devido às antenas aí instaladas, os termómetros digitais recusavam-se a funcionar...

	Alt. (m)	Local de observação	Posição na cidade	
Cruz Quebrada	4	Junto à foz do Jamor	Limite SW da cidade	Margem do Tejo
Cais do Sodré	3	Próximo da estação de Caminho de Ferro	Limite Sul da cidade	
Terreiro do Paço	2	P. estacionamento	Limite Sul da cidade	
Santa Apolónia	4	Doca a Este da est. de Caminho de Ferro	Limite SE da cidade	
Cabo Ruivo 1	4	Antes do cruzamento da Rotunda do Aeroporto	Limite Este da cidade	
Cabo Ruivo 2	3	A NE do local anterior	Limite NE da cidade	
Monsanto	200	B.O.T.P. («Paraquedistas»)	Altitude elevada a Oeste de Lisboa	
Rua do Comércio	5	Banco Espírito Santo, R. Comércio, Rua E-W da Baixa	Baixa Pombalina	
Rua Augusta	5	C.N.T., Rua N-S da Baixa		
Av. da Liberdade	25	Perto da Praça da Alegria	Fundo de vale construído	
Rato	62	Sul do Largo do Rato	Praça em posição deprimida	
R. Esc. Politécnica	77	Fac. Ciências	Interflúvio a Oeste da Av. da Liberdade	
«Phillips» ou Amoreiras	70	Rua Duarte Pacheco	Espaço aberto, saída Oeste da cidade	
P. Eduardo VII	110	Topo do Parque	Interflúvio a SW das «Avenidas Novas»	
Praça de Espanha	68	Teatro Aberto	Espaço aberto, limite Oeste da cidade	
«Ralis»	70	NE do Aeroporto	Espaço aberto a Norte da Cidade	
Luz	108	N do Largo da Luz	Espaço aberto, limite NW da cidade	
Benfica	70	R. Carol. Michaelis	Base da vertente Norte de Monsanto	

Quadro 6.1 — Locais de observações regulares em Lisboa.

Estes foram os locais sistematicamente visitados.

Por razões práticas (como a quebra de um termómetro), o percurso podia não ser completado, ou, por curiosidade momentânea, podiam fazer-se observações suplementares: isto explica que cada local não tenha exactamente o mesmo número de valores de desvios de temperatura (diferença entre

a temperatura de cada ponto e a do Aeroporto, no mesmo instante). A densidade dos pontos de observação foi a possível e, de maneira nenhuma, a desejável. Os perfis E-W que, à frente, se descreverão, transmitem uma imagem mais pormenorizada do padrão térmico urbano.

Os resultados destas observações são apresentados de duas maneiras:

1 — Mapas de isolinhas ou em manchas dos desvios de temperatura de cada percurso. A amplitude das classes varia na procura de maior clareza na expressão cartográfica.

2 — Perfis térmicos correspondentes a perfis topográficos, localizados no mapa da figura 6.2. O primeiro (perfil 1) é radial, excepto no seu troço inicial de Monsanto até à Praça de Espanha. Daqui, segue em direcção ao Centro, tentando documentar as temperaturas de bairros diferentes quanto ao relevo e morfologia.

O perfil 2, liga a margem SW de Lisboa (Avenida 24 de Julho) com Santa Apolónia, passando nos interflúvios a Oeste da Baixa (Chiado, L. Camões), na Baixa, no Bairro do Castelo, S. Vicente e Santa Apolónia. Há algumas falhas de observação no perfil 2 por este não ter sido previsto de início. Sempre que se dispõe de dados, indica-se, no ponto do perfil da Avenida 24 de Julho, também a temperatura da Cruz Quebrada, e no ponto de Santa Apolónia, a temperatura de Cabo Ruivo, devidamente sinalizadas. Quando os pontos de observação são insuficientes, as temperaturas relativas são unidas por linhas a tracejado.

Nos casos em que se dispôs de outra informação, apresentam-se outros perfis, atempadamente localizados.

Nalguns casos, foram acrescentadas indicações sobre a presença ou ausência de vento (antes de se possuir o anemómetro de bolso já descrito), de nevoeiro ou neblina, a direcção e velocidade do vento, a humidade relativa e a nebulosidade.

1.4 — *Dois novos postos registadores*

Como será pormenorizadamente explicado no capítulo seguinte instalaram-se, durante alguns meses, abrigos com termo-higrógrafos em locais representativos de ruas de 2 bairros: o Bairro Alto e as Avenidas Novas, para ter informação contínua no tempo sobre as condições térmicas nestes dois locais, escolhidos apenas como exemplo.

2 — A temperatura em Lisboa em dias de Verão

2.1 — *Diferenças de temperatura máxima entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração.*

No intuito de determinar as relações entre as variações de temperatura máxima e mínima da aglomeração de Lisboa, no Verão e no Inverno, e as condições aerológicas, calcularam-se médias e desvios-padrões das diferenças de temperaturas por grupo de dias (1 a 4, definidos no capítulo 4)(*).

(*) Pareceu dispensável apresentar os quadros das diferenças diárias de temperatura. Serão, no entanto, comentados no texto os casos em que uma estação meteorológica apresenta um comportamento diferente das outras, assim como aqueles em que o sinal das diferenças de temperatura é muito variável, o que obviamente torna as médias inexpressivas.

Deve-se recordar que raras vezes se possui a indicação da hora de ocorrência das temperaturas máxima e mínima, o que dificulta, por vezes, a compreensão da relação entre a variação de temperatura e a de outros elementos climáticos (vento, nebulosidade, etc).

Como no capítulo 4, é para as temperaturas máximas de Verão, que se possui informação mais detalhada. O desenvolvimento da análise depende não só do interesse dos resultados, como da documentação disponível.

Como se viu a propósito dos valores médios (em 2.1), as diferenças de temperatura máximas são globalmente negativas, sobretudo no Verão (cidade mais fresca); Anotou-se, no quadro 6.2, a amplitude e o sinal das médias das diferenças de temperatura entre o Geofísico, por um lado, e Cabo Ruivo, Lisboa/Portela e Lisboa/Tapada, por outro, assim como os respectivos desvios-padrões, nos dias dos vários grupos.

Em tempo perturbado de Verão, de nebulosidade forte e persistente (grupo 1) a temperatura máxima na cidade ou é ligeiramente superior, ou pouco difere da dos arredores próximos à excepção de Cabo Ruivo. A análise do vento nos dias encobertos em que Lisboa (Geofísico) está mais fresca do que Cabo Ruivo (de -0.5 a -4.3°C) revela que, nestas ocasiões, o vento de SW é frequente, ficando Cabo Ruivo relativamente abrigado do ar húmido e fresco que atinge mais facilmente o parque de instrumentos de Lisboa (Geofísico). Pelo contrário, este último local conserva-se mais quente nos dias em que sopram ventos húmidos e frescos de NW, devido à sua posição na aglomeração e ao seu abrigo pelos edifícios próximos.

Revelou-se impossível explicar as diferenças de temperaturas máximas dos dias do grupo 2a, pois aquelas ocorrem quando os vários locais ficam temporariamente livres de nebulosidade; seria necessário fazer um estudo a nível horário destes dias.

Nos dias do grupo 2b, o vento sopra, forte, do quadrante Norte e o Instituto Geofísico permanece relativamente abrigado e também relativamente mais quente do que os arredores próximos. Apenas

	L — CV		L — L/P		L — L/T		\bar{x}
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	
1	0.1	2.5	- 0.1	0.6	- 0.2	- 0.5	0
2a	2.9	2.0	- 0.1	0.5	0.7	0.6	1.2
2b	- 0.4	2.0	0.6	1.4	0.6	1.4	0.3
3a	- 2.8	2.1	- 2.1	1.5	0.2	2.2	- 1.5
3b	- 0.5	2.4	- 0.7	1.8	- 0.3	1.9	- 0.5
4	0.6	1.0	- 0.9	0.9	- 0.5	0.8	- 0.7
\bar{x}	- 0.2		- 0.6		0.1		- 0.2

Quadro 6.2 — Diferenças de temperatura máxima estival entre Lisboa (Geofísico: L) e três estações dos limites da aglomeração ($^{\circ}\text{C}$).

CV: Cabo Ruivo

L/P: Lisboa/Portela

L/T: Lisboa/Tapada

1 a 4: grupos individualizados no capítulo 4

quando sopra um vento fraco durante uma parte do dia (ex: 22/6/1984), há possibilidade de maior aumento de temperatura em Lisboa/Tapada e Lisboa/Portela. A maioria das diferenças entre Lisboa (Geofísico) e Cabo Ruivo oscila entre -0.5° e $+0.5^{\circ}\text{C}$. As diferenças positivas (Lisboa, mais quente) são maiores nos casos de vento forte, como a 16/8/1982 (vento de Norte, de 23 km/h, às 12h, e 32 km/h às 18h em Lisboa/Portela). As maiores diferenças negativas devem-se aos casos em que, tal como a 26/7/1984, o vento, de NW que sopra de manhã, (25 km/h em Lisboa/Portela às 12h) roda para Ocidente durante a tarde. A temperatura máxima foi de 33°C em Cabo Ruivo, e apenas 27.6°C em Lisboa (Geofísico).

Os únicos 9 dias do grupo 3a correspondem a ocasiões de brisa de SW. Por exemplo, a 24 de Junho 1984 o vento sopra, fraco, de NE e ESE até às 11h em Cabo Ruivo, roda para Sul e SW até às 17h, para Oeste até às 19h e sopra de NW até ao início da noite. Compreende-se que Lisboa (Geofísico) esteja mais fresca que Cabo Ruivo (-5.2°C) e Lisboa/Portela (-0.8°C) e mais quente do que Lisboa/Tapada ($+1.8^{\circ}\text{C}$), mais exposta aos ventos de Sul, SW e Oeste que sopraram à tarde. Este regime diurno de ventos foi detectado na maior parte dos dias deste grupo; verificou-se que, normalmente, a brisa provinha de Oeste no Montijo. Em todos eles, observaram-se no Geofísico temperaturas mais baixas do que no Aeroporto e em Cabo Ruivo, e mais altas do que na Tapada da Ajuda.

Nos dois últimos grupos de dias (3b e 4), o Jardim Botânico está invariavelmente mais fresco do que os arredores próximos.

Nos dias do grupo 3b, como já se afirmou atrás, são frequentes as brisas do estuário durante o fim da manhã e início da tarde, seguidas de vento de Norte, NW e Oeste. Nas manhãs de 18 dias (dos 29 dias analisados), o vento sopra de Este, fraco, em Lisboa/Portela, ou há calma, enquanto, às 18h, na mesma estação meteorológica, só há três dias (de entre os mesmos 29) em que o vento não sopra, forte a moderado do Norte, NW, raras vezes de Oeste. A temperatura máxima tem lugar ao fim da manhã ou início da tarde, durante o período de calma ou de vento fraco de Este. O menor aumento da temperatura no interior do espaço urbano pode ser devida à diminuição da radiação solar directa: estes dias de relativa estabilidade da atmosfera (muito frequentes as inversões baixas) contribuem para o aumento da poluição. Note-se também que, embora a nebulosidade seja sempre fraca ou nula, se regista neblina em Lisboa. Em bairros de cores claras, o aumento do albedo (que, regra geral, é menor na cidade) contribui também para um menor aumento da temperatura a meio da tarde, tal como foi verificado para Quito (F. G. HANNEL, 1976).

Nos raros (8) dias do grupo 4, o vento sopra do quadrante Este durante a manhã e até meio da tarde, rodando depois para Norte ou NW. O local da estação de Lisboa (Geofísico) estava mais fresco que os arredores próximos, provavelmente pelas razões indicadas para os dias do grupo 3b. As diferenças são sempre menores do que em relação aos dias de brisa de SW (grupo 3a, Quadro 6.2).

Conclui-se que, em dias de Verão, as diferenças de temperatura estão, em larga medida dependentes do regime e intensidade dos ventos. O Geofísico é frequentemente a estação meteorológica menos quente. A única excepção diz respeito a Lisboa/Tapada, mais fresca ainda devido à brisa de W e SW. Este facto já foi notado no estudo das brisas do estuário (M. J. ALCOFORADO, 1987) e vai ser documentado a partir das medições itinerantes.

2.2 — Observações itinerantes

A maior parte das medições na cidade de Lisboa e arredores foram efectuadas em dias calmos ou com vento fraco de Leste. Esperava-se, assim, poder avaliar a importância da acção da própria

cidade na modificação do clima regional. Escolheram-se dias de anticiclones Europeus, prolongando-se, por vezes até ao Norte de África, dias de anticiclones atlânticos prolongando-se em crista pela Europa ocidental, dias de pântanos barométricos. E, realmente, encontraram-se grandes diferenças de local para local. Mas não foram as diferenças esperadas. Nos dias calmos de Verão, a influência do jogo das brisas do Tejo e do Oceano comandam a variação térmica espacial, dificultando o aquecimento dos bairros ribeirinhos. Verificar-se-ia posteriormente que, nos dias de Nortada persistente, a cidade actua, sim, mas como obstáculo ao vento, permitindo que as mais altas temperaturas se verifiquem a sotavento do espaço urbano que, por acaso, corresponde ao centro da cidade.

Os resultados das observações levadas a cabo no Verão de 1981, nem sempre se podem comparar com os posteriores, uma vez que os pontos do «perfil-base» ainda não tinham sido fixados.

Nos casos em que se utilizou o psicrómetro Assmann (*), optou-se por fazer as observações ao Sol, por se terem registado grandes diferenças de temperatura entre locais próximos mas à sombra de diferentes tipos de edifícios, de árvores, ou de painéis publicitários; por outro lado, um local que ainda está à sombra tem temperaturas mais baixas que outro que já está à sombra depois de ter recebido radiação solar directa durante uma parte da manhã. Fez-se uma excepção nas ruas onde não há Sol a meio da tarde (importância da relação altura dos prédios — largura e orientação da rua). A partir de 1983, a utilização de termómetros de funda e digitais tornou possível multiplicar as observações num espaço de tempo aceitável. Quando se utilizou o termómetro digital atrás descrito, as observações foram feitas colocando o sensor à sombra de uma folha de papel banco.

Apresentam-se, no Quadro 6.3, as temperaturas máximas da região, informações sobre o vento, a nebulosidade, a humidade relativa, a estrutura térmica da atmosfera e a situação sinóptica de cada dia estudado.

Descrevem-se os resultados agrupando os dias em função do padrão térmico revelado pelas medições itinerantes. A sua apresentação nos gráficos e mapas é feita por ordem cronológica, para mais fácil localização.

Ao interpretar os resultados, sentiu-se o problema claramente exposto por W. LOWRY (1977) e já referido no capítulo anterior: o da representatividade temporal das medições itinerantes (M. J. ALCOFORADO, 1989). É difícil conseguir amostragem correspondente a todas as situações sinópticas e, na maior parte dos casos, o número de observações no terreno é insuficiente para se determinar directamente a frequência com que ocorre cada padrão térmico detectado. Para esse efeito e tendo-se verificado a estreita relação entre fenómenos à escala regional e local, utilizaram-se aqui os resultados da investigação sobre a repartição regional das temperaturas máximas estivais. A relação com essa matéria tratada no capítulo 4 está expressa na figura 6.3: aí se indica a projecção dos dias das medições no plano dos dois primeiros factores da análise em componentes principais das temperaturas máximas de Verão. Conhecem-se, para cada grupo (1 a 4) o padrão térmico regional, as características aerológicas que o justificam, assim como a frequência aproximada de ocorrência (Capítulo 4). Tentou-se, desta maneira, generalizar a cada grupo as características térmicas urbanas detectadas em alguns dos dias que o constituem (**).

(*) Na literatura que acompanha o aparelho, é afirmado que a temperatura medida pelo psicrómetro Assmann é independente da sua colocação ao Sol ou à sombra, constituindo o polimento da superfície exterior uma protecção eficaz contra a radiação solar directa. Verificou-se, no entanto, mesmo colocando o suporte do psicrómetro sobre superfícies de cor escura, há diferenças de cerca de 1°C entre as temperaturas ao Sol e à sombra.

(**) Pensa-se, de futuro, fazer a classificação dos dias a partir da conjugação dos valores de temperatura com os de outras variáveis meteorológicas, e utilizar uma análise canónica (J. LEBRETON, 1988 a e b).

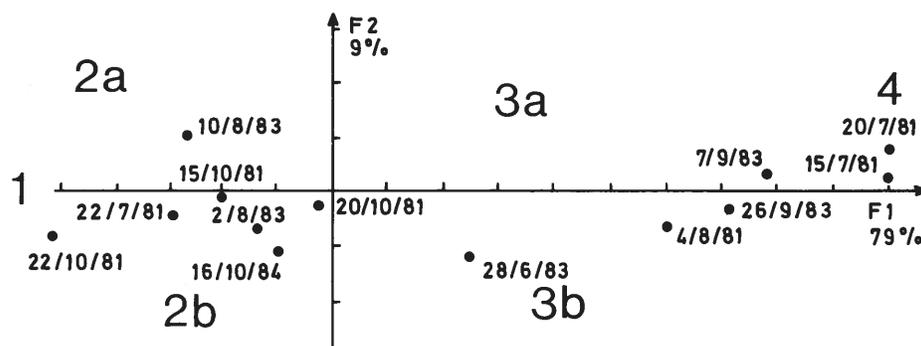


Fig. 6.3 — Projecção dos dias em que se efectuaram medições em Lisboa, no plano 1-2 (A.C.P. aplicada a uma matriz de temperaturas máximas de Verão, ver capítulo 4).

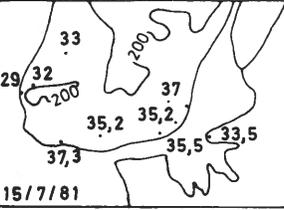
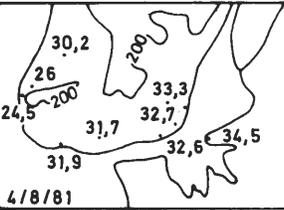
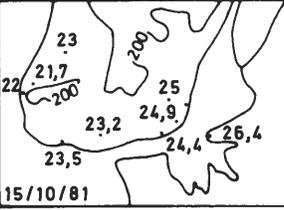
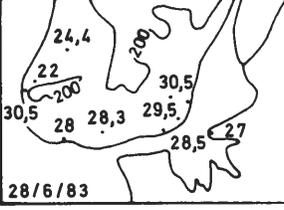
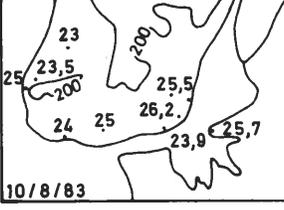
Nos dias 15/7/81 (grupo 4), 4/8/81, 7/9/83, 26/9/83 (transição 3a-3b), 28/6/83 (G.3b), 16/10/84 (G. 2b) e 15/10/81 (*), nota-se uma diminuição de temperatura em direcção ao Centro da aglomeração. Se se generalizar estas observações ao conjunto do grupo de que cada dia faz parte calcula-se que, em pelo menos 39% das tardes de Verão, não existe ilha de calor na Baixa. Nestas ocasiões, o limite oriental da cidade conserva-se mais quente do que a parte Sul da aglomeração. A faixa de temperaturas baixas a SW da cidade pode não ser contínua, sendo interrompida nos locais de maior densidade de construção e de tráfego intenso (por exemplo, no Cais do Sodré).

A 15/7/81 (fig. 6.4), a temperatura era, no Jardim Botânico, inferior à do Aeroporto (máximas compreendidas entre 29° no Cabo da Roca e 37.3°C no Estoril, Quadro 6.3), e o vento de Este (7.4 km/h, às 12 h, em Lisboa/Portela). Havia calma ou vento muito fraco, nos vários pontos de observação, entre o Jardim Botânico e o Castelo de S. Jorge. Depois do percurso o vento rodou para NW e tornou-se mais violento (Quadro 6.3). Neste dia, tanto à sombra como ao Sol, tanto nos pontos altos como e sobretudo na Baixa, a temperatura era menos elevada do que no Aeroporto (figs. 6.4 a 6.6). A 4 de Agosto de 1981, um percurso diferente permitiu verificar a existência de uma faixa ribeirinha de temperaturas baixas (fig. 6.6). No interior de alguns bairros abrigados do vento que soprava do rio (de Leste na parte oriental da cidade, de SW a Sul) a temperatura era mais elevada. Este facto foi verificado, nesse dia, para a Ajuda.

O trajecto de 15 de Outubro do mesmo ano ilustra bem a diminuição da temperatura, entre a Rua da Escola Politécnica e o vale da Avenida da Liberdade; os interflúvios do Castelo de S. Jorge e o do Campo dos Mártires da Pátria estavam relativamente mais frescos do que o Aeroporto. No sector Sul e SW da cidade o ar estava húmido e soprava uma leve brisa vinda do Rio. A Norte da aglomeração (Praça de Espanha, fig. 6.4), a temperatura era mais elevada do que no Aeroporto e o ar mais seco. Note-se que, no Aeroporto, a intensidade da inversão mais baixa era de 4.8°C às 12h

(*) Os dias que pertencem aos diversos «grupos» são «bem representados» pelos dois primeiros factores, ou seja o seu padrão térmico regional é característico e diferente do dos outros conjuntos de dias. A maior parte dos dias dos «grupos de transição» tem uma qualidade de representação alta para um dos factores. Num caso como noutro, considera-se que a frequência de ocorrência de cada padrão térmico urbano detectado pelas medições corresponde à do conjunto em que a referida ocasião se insere. Estes valores percentuais são dados a título indicativo e carecem de verificação, tal como se aponta no texto. Quando, como para 15/10/81, não é dada qualquer indicação, significa que a projecção do dia é mal representada pelos dois primeiros factores da análise em componentes principais, não integrando nenhum «grupo» nem «grupo de transição».

Quadro 6.3 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nos dias de observações de terreno em Lisboa (Verão)

Temperatura máxima (°C)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P 12h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 12h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 6h	às 12h	às 18h				
 15/7/81	30 3,7 0	90 7,4 1	32 33,4 0	45	5	A.Eu	Nevoeiro:—
 4/8/81	30 7,4 0	90 11,1 0	350 27,8 0	40	5	A.NE	Nevoeiro:—
 15/10/81	0 0 0	0 0 4	0 0 1	73	2(4,8)	Pant.	Nevoeiro:—
 28/6/83	340 22,2 0	140 7,4 0	300 18,5 0	50	3(1,4)	Trans.a	Nevoeiro:—
 10/8/83	300 5,6 3	200 11,1 6	310 20,4 1	60	4(5,8)	Trans.a	Nevoeiro: Cabo da Roca (das 0h às 6h)

Rumo do vento em graus
Velocidade do vento em Km/h
Nebulosidade em oitavos

Legenda das colu-
nas 5e6 no fim

Temperatura máxima(°c)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P 12h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 12h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 6h	às 12h	às 18h				
 7/9/83	0 0 1	100 3,7 2	330 22,2 0	55	5	Pant.	Nevoeiro: Cabo da Roca (das 12h às 24h)
 26/9/83	0 0 2	110 7,4 0	320 14,8 0	45	2(2,2)	A. Eu	
 16/10/84	0 0 0	- - -	- - -	-	-	A. Eu	
 10/7/88	360 3,7 0	360 18,5 0	340 26 0	54	3(1,4)	A. sub. + Dep. TPL	
 11/7/88	340 18,5 3	340 22,2 0	340 26 0	57	3(3,6)	A. sub.	

Rumo do vento em graus
Velocidade do vento em Km/h
Nebulosidade em oitavos

Legenda das colunas 5e6 no fim

Temperatura máxima (°C)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P 12h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 12h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 6h	às 12h	às 18h				
 25/7/84	320 27,8 1	310 24 1	300 14,8 0	53	3(1,2)	A. sub.	
 21/8/84	320 27,8 1	330 9,3 0	300 24 0	37	2(3,4)	A. sub.	
Rumo do vento em graus Velocidade do vento em Km/h Nebulosidade em oitavos			Legenda das colunas 5 e 6 no fim				

Legenda

Estrutura térmica da atmosfera: indicação do nível isobárico correspondente à base da inversão térmica mais baixa. Entre parêntesis, a diferença de temperatura entre a base e o topo da inversão, caso esta tenha sido identificada.

1. Inversão junto ao solo
2. Base da inversão mais baixa, abaixo de 950 hPa
3. Base da inversão mais baixa entre 950 e 850 hPa
4. Base da inversão mais baixa entre 850 e 700 hPa
5. Ausência de inversão (até 700 hPa)

Situação sinóptica à superfície

- A. sub — Anticiclone atlântico subtropical
- A. misto — Anticiclone atlântico misto
- A. NE — Anticiclone atlântico misto prolongando-se para NE
- A. Eu — Anticiclone Europeu
- A. Im — Anticiclone Ibero-mediterrâneo
- A. Ia — Anticiclone Ibero-africano
- Dep. P. I. — Depressão na Península Ibérica
- Dep. T. P. I. — Depressão térmica na Península Ibérica
- CD — Outros centros depressionários
- Pert — Perturbações
- Pant — Pântano ou colo barométrico
- trans — Situação pouco clara ou de transição
 - trans. a:* entre anticiclone atlântico e depressão na Península Ibérica ou na Europa Ocidental (fluxo do quadrante N)
 - trans. b:* entre anticiclone Europeu ou no Mediterrâneo Ocidental e depressões no Atlântico Oriental, provindo o fluxo geral de Sul.
 - trans. c:* Numa região de pressão relativamente elevada, entre duas depressões, uma no Atlântico e outra no interior da Península Ibérica.

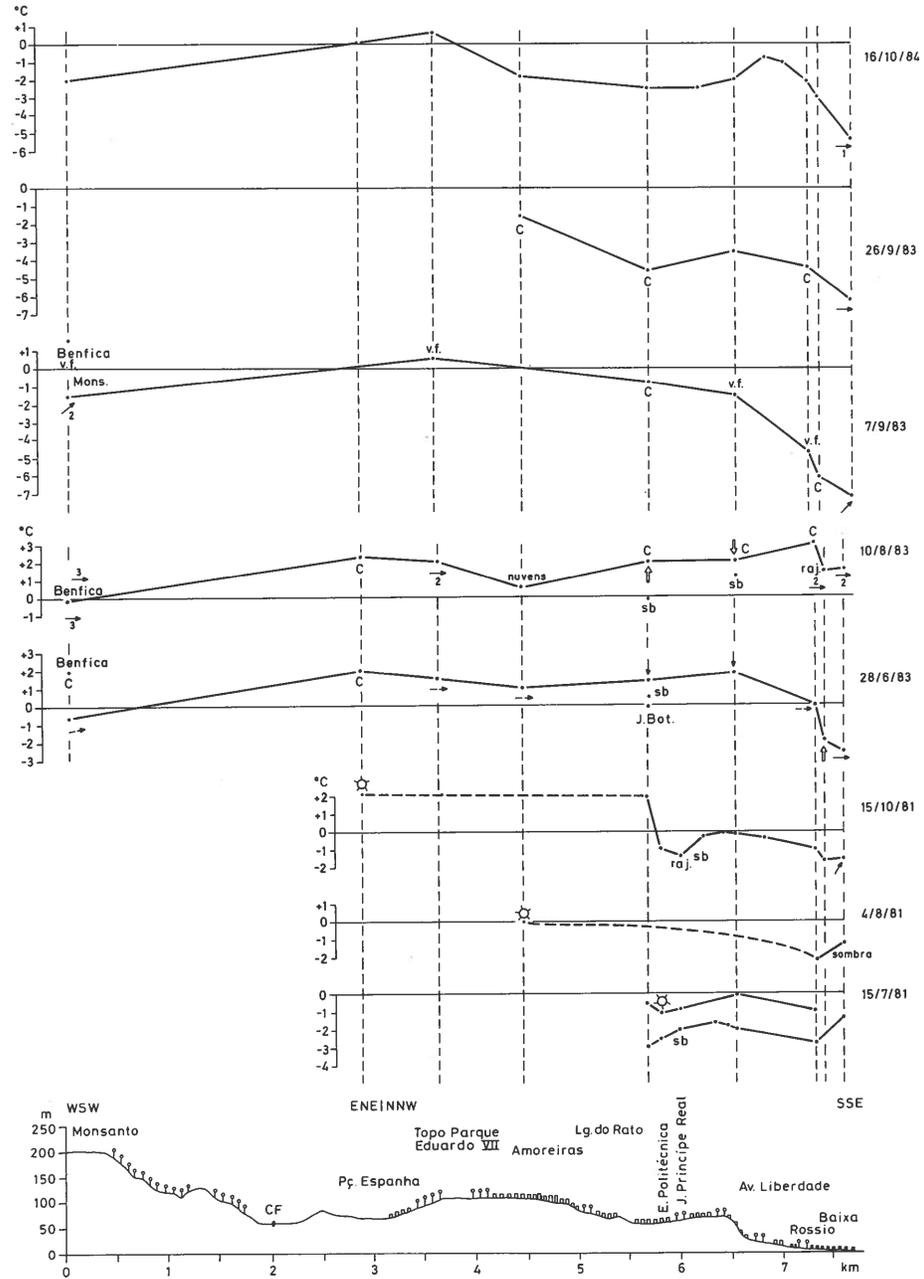


Fig. 6.4 — Perfis térmicos em dias de Verão (Monsanto-Terreiro do Paço): desvios térmicos em relação ao Aeroporto. Legenda no fim do capítulo

em Lisboa/Portela; verificou-se ter sido um dia de forte concentração de SO₂ (e eventualmente outros poluentes) em Cabo Ruivo (69 µg/m³) e, certamente, noutros pontos da aglomeração.

A 28/6/1983, as observações permitiram testemunhar a «batalha» entre a brisa que, vinda de SW e Oeste, se canaliza pelas ruas da Baixa e o vento do Norte, que começa a soprar e que, como todos os dias, acabaria por vencer. Este sistema de ventos de direcção e características térmicas e higrométricas diferentes, aos quais as artérias da cidade facilitam ou impedem a passagem, originam uma grande variação térmica espacial: a faixa litoral a Sul e SW da cidade, que o ar mais fresco e húmido alcançava, estava pelo menos um grau mais fresca do que o Aeroporto, ao passo que as temperaturas eram mais elevadas no interior do tecido urbano, sobretudo nas áreas abrigadas do vento de WNW, que então soprava. Mas, mesmo na Baixa, há diferenças entre locais próximos: neste dia, a temperatura na Rua do Comércio (paralela ao Tejo) era igual à do Aeroporto e 2°C superior à da Rua Augusta, onde soprava então vento de Sul (certamente a canalização da brisa). Monsanto, assim como os arredores próximos, estava à mesma temperatura do que o Aeroporto. Neste dia, do grupo 3b, a máxima subiu mais no Aeroporto (30.5°C) do que no Geofísico (29.5°C), e tanto quanto se pode extrair dos dados fornecidos pelo Boletim Meteorológico Diário, houve uma rotação da brisa; em Lisboa/Portela, o vento soprava de SE, fraco (7.4 km/h) às 12 horas, e de WNW, às 18h. Se as medições tivessem ocorrido um pouco mais cedo, a área de desvios negativos teria sido maior, ao passo que, mais tarde, quase todas as temperaturas medidas no interior da cidade teriam sido superiores às de Lisboa /Portela.

Nos dias 7 de Setembro e 26 de Setembro de 1983, não houve vento até meio da tarde e as temperaturas máximas foram muito altas (Quadro 6.3); num dos dias, a situação sinóptica correspondia a um pântano barométrico, noutro a um anticiclone Europeu. Eram de mais de 4°C as diferenças entre o litoral Sul e SW do centro urbano e o Aeroporto. O vento ainda provinha de Sul e SW nesta parte da cidade, na altura em que já tinha rodado para NW no Aeroporto (Quadro 6.3).

O dia 16 de Outubro 1984 representa um caso interessante em que, tal como a 28/6/83 se documentou a existência simultânea de vento de Norte, (no limite setentrional da Aglomeração) e do quadrante Oeste, na margem SW de Lisboa (fig. 6.7). Este dia pertence ao grupo 2b, não muito quente, mas de grandes contrastes térmicos na região de Lisboa. Era incontestável a existência de uma brisa de Oeste, fraca (2m/s na doca de Santos e 1m/s no Terreiro do Paço), que chegava pelo «gargalo» do Tejo e se encaminhava para o Centro, canalizada pelas ruas perpendiculares ao estuário. No Vale da Avenida da Liberdade, sentia-se uma ligeira brisa de Sul, mas o fumo das chaminés do Hotel Ritz (no interflúvio a Oeste, 50 metros mais alto) testemunhavam a existência da nortada. Na margem oriental da cidade, para Norte de Santa Apolónia, havia calma. No limite setentrional de Lisboa, o vento soprava de Norte, a cerca de 5m/s na Avenida Padre Cruz, perto do Instituto Nacional de Saúde Ricardo Jorge. Estas diferenças de vento traduzem-se, como anteriormente, em grande variação térmica espacial: o sector SW da cidade, incluindo a elevação de Monsanto e excluindo raros locais abrigados estavam frescos. Só no sector Norte das «Avenidas Novas», no Bairro de Alvalade e no Lumiar, foram medidas temperaturas mais elevadas do que a do Aeroporto. Deve-se notar também que, nos fundos de vale a oriente da cidade (construídos ou não), a temperatura era pelo menos 1°C mais elevada do que na estação de referência.

Tendo-se, propositadamente, evitado os frequentes dias de vento de Norte, (M. J. ALCOFORADO, 1987) só em três ocasiões, o centro da ilha de calor urbano coincide com o centro da cidade. Nestes dias a realidade corresponde ao modelo teórico tantas vezes enunciado para cidades de posição menos complexa do que Lisboa, e de diferente clima regional; estas ocasiões correspondem a pelo menos 27% das tardes de Verão (frequência de ocorrência dos dias do grupo 2a-2b, dias de Nortada) ou 43% se aos primeiros somarmos a percentagem dos dias do grupo 2a (embora a nebulosidade variável deste grupo de dias condicione a repartição térmica espacial) (*).

(*) Note-se que, nos dias do grupo 1, não foram efectuadas observações itinerantes; nestas ocasiões os bairros mais quentes deverão ser os que mais abrigados estiverem do vento.

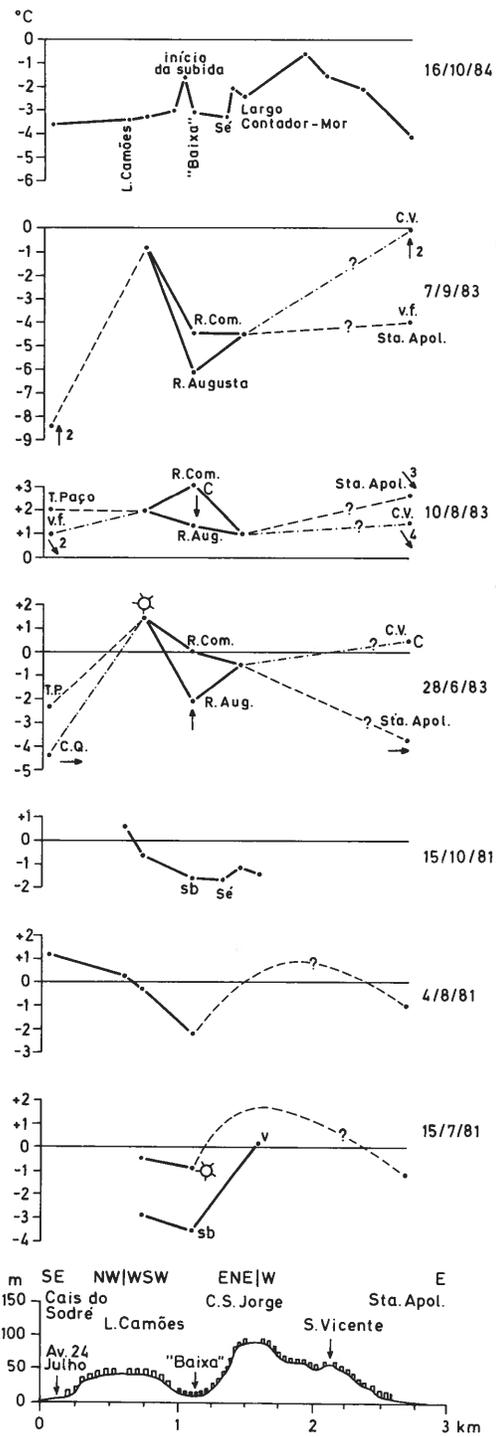


Fig. 6.5 — Perfis térmicos em dias de Verão (Avenida 24 de Julho-Santa Apolónia): desvios térmicos em relação ao Aeroporto.

Legenda no fim do capítulo

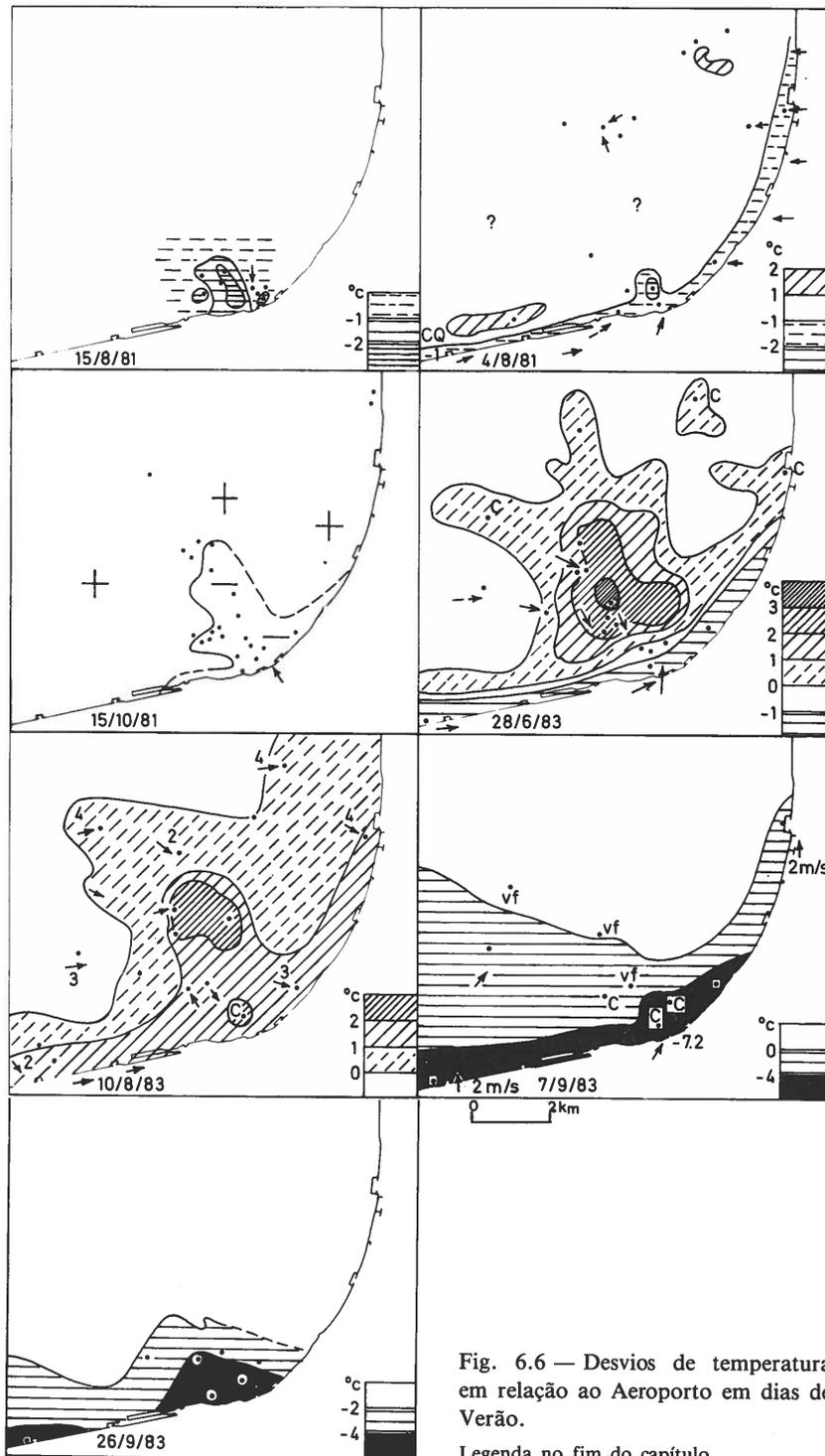


Fig. 6.6 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em dias de Verão.

Legenda no fim do capítulo



Fig. 6.7 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto na tarde de 16 de Outubro de 1984.

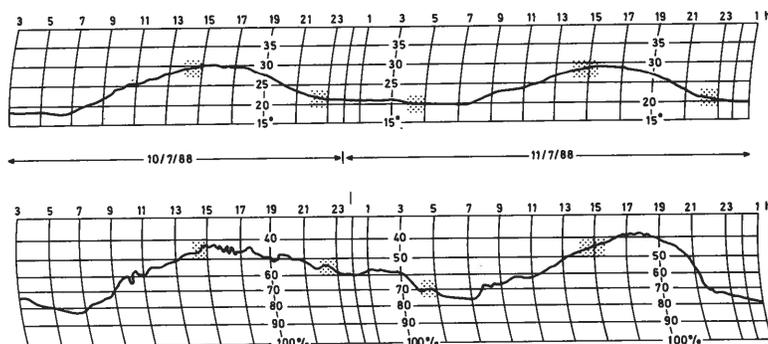


Fig. 6.8 — Registo do termo-higrógrafo de Lisboa/Gago Coutinho a 10 e 11 de Julho de 1988. A ponteadado, períodos de observação no terreno.

As observações de 10 e 11 de Julho de 1988 dão ainda resultados mais espectaculares em termos de modificações de temperatura no Centro. Durante estes dias, o vento soprou, quase sempre, moderado ou forte de Norte ou NW (Quadro 6.3), tendo a temperatura atingido cerca de 30°C na estação de referência (fig. 6.8). Estas medições recentes correspondem a dias não tratados no capítulo 4, mas de características semelhantes aos do grupo de transição 2a-2b e foram realizadas por um grupo de 6 estudantes no âmbito da cadeira de Climatologia, a quem agradeço a gentileza com que me forneceram os dados de base e me permitiram o seu subsequente tratamento e utilização (localização dos perfis na fig. 6.9) (*).

(*) As estudantes constituíram três grupos de duas pessoas que, simultaneamente e com termómetros de funda previamente aferidos, efectuaram um total de 40 observações em percursos (W-E), assinalados na figura 6.9. Estes trajectos foram seguidos a meio da tarde, ao início da noite e na madrugada dos dias 10 e 11 de Julho de 1988. Exponho, aqui, brevemente, os resultados dessas observações, comparando as temperaturas com as de Lisboa/Gago Coutinho, não disponíveis quando da elaboração do trabalho e expresso novamente o meu reconhecimento a Ana Marta Mocica, Cristina Marques Ferreira, Josefina Marta Rocha, Maria Adriana Amaro, Maria Madalena Domingues e Maria Soledade Pardal.

A 10/8/83, num dia de nebulosidade variável (de projecção próxima de 2a), o vento soprava de NW, rodando temporariamente para Sul no Aeroporto (Quadro 6.3), mas provinha de NW, Oeste ou canalizado nos vários locais de medição. Repare-se, na figura 6.4, o progressivo aumento de temperatura quase até à beira do Tejo. A mais alta temperatura registou-se na Rua do Comércio, com mais 3°C do que o Aeroporto. As pequenas variações na parte setentrional da cidade são devidas a modificações da nebulosidade. Apesar de mais baixa do que nas ruas paralelas ao Tejo, a temperatura é também relativamente alta nas ruas perpendiculares ao rio (Rua Augusta, no perfil da fig. 6.4).

As observações de 10 e 11 de Julho 1988 dão ainda resultados mais espectaculares em termos de modificações de temperatura no Centro. Durante estes dias, o vento soprou, quase sempre, moderado ou forte de Norte ou NW (Quadro 6.3), tendo a temperatura atingido cerca de 30°C na estação de referência (fig. 6.8).

Estas medições recentes correspondem a dias não tratados no capítulo 4, mas de características semelhantes aos do grupo de transição 2a-2b e foram realiza-

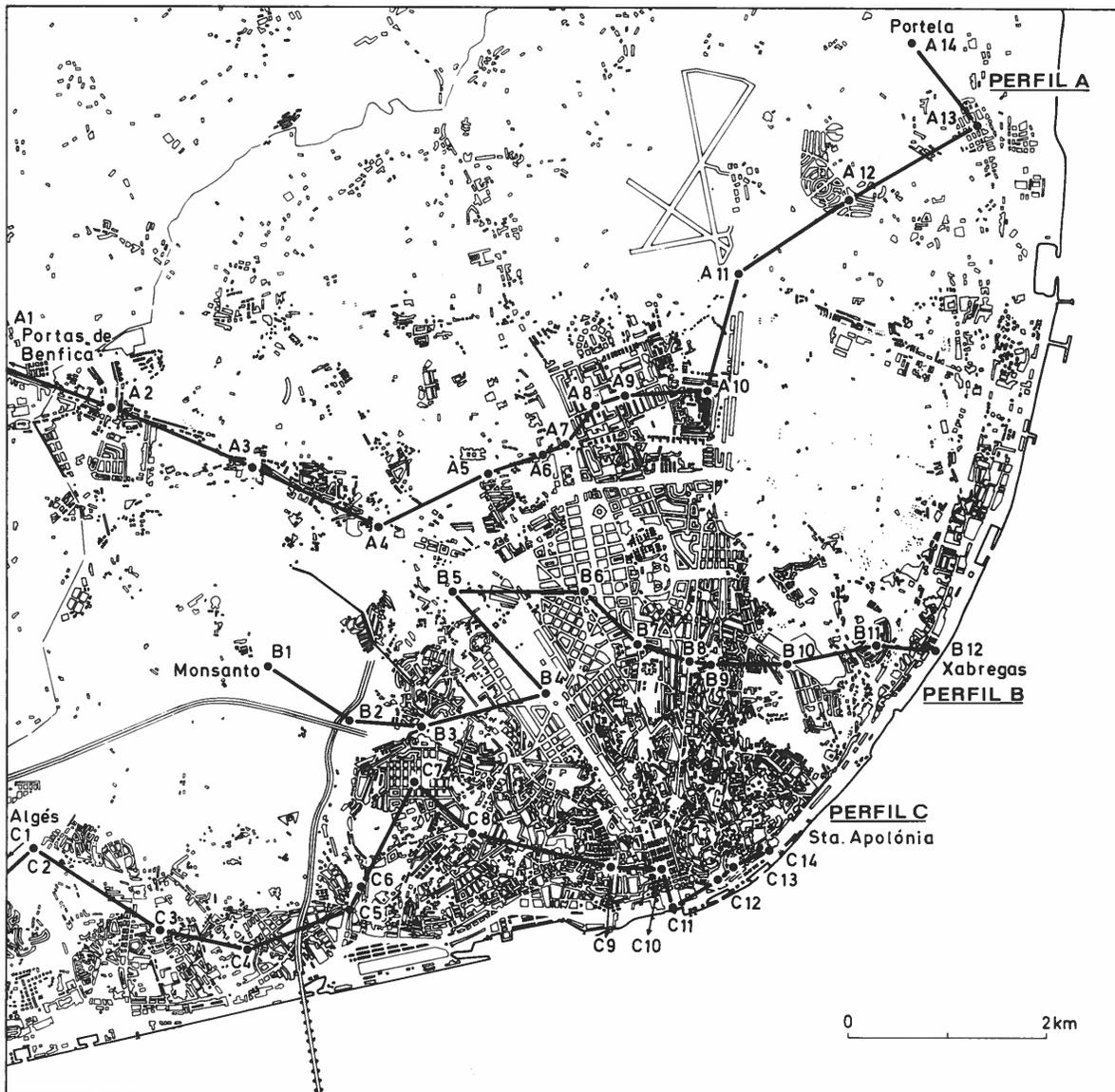


Fig. 6.9 — Localização dos perfis de observações itinerantes de 10 e 11 de Julho de 1988.

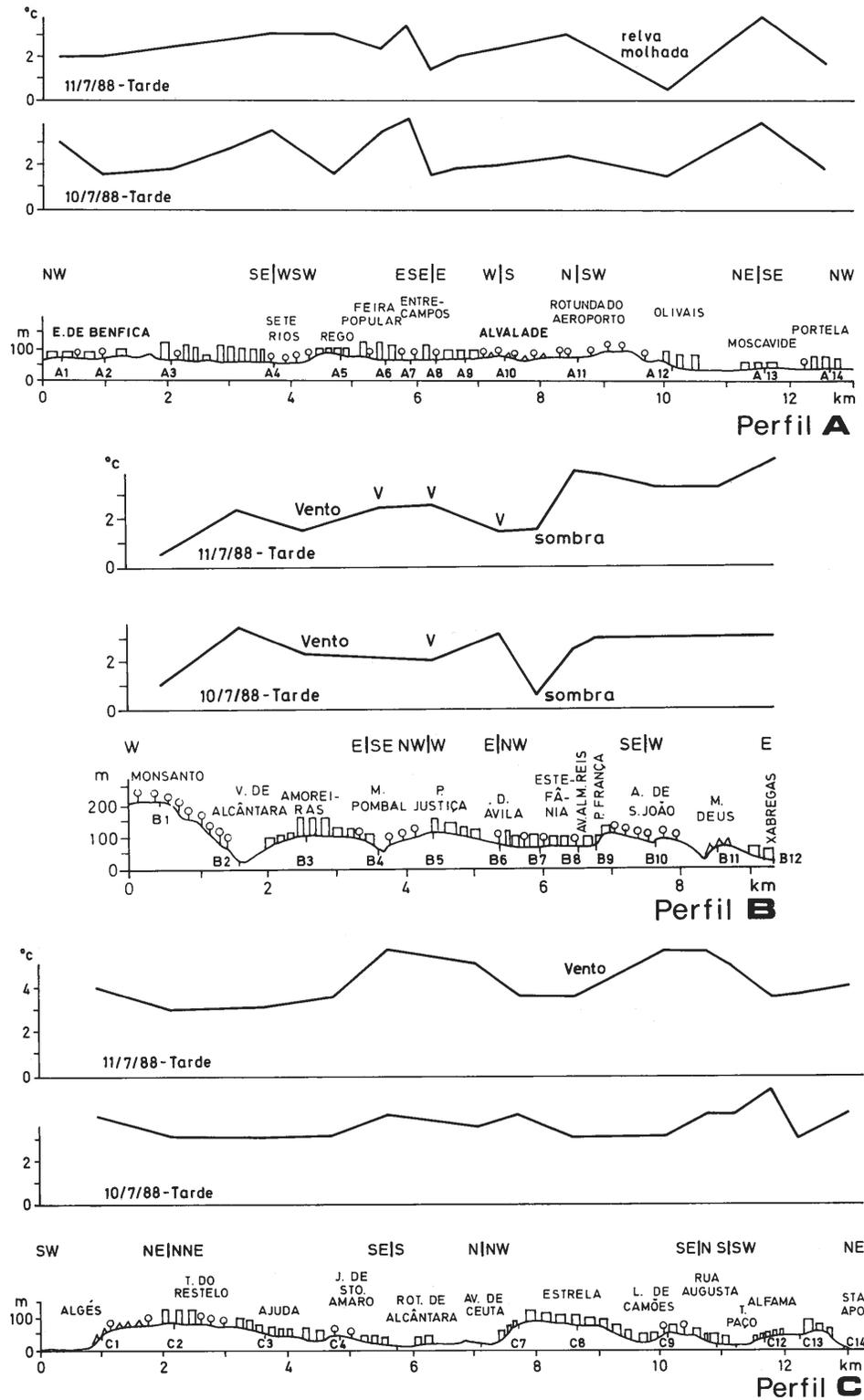


Fig. 6.10 — Perfis térmicos nas tardes de 10 e 11 de Julho de 1988: desvios de temperaturas em relação ao Aeroporto.



Fig. 6.11 — Média dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto nas tardes de 10 e 11 de Julho de 1988.

Verificou-se que as temperaturas eram relativamente baixas em Monsanto, ventoso. As ruas soalheiras das zonas urbanizadas da periferia estavam cerca de 2°C mais quentes do que o Aeroporto e as temperaturas atingiam, na Baixa, 4 a 5°C mais do que na estação de referência (Perfil C, nas figs. 6.9 a 6.11). No dia 11, de vento mais forte (Quadro 6.3), a temperatura aumentava nas zonas menos elevadas ou abrigadas do vento NW (Rotunda de Alcântara, Largo de Camões, Baixa, etc.). No dia 10 havia menores variações de temperatura de local para local. A cidade actua fundamentalmente como um muito importante obstáculo, que abriga os bairros a sotavento. Notar, no entanto, a importância do efeito de sombra: no perfil B, repare-se nas baixas temperaturas medidas na Estefânia (B7), onde já não havia Sol.

As figuras 6.12 e 6.13 sintetizam o que atrás foi dito. Embora se apresente um mapa e um perfil da mediana das diferenças de temperatura entre cada ponto de observação e o Aeroporto, viu-se, a partir dos exemplos apresentados, que esta não pode revelar a realidade ou, melhor, os dois padrões opostos de repartição espacial de temperatura detectados no espaço urbano de Lisboa, durante os dias de Verão.

Os dois outros perfis da figura 6.12, mostram que, em dias de vento moderado a forte de Norte (grupo 2a e transição 2a-2b, entre 27 e 43% das ocasiões), o centro da cidade e a área ribeirinha se comportam como uma verdadeira ilha de calor; nas ocasiões de calma, ou de vento fraco, geralmente de Leste, em que a brisa do Tejo e do Oceano têm probabilidade de soprar (grupos 2b, 3b, 4 e transição 3a-3b cerca de 39% dos dias), não só a Baixa, como os interflúvios a SW da cidade, incluindo a colina de Monsanto, estão muito mais frescos do que os bairros a Norte e NE da cidade. Repare-se nos desvios negativos do limite oriental de Lisboa, junto ao Tejo (fig. 6.13).

Resumindo: nos dias do grupo 2a e transição 2a-2b (43%), de fracos contrastes térmicos regionais, pode haver grandes diferenças positivas na aglomeração. E, nos dias quentes e muito quentes, (grupos 3b e 4 e transição 3a-3b, 39%), as maiores diferenças em valor absoluto, observam-se nos mesmos locais do que no caso anterior, mas têm sinal contrário. Ignora-se portanto a influência da cidade em, cerca de 17% das ocasiões. E chama-se à atenção que estes resultados, tal como os que, à frente se apresentarão, terão de ser confirmados e complementados pela utilização de técnicas mais sofisticadas e por medições sistemáticas impossíveis a um investigador isolado. (*)

2.3 — Campanha de sondagens e de lançamento de balões estabilizados em dias de Verão

Até aqui, referiram-se apenas as diferenças de temperatura próximas do solo.

No decorrer da investigação, foi apenas possível realizar uma campanha de medições para tentar visualizar a variação vertical da temperatura e do vento. Os resultados dizem apenas respeito às condições de três dias de Verão, em que se realizou uma campanha de lançamentos de balões-sonda e de balões estabilizados sobre a Aglomeração lisboeta. Foi necessário cingir-mo-nos aos dias em que uma equipa suíça permaneceu em Portugal, não tendo sido possível documentar todos os fenómenos pretendidos. Investigou-se a influência da cidade nos ventos e temperaturas das primeiras centenas de metros da troposfera, mas não se conseguiu detectar as brisas do Tejo e do Oceano, estudadas anteriormente a partir de registos de anemógrafos da estação de Cabo Ruivo e de outras estações da região de Lisboa.

(*) Posteriormente tentou estabelecer-se as relações entre o regime dos ventos e os diversos padrões térmicos urbanos. O texto será divulgado nas «Publications de l'Association Internationale de Climatologie, n.º 4, p. 29-35 sob o título: «Influence de l'advection sur les champs thermiques urbains à Lisbonne». Foram confirmadas as percentagens aqui apresentadas.

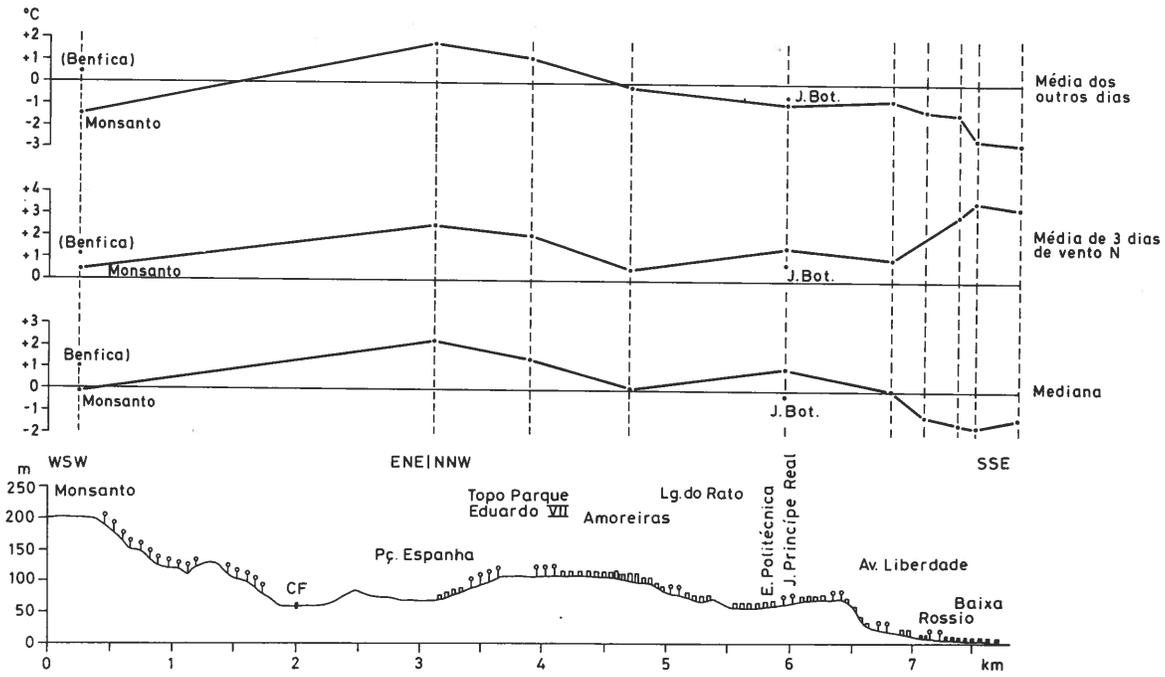


Fig. 6.12 — Mediana e médias dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em dias de Verão: perfil Monsanto-Terreiro do Paço.

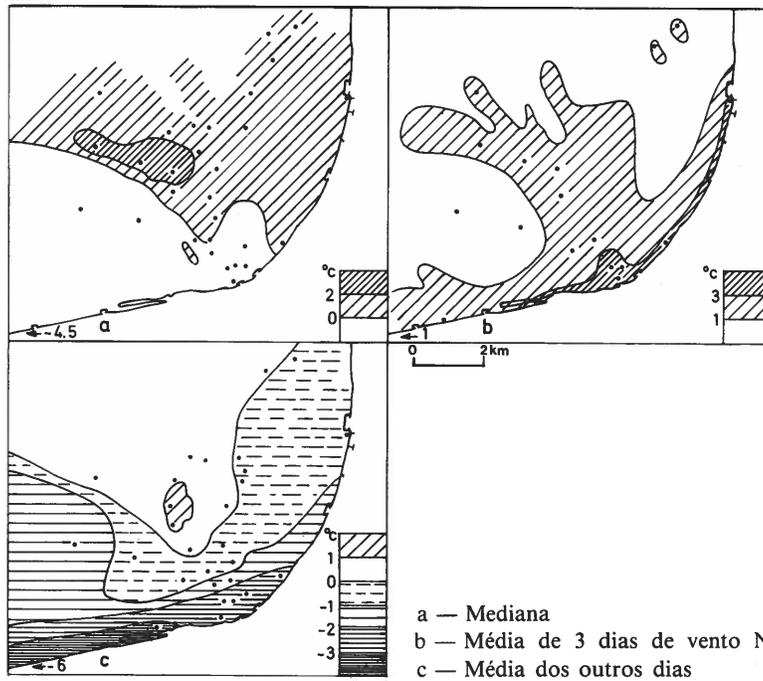


Fig. 6.13 — Mediana e médias dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto, em, dias de Verão.

a) Técnica utilizada

As medições decorreram a diversos momentos de três dias de Verão, de 11 a 13 de Agosto de 1987. Estas consistiram em lançamentos de balões estabilizados (C.L.B.: Constant level balloon) sobre a Aglomeração e em sondagens verticais no centro (Praça dos Restauradores) e na periferia da cidade (Aeroporto).

Os lançamentos de balões estabilizados a um nível de pressão constante, além de fornecerem indicações sobre o escoamento do ar, permitem detectar eventuais movimentos verticais (ascendências e subsidências), de origem térmica ou não, na região sobrevoada. Nos exemplos que à frente se apresentam, foi evidenciada a presença de uma ilha de calor urbana.

Um balão constituído por um material não deformável (mylar) e cheio de hélio, é equilibrado (por adição de pequenos pesos) de modo a que, se não existir qualquer movimento vertical ou horizontal da atmosfera, ele se conserve imóvel, a uma altura previamente estabelecida (geralmente 50 ou 100 m) acima do nível do solo. Uma vez largado por uma primeira equipa, o balão sobe lentamente até ao seu nível de equilíbrio; a sua trajectória posterior depende dos movimentos da atmosfera. De um local alto, situado próximo do centro da cidade (terraço próximo da Praça Duque de Saldanha, neste caso), um segundo grupo segue o balão com um telémetro e anota, regularmente, as suas sucessivas posições (ângulo de elevação e azimute em relação ao Norte Geográfico). A utilização do telémetro limita a «perseguição» do balão até 3 ou 4 km (M. ROTEN *et al*, 1983 e D. RUFFIEUX *et al*, 1986, D. RUFFIEUX, 1986). No caso de Lisboa, a neblina dificultou a determinação da posição do balão além de 3 km. Segue-se também o balão por intermédio de um teodolito, para obter os dados necessários ao cálculo do rumo e velocidade dos ventos. Lançaram-se também balões-livres, cheios de hélio e munidos de uma sonda, para medir regularmente a pressão e a temperatura do ar. Os sinais emitidos pela sonda são captados e transmitidos a uma máquina de calcular que imprime, de 15 em 15 segundos a hora, a temperatura, a pressão e a altitude a que o balão se encontra.

A organização de uma campanha deste tipo não é simples; note-se que, na Europa, esta técnica só foi, até agora, utilizada na Suíça e em Nice (pela mesma equipa). Pressupõe um complicado transporte de material, viaturas próprias, sistema de comunicação entre equipas, e presença de especialistas. O material necessário é dispendioso e a conciliação de programação antecipada da campanha, disponibilidades pessoais e condições atmosféricas propícias quase irrealizável!

b) Situação meteorológica durante as medições

Durante todo o tempo em que duraram as medições, uma depressão associada a uma gota de ar frio, manteve-se a SW de Portugal, aos níveis de 850, 700 e 500 hPa. Esta situação sinóptica favorecia a presença de ventos de SE em altitude, bem visíveis nas sondagens (figs. 6.16, 6.18, 6.22 e 6.23). A gota fria em altitude ocasionou passagem de nuvens altas.

À superfície, observava-se, no dia 11 de Agosto, um anticiclone ao largo dos Açores, enquanto uma depressão pouco cavada se desenvolvia sobre a Península Ibérica e o Norte de África, originando ventos de Norte em Lisboa (figs. 6.14 e 6.15); a depressão cavou-se e deslocou-se para Oeste, a partir da manhã do dia 11, dando lugar a ventos bastante fortes nos dias 12 (7.5 m/s ou 27 km/h) e 13 (6.5 m/s ou 23 km/h), provenientes de SW, de WSW e de Oeste a baixa altitude. De 11 a 13 de Agosto, deu-se um arrefecimento do ar (5 a 7°C, fig. 6.15) que se confinou primeiro às baixas camadas, antes de se generalizar na média troposfera, o que explica a inversão térmica de altitude observada no dia 11 de Agosto às 12 horas (fig. 6.16).

c) Representatividade dos dias escolhidos

É muito importante o conhecimento da representatividade dos dias de lançamento dos balões. Na ausência de medições itinerantes nestes dias, socorrêmo-nos de um trabalho anterior (M. J. ALCOFORADO, 1987): a análise de 650 registos diários estivais do anemógrafo da estação de Cabo Ruivo revelou a existência de grande número de dias de vento de Norte, contínuo (45%, o que está de acordo com os resultados acima determinados: 43% para dias dos grupos 2a e 2a-2b), ou interrompido por brisas provenientes do Tejo e do Oceano (30%, fig. 6.17).

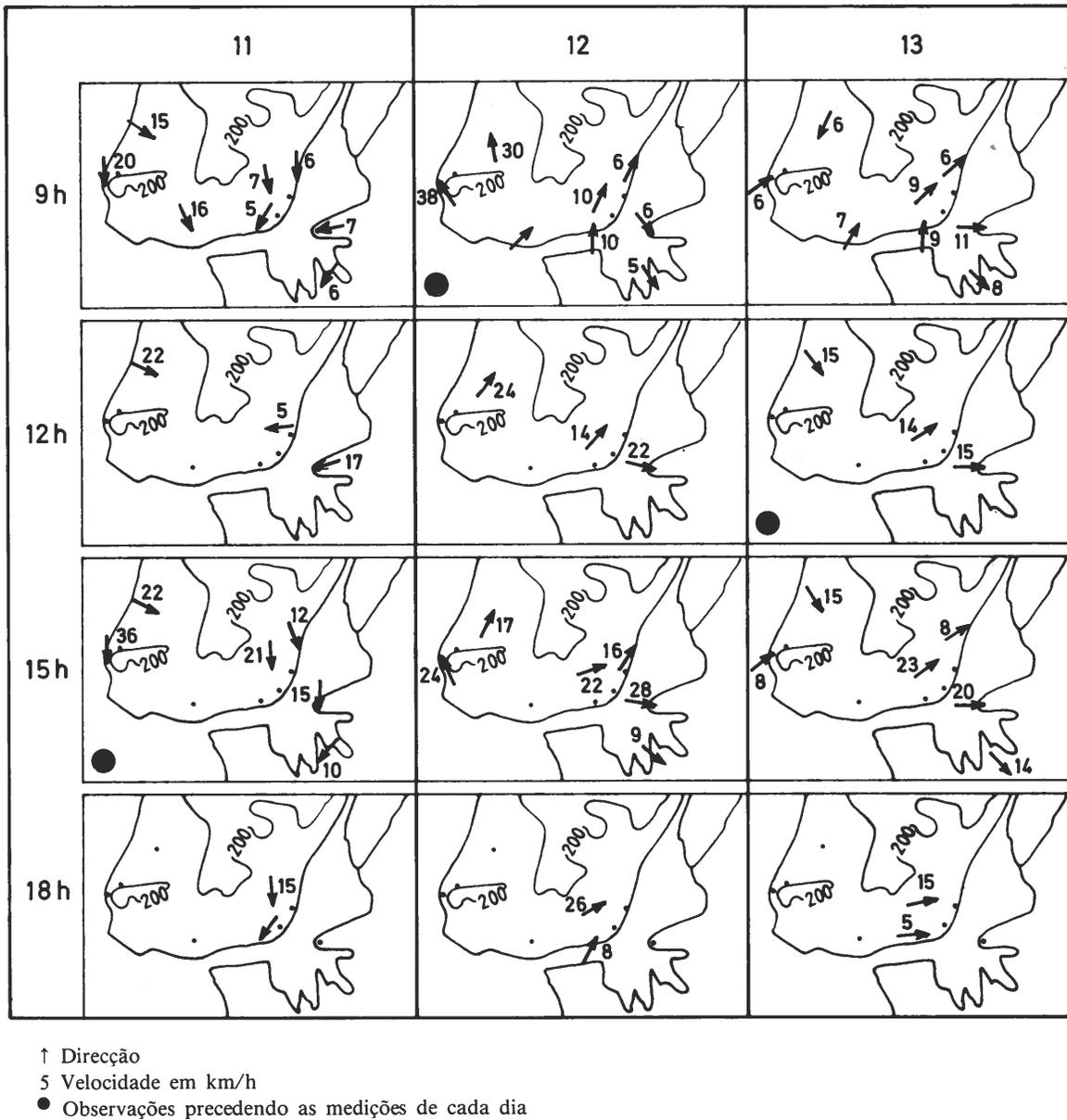


Fig. 6.14 — Os ventos na região de Lisboa a 11, 12 e 13 de Agosto de 1987.

No dia 11 de Agosto de manhã houve calma e ventos de Este muito fracos; durante a tarde soprou vento de Norte, moderado. Foi precisamente na altura que os ventos de Norte começaram a soprar que foi tecnicamente possível iniciar os lançamentos (os resultados poderão ser generalizados para cerca de 45% dos dias de Verão ou 75% das tardes). Pelo contrário, os ventos de SW e Oeste, que sopraram nos dias 12 e 13 não são frequentes, no Verão, em Lisboa (14% dos dias).

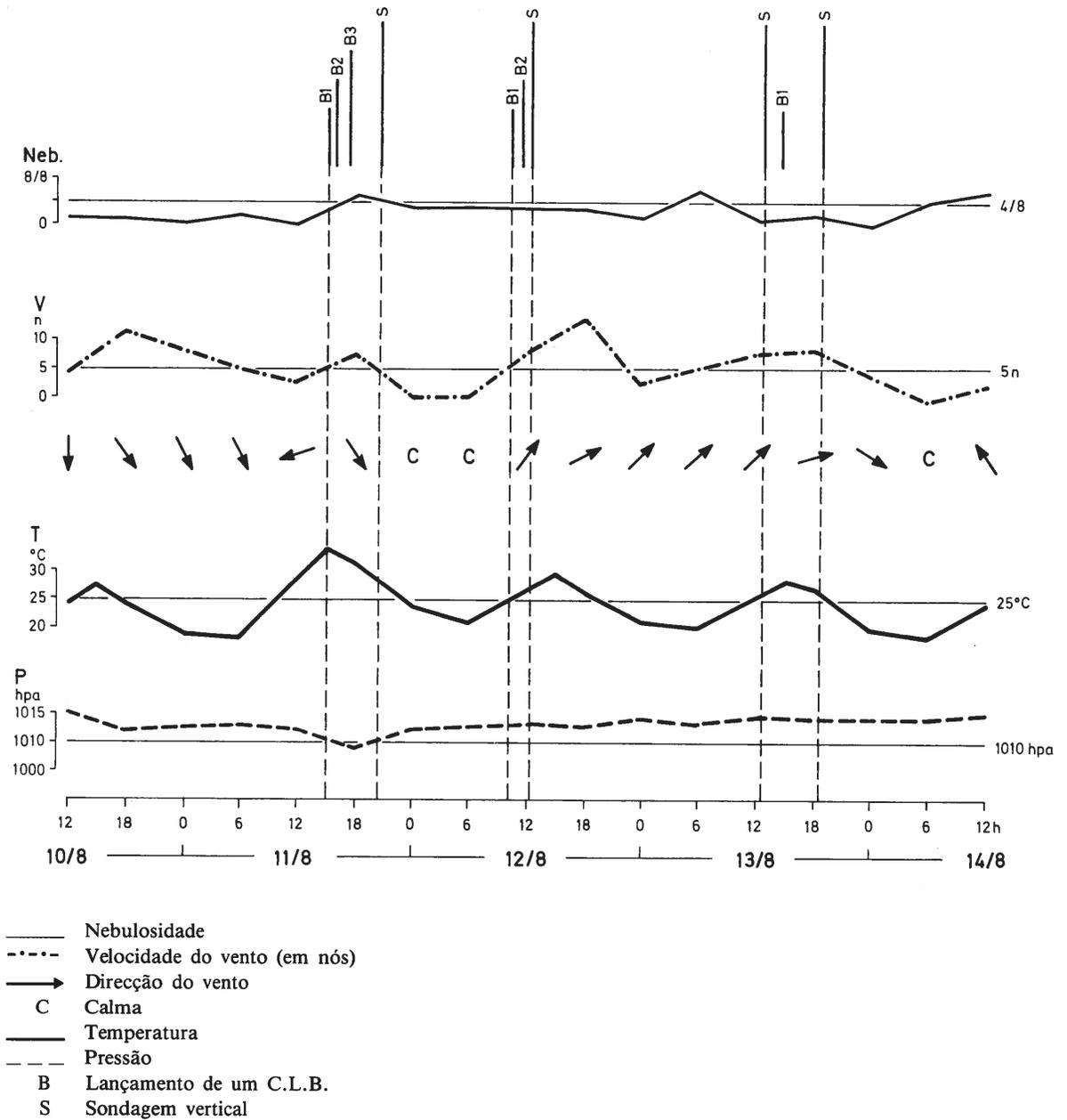


Fig. 6.15 — O «Tempo» em Lisboa/Portela de 10 a 14 de Agosto de 1987.

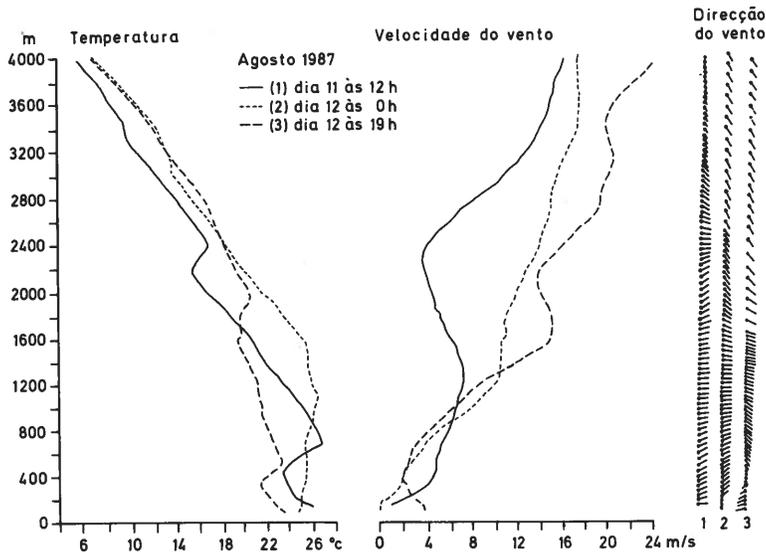


Fig. 6.16 — Sondagens em Lisboa/Portela a 11 e 12 de Agosto de 1987.

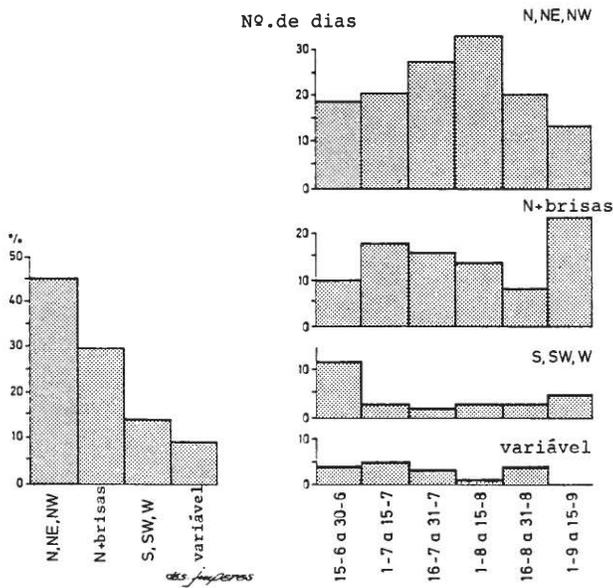


Fig. 6.17 — Frequência dos regimes diários dos ventos, no Verão, em Lisboa.

d) Resultados

— Com ventos de Norte no Aeroporto

No dia 11 de Agosto, de manhã cedo e a baixa altitude, sopravam ventos muito fracos de Norte e NE. Estes rodaram para Este, de onde provieram durante a manhã (até às 14 horas, no Aeroporto). O vento de NW, moderado, apenas se estabeleceu, no Aeroporto, pouco antes do lançamento dos balões estabilizados (fig. 6.15); é provável que, nos bairros meridionais da cidade, ainda soprassem nas mais baixas camadas da atmosfera, ventos frescos e húmidos, provenientes do estuário. A nebulosidade era fraca (nuvens altas) e a temperatura elevada (33°C) no momento dos lançamentos.

O perfil térmico do Aeroporto, efectuado às 12 horas, quando o vento ainda soprava de Leste, indica a presença de uma massa de ar instável junto ao solo (gradiente sobre-adiabático), à qual se sobrepõe, a partir de 800m, uma massa de ar de gradiente térmico vertical normal (fig. 6.16). Ao anoitecer, no centro da cidade (Restauradores), apenas se identificou uma massa de ar relativamente estável (gradiente -0.45°C/100m); neste local, os ventos sopravam, à superfície, de NNW (3m/s ou 11 km/h), e rodaram para Este entre 300 e 500 metros, aumentando bastante a sua velocidade acima de 800m (fig. 6.18). O lançamento planeado para a mesma hora no Aeroporto, para comparação de sondagens, não chegou a ser executado.

As trajectórias dos três balões estabilizados largados ao Norte da cidade com vento de NNW, a partir das 14h de 11 de Agosto, dão informações sobre as condições da atmosfera numa grande parte da Aglomeração lisboeta e revelaram-se as mais interessantes (figs. 6.19 a 6.21).

O primeiro balão, lançado no Aeroporto, e a que se adicionou uma carga suplementar para que ficasse estabilizado 150m acima do nível do solo, sobrevoou a cidade a uma velocidade média de 3 a 4 m/s (11 a 14 km/h); foi primeiro arrastado por uma corrente residual de NE, antes de sofrer uma vigorosa ascendência ao atingir as primeiras superfícies construídas de Alvalade, que atravessou a uma

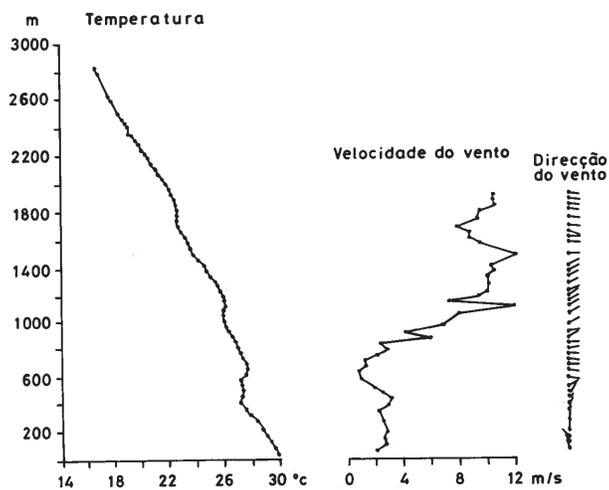


Fig. 6.18 — Sondagem nos Restauradores às 20h de 11 de Agosto de 1987.

altitude de 500 metros. Depois, o balão perdeu, primeiro rapidamente e, depois, progressivamente altitude (até 400m e, depois, 300m) sobre os bairros mais antigos, de maior densidade de construção, (Estefânia, por exemplo). Ao sobrevoar o fundo do Vale da Avenida da Liberdade, próximo dos Restauradores, o balão retomou a sua altura inicial — 150 m — continuando o seu trajecto a esta altitude sobre a Baixa Pombalina e o estuário do rio Tejo. Dado que o balão voltou ao seu nível de estabilização inicial, comprova-se que a ascendência, nos bairros setentrionais da cidade, foi devida ao maior aquecimento da atmosfera neste sector e, consequentemente, à existência de uma ilha de calor «excêntrica», confirmando os resultados das medições itinerantes dos momentos dos dias de Verão em que se faz a transição entre a brisa do estuário e a Nortada (ex. 28/6/83 na fig. 6.6).

- ▲—● pontos de medição de 30 em 30 segundos (▲ ponto de partida)
- limite da aglomeração
- - - curvas de nível (equidistância 50 m)

TRAJECTÓRIA

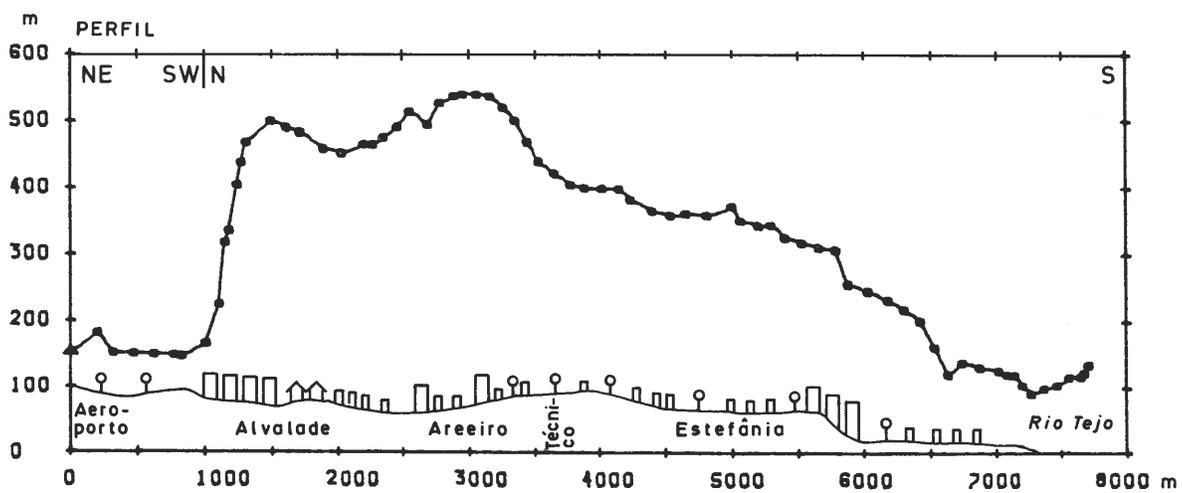
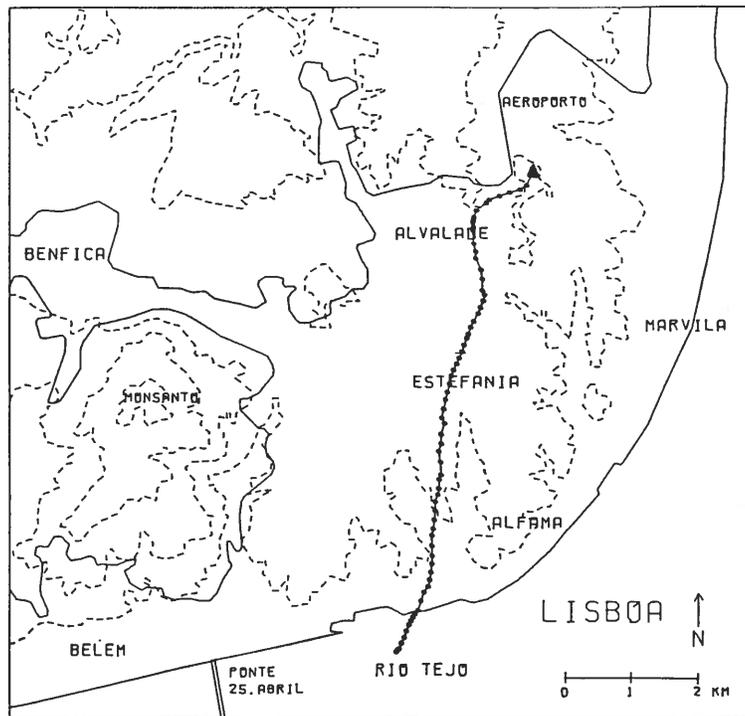


Fig. 6.19 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 15h 20 de 11 de Agosto de 1987.

- ▲—● pontos de medição de 30 em 30 segundos (▲ ponto de partida)
- limite da aglomeração
- - - curvas de nível (equidistância 50 m)

TRAJECTÓRIA

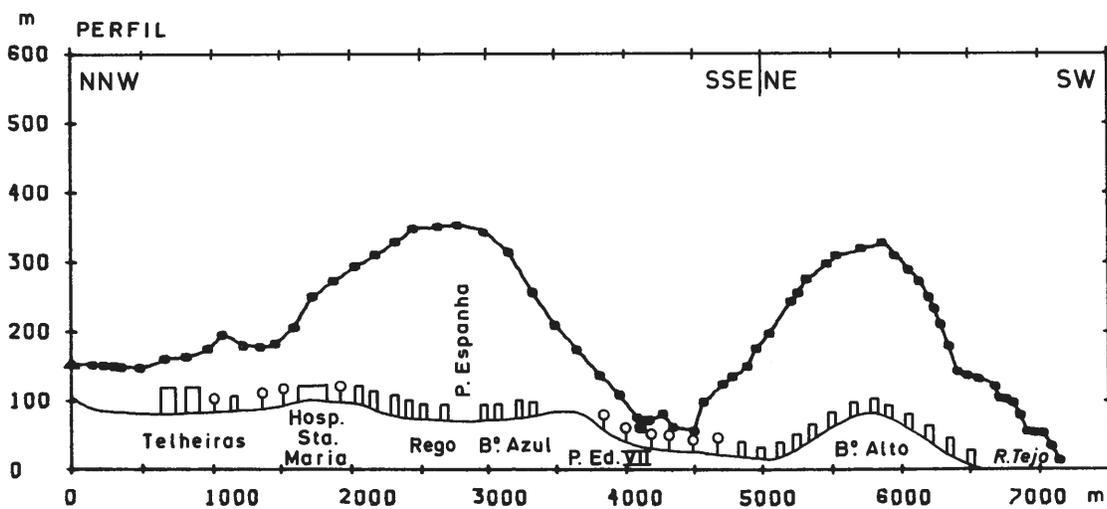
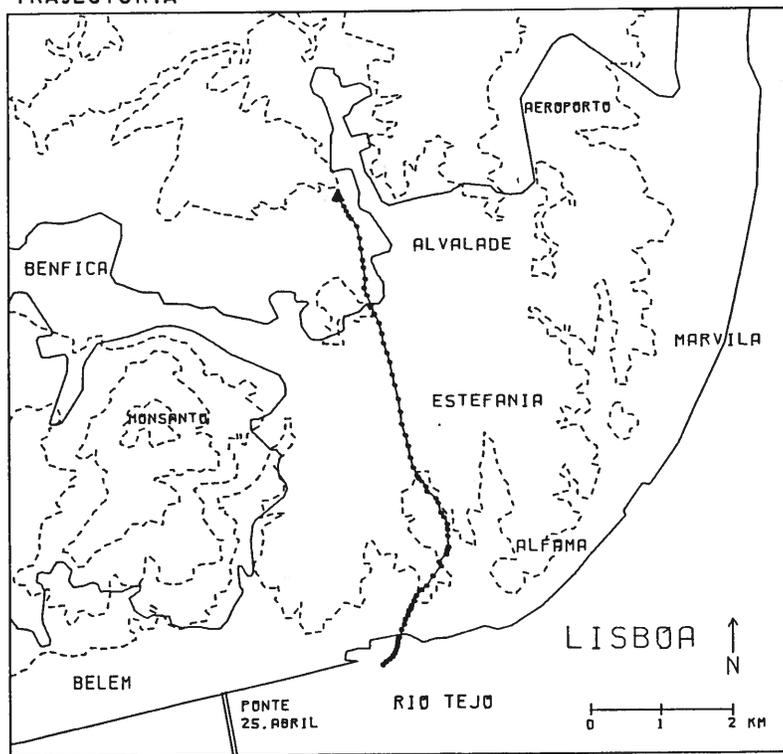


Fig. 6.20 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 15h 50 de 11 de Agosto de 1987.

- ▲—● pontos de medição de 30 em 30 segundos (▲ ponto de partida)
- limite da aglomeração
- - - - curvas de nível (equidistância 50 m)

TRAJECTÓRIA

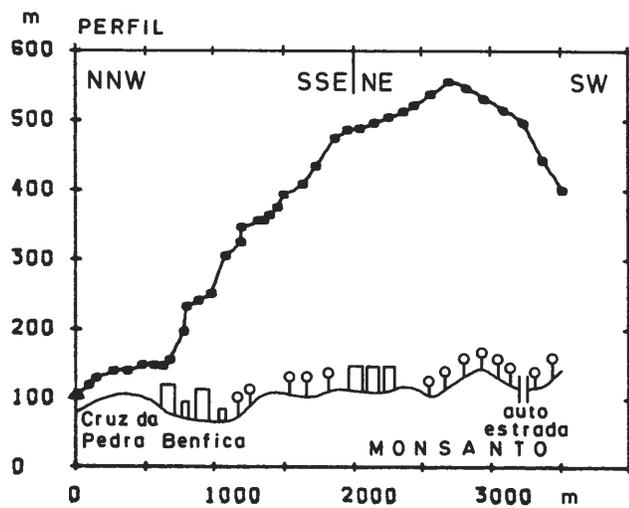
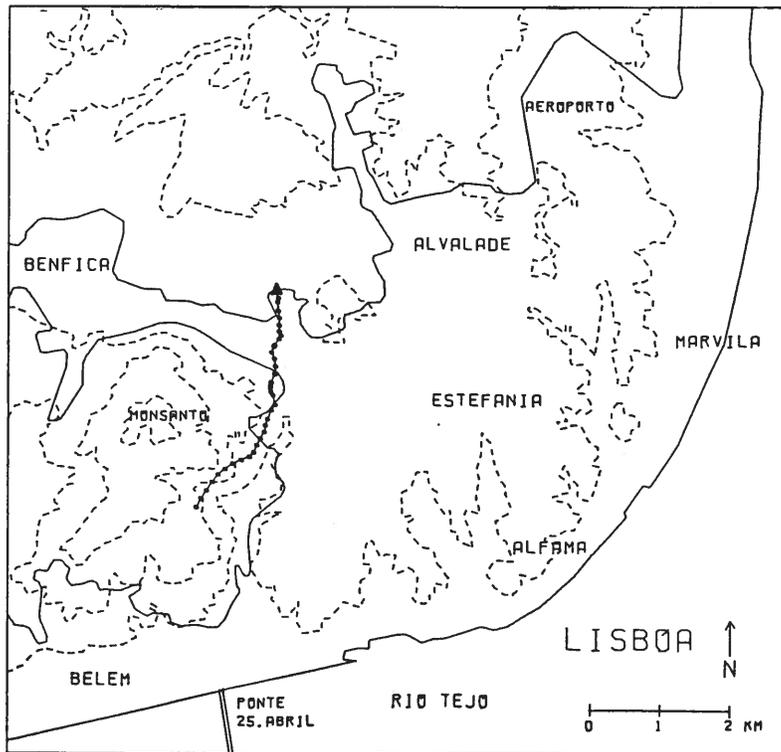


Fig. 6.21 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 16h 30 de 11 de Agosto de 1987.

O segundo balão, lançado em Telheiras às 15h50 (fig. 6.20), sobrevoou a Aglomeração a uma velocidade média de 4 a 5 m/s (14 a 18 km/h). Como o primeiro, sofreu uma ascendência ao abordar as primeiras superfícies construídas (Rego), iniciou uma descida depois da passagem sobre a Praça de Espanha, muito quente, tal como tinham revelado as observações superficiais, notando-se uma subsidência espectacular e uma grande diminuição de velocidade (1.25 m/s ou 4.5 km/h) durante o trajecto ao longo do troço inferior da vertente oriental do Parque Eduardo VII. Na Avenida da Liberdade, o balão deslocou-se a uma altura de 30m (abaixo do seu nível de estabilização inicial), antes de sofrer novos movimentos verticais, e atingir cerca de 300m de altura sobre o Bairro Alto. Este balão evidenciou a complexidade da ilha de calor de Lisboa. Se a primeira ascendência foi originada pelo maior aquecimento das primeiras zonas construídas encontradas, a segunda resulta também (ou sobretudo?) do efeito orográfico que provoca a ascendência de massas de ar. Esta última hipótese é confirmada pelo facto da temperatura do ar próxima da superfície não ultrapassar a do Aeroporto, se bem que seja mais elevada do que a da Baixa, à mesma distância do Tejo (valores medianos).

O terceiro balão foi lançado às 16h30 em Benfica, (próximo do Estádio) e sobrevoou parte da periferia Oeste de Lisboa a uma velocidade média de 3m/s (11 km/h). Sofreu uma importante ascendência que se iniciou sobre os primeiros prédios do referido bairro, no fundo do vale, e que prosseguiu quando o balão alcançou a vertente oriental da Serra de Monsanto. Apesar da altitude modesta da vertente sobrevoada, esta ascendência parece resultar essencialmente da acção da topografia.

—Com ventos de SW e de Oeste no Aeroporto

Os ventos de Norte, que sopraram a baixa altitude durante a tarde do dia 11 de Agosto, rodam para Sul e, depois, para SW, aumentando de velocidade durante o dia 12 (figs. 6.14 e 6.15).

No dia 12 de Agosto, um primeiro balão lançado de Santos, na altura em que soprava um vento muito fraco de Sul, não pôde ser perseguido devido à neblina e ao facto do vento ter rodado para SE, no momento exacto do lançamento do balão, «empurrando-o» para Oeste. Foi impossível localizá-lo a partir do terraço na Praça Duque de Saldanha.

Os dois balões seguintes, lançados do SW da cidade (do Jardim de S. Pedro de Alcântara, às 10h45, e da torre do Observatório do Instituto Geofísico Infante D. Luís, às 11h30) atravessaram a cidade à velocidade de 3m/s (11 km/h); ambos desceram no início das suas trajectórias devido aos «rotors», que se formam a sotavento dos pontos altos de onde tinham sido largados, de modo que sobrevoaram a Avenida da Liberdade a cerca de 70m de altitude (figs. 6.24 e 6.25). O interflúvio a Oriente desta Avenida obrigou os balões a elevarem-se. Aqui as suas trajectórias divergiram.

O primeiro balão (fig. 6.24) atingiu 500m sobre o interflúvio a Este da Avenida Almirante Reis e foi, depois, arrastado por um vento de Sul, que soprava acima de 500m; perdeu progressivamente altura quando sobrevoava o bairro da Penha de França. Desceu bruscamente sobre o espaço verde da Alameda Afonso Henriques (apesar de o ter apenas atravessado no sentido da largura) e, depois voltou a subir ao sobrevoar o Areeiro; estabilizou-se a 400m de altitude, antes de atingir o bairro de Alvalade.

O segundo balão continuou o seu caminho para NE (fig. 6.25). Perdeu primeiro lentamente e depois rapidamente altitude sobre zonas pouco construídas. A ultrapassagem de um interflúvio um pouco mais alto provocou uma ascendência menos importante do que a primeira.

Os perfis verticais do Aeroporto e dos Restauradores, efectuados no dia 12 ao meio dia, depois do lançamento dos balões que teve lugar durante a manhã, confirmam que a temperatura é mais elevada no Centro da cidade, embora a diferença seja pequena (+0.6°C nos Restauradores do que no Aeroporto, fig. 6.22). A camada de ar termicamente instável (-2.5°C/100m) tem, ali, uma espes-

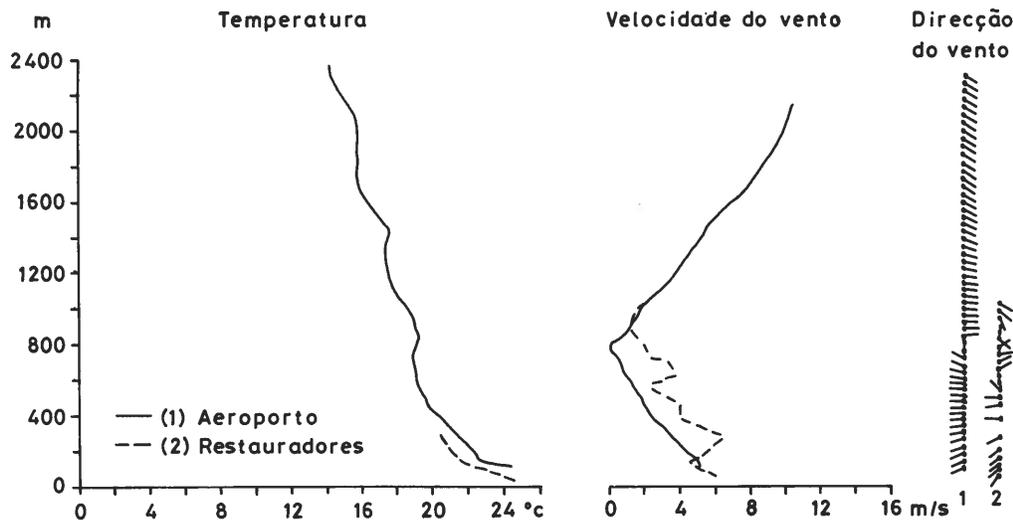


Fig. 6.22 — Sondagens no Aeroporto e nos Restauradores às 12 horas de 12 de Agosto de 1987.

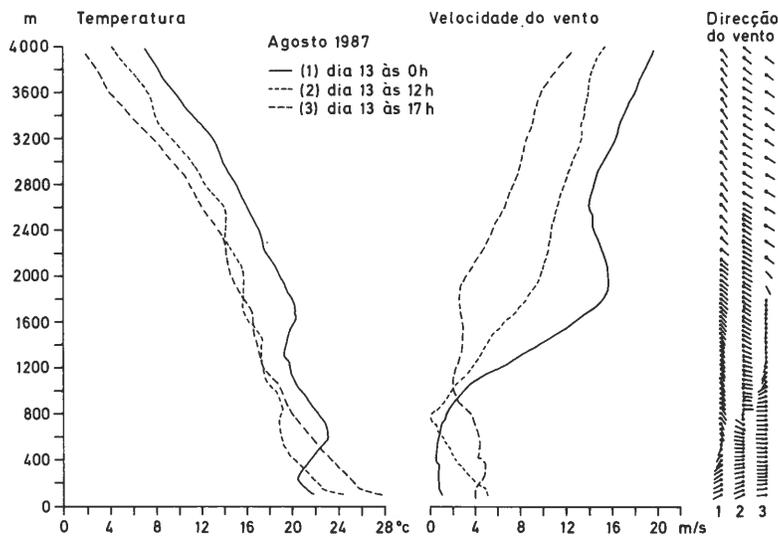


Fig. 6.23 — Sondagens no Aeroporto a 13 de Agosto de 1987.

sura de 100m; acima desta altitude, os perfis térmicos são semelhantes. Pelo contrário, os perfis do vento são diferentes: nas baixas camadas da atmosfera, os ventos de WSW sopram com maior velocidade na Praça dos Restauradores, provavelmente devido à canalização do ar por uma rua vizinha; a tendência inverte-se a partir de 300m e os ventos enfraquecem muito no Centro. A espessura da camada de WSW é sensivelmente mais importante na Praça dos Restauradores (500m) do que no Aeroporto (200m), provavelmente devido ao facto da Praça dos Restauradores estar mais próximo do estuário do Tejo.

A velocidade do vento e a espessura da camada de ventos de Oeste aumentam durante o dia (400m às 0h, 1000m às 17h, fig. 6.23). Estes ventos não correspondem à chegada da brisa do mar,

- ▲—● pontos de medição de 30 em 30 segundos (▲ ponto de partida)
- limite da aglomeração
- curvas de nível (equidistância 50 m)

TRAJECTÓRIA

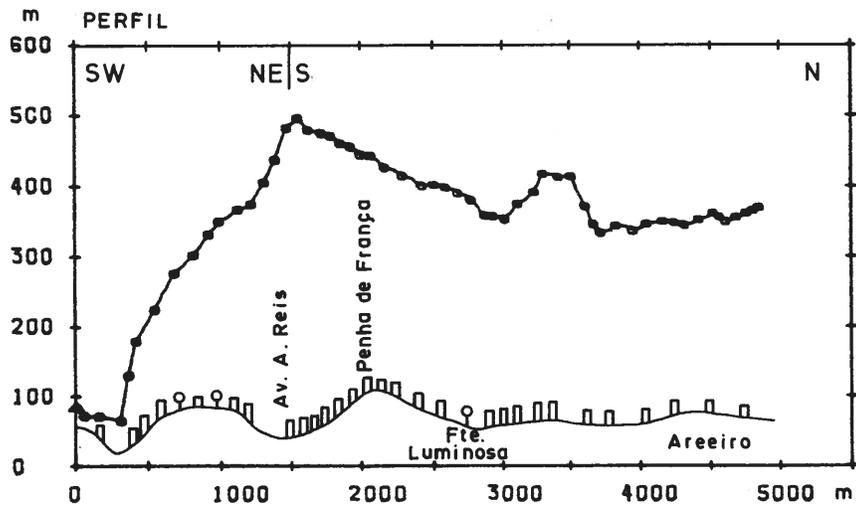
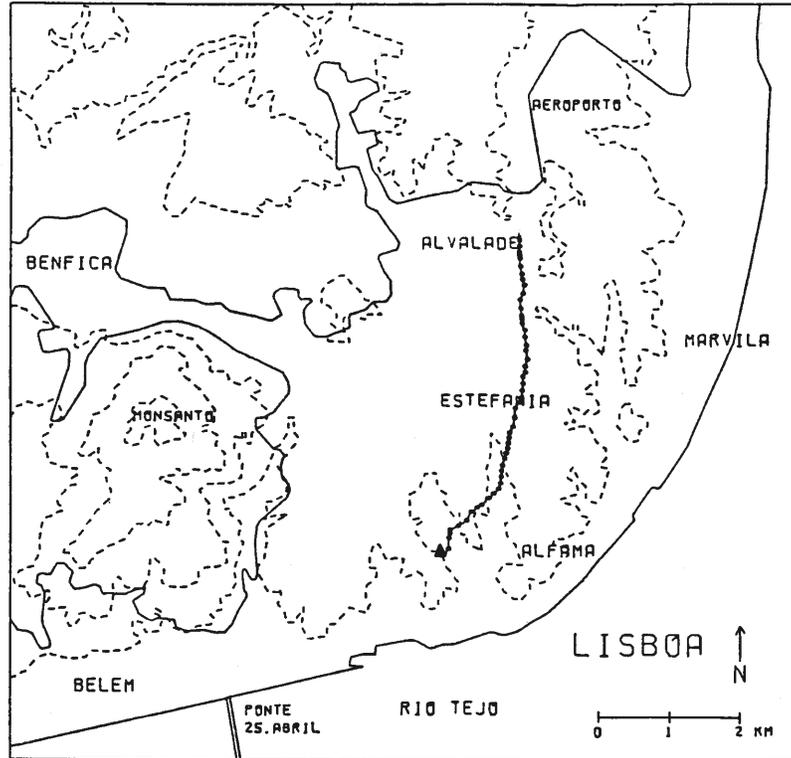


Fig. 6.24 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 10h 45 de 12 de Agosto de 1987).

- ▲—● pontos de medição de 30 em 30 segundos (▲ ponto de partida)
- limite da aglomeração
- - - curvas de nível (equidistância 50 m)

TRAJECTÓRIA

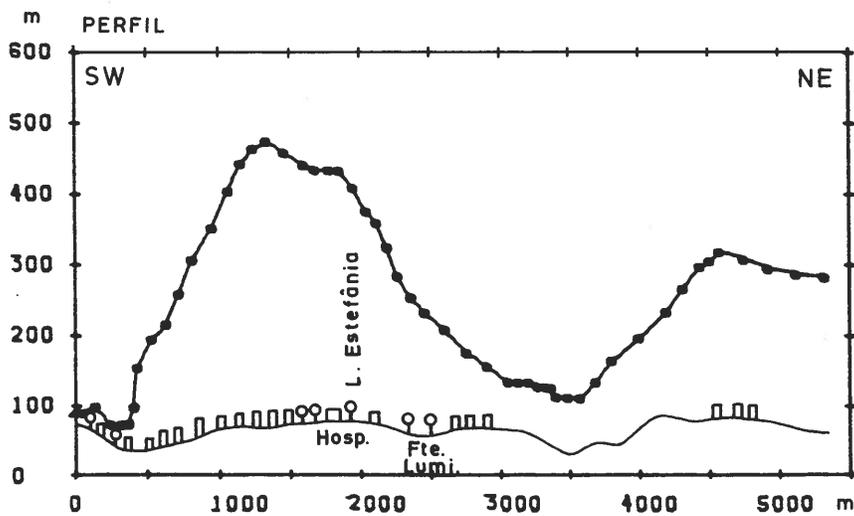
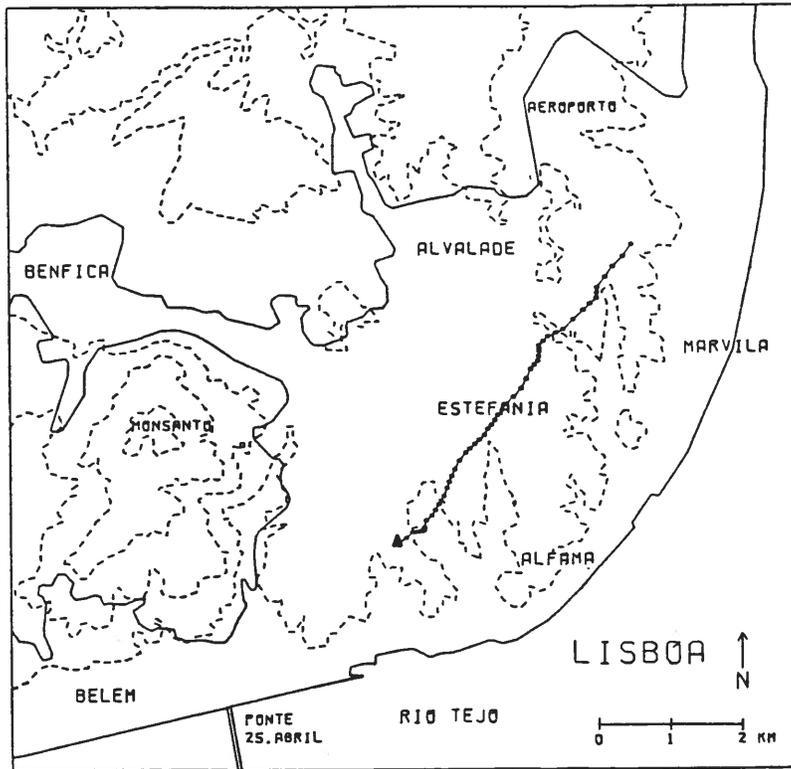


Fig. 6.25 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 11h 30 de 12 de Agosto de 1987.

mas à modificação do rumo do vento de gradiente, primeiro nas baixas camadas. Como na véspera, observa-se um gradiente sobre-adiabático junto ao solo, e a espessura da camada aquecida pelo efeito urbano aumenta durante a tarde. A diferença de 2 horas entre as sondagens do Centro e do Aeroporto impede a comparação dos perfis térmicos nos dois locais.

No dia 13 de Agosto, devido a uma série de contratempos ocorridos na altura do lançamento de vários balões, só uma trajectória foi digna de interesse. O balão enviado de Monsanto às 14h45, sobrevoou a cidade a uma velocidade de 4-5 m/s (14 a 18 km/h), antes de afrouxar o seu movimento sobre Marvila (fig. 6.26). Arrastado por uma corrente de WSW, conservou o seu nível de estabilização (250m de altitude) sobre Monsanto. Depois, sofreu uma ascendência ao abordar as zonas construídas do Rego e sobrevoou este bairro a uma altitude de 500m. Perdeu altitude ao passar sobre o bairro do Arco do Cego, de vivendas com pequenos jardins; o balão apenas se elevou de 50m sobre as construções recentes das Olaias. Depois a sua velocidade diminuiu, sem todavia o balão ter atingido o seu nível de estabilização.

Ao contrário das trajectórias do dia 11, as dos dois dias seguintes não permitem uma conclusão segura sobre a existência de uma ilha de calor urbano. Os balões foram equilibrados em zonas de subsidência (pontos altos) e, em parte também devido à neblina, não puderam ser seguidos até atingirem o seu nível de estabilização inicial (subúrbios NE da cidade no dia 12, ou até o Tejo, no dia 13). Mas, por comparação com os resultados do dia anterior, crê-se que as ascendências observadas nos dias 12 e 13 resultam em grande parte da acção da topografia da cidade e que, algumas delas são acentuadas pelo aquecimento das áreas construídas, sendo evidenciado o papel dos diferentes bairros no aquecimento urbano.

Os perfis térmicos obtidos nos Restauradores deixam entrever a presença de uma delgada camada de ar instável, a que se sobrepõem massas de ar relativamente estáveis (gradientes verticais médios variando entre -0.45° e -0.55°C). Por um lado, o vento moderado, que soprou durante os três dias, atenuou o aquecimento urbano; por outro lado, as trajectórias dos balões estabilizados mostraram que a Praça dos Restauradores se situa, durante estes dias, a Sul do núcleo da ilha de calor urbano, mesmo se, na ausência de vento, a temperatura pode aí ser superior à do Aeroporto.

Conclui-se que, quando sopra vento de Norte no Aeroporto, e provavelmente também com ventos de SW e de Oeste, se desenvolve uma ilha de calor urbano na metade setentrional da cidade: os balões reagiram rapidamente aos contrastes térmicos entre as zonas construídas e os espaços verdes ou baldios (ascendências e subsidências) nesta parte pouco acidentada de Lisboa. Não se deve porém esquecer que o vento pode soprar de Norte no Aeroporto e, simultaneamente, de Sul, SW ou W nos sectores meridionais da cidade ou que, pelo contrário, a Nortada se pode generalizar a toda a cidade. Como se constatou atrás, os resultados são muito diferentes em termos térmicos.

Na metade Sul da Aglomeração, de relevo mais movimentado, as trajectórias obtidas evidenciam ascendências e subsidências que resultam mais da acção da topografia que do aquecimento urbano. A distinção das influências combinadas do relevo e da própria cidade é delicada. Este problema também se pôs em Fribourg (Suíça), pequena cidade que se desenvolve numa área topograficamente muito complexa (D. RUFFIEUX, 1983). Relembre-se, porém, que os resultados das medições itinerantes levam a crer que só em dias de vento de Norte forte e persistente estes bairros se conservam mais quentes do que o sector Norte de Lisboa: mas é possível que este aquecimento apenas diga respeito à baixa atmosfera urbana.

Finalmente, os balões evidenciaram também uma outra zona de subsidência, no meio da cidade (Parque Eduardo VII), que resulta não só da topografia deprimida, como do menor aquecimento devido à evapotranspiração num Parque de dimensões relativamente grandes.

Os resultados que aqui se apresentaram mostram o grande interesse desta técnica e sugerem a necessidade de levar a cabo outras campanhas de lançamento de balões, para documentar a influência

- ▲—● pontos de medição de 30 em 30 segundos (▲ ponto de partida)
- limite da aglomeração
- - - curvas de nível (equidistância 50 m)

TRAJECTÓRIA

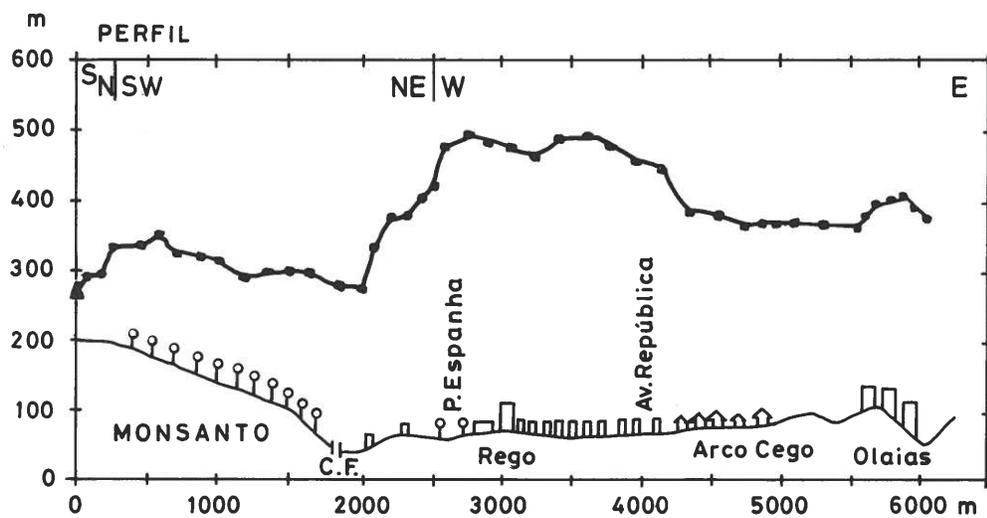
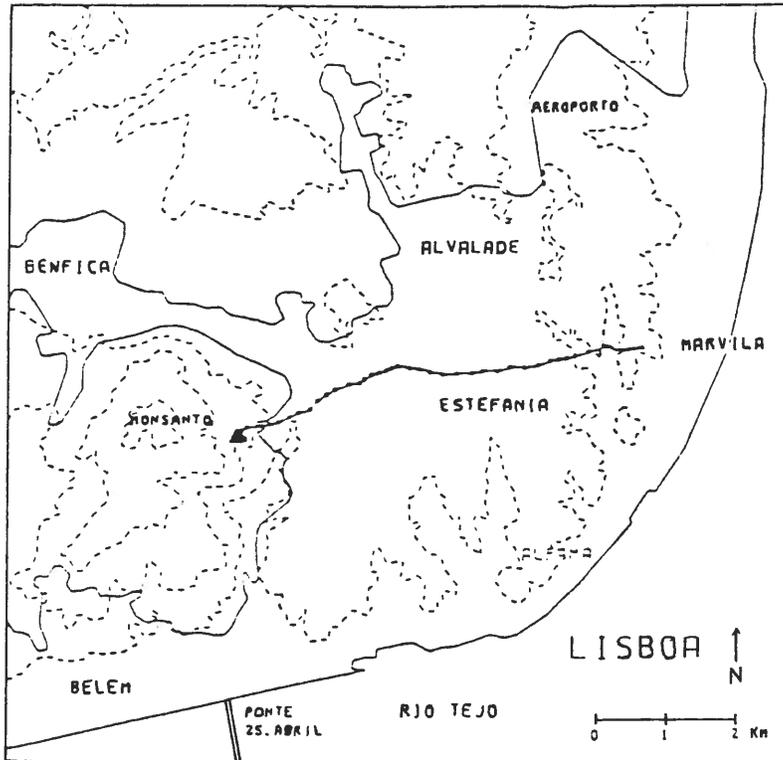


Fig. 6.26 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 14h 45 de 13 de Agosto de 1987.

urbana nas características térmicas e higrométricas da atmosfera noutros períodos do ano e situações sinópticas.

3 — A temperatura em Lisboa em noites de Verão

3.1 — *Diferença de temperatura mínima entre Lisboa (Geofísico) e três estações do limite da aglomeração.*

Nas noites de Verão, a cidade está, em média mais quente do que Lisboa/Portela e Lisboa/Tapada (Quadro 6.4); as maiores diferenças têm lugar nas noites quentes, de grandes contrastes térmicos espaciais (Grupos 3b e 4b, definidos no capítulo 4, fig. 4.6, Quadros 4.2, 4.3, 4.4). Os valores do desvio-padrão (Quadro 6.4) evidenciam a grande variação das diferenças de temperatura mínima entre o Geofísico e Cabo Ruivo.

Nas noites frescas, de céu limpo e vento moderado do grupo 1, as diferenças de temperatura só são significativas entre Lisboa e Lisboa/Tapada: a estação do Jardim Botânico conserva-se cerca de 2° C mais quente que Lisboa/Tapada, sobretudo nas situações correspondentes à posição em margem de anticiclone subtropical. No caso das noites do grupo 2a, de nebulosidade fraca próxima de Lisboa, mas elevada no litoral ocidental, e de vento de Norte e NW, o Centro da cidade permanece invariavelmente mais quente do que Lisboa/Portela e Lisboa/Tapada. Repare-se que, tanto em 1 como em 2a, as médias das diferenças entre Lisboa (Geofísico) e Cabo Ruivo são de -0.4°C. A consulta dos valores individuais, sugerida pelo desvio-padrão elevado, revelou existirem valores fortemente positivos (máximo: +3.9°C), mas serem os valores fracamente negativos, os mais frequentes.

Em todas as noites dos grupos 3a e 4a, relativamente quentes, de nebulosidade elevada ou variável e de vento de SW (fig. 4.6), as diferenças entre Lisboa (Geofísico) por um lado, e Lisboa/Portela e Lisboa/Tapada por outro, são positivas, embora não das mais fortes (Quadro 6.4). Em certas noites do grupo 3a, Cabo Ruivo tem mínimas mais altas do que o Geofísico. Tal facto poderá estar relacionado com a direcção dos ventos de SW, que deslocam em direcção a Cabo Ruivo, massas de ar com trajecto sobre a cidade, que se tornam relativamente quentes.

Nos grupos 2b, 3b e 4b, de céu limpo a Oriente, mas nevoeiros frequentes na costa ocidental, em que calmas frequentes alternam com ventos fracos do Norte ou de Este, obtiveram-se as maiores diferenças positivas. Supõe-se que a ausência de vento evita a dispersão do calor devido às actividades antrópicas (circulação automóvel, ar condicionado, etc.) e do calor armazenado nos edifícios da Aglomeração que, a partir do pôr do Sol, é restituído à atmosfera urbana. Além disso, os fracos ventos do quadrante Este poderão eventualmente transportar para a cidade calor produzido pelas unidades industriais que continuam em funcionamento junto ao estuário do Tejo. Em raras ocasiões (no grupo 2b), Cabo Ruivo está cerca de dois graus mais quente do que Lisboa (Geofísico). Pôs-se a hipótese de se tratar de casos de brisa de terra, que chegou a ser detectada num estudo anterior: por exemplo, a 16/8/1984, soprou durante algum tempo, de madrugada, um vento de Oeste, que se traduziu num ligeiro aumento de temperatura e diminuição da humidade relativa. Tal não foi, no entanto, verificado para as noites acima mencionadas.

	L — CV		L — L/P		L — L/T		\bar{x}
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	
1	-0.8	0.8	0.5	0.4	2.2	0.9	0.8
2a	-0.4	1.2	0.6	0.8	1.2	0.8	0.5
2b	0	1.6	0.7	0.4	1.5	1.3	0.7
3a	-0.1	1.1	0.5	0.5	0.7	0.5	0.4
3b	0.6	0.8	0.9	0.8	1.4	1.0	1.0
4a	0.6	1.8	1.2	1.9	0.1	1.3	0.6
4b	2.8	1.7	1.3	1.1	1.7	1.9	2.0
\bar{x}	0.4		0.6		0.8		0.9

Quadro 6.4 — Diferenças de temperatura mínima estival entre Lisboa (Geofísico: L) e três estações dos limites da aglomeração (°C).

CV: Cabo Ruivo

L/P: Lisboa/Portela

L/T: Lisboa/Tapada

1 a 4: grupos individualizados no capítulo 4

3.2 — Observações itinerantes

Segue-se o mesmo esquema do estudo da temperatura a meio da tarde, para a apresentação das medições em Lisboa. Um quadro (6.5) com as temperaturas mínimas da noite de observação (que poderão ocorrer antes, durante ou depois das observações), e indicações sobre o rumo e velocidade do vento, nebulosidade, humidade relativa, estrutura térmica da atmosfera e a situação sinóptica e uma figura, onde se indica a projecção das noites em que se executaram medições itinerantes no plano 1-2, da análise em componentes principais apresentada no capítulo 4, a partir de uma matriz de temperaturas mínimas (fig. 6.27). Os percursos nocturnos itinerantes foram menos frequentes que os diurnos, por razões práticas. Não foi possível documentar, a partir de medições no espaço urbano, os grupos de dias 1, 2b, 3a e 4a. A projecção de muitas das noites das medições ficaram mal representados pelos dois primeiros factores (por o padrão térmico regional ser incaracterístico) e não integram os grupos formados pelas noites bem representadas pelas duas primeiras componentes. No entanto, não há, de noite, disparidades tão grandes de padrões térmicos espaciais como de dia: só numa ocasião (29/6/83), não houve um aumento gradual de temperatura em direcção ao centro da cidade.

A 1/7/1983, noite do grupo 2a (11.5% da amostragem, Quadro 4.5), Monsanto está à mesma temperatura do que o Aeroporto; parte do bairro de Benfica, abrigado, tem uma temperatura relativa de +1.5°C (fig. 6.28); o aumento de temperatura da periferia para o Centro, atinge quase 4°C. O facto de não haver grandes diferenças de temperatura na região de Lisboa, nas noites do grupo 2a, não significa ausência de ilha de calor, pois o abrigo da cidade relativamente ao vento permite um aquecimento relativo dos seus sectores Sul e SE que, em parte, coincidem, com o Centro.

A 29/6/1983 (transição 2a-2b, cerca de 15% da amostragem), as medições foram prematuramente interrompidas por quebra do termómetro, mas permitiram notar que, na Praça de Espanha e na Rua da Escola Politécnica a temperatura era igual à do Aeroporto, sendo inferior em todos os outros pontos de observação, mesmo da Baixa. Havia calma nessa noite, e a humidade relativa era, às 0h, de 50% em Lisboa/Gago Coutinho. Porém, em Lisboa (Geofísico), a humidade relativa era de 75% às 21h e de 80%, às 22h. Havia, nesta noite, uma inversão um pouco acima de 950 hPa no Aeroporto, sendo a camada de ar superficial muito mais húmida junto ao rio Tejo.

Não se pode determinar a frequência de ocorrência aproximada nas noites de 19/6/1983 e 7/9/83, de projecções próximas da origem dos eixos (fig. 6.27), e portanto mal representadas pelas duas primeiras componentes. A temperatura em Monsanto é mais baixa do que no Aeroporto, em Benfica é igual à da estação de referência, notando-se um aumento de temperatura em direcção ao centro, que atinge 2°C a 19/6 e 3°C a 7/9 (fig. 6.28).

Os grupos 3b e 4b, estão documentados pelas medições de 2/8/85 e 27/7/81, respectivamente. Relembre-se que as diferenças das temperaturas mínimas médias entre o Geofísico e as 3 estações dos limites da aglomeração eram máximas nas noites destes dois grupos (Quadro 6.4). Os dois percursos de medições itinerantes comprovam-no. Começar-se-á pelo dia 27 de Julho de 1981, de menor número de pontos de observação (fig. 6.28). Nota-se um aumento de temperatura da Praça de Espanha até ao Terreiro do Paço. Nesta noite, o ar estava muito seco (18% e inversão junto ao solo, em Lisboa/Portela, às 0h). A temperatura era mais alta nos vales, não só na zona deprimida da Baixa, como no Largo do Rato, mais quente que a Rua Duarte Pacheco («Phillips»), mais elevada.

A 2 de Agosto 1985, com dois carros, quatro pessoas e dois termómetros digitais previamente aferidos, executaram-se quatro perfis E-W em Lisboa (*). No gráfico do termo-higrógrafo, observa-se que praticamente não houve variação de temperatura durante as medições em Lisboa/Gago Coutinho, o que torna os resultados obtidos muito seguros (fig. 6.30).

No perfil 1 (fig. 6.29 e 6.31), as temperaturas são mais elevadas no fundo do vale a Norte de Monsanto, em Benfica, onde algumas construções antigas, cada vez mais escassas, alternam com prédios de altura média e com grandes torres. Os terrenos pouco construídos estão frescos, mesmo próximo das «torres» da Palma de Baixo. Entre o Campo Grande e a Avenida do Aeroporto, o desvio ao Aeroporto é superior a +1°C, independentemente da topografia e da morfologia urbana. A oriente, a ausência

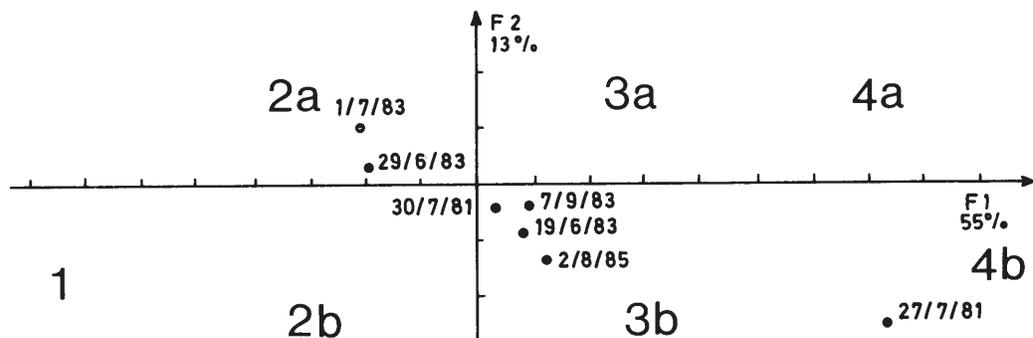
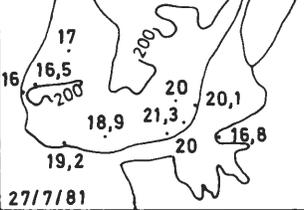
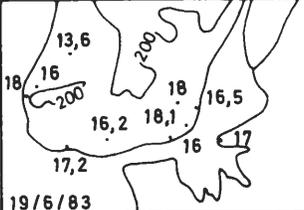
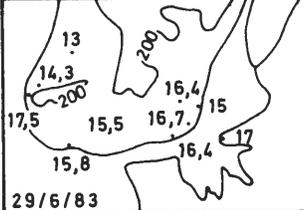
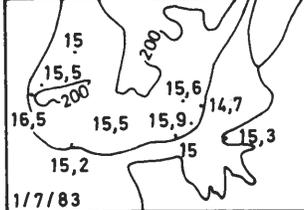
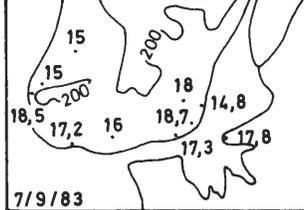
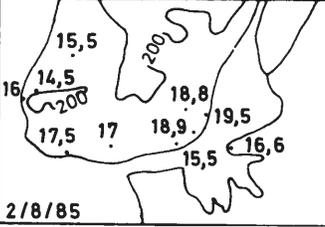
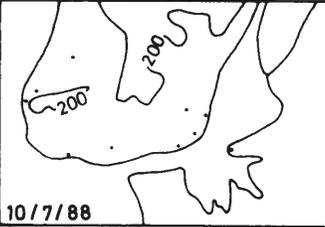
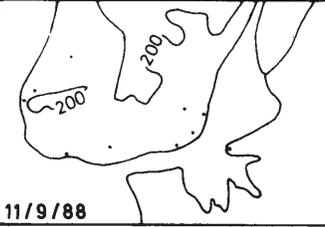


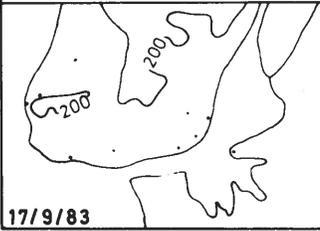
Fig. 6.27 — Projecção das noites em que se efectuaram medições em Lisboa no plano 1-2 (A.C.P. aplicada a uma matriz de temperaturas mínimas de Verão, ver capítulo 4).

(*) Agradeço a Ana Paula Simões Alexandre, a Fernando Pedrosa Rolo e a Tiago Freitas Leal a sua colaboração nas medições.

Quadro 6.5 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nas noites de observações de terreno em Lisboa (Verão).

Temperatura mínima (°C)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P às 0h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 0h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 18h	às 0h	às 6h				
 27/7/81	330 33,4 0	350 9,3 0	40 7,4 0	18	13,6	ANE	
 19/6/83	320 18,5 0	290 7,4 0	90 7,4 6	47	12,2	DPI	Nevoeiro: Cabo da Roca 18h às 24h) Lisboa/Portela (das 6 às 12h)
 29/6/83	330 20,4 0	350 3,7 0	320 7,4 7	52	5	Trans.a	Nevoeiro: Cabo da Roca (das 0h às 6h)
 1/7/83	330 14,8 0	320 19 0	340 9,3 7	78	23,2	Trans.a	Nevoeiro Cabo da Roca (das 6h às 24h)
 7/9/83	330 22,2 0	340 20,4 0	330 22,2 0	64	37,2	A.sub	Nevoeiro: Sintra/Granja das 6h às 12h) Cabo da Roca (das 0h às 12h)
Rumo do vento em graus Velocidade do vento em Km/h Nebulosidade em oitavos				Legendas das colu- nas 5 e 6 no fim			

Temperatura mínima (°c)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P 0h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 0h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 18h	às 0h	às 6h				
 <p>2/8/85</p>	-	340	0	80		ANE	
 <p>10/7/88</p>	-	340	360	52	2(28)	A.sub	
 <p>11/9/88</p>	340	360	340	60	25,0)	A.sub	
			Rumo do vento em graus		Legendas das colu-		
			Velocidade do vento em Km/h		nas 5e6 no fim		
			Nebulosidade em oitavos				

Temperatura mínima (°C)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P 0h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 0h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 18h	às 0h	às 6h				
 17/9/83	350 22,2 3	350 9,3 1	350 7,4 7	91	2(1,2)	Pant.	
Rumo do vento em graus Velocidade do vento em Km/h Nebulosidade em oitavos				Legenda das colunas 5 e 6 no fim			

Legenda

Estrutura térmica da atmosfera: indicação do nível isobárico correspondente à base da inversão térmica mais baixa. Entre parêntesis, a diferença de temperatura entre a base e o topo da inversão, caso esta tenha sido identificada.

1. Inversão junto ao solo
2. Base da inversão mais baixa, abaixo de 950 hPa
3. Base da inversão mais baixa entre 950 e 850 hPa
4. Base da inversão mais baixa entre 850 e 700 hPa
5. Ausência de inversão (até 700 hPa)

Situação sinóptica à superfície

- A. sub — Anticiclone atlântico subtropical
- A. misto — Anticiclone atlântico misto
- A. NE — Anticiclone atlântico misto prolongando-se para NE
- A. Eu — Anticiclone Europeu
- A. Im — Anticiclone Ibero-mediterrâneo
- A. Ia — Anticiclone Ibero-africano
- Dep. P. I. — Depressão na Península Ibérica
- Dep. T. P. I. — Depressão térmica na Península Ibérica
- CD — Outros centros depressionários
- Pert — Perturbações
- Pant — Pântano ou colo barométrico
- trans — Situação pouco clara ou de transição
 - trans. a:* entre anticiclone atlântico e depressão na Península Ibérica ou na Europa Ocidental (fluxo do quadrante N)
 - trans. b:* entre anticiclone Europeu ou no Mediterrâneo Ocidental e depressões no Atlântico Oriental, provindo o fluxo geral de Sul.
 - trans. c:* Numa região de pressão relativamente elevada, entre duas depressões, uma no Atlântico e outra no interior da Península Ibérica.

de construções corresponde a uma diminuição de temperatura, intensificada ainda no fundo de um pequeno valeiro. As áreas ribeirinhas têm desvios térmicos positivos. O segundo perfil (fig. 6.31b) segue primeiro ao longo do Vale de Alcântara, muito fresco. Nota-se um rápido aquecimento, na subida para Campolide, que se mantém na Avenida Joaquim António de Aguiar, fortemente inclinada para E. Na Praça Marquês de Pombal, a temperatura é inferior em 1°C à do Aeroporto. Nos interflúvios seguintes o desvio é de $+1.5^{\circ}$ no bairro a Norte do Campo dos Mártires da Pátria, $+0.6^{\circ}\text{C}$ na Penha de França, $+1^{\circ}\text{C}$ no bairro a SE da Praça do Chile, de construção mais antiga, -1° no vale a Oriente do Alto de S. João e $+1^{\circ}\text{C}$ no Beato, junto ao rio. Note-se que a temperatura não desce no vale da Avenida Almirante Reis, densamente construído. No terceiro perfil, vê-se que o topo de Monsanto está cerca

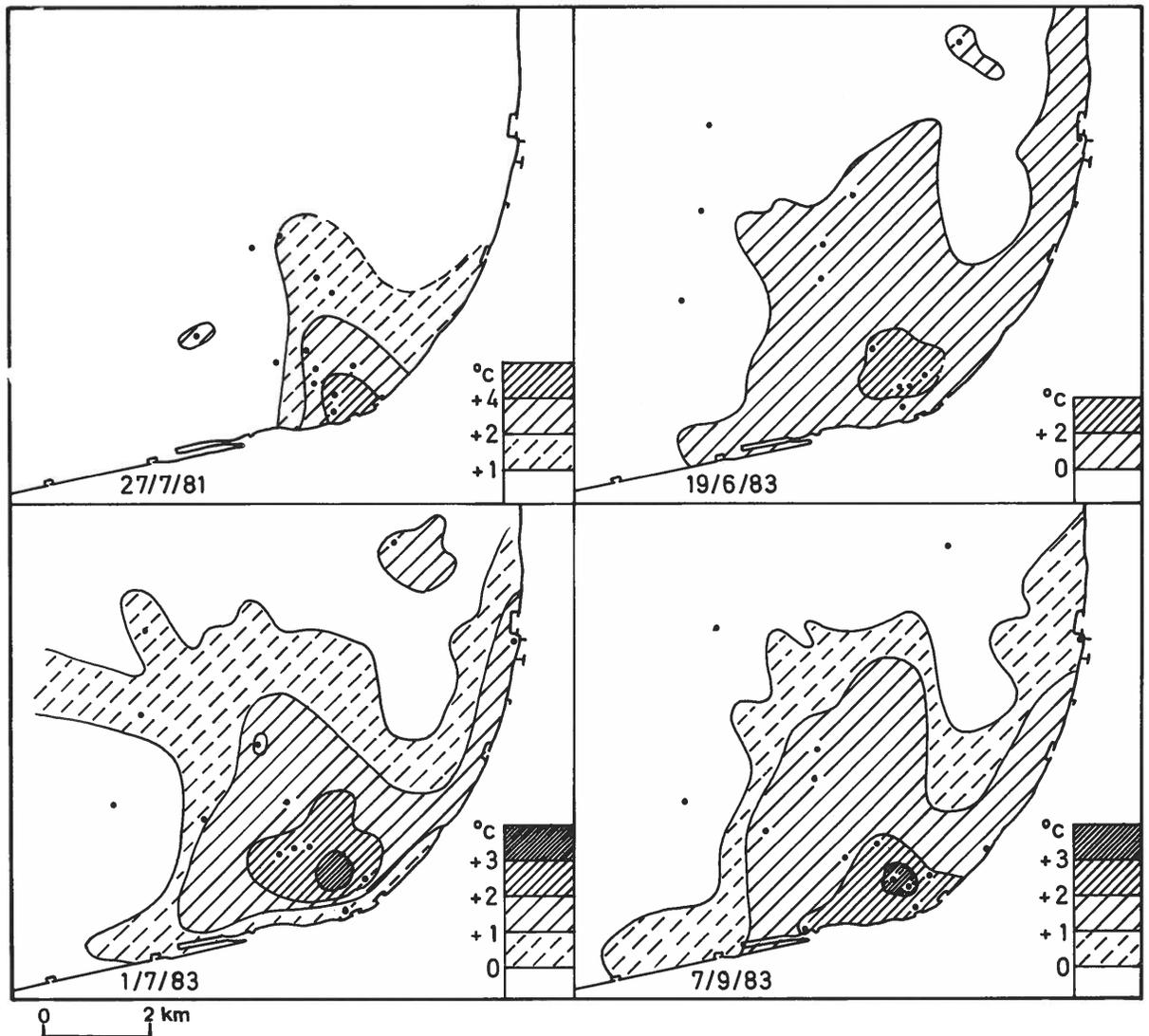


Fig. 6.28 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Verão.

de 1°C mais frio que o Aeroporto, mas é no fundo do Vale de Alcântara, a Oriente desta elevação que se observa o mais forte desvio negativo (-2.5°C). Mais brutal ainda do que em Campolide, é o aumento de temperatura na subida para Campo de Ourique. No interior deste bairro, uma rua de orientação E-W tem uma temperatura quase 3°C mais elevada do que o Aeroporto; mas numa rua N-S, por onde é canalizado o vento de Norte, este desvio é apenas de + 0.5°C. Até Xabregas, a tempe-



Fig. 6.29 — Localização dos perfis de observações itinerantes na noite de 1 para 2 de Agosto de 1985.

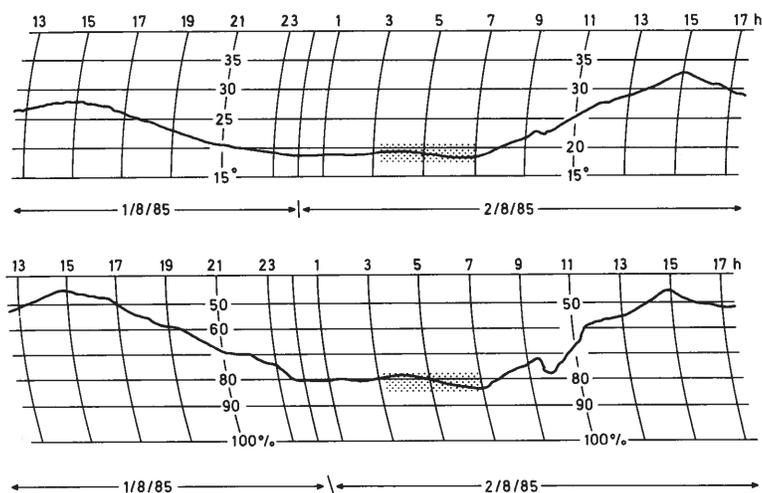


Fig. 6.30 — Registo do termo-higrógrafo de Lisboa/Gago Coutinho em 1 e 2 de Agosto de 1985.

tem, no conjunto, desvios menores, mas também positivos. Só no Alto do Duque, está mais fresco que no Aeroporto.

Resumindo, o núcleo da ilha de calor situa-se, na noite de 2 de Agosto 1985, nas áreas mais elevadas do Centro, onde as ruas são suficientemente largas para terem aquecido bastante durante o dia. Alfama e S. Vicente estarão mais frescas, devido às suas ruas estreitas, à sombra uma grande parte do dia, menor tráfego e, talvez menor poluição, que dificultaria o arrefecimento nocturno. Campo de Ourique aparece como um outro núcleo de calor, mas relembra-se que tal facto só diz respeito a ruas E-W, abrigadas.

Há uma diminuição — esperada — dos desvios positivos para a periferia da cidade. Este arrefecimento é intensificado em certos fundos de vales como o Vale de Alcântara (Avenida de Ceuta) e nalguns vales urbanos (Avenida da Liberdade) para onde pode haver drenagem de ar frio ou fresco de áreas mais elevadas; a Avenida Almirante Reis, estreita e de tráfego intenso, não está mais fresca que as áreas circundantes, apesar da sua posição deprimida.

Estas temperaturas baixas e a humidade relativa elevada, observada nalguns trajectos, tanto pode resultar da chegada de ar mais frio por gravidade (aumento da humidade relativa, sem modificação da humidade absoluta, por diminuição de temperatura) ou da chegada de ar fresco e húmido estuarino em direcção à cidade aquecida. O facto do aumento da humidade relativa ser maior no troço jusante dos vales, junto ao Tejo, leva a preferir a segunda hipótese de explicação. As duas não são, no entanto, inconciliáveis.

Em noites muito quentes (como a 27/7/81), os fundos dos vales apresentam temperaturas mais altas do que os interflúvios; não só não se deu arrefecimento suficiente para originar movimentação de ar frio por gravidade, como não houve chegada de ar fresco e húmido estuarino.

Nas noites de 10 e 11 de Julho de 1988, o vento foi quase sempre forte (diminuiu um pouco só durante a noite do dia 10/7) e a humidade relativa baixa (50%) em Lisboa/Portela (fig. 6.32, e Quadro 6.5). Os trajectos são os mesmos da figura 6.9 e foram feitos no início da noite (entre as 10 e as 11h) e de madrugada (entre as 4 e as 5h).

ratura é sempre superior à do Aeroporto. Notar, no entanto, uma grande descida na Avenida da Liberdade e outra no Campo Mártires da Pátria. A Avenida Almirante Reis está mais quente do que o interflúvio vizinho, a Graça, de construção antiga, onde a temperatura é cerca de 1°C mais elevada do que no Aeroporto. É no último perfil (fig. 6.31d) que se observam os maiores desvios positivos, embora num espaço restrito: no Largo de Camões (+4°C), no Chiado e na Baixa (um pouco mais fresca). Entre Alcântara e Santa Apolónia, os desvios são de cerca de +1°C. A Ajuda

Note-se, nos perfis da figura 6.32 e na figura 6.33, que todos os desvios térmicos em relação à estação de referência são positivos, à excepção de um local da Ajuda, na madrugada de 10/7/88. As diferenças de temperatura são maiores no início da noite do que de madrugada (intensidade da ilha de calor respectivamente de $+4^{\circ}\text{C}$ e $+3^{\circ}\text{C}$). De uma maneira geral, as temperaturas aumentam em direcção ao Centro da cidade e, ao contrário do dia 2 de Agosto atrás apresentado, são os vales e não os interflúvios da Baixa os locais mais quentes. As variações espaciais são fundamentalmente devidas à posição na cidade, à topografia e à ocupação do solo.

Destacam-se das áreas vizinhas pelas suas temperaturas altas, o bairro próximo de Entrecampos, de forte densidade de construção e posição deprimida (perfil A) e a Estefânia e a Avenida Almirante Reis, pelas mesmas razões (perfil B). Ao contrário do dia 2 de Agosto 1985, os valores mais altos ocorrem nas zonas deprimidas da Baixa (perfil C). No Vale de Alcântara, a temperatura chega a ser superior em 2°C à do Aeroporto (perfil C). Sete Rios, ventoso, (perfil A) está fresco; a parte residencial de Alvalade (moradias com jardins), está fresca em comparação à área envolvente. Estas medições documentam, para o Verão, o que foi observado em relação ao Inverno (registo termográfico, M. J. ALCOFORADO, 1986). A baixa temperatura da Ajuda foi obtida num local onde chegava vento fresco, canalizado por uma rua vizinha (perfil C).

Como conclusão, apresentam-se sucintamente os diferentes padrões térmicos nocturnos revelados pelas medições itinerantes; outros podem vir a ser detectados na continuação da pesquisa sobre este tema.

Nas noites de vento forte do quadrante Norte (11.5% da amostragem, correspondente ao grupo 2a ou 39.5% se considerarmos os dias 10 e 11 de Julho 1988 incluídos no grupo 3a, tal como é sugerido pelas suas características, embora não tenham sido inseridos na amostragem do capítulo 4, fig. 4.6 e quadro 4.5), os bairros a Sul e SE da Aglomeração são os que se conservam mais quentes. A intensidade máxima da ilha de calor atinge 4°C no início da noite (1/7/83 na fig. 6.28) e 3°C de madrugada. Há grandes diferenças espaciais entre locais próximos, mas as temperaturas mais altas encontram-se nas áreas deprimidas do Centro administrativo de Lisboa (Baixa, Restauradores, etc.), sendo o vento de Norte o responsável do maior arrefecimento dos interflúvios.

Em 8.5% das noites (frequência de ocorrência das noites dos grupos 3b, Quadro 4.5 e dia 2/8/85 na fig. 6.27), quentes, sem vento, mas com humidade muito elevada (80% a 2/8/85), há um aumento de temperatura em direcção ao Centro da cidade, sendo os interflúvios próximos da Baixa os mais quentes. Pensa-se que o ar marítimo ou estuarino, relativamente fresco e muito húmido, circula preferencialmente pelos vales e aí se acumula, determinando a diminuição de temperatura observada.

Interessa também focar que, noutras ocasiões, este ar alóctono provoca um grande arrefecimento em toda a área ribeirinha, impedindo qualquer influência da cidade nas características térmicas e higrométricas da atmosfera urbana e fazendo descer as temperaturas mais do que no Aeroporto, tal como se observou a 29/6/83. Estas situações deverão corresponder a cerca de 15% dos casos (grupo de transição 2a-2b, Quadro 4.5), mas novas observações são necessárias.

Nas noites muito quentes e secas, de atmosfera instável, que não representarão mais de 4.5% dos casos (grupo 4b, quadro 4.5 e fig. 6.27), a intensidade da ilha de calor ultrapassa os 4 e até os 5°C nalguns locais. As temperaturas conservam-se mais elevadas nos fundos de vales do Centro de Lisboa. Não se verifica advecção de ar húmido e fresco: estas ocasiões correspondem à ocorrência de massas de ar muito quente e seco do continente africano.

Apenas documentámos, à escala local, cerca de 60% dos diferentes tipos térmicos nocturnos definidos no capítulo 4 em função das temperaturas mínimas de 20 estações da região de Lisboa. Verificou-se,

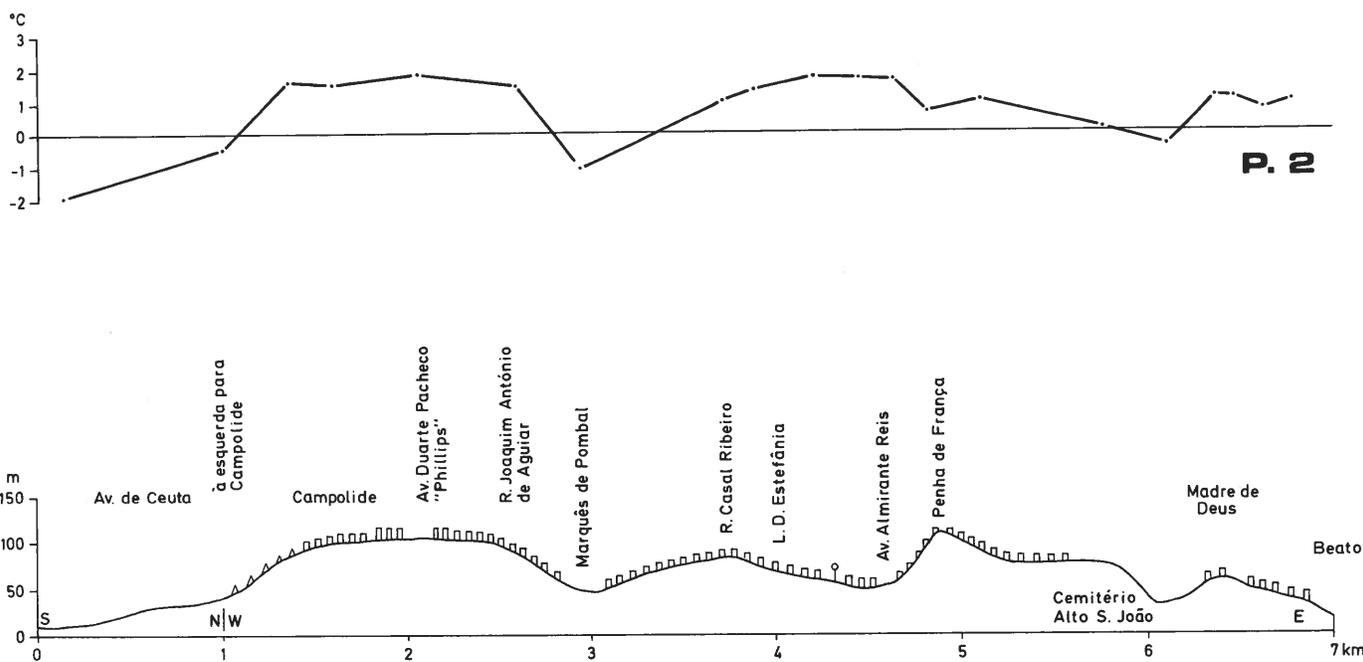
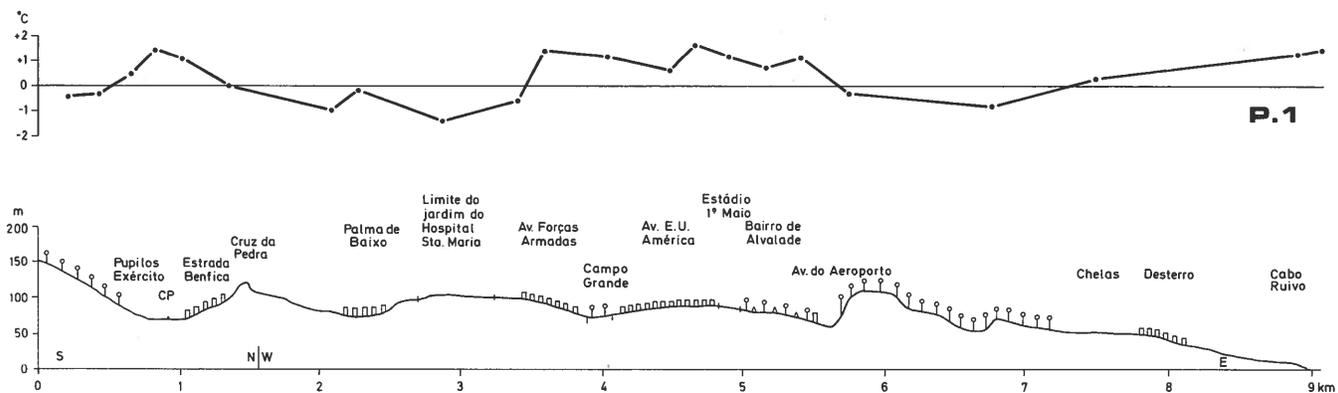
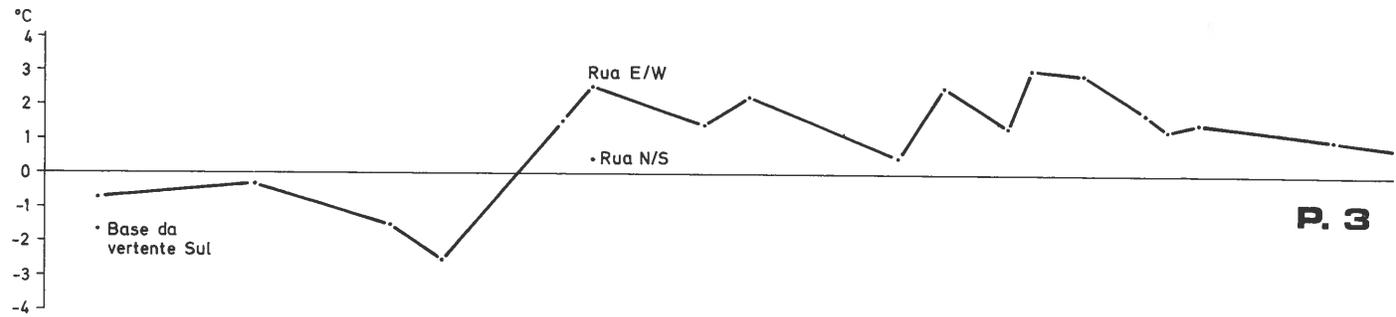
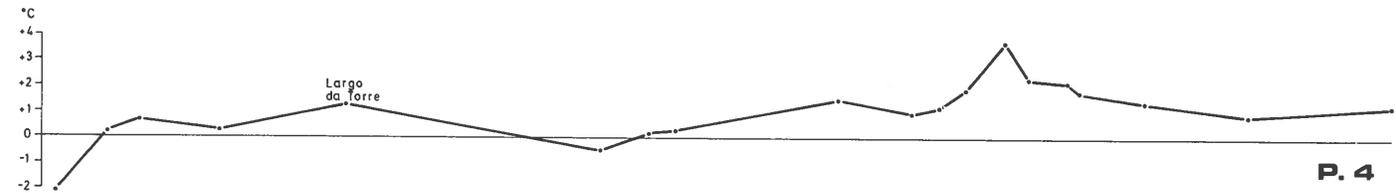
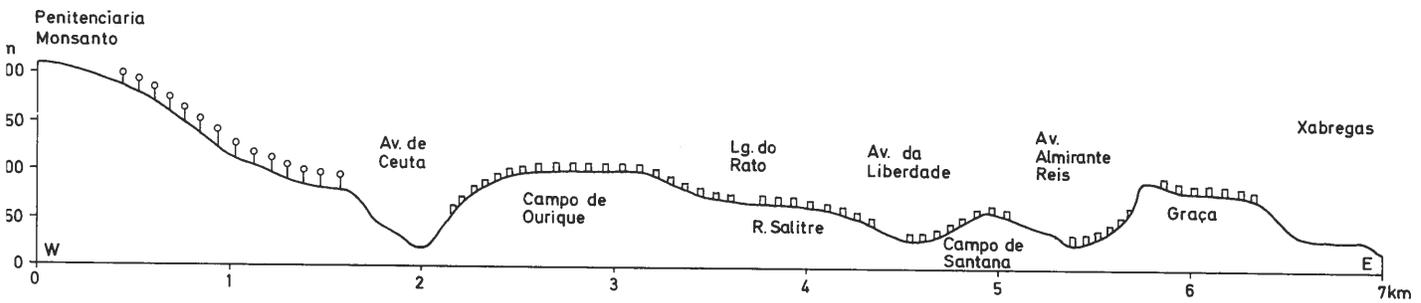


Fig. 6.31 — Perfis térmicos nocturnos a 2 de Agosto de 1985: desvios de temperatura em relação ao Aeroporto. (1.ª parte)



P. 3



P. 4

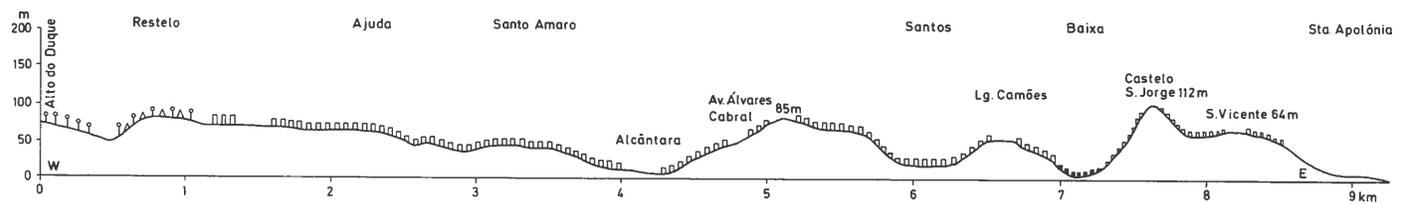


Fig. 6.31 — Perfis térmicos nocturnos a 2 de Agosto de 1985: desvios de temperatura em relação ao Aeroporto. (2.ª parte)

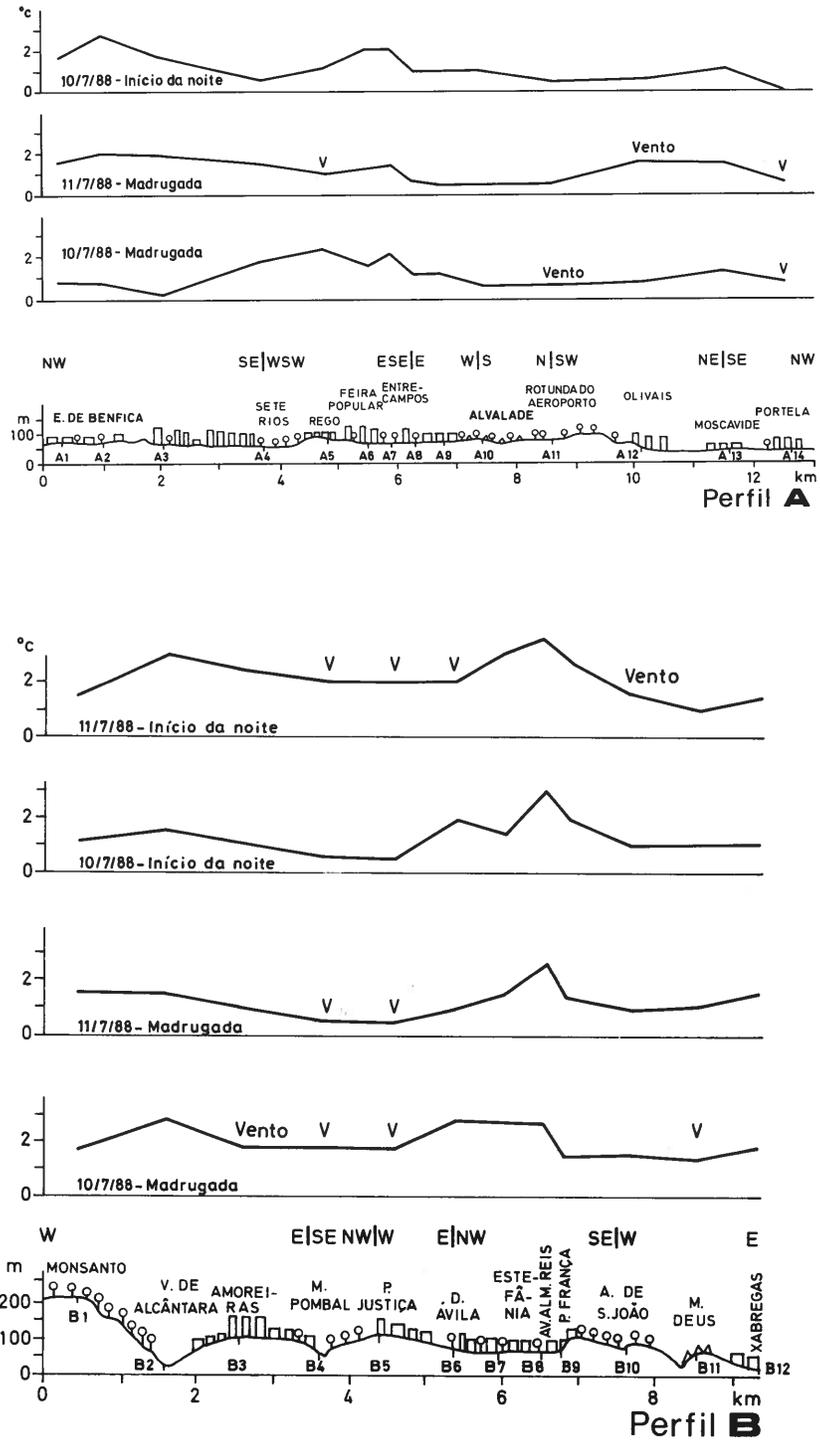


Fig. 6.32 — Perfis térmicos nocturnos a 10 e 11 de Julho de 1988, desvios térmicos em relação ao Aeroporto (1.ª parte)

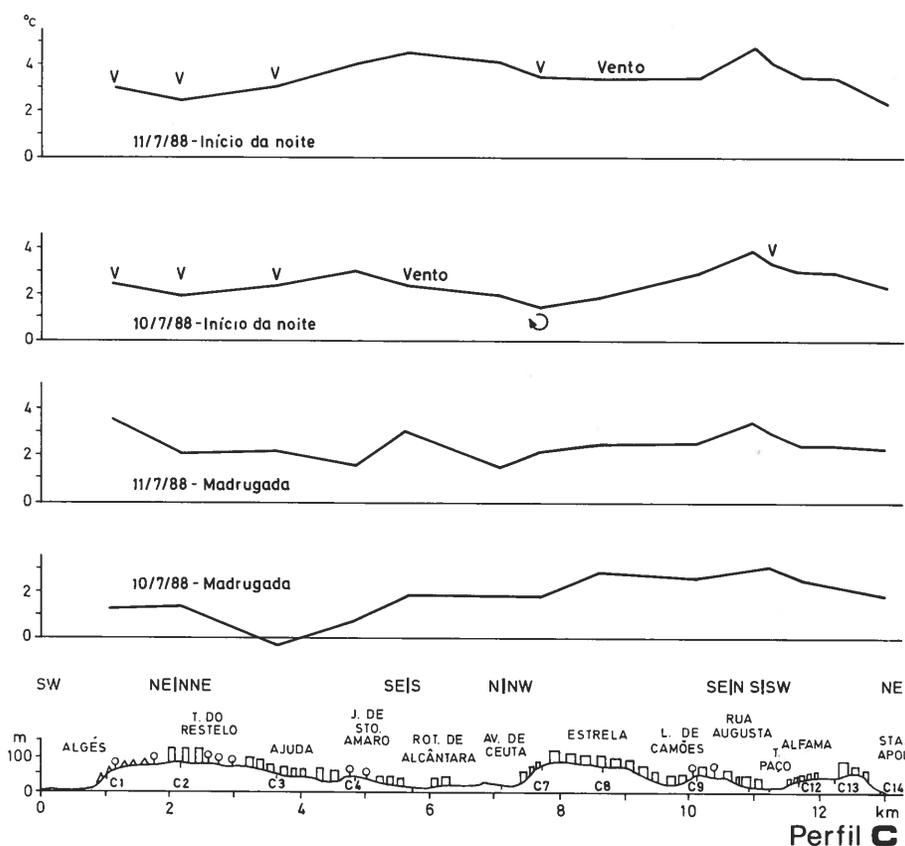


Fig. 6.32 — Perfis térmicos nocturnos a 10 e 11 de Julho de 1988, desvios térmicos em relação ao Aeroporto. (2.^a parte)

no entanto, que apesar de algumas diferenças que acabámos de referir, o padrão de repartição espacial da temperatura é semelhante nos vários casos. Apresentam-se os valores medianos dos desvios de temperatura no perfil e mapa das figuras 6.34 e 6.35. Note-se a forma tentacular da ilha de calor e o facto do litoral oriental de Lisboa ser mais quente do que o litoral SW, tal como acontece durante o dia.

4 — A temperatura em Lisboa em dias de Inverno

4.1 — Diferença de temperatura máxima entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração.

Nos dias de Inverno, as diferenças de temperatura entre Lisboa (Geofísico) e os arredores próximos são fracas.

No grupo 1 dias muito frios, (a diferença de temperatura entre Lisboa e as estações dos limites da aglomeração é insignificante) (Quadro 6.6). A observação dos dados quotidianos não revelou variações significativas das diferenças de temperatura em dias frios anticiclónicos ou perturbados, tal como acontece para as temperaturas mínimas.



Fig. 6.33 — Média dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto nas noites de 10 e 11 de Julho de 1988.

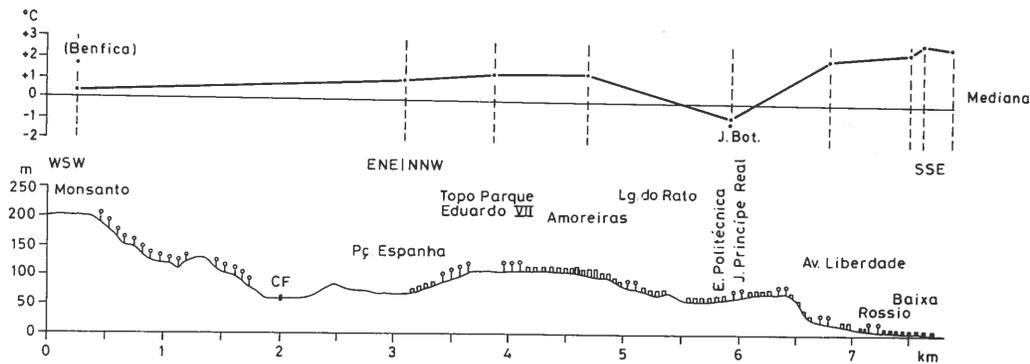


Fig. 6.34 — Mediana dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Verão (perfil Monsanto-Terreiro do Paço).

Nos grupos 2a e 3a, em que se incluem a maior parte dos dias de nevoeiro nos Vale e Estuário do Tejo, Lisboa/Tapada está mais quente do que as restantes estações meteorológicas aqui consideradas. As temperaturas são mais baixas junto ao estuário, a montante de Lisboa. Em 2a e 3a o Vale do Tejo encontra-se mais frio do que o litoral ocidental, os períodos de calma, à superfície, alternam com outros de vento de NE, Este, às vezes de Sul; a estabilidade da atmosfera é grande (70% de inversões baixas, às 12h, em Lisboa/Portela).

Em média, a cidade apenas está mais quente que os locais utilizados como termos de comparação (sobretudo Lisboa/Portela) nos dias dos grupos 2b e 3b, os mesmos em que o litoral está particularmente fresco, como foi referido atrás. Nestes dias, o vento sopra, moderado, do quadrante Norte, e a nebulosidade, variável, é mais forte no litoral a Ocidente de Lisboa. As temperaturas mais altas do Geofísico não parecem ser devidas a um efeito urbano particular mas, pelo contrário, ao relativo abrigo do centro da cidade das massas de ar que provocam as baixas temperaturas do litoral.

Nos raros dias quentes do grupo 4, de fluxo de Sul e frequentes calmas ou ventos do quadrante Este, à superfície, a temperatura é ligeiramente mais baixa no centro da cidade do que na periferia (Quadro 6.6). A ausência de vento e a grande estabilidade da atmosfera certamente favorecem a formação de neblinas e a concentração de poluentes à superfície, o que contribui para o menor aquecimento do núcleo central da aglomeração.

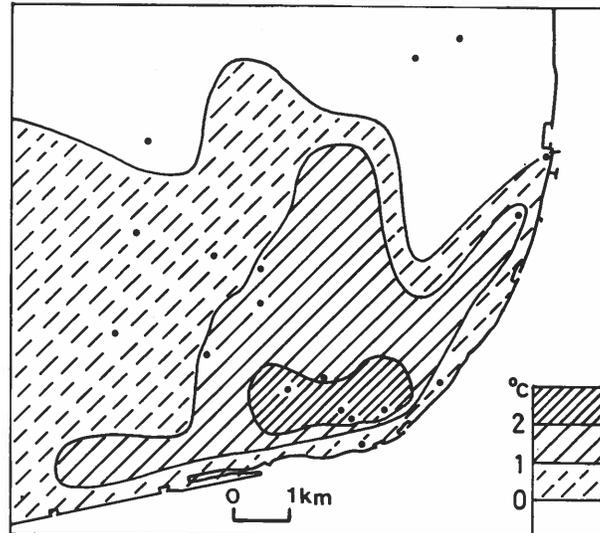


Fig. 6.35 — Mediana dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Verão.

	L — CV		L — L/P		L — L/T		\bar{x}
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	
1	-0.5	0.6	0.5	0.6	-0.2	0.6	0
2a	0.1	0.9	0.5	1.0	-0.7	0.9	0
2b	0.2	0.9	0.9	0.6	0.6	0.6	0.6
3a	-0.2	1.1	0.3	0.5	-0.6	0.5	-0.2
3b	0.2	1.0	0.6	0.6	0.2	0.6	0.3
4	-0.2	0.2	-0.2	0.3	-0.6	0.2	-0.3
\bar{x}	-0.1		0.4		0.2		0

Quadro 6.6 — Diferenças de temperatura máxima de Inverno entre Lisboa (Geofísico: L) e três estações dos limites da aglomeração (°C).

CV: Cabo Ruivo

L/P: Lisboa/Portela

L/T: Lisboa/Tapada

1 a 4: grupos individualizados no capítulo 4

4.2 — Observações itinerantes

Situam-se as medições itinerantes, exactamente como no caso anterior (Quadro 6.7 e fig. 6.36).

Tal como no Verão, embora por outras razões, notam-se grandes variações interdiurnas do padrão de temperaturas, a meio da tarde. Em ocasiões de vento forte do quadrante Norte, o Centro da cidade, abrigado, atinge as temperaturas mais altas do espaço urbano. Pelo contrário, em dias de nevoeiro, é notável a diminuição de temperatura em direcção ao Centro e restante área ribeirinha. Começar-se-á pela descrição dos resultados dos dias em que a temperatura é mais alta no Centro.

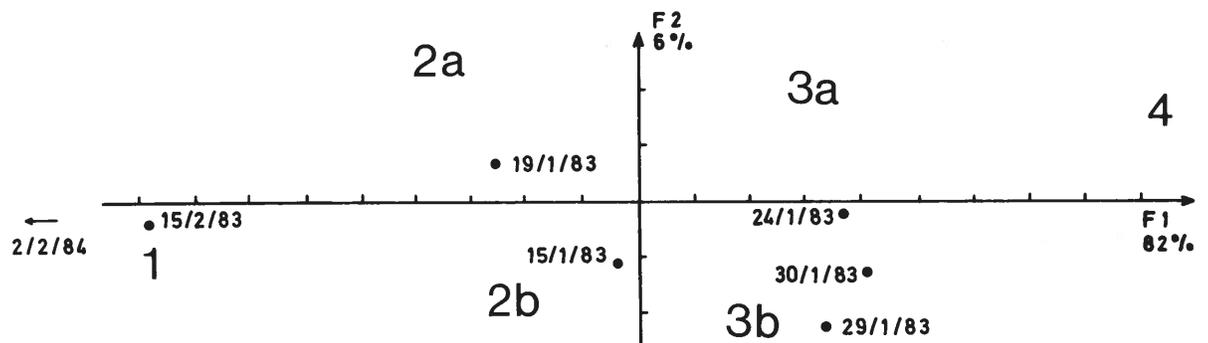
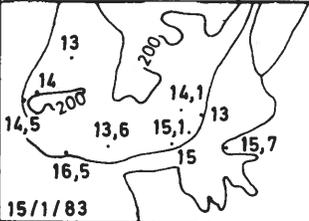
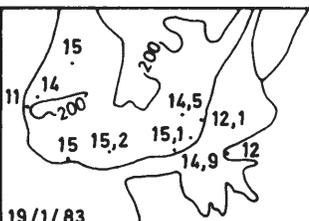
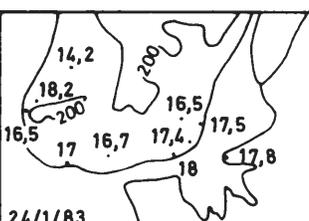
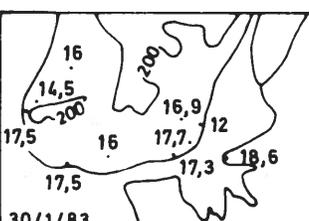
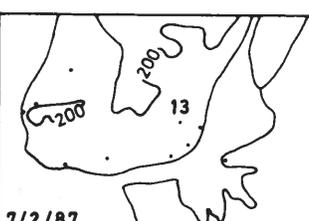


Fig. 6.36 — Projecção dos dias em que se efectuaram medições em Lisboa no plano 1-2 (ACP aplicada a uma matriz de temperaturas máximas de Inverno, ver capítulo 4).

Quadro 6.7 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nos dias de observações de terreno em Lisboa (Inverno).

Temperatura máxima(°c)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P 12h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 12h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 6h	às 12h	às 18h				
 15/1/83	350 14,8 0	180 7,4 1	20 13 0	79	2(2,2)	A.misto	Nevoeiro:—
 19/1/83	0 0 7	60 3,7 0	340 11,1 5	97	1(1,4)	A.NE	Nevoeiro: Sintra/Granja,Cabo da Roca, Lisboa/Portela, Lisboa/Tapada e Oeiras/Sassoeiros(das 6h às 12h) Lisboa(das 0h às 12h) Montijo/B.A.(das 6h às 18h)
 24/1/83	60 9,3 8	80 7,4 8	80 3,7 1	74	2(5,2)	Trans.b	Nevoeiro: —
 30/1/83	30 7,4 4	340 11,1 3	10 18,5 0	80	2(8,2)	A.misto	Nevoeiro: Montijo/B.A. (das 6h às 12h)
 7/2/87	C O O	80 3,7 NEV.	C O O	99	1(4,4)	A.NE	Nevoeiro em Lisboa/Portela entre as 0 e as 12h. Não foram recolhidas as observações das outras estações meteorológicas.
Rumo do vento em graus			Legenda das colunas 5 e 6 no fim				
Velocidade do vento em Km/h							
Nebulosidade em oitavos							

Ver legenda na página 219.

No dia 15 de Janeiro 1983, o vento provinha de Norte nos locais onde se efectuaram observações (embora soprasse de Sul, às 12h, no Aeroporto, Quadro 6.7). Observa-se nos perfis das figuras 6.37, 6.38 e 6.39 que, tanto nas observações ao Sol, como à sombra, em Monsanto e Benfica, a temperatura é igual à do Aeroporto, sendo máxima em toda a área ribeirinha (2° C superior à da estação de referência). Nos locais onde a direcção do vento era constante, ele provinha de Norte ou de Oeste (canalizado, por exemplo, na «Phillips»). Os locais junto ao rio ficam protegidos da massa de ar relativamente fresca e húmida (79% às 12 horas em Lisboa/Portela, 79% em Monsanto e cerca de 60%, junto ao rio, na altura das observações). A cidade actua, portanto, como um obstáculo, e as temperaturas são mais altas por efeito de abrigo. Este dia pertence ao grupo 2b (fig. 6.36), em que não há grandes diferenças de temperatura na região considerada, permanecendo, no entanto, o litoral ocidental mais fresco (Quadro 6.7); corresponde a 6% da amostragem (Quadro 4.8).

A 24 de Janeiro, a nebulosidade de 8/8 em Lisboa/Portela, às 12h, diminuiu no decurso das medições, o que, de modo nenhum, constitui um factor favorável à comparação das temperaturas: um valor mais alto pode apenas ser devido a uma diminuição temporária da nebulosidade. Mas os resultados obtidos parecem lógicos e são, por isso, apresentados. Estando Portugal em situação de transição entre um anticiclone na Europa Central e uma depressão sobre o Atlântico, o vento de gradiente provinha de Leste (Quadro 6.7). Observou-se um aumento de temperatura em direcção ao centro da cidade, atingindo-se o máximo na Rua Augusta, apesar da ligeira brisa do rio. Notar o forte aumento de humidade na Rua Augusta e no Terreiro do Paço (fig. 6.37). Durante o dia e, ao contrário do que acontece no Verão, a margem SW de Lisboa, é menos fria do que a margem NE. Este dia pertence ao grupo de transição 3a-3b, em que as temperaturas não são muito baixas, mas o padrão térmico regional é pouco característico (dia mal representado por F₂); engloba 22% da amostragem. O padrão térmico correspondente aos dias 15 e 24 de Janeiro (cujas médias estão expressas nas figuras 6.43 e 6.44) poderá ser generalizado a 28% dos dias (6% do grupo 2a e 22% do grupo 3a-3b).

No dia 30 de Janeiro (Grupo 3b, 11%), em situação de anticiclone misto, a nebulosidade era fraca, e o vento, fraco também, soprava de NE em Lisboa/Portela. Houve nevoeiro no estuário do rio Tejo como o prova a sua observação no Montijo (entre as 6 e as 12 h, Quadro 6.7). Em vez do esperado aquecimento no Centro, nota-se uma diminuição de temperatura. Monsanto e os interflúvios do sector setentrional da cidade têm mais 1°C do que o Aeroporto, estando a Avenida da Liberdade e a Baixa 2 a 3°C mais frescas do que a estação de referência. A humidade relativa passa de 58% na Rua da Escola Politécnica, para 76% na Avenida da Liberdade e 87% no Terreiro do Paço. Note-se, na figura 6.37 que o vento soprava de Sul no topo do Parque Eduardo VII (n° 3, perfil de 30/1/83) o que sugere a advecção de ar estuarino até este local a 100 metros de altitude e a cerca de 2 km do rio. O mapa do dia 30 (fig. 6.39) ilustra o aumento de temperatura de SE para NW (quase independentemente da presença da cidade). Na Cruz Quebrada, a temperatura era 2°C superior à do Aeroporto e a humidade relativa de 56%! Trata-se de um caso de nevoeiro no troço montante do estuário do Tejo e em parte da sua margem esquerda, tendo apenas havido neblina a Sul, SE e Este da cidade de Lisboa.

Nos dias 19 de Janeiro 1983 e 7 de Fevereiro 1987, a repartição térmica espacial da temperatura era semelhante à do dia 30, mas Lisboa esteve envolvida em denso nevoeiro durante a madrugada e a manhã.

Enquanto a 19/1/83, o nevoeiro que fora cerrado, no Aeroporto, até cerca das 11h, tinha começado a levantar (a humidade relativa desceu de 85% para 70%, no decurso das observações, fig. 6.40), a 7/2/87, o nevoeiro só desapareceria às 15h, na estação de referência, aumentando a temperatura do ar de 7 para 8.5°C; a máxima só se viria a alcançar às 17h, muito tarde para esta época do ano (fig. 6.41). Por esta razão, há grandes desvios positivos em certos locais, nas medições de 7 de Fevereiro, feitas entre as 11h30 e as 13h25. Tanto num caso como noutro, um anticiclone atlântico, prolon-

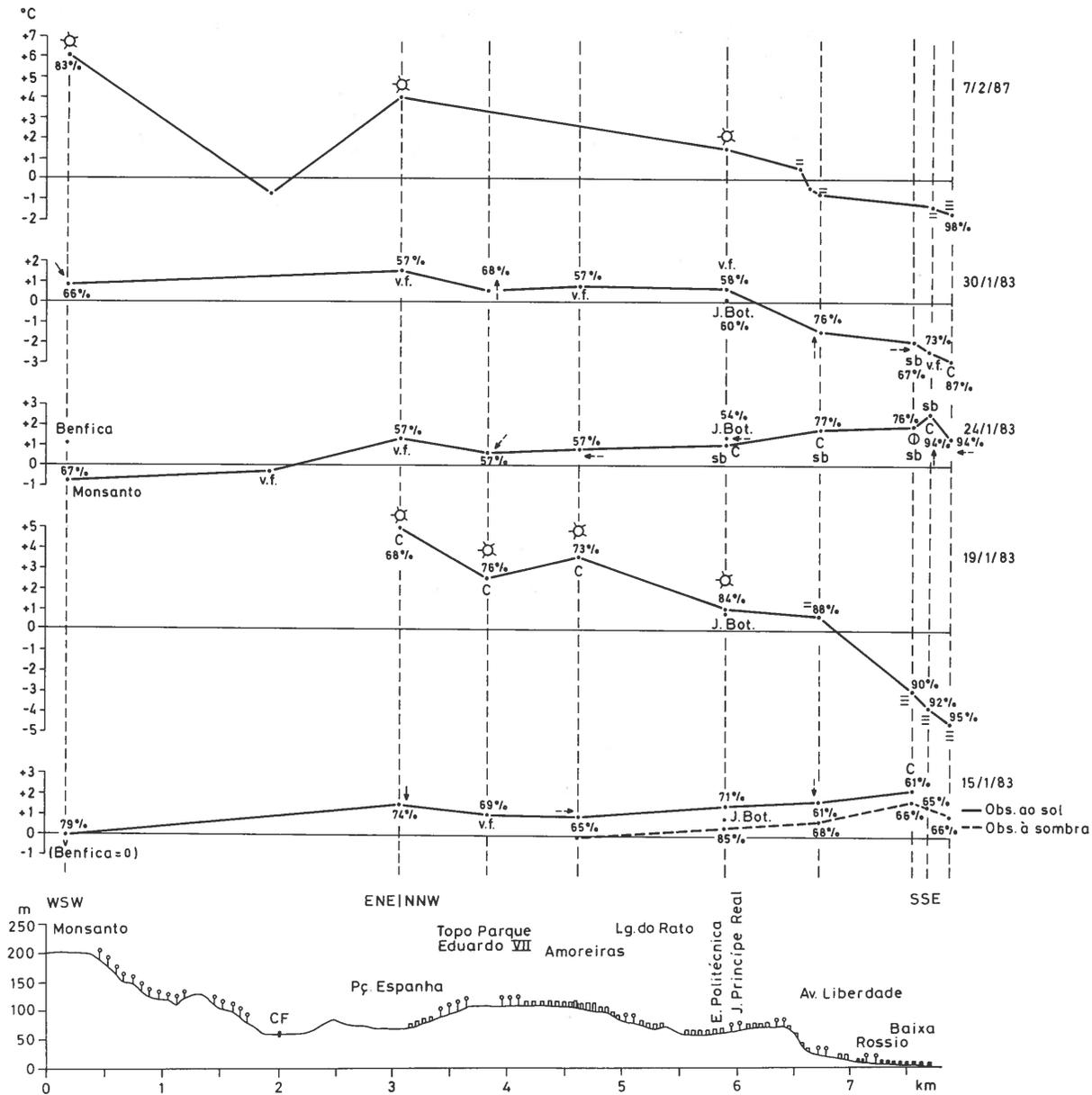


Fig. 6.37 — Perfis térmicos em dias de Inverno (Monsanto-Terreiro do Paço): desvios térmicos em relação ao Aeroporto.
 Legenda no fim do capítulo

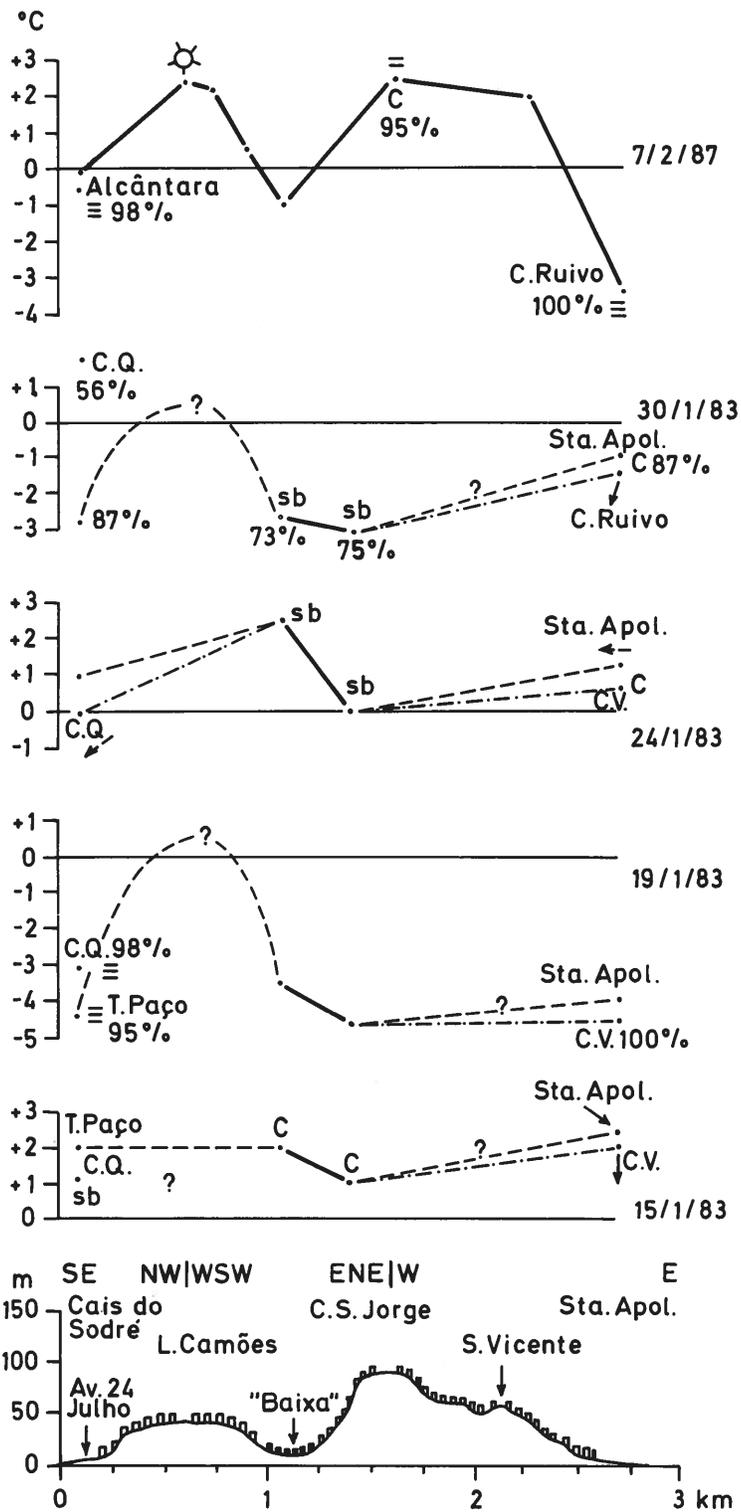


Fig. 6.38 — Perfis térmicos em dias de Inverno (Av. 24 de Julho-Santa Apolónia): desvios térmicos em relação ao Aeroporto.
 Legenda no fim do capítulo

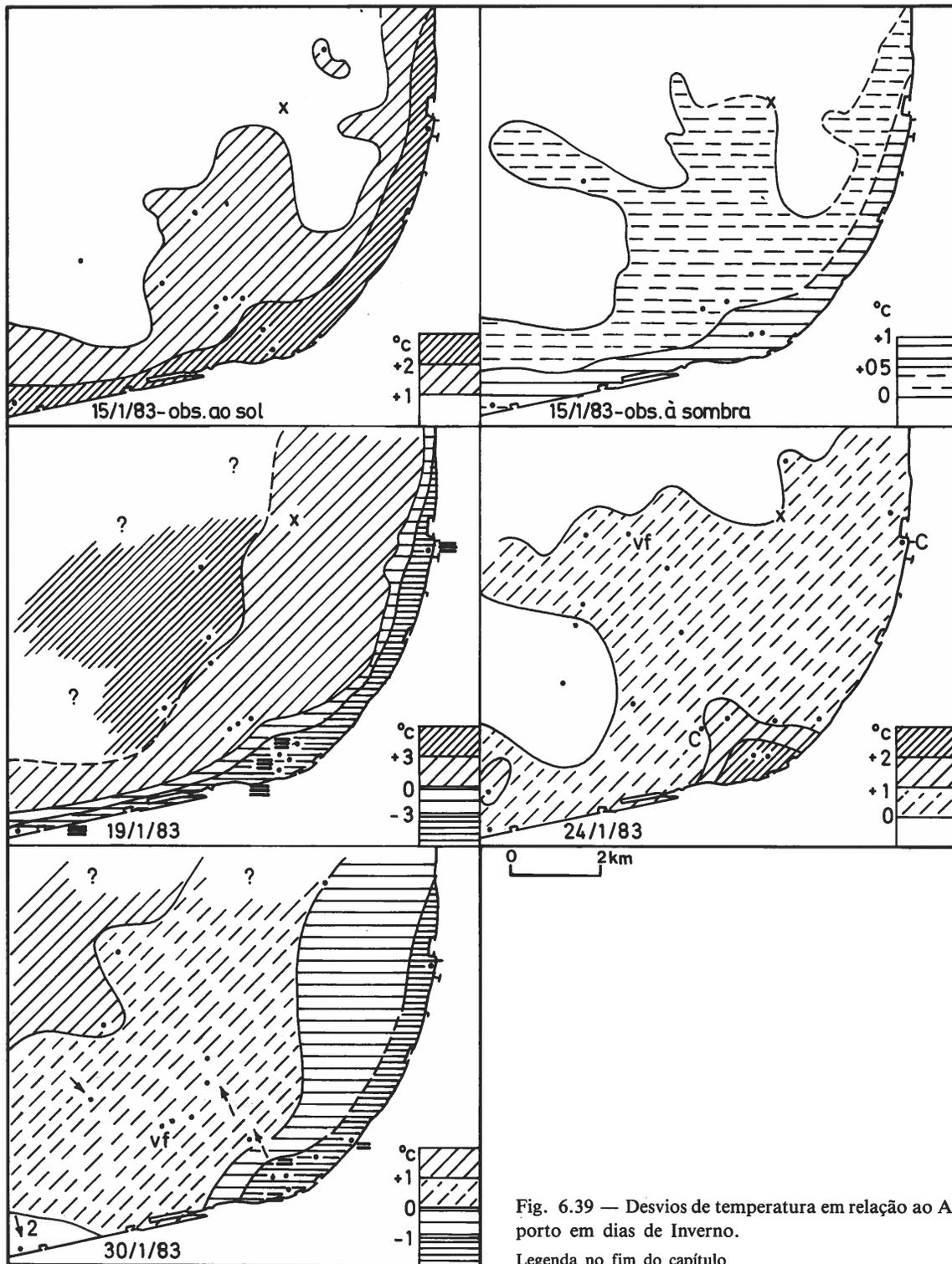


Fig. 6.39 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em dias de Inverno.

Legenda no fim do capítulo

gando-se para NE, pela Europa ocidental, originou calma, uma grande estabilidade da atmosfera (inversão junto ao solo, às 12h em Lisboa/Portela de 1.4°C a 19/1 e de 4.4°C a 7/2, Quadro 6.7).

A 19 de Janeiro de 1983, a temperatura diminui gradualmente em direcção ao Centro, aumentando a humidade. As observações mais setentrionais foram feitas ao Sol; na Rua da Escola Politécnica já havia neblina e a humidade relativa era de 84%. Persistia também neblina na Avenida da Liberdade e nevoeiro cerrado nas ruas da Baixa, onde as temperaturas eram inferiores em mais de três graus ao Aeroporto. Repara-se, no mapa da figura 6.39, que os desvios negativos e o nevoeiro se restringem, durante as observações, a uma estreita faixa litoral. A projecção desta data encontra-se, na figura 6.36, próximo do grupo 2a (dias de nevoeiro persistente no vale e estuário do Tejo, 6% da amostragem). Não está incluído no grupo porque, como o nevoeiro «levantou», a temperatura (critério de classificação, no capítulo 4) aumentou a seguir.

A 7 de Fevereiro 1987, entre as 11 e as 13h, estava Sol no trajecto habitual (fig. 6.37) até à Rua da Escola Politécnica, com a excepção da base da vertente Este de Monsanto, em que havia neblina e a temperatura era muito mais baixa. O desvio de +6°C em Monsanto, entende-se pela persistência do nevoeiro na estação de referência, como foi dito atrás. Como no caso anterior, anotou-se a existência de neblina na Avenida da Liberdade, e o nevoeiro só era cerrado no Terreiro do Paço (humidade relativa de 98% fig. 6.42). Se, em Alcântara, o nevoeiro era também muito espesso, já 500 metros a Norte, na Avenida de Ceuta, apenas havia neblina e a temperatura era mais elevada do que na Baixa, também com neblina e onde a humidade relativa era de 95%. Às 13h, no Campo Grande, a temperatura, que era de 11°C, decrescia muito rapidamente ao longo da Avenida do Brasil (7.5°C, em frente do Hospital Júlio de Matos, 6.7°C na Rotunda do Aeroporto). Em Cabo Ruivo, a temperatura era inferior em 6°C à do Aeroporto e a humidade relativa atingia 100%. A visibilidade não ultrapassava 30 metros e não havia vento. Na véspera do dia de observações, 6 de Fevereiro, de manhã cedo o nevoeiro restringia-se às zonas ribeirinhas, penetrando mais facilmente no sector oriental de Lisboa; havia nevoeiro no Campo Grande enquanto em Sete Rios, mais alto, o Sol brilhava. Soube-se que o nevoeiro persistiu longamente na margem Sul. Nestas circunstâncias,

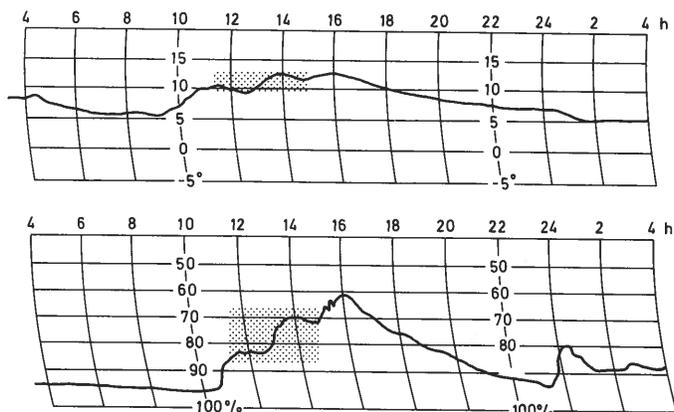


Fig. 6.40 — Registo do termo-higrógrafo de Lisboa/Gago Coutinho a 18 e 19 de Janeiro de 1983.

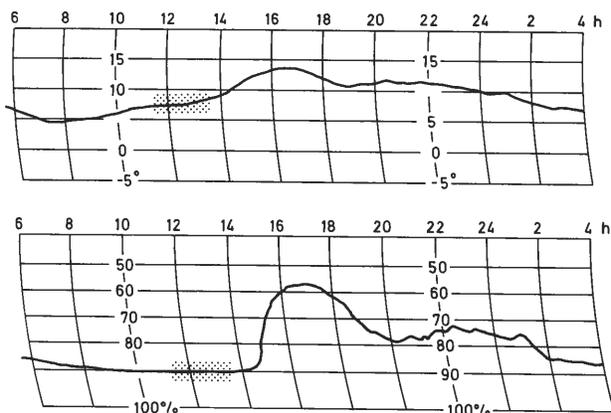
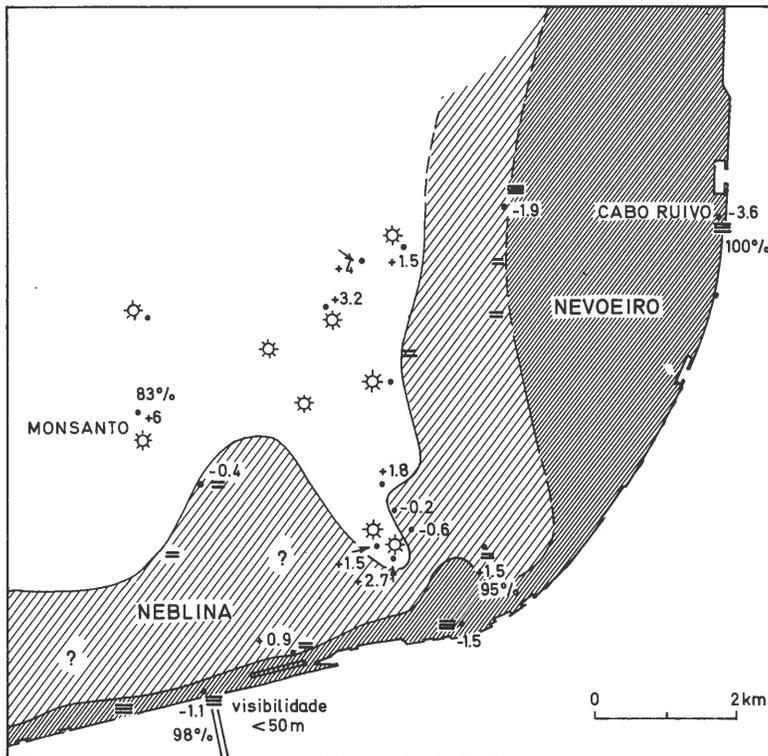


Fig. 6.41 — Registo do termo-higrógrafo de Lisboa/Gago Coutinho a 7 e 8 de Fevereiro de 1987.



- ≡ Nevoeiro cerrado
- ≡ Neblina
- ☀ Céu limpo
- 100% Humidade relativa
- +6 Temperatura relativa a Lisboa/Gago Coutinho (°C)

Fig.6.42 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto e nevoeiro no fim da manhã de 7 de Fevereiro de 1987.

urbana: os bairros do Centro e da restante área ribeirinha são então os mais frios da cidade; a frequência de ocorrência dessa situação deverá ser superior a 6% dos dias de Inverno (*), mas considera-se do maior interesse a multiplicação de percursos deste tipo. Repare-se que não se possui informação para cerca de 66% dos dias de Inverno. As novas observações permitirão detectar outros padrões de repartição térmica espacial ou levarão a rever os valores frequenciais agora apresentados a título indicativo.

(*) Não se incluem aqui os dias do grupo 3b, pois o dia estudado (30/1/83) tem características particulares.

pode haver, no interior do espaço urbano de Lisboa, diferenças de temperatura superiores a 10°C. Monsanto foi, no dia das observações o local de temperatura mais elevada.

Nas figuras 6.43 e 6.44, apresenta-se a síntese do que até aqui foi analisado. Como acontecia para as máximas de Verão, o mapa e o perfil da mediana das diferenças de temperatura não têm significado concreto. Em valor mediano, as diferenças de temperatura em Lisboa variam entre 0 e 1, se exceptuarmos a Baixa, o Terreiro do Paço e Cabo Ruivo, com desvios negativos e a Praça de Espanha, com mais fortes desvios positivos.

Apresentam-se as médias dos dias 15 e 24 de Janeiro de 1983, de vento e humidade relativa baixa e as dos dias 19 e 30 de Janeiro 1983 e 7 de Fevereiro 1987, separadamente. No primeiro caso, verifica-se o efeito de abrigo atrás referido, com aumento de temperatura para o centro da cidade. Esta situação corresponde a pelo menos 28% dos casos, como se viu atrás.

Pelo contrário, no segundo caso, a advecção de ar frio e húmido estuarino condiciona a temperatura da baixa atmosfera

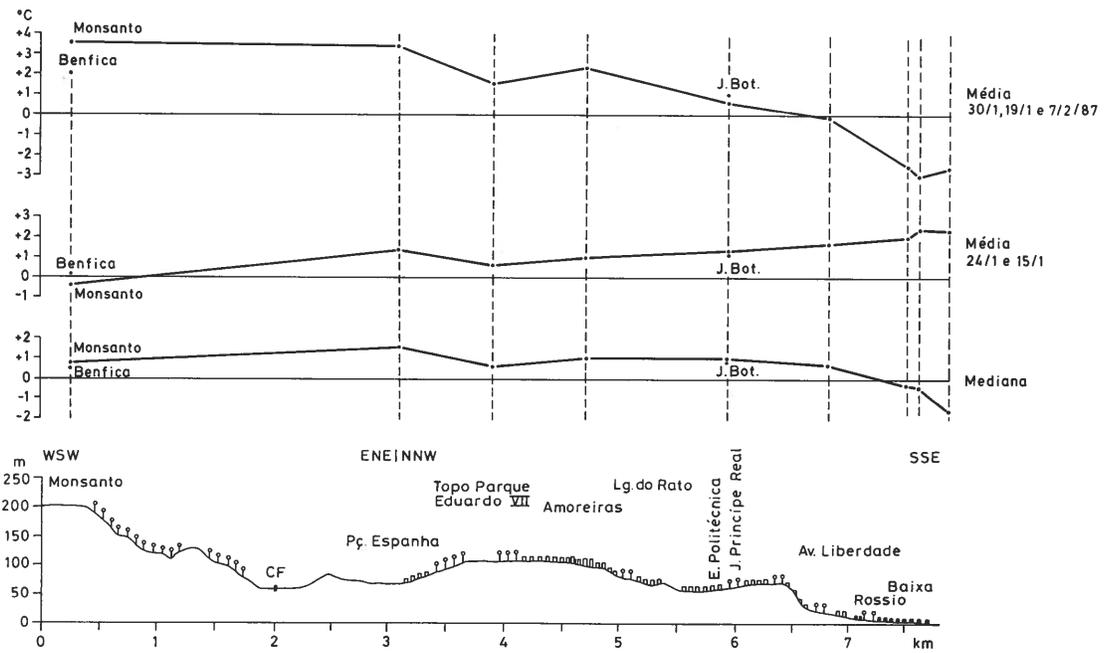


Fig. 6.43 — Média e medianas dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto, em dias de Inverno.

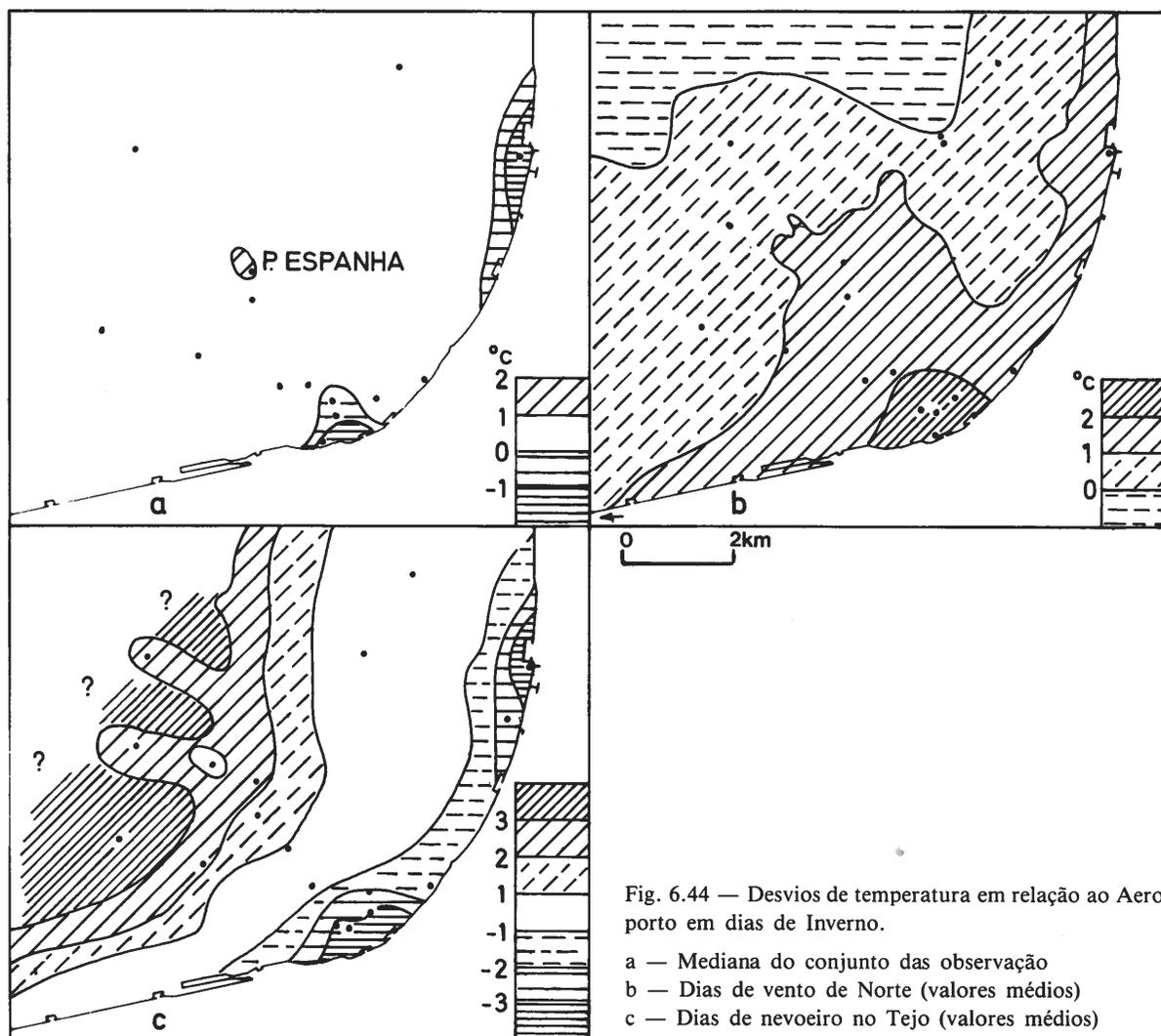


Fig. 6.44 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em dias de Inverno.

- a — Mediana do conjunto das observação
 b — Dias de vento de Norte (valores médios)
 c — Dias de nevoeiro no Tejo (valores médios)

5 — A temperatura em Lisboa em noites de Inverno

5.1 — Diferença de temperatura entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração.

Nas noites de Inverno, Lisboa (Geofísico) está frequentes vezes mais quente do que as estações meteorológicas dos arredores próximos. Como nos exemplos anteriores, o valor e o sinal das diferenças variam consoante o tipo de tempo e a estação escolhida como termo de comparação.

Lisboa (Geofísico) está sempre mais quente do que Lisboa/Portela, e, frequentemente, apresenta temperaturas mínimas superiores às de Lisboa/Tapada e Cabo Ruivo (Quadro 6.8).

O grupo 1 é constituído por duas populações diferentes, embora de temperaturas mínimas muito baixas (fig. 4.16, capítulo 4). Na análise, separaram-se os 5 dias que correspondem a situações depressionárias (1''), dos 10 dias anticiclónicos (1'). As diferenças positivas atingem maior

valor absoluto no segundo caso (diferença média mais elevada: 1.5°C entre o Jardim Botânico e o Aeroporto).

Nos grupos 2a e 3a, noites de maiores contrastes térmicos espaciais, Lisboa (Geofísico) permanece relativamente quente. Relembre-se que se tratam de noites sem nebulosidade e de ventos fracos, do quadrante Este (NE e Este, no grupo 2a e Este e SE em 3a). A diferença média é de 1.1°C nas noites do grupo 2a (1.4°C de diferença entre o Geofísico e Lisboa/Portela) e de 0.5°C nas do conjunto 3a. Mesmo Cabo Ruivo arrefece bastante mais do que Lisboa (Geofísico), provavelmente devido à maior exposição aos ventos continentais do quadrante Este.

O aumento de temperatura no centro da cidade nas noites anticiclónicas do grupo 1, e nos conjuntos 2a e 3a, deve depender, mais do que no Verão, do calor de origem antrópica (aquecimento, circulação automóvel e indústria no NE da aglomeração) e, também, do fornecimento de calor armazenado durante os dias precedentes, de insolação duradoura para a época do ano (*). Note-se que, nestas ocasiões, havia calma ou que o vento soprava fraco do quadrante Este.

O Aeroporto continua mais fresco do que Lisboa (Geofísico), nas noites dos conjuntos 2b e 3b. Em Cabo Ruivo e Lisboa/Tapada (mais abrigados?) o ar conserva-se um pouco menos frio.

Nos dias do grupo 4, que correspondem a situações perturbadas de Sul, praticamente não há diferenças de temperatura no espaço urbano (Quadro 6.8).

	L — CV		L — L/P		L — L/T		\bar{x}
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	
1'	0	0.6	0.8	0.5	0.6	0.7	0.5
1''	0.4	1.0	1.5	0.9	0.6	0.7	0.8
2a	1.0	0.8	1.4	0.7	0.9	0.9	1.1
2b	- 0.3	0.8	0.5	0.3	- 0.6	0.8	- 0.1
3a	0.6	0.3	1.2	0.5	- 0.2	0.6	0.5
3b	- 0.6	0.9	0.3	0.4	0.1	0.8	- 0.1
4	0.1	1.1	0.3	0.4	- 0.2	0.3	- 0.2
\bar{x}	0.2		0.9		0.2		0.4

Quadro 6.8 — Diferenças de temperatura mínima de Inverno entre Lisboa (Geofísico: L) e três estações dos limites da aglomeração (°C).

CV: Cabo Ruivo

L/P: Lisboa/Portela

L/T: Lisboa/Tapada

1' a 4: grupos individualizados no capítulo 4

(*) Vejam-se, a título comparativo, os valores de radiação global, calculados para um dia de céu descoberto de meados de Fevereiro (Quadros 6.10 a 6.13).

5.2 — Observações itinerantes

Como nos casos anteriores, uma figura (6.45) e um quadro (6.9), têm como objectivo situar as observações de terreno e elucidar sobre o estado do tempo em cada ocasião.

Além do percurso habitual, seguiu-se, nalgumas noites, outros trajectos, procurando particularmente documentar a temperatura de Monsanto e dos bairros ribeirinhos a Ocidente de Lisboa. Não será dada, a cada passo, toda a informação disponível nos quadros e figuras, para não alongar demasiado o comentário.

Agrupam-se, seguidamente, as noites de semelhante padrão térmico urbano.

— Noites muito frias e ventosas: 11/2/83 e 21/1/83.

A noite de 11/2/1983 foi muito fria e está incluída no grupo 1 (subdivisão das situações anticiclónicas). O ar frio que alcançava Lisboa era transportado na circulação de um Anticiclone Atlântico que se prolongava para NE. O vento soprou de NNE, relativamente forte: 15 km/h em Lisboa/Portela, às 0h. Eram pequenas as diferenças de temperatura de local para local e muito fraca a intensidade da ilha de calor (temperatura pouco superior a 1°C na Baixa, figs. 6.46 e 6.48). A noite de 21 de Janeiro, do grupo 2b (fig. 6.45) foi um pouco menos fria que a anterior. O vento soprou, forte, durante a noite (18,5 km/h, às 6h, em Lisboa/Portela). A intensidade da ilha de calor pouco ultrapassou os 2°C, aumentando a temperatura gradualmente até à Baixa. A altitude de Monsanto conferiu-lhe um desvio térmico negativo. Nestes dois casos que representam cerca de 9% da população (situações anticiclónicas do grupo 1 e noites do grupo 2b), as temperaturas mais elevadas da Baixa são devidas não especialmente ao efeito urbano, mas à posição de abrigo do Centro em relação aos ventos de Norte. A comparação das temperaturas destas duas noites levam-nos a crer que, em noites muito frias (temperaturas mínimas próximas de 0°C) e ventosas a ilha de calor tende a esbater-se ou mesmo a desaparecer.

Outras observações de duas noites menos frias mas ventosas de 1984, confirmam que as temperaturas são mais elevadas no Vale de Benfica do que em Monsanto (7/2/84 e 11/2/84, fig. 6.51) e no Vale de Alcântara (sobretudo próximo da Rotunda) do que em Monsanto; nota-se, nas mesmas noites, a pequena diferença entre a temperatura do topo de Monsanto e a do Aeroporto.

— Noites frias e sem vento (17/1/83, 12/1/83, 12/2/84, 2/3/84)

A 17 de Janeiro (grupo 2a, fig. 6.45) e a 12 de Janeiro de 1983 (projecção próxima do grupo 2a), o vento soprava muito fraco de NE, a nebulosidade era variável, a humidade elevada e a atmosfera

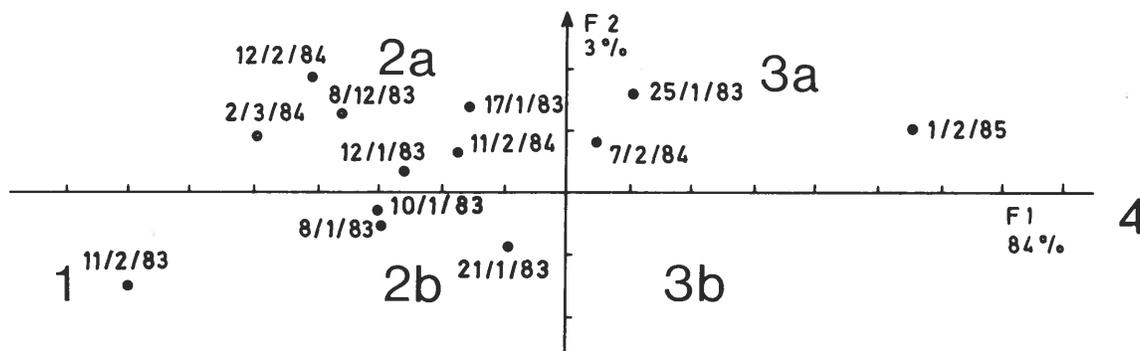


Fig. 6.45 — Projecção das noites em que se efectuaram medições em Lisboa no plano 1-2 (A.C.P. aplicada a uma matriz de temperaturas mínimas de Inverno, ver capítulo 4).

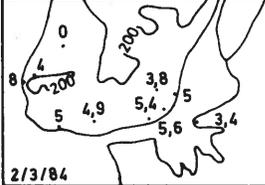
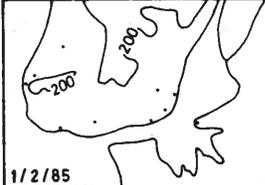
Quadro 6.9 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nas noites de observações de terreno em Lisboa (Inverno)

Temperatura mínima(°c)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P às 0h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 0h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 18h	às 0h	às 6 h				
 11/2/83	10 22,2 6	10 14,8 0	350 19 0	79	5	A.NE	Nevoeiro:—
 8/12/83	50 1,9 9	0 0 4	10 5,6 4			A.misto	Nevoeiro: Cabo da Roca (das 18h às 24h)
 7/2/84	350 18,5 0	350 7,4 0	360 14,8 0	-	-	A.misto	Nevoeiro:—
 11/2/84	50 7,4 0	50 16,7 0	60 3,7 0	-	-	A.NE	Nevoeiro:—
 12/2/84	30 11,1 0	350 7,4 0	0 0 0	-	-	A.Eu	Nevoeiro:—
 14/2/84	30 7,4 0	60 7,4 0	50 7,4 1	58	2(2,8)	A.Eu	Nevoeiro:—
	Rumo do vento em graus Velocidade do vento em Km/h Nebulosidade em oitavos				Legenda das colunas 5 e 6 no fim		

Temperatura mínima (°C)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P 0h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 0h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 18h	às 0h	às 6h				
 8/1/83	50 11,1 0	40 7,4 0	40 13 0	79	2(08)	A.NE	Nevoeiro:—
 10/1/83	30 7,4 2	40 7,4 0	40 7,4 0	74	1(10)	A.Eu	Nevoeiro:—
 12/1/83	0 0 5	60 14,8 0	30 5,6 6	87	1(20)	A.Eu	Nevoeiro: (Montijo/B.A. (das 0h às 6h)
 17/1/83	0 0 3	50 5,6 0	40 3,7 2	87	1(26)	Pant.	Nevoeiro:—
 21/1/83	70 14,8 6	70 13 0	60 18,5 0	74	2(22)	A.Eu	Nevoeiro:—
 25/1/83	50 5,6 4	60 3,7 0	60 7,4 0	55	1(22)	A.Eu	Nevoeiro:—

Rumo do vento em graus
Velocidade do vento em Km/h
Nebulosidade em oitavos

Legenda das colunas 5 e 6 no fim

Temperatura mínima(°c)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P 0h (‰)	Estrutura térmica da atmosfera às 0h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 18h	às 0 h	às 6 h				
 2/3/84	290 11,1 1	350 3,7 3	40 3,7 0	-	-	A.misto	
 1/2/85	40 3,7 0	60 3,7 0	60 7,4 0	-	-	A.Ia	
			Rumo do vento em graus Velocidade do vento em Km/h Nebulosidade em oitavos	Legenda das colunas 5 e 6 no fim			

Legenda

Estrutura térmica da atmosfera: indicação do nível isobárico correspondente à base da inversão térmica mais baixa. Entre parêntesis, a diferença de temperatura entre a base e o topo da inversão, caso esta tenha sido identificada.

1. Inversão junto ao solo
2. Base da inversão mais baixa, abaixo de 950 hPa
3. Base da inversão mais baixa entre 950 e 850 hPa
4. Base da inversão mais baixa entre 850 e 700 hPa
5. Ausência de inversão (até 700 hPa)

Situação sinóptica à superfície

- A. sub — Anticiclone atlântico subtropical
- A. misto — Anticiclone atlântico misto
- A. NE — Anticiclone atlântico misto prolongando-se para NE
- A. Eu — Anticiclone Europeu
- A. Im — Anticiclone Ibero-mediterrâneo
- A. Ia — Anticiclone Ibero-africano
- Dep. P. I. — Depressão na Península Ibérica
- Dep. T. P. I. — Depressão térmica na Península Ibérica
- CD — Outros centros depressionários
- Pert — Perturbações
- Pant — Pântano ou colo barométrico
- trans — Situação pouco clara ou de transição
 - trans. a:* entre anticiclone atlântico e depressão na Península Ibérica ou na Europa Ocidental (fluxo do quadrante N)
 - trans. b:* entre anticiclone Europeu ou no Mediterrâneo Ocidental e depressões no Atlântico Oriental, provindo o fluxo geral de Sul.
 - trans. c:* Numa região de pressão relativamente elevada, entre duas depressões, uma no Atlântico e outra no interior da Península Ibérica.

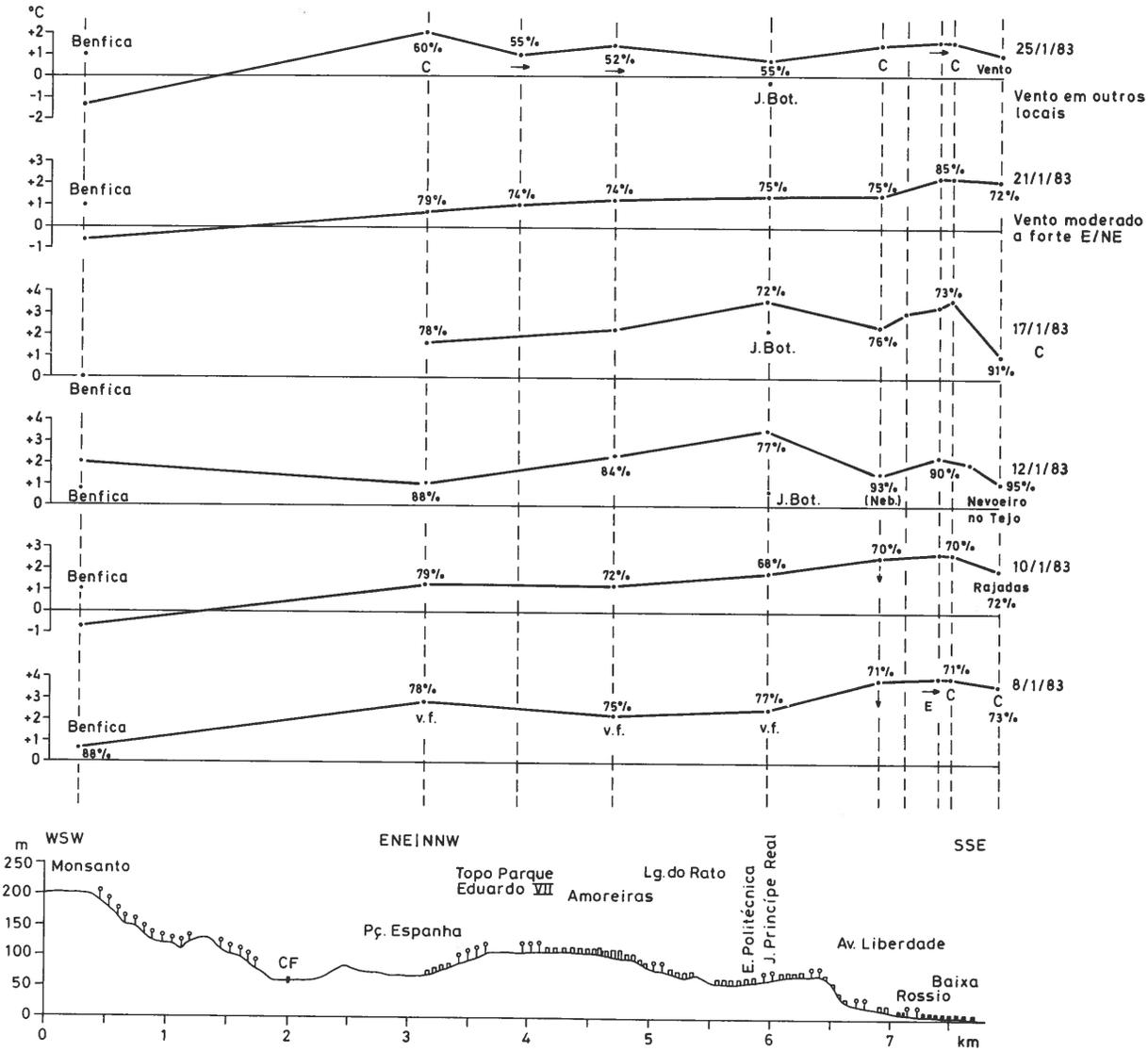


Fig. 6.46 — Perfis térmicos em noites de Inverno: desvios de temperatura em relação ao Aeroporto (1.ª parte, legenda no fim do capítulo).

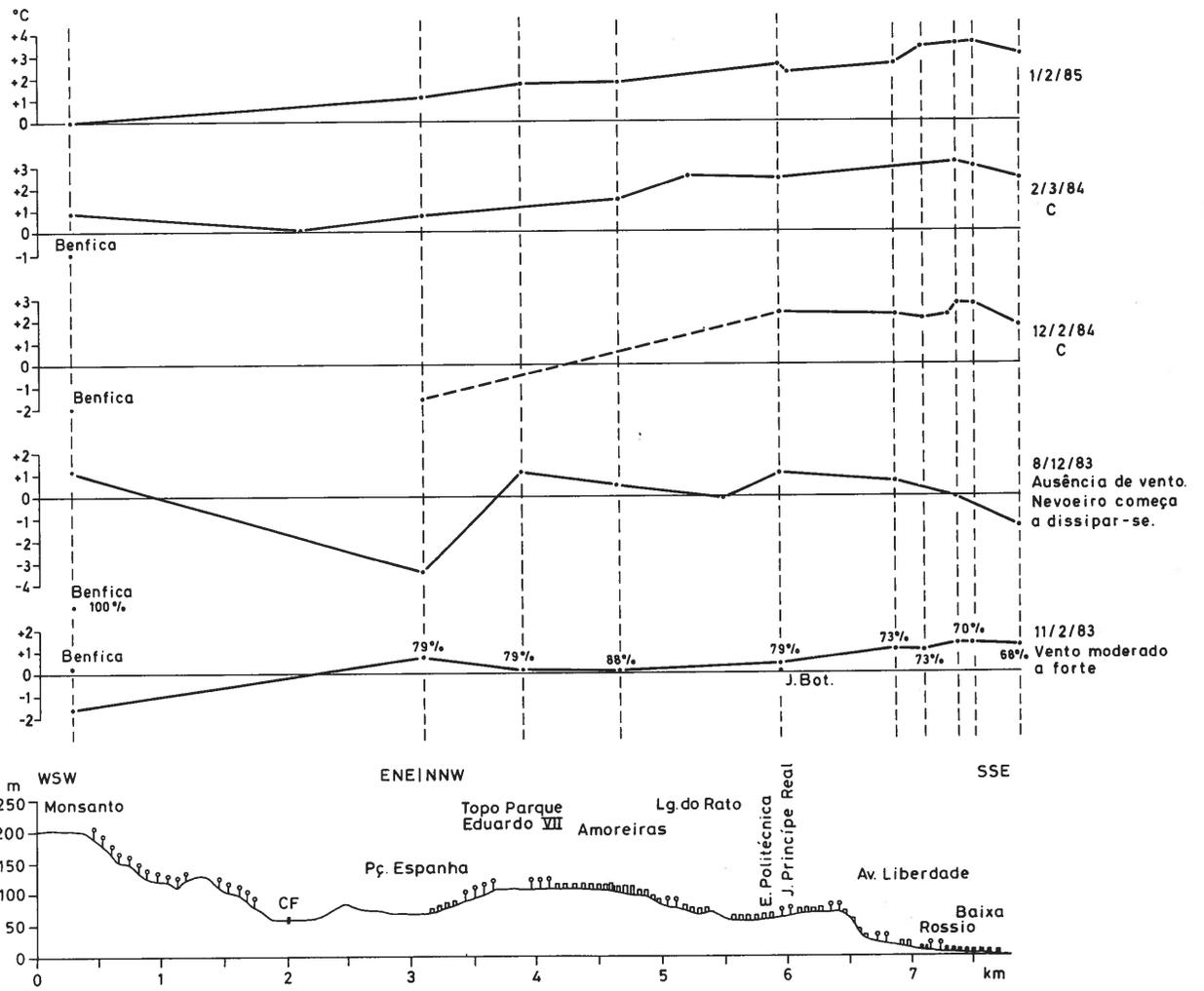


Fig. 6.46 — Perfis térmicos em noites de Inverno: desvios de temperatura em relação ao Aeroporto (2.^a parte, legenda no fim do capítulo).

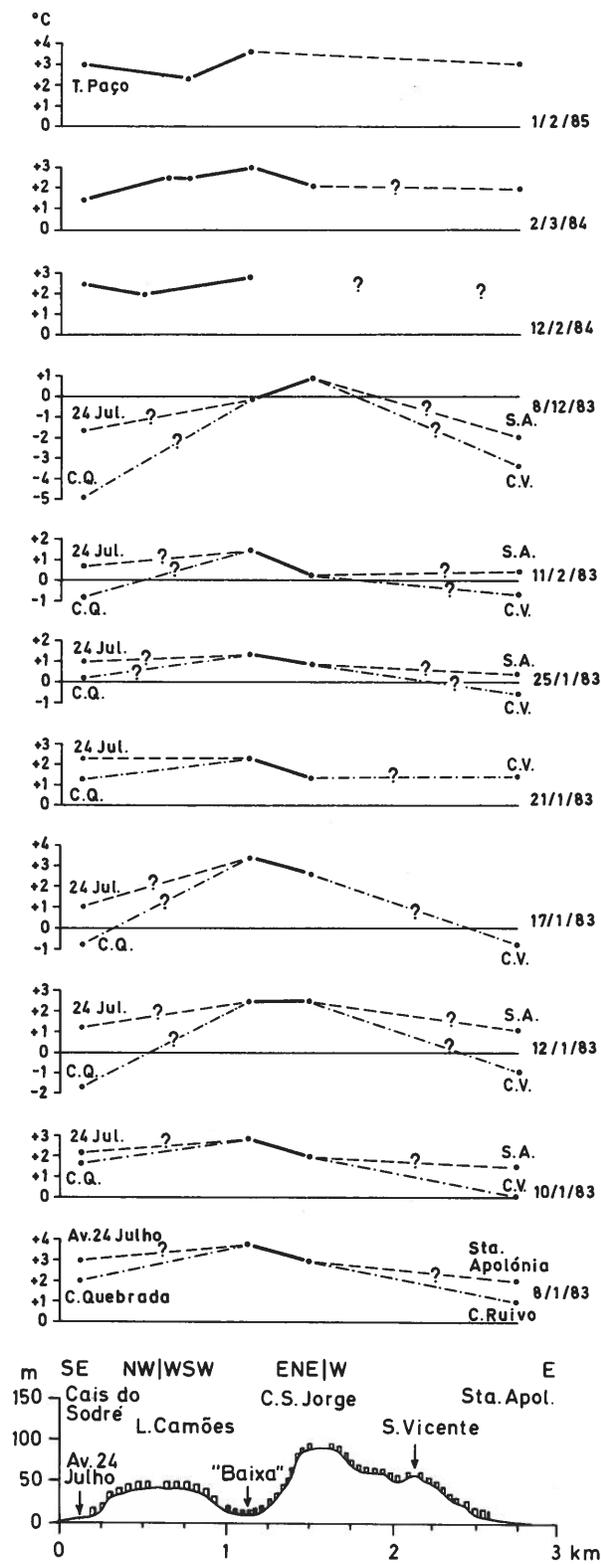


Fig. 6.47 — Perfis térmicos em noites de Inverno (Av. 24 de Julho-Santa Apolónia): desvios térmicos em relação ao Aeroporto.

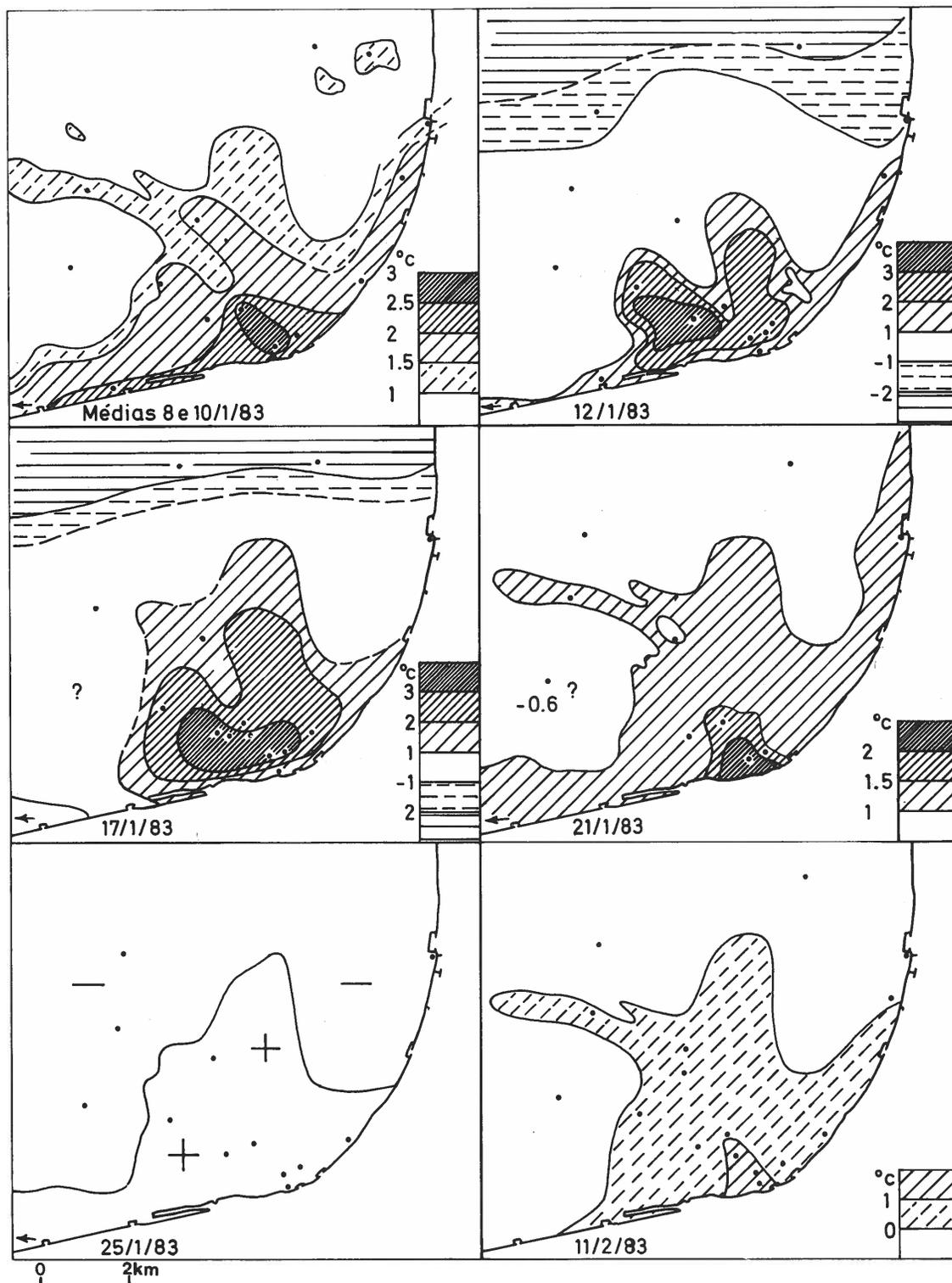


Fig. 6.48 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Inverno.

estável (Quadro 6.8). A 12/1/83, a humidade relativa era de 90% no Aeroporto e na Baixa, 95% no Terreiro do Paço. Via-se o nevoeiro no Tejo, tendo sido registado em Montijo/Base Aérea, durante a noite das observações. Havia grandes contrastes térmicos na Aglomeração, os arredores próximos estavam mais frios do que o Aeroporto e os bairros setentrionais com temperaturas semelhantes à estação de referência; existia um acentuado gradiente térmico entre os referidos bairros e os do Centro de Lisboa. Os interflúvios eram os locais mais quentes (+3.6°C na Rua da Escola Politécnica, +3.2°C na Rua do Comércio, e +2.8°C no Largo do Contador-Mor). Nos vales próximos, as temperaturas eram mais baixas: por exemplo, o Vale da Avenida da Liberdade estava 1 ou 2°C mais fresco que a Rua da Escola Politécnica dos dias 12 e 17/1/83 da figura 6.46. A temperatura do Cais do Sodré era igual à de Santa Apolónia e tanto Cabo Ruivo como a Cruz Quebrada apresentavam desvios negativos em relação ao Aeroporto (fig. 6.48).

Das observações de Fevereiro e Março 1984, em que se procurou documentar a variação espacial da temperatura a Ocidente da cidade (figs. 6.49 a 6.52), em dias de projecção próxima de 2a (12/2/83, 14/2/83 e 2/3/84, figura 6.45), sobressai:

— A existência de desvios térmicos bastante elevados (2 a 3°C) nos interflúvios, próximo do Tejo (por exemplo no Bairro de Santos, no Largo de Camões e em Campo de Ourique, ou mais distanciados como a W do Parque Eduardo VII (Rua Marquês da Fronteira e nas Avenidas Novas) em ocasiões de calma e humidade relativa elevada. Os bairros de construção antiga e densa, a Ocidente de Lisboa conservam também uma temperatura elevada (Ajuda e Belém)

— A muito baixa temperatura relativa do Vale de Alcântara, do de Benfica (nos locais onde a densidade de construção é fraca, sobretudo no sopé Norte de Monsanto), e nos vales da zona ainda não urbanizada a Oriente de Lisboa.

— A diminuição de temperatura do topo para a base das vertentes Norte e Este da Serra de Monsanto e um lento aumento na encosta Sul, que se torna mais rápido nos bairros da base da vertente, nomeadamente na Ajuda.

Tendo em conta o estudo do capítulo 4, poder-se-iam generalizar estas observações a cerca de 27% dos dias aí estudados (grupo 2a e transição 2a-2b).

— Situações de transição (8/1/83, 10/1/83)

Nos dias 8 e 10 de Janeiro 1983, o vento soprava de NE antes e durante as observações e a humidade era de cerca de 60% na cidade. A diferença de temperatura entre Monsanto e o Aeroporto era pequena, e notava-se um aumento progressivo de temperatura em direcção ao centro da cidade. A ilha de calor tinha uma forma tentacular e o seu núcleo situava-se na Baixa (pontos de observação da Rua Augusta e da Rua do Comércio), sendo fraca a diminuição no Terreiro do Paço. Santa Apolónia e Cais do Sodré apresentavam temperaturas semelhantes, mas Cabo Ruivo estava bastante mais fresco do que a Cruz Quebrada (fig. 6.48). Nas áreas urbanizadas a NE do Aeroporto, os desvios térmicos eram positivos. O facto dos vales do interior da cidade, como a Avenida da Liberdade, estarem relativamente quentes e do núcleo da ilha de calor se situar na Baixa e não nos interflúvios vizinhos parece ser devido ao vento um pouco mais forte do que nos casos anteriores e à menor humidade. As temperaturas seriam elevadas por efeito de abrigo. Com algumas dúvidas, aponta-se 12% como frequência de ocorrência deste tipo de noites.

— Noites de vento variável

A projecção da noite de 25 de Janeiro fica muito próxima do grupo 3a (5% da amostragem); as temperaturas eram bastante mais altas do que nos casos anteriores (quadro 6.9), sobretudo no litoral ocidental e a humidade relativa em Lisboa/Portela fraca (55% às 0h do dia 26, a seguir às observa-

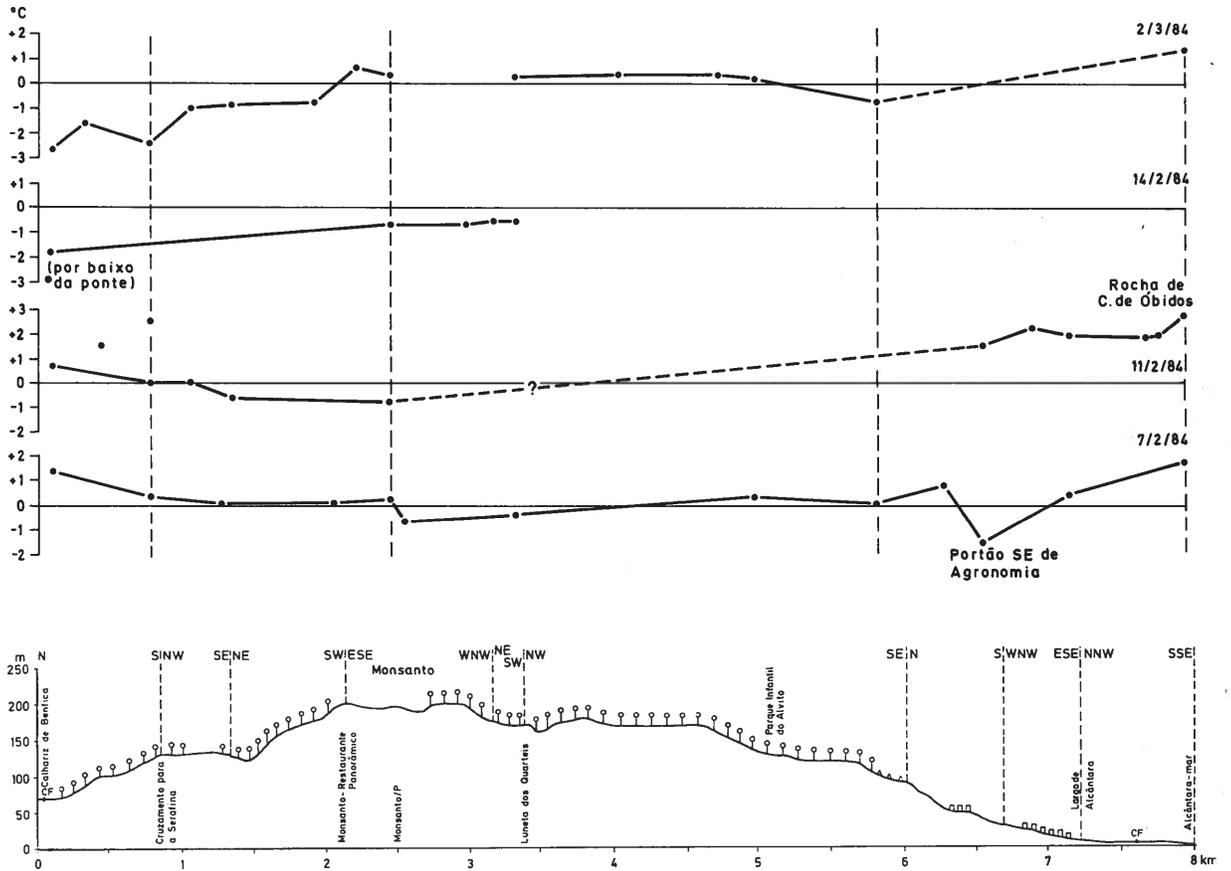


Fig. 6.49 — Perfis térmicos entre Benfca e Alcântara em noites de Inverno: desvios de temperatura em relação ao Aeroporto.

ções). As variações muito irregulares da temperatura na Aglomeração, não permitiram a sua representação cartográfica, tendo apenas sido traçado o limite entre as áreas mais quentes e as que estavam mais frescas do que o Aeroporto (fig. 6.48). As temperaturas variavam de local para local em sentido inverso ao da velocidade do vento, tendo-se registado o mais alto valor na Praça de Espanha (+2°C), onde havia calma. O vento soprava de Oeste, no momento das observações no topo do Parque Eduardo VII, na «Phillips» e na Avenida da Liberdade; o facto de se tratar de vento muito fraco (3.7 km/h, às 0h, em Lisboa Portela) explica que o rumo seja tão diferente não só daquele que foi registado no Aeroporto (NE), como no conjunto dos dias do grupo 3a (Este e NE). Em Monsanto, a temperatura conservou-se baixa (perfil na figura 6.46).

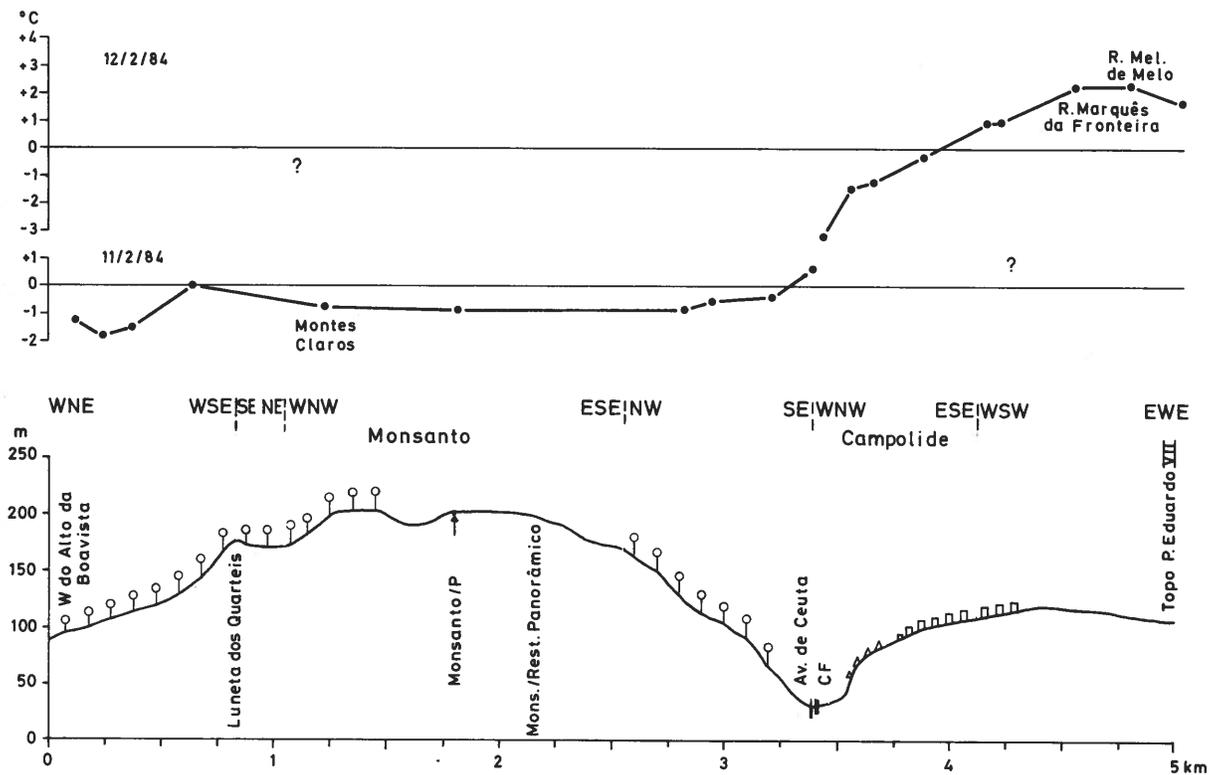


Fig. 6.50 — Perfis térmicos a Ocidente de Lisboa em noites de Inverno: desvios de temperatura em relação ao Aeroporto.

— Noite «quente» e sem vento

Na noite quente de 1/2/85 (coordenadas positivas para F1, projecção próxima de 3a, fig. 6.45), o efeito urbano é importante tal como o tinha indicado o estudo das diferenças médias dos dias daquele grupo. O vento é muito fraco de Leste, não havendo dados da sondagem nem de humidade relativa. A influência de massas de ar transportadas na circulação de um anticiclone ibero-africano explica temperaturas anormalmente elevadas nesta altura (17°C no Terreiro do Paço foi o valor mais alto medido).

Os numerosos pontos de observação (fig. 6.53), permitem concluir que:

— A temperatura aumenta em direcção ao Centro sendo máxima junto ao rio e nas áreas ribeirinhas próximas daquele, e não na Baixa.

— Os locais não construídos em posição deprimida estão mais frios que os interflúvios próximos: Parque Eduardo VII, depressão ortoclinal a Norte da Pontinha, Vale de Alcântara.

— Nos vales construídos a temperatura não diminui tanto.

— Há um aumento de temperatura nas áreas de grande densidade de construção da periferia (Pontinha, Carnide); já foram apresentados perfis que documentam esta anomalia (M. J. ALCOFORADO, 1986).

— Monsanto está à mesma temperatura que o Aeroporto.

Finda a descrição dos diferentes padrões térmicos detectados, sintetizam-se os resultados obtidos, registando-se a mediana dos desvios da temperatura entre os vários pontos de observação e Lisboa/Gago Coutinho (fig. 6.54 e 6.55). Como o núcleo da ilha de calor se situa alternadamente na Baixa e nos

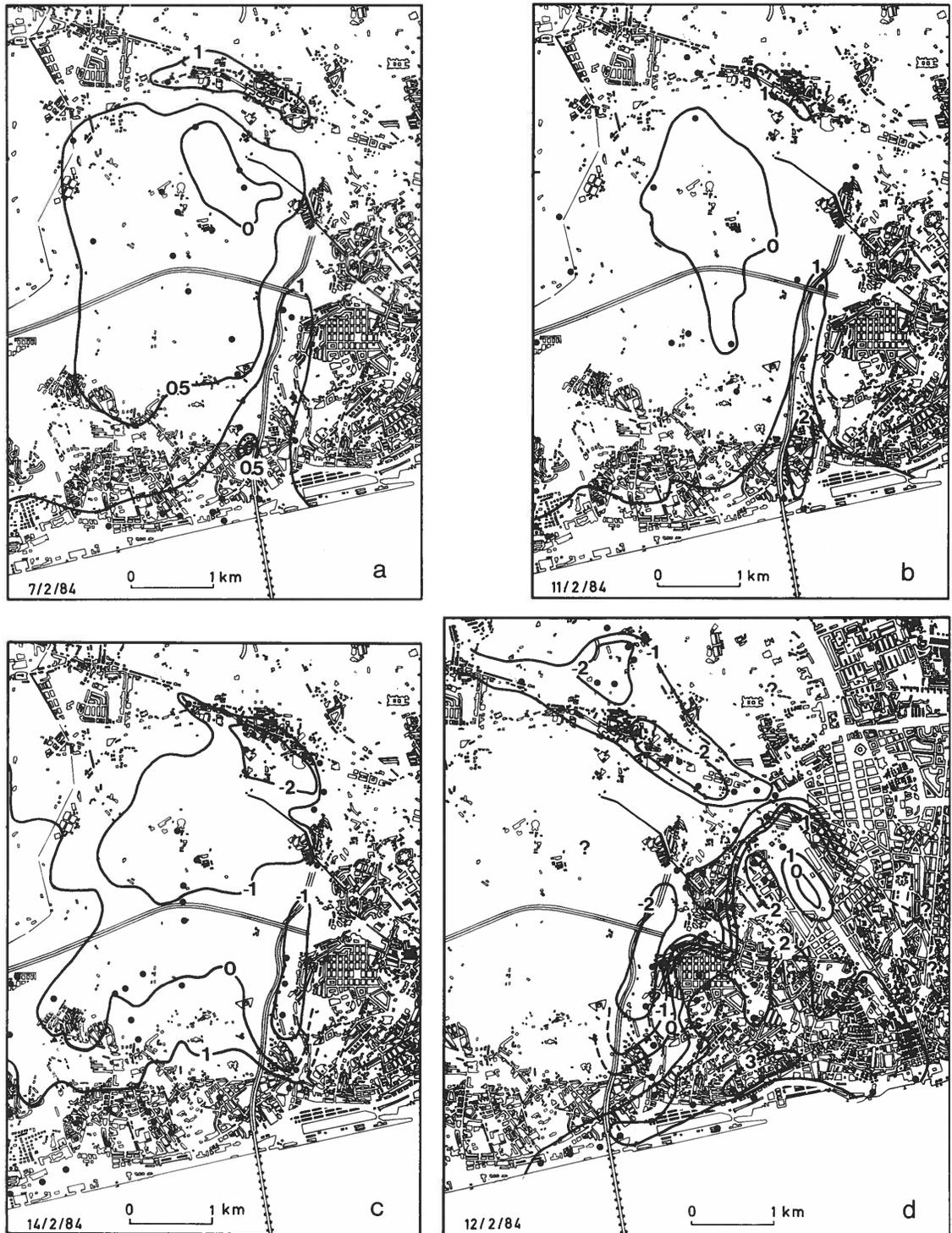


Fig. 6.51 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto, em noites de Inverno de 1984.



Fig. 6.52 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto a 2 de Março de 1984.

interflúvios a SW desta, o resultado mediano foi uma mancha que reúne os vários pontos de observação em posição de interflúvio (como no Largo de Camões e Rua da Escola Politécnica) e os outros em posição deprimida (Avenida da Liberdade, Rua do Comércio, Rua Augusta). Nota-se uma ligeira descida em direcção ao estuário do Tejo e uma lenta diminuição (tanto quanto a densidade da informação permite entender) para a periferia da cidade. Em mais de 50% dos casos (que correspondem a situações de calma), Monsanto estava mais quente do que o Aeroporto.

As maiores diferenças pontuais atrás assinaladas são evidentes quando se comparam, por um lado, os mapas de 12/1 e 17/1 (2a), noites calmas, e, por outro, os de 21/1 e 11/2 (2b e 1), noites ventosas, na figura 6.48.



Fig. 6.53 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto a 1 de Fevereiro de 1985.

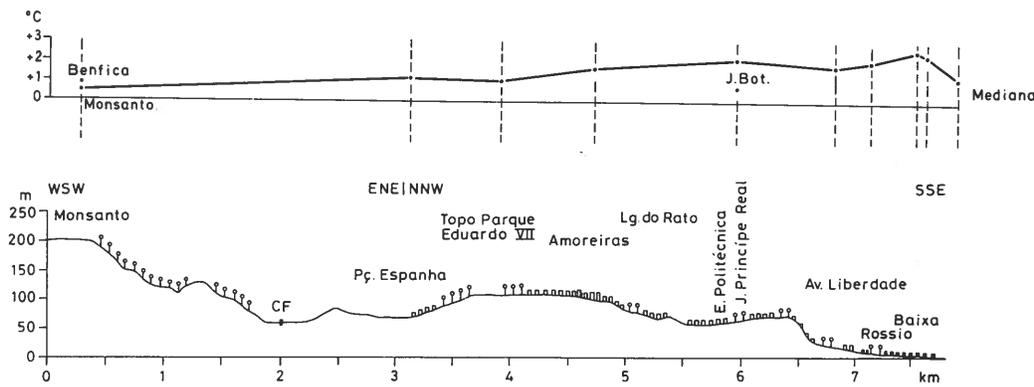


Fig. 6.54 — Mediana dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto, em noites de Inverno.

Nas noites ventosas de Inverno, a temperatura é mais alta nos vales construídos do Centro do que nos interflúvios próximos, mesmo quando a humidade é elevada (influência da posição de abrigo). Nestas ocasiões, Monsanto e os outros interflúvios desabrigados arrefecem mais do que os vales, construídos ou não.

Se há calma, a temperatura é menos elevada nos Vales do Centro da cidade (Avenida da Liberdade, por exemplo) do que nos interflúvios (como a 12/1/83). Monsanto conserva-se então mais quente do que os arredores a Norte da cidade, a menor altitude.

5.3 — Observações simultâneas

Nas madrugadas de 9, 10 e 11 de Janeiro de 1985, foram medidas simultaneamente as temperaturas do ar em 15 locais. As observações desses dias (fig. 6.56) revelam a forma tentacular da ilha de calor lisboeta e o mesmo aumento em direcção ao Centro, já constatado anteriormente, sendo a intensidade da ilha de calor máxima no Terreiro do Paço, o que aconteceu também nas observações de 1 de Fevereiro 1985.

Da classificação hierárquica ascendente, efectuada segundo as distâncias euclidianas dos valores dos vários pontos de medição destes dias de Janeiro 1985, ressalta a importância da morfologia urbana (fig. 6.57).

Os pontos de observação na Calçada de Carrixe, em Benfica e no Algueirão, destacam-se dos do centro da cidade pelos valores baixos de temperatura (observações em espaços abertos e, também, em posição topográfica deprimida nos dois primeiros casos). Mas as observações da Amadora

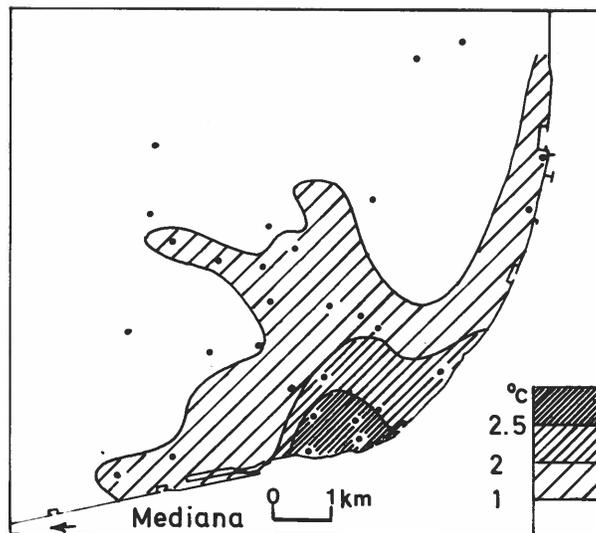


Fig. 6.55 — Mediana dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto, nas noites de Inverno.

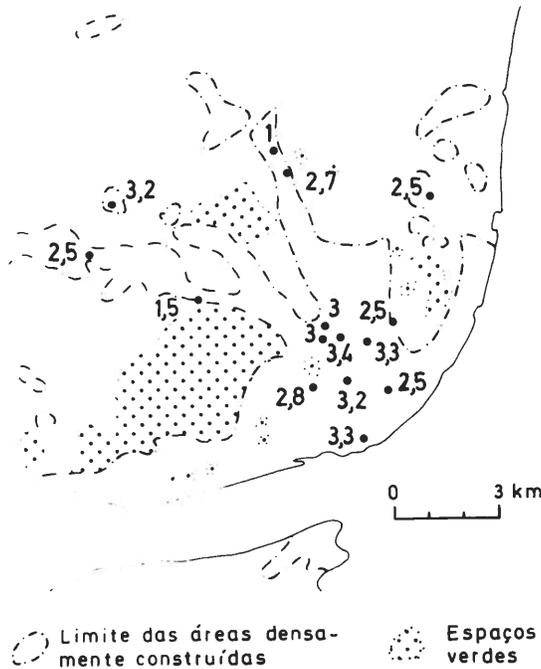


Fig. 6.56 — Média das temperaturas de 9, 10 e 11 de Janeiro de 1985, às 8 horas.

e da Brandoa, conservam, no entanto, a vários níveis de similaridade, características comuns às das estações do Centro relativamente distante (níveis A e B na fig. 6.57) devido à forte densidade de construção dos locais de observação.

Uma classificação idêntica aplicada às observações nos mesmos locais feitas em dias de tempo perturbado de Dezembro 1984, agrupou os pontos de observação próximos no espaço, independentemente da morfologia urbana.

5.4 — Interpretação de uma termografia

A termografia é uma imagem (não uma fotografia) que resulta da apresentação, sob a forma analógica, da radiação térmica terrestre captada por um radiómetro «de varrimento», colocado na plataforma de um avião ou de um satélite (R. HENRIQUES, 1982). A quantidade de radiação emitida por um dado corpo é função da temperatura a que se encontra:

$$IR = \sigma \epsilon T^4$$

em que IR é a radiação terrestre em Watt/cm², σ a constante de Stefan-Boltzmann: 5.669×10^{-12} Watt/cm². K⁴, ϵ o coeficiente de emissividade, que depende essencialmente das características da superfície emissora tais como a cor e a rugosidade e T a temperatura absoluta (em K), como já foi referido em 2.1. Desde que se conheça ϵ , pode-se estabelecer uma relação entre os vários tons de cinzento da imagem termográfica (que representam diferentes quantidades de energia emitida) e a temperatura à

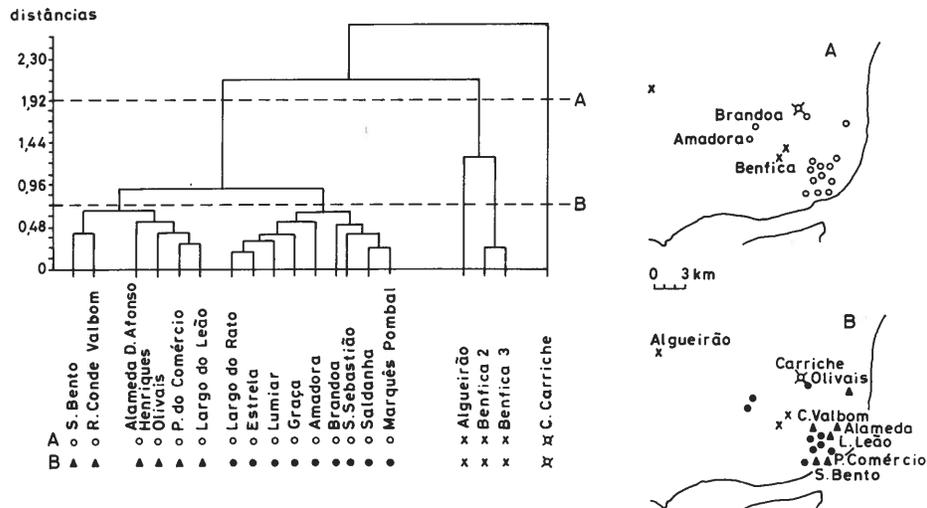


Fig. 6.57 — Representação de dois níveis de similaridade (A e B) da árvore de ligação (temperaturas dos dias 9, 10 e 11 de Janeiro de 1985, às 8 horas, em Lisboa e arredores).



Fig. 6.58 — Temperaturas de superfície, em Lisboa, no início de uma noite de Inverno (Interpretação de uma termografia).

superfície (*). Porém é necessário ter sempre presente que a temperatura do ar pode ser muito diferente da das superfícies naturais e artificiais.

Infelizmente apenas se dispôs, no decorrer do trabalho, de uma única termografia, que em seguida se analisa.

A termografia das 20h de 16/2/84 foi obtida por um radiómetro Deadalus 1220 MP, de um avião voando a cerca de 3Km de altitude, realizada e cedida pelo Sr. Coronel A. Silva e Castro da Base Aérea n.º 1 (Granja do Marquês, Sintra).

As tonalidades de cinzento foram agrupadas por um microdensitómetro (Interpretation Systems Incorporated 130) manuseado pelo Sr. Alferes A. Brum da Silveira: foi fotografado o écran onde as diferentes imagens coloridas resultaram de várias divisões em classes dos tons de cinzento. Não foi possível atribuir valores numéricos de temperatura aos limites das classes, de amplitude variável, tendo-se tentado fazer ressaltar melhor os contrastes térmicos: o vermelho corresponde aos locais cuja radiação térmica é mais elevada, seguindo-se amarelo, ocre, verde, lilás, azul claro e azul escuro. A interpretação dos documentos assim obtidos (cuja reprodução a cores não é possível) foi facilitada pela utilização do «Zoom Transfer Scope» dos Serviços Geológicos de Portugal.

A descrição pormenorizada da termografia já foi difundida em forma policopiada (M. J. ALCOFORDO, L.N.E.C., 1985). Reproduz-se apenas a interpretação da imagem aí apresentada (fig. 6.58).

Seja qual fôr a divisão em classes dos vários tons de cinzento da termografia de 16/2/84 (correspondente, como já se viu, a diferentes quantidades de radiação térmica emitida), aparecem sempre mais quentes o núcleo primitivo da cidade e a Baixa pombalina, os troços inferiores das Avenidas da Liberdade e Almirante Reis, assim como as áreas industriais de Cabo Ruivo. E, a partir destes núcleos quentes, uma diminuição de temperatura, mais lenta para Norte do que para NE e Oeste, mas sempre estreitamente relacionada com a topografia e a ocupação do solo.

As Avenidas da Liberdade e Almirante Reis constituem dois grandes eixos quentes por entre bairros já mais frescos; destes conservam-se ainda relativamente quentes, os bairros das vertentes expostas a

	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
S	16	17	19	20	21	22	23	24	24	24	25	25	24	24	24	23	22	21
SW	15	17	17	18	19	20	20	20	21	21	21	20	20	20	19	18	18	17
W	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	12	12	12	11	11	10	10
NW	13	12	11	10	9	8	7	6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	4
N	13	11	9	8	6	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
NE	13	12	11	10	9	8	7	6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	4
E	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	12	12	12	11	11	10	10
SE	15	17	17	18	19	20	20	20	20	20	21	21	20	20	19	18	18	17

Quadro 6.10 — Radiação global diária em Lisboa, a 15 de Fevereiro (dias de céu descoberto), em encostas de diferentes exposições e inclinações (Megajoules/m²).

Numa superfície horizontal: 14 MJ/m²

Valores calculados por ANDRÉ HUFTY, Universidade de Laval, Canadá.

(*) Se necessário, empregam-se outras equações mais completas (mas permitindo sempre utilizar dados medidos nas estações meteorológicas), que também entram em conta com a humidade do ar, a nebulosidade e com a diferença de temperatura entre o ar e o solo (BUDYKO, 1974, p. 59 e 60).

	6— 7h	7— 8h	8— 9h	9— 10h	10— 11h	11— 12h	12— 13h	13— 14h	14— 15h	15— 16h	16— 17h	17— 18h
S	0.1	0.8	1.6	2.3	2.8	3.0	3.0	2.8	2.3	1.6	0.8	0.1
SW	0	0.1	0.2	0.5	1.2	1.9	2.5	2.9	3.0	2.6	1.7	0.2
W	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.8	1.6	2.1	2.2	1.6	0.2
NW	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.6	0.7	0.1
N	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0
NE	0.1	0.7	0.6	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0
E	0.2	1.6	2.2	2.1	1.6	0.8	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0
SE	0.2	1.7	2.6	3.0	2.9	2.5	1.9	1.2	0.5	0.2	0.1	0

Quadro 6.11 — Radiação global diária em Lisboa, a 15 de Fevereiro (dias de céu descoberto), em superfícies verticais de diferentes exposições (MJ/m²).

Valores calculados por ANDRÉ HUFTY, Universidade de Laval, Canadá. (*)

	6— 7h	7— 8h	8— 9h	9— 10h	10— 11h	11— 12h	12— 13h	13— 14h	14— 15h	15— 16h	16— 17h	17— 18h
S	0.1	0.6	1.4	2.2	2.7	3.0	3.0	2.7	2.2	1.4	0.6	0.1
SW	0	0.2	0.8	1.5	2.2	2.5	2.9	2.8	2.4	1.8	0.9	0.1
W	0	0.1	0.3	0.9	1.5	2.0	2.3	2.3	2.1	1.6	0.9	0.1
NW	0	0.1	0.2	0.6	1.0	1.4	1.6	1.6	1.4	1.1	0.6	0.1
N	0	0.1	0.4	0.8	1.1	1.2	1.2	1.1	0.8	0.4	0.1	0
NE	0.1	0.6	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.0	0.6	0.2	0.1	0
E	0.1	0.9	1.6	2.1	2.3	2.3	2.0	1.5	0.9	0.3	0.1	0
SE	0.1	0.9	1.8	2.4	2.8	2.9	2.7	2.2	1.5	0.8	0.2	0

Quadro 6.12 — Radiação global horária em Lisboa, a 15 de Fevereiro (dias de céu descoberto), em encostas de 20° de inclinação e diferentes exposições (MJ/m²).

Valores calculados por ANDRÉ HUFTY, Universidade de Laval, Canadá.

	6— 7h	7— 8h	8— 9h	9— 10h	10— 11h	11— 12h	12— 13h	13— 14h	14— 15h	15— 16h	16— 17h	17— 18h
S	0.1	0.8	1.8	2.6	3.3	3.6	3.6	3.3	2.6	1.8	0.8	0.1
SW	0	0.1	0.4	1.2	2.1	2.6	3.2	3.4	3.2	2.6	1.5	0.1
W	0	0.1	0.2	0.2	0.5	1.3	1.9	2.4	2.5	2.2	1.5	0.2
NW	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.8	1.0	1.0	0.7	0.1
N	0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0
NE	0.1	0.7	1.0	1.0	0.8	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0
E	0.2	1.5	2.2	2.5	2.4	1.9	1.3	0.5	0.2	0.2	0.1	0
SE	0.1	0	2.6	3.2	3.4	3.2	2.8	2.1	1.2	0.4	0.1	0

Quadro 6.13 — Radiação global horária em Lisboa, a 15 de Fevereiro (dias de céu descoberto), em encostas de 50° de inclinação e diferentes exposições (MJ/m²).

Valores calculados por ANDRÉ HUFTY, Universidade de Laval, Canadá.

(*) Agradeço ao Professor ANDRÉ HUFTY as longas horas de discussão sobre problemas teóricos e práticos, de que muito aproveitei.

Oeste que tinham recebido, até mais tarde, radiação solar: encosta Sul, SW e Oeste do Castelo, do Intendente e do Bairro S. José (Quadros 6.10 a 6.13, diferenças de radiação directa a partir das 13h). Aqueles eixos, sobretudo a «Avenida» possuem prolongamentos quentes: note-se as temperaturas elevadas das Avenidas Fontes Pereira de Melo, Duque Loulé, Alexandre Herculano e Braancamp.

Mesmo longe do Centro, as fachadas dos edifícios orientadas para Oeste e SW e os troços de ruas contíguas pouco tinham arrefecido às 20 horas (exemplos na Alameda D. Afonso Henriques, Praça de Londres, Avenida Mouzinho de Albuquerque e nos limites dos bairros da Madre de Deus, Encarnação e Picheleira).

As áreas particularmente frias correspondem aos locais deprimidos, seja no centro de parques (exemplo: Parque Eduardo VII), seja nos terrenos não construídos do Oriente de Lisboa; aqui são os fundos de vale e as vertentes expostas a NE as áreas mais frias, respectivamente por concentração de ar frio (que se inicia) e por efeito de sombra «herdado».

As medições no seio da malha urbana confirmaram a relação estreita entre a temperatura do ar e a radiação térmica captada pelo radiómetro.

6 — Resumo e conclusões

Depois de enumerados os raros trabalhos dedicados ao clima de Lisboa, comparam-se as temperaturas máximas e médias mensais de Lisboa (Geofísico) e das estações dos limites da Aglomeração, concluindo-se que, no Inverno, a temperatura mínima média é mais alta na cidade (+0.5 a +1.1°C) e a máxima média praticamente igual em Lisboa, Lisboa/Portela e Cabo Ruivo (diferenças entre 0 e 0.3°C), sendo mais elevada na Tapada da Ajuda. No Verão, a temperatura mínima média é mais alta no Geofísico do que no Aeroporto e na Ajuda e é igual ou ligeiramente inferior à de Cabo Ruivo. A temperatura máxima, pelo contrário, é, em média, mais elevada nas proximidades do estuário do que no Geofísico. Uma vez apontada a insuficiência dos dados das estações meteorológicas, são enumerados os 20 pontos de observações habituais, escolhidos de modo a documentar toda a área ribeirinha, a Baixa Pombalina, o bairro do Castelo, os limites ocidentais da cidade e os bairros periféricos. Esta «rede» de locais de observação itinerante é muito insuficiente e foi alargada, sempre que se reuniram meios materiais necessários.

Seguidamente, descrevem-se, em pormenor, as observações de terreno efectuadas. A maior parte dos dias está incluída naqueles cujas temperaturas (máximas no caso das observações diurnas e mínimas no caso das observações nocturnas) foram estudadas no capítulo 4, por meio de análises em componentes principais; recorde-se que a projecção dos dias (indivíduos) no plano dos dois primeiros factores permitiu distinguir dias de diferente padrão de repartição térmica regional. Foi uma maneira de «situar» as observações de campo pois, mesmo nos dias «calmos e sem nebulosidade» referidos em muitos estudos desta índole, estão incluídas muitas situações diversas. Como foi dito atrás, esta não é ainda a solução ideal; espera-se, num futuro próximo, poder resolver o problema da representatividade das medições itinerantes, utilizando outros métodos de tratamento da informação. Obtiveram-se, apesar de tudo, alguns resultados interessantes.

Estudaram-se, separadamente, as temperaturas máximas e as mínimas de Verão, as máximas e as mínimas de Inverno, tal como se procedeu anteriormente. Antes de apresentar os resultados das observações, examinam-se as diferenças de temperaturas entre Lisboa (Geofísico) e as estações dos limites da Aglomeração, nos vários grupos de dias definidos no capítulo 4.

Constatou-se que, durante os dias de Verão, a cidade (ou melhor, o Instituto Geofísico) apenas se conserva mais quente ou à mesma temperatura do que os arredores próximos nos dias nebulados de vento moderado do quadrante Oeste, com ou sem precipitação (grupos 1 e 2a); a sua temperatura

é também mais elevada quando sopram ventos fortes de Norte (alguns dias do grupo 2b). Nos dias dos outros grupos, mais quentes, em que é possível o desenvolvimento de sistemas de brisas do Tejo e do Oceano, Lisboa (Geofísico) tem quase sempre temperatura mais baixa do que os arredores próximos.

As medições de temperatura do ar, levadas a cabo em dias de vento de NW e Norte e situações de calma, em que se desenvolveram brisas, confirmaram os resultados obtidos a partir das médias dos grupos de dias e permitiram uma representação espacial relativamente pormenorizada de vários padrões de térmicos espaciais na cidade. Apresentam-se não só os valores medianos como também as observações individuais em pequenos mapas e perfis, para se visualizarem as grandes variações interdiurnas. Em casos de vento forte de Norte ou NW, em que Portugal se encontra numa faixa de forte gradiente barométrico entre um anticiclone no Atlântico e uma depressão sobre a Península ou a Oriente dela, a área ribeirinha do Sul da Aglomeração, que corresponde ao Centro, permanece invariavelmente a mais quente. A ilha de calor devida a este efeito de abrigo ocorrerá em pelo menos 27% das tardes de Verão (correspondentes à frequência de ocorrência do grupo 2a-2b) ou a cerca de 43% (se adicionarmos a percentagem de dias do grupo 2a, embora nestes últimos a nebulosidade variável possa ter consequências imprevisíveis sobre a repartição térmica espacial na cidade).

Pelo contrário, em dias de calma (anticiclone Europeu ou atlântico prolongando-se para NE), o padrão térmico espacial varia constantemente: trava-se uma «luta» entre a brisa, que sopra de SE durante a manhã e depois roda para Sul e SW, ou que provém directamente de SW, e o vento de Norte, cuja velocidade aumenta gradualmente durante a tarde e, quase sempre, acaba por ganhar a «batalha» (M. J. ALCOFORADO, 1987). Os ventos, marcados nalgumas figuras ou perfis, permitem compreender a complexidade de certas distribuições de temperatura. Os locais até onde chega a brisa (a Baixa, o limite SW da cidade) estão muito mais frescos do que a estação de referência (o Aeroporto), centrando-se a ilha de calor nos bairros a Norte de Lisboa (Avenidas Novas). Nos limites orientais da cidade, a temperatura não desce tanto como a Sul e SW da aglomeração. Calculou-se que em, pelo menos 39% das tardes de Verão o padrão térmico urbano seja deste tipo.

Uma campanha de lançamentos de balões estabilizados, pormenorizadamente descrita no texto, foi levada a cabo em Agosto 1987 por uma equipa de investigadores suíços e permitiu confirmar a existência da ilha de calor nos bairros setentrionais da cidade e saber que o ar sobre-aquecido pela sua presença tem cerca de 500 metros de espessura sobre as Avenidas Novas. Esta afirmação diz respeito ao início da tarde do primeiro dia de lançamentos documentando a transição entre o regime de brisa e o de Nortada. Nos lançamentos efectuados com ventos de SW e Oeste, nos dias seguintes, os balões também sofreram uma ascendência sobre o sector a Norte da cidade que, em parte, pode ter causas topográficas; o facto dos balões não terem voltado ao seu nível de equilíbrio, não permitiu tirar conclusões seguras.

A repartição das temperaturas mínimas é mais simples. Na comparação entre as mínimas do Geofísico e as estações meteorológicas do limite da aglomeração, nota-se que as temperaturas são invariavelmente mais elevadas na estação urbana (só Cabo Ruivo pode estar mais quente, talvez por efeito de abrigo em relação aos ventos de Oeste, grupos 2a e 3a). As maiores diferenças positivas correspondem a noites de céu limpo a Oriente, mas de nevoeiro na costa ocidental, em que calmas frequentes, alternam com ventos fracos de Norte e de Este (grupos 2b, 3b e 4b).

Nas noites de vento forte do quadrante Norte (11.5% dos casos estudados), os bairros a Sul e SE da aglomeração conservam-se quentes por efeito de abrigo. A intensidade máxima da ilha de calor atinge 3°C de madrugada e 4° ao início da noite (1/7/83). As temperaturas mais altas encontram-se nas áreas deprimidas do Centro administrativo de Lisboa, sendo o vento do Norte o responsável do maior arrefecimento dos interflúvios. Em 8.5% dos casos, em noites quentes, sem vento, mas relativamente húmidas (2/8/85), há um aumento de temperatura em direcção ao Centro da cidade, sendo os

interflúvios próximos da Baixa, os mais quentes; pensa-se que o ar marítimo ou estuarino, relativamente fresco e muito húmido, circula preferencialmente pelos vales e aí se acumula, determinando a diminuição de temperatura observada. Note-se que, noutras ocasiões (15% dos casos?) este ar alóctono provoca um grande arrefecimento em toda a área ribeirinha, mascarando qualquer influência da cidade nas características térmicas e higrométricas da atmosfera urbana (29/8/83). Em noites muito quentes e secas como a 27/7/81, (que não representarão mais do que 4.5% dos casos) a intensidade da ilha de calor ultrapassa os 4 e até os 5°C. A temperatura conserva-se mais elevada nos fundos dos vales do Centro de Lisboa, nestas noites que correspondem à ocorrência de massas de ar provenientes do continente africano.

No caso das temperaturas máximas de Inverno, as diferenças entre o Geofísico e as outras estações dos limites da aglomeração são insignificantes. Nos dias dos grupos 2a e 3a, quando há nevoeiro no Tejo, é em Lisboa/Tapada que a temperatura sobe um pouco mais. Nos dias quentes do grupo 4, a temperatura é menor em Lisboa (ocorrência de neblina, poeiras ou fumos negros na atmosfera, provenientes da outra-banda, pois o vento é de Sul?). Nos dias de vento forte dos grupos 2b e 3b, a temperatura, ligeiramente mais alta no Geofísico, deve-se apenas ao efeito de abrigo.

As observações de temperatura na cidade evidenciaram dois padrões térmicos distintos.

Um primeiro com aumento de temperatura em direcção ao centro da cidade em dias de vento moderado a forte de Norte e NW (e, num dos dias, nebulosidade variável) correspondendo a situações de transição de forte gradiente barométrico e margem de anticlones mistos. O aumento de temperatura em direcção ao centro da cidade raramente ultrapassa os 2°C e a temperatura mais elevada observa-se nas ruas da Baixa, onde a humidade relativa é menor do que no Aeroporto. São pequenas as diferenças entre Monsanto, Benfica e o Aeroporto. Este padrão térmico ocorrerá em, pelo menos 28% dos dias de inverno.

Observa-se um padrão térmico oposto em dias de advecção de ar húmido estuarino ou de nevoeiro (6% dos casos), em situações anticiclónicas estáveis (anticiclone Europeu e atlântico prolongando-se para NE): as temperaturas relativas são muito contrastadas sobretudo nos dois dias de observações itinerantes em que o nevoeiro começara a «levantar» (19/1/83 e 7/2/87). As temperaturas relativas a Lisboa/Gago Coutinho atingiram valores mais elevados a 7 de Fevereiro 1987, porque o nevoeiro só aí se dissipou depois das observações de terreno, tendo a temperatura permanecido baixa nesta estação de referência. Neste dia, ao fim da manhã, a diferença de temperatura entre Monsanto e Cabo Ruivo foi de 10°C! Havia nevoeiro numa estreita faixa a SW e Sul de Lisboa, que se tornava muito larga para Leste, atingindo o Campo Grande. No Vale da Avenida da Liberdade observava-se neblina e temperaturas próximas da do Aeroporto, enquanto no interflúvio da Rua da Escola Politécnica, o Sol estava descoberto e o desvio térmico era de +2.7°C. Embora se atribua o valor provisório de 6% à frequência de ocorrência deste tipo de situação, salienta-se novamente o interesse da multiplicação de observações deste tipo, que permitirão detectar outros padrões de repartição de temperatura na cidade ou levarão a rever os valores de frequência de ocorrência agora apresentados, a título indicativo.

Durante as noites de Inverno, a temperatura é mais elevada em Lisboa (Geofísico) do que nas outras estações próximas nas noites muito frias do grupo 1 (anticiclónicas ou perturbadas), e nas dos grupos 2a e 3a, correspondentes a situações anticiclónicas, estáveis, em que as temperaturas mais elevadas são devidas ao efeito urbano. Em situações perturbadas ou outras, com ventos fortes, as diferenciações térmicas espaciais são praticamente nulas.

Tal como para as noites de Verão notou-se um aumento de temperatura em direcção ao Centro da cidade, no decorrer das observações itinerantes.

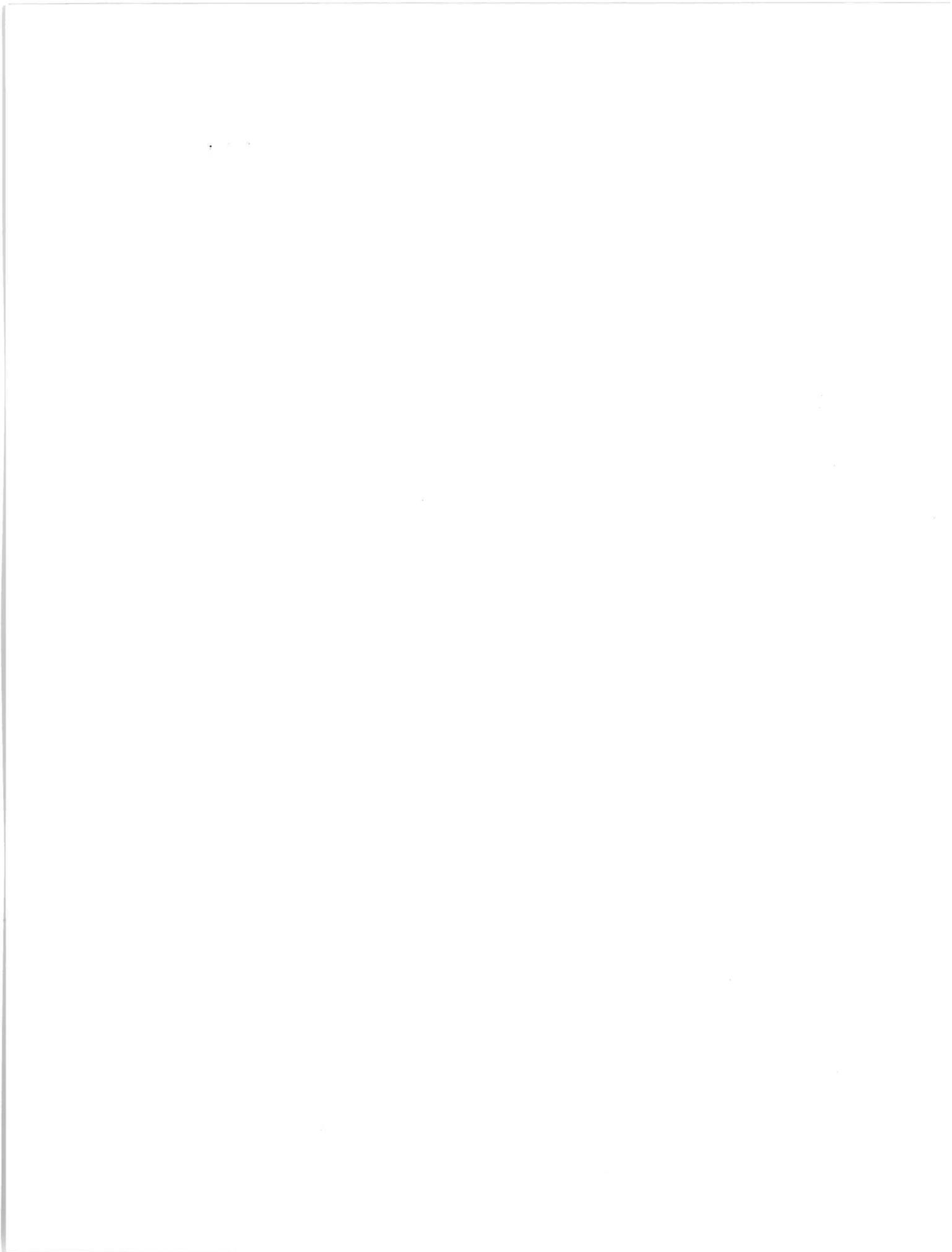
A temperatura é mais elevada nos vales da baixa lisboeta, devido à sua posição de abrigo em ocasiões de ventos moderados a fortes (geralmente de NE) não só nas noites muito frias (como 11/2/83

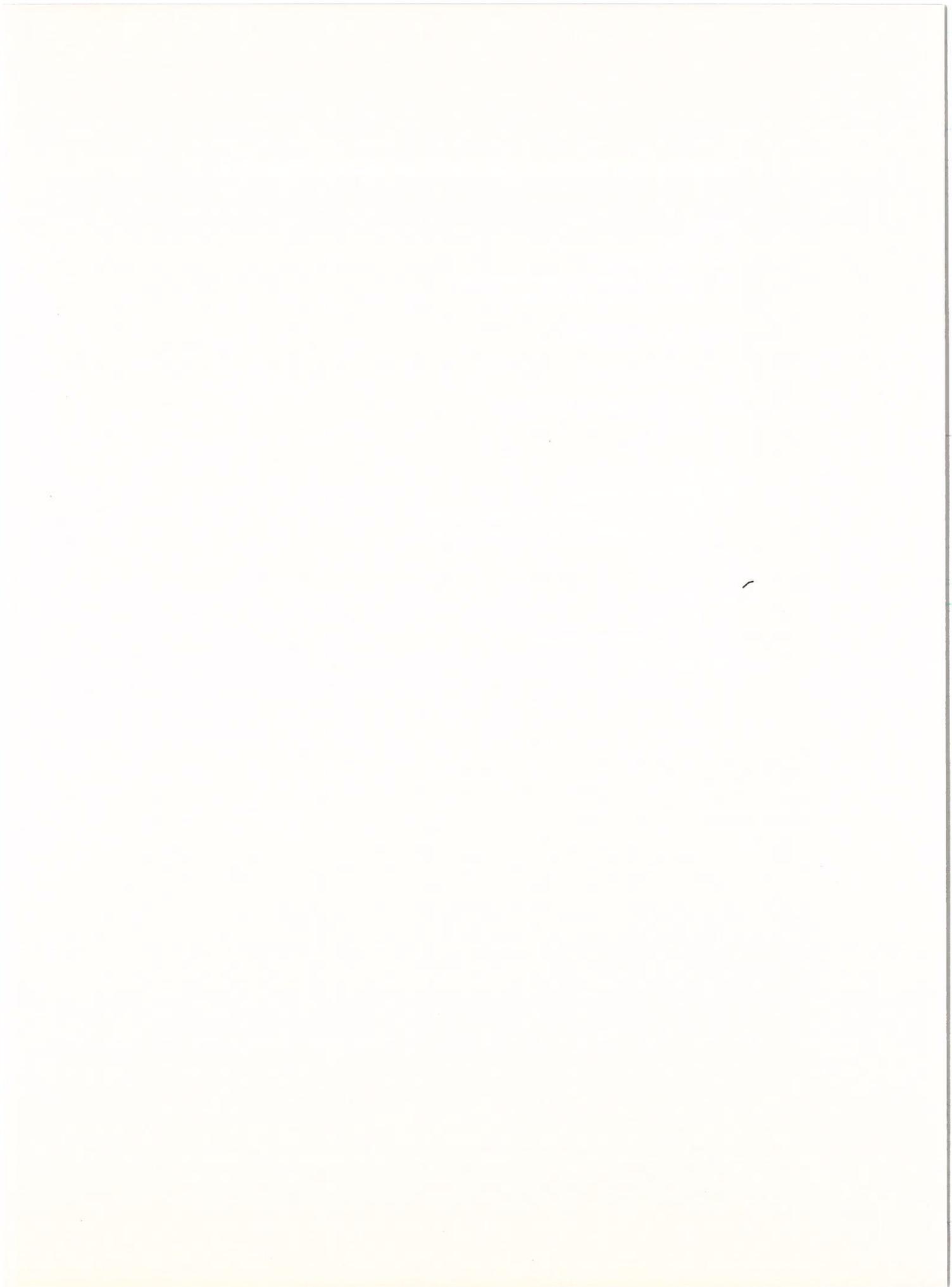
e 21/1/83 e que representarão 9% da população), como em situações de transição (como 8 e 10/1/83 que dão indicações em relação a 12% dos casos).

Pelo contrário, em ocasiões de calma, embora se note um aumento de temperatura em direcção ao Centro, as temperaturas mais elevadas observam-se nos interflúvios (Largo de Camões, Campo de Ourique, etc). Os fundos de vales são os locais mais frios, embora a temperatura desça menos nos de maior densidade de construção, mais próximos do Centro administrativo de Lisboa (excepto em noites de nevoeiro no Tejo). Este tipo de padrão térmico tanto ocorre com temperaturas bastante baixas (por exemplo 17/1/83, 12/1/83, 12/3/84 e 2/3/84, que representarão 27% das noites de Inverno estudadas) como em noites anormalmente quentes para a época do ano (como 1/2/85). Numa outra noite também relativamente quente (25/1/83) a grande irregularidade da variação térmica espacial da temperatura não permitiu uma representação cartográfica mais pormenorizada do que a que se apresenta na figura 6.48.

Ainda não é possível apresentar um mapa a maior escala; mas já se possui bastante informação sobre as temperaturas das noites de Inverno. A análise de uma termografia do sector oriental da cidade e observações levadas a cabo no Inverno 1984-1985 permitiram comprovar a grande importância da morfologia urbana em situações anticiclónicas: por exemplo, certos bairros de grande densidade de construção da Amadora, Brandoa e Pontinha podem ter, de madrugada, temperaturas iguais à do Largo do Rato e pouco mais baixas que as do centro da ilha de calor de Lisboa. Nas situações perturbadas em que se fizeram medições, a importância da morfologia urbana não se manifestou. Resta saber até que ponto se podem generalizar estas observações e utilizar um índice simples para referenciar o tipo de morfologia urbana de cada local, entrando em conta com a largura da rua, altura dos prédios, orientação da rua, declive, etc. (por exemplo o «ângulo de horizonte», quociente da altura dos prédios pela largura da rua e que varia com o azimute da rua de H. LANDSBERG, 1981).

Os resultados da análise de informação descontínua no espaço e no tempo, que acabam de ser apresentados não podem passar de resultados provisórios, diria mais, não deveriam constituir mais do que a investigação preliminar para o estabelecimento de um plano de estudo bem fundamentado do clima da cidade de Lisboa, com outros meios materiais e humanos.







CAPÍTULO 7

A ILHA DE CALOR DE LISBOA: REGIME TÉRMICO EM DOIS BAIROS DE DIFERENTE MORFOLOGIA URBANA

1 — Localização de dois termo-higrógrafos (em abrigo)

Nos vários percursos de medição de temperatura, seja na cidade ou no litoral, procurou detectar-se a variação espacial da temperatura num dado momento (ou em momentos próximos). A partir da altura em que se passou a dispor de aparelhos de resposta mais rápida, aumentou-se o número de pontos de observação, sendo a interpolação cada vez mais segura. A termografia teria resolvido o problema da *descontinuidade espacial* das observações de temperatura, se tivesse sido possível conhecer o valor da irradiação terrestre, em cada local, para poder calcular a temperatura, se a imagem tivesse abrangido toda a cidade e, sobretudo, se a termografia atrás brevemente analisada tivesse sido complementada por outras.

Outro problema que se põe, nestes estudos, é o da *descontinuidade temporal* da informação. Para conseguir tirar algumas conclusões foi necessário limitar as observações itinerantes a períodos bem distintos do dia e do ano. Mas o manuseamento de registos de temperaturas de várias estações meteorológicas, forneceu inúmeros exemplos da inconstância das diferenças de temperatura (nomeadamente devido às brisas, importante agente das variações bruscas de temperatura). Decidiu-se, então, colocar termo-higrógrafos em vários pontos da cidade. Obtinha-se informação contínua no tempo (em detrimento da continuidade espacial).

Esta tarefa revelou-se duplamente difícil. Em primeiro lugar, dificuldades de ordem financeira limitaram a aquisição a dois termo-higrógrafos; estes foram aferidos duas vezes no Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (*). Um dos aparelhos foi colocado no Bairro Alto (**). Tentei — sem êxito — colocar o 2º aparelho, noutra local do Centro mas em posição topográfica deprimida. Não se imagina, talvez, a dificuldade em encontrar um espaço suficientemente amplo numa parte da cidade caracterizada por uma grande densidade de construção (uma vez que se quis evitar pátios interiores). Decorrido praticamente um ano, e depois de várias recusas ou dificuldades por parte de entidades públicas ou privadas, foi decidido colocar o aparelho nas «Avenidas Novas» num dos pátios da Universidade Nova, na Avenida de Berna (***)

(*) Agradeço aos responsáveis do INMG pela aferição dos meus aparelhos, a título gracioso.

(**) Estou particularmente grata aos dirigentes da FAUL (S. Pedro de Alcântara) que, em Outubro 1986, se prontificaram a «acolher» um dos registadores, concedendo uma autorização verbal no momento em que o pedido foi feito, evitando-se, assim, demoras burocráticas.

(***) Agradeço igualmente à Professora Doutora Raquel Soeiro de Brito todas as facilidades concedidas para a instalação do termo-higrógrafo.

Uma vez que a compra de um abrigo Stevenson (usado na rede de estações do INMG) estava fora de questão, construiu-se então um outro, em madeira, seguindo um modelo americano, cuja descrição é feita na Nota Técnica nº 315 da W.M.O. (1975). Em vez das persianas clássicas do abrigo de tipo Stevenson, o abrigo tem persianas de «tipo americano», e é utilizado na Holanda «para alargamento temporário da rede de medição» (W.M.O, 1975). A radiação solar não deve penetrar no abrigo em nenhum ângulo, o telhado deve ser feito de material forte, mas pouco espesso e ligeiramente inclinado para Sul e deve haver espaço suficiente para que a convecção seja possível no interior; para isso, foram feitos vários orifícios na sua base que, conjuntamente com as fendas horizontais, permitem uma fácil ventilação. Para eficaz reflexão da radiação solar, o abrigo foi, como todos os outros, pintado de branco; num abrigo preto a temperatura é de 1 a 2°C superior à de um abrigo branco (W.M.O., 1979). A porta ficou orientada para Norte, para que, no momento das leituras, a radiação solar não incida directamente nos aparelhos. Na nota da W.M.O., é referido que a amplitude térmica diurna é 7% maior do que num abrigo tipo Stevenson. Haverá, portanto, esta inevitável margem de erro na análise adiante apresentada.

O abrigo do Bairro Alto, estava apenas separado da Rua do Teixeira (estreita e orientada de Norte para Sul), por um muro de cerca de 1.50m de altura e um gradeamento na parte superior. Fugindo às condições obrigatórias para a instalação de uma estação meteorológica, procurou-se, justamente, conhecer as condições de temperatura e humidade daquilo a que T. R. OKE chama um «urban canyon», que se pode traduzir por ravina urbana. O aparelho esteve colocado 2m a Ocidente da parede de um prédio de 3 andares. Cerca de 7m separavam-no do prédio oposto. Para Norte e Sul, não havia obstáculos de grande dimensão, excepto as já referidas vedações do pátio. Os resultados podem-se generalizar a todas as ruas Norte-Sul do Bairro Alto (a Sul da R. E. Politécnica, na figura 6.2).

Na Avenida de Berna (Universidade Nova) o espaço onde se colocou o abrigo é mais amplo do que no Bairro Alto. Não se viu nisso inconveniente, porque tal facto constitui uma característica própria do bairro, de ruas em quadrícula, como as do Bairro Alto, mas com o triplo ou o quádruplo da largura. O abrigo encontra-se num pátio ajardinado, rectângulo cuja maior dimensão está orientada de Este para Oeste. Três metros a Norte, o edifício de um andar da biblioteca da Universidade, cinco metros a Sul, uma construção mais alta (3 andares), que o separa da Avenida de Berna (a Leste da Praça de Espanha, na figura 6.2). As observações no Bairro Alto (passarei a referir assim o local da Rua do Teixeira) iniciaram-se a 7 de Novembro de 1986 e prosseguiram até ao início de Março 1988, com algumas interrupções na Primavera e Outono de 1987 (para nova aferição do aparelho). O local de observação da Universidade Nova (que será referido por Avenida de Berna) apenas entrou em funcionamento a 15 de Junho de 1987, pelas razões atrás expostas (*).

A porção da abóbada celeste obscurecida por edifícios vizinhos «sky view-factor» dos autores ingleses (redução do horizonte na tradução do livro de R. GEIGER, 1980), tem grande influência não só no tempo durante o qual há radiação solar directa, como na quantidade de radiação em onda longa irradiada pela superfície terrestre. Este parâmetro pode ser determinado a partir de uma fotografia obtida com uma máquina em posição horizontal sobre um tripé e com uma lente «olho de peixe» (H. S. PARK, 1987, por exemplo utilizou uma Canon 7.5mm, com 180° de ângulo de imagem). A partir de um diagrama (ITO, 1977, citado em H. S. PARK, 1987), calcula-se a percentagem da área que, em cada fotografia (de limite circular), não é ocupada por edifícios. A redução do horizonte pode também ser determinada por medições com teodolitos. O resultado é a apresentação de uma circunferência que representa o

(*) Embora só se tenham utilizado valores até ao fim de Fevereiro 1988, a estação continuou em funcionamento durante uns meses, sob a responsabilidade do Dr. José Ventura, docente de Geografia na Universidade Nova.

horizonte; e o seu centro corresponde ao zénite. Estão indicadas nos limites da circunferência por meio de um sombreado, as sobre-elevações do horizonte correspondentes a cada direcção. Dificuldades de ordem material impediram a determinação da redução do horizonte no Bairro Alto e Avenida de Berna.

2 — Diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto (Lisboa/Gago Coutinho).

Não dispondo de meios de comparação das curvas de temperatura dos termo-higrógrafos, resolveu calcular-se a diferença da temperatura registada no Bairro Alto e na estação de referência (Lisboa/Gago Coutinho, no Aeroporto), de 4 em 4 horas: às 0, 4, 8, 12, 16 e 20 horas, assim como a diferença quotidiana das temperaturas máximas e mínimas. Foi considerada a temperatura mínima de cada data, aquela que ocorria na noite anterior, mesmo que tivesse sido antes das 0h.

Passado o período de experiência (Novembro de 1986), utilizaram-se os elementos do Bairro Alto, a partir de Dezembro de 1986. No total, calcularam-se as diferenças de temperatura de 91 dias de Verão e de 109 dias de Inverno em 8 momentos distintos do dia.

Os dias de semelhantes diferenças de temperatura entre os termo-higrógrafos do Bairro Alto e da Avenida de Berna e Lisboa/Gago Coutinho foram agrupados em quadros, não reproduzidos aqui para não alongar demasiado o texto; para cada dia, assinalou-se, por consulta do Boletim Meteorológico Diário, do I.N.M.G., a situação sinóptica, a nebulosidade, a direcção do vento, a velocidade do vento, a estrutura térmica da atmosfera em Lisboa/Portela, às 0 e às 12h.

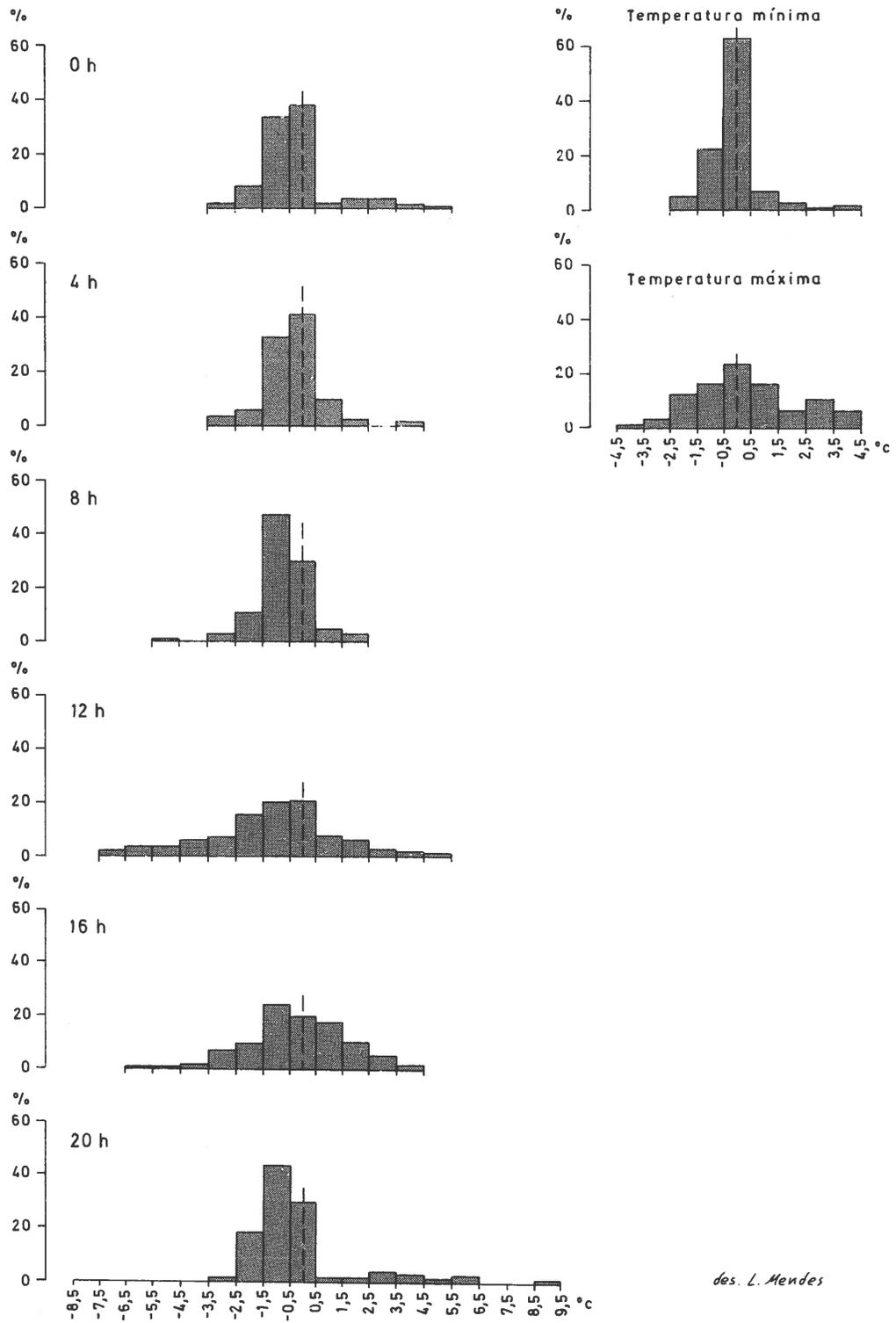
2.1 — No Verão

As diferenças entre o termógrafo do Bairro Alto e Lisboa/Gago Coutinho são nulas ou fracamente negativas quando sopra vento do quadrante Sul e Oeste, moderado ou mesmo forte, sobretudo às 12h. A nebulosidade é variável, nestes dias de Verão, a humidade relativa geralmente elevada e as situações sinópticas variadas. É de notar que, em altitude, persistem, nestas ocasiões, ventos de Oeste e SW. Nestes dias, a porção SW e Oeste da cidade deverá estar bastante mais fresca do que o Aeroporto, mas a posição abrigada do termógrafo do Bairro Alto atenua o seu arrefecimento.

Nos dias de vento fraco, as temperaturas são mais elevadas durante a noite e manhã no Aeroporto. A usual rotação do vento, a meio da tarde, para Norte ou NW parece ser responsável pelo posterior arrefecimento do Aeroporto; a insolação no início da tarde e o abrigo pelos prédios próximos contribuem para o mais lento arrefecimento da atmosfera em torno do registador do Bairro-Alto, sendo as diferenças de temperatura francamente positivas às 16 e às 20h.

Nos dias quentes, de calma ou vento muito fraco de Leste ou SE (anticiclone atlântico prolongando-se para NE, anticiclone Europeu) à superfície, e também de fluxo de Este em altitude, a temperatura é mais baixa no Bairro Alto, durante a noite e início do dia. Mas, ao contrário do caso anterior, esta diferença persiste até meio da tarde (grandes desvios negativos às 12h), no Bairro Alto, menos exposto às massas de ar muito quente e ainda à sombra. Às 20h, pelo contrário, o Bairro Alto tem como no caso anterior, temperaturas bastante mais altas do que o Aeroporto.

Nos dias de Verão, em que Portugal está em situação de margem de uma depressão localizada a NE de Portugal (a que corresponde um vale depressionário em altitude), a temperatura é, nas ruas do Bairro Alto, abrigadas do vento forte de Norte e de NW, mais elevada do que no Aeroporto. Uma excepção: às primeiras horas do dia, a ausência de radiação solar directa no fundo da «ravina» urbana não compensa o seu abrigo em relação aos ventos do Norte e a temperatura é temporariamente mais baixa neste local.



des. L. Mendes

Fig. 7.1 — Diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto em 91 dias de Verão.

Foi igualmente feita a análise conjunta das diferenças de temperatura às horas atrás indicadas. Durante as noites de Verão (fig. 7.1: 0h, 4h, temperatura mínima), a classe modal dos desvios de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto está centrada em 0°C, mas a dissimetria é negativa; a maior parte das noites são mais frescas nas ruas estreitas do Bairro Alto do que no Aeroporto. Às 8 horas, a frequência da classe de desvios entre -1.5°C e -0.5°C aproxima-se de 50%, porque, nesse momento, o Sol incide directamente no Aeroporto, enquanto o fundo da Rua do Teixeira continua à sombra. A média das diferenças (Quadro 7.1a), é sempre negativa, excepto nos casos da temperatura máxima (+0.2°C). A dispersão dos desvios é grande, durante o dia, como se pode ver a partir dos histogramas (fig. 7.1), dos valores máximos e mínimos (Quadro 7.1), do desvio-padrão de 2.4°C, às 12h, 1.8°C às 16h e 2.1°C às 20h. Às 12 h, a temperatura foi, numa ocasião, 7°C inferior à do Aeroporto e noutra 4.5°C superior. O desvio-padrão elevado das 20 horas é devido aos altos valores positivos dos desvios (máximo: 8.5°C). No entanto, os diferentes ritmos de aquecimento acabam por ser compensados e as máximas são frequentemente iguais nos dois locais de observação, (mediana igual a zero).

	0h	4h	8h	12h	16h	20h	T. Max.	T. Min.
Média (\bar{x} , °C)	-0.4	-0.6	-1.0	-1.4	-0.5	-0.4	0.2	-0.2
Desvio-padrão (°C)	1.5	1.0	1.0	2.4	1.8	2.1	1.9	0.9
Mediana (Md, °C)	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5	-1.0	0	-0.5
1.º quartil (°C)	-1.5	-1.0	-1.5	-2.5	-1.5	-1.5	-1.0	-1.0
3.º quartil (°C)	0	0	-0.5	0	0.5	0	1.5	0.5
Intervalo inter-quartil (H, °C)	1.5	1.0	1.0	2.5	2.0	1.5	2.5	1.5
Valor mínimo (°C)	-3.5	-4.0	-5.0	-7.0	-6.0	-3.5	-4.0	-2.5
Valor máximo (°C)	5.0	4.0	2.5	4.5	4.0	8.5	4.0	4.0
V. Max. — V. Min. (°C)	8.5	8.0	7.5	11.5	10.0	12.0	8.0	6.5

Quadro 7.1a — Parâmetros estatísticos das diferenças de temperatura estival entre o Bairro Alto e Lisboa/Gago Coutinho, no Aeroporto (91 dias).

	0h	4h	8h	12h	16h	20h	T. Max.	T. Min.
Média (\bar{x} , °C)	-0.2	0	-0.2	0.1	-1.3	-0.6	-0.4	0.2
Desvio-padrão (°C)	1.0	1.2	1.2	2.0	1.2	0.8	1.7	1.0
Mediana (Md, °C)	-0.5	0	-0.5	0	-1.0	-0.5	-0.5	0
1.º quartil (°C)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.5	-0.5
3.º quartil (°C)	0.5	0.5	0.5	1.5	-0.5	0	0.5	1.0
Intervalo inter-quartil (H, °C)	1.5	1.5	1.5	2.5	1.5	1.0	2.0	1.5
Valor mínimo (°C)	-2.5	-4.0	-4.0	-4.5	-4.0	-2.5	-3.0	-2.0
Valor máximo (°C)	3.0	4.5	3.0	5.5	4.5	1.0	3.0	3.0
V. Max. — V. Min. (°C)	5.5	8.5	7.0	10.0	8.5	3.5	6.0	5.0

Quadro 7.1b — Parâmetros estatísticos das diferenças de temperatura no Inverno, entre o Bairro Alto e Lisboa/Gago Coutinho, no Aeroporto (109 dias).

2.2 — *No Inverno*

Também no Inverno, as diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e Lisboa/Gago Coutinho são nulas ou negativas quando sopra vento do quadrante Sul, forte ou moderado (devido a uma situação de transição entre uma depressão no Atlântico e um anticiclone na Europa ocidental ou no Mediterrâneo), a que corresponde fluxo de SW em altitude e nebulosidade forte.

Em ocasiões de passagem de perturbações, sem modificações temporárias da nebulosidade, o desvio permanece negativo durante 24 horas.

Noutros casos, a variação temporária da nebulosidade permite o aquecimento do Bairro Alto, não subindo a temperatura às 12h, no Aeroporto, provavelmente devido a vento forte de Norte, e do qual o pátio em que está instalado o abrigo, fica em parte protegido por uma fiada de prédios perpendiculares à Rua do Teixeira (na travessa de S. Pedro de Alcântara).

O Bairro Alto conserva-se mais quente durante a noite por efeito de abrigo, se o vento provém do quadrante leste (vento frio e seco, no Inverno).

A observação dos histogramas das diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto (fig. 8.2), e dos parâmetros apresentados no quadro 7.1b, elucida sobre o significado estatístico dos exemplos acima mencionados.

A maioria das diferenças entre o Bairro Alto e o Aeroporto são próximas de 0 (fig. 7.2), excepto às 8 e às 16 horas. Aliás, os valores médios e medianos mais baixos ocorrem às 16h (-1.3°C e -1°C , respectivamente). Às 8 horas, estes valores são de -0.2°C e -0.5°C . Durante a noite, médias e medianas variam entre -0.2°C e $+0.2^{\circ}\text{C}$, diferenças insignificantes, dada a precisão dos aparelhos. No caso da temperatura máxima e da temperatura às 12 horas, a dispersão dos valores dos desvios é quase tão elevada como no Verão (vejam-se os desvios-padrões no quadro 7.1). Esta diferença deve-se à possibilidade de, em dias de forte insolação e de vento, a temperatura poder subir bastante no Bairro Alto; em ocasiões de nebulosidade forte e/ou vento fraco, nunca há aqui tanto calor como a Norte da cidade. As diferenças negativas às 16 horas, devem-se à sombra precoce na parte inferior da «ravina urbana» em dias de Sol.

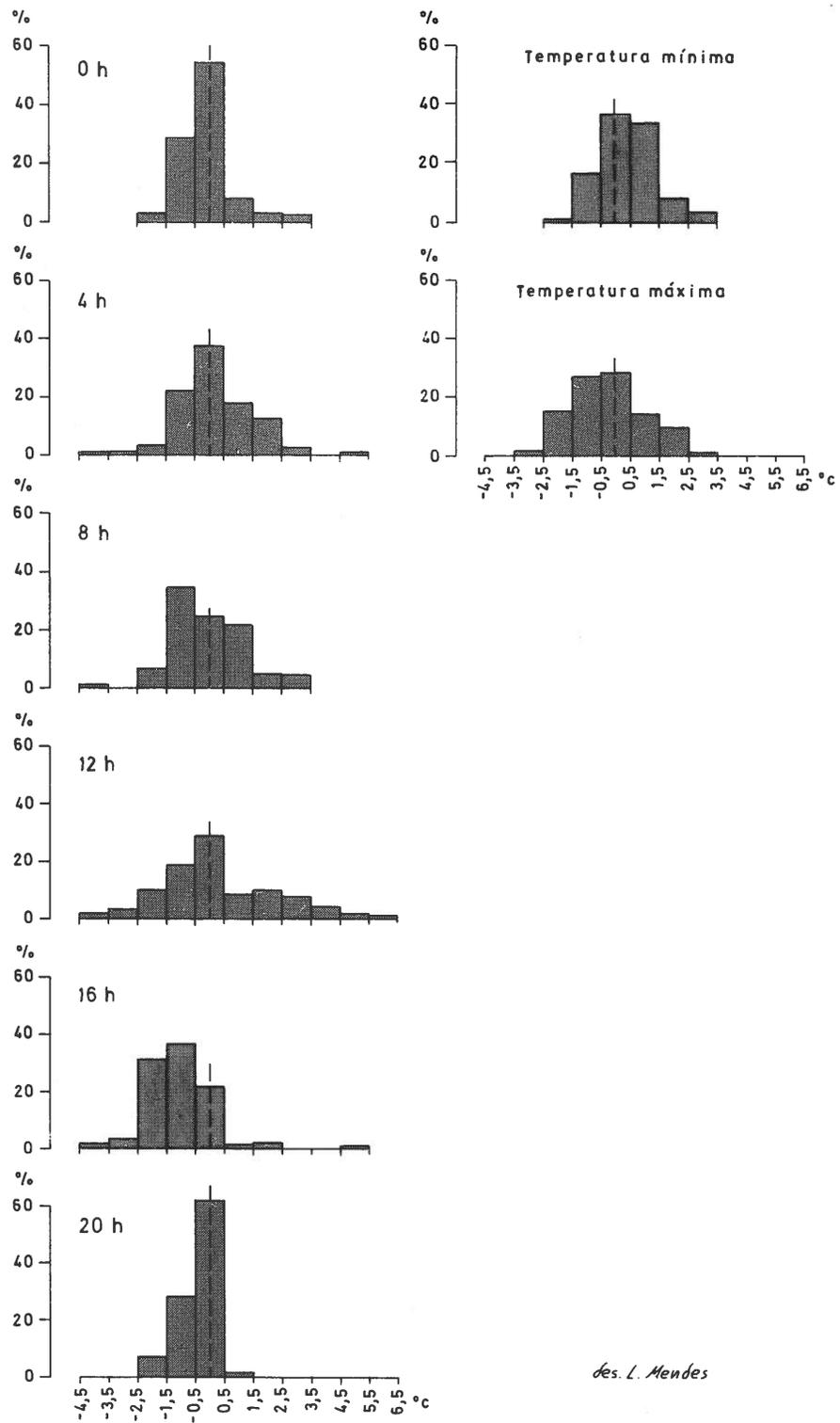
Outros parâmetros estatísticos poderão ser consultados no Quadro 8.1. Repare-se apenas que, se as diferenças entre os valores máximos dos desvios são semelhantes durante os dias de Inverno e de Verão, elas são bem mais pequenas durante as noites de Inverno. Já no intervalo inter-quartil as diferenças são menores, o que atesta a raridade de fortes desvios de um ou outro sinal.

3 — **Diferenças de temperatura entre a Avenida de Berna e o Aeroposto (Lisboa/Gago Coutinho).**

O menor número de dias de observação e a menor precisão do termo-higrógrafo da Avenida de Berna, não permitem detalhar a análise. Apresentam-se, seguidamente, breves resultados que terão de ser confirmados pela utilização de outro aparelho e um mais longo período de observação.

3.1 — *No Verão*

Em grande número de dias, as temperaturas são iguais ou ligeiramente superiores às do Aeroporto (até $+1.5^{\circ}\text{C}$). Tratam-se de ocasiões de relativa instabilidade da atmosfera, de vento de NW, Oeste e SW. Nalguns dos dias, as curvas de temperatura sugerem a existência de uma brisa na Avenida de Berna pois, no mesmo intervalo de tempo em que a temperatura desce, nota-se um aumento de 5 a



des. L. Mendes

Fig.7.2 — Diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto em 109 dias de Inverno.

10% de humidade relativa. Esta circunstância não modifica, todavia, os desvios positivos de temperatura em relação ao Aeroporto.

As maiores diferenças observam-se, porém, em dias de vento Norte, em que o vento roda para Este às 12 horas no Aeroporto (brisa do Tejo?), não havendo sinais de brisa na Avenida de Berna.

Os muito altos desvios às 20h, dão-se em ocasiões de fluxo de SE (e vento fraco); devido ao mais lento arrefecimento do recinto da Universidade Nova, onde está colocado o termógrafo.

As diferenças foram negativas em dias de nebulosidade fraca, atmosfera estável e vento de Norte e de NE, de velocidade variável. Talvez, nestes dias, a Avenida de Berna seja mais facilmente atingida por massas de ar vindas do mar (a humidade relativa pode descer até 20%, mas conserva-se pouco tempo nos seus valores mais baixos, há irregularidades das curvas da temperatura e não se possui informação sobre os ventos) (*).

Na maioria das noites, às 0 e às 4h, a Avenida de Berna permanece mais quente do que o Aeroporto: a classe modal tem como limites $+0.5^{\circ}\text{C}$ e $+1.5^{\circ}\text{C}$. A partir das 8h e até às 16h (incluindo a temperatura máxima), os desvios conservam-se próximos de 0; a dispersão das diferenças é sempre elevada, oscilando o desvio-padrão entre 1.6°C (temperatura máxima) e 2.2°C (às 8 e às 20h). Não há grande diferença, entre o intervalo inter-quartil e a diferença entre o desvio máximo e mínimo (Quadro 8.2), o que prova a fraca dispersão dos valores analisados.

Repara-se, nos histogramas (fig. 7.3), que os desvios raramente não são positivos ao fim da tarde: há maior abrigo do vento e a insolação é pouco menor do que no Aeroporto. Antes da construção de um prédio que, agora, dificulta a chegada da radiação solar directa ao fim da tarde, não existia qualquer obstáculo à insolação a esta hora do dia, no Verão. A média é de 0.8°C às 20h (assim como a mediana, Quadro 7.2a); o desvio médio das temperaturas máximas é de 0.6°C e o mediano de 0.5°C (ligeira dissimetria positiva).

Durante a noite, a partir das 20h, (e também no caso das mínimas), a dissimetria positiva dos histogramas da figura 7.3 é marcada, ou seja a Avenida de Berna está mais quente do que o Aeroporto na maior parte dos casos, estando os limites da classe modal compreendida entre $+0.5$ e $+1.5^{\circ}\text{C}$. A partir das 8 horas da manhã, e até depois das 16 h, a maior frequência de desvios corresponde aos casos de diferenças próximas de zero. E, tal como no Bairro Alto, é grande a dispersão dos valores dos desvios de temperatura entre a Avenida de Berna e Lisboa/Gago Coutinho. Nestes momentos do dia e, no caso da temperatura máxima, há apesar de tudo maior frequência de desvios positivos do que negativos.

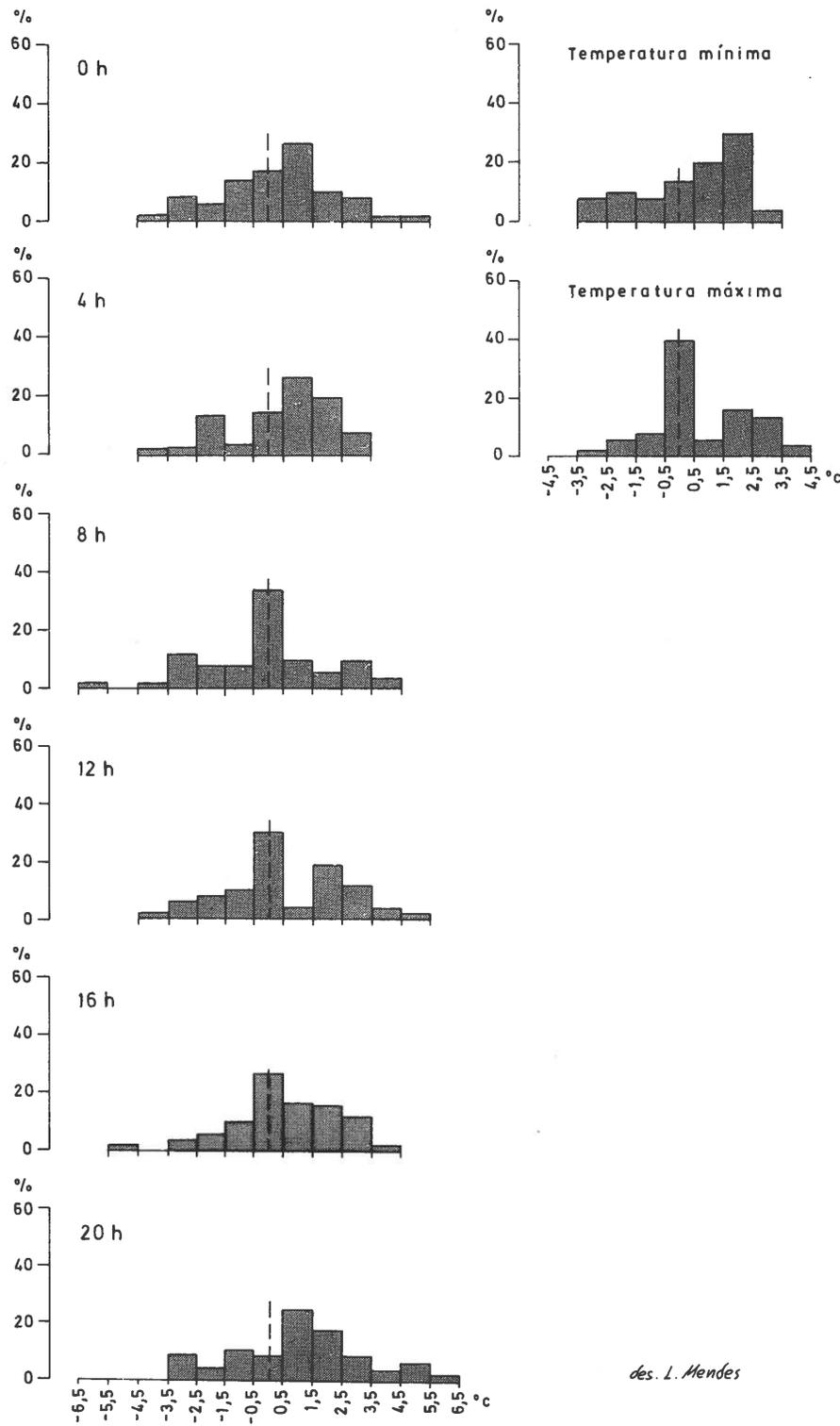
Estes resultados estão em acordo com os das observações itinerantes: ilha de calor mais frequente e bem marcada durante a noite, bairros setentrionais relativamente quentes em certas tardes de Verão.

3.2 — *No Inverno*

No Inverno, são muito raros os desvios negativos: a temperatura na Avenida de Berna é quase sempre mais alta do que no Aeroporto.

As diferenças de temperatura são pequenas no caso de fluxo zonal à superfície (passagem de perturbações, margem de anticiclone subtropical). A nebulosidade é média ou forte, o vento forte, de Oeste,

(*) Na edição policopiada deste estudo, foram reproduzidas algumas curvas dos termo-higrógrafos do Bairro Alto e da Avenida de Berna.



des. L. Mendes

Fig. 7.3 — Diferenças de temperatura entre a Avenida de Berna e o Aeroporto em 47 dias de Verão.

	0h	4h	8h	12h	16h	20h	T. Max.	T. Min.
Média (\bar{x} , °C)	0.2	0.1	-0.3	0.3	0.3	0.8	-0.6	0.2
Desvio-padrão (°C)	1.9	1.8	2.2	2.0	1.8	2.2	1.6	1.8
Mediana (Md, °C)	1.0	0.5	0	0	0	0.8	0.5	1.0
1.º quartil (°C)	-1.0	-1.3	-1.8	-1.0	-0.5	-0.8	-0.2	-1.5
3.º quartil (°C)	1.0	1.5	1.0	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5
Intervalo inter-quartil (H, °C)	2.0	2.8	2.8	2.5	2.0	2.8	1.7	3.0
Valor mínimo (°C)	-4.5	-4.0	-6.5	-4.5	-5.0	-3.0	-3.5	-3.5
Valor máximo (°C)	4.5	3.0	3.5	4.5	3.5	6.0	3.5	3.0
V. Max. — V. Min. (°C)	9.0	7.0	10.0	9.0	8.5	9.0	7.0	6.5

Quadro 7.2a — Parâmetros estatísticos das diferenças de temperatura estival entre a Avenida de Berna e Lisboa/Gago Coutinho, no Aeroporto (47 dias).

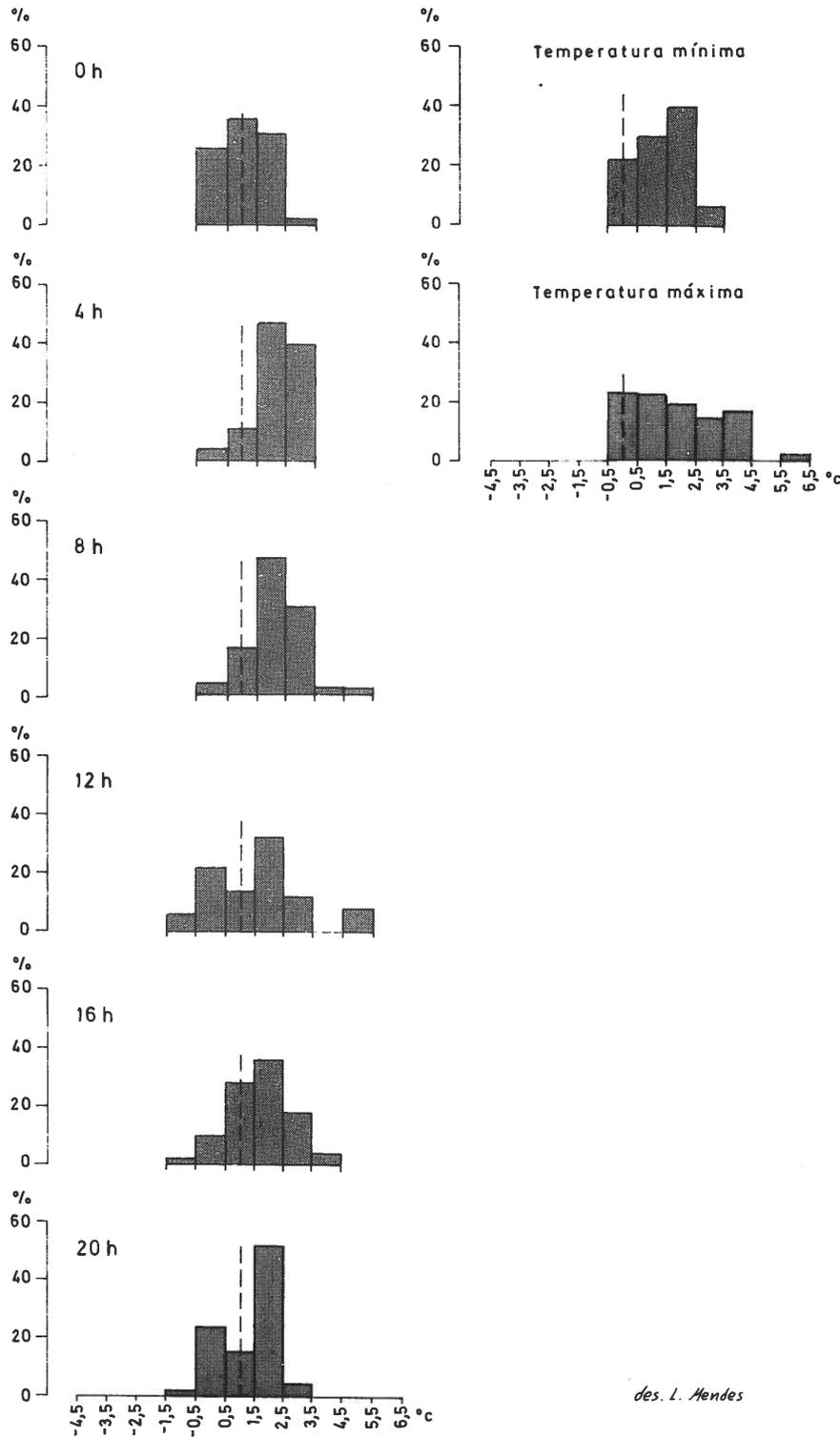
	0h	4h	8h	12h	16h	20h	T. Max.	T. Min.
Média (\bar{x} , °C)	1.0	1.0	0.9	1.4	1.5	1.2	1.7	1.2
Desvio-padrão (°C)	0.7	0.8	1.0	1.4	0.9	0.8	1.3	0.7
Mediana (Md, °C)	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0
1.º quartil (°C)	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0
3.º quartil (°C)	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	1.5	2.8	1.5
Intervalo inter-quartil (H, °C)	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.8	0.5
Valor mínimo (°C)	-0.5	-1.0	-1.0	-1.5	-1.5	-1.5	-0.5	-0.5
Valor máximo (°C)	3.0	2.0	4.0	5.0	3.5	3.0	6.0	3.0
V. Max. — V. Min. (°C)	3.5	3.0	5.0	6.5	5.0	4.5	6.5	3.5

Quadro 7.2b — Parâmetros estatísticos das diferenças de temperatura, no Inverno, entre a Avenida de Berna e Lisboa/Gago Coutinho, no Aeroporto (49 dias).

NW ou mesmo SW. O maior aquecimento da Avenida de Berna deve ser devida ao efeito de abrigo. Relembre-se que, quando o vento soprava de SW, o Bairro Alto estava mais fresco do que o Aeroporto.

As diferenças (positivas) aumentam durante o dia em situações anticiclónicas, com vento fraco de Este e atmosfera estável. Esta diferença parece ser devida a neblina registada no Aeroporto (por exemplo, a 9 de Janeiro de 1988).

Nos 49 dias de Inverno estudados, nem a temperatura mínima, nem a máxima foram, alguma vez, inferiores em mais de 0.5°C à do Aeroporto (fig. 7.4). A dispersão da temperatura máxima é menor do que no Verão (desvio-padrão de 1.3°C, quadro 7.2b), embora ultrapasse a dispersão dos valores nocturnos (σ de 0.7°C). A mediana oscila entre 1 e 1.5°C e a média entre 0.9°C (às 8h) e 1.7°C (temperatura máxima). Só às 0h, está a classe modal centrada em 0°C. Às 4 e às 8h, praticamente não há valores negativos. De noite, o arrefecimento é menos pronunciado do que no Aeroporto e, de manhã, a insolação deve iniciar-se pouco mais tarde. Às 12h, a distribuição é bi-modal e corresponde certa-



des. I. Mendes

Fig. 7.4 — Diferenças de temperatura entre a Avenida de Berna e o Aeroporto em 49 dias de Inverno.

mente a dois tipos de tempo, que a escassa amostragem disponível permitiu isolar, mas não explicar: os desvios positivos às 16h serão talvez devidos a efeito de abrigo e reflexão da radiação pelas paredes brancas próximas, assim como a concentração do calor no recinto da Universidade Nova.

Nesta análise, voltou a ser evidenciada a ilha de calor urbano, de grande expressividade durante a noite.

As características confinadas do Bairro Alto contribuíram para que o fenómeno da *ilha de calor urbano* não seja aí tão nítido como na Avenida de Berna.

Não se pode esquecer que, em Lisboa, a produção de calor de origem antrópica é infinitamente menor do que no centro de grande número de cidades da Europa Ocidental e da América do Norte por exemplo, nomeadamente no que diz respeito à quase completa ausência, entre nós, de aquecimento central. Consequentemente, no Bairro Alto, a diminuição de radiação solar não é compensada por outras contribuições energéticas.

4 — Relação numérica entre as diferenças de temperatura e alguns parâmetros meteorológicos no Aeroporto.

Para tentar quantificar a variação das diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e a Avenida de Berna e, à semelhança de outros trabalhos sobre o mesmo tema, indagou-se se existia relação linear entre aquelas e vários parâmetros meteorológicos, no Aeroporto. Escolheram-se a nebulosidade, a direcção do vento, a velocidade do vento, a temperatura em Lisboa/Portela, a intensidade da inversão térmica mais baixa e a humidade relativa. Problemas surgidos ao fazer correr os programas, impediram a utilização da altura da base da inversão mais baixa. Todos os dados foram extraídos do Boletim Meteorológico Diário, I.N.M.G. No exemplar policopiado desta dissertação (M. J. ALCOFORADO, 1988), encontram-se os coeficientes de correlação (r), os coeficientes de determinação (r^2), e as equações das rectas nos casos em que os coeficientes de correlação eram significativos.

Deste estudo, que não é aqui reproduzido na íntegra, mas que pode ser consultado no trabalho acima citado, extraíram-se as seguintes conclusões:

A influência da nebulosidade nas diferenças de temperatura analisadas parece ser maior no Inverno, no Bairro Alto: os coeficientes de correlação são negativos durante todo o dia (a aumentos de nebulosidade, correspondem menores desvios térmicos), excepto às 16 horas: se não há nebulosidade, o Aeroporto ainda recebe radiação solar a essa hora, enquanto a temperatura começou a decrescer no Bairro Alto, desde as 13 horas (efeito de sombra); os desvios são fortes e negativos nestes casos. Se há nebulosidade, o arrefecimento é simultâneo e as diferenças de temperaturas não são tão elevadas.

No Verão, quando os ventos sopram de Oeste, NW e Norte os desvios aumentam (cidade mais quente) ao fim da tarde e início da noite (efeito de abrigo). No Inverno, não há correlação, durante o dia, entre o rumo do vento e a diferença de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto (maior importância das variações de insolação, nebulosidade e sombra dos prédios contíguos). De noite, os coeficientes de correlação são negativos: há maiores diferenças com ventos de Leste, em que o Aeroporto está mais desprotegido e, portanto, mais frio. Na Avenida de Berna, a regressão só é significativa no caso da temperatura máxima: as maiores diferenças ocorrem com ventos de Este.

No Verão, a velocidade do vento tem quase sempre influência nas diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto (a uma maior velocidade do vento no Aeroporto, corresponde uma mais elevada diferença de temperatura), mas só às 16h para os desvios da Avenida de Berna (talvez por ser a hora em que a nortada tem probabilidades de ser mais forte e de, só nessa altura, se notar a influência do abrigo da Avenida de Berna, menor do que o do local de instalação do termo-higrógrafo do Bairro Alto).

No Inverno, a velocidade e rumo do vento só estão relacionados com a temperatura máxima da Avenida de Berna. No Bairro Alto, só durante a noite a relação é significativa: a maiores velocidades, correspondem menores desvios, talvez porque os ventos de SW (que fazem baixar a temperatura relativa no Bairro Alto) são os mais fortes, nesta época do ano.

As situações de temperatura mais elevada de Verão, coincidem com os menores desvios térmicos nocturnos. No Inverno, também durante a noite, o desvio no Bairro Alto é tanto menor quanto mais elevada a temperatura no Aeroporto (situações perturbadas).

No Inverno, os coeficientes são positivos durante o dia no Bairro Alto, sendo a correlação forte das 4 às 16 horas, na Avenida de Berna: à maior amplitude térmica corresponderá a maior possibilidade de aquecimento diferencial.

A correlação dos desvios com a humidade relativa é, no Verão, positiva às 0 e às 4h: a formação de nevoeiro em Lisboa/Portela (confirmado nalguns casos), favorecerá o maior aquecimento relativo dos outros pontos da cidade. No Inverno, não há correlação na Avenida de Berna mas, no Bairro Alto, a vários momentos do dia, os desvios são negativos (diferença de temperatura tanto menor quanto maior for a humidade relativa) e correspondem a situações perturbadas.

T. J. CHANDLER estabeleceu em 1965, no seu trabalho pioneiro sobre o clima de Londres, a relação entre a nebulosidade, a velocidade do vento em km/h, a temperatura do ar e a amplitude térmica diária no Aeroporto de Londres (a Ocidente da cidade) e a diferença das temperaturas máximas e mínimas entre Kensington (na cidade) e Wisley (nos arredores próximos).

O aumento da nebulosidade é sempre um agente de diminuição das diferenças de temperatura (excepto nas máximas de Verão, em Londres), a maior velocidade do vento coincide com uma diminuição dos desvios em Londres, à excepção da temperatura máxima de Inverno. Quando é significativa, a relação dos desvios com a temperatura na estação dos arredores é positiva; o aumento da amplitude térmica diurna coincide com uma elevação do valor dos desvios. Embora os «limites» do Inverno e Verão não sejam os mesmos, o número de casos observados não coincidam e o «sítio» das estações urbanas seja diferente, os resultados são comparáveis.

Pensa-se poder apresentar brevemente o tratamento dos mesmos dados, utilizando um novo programa que permite comparar matrizes de dados com matrizes de variáveis ditas explicativas; permite também ultrapassar o problema da utilização de certas variáveis discretas (como a nebulosidade e o rumo do vento), tornando mais fiáveis os resultados.

5 — Resumo e Conclusões

Resolveu-se o problema da descontinuidade temporal da informação, mas apenas para 2 locais: foram instalados, no Bairro Alto e na Avenida de Berna, dois abrigos meteorológicos. Os termo-higrógrafos colocados no seu interior forneceram, ao longo de alguns meses, informação contínua no tempo de temperatura e humidade relativa. Mas, para a análise, houve necessidade de se voltar a quebrar a continuidade temporal; transcreveram-se apenas as temperaturas de 4 em 4 horas, em cada local (0, 4, 8, 12, 16 e 20h), assim como a máxima e a mínima. A multiplicação de horas de leitura teria constituído um volume enorme de dados a tratar, que não seria compensado pela precisão dos resultados, no estágio actual da pesquisa. Tendo-se limitado o estudo ao Inverno e ao Verão, apenas se conseguiram estudar cerca de uma centena de dias no caso do Bairro Alto (na FAUL) e de quase 50, no de Avenida de Berna (na Universidade Nova). Consultaram-se as curvas do termo-higrógrafo do Aeroporto (Lisboa/Gago Coutinho) e calcularam-se as diferenças, para os oito momentos do dia atrás mencionados, entre cada local de medição no interior do tecido urbano e a usual estação de referência.

Os resultados, detalhadamente expostos no texto, são mais seguros para o Bairro Alto do que para a Avenida de Berna, devido ao mais longo período de observação e à maior precisão do aparelho utilizado no primeiro local.

A análise dos quadros dos desvios de temperatura (em relação ao Aeroporto) revelou que, no conjunto, estes são mais frequentemente positivos na Avenida de Berna do que no Bairro Alto, ao contrário do que se poderia pensar, tendo em conta a situação dos dois locais em relação ao centro da cidade; mas, acabou de ver-se que, em Lisboa, a configuração da ilha de calor e a sua intensidade é muito complexa, pois as influências do Oceano, próximo, e do Tejo, cujo estuário limita a cidade, a Oriente e a Sul, se sobrepõem por vezes completamente ao efeito urbano. Por exemplo, a sua posição a SW da cidade fazem que, tanto de Verão como de Inverno, tanto de noite como de dia, o Bairro Alto esteja mais fresco quando sopram ventos daquele quadrante.

Como resultados mais importantes das regressões, cite-se o facto de, durante o dia (sobretudo no Inverno), a temperatura no Bairro Alto ser muito dependente da nebulosidade, enquanto, durante as noites de Inverno são o rumo e a velocidade do vento que mais contribuem para as variações dos desvios térmicos. No Verão, a influência do vento é sobretudo importante durante a tarde (abrigo do Bairro Alto em relação à nortada).

No entanto, e confirmando os resultados expostos no capítulo anterior, pode concluir-se que a *ilha de calor* é mais frequente de noite e ligeiramente mais intensa na Avenida de Berna, onde as temperaturas máximas foram também, não raro, mais altas do que no Aeroporto e no Bairro Alto.

CAPÍTULO 8

O TEMPO ESTIVAL NO LITORAL OCIDENTAL

1 — A Área em estudo

Quem viaja pela «estrada do Oceano», contornando a Serra de Sintra pelo Ocidente, decerto repara nas grandes variações do «tempo», de local para local. Exemplifica-se com um caso frequente em dias de Verão: pode estar Sol, muito calor e atmosfera calma na Vila e nas praias de Cascais e, simultaneamente, ser impossível permanecer na Praia do Guincho, devido ao vento forte de Norte ou NW que aí sopra; continuando a seguir a estrada diminui pouco a pouco a velocidade do vento quando se alcança a vertente Norte da Serra de Sintra, havendo não raro calma (e, por vezes, nevoeiro) nas praias da Adraga, Grande, e das Maças, a barlavento da Serra.

A Serra de Sintra é um maciço granítico de dimensões modestas (12 x 5 Km, fig. 8.1), mas de 500 metros de altitude; termina bruscamente a Ocidente por uma arribas de mais de 200 metros de altura (Cabo da Roca). O maciço eruptivo data do fim do Secundário e provocou a inclinação das camadas sedimentares do Jurássico e do Cretácico, que o rodeiam e que, posteriormente, foram arrasadas pelo mar. As plataformas (300 ou 400 metros mais baixas) correspondem, portanto, a antigas superfícies de abrasão que terminam, a Ocidente, por arribas cuja altitude diminui de Norte para Sul (O. RIBEIRO, 1940).

A poluição crescente da Costa do Estoril (da «Linha») leva os veraneantes a escolher praias do litoral ocidental. A proximidade de Lisboa contribuiria muito para a popularidade do Guincho, se não fosse a incerteza quanto ao «tempo», particularmente a ignorância quanto às condições do vento que, não raro, impede as horas de lazer programadas.

Para documentar estes factos, analisam-se os trajectos preferenciais dos ventos estivais dominantes a partir de bio-indicadores, apresenta-se uma série de perfis térmicos, ao longo do litoral ocidental(*), e comenta-se a ocorrência de condições de conforto ou de desconforto por excesso de vento na praia do Guincho.

(*) Omitem-se, na presente publicação, os percursos nocturnos no litoral, assim como os que se efectuaram ao longo da Serra de Sintra e que foram apresentados no texto policopiado da dissertação que agora se publica (M. J. ALCOFORADO, 1988). Pretende-se, aqui, indagar as condições diurnas, que interessam ao frequentador das praias deste troço do litoral.

2 — Os ventos dominantes. A Nortada

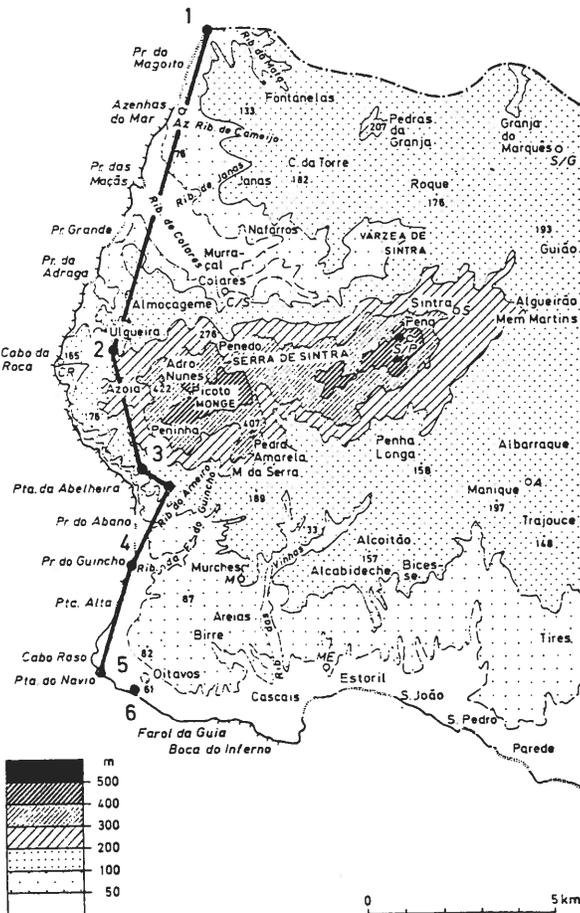
2.1 — Estudo do vento a partir de bio-indicadores

Como se referiu, no primeiro capítulo, os dados das estações meteorológicas revelam a dominância, durante o Verão, dos ventos do quadrante Norte, mas não permitem o conhecimento das condições do vento a grande escala, útil em Ecologia, em Morfologia actual, para o Planeamento e no Turismo. Utilizaram-se, por isso, bio-indicadores para o estudo do vento junto ao solo (M. J. ALCOFORADO, 1984).

a) Acção do vento na vegetação

Numerosas experiências conduzidas por WILSON no Canadá (citado por M. YOSHINO, 1975), S. OKA no Fuji-Yama (1972) e M. YOSHINO na Jugoslávia e no Japão (1973 e 1976), provaram que o vento é realmente o responsável da modificação do perfil das plantas.

Uma brisa fraca (velocidade inferior a 2m/s, segundo HUETZ DE LEMPS, 1970) é benéfica, pois assegura a renovação do ar em torno dos estomas e facilita a assimilação clorofilina. Mas, se o vento é forte, a transpiração é de tal forma aumentada a barlavento de cada planta, que as funções vitais são muito reduzidas e o desenvolvimento é fraco ou nulo. Esta acção fisiológica do vento sobre as plantas tem como resultado o aparecimento de formas dissimétricas ou prostradas (árvores deformadas) tão características das regiões ventosas. Dá ideia que as árvores foram encurvadas pelo vento. No entanto, a acção directa (mecânica) do vento, como causa de deformação, é posta em causa



- 1 — Praia Grande
- 2 — Cruzamento para Atalaia
- 3 — Malveira da Serra
- 4 — Guincho
- 5 — Cabo Rosa
- 6 — «Raio Verde»

Fig. 8.1 — Perfil de observações no litoral.

por alguns biogeógrafos (discussão oral na 1ª reunião do Grupo de Trabalho de Topoclimatologia da UGI, em Liège, 1985). Não há dúvidas de que um vento forte pode quebrar certos ramos, ou mesmo derrubar árvores, mas há divergência de opiniões quanto ao dobramento dos ramos, meramente pela acção mecânica do vento, aceite pelos autores que escreveram sobre este tema nos anos 60 e 70 (W. WEISCHET, D. BARSH, M. YOSHINO).

Na área em estudo, a acção prejudicial do vento é ainda intensificada pelos grãos de areia em suspensão e pelas partículas salinas da salsugem. Os grãos de areia impedem o aparecimento de gemas

de renovo a barlavento; os sais marinhos (principalmente o cloreto de sódio) «queimam» a vegetação ao penetrarem nos tecidos já feridos pela repetição dos choques. As gemas de renovo mais expostas morrem, a não ser que as plantas armazenem os sais, tornando-se suculentas e não permitam que estes perturbem o seu funcionamento habitual (F. CATARINO, 1968).

A observação da vegetação revela que são os ventos do quadrante Norte (Norte, NW) os principais responsáveis pela deformação das árvores. As gemas de renovo das espécies desta área aparecem durante o mês de Fevereiro, mas é apenas a partir de Março que os jovens rebentos ficam desprotegidos e, conseqüentemente, mais sensíveis à acção do vento. Ora, é precisamente a partir deste mês que os ventos do quadrante Norte se tornam mais frequentes, sendo francamente predominantes a partir de Abril e durante todo o Verão (fig. 8.2). Este estudo permitiu não só marcar trajectórias preferenciais dos ventos dominantes num mapa a grande escala como conhecer a circulação regional dos ventos dominantes em torno da Serra de Sintra.

b) Escalas de deformação das árvores

Embora a determinação do grau de deformação seja difícil e marcada pela subjectividade, numerosas escalas foram apresentadas: WEISCHET (1955 e 1963), BARSCH (1963), YOSHINO (1964 e 1973).

Na área em estudo, a escala de deformação, esquematizada na figura 8.3, foi concebida para o pinheiro, género frequente nesta área; as espécies aqui encontradas são o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), o pinheiro manso (*Pinus pinea*) e o pinheiro de Alepo (*Pinus halepensis*). Foram distinguidos cinco graus de deformação, a que foram dados números de ordem de 2 a 6, para permitir acrescentar o grau 1 em trabalhos a realizar em áreas menos ventosas, e para facilitar a comparação com as escalas elaboradas pelos outros autores, de que se dá conta pormenorizada, no relatório de 1984. A diferente forma inicial da copa (cónica ou globosa) dá lugar a perfis diferentes nos três primeiros graus (fig. 8.3): a dissimetria é crescente do grau 2 ao 4, restando apenas os ramos da parte abrigada nos pinheiros de grau 4; a inclinação do tronco é fraca ou nula. Nos pinheiros de grau 5, o dobramento

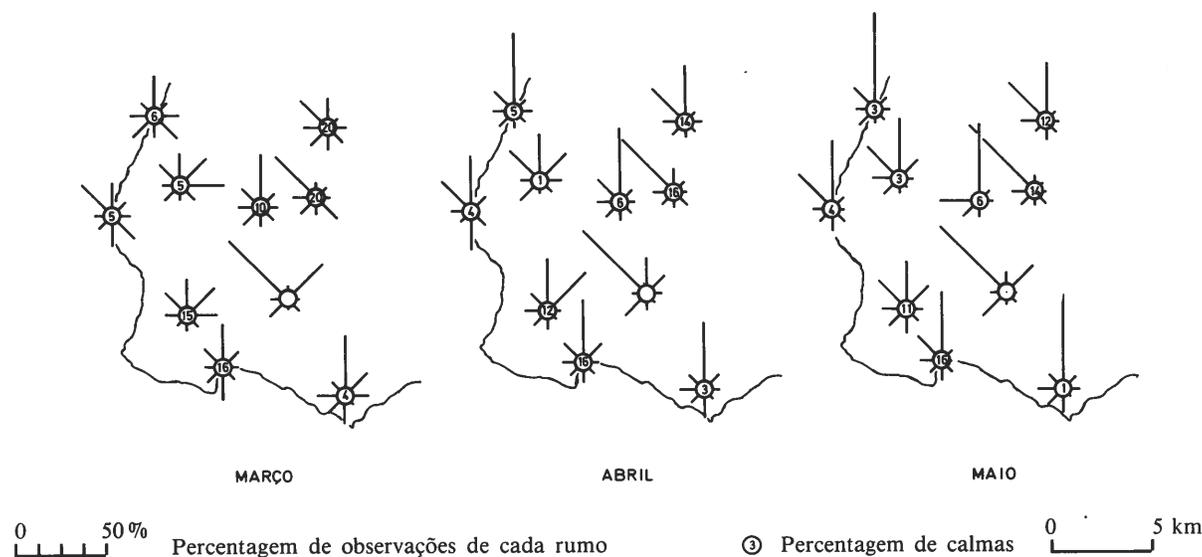


Fig. 8.2 — Rumo dos ventos na Primavera (1947/75)

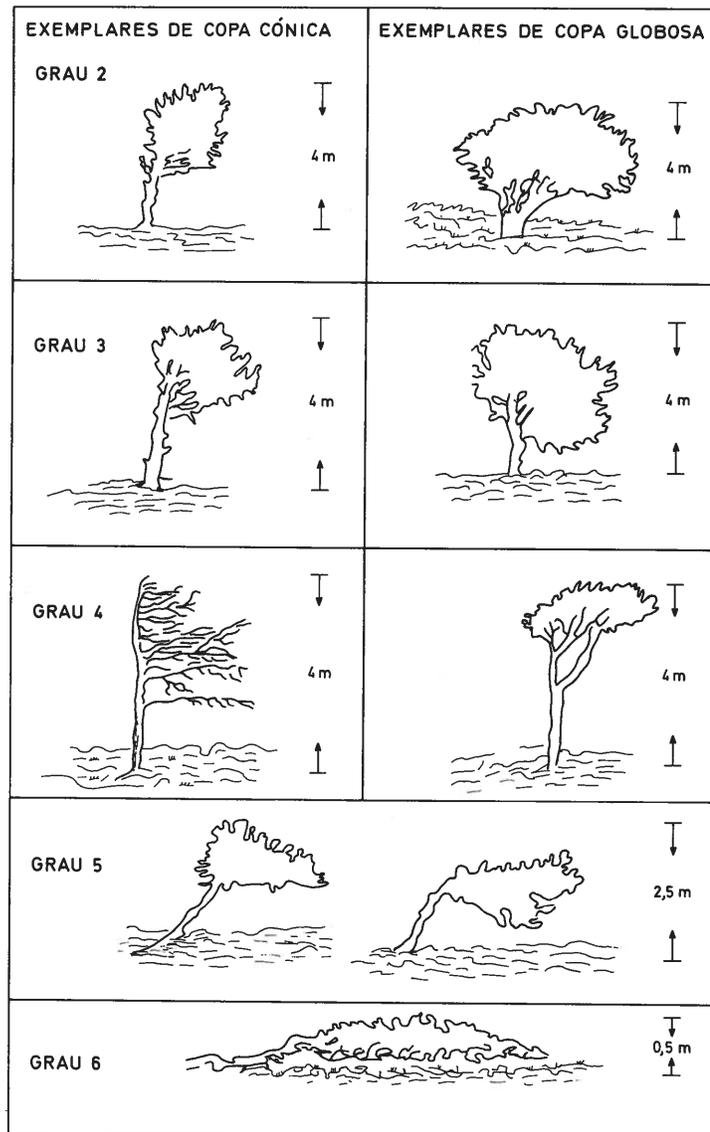


Fig. 8.3 — Escala de deformação adaptada ao pinheiro.

quente (fig. 8.5): o perfil do conjunto é dissimétrico, aumentando a altura das árvores para barlavento. O limite da vegetação é mais regular a barlavento do que a sotavento e, por vezes, os indivíduos da orla do povoamento expostos ao vento dominante apresentam formas dissimétricas.

2.2 — Representação cartográfica dos ventos dominantes em torno da Serra de Sintra.

O mapa da figura 8.6 apresenta a síntese da informação disponível sobre a circulação do vento dominante junto ao solo. Resulta da redução da representação cartográfica da deformação das árvores à escala 1:25 000.

do tronco principal é visível, a altura da árvore menor e a maior parte dos ramos cresce horizontalmente. O grau 6 corresponde ao desenvolvimento «em tapete» das árvores. O tronco, completamente prostrado, por vezes nem é visível devido ao emaranhado dos ramos, cujo crescimento na vertical é impedido pelo «efeito de poda» (ASHBY, 1961); as gemas de renovo da parte superior dos ramos não conseguem sobreviver devido às acções mecânica e fisiológica do vento. Os arbustos que existem nos mesmos locais ventosos têm porte «em almofada», constituindo moitas ovaladas, que asseguram uma mais eficaz auto-protecção. Na fotografia aérea, distinguem-se apenas, nestes locais, manchas de vegetação alongadas no sentido do vento dominante (fig. 8.4). Na ausência de pinheiros, outras espécies foram utilizadas como indicadores da direcção (mas não da intensidade) do vento dominante. Os grupos de árvores podem também fornecer indicações preciosas sobre o rumo do vento mais fre-

As principais variações espaciais na deformação das árvores devem-se à distância ao litoral, à orientação e altura da linha de costa e à topografia.

Ao penetrarem no continente, os ventos de Norte e de NW sofrem uma deflexão lateral no sentido ciclónico (para a esquerda) que, segundo H. RIEHL (1965), é de 30°, em média; esta é ainda acentuada pela presença do relevo que o vento tende a contornar, deixando-o à sua direita (P. PAGNEY, 1973).

Aumentando muito o atrito próprio do continente, a serra de Sintra provoca uma travagem do vento a barlavento do obstáculo, que ela própria constitui. Este efeito também constatado por F. HOLTMEIER (1978) nas Montanhas Rochosas, é ainda intensificado pela ausência de vales importantes perpendiculares à maior dimensão do relevo, pela existência do Vale da ribeira de Colares na base da vertente e pela grande densidade do coberto vegetal na encosta setentrional.

O ar que atravessa a Serra, seguindo os colos, adquire uma forte aceleração no seu movimento descendente, de modo que a velocidade dos ventos do quadrante Norte é geralmente maior a sotavento do relevo. Para os extensos areais aquecidos do sopé SW da Serra de Sintra (Guincho) convergem não só os ventos que, velozmente, descem os valeiros, como também os que contornam o Cabo da Roca (fig. 8.6). A análise do vento registado nos escassos cinco anos de observações da estação de Murches, no sopé sul da Serra, confirma que, sobretudo no Verão, as velocidades dos ventos de Norte e NE são maiores do que em Sintra/Granja, a NE do referido relevo: por exemplo, em Agosto de 1960, a velocidade média dos ventos de Norte foi de 33 km/h em Murches e de 18 km/h em Sintra/Granja (M. J. ALCOFORADO, 1984).

Os locais de mais forte deformação encontram-se à beira do Oceano (fig. 8.4, 8.6 e 8.7), à excepção de uma estreita faixa imediatamente a Norte do Cabo da Roca; tal será devido ao já referido efeito de travagem do ar pela Serra e é certamente intensificado pela grande densidade de sebes que, nesta área, podem atingir mais de 5 metros de altura. As praias das Maças, Grande, da Adraga, a que se referirá à frente, encontram-se no litoral desta área de menor grau de deformação das árvores; a velocidade do vento tenderá a diminuir, devido a particularidades topográficas locais como, por exemplo, as arribas que intensificam ainda mais o efeito de travagem. A faixa de árvores prostradas pelo vento é mais larga na plataforma menos elevada a sotavento do obstáculo, onde se encontra a Praia do Guincho (fig. 8.4). A deformação das árvores diminui para Oriente, de modo tanto mais irregular quanto mais movimentada é a topografia. Os troços de fundo de vale abrigados, protegidos por interflúvios perpendiculares aos ventos dominantes, são mais frequentes a barlavento (Norte) do que a sotavento

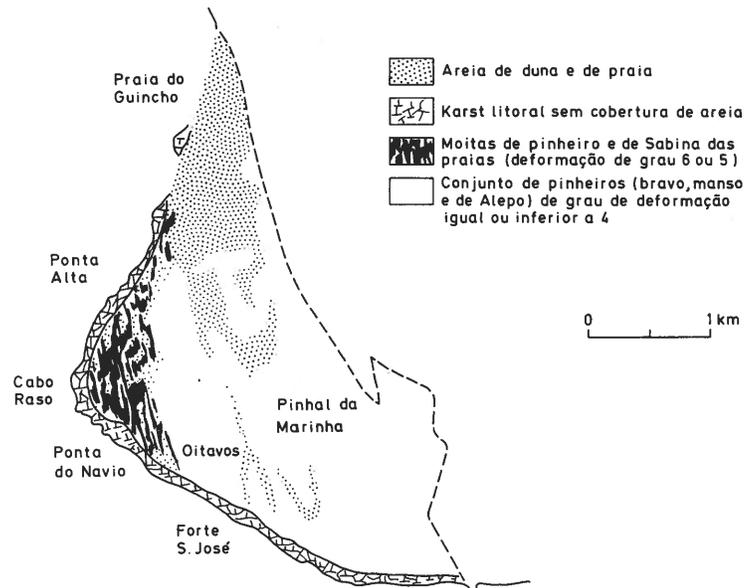


Fig. 8.4 — Bio-indicadores no Cabo Raso

(a Sul) da Serra. As formas «em bandeira» (grau 4), foram encontradas também em locais não expostos aos ventos marítimos directos, mas sob a influência do ar canalizado pelos valeiros (fig. 8.7, a Sul de Arneiro). Como verificação das indicações dadas pela deformação das árvores, executaram-se observações itinerantes ao longo do litoral, nas proximidades da Serra de Sintra. Mediu-se não só a velocidade do vento que, não raro, soprou na direcção indicada pelos bio-indicadores, como também se registaram os valores de temperatura e de humidade relativa. Pensa-se, de futuro, tentar aplicar alguns índices turísticos às condições térmico-higrométricas e de ventilação desta área.



Fig. 8.5 — Conjunto de árvores deformadas.
→ Direcção do vento dominante

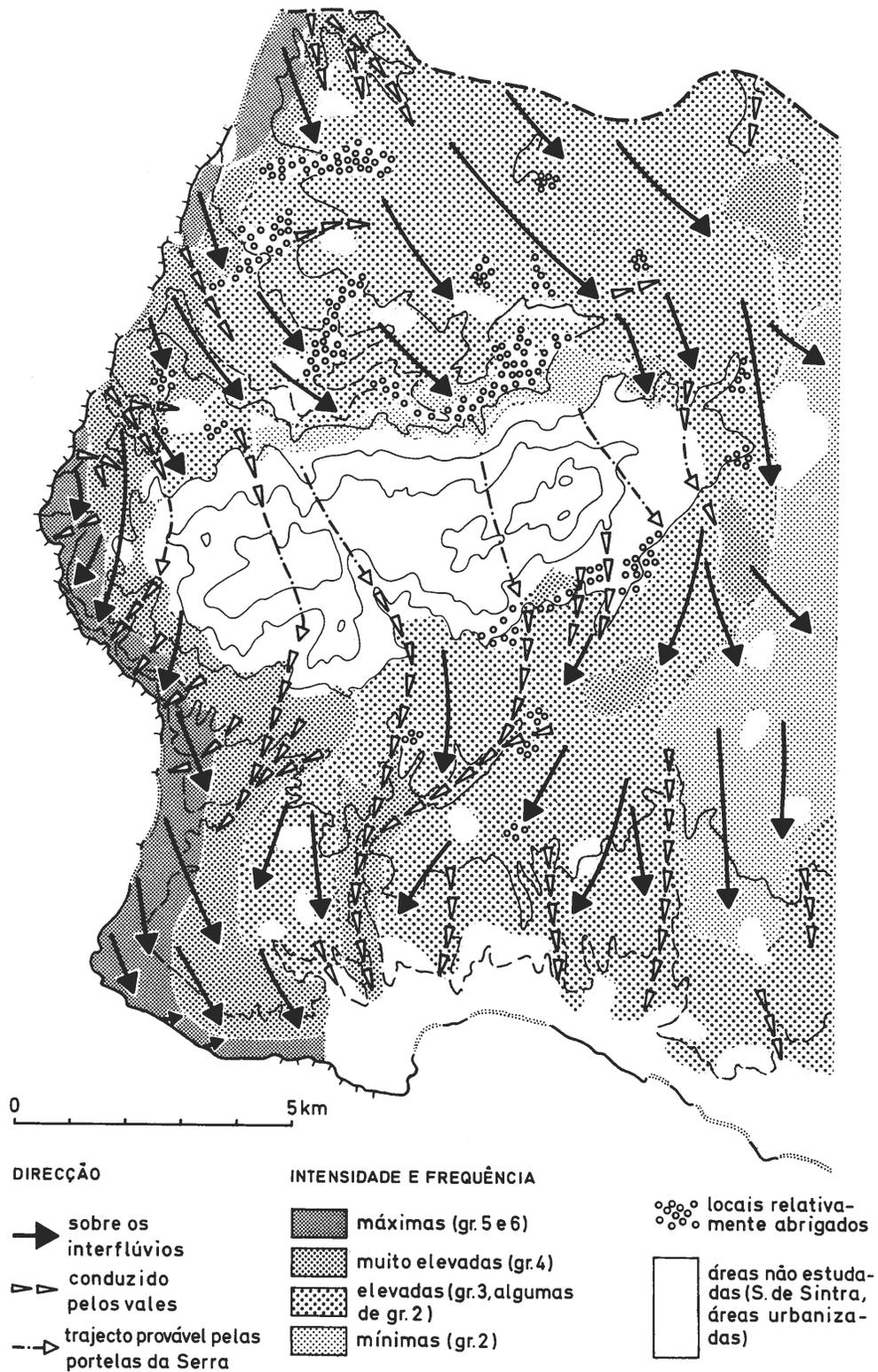


Fig. 8.6 — Os ventos dominantes em torno da Serra de Sintra: mapa de síntese.

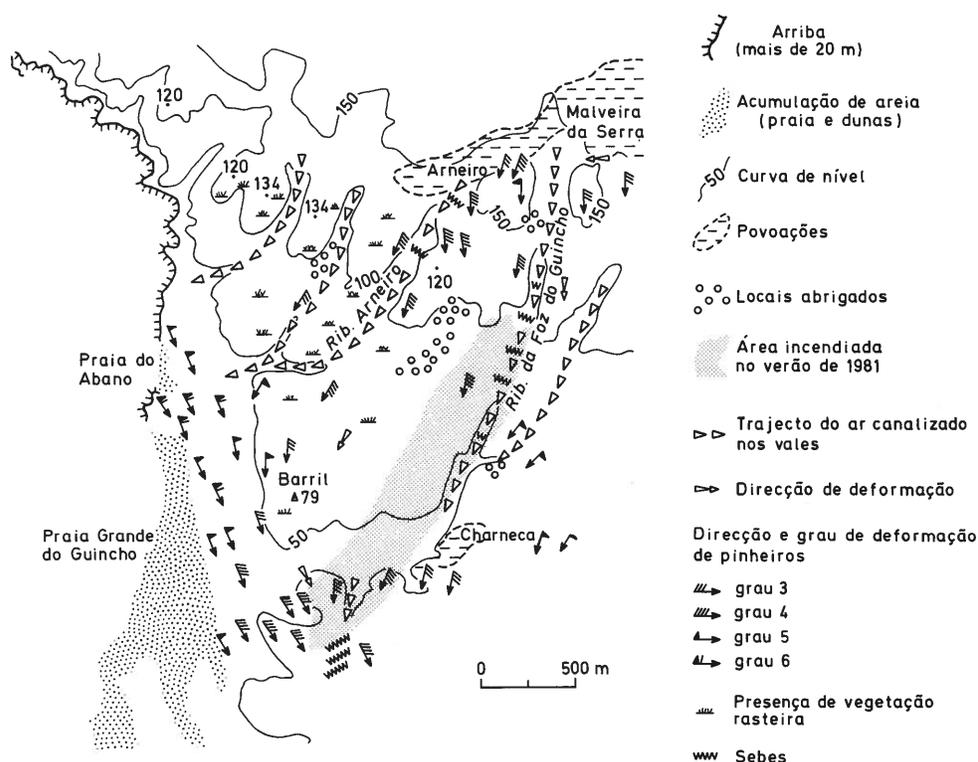


Fig. 8.7 — Bio-indicadores a SW da Serra de Sintra.

3 — A temperatura diurna ao longo do litoral ocidental.

3.1 — *Trajecto de observações itinerantes.*

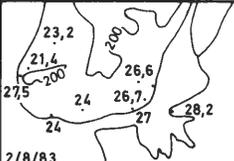
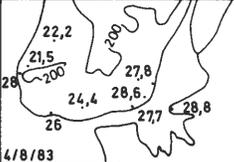
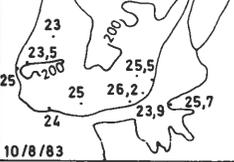
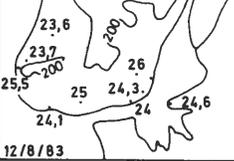
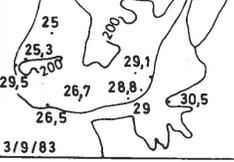
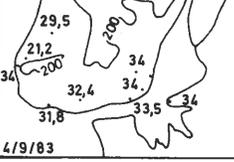
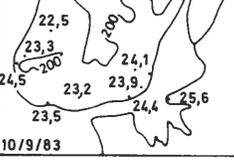
A primeira observação era feita a Sul da colina de Oitavos (Raio Verde, nº 6 na fig. 8.1) e está, por vezes, marcada, nos perfis, no ponto correspondente a Cabo Raso (com a respectiva indicação). Parava-se depois, sucessivamente, no Cabo Raso, junto à Praia do Guincho, a Norte da Malveira da Serra (Arneiro, ainda na vertente Sul da Serra); em seguida, faziam-se observações na vertente Norte, no cruzamento para Atalaia, depois da estrada que, pela Azóia, segue até ao Cabo da Roca e, finalmente, na Praia Grande (fig. 8.1).

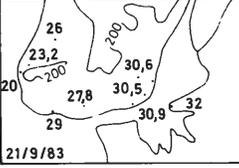
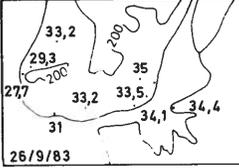
3.2 — *Resultados*

As observações itinerantes estão referenciadas como para Lisboa. No quadro 8.1, além das temperaturas máximas do conjunto da região, informa-se sobre o vento, a nebulosidade, a humidade relativa, a estrutura térmica da atmosfera e a situação sinóptica à superfície (*).

(*) Apenas se dão as indicações referentes aos dias aqui expressamente referidos e não aos 26 dias que serviram para o cálculo da mediana, à frente apresentada.

Quadro 8.1 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nos dias de observações de terreno no litoral (Verão)

Temperatura máxima (°C)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P 12h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 12h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 6h	às 12h	às 18h				
 2/8/83	360 9,3 1	340 25,9 0	330 44,5 0	47	30(8)	Trans.a	Nevoeiro:—
 4/8/83	330 9,3 0	330 18,5 0	320 38,9 0	53	2(1,6)	Trans.a	Nevoeiro:—
 10/8/83	300 5,6 3	200 11,1 6	310 20,4 1	60	4(5,8)	Trans.a	Nevoeiro: Cabo da Roca (das 0h às 6h)
 12/8/83	290 11,1 3	— 3,7 6	300 22,2 2	64	4(30)	Trans.a	Nevoeiro:—
 3/9/83	30 18,5 0	340 20,4 3	340 37,1 2	24	3(2,4)	Trans.a	Nevoeiro:—
 4/9/83	350 9,3 0	70 13 2	330 25,9 3	—	—	A.NE	Nevoeiro:—
 10/9/83	340 9,3 8	340 16,7 1	350 33,4 1	49	3(1,4)	A.misto	Nevoeiro:—
	Rumo do vento em graus Velocidade do vento em Km/h Nebulosidade em oitavos			Legenda das colunas 5 e 6 no fim			

Temperatura máxima (°C)	Vento e nebulosidade em L/P			Humidade relativa L/P às 12h (%)	Estrutura térmica da atmosfera às 12h	Situação sinóptica à superfície	Observações
	às 6h	às 12h	às 18h				
	350 7,4 0	330 7,4 0	340 20,4 0	57	5	A. sub.	
	0 0 2	110 7,4 0	320 14,8 0	45	2(2,2)	A. Eu	

Rumo do vento em graus
Velocidade do vento em Km/h
Nebulosidade em oitavos

Legenda das colunas 5 e 6 no fim

Legenda

Estrutura térmica da atmosfera: indicação do nível isobárico correspondente à base da inversão térmica mais baixa. Entre parêntesis, a diferença de temperatura entre a base e o topo da inversão, caso esta tenha sido identificada.

1. Inversão junto ao solo
2. Base da inversão mais baixa, abaixo de 950 hPa
3. Base da inversão mais baixa entre 950 e 850 hPa
4. Base da inversão mais baixa entre 850 e 700 hPa
5. Ausência de inversão (até 700 hPa)

Situação sinóptica à superfície

- A. sub — Anticiclone atlântico subtropical
 A. misto — Anticiclone atlântico misto
 A. NE — Anticiclone atlântico misto prolongando-se para NE
 A. Eu — Anticiclone Europeu
 A. Im — Anticiclone Ibero-mediterrâneo
 A. Ia — Anticiclone Ibero-africano
 Dep. P. I. — Depressão na Península Ibérica
 Dep. T. P. I. — Depressão térmica na Península Ibérica
 CD — Outros centros depressionários
 Pert — Perturbações
 Pant — Pântano ou colo barométrico
 trans — Situação pouco clara ou de transição
- trans. a:* entre anticiclone atlântico e depressão na Península Ibérica ou na Europa Ocidental (fluxo do quadrante N)
trans. b: entre anticiclone Europeu ou no Mediterrâneo Ocidental e depressões no Atlântico Oriental, provindo o fluxo geral de Sul.
trans. c: Numa região de pressão relativamente elevada, entre duas depressões, uma no Atlântico e outra no interior da Península Ibérica.

A partir da projecção de cada dia de observações no plano 1-2 da análise em componentes principais (aplicada a uma matriz de temperaturas máximas de Verão, capítulo 4), escolheram-se alguns dias, que se consideraram característicos das condições estivais (fig. 8.8). Eliminaram-se os dias de chuva e/ou de nebulosidade elevada (grupo 1), à partida desagradáveis para os veraneantes. Não se apresentam resultados definitivos, mas um estudo preliminar de uma investigação que se pretende aprofundar, não se sugerindo, por enquanto, frequências de ocorrência.

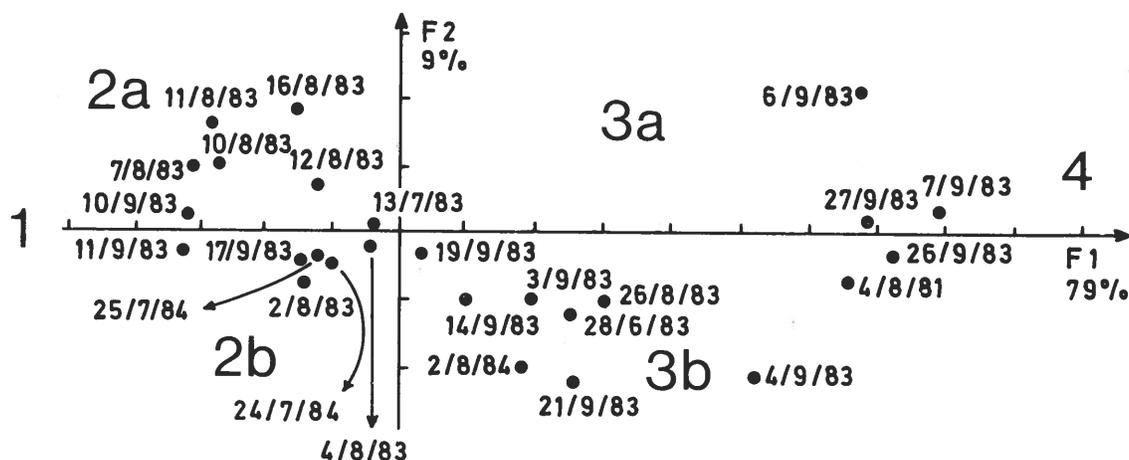


Fig. 8.8 — Projecção dos dias em que se efectuaram medições no litoral ocidental, no plano 1-2 (análise em componentes principais aplicada a uma matriz de temperaturas máximas de Verão, ver capítulo 4).

a) Dias de vento fraco ou de Calma (*).

Os perfis térmicos da figura 8.9a correspondem a alguns destes dias (grupo 3b e transição 3a-3b, na figura 8.8). Repare-se que o vento sopra quase sempre de Norte na Praia Grande, onde alternam as situações de calma com as de vento de 2 m/s (só a 21/9/83 sopra de NW a Sul da Serra). As maiores velocidades raramente ultrapassam 6 a 7 m/s (20 a 25 km/h). Só na Malveira da Serra e a 26/8/83 no Guincho, as rajadas alcançam 10 m/s (36 km/h) ou mais, ao fim da tarde. Repare-se nas muito baixas temperaturas relativas (-9°C a -2.5°C) a Norte da Serra, sobretudo na Praia Grande, onde há frequentes neblinas (**). A vertente Sul da Serra aquece mais (desvios térmicos de -7°C a $+2^{\circ}\text{C}$), tendo-se observado temperaturas excepcionalmente altas num ou noutro local, que se atribui ao vento de NE, quente (por exemplo, a 4/9/83, $+0.5^{\circ}\text{C}$ em Arneiro e $+3^{\circ}\text{C}$ no Guincho). Conclui-se que, nestes dias quentes, de atmosfera relativamente estável em Lisboa/Portela, se observa um aumento de temperatura, por vezes considerável, de Norte para Sul da Serra: a 4/9/83 há 9°C de diferença entre o cruzamento para Atalaia e a Malveira da Serra (2 e 3 na figura 8.1). A situação é de calma ou vento fraco, a Norte da Serra. A Sul deste obstáculo montanhoso alter-

(*) Referem-se as características de Lisboa como ponto de referência, uma vez que há, por vezes, grandes diferenças entre os diversos pontos desta pequena faixa do litoral ocidental.

(**) Os desvios de temperatura foram calculadas como no capítulo 6 e tomando Lisboa/Gago Coutinho como estação de referência; revelaram-se infrutíferas as tentativas para utilizar Cabo da Roca como termo de comparação, devido a avaria temporária do termo-higrógrafo.

nam situações de calma, de vento quente, que desce a vertente Sul da Serra (particularmente em Arneiro e no Guincho) ou então de vento de W ou NW (brisa do mar), de velocidade média nunca muito forte.

b) Dias de Nortada.

Em dias de vento mais forte, como por exemplo, a 10/9/83 e 2/8/83 (transição 2a-2b na figura 8.8), os desvios de temperaturas variam entre -5°C e -1°C na vertente Norte e -6°C e $+5^{\circ}\text{C}$ na encosta e sopé Sul. No entanto, as variações térmicas espaciais são normalmente menores do que no caso anterior, à excepção de 10/8/83 (*). Nestas ocasiões, a velocidade dos ventos é, por seu lado, muito maior do que nos exemplos anteriores: na Malveira, oscila entre 6 m/s (22 km/h) e 20 m/s (72 km/h) e no Guincho entre 3 m/s (10.8 km/h) e 20 m/s (72 km/h). Foram medidas rajadas de 24 m/s (86 km/h) na Malveira a 10/9/83; Em dias como a 2/8/83 (fig. 8.9b), não havia ninguém na Praia do Guincho; só a muito custo se conseguiu efectuar as observações devido à areia violentamente arrastada até à estrada sobranceira à praia. Neste mesmo dia, a barlavento do obstáculo e a 10 km em linha recta, a Praia Grande proporcionava um muito agradável dia de praia, embora menos quente, devido à neblina que, não raro aí se instala. Esta situação repetiu-se nos 4 dias da figura 8.9b.

c) Dias de vento do quadrante Oeste

Propositadamente evitados, na altura, só o dia 12/8/83 documenta uma situação de vento de Oeste e de SW (fig. 8.9c). Havia calma a Norte da Serra, onde a temperatura era superior em 4°C à do Aeroporto e ventos de SW (mais fortes rajadas) no Cabo Raso e Oitavos, mais frescos, (-2°C que a estação de referência).

d) Valores medianos

Em termos medianos, as diferenças de temperatura são pequenas, conservando-se a vertente Sul da Serra de Sintra quase sempre mais quente do que o litoral a Norte do Cabo da Roca e a uma temperatura próxima da do litoral a Sul da referida elevação (fig. 8.10). No início da tarde, junto à Baía de Cascais, a temperatura pode ser superior à do Aeroporto de Lisboa, mas diminui rapidamente para Ocidente. As maiores diferenças negativas, observam-se no topo da Serra de Sintra e no litoral, a Norte deste obstáculo montanhoso. A Vila de Sintra tem, em valor mediano, temperatura 2°C inferior à de Lisboa/Portela. Ao fim da tarde, observam-se menores diferenças a Norte do Cabo da Roca (a máxima ocorre mais tarde na Praia Grande) o que contribui para uma maior homogeneidade térmica espacial. A esta hora, os locais mais frescos são os da vertente Norte da Serra.

(*) No dia 10/8/83, o vento soprava de NW e a nebulosidade era variável, quadro 8.1; o grande aumento de temperatura em Arneiro e no Guincho, deveu-se a um aumento temporário da nebulosidade na estação de referência.

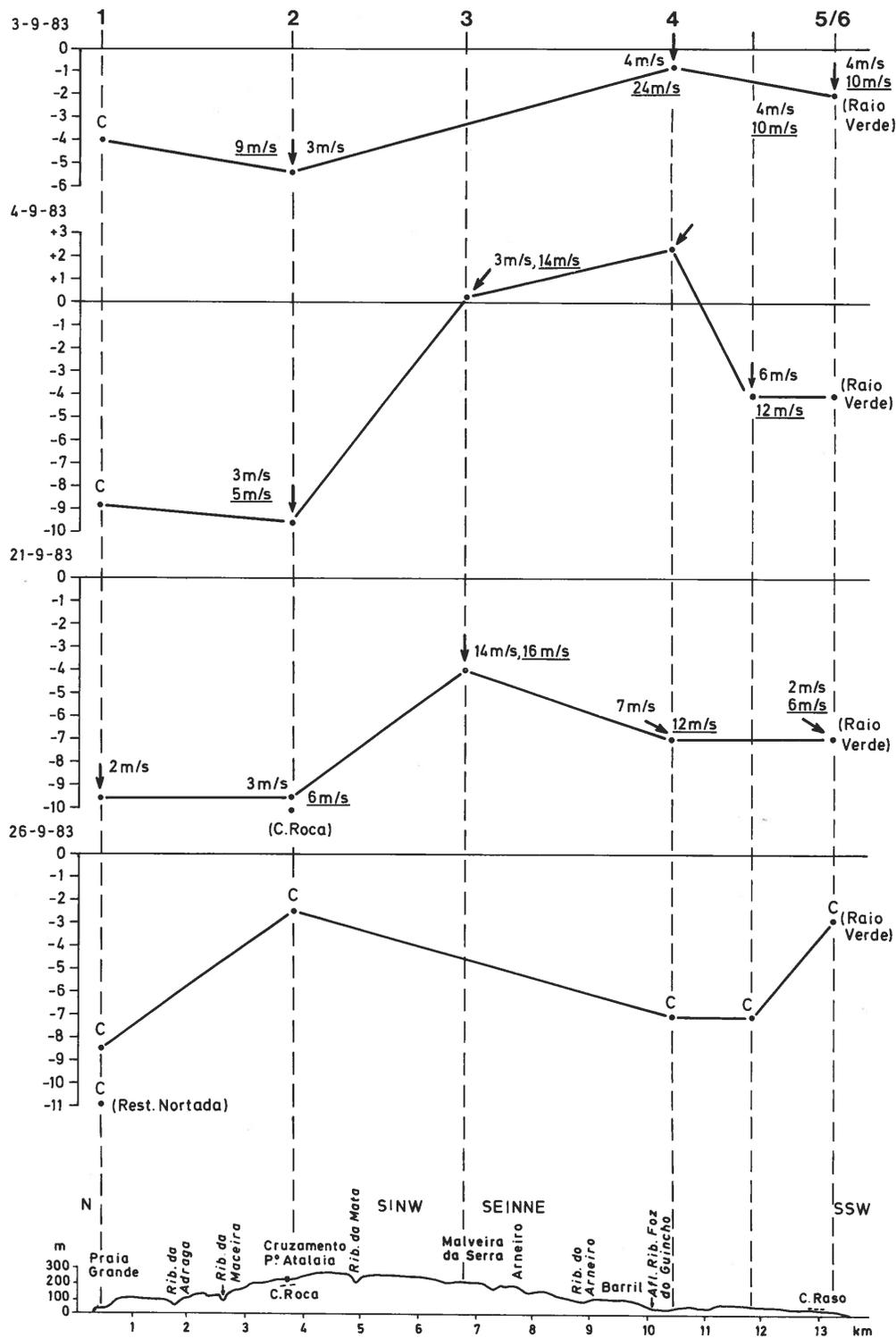


Fig. 8.9a — Temperatura e vento no litoral em dias calmos de Verão (desvios térmicos em relação ao Aeroporto).

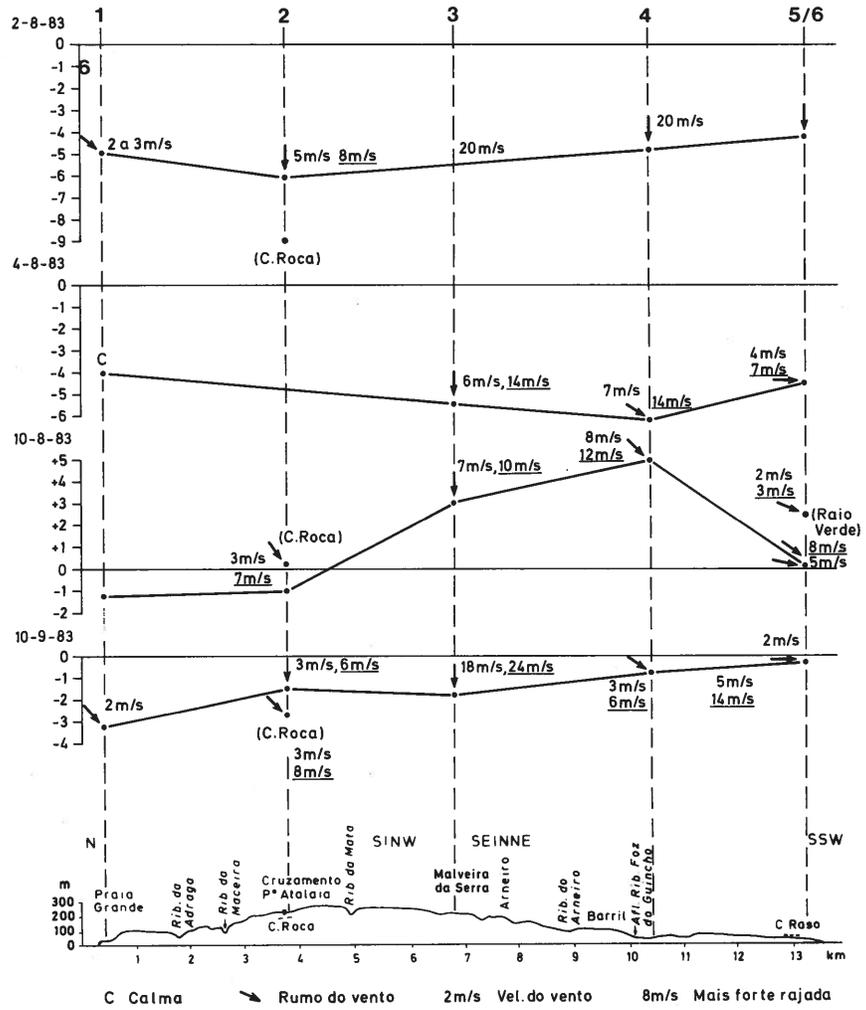


Fig. 8.9b — Temperatura e vento em dias de Nortada, no litoral (desvios térmicos em relação ao Aeroporto).

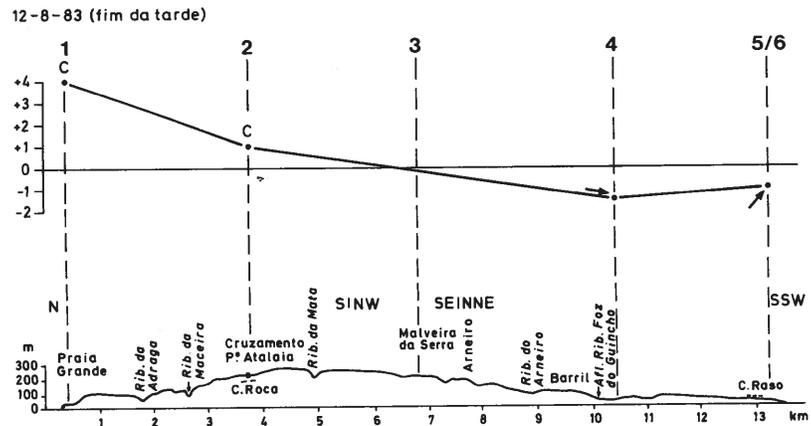


Fig. 8.9c — Temperatura e vento num dia de vento de Oeste (desvios térmicos em relação ao Aeroporto).

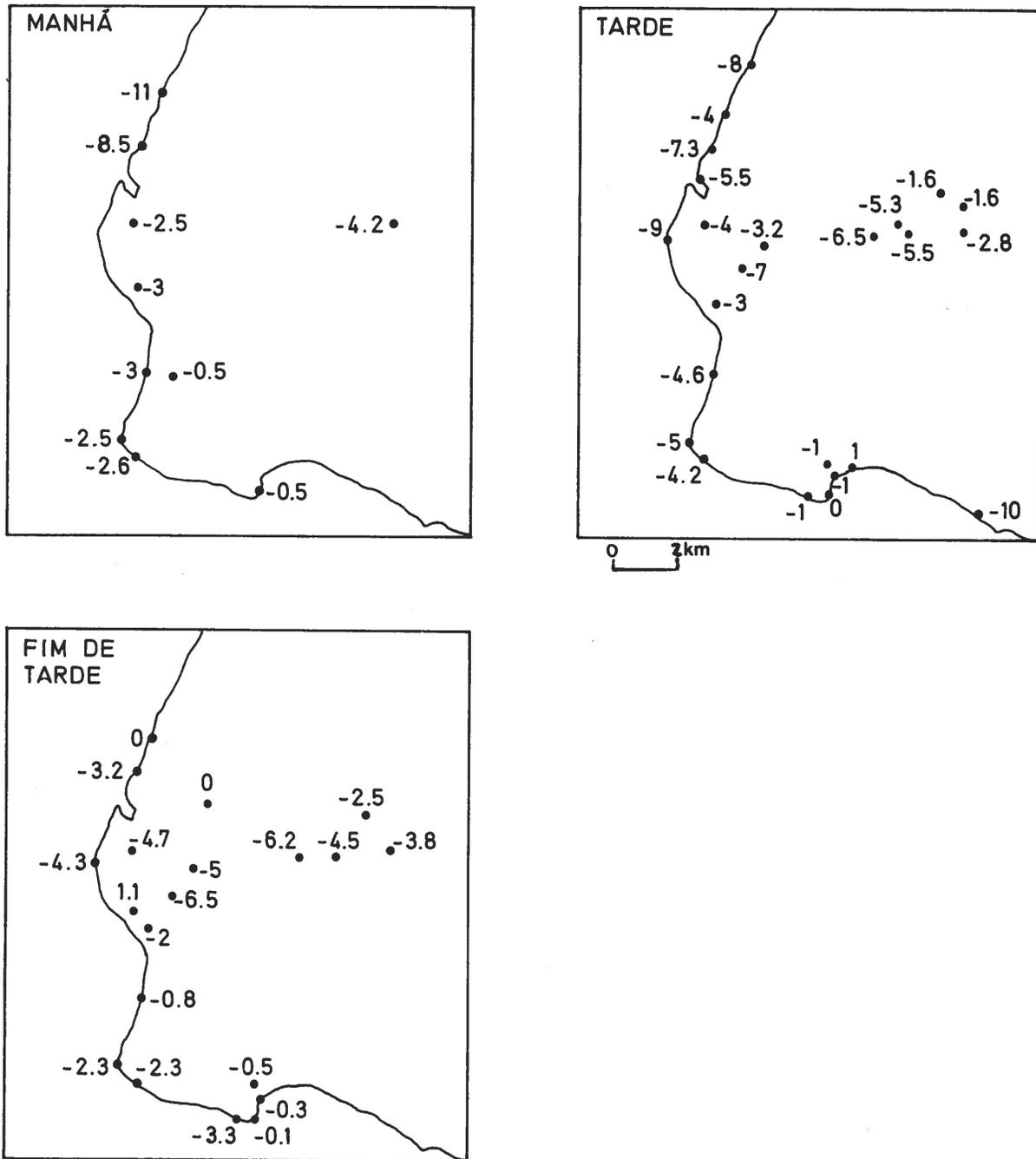


Fig. 8.10 — Mediana dos desvios estavais de temperatura em relação ao Aeroporto.

4 — O «tempo» no Guincho: bem-estar para o veraneante e desconforto por excesso de vento.

4.1 — *A obtenção dos dados*

Tentar-se-á, aqui, estabelecer a relação entre as características dos ventos dominantes estivais sugeridos pelos bioindicadores, as observações itinerantes em tardes de Verão e a afluência às praias. Embora durante as observações itinerantes se tenham tomado apontamentos sobre o tempo nas praias do trajecto, centrou-se, a atenção no Guincho. Esta praia que apresenta inúmeros atrativos para o veraneante (beleza do quadro natural, temperatura não muito alta, ligeira brisa durante a tarde, não muito forte densidade de ocupação) pode, em certas ocasiões, tornar-se um local insuportável. A diferença reside na velocidade do vento.

Durante cerca de dois meses do Verão de 1982, pediu-se a 6 frequentadores habituais da Praia do Guincho o favor de anotarem as ocasiões em que o tempo estava «bom» (calma ou vento fraco suportável), desagradável por excesso de vento ou insuportável pela mesma razão. Esta apreciação diz respeito ao início da tarde (12-14h), horas de maior densidade de ocupação neste local. A subjectividade inerente a este tipo de avaliação é contrabalançada pelo facto de se possuírem informações de 6 indivíduos e de só se terem considerado as opiniões coincidentes.

Distribuíram-se também termómetros de máximas e mínimas por amigos, que se prestaram a apontá-las diariamente. Assim, obtiveram-se valores de temperaturas em Cascais (Vila), Cascais (Oeste), Murches, Ericeira, Sintra (S. Pedro) e Vale de Lobos (*). Pretendia-se colmatar temporariamente a falta de postos de observação nesta área, embora com instrumentos rudimentares. Os termómetros foram colocados em paredes brancas expostas a Norte, para evitar a radiação solar directa e em locais sem árvores num raio de 5 metros.

Não foram muitos os dias de que se possui, simultaneamente, informação sobre o tempo na praia e os valores de temperatura. A organização prática deste tipo de observações é complicada, pois depende da disponibilidade e da boa vontade de pessoas não implicadas directamente na investigação em curso.

4.2 — *Resultados*

Procedeu-se à análise dos elementos meteorológicos em Lisboa/Portela (extraídos do Boletim Meteorológico Diário, do I.N.M.G.), dos 25 dias em que se sabia ter estado «bom» no Guincho (ou seja, não ter havido muito vento) e dos 39 em que se confirmou ter estado «mau»:

a) «Bons» dias de praia

Os bons dias de praia ocorrem quando, às 12 horas, o vento superficial em Lisboa/Portela sopra de Este (32% dos casos, Quadro 8.2) ou de SW (20% dos dias, brisa?) e dos mesmos quadrantes a

(*) Agradece-se a Suzanne Daveau, Teresa Sutcliffe, João Ramalho, Ana Maria Mendonça, Benevenuta Esquível Pereira e Alfredo Rebelo a gentileza e a paciência com que diariamente efectuaram os registos.

850 e 700 hPa. Só às 18h, os ventos de NW e os de N ocorrem, podendo continuar a soprar até depois da meia-noite em Lisboa e muito provavelmente no Guincho também (Quadro 8.2). A velocidade do vento conserva-se baixa durante o início da tarde em Lisboa (em média 12.9 km/h, às 12 horas), aumentando depois (Quadro 8.4).

Em 9 dos dias de bom tempo no Guincho, devido ao fluxo de Leste predominante, a média das temperaturas máximas atingiu mais de 30°C em Cascais, 34°C em Murches no sopé Sul da Serra, 28°C em Sintra, mas apenas 25°C na Ericeira (Quadro 8.5). As diferenças das temperaturas mínimas são menores, e os seus valores mais baixos registam-se, também, na Ericeira (21°C na vila de Cascais, 18°C na Ericeira).

b) «Maus» dias de praia.

Em dias que as pessoas consideram mau o tempo de praia, 60% das observações correspondem a ventos de Norte e NW às 12 horas, em Lisboa/Portela embora, em altitude, não se verifique uma tão grande preponderância dos dois referidos rumos (Quadro 8.3). Este facto está de acordo com o estudo dos fluxos em altitude e em superfície no capítulo 1. Às 18 horas, mais de 80% dos ventos provêm daqueles dois quadrantes (Quadro 8.3) e a sua velocidade é elevada todo o dia (sempre superior a 17 km/h, em média, em Lisboa, Quadro 8.4, e certamente mais alta ainda no Guincho). Nota-se uma muito grande aceleração local do vento a sotavento da Serra de Sintra, onde chegam também os ventos canalizados pelos valeiros, como atrás se documentou.

Nos 10 dias dos dias de vento no Guincho (Quadro 8.6), as temperaturas são mais baixas, oscilando entre 26°C e 27°C em Cascais e Murches, descendo para 24°C em Sintra e 21°C na Ericeira. As mínimas variam entre 18 e 20°C em Cascais e Murches e descem a 15 e 16°C em Sintra e na Ericeira. O facto da temperatura ser mais baixa neste último local, não significa forçosamente «mau tempo» de praia. Nestas ocasiões e como já se referiu atrás, foi muitas vezes verificado estar o tempo agradável

	0h	6h	12h			18h
			Sup.	a 850hPa	a 700hPa	
N	36.0	24.0	12.0		4.2	20.0
NE	4.0	24.0	12.0	4.2	8.3	8.0
E		4.0	32.0	41.7	29.5	
SE				8.3	12.5	
S	4.0	4.0	12.0	8.3	8.3	
SW	4.0	12.0	20.0	16.7	20.8	12.0
W	16.0	12.0	12.0	8.3	8.3	24.0
NW	32.0	8.0		12.5	8.3	36.0
C	4.0	12.0				
Total dias	25	25	25	25	24	24

Quadro 8.2 — Frequência de ocorrência de ventos de cada rumo e de calmas, em dias de «bom tempo de praia» no Guincho (%).

	0h	6h	12h			18h
			Sup.	a 850hPa	a 700hPa	
N	75.0	45.0	50.0	38.1	22.2	52.4
NE	5.0	15.0	15.0	19.0	11.1	4.8
E			10.0	4.8	16.7	
SE				4.8	11.1	
S			5.0	4.8		
SW		5.0	5.0	9.4	22.2	4.8
W	5.0	5.0	5.0		5.5	9.4
NW	15.0	20.0	10.0	19.0	11.1	28.6
C		10.0				
Total dias	20	20	20	21	21	18

Quadro 8.3 — Frequência de ocorrência de ventos de cada rumo e de calmas, em dias de «mau tempo de praia» no Guincho (%).

a Norte da Serra, depois das frequentes neblinas e dos nevoeiros matinais terem «levantado». Com efeito muitos dos frequentadores do Guincho conhecem já este facto e, ao verificarem o vendaval que, não raro, varre as areias desta praia, deslocam-se, se têm possibilidade, para uma das praias a Barlavento de Sintra (Adraga, Grande, Pequena, das Maças, Azenhas do Mar, Ericeira etc.).

Há poucas diferenças de nebulosidade e de humidade relativa médias dos dois grupos de dias, embora, em Lisboa/Portela, a temperatura seja 2 a 3°C menos elevada nos dias ventosos do que naqueles em que não há vento. A diferença de pressão entre Cabo Carvoeiro e Évora (diferença escolhida para quantificar o gradiente de pressão) é, em média, quase 2 hPa menor nos dias de bom tempo no Guincho. Este parâmetro poderá, de futuro, ser considerado como um bom indicador das condições de vento nas praias acima mencionadas; por enquanto apenas foi reconhecida uma simultaneidade de ocorrência.

			Dias «Bons»	Dias «Maus»	Diferença
Nebulosidade (oitavos)	0h	\bar{x}	1.4	0.6	0.8
		σ			
	6h	\bar{x}	2.3	2.1	0.2
		σ			
12h	\bar{x}	1.9	1.1	0.8	
	σ				
18h	\bar{x}	0.9	1.3	-0.4	
	σ				
Velocidade do vento (km/h)	0h	\bar{x}	9.8	20.1	-10.3
		σ	7.3	9.1	
	6h	\bar{x}	8.3	17.0	-8.7
		σ	7.2	10.6	
	12h	\bar{x}	12.9	17.4	-4.5
		σ	5.6	9.6	
	18h	\bar{x}	21.6	28.0	-6.4
		σ	6.4	9.2	
Vento às 12h (km/h)	a 850 hPa	\bar{x}	11.6	11.4	0.2
		σ	4.7	4.5	
	a 700 hPa	\bar{x}	16.7	12.0	4.7
		σ	6.2	4.0	
Temp. em Lisboa/Portela (°C)	0h	\bar{x}	21.3	18.5	2.8
		σ	3.7	2.7	
	6h	\bar{x}	19.2	17.2	2.0
		σ	2.5	1.8	
	Min.	\bar{x}	18.5	16.6	1.9
		σ	2.3	1.8	
	12h	\bar{x}	26.9	25.4	1.5
		σ	3.5	1.9	
	Máx.	\bar{x}	29.9	28.0	1.9
		σ	5.0	3.0	
	18h	\bar{x}	26.9	23.7	3.2
		σ	4.4	3.0	
Humidade Relativa (%)	0h	\bar{x}	61.4	70.8	-9.4
		σ	23.0	13.5	
	12h	\bar{x}	51.0	50.4	0.6
		σ	14.8	12.7	
Diferença de Pressão (hPa) CC-EV		\bar{x}	1.8	3.5	-1.7
		σ	1.3	1.3	

Quadro 8.4 — Nebulosidade, vento, temperatura e humidade relativa em Lisboa e diferença de pressão entre Cabo Carvoeiro e Évora, às 12h, em dias de «Bom» e «Mau» tempo de praia, no Guincho.

	Temperatura Máxima (°C)								
	9	10	11	12	13	24	25	\bar{x}	σ
Cascais (vila)	34.0	32.5	33.5	28.5	27.5	28.0	28.5	30.4	2.8
Cascais	35.5	32.5	35.0	27.0	28.0	29.0	29.0	30.9	3.4
Murches	35.5	35.0	36.0	33.0	32.0	—	—	34.3	1.7
Ericeira	30.0	29.0	28.0	25.0	24.5	20.5	20.0	25.3	4.0
Sintra (S. Pedro)	29.5	32.5	31.5	26.5	25.0	25.0	26.5	28.1	3.1
Vale de Lobos						28.0	30.0	29.0	

	Temperatura Mínima (°C)								
	9	10	11	12	13	24	25	\bar{x}	σ
Cascais (vila)	25.5	22.5	22.5	21.5	19.0	17.0	19.0	21.0	2.9
Cascais	23.5	22.0	22.5	22.5	18.0	17.0	19.5	20.7	2.5
Murches	22.0	23.0	22.0	21.0	21.0	—	—	21.8	0.8
Ericeira	17.0	18.0	19.5	20.0	18.0	16.0	16.5	17.9	1.5
Sintra (S. Pedro)	16.0	22.5	21.5	20.5	18.0	14.5	15.5	18.4	3.2
Vale de Lobos						14.0	15.0	14.5	

Quadro 8.5 — Temperatura em vários locais do litoral, em dias de calma na Praia do Guincho («bom tempo de praia»), em Agosto de 1983.

	Temperatura Máxima											\bar{x}	σ
	14	15	16	17	20	21	22	27	30	31			
Cascais (vila)	24.0	24.5	24.5	26.5	—	26.5	28.5	23.0	26.0	30.0	25.9	2.2	
Cascais	24.5	26.5	26.0	28.0	27.0	27.0	27.5	22.5	27.0	31.0	26.7	2.2	
Murches	25.0	21.0	22.0	24.0	29.0	33.0	35.5	—	—	—	27.1	5.6	
Ericeira	21.5	21.0	20.5	20.0	21.0	19.5	22.0	20.0	21.0	21.0	20.8	0.8	
Sintra (S. Pedro)	24.5	22.5	24.5	25.0	22.5	24.5	26.5	20.0	—	—	23.8	2.0	
Vale de Lobos	—	—	—	—	25.5	24.0	27.5	22.5	25.0	32.5	26.2	3.5	

	Temperatura Mínima											\bar{x}	σ
	14	15	16	17	20	21	22	27	30	31			
Cascais (vila)	18.0	18.5	19.0	18.0	—	17.5	17.5	18.0	21.0	23.0	18.9	1.9	
Cascais	17.5	18.5	17.5	17.5	20.0	17.5	17.5	17.0	19.5	17.5	18.0	1.0	
Murches	20.0	19.0	19.0	19.5	19.5	22.0	23.0	—	—	—	20.3	1.6	
Ericeira	16.0	16.5	16.0	16.5	16.0	15.5	16.5	15.5	15.5	15.0	15.9	0.5	
Sintra (S. Pedro)	16.0	16.0	16.0	15.0	16.0	15.0	15.5	13.0	—	—	15.3	1.0	
Vale de Lobos	—	—	—	—	16.0	14.0	15.0	13.0	—	12.0	14.0	1.6	

Quadro 8.6 — Temperatura em vários locais do litoral em dias de vento na Praia do Guincho («mau tempo de praia»), em Agosto de 1983.

5 — Resumo e conclusões

A grande frequência de ventos fortes em certos locais do litoral ocidental da área em estudo, que perturbam as actividades ao ar livre das populações do litoral, nomeadamente dos agricultores e dos turistas, sugeriu o tema deste capítulo, que se pretende aprofundar num futuro próximo.

Resumem-se, no início, os resultados de um estudo dos ventos dominantes em torno da Serra de Sintra. Este foi levado a cabo a partir de bio-indicadores (árvores deformadas). As formas dissimétricas ou prostradas das árvores resultam da acção quase contínua (durante a Primavera — período de crescimento vegetativo — e o Verão) de ventos fortes e frequentes do quadrante Norte. A sua representação cartográfica num mapa a grande escala permitiu não só um conhecimento pormenorizado do rumo e intensidade relativa do vento dominante, junto ao solo, mas também a determinação dos principais traços da circulação regional do vento em torno do referido obstáculo montanhoso: a travagem e desvio para a esquerda dos ventos a barlavento do relevo, a aceleração que adquirem ao descerem a vertente Sul e a canalização de jusante para montante (com diminuição de velocidade) a barlavento (a Norte) da Serra e de montante para jusante a sotavento, tornando-se mais velozes.

A grande diferença da velocidade do vento entre as praias a barlavento da Serra de Sintra (Azenhas do Mar, Praia das Maças, Praia Grande, Adraga, etc.) e a do Guincho, a sotavento, foram documentadas por medições no terreno em tardes de Verão; estas comprovaram o rigor das informações dos bioindicadores escolhidos (fig. 8.4 e 8.7). As observações itinerantes (entre a Praia Grande e Oitavos) permitiram identificar três conjuntos de dias com diferentes condições térmico-higrométricas e de ventilação.

Mesmo nos dias de calma no conjunto da região, o vento de Norte sopra quase sempre, fraco ou mesmo moderado, no Guincho e na Malveira da Serra, na vertente Sul da Serra, onde a temperatura é, também durante a tarde, bastante mais alta do que nas praias a barlavento do obstáculo (fig. 8.9a). Em dias de Nortada generalizada, observou-se, por vezes com espanto, situação de calma ou de vento fraco na Praia Grande, ao mesmo tempo que no Guincho o vento soprava de 60, 70 ou mesmo 80 km/h; nestas ocasiões, o aumento de temperatura para Sul é menos acentuado. A diminuição da velocidade do vento a barlavento de um obstáculo montanhoso também foi observado por Holtmeier nas Montanhas Rochosas. Num dia de vento dos quadrantes Oeste e SW, o vento soprava mais forte (de SW) em Oitavos e no Cabo Raso e a temperatura era mais elevada nas praias do litoral a Norte da Serra de Sintra. Estas situações parecem ser pouco frequentes, embora se devam multiplicar as observações para o provar.

A parte final do capítulo foi centrada na interpretação dos resultados de um inquérito preliminar, feito apenas a 6 frequentadores da Praia do Guincho, que também anotaram as temperaturas máximas e mínimas de diversos pontos desta área. Só se consideraram os dias em que todos, unanimemente declararam terem estado confortáveis à beira-mar ou em que foram unânimes na afirmação de que o vento tinha impedido qualquer sensação de agrado ou mesmo a permanência na Praia. Os «bons» dias de praia correspondem a dias com vento fraco do quadrante Este no Aeroporto, pelo menos durante a manhã, temperaturas máximas muito elevadas a Sul da Serra de Sintra (30° em Cascais, 34°C em Murches). Pelo contrário, os dias de Nortada, mais frescos, o vento de gradiente provinha do quadrante Norte, reforçado ainda pela brisa marítima a meio da tarde (como por exemplo numa ocasião em que se mediram rajadas de 80 km/h no Guincho). Entre os dois grupos de dias, as diferenças de nebulosidade e de humidade relativa não são significativas; escolheu-se a diferença de pressão entre Cabo Carvoeiro e Évora para quantificar a diferença de gradiente isobárico entre o litoral e o interior de Portugal nos dois grupos de dias. Nos «bons» dias de praia o gradiente é, em média, 2 hPa inferior ao dos dias de praia ventosos.

Concluiu-se também que, na Praia do Guincho e na maior parte dos dias de Verão, o vento actua quase isolado como factor limitante das actividades ao ar livre; acima de um determinado valor de temperatura diurna (cerca de 25°C) e desde que a humidade relativa não seja muito elevada, como é o caso na maior parte dos dias de Verão, o bem-estar do veraneante parece apenas poder ser perturbado pelo vento. Outro critério deveria ser utilizado para o estudo dos dias calmos e demasiado quentes; a experiência pessoal tem mostrado que estes são raros.

RESUMO GERAL E PRINCIPAIS CONCLUSÕES

No fim de cada capítulo resumiram-se os aspectos tratados e sintetizaram-se as conclusões parciais que permitirão — espera-se — uma leitura rápida do presente estudo. Far-se-á, aqui, um breve apinhado das principais conclusões e uma apreciação crítica dos vários métodos e técnicas usados. Em cada capítulo, ficam inúmeras interrogações e pistas para novas pesquisas.

Para a investigação do clima à escala local, é necessário um estudo regional prévio, empreendido na primeira parte.

O estudo dos ventos mostrou que os fluxos de Oeste são os mais frequentes, em altitude, sobre a região estudada. À superfície, as massas de ar chegam fundamentalmente de Oeste e de Nordeste no Inverno e, no Verão, do quadrante Norte. Na estação de Lisboa (Geofísico) o rumo Norte é francamente preponderante, seguido pelo de NE no Inverno e pelo de NW, nos meses de Junho, Julho e Agosto. A frequência dos ventos de SW não alcança 20% no Inverno nem 10% no Verão. Em todas as estações meteorológicas, observa-se, a partir do mês de Março, um aumento dos ventos de Norte (e NW), nitidamente dominantes durante o Verão. Este facto reflecte-se na vegetação, sendo a deformação das árvores utilizada para a representação cartográfica dos ventos dominantes em torno da Serra de Sintra (capítulo 8). Concluiu-se também que, nalguns locais de observação, o rumo do vento depende essencialmente da topografia local: Santarém (ventos de NE e SW), Ota (Norte e NW), Dois Portos (NW e SW), Paia (SW e NE), Oeiras (Norte e Sul), Sesimbra (NW, SW e NE).

Comenta-se, em seguida, a variação da insolação e das grandezas que contribuem para a modificar (nebulosidade e nevoeiro), pois é da variação da insolação e dos ventos que dependem os contrastes térmicos sobre os quais se centrou o estudo. As médias mensais da razão de insolação são desprovidas de significado no Inverno, uma vez que a distribuição deste parâmetro é bi-modal; no Verão (altura em que a distribuição apresenta uma dissimetria negativa) a média é mais próxima da moda. Por isso, foram utilizados valores diários (de 40 anos) no estudo da razão de insolação em Lisboa (Geofísico), embora o mesmo não tivesse sido feito para o conjunto da região. Foi apurado que, em Lisboa, tanto de Verão como de Inverno, os dias de céu limpo são mais frequentes do que os de razão de insolação ≤ 0.20 . Há, em Lisboa, mais dias de Sol constantemente descoberto do que em muitas estações do Sul da França, conhecidas pelas suas excepcionais condições de insolação no Inverno. Também se averiguou que as sequências de céu limpo são mais compridas do que as sequências de céu encoberto: a mais longa sequência de dias de Sol alcançou 11 dias em Dezembro, 9 em Janeiro, 12 em Fevereiro e 9 em Março, enquanto as de mau tempo não ultrapassaram, respectivamente 7, 7, 6 e 5 dias, nos quarenta anos estudados. Os dados diários de insolação, não divulgados habitualmente, são os únicos utilizáveis em termos aplicados (fins turísticos, energia solar) por fugirem ao carácter abstracto dos valores médios mensais ou anuais.

Foi esboçada uma comparação das particularidades do ritmo da insolação com elementos da circulação sinóptica, embora se tenha chamado à atenção para o seu carácter hipotético, no estádio actual

da pesquisa. Citou-se, como exemplo, na conclusão parcial, o mês de Abril de insolação média bastante superior à de Março e de mais 6% de dias de céu limpo do que o mês de Março, o que poderá ser devido a uma diminuição do número de perturbações em circulação zonal. Mas este mesmo mês, pode, em certos anos, apresentar sequências de mau tempo, relativamente longas; propôs-se como explicação para este facto a ocorrência de determinadas circulações de bloqueio que, quando ocorrem, facilitam a permanência dos centros depressionários causadores de mau tempo à superfície.

Considera-se que seria útil, de futuro, a construção de calendários de probabilidade da razão de insolação para o maior número possível de estações portuguesas, como foi feito para Lisboa. Em França, uma vez reconhecida a sua aplicação prática nomeadamente no aproveitamento de energia solar, os calendários têm vindo a ser sistematicamente publicados.

Foram estabelecidas relações lineares, simples e múltiplas, entre a razão de insolação e o número de dias de nevoeiro e de nebulosidade forte. Estas revelaram-se significativas para os meses de Verão e permitiram calcular a razão de insolação em estações meteorológicas desprovidas de heliógrafo. No Inverno será necessário um tratamento da informação diária para substituir os valores médios, por exemplo, pelos das modas.

O estudo das temperaturas incidiu sobre a série centenária do Instituto Geofísico (Lisboa) e sobre as temperaturas máximas e mínimas médias mensais de 28 estações meteorológicas da região estudada. Concluiu-se ter havido, em Lisboa, um aumento global mas muito irregular de temperatura. As máximas médias mais elevadas ocorreram na década 1935-1945, como em muitos outros locais da Europa. Os valores mais altos da temperatura mínima observaram-se mais cedo: nos anos 10-20 deste século; houve uma ligeira diminuição posterior, seguida de um aumento recente. O aumento de temperatura determinado a partir de uma regressão simples foi de 1.2°C nos dois casos. As séries demasiado curtas das outras estações meteorológicas da região de Lisboa apenas permitiram assinalar os Verões e Invernos particularmente quentes e frios do período recente (1947/48-1974/75), de que se estudou o regime estacional.

Sendo a distribuição da temperatura próxima da distribuição normal, o regime médio tem significado. O regime foi estudado também em termos de frequências, tendo-se construído calendários de probabilidade da temperatura de diferentes períodos, referentes a Lisboa (Geofísico). Delimitou-se o período quente do ano entre 11 de Julho e 1 de Setembro, altura em que as temperaturas máximas $\geq 32^{\circ}\text{C}$ têm uma representatividade de 5% e as $\geq 30^{\circ}\text{C}$ de 10%. A dispersão das temperaturas mínimas é muito menor do que a das máximas, no Verão, e a amplitude térmica diária é a mais elevada do ano (em 10% dos dias $\geq 14^{\circ}\text{C}$). A diminuição das temperaturas máximas, no fim do Verão, é mais precoce do que a das mínimas, e o arrefecimento outonal é mais rápido do que o aumento de temperatura, na Primavera. Chamou-se à atenção para o «Verão de S. Martinho» que adquire significado estatístico com determinada amostragem de temperaturas máximas. O Inverno é curto: só de meados de Dezembro até ao fim de Janeiro, a frequência de ocorrência de temperaturas baixas permanece constante e elevada. A 1 de Janeiro, há 15% de probabilidades das temperaturas mínimas serem inferiores a 4°C. O aumento das máximas inicia-se a meados de Fevereiro, enquanto as mínimas permanecem baixas até ao início de Março. A subida de temperatura primaveril é, como já se disse, mais lenta e, também, mais irregular do que a descida no Outono, observando-se a maior irregularidade interanual no mês de Abril. Um estudo estatístico das primeiras e últimas datas de ocorrência de temperatura $\leq 5^{\circ}\text{C}$ (cerca de 0°C ao nível do solo), revelou que os riscos de geadas precoces e tardias (as mais perigosas para a agricultura) são inferiores a 5%.

A partir de uma análise em componentes principais, as estações meteorológicas foram ordenadas em função das médias das suas temperaturas máximas e mínimas e, dentro de cada conjunto, segundo as particularidades dos seus regimes térmicos. Para quantificar a variação das temperaturas máximas

e mínimas com a distância ao litoral, a altitude e a latitude, foram utilizadas regressões múltiplas. Embora alguns dos resultados sejam comuns, as duas técnicas revelaram-se complementares, uma vez que a primeira sintetiza a informação contida nas matrizes iniciais e a segunda precisa o papel de cada factor climático, a vários momentos do ano. A variação latitudinal não tem praticamente influência na temperatura. Com a distância ao mar, aumentam muito as máximas de Verão (coeficiente de correlação de + 0.8) e diminuem as mínimas de Inverno (coeficiente de correlação de - 0.5). A influência da altitude é maior nos dias de Inverno do que no Verão, não ocasionando diminuição importante das mínimas de Inverno. A análise dos resíduos permitiu verificar a influência dos efeitos urbano e topográfico, não tomados em conta pelo modelo. O primeiro manifesta-se no aumento das temperaturas mínimas, maior no Verão do que no Inverno. A posição topográfica deprimida do local de observação provoca uma forte diminuição da temperatura mínima, principalmente no Inverno, mas que também ocorre no Verão.

Para apreender melhor a realidade climática, passou-se ao estudo dos dados diários: analisaram-se matrizes de temperaturas máximas e mínimas de cerca de 250 dias e 250 noites de Verão e de Inverno, de 20 estações meteorológicas. Uma análise em componentes principais permitiu distinguir os dias em função dos valores das suas temperaturas e dos padrões de distribuição térmica. Os grupos de dias de semelhante distribuição espacial da temperatura foram relacionados com as condições aerológicas correspondentes. Nalguns casos, foi possível determinar quais são as características da circulação regional que mais afectam a variação espacial da temperatura do ar. Noutros, foi apenas observada a simultaneidade de ocorrência de fenómenos de várias ordens, sem estabelecer uma relação causal entre eles. No fim do capítulo 4, detalham-se as conclusões sobre as causas da hierarquia térmica dos dias e noites de Verão e de Inverno, e são comentadas as situações de mais fortes e mais fracos contrastes térmicos. Por exemplo, no Inverno, tanto os centros depressionários com fluxo de Sul como os anticiclones ibero-africanos, originam temperaturas altas, embora o tipo de tempo correspondente a cada caso seja diferente. Os dias e as noites mais frias tanto podem ocorrer em situações anticiclónicas ou depressionárias, desde que o fluxo provenha das altas latitudes. Para a catalogação dos dias, do ponto de vista da situação sinóptica, adaptou-se a classificação de D. e A. de BRUM FERREIRA (1983), elaborada para o estudo da Seca Invernal em Portugal e posteriormente modificada para o estudo dos anticiclones e gotas de ar frio em Portugal por C. RAMOS (1986) e J. VENTURA (1986). Dado que as referidas classificações tinham sido concebidas com objectivos diferentes, nem sempre foi possível estabelecer uma relação de causa e efeito entre as situações sinópticas e os vários padrões de repartição térmica identificados. Para isso, foi necessária a indicação dos fluxos regional e local.

O tratamento dos dados diários permitiu individualizar três sectores de comportamento térmico particular: o Litoral, o Vale do Tejo e a Aglomeração de Lisboa. Iniciou-se, na segunda parte deste trabalho, o estudo mais pormenorizado de duas destas áreas.

Dedicou-se uma atenção especial ao clima da cidade de Lisboa, sendo o capítulo referente ao Litoral ocidental apenas uma breve apresentação de dados inéditos, colhidos no terreno, em que se pretende mostrar o interesse destes estudos em relação ao turismo estival.

Três capítulos são consagrados a Lisboa. Apesar disso, encaram-se as conclusões a que se chegou como os resultados preliminares de uma investigação que deverá ser feita com outros meios materiais e humanos.

A posição de Lisboa, à beira do estuário do Tejo e próxima do Oceano mas, ao mesmo tempo, dele isolada pela Serra de Monsanto a Ocidente, pelas elevações que constituem a Serra da Carregueira a NW e pela Serra de Sintra, mais distante, confere características peculiares ao seu clima.

Foi verificada a grande influência do relevo movimentado da cidade e dos padrões variados de morfologia urbana nos contrastes térmicos espaciais. O estudo embrionário da repartição espacial dos

fumos negros, revelou que a sua concentração é maior no Inverno do que no Verão e é, nas ruas movimentadas da Baixa, cerca de 10 vezes maior do que a Norte e NE da cidade. Uma grande concentração deste tipo de poluente diminui a radiação solar directa e dificulta a irradiação terrestre: poderá portanto dificultar o aquecimento diurno e contribuir para uma menor diminuição da temperatura, à noite.

Os percursos de medição de temperatura, devidamente situados no seu contexto, revelaram alguns dos padrões de repartição de temperatura na cidade. Faz-se notar que a análise não se pretende exaustiva (para isso era necessário um muito maior número de observações) e que os padrões térmicos detectados não são forçosamente os mais frequentes. Foi, no entanto, confirmado que é, durante a noite, que a cidade é susceptível de se conservar mais quente do que os arredores próximos. A intensidade da ilha de calor urbano não parece ser muito intensa: média de 2 a 3°C, como em Roma e Atenas. Mas circunstâncias especiais, como a ocorrência de nevoeiro no estuário do Tejo, podem elevar estas diferenças de temperatura a mais de 10°C.

Nos dias de Verão, de vento forte de Norte, não há propriamente um efeito urbano nas temperaturas: a cidade actua como um obstáculo e os locais mais quentes são os que estão abrigados dos ventos de Norte: as áreas ribeirinhas que, por acaso, coincidem, em parte, com o centro da cidade. Em ocasiões de calma ou de vento fraco no Aeroporto, o padrão térmico espacial varia constantemente: foi referida no texto a «luta» que, nessas tardes, se trava entre a brisa que sopra de SE de manhã e, depois, roda para Sul e SW, ou que provém de SW, e o vento de Norte, cuja velocidade aumenta gradualmente durante a tarde e que, quase sempre, acaba por vencer a brisa, soprando em toda a cidade. Nas ocasiões em que os limites Sul e SW da aglomeração recebem ventos do estuário ou do Atlântico, a sua temperatura pode ser de 2 a 7°C inferior à do Aeroporto (estação de referência). O núcleo da ilha de calor centra-se então no sector setentrional da cidade, nas «Avenidas Novas»; os desvios positivos raramente ultrapassam 1°C. Estes resultados foram verificados por uma campanha de lançamentos de balões estabilizados, executada por uma equipa de Fribourg (Suíça) e com a colaboração do INMG, que se descreve pormenorizadamente no texto.

Nas noites de Verão, observa-se um aumento de temperatura, em direcção ao centro da cidade. Nas noites de vento forte do quadrante Norte (cerca de 40%) os bairros a Sul e SE da Aglomeração são os que se conservam mais quentes. Há grandes diferenças entre locais próximos, mas as temperaturas mais altas encontram-se nas áreas deprimidas do Centro administrativo de Lisboa (Baixa, Restauradores, etc.), sendo o vento fresco de Norte o responsável do maior arrefecimento dos interflúvios. Em 8.5% das noites (exemplo 2/8/85), quente, sem vento, mas com uma humidade muito elevada, há um aumento de temperatura em direcção ao Centro da cidade, sendo os interflúvios próximos da Baixa os mais quentes. Pensa-se que o ar marítimo ou estuarino relativamente fresco e muito húmido, circula preferencialmente pelos vales e aí se acumula, determinando a diminuição de temperatura observada. Interessa também focar que, noutras ocasiões, este ar alóctono provoca um grande arrefecimento em toda a área ribeirinha, impedindo qualquer influência da cidade nas características térmicas e higrométricas da atmosfera urbana e fazendo descer a temperatura a valores inferiores aos do Aeroporto, tal como se observou a 29/6/83; estas últimas situações deverão corresponder a 15% dos casos, mas novas observações são necessárias para o confirmar. Em noites muito quentes e secas, de atmosfera instável, que não representarão mais de 4.5% dos casos (ex: 27/7/81), a intensidade da ilha de calor ultrapassa os 4 e até os 5°C nalguns locais. As temperaturas conservam-se mais elevadas nos fundos de vale do Centro de Lisboa. Não se verifica advecção de ar húmido e fresco; nestas ocasiões, correspondentes à ocorrência de massas de ar muito quentes e secas do continente africano, só a meio da tarde, tal costuma acontecer. Verificou-se que, apesar das diferenças que acabámos de apontar, o padrão de repartição espacial da temperatura é semelhante nos vários casos: no mapa dos valores medianos dos desvios de temperatura, nota-se a forma tentacular da ilha de calor de Lisboa e o facto do litoral oriental da cidade ser mais quente do que o litoral SW, tal como acontece durante o dia, nesta estação do ano.

Nos dias de Inverno, observaram-se dois padrões térmicos opostos. Em dias de vento fraco de Norte ou NW, notou-se um ligeiro aumento de temperatura em direcção ao Centro (cerca de 2°C). Um padrão térmico oposto foi detectado em dias de advecção de ar frio e húmido estuarino ou mesmo de nevoeiro. Nestas ocasiões, são as áreas ribeirinhas (em que se inclui o Centro) as mais frias e húmidas, aumentando a temperatura em altitude e com a maior distância ao Tejo. Numa das ocasiões o nevoeiro limitava-se a uma estreita faixa junto ao rio; noutra dia alastrava sobre todo o sector oriental da cidade, alcançando o Campo Grande. A variação térmica espacial é, então, enorme, tendo-se observado diferenças de +10°C entre Monsanto, onde brilhava o Sol, e Cabo Ruivo, mergulhado no nevoeiro. É proposta a frequência provisória de 6% dos dias de Inverno para este tipo de fenómeno, considerando-se urgentes novas observações.

Os percursos das noites de Inverno revelaram que, tal como no Verão, há sempre um aumento de temperatura em direcção ao Centro da cidade. A temperatura é mais elevada nos vales da Baixa lisboeta, devido à sua posição de abrigo em ocasiões de vento moderado a forte não só em noites muito frias (como 11/2/83 e 21/1/83, que representarão 9% da população) como em situações de transição (como a 8 e 10/1/83, 12% dos casos). Pelo contrário, em ocasiões de calma, embora se continue a notar um aumento de temperatura em direcção ao Centro da cidade, as temperaturas mais elevadas observam-se nos interflúvios (Largo de Camões, Campo de Ourique, etc.). Os fundos dos vales arrefecem mais, embora a temperatura desça menos naqueles em que a densidade de construção é maior e nos que estão mais próximos do Centro (excepto em noites de nevoeiro no Tejo). Este tipo de padrão térmico tanto ocorre com temperaturas bastante baixas (por exemplo a 17/1/83, 12/1/83, 12/3/84, 2/3/84, 27% dos casos) como em noites anormalmente quentes para a época do ano (como a 1/2/85). Numa outra noite, também relativamente quente, a grande irregularidade térmica espacial apenas permitiu delimitar duas áreas termicamente contrastadas.

O maior número de percursos de observação, em noites de Inverno, permitiu verificar a importância da morfologia urbana: nalguns sectores mais antigos e de grande densidade de construção de Carnide e da Pontinha, a temperatura pode ser igual à do Largo do Rato e pouco inferior à da Baixa, apesar da sua distância ao centro da ilha de calor urbano. Uma termografia da parte oriental de Lisboa, confirmou a maior parte destes resultados.

Procedeu-se ao estudo das variações temporais de temperatura em dois bairros de Lisboa, escolhidos como exemplo: o Bairro Alto e as «Avenidas Novas» (Av. de Berna). A análise minuciosa dos registos dos termo-higrógrafos ali instalados permitiu relacionar as variações de temperatura com os elementos meteorológicos medidos no Aeroporto. Os resultados mais fiáveis dizem respeito ao Bairro Alto. Por exemplo, no Bairro Alto, nos dias de Inverno, é a variação de insolação que comanda as diferenças de temperatura entre aquele local (que fica à sombra a partir das 14-15h) e o Aeroporto. A velocidade e o rumo do vento adquirem importância na explicação das temperaturas nocturnas aí registadas; a maiores velocidades correspondem menores desvios, talvez porque os ventos de SW (dos quais o Bairro Alto não está tão protegido) são os mais fortes nesta época do ano (média de Dezembro, Janeiro e Fevereiro de 15 km/h, no Geofísico). No Verão, a velocidade do vento tem quase sempre grande influência nas diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto (a uma maior velocidade do vento (geralmente de Norte), corresponde uma mais elevada diferença de temperatura), mas só às 16h o mesmo se verifica para a Av. de Berna (talvez por ser a hora em que a Nortada tem probabilidades de ser mais forte e, só nessa altura se notar a influência do abrigo deste local).

Os resultados do tratamento sistemático de todos os valores dos desvios estão em acordo com os das observações itinerantes: a ilha de calor é mais frequente e bem marcada durante a noite, tanto no Inverno como no Verão. Durante o dia, não se manifesta tão nitidamente a superioridade térmica

da Baixa. As temperaturas máximas mais elevadas da Aglomeração observam-se, não raro, nos bairros setentrionais.

No último capítulo chama-se à atenção para a importância dos estudos do clima a grande escala no litoral e para a utilidade dos resultados para fins turísticos e outros.

Escolheu-se como exemplo, a área em torno da Serra de Sintra, relacionando as conclusões de um estudo anterior sobre os ventos dominantes (a partir de bio-indicadores), com observações itinerantes e inquéritos a frequentadores da praia do Guincho. A observação da modificação do porte das árvores (deformação) devida à acção fisiológica do vento sobre a vegetação permitiu uma representação cartográfica detalhada do trajecto dos ventos, em parte do litoral da área estudada. Concluiu-se que, a barlavento da Serra de Sintra, há uma travagem e desvio para a esquerda dos ventos de Norte e, a sotavento, uma aceleração daqueles que descem a vertente Sul. O vento dominante é canalizado pelos vales, que lhe podem modificar o rumo; representaram-se, cartograficamente, os locais abrigados: certos fundos de vales e vertentes orientadas a SE, Sul ou SW, conforme a circulação local do ar. A grande diferença de velocidade do vento entre as praias a barlavento do obstáculo e a do Guincho a sotavento, já sugeridas pela deformação das árvores foram conferidas instrumentalmente; por outro lado, observou-se que a elevação de temperatura, no litoral, de Norte para Sul a Ocidente da Serra, é forte durante o dia, mas diminui ao fim da tarde. Foi finalmente centrada a atenção sobre o tempo estival da praia do Guincho, imediatamente a Sul da Serra; pareceu interessante esta investigação, que se poderá alargar a outras praias do litoral ocidental próximo de Lisboa, onde o afluxo de veraneantes tem aumentado, devido à poluição crescente das praias da Costa do Estoril. Por inquérito e observações de várias pessoas, verificou-se que a maioria dos «bons» dias de praia (sem vento, pelo menos até ao fim da tarde) corresponde a dias em que o vento (fraco) sopra de Leste no Aeroporto, tanto à superfície como a 850 e 700 hPa. Em dias considerados «maus» (em que o vento não permite a permanência na praia), 60% dos rumos do vento observados no Aeroporto correspondem aos quadrantes Norte e NW, embora, em altitude, não se verifique uma tão grande preponderância destes dois rumos. Há poucas diferenças de nebulosidade e humidade relativa entre os dois grupos de dias considerados, mas a diferença de pressão entre Cabo Carvoeiro e Évora (diferença escolhida para quantificar o gradiente de pressão) é, em média, 2 hPa menor nos dias de bom tempo no Guincho.

O tempo é considerado mau, na praia do Guincho, nos dias de nortada, em que há uma aceleração local do vento a sotavento da Serra de Sintra. Concluiu-se também que na maior parte dos dias de Verão, o vento actua quase isolado (desde que a temperatura não seja demasiadamente baixa para a época) como factor limitante das actividades ao ar livre. Pensa-se, num futuro próximo, aplicar aqui alguns índices testados noutros locais.

Os vários percursos de medição mostraram também que, em quase todos os dias em que era impossível a permanência na praia do Guincho, o tempo estava «bom» na Praia Grande, imediatamente a barlavento do referido obstáculo montanhoso. Noutras ocasiões, quando há vento no Guincho, ocorre nevoeiro na Praia Grande (que «levanta» frequentemente ao fim da manhã).

A partir da experiência agora adquirida no estudo do clima de Lisboa e, com base em vários projectos em curso, propõem-se os seguintes passos na Investigação futura:

1 — Preparação de mapas de base (à mesma escala)

Considera-se expressivo o mapa de relevo aqui utilizado e a sua escala inicial (1: 40 000) adequada.

Será necessário preparar um mapa de densidade de construção mais actualizado do que o que aqui foi utilizado.

Para a elaboração de um mapa actualizado de ocupação do solo, prevê-se um estudo prévio em colaboração com especialistas para definir e cartografar os padrões morfológicos de toda a cidade.

2 — Escolha de técnicas de tratamento estatístico (e obtenção de meios materiais de as aplicar) que permitam agrupar automaticamente dias com tipo de tempo semelhante, com base nos valores do maior número possível de elementos meteorológicos (vento, insolação, temperatura, humidade relativa, nebulosidade, precipitação, etc.) para, objectivamente, situar as medições de terreno e calcular as frequências de ocorrência dos diversos padrões térmicos detectados. O facto de se ter utilizado o padrão regional de repartição da temperatura como elemento distintivo dos vários dias, permitiu apenas entender determinadas relações entre fenómenos e situar certas medições de terreno, uma vez que a dias de semelhante repartição térmica, podem corresponder diferentes tipos de tempo e vice-versa.

3 — Instalação de uma rede mais densa de termo-higrógrafos em abrigo em bairros-tipo, definidos a partir dos estudos referidos em 1, não só em função da morfologia urbana, como também da posição topográfica e distância ao Centro. Todos os aparelhos deverão ser da mesma marca (e do mesmo tipo), assim como os abrigos.

4 — Multiplicação de percursos de observação de temperatura, humidade relativa e ventos. Desde que se disponha de instrumentos de resposta rápida, ou, melhor, aparelhagem que, adaptada a um veículo, permita o registo das temperaturas dos termómetros seco e molhado, a 0.5 e a 1.5 m do solo, ao longo do percurso; é aconselhável a escolha de percursos E-W, tal como foi feito nas raras ocasiões em que se conseguiram as condições materiais mínimas indispensáveis.

5 — Utilização de dados de teledeteção

—Imagens de satélite (Landsat — TM ou SPOT), de grande resolução para elaboração de cartas de ocupação do solo e térmicas.

—Imagens termográficas obtidas de avião, para documentar, em pormenor os diferentes bairros (resolução 10 metros). A temperatura do ar e das várias superfícies deve ser simultaneamente medida, o que pressupõe a compra de radiómetros manuais.

6 — Investigação da estrutura dos ventos. Para isso far-se-ão observações junto ao solo com anemómetros manuais, instalar-se-ão anemógrafos em telhados de certos edifícios, serão repetidas as campanhas de lançamento de balões estabilizados, de que se deu um exemplo. Um dos objectivos prioritários, que não se conseguiu atingir na campanha de lançamento dos balões no Verão 1987, é o de detectar a espessura e outras características das brisas do Tejo e do Oceano, tão importantes na cidade de Lisboa.

7 — Continuar o estudo da poluição em Lisboa, primeiro a partir dos numerosos dados já existentes e ainda não totalmente explorados e, numa fase posterior, executar medições itinerantes de certos poluentes; esta investigação necessita, no entanto, de meios materiais avultados.

8 — O objectivo final será a elaboração de mapas de síntese, não só em termos de valores de elementos climáticos, mas também tendo em conta as suas consequências no conforto ou no stress climático dos habitantes da cidade, problema importante que não pôde ser abordado no estudo agora apresentado.



RÉSUMÉ

LE CLIMAT DE LA RÉGION DE LISBONNE.

CONTRASTES ET RYTHMES THERMIQUES

La présente étude concerne les caractéristiques thermiques, hygrométriques et de ventilation de la «région» de Lisbonne. Dans la première partie, la recherche est centrée sur les variations spatio-temporelles de la température et des éléments dont elle dépend ou qui en sont les conséquences (radiation, insolation, nébulosité, brouillards et vents). La surface étudiée est assez allongée vers le nord pour inclure une station météorologique à caractéristiques franchement atlantiques (Cabo Carvoeiro). Les limites orientale et méridionale ont été tracées en fonction de la disponibilité de données météorologiques. Après la présentation du climat régional, deux exemples d'étude de climat local (climat urbain et climat du littoral occidental) constituent la deuxième partie. La présentation du climat de Lisbonne est la plus développée, l'étude des conditions climatiques estivales sur le littoral occidental et son application au tourisme ne constituant qu'une première approche du problème, qui sera repris ultérieurement.

Le premier chapitre est consacré à l'étude des vents. Si, à 500hPa, la plupart des flux proviennent du secteur ouest aussi bien en été qu'en hiver, on note en surface une grande variation saisonnière de la direction des flux dominants. En hiver, les flux du secteur ouest et du NE, sont les plus fréquents, alors qu'en été ils viennent du nord et du NW (fig. 1.1). La position topographique de certaines stations météorologiques, citées en détail dans le texte, peut modifier la direction régionale du vent, par exemple à Oeiras/Sassoeiros, dans une vallée N-S, figs. 1.3 à 1.6. Cela n'empêche pas de constater la grande augmentation de la fréquence des vents du secteur Nord à partir du mois de mars et pendant tout l'été sur la plupart des stations. Ces vents sont la cause de la déformation des arbres, questions sur laquelle on reviendra au dernier chapitre.

Comme les mesures de radiation sont peu nombreuses, on a préféré faire une étude détaillée de l'insolation (chapitre 2). En hiver, la distribution de cette variable est bi-modale (en raison de fréquences élevées d'une part de jours couverts et, d'autre part, de journées ensoleillées, figs. 2.3 et 2.4). En été, les valeurs de la moyenne et du mode sont proches et élevées. En été, comme en hiver, les belles journées ensoleillées ($I \geq 0.80$) sont plus fréquentes que les journées couvertes ($I \leq 0.20$). La comparaison du calendrier de probabilité de Lisbonne avec ceux qui ont été publiés en France montre que, pendant presque toute l'année, la fréquence des journées ensoleillées est plus grande à Lisbonne que dans le Midi de la France, réputé pour son beau temps.

Les séquences de beaux jours consécutifs sont plus longues que les séquences de mauvais temps: pendant les 40 ans dont on a dépouillé les données journalières (1940-80), la plus longue séquence de journées ensoleillées a atteint 11 jours en Décembre, 9 en Janvier, 12 en Février et 9 en Mars, alors

que les séquences de jours à forte nébulosité ne dépassèrent pas 7, 7, 6 et 5 jours (pour les mêmes mois, fig. 2.6).

La relation entre la variation des valeurs d'insolation et la fréquence des diverses situations synoptiques est ébauchée. Par exemple, en avril, le rapport d'insolation moyen est plus fort qu'en mars et il y a plus de jours ensoleillés (+6%). La fréquence supérieure d'anticyclones en situation méridienne bloquée, mentionnée dans la bibliographie semble responsable de cette augmentation. En effet, lorsque certaines années, le mois d'avril présente des séquences de mauvais temps assez longues (et dont la «probabilité de passage» augmente avec la longueur de la séquence - tableau 2.3), on note un déplacement latéral du système bloqué; des dépressions méridiennes peuvent alors s'installer assez longtemps sur la région et causer la persistance du mauvais temps.

Les moins fortes valeurs d'insolation sont mesurées sur les caps et à Colares, alors que des endroits comme Monte Estoril, Lisboa et Montijo sont particulièrement privilégiés (fig. 2.8). Le rythme saisonnier est partout semblable, néanmoins des particularités de comportement de certaines stations ont été mises en évidence par une analyse en composantes principales (figs. 2.8 et 2.9): ainsi, la vallée et l'estuaire du Tage présentent-ils des valeurs relativement basses d'insolation en hiver (par exemple O/S, fig. 2.9) en raison de fréquents brouillards de rayonnement ou d'advection, alors que le ciel reste assez dégagé sur le littoral occidental. En été, le contraire s'observe: les stations proches du littoral occidental (Az, fig. 2.9) reçoivent relativement moins de soleil que les autres; les brouillards d'advection matinaux sont en effet très fréquents, et la nébulosité plus forte. Des régressions linéaires simples et multiples entre le rapport d'insolation et la fréquence des jours de brouillard et de nébulosité forte sont présentées; elles ont permis de calculer des données manquantes de rapport d'insolation pour les mois d'été.

L'étude des températures (chapitre 3) commence par celle de leurs variations séculaires (126 ans) à l'Institut Géophysique de Lisbonne (Lisboa/Geofísico ou simplement Lisboa dans le texte). Une augmentation globale de température semble avoir eu lieu. L'augmentation des températures maximales moyennes d'été et minimales moyennes d'hiver est proche de 1.2°C: déterminée à partir d'une régression des valeurs sur l'ordre des années. Les valeurs les plus élevées des températures maximales d'été ont été observées entre 1935 et 1945, les plus hautes températures minimales d'hiver durant la période 1910-1920. La variabilité inter-annuelle a été plus élevée au début du vingtième siècle en ce qui concerne les températures minimales et vers les années 30 et 40 pour les maximales (fig.3.3); ces résultats sont en accord avec ceux d'autres stations d'Europe (H. FLOHN et R. FANTECHI, 1984). On remarque aussi que les périodes globalement plus chaudes, ont présenté une assez grande variabilité inter-annuelle. La trop courte série des 27 autres stations météorologiques retenues a néanmoins permis d'observer la simultanéité des saisons particulièrement froides ou chaudes pendant la période 1947/48-1974/75, étudiée plus en détail.

À Lisbonne, la distribution des températures journalières à une certaine date est proche d'une loi normale. L'analyse des fréquences extrêmes a plutôt retenu notre attention. Les calendriers de probabilité sont présentés sur les figures 3.7 à 3.10 pour la période 1856-1980. Pour d'autres périodes, plus courtes, on pourra consulter la version polycopiée de ce travail (1988). Durant la période la plus chaude de l'année, de la fin de la première décennie de juillet à début septembre: les températures maximales supérieures à 32°C et à 30°C ont une fréquence de 5% et 10% respectivement. La dispersion des températures minimales estivales est beaucoup plus faible que celle des maximales. L'amplitude thermique journalière est la plus élevée de l'année (supérieure à 14°C en 10% des cas). La diminution des températures maximales à la fin de l'été est plus précoce que celle des minimales et le refroidissement automnal est plus rapide que le réchauffement au Printemps. L'été de la Saint-Martin, au mois de Novembre paraît avoir une «existence statistique».

L'hiver est court: vers le premier janvier, 15% des températures minimales seulement sont inférieures à 4°C. L'augmentation des maximales débute au milieu du mois de février, alors que les minimales sont basses jusqu'au début de mars; la remontée des températures est lente et irrégulière, surtout au mois d'avril, où l'insolation présente aussi une forte variabilité inter-annuelle. Une étude fréquentielle des premières et dernières dates de températures $\leq 5^\circ\text{C}$ (0°C au niveau du sol) a montré que les risques de gelées tardives et précoces sont inférieurs à 5% (fig.3.11). Les températures inférieures à 0°C en abri sont très rares à Lisbonne.

L'étude des températures se poursuit par l'analyse des champs régionaux d'après les valeurs disponibles des stations autour de Lisbonne. Les résultats d'une analyse en composantes principales des températures maximales et minimales moyennes mensuelles sont présentés sur les figures 3.13 et 3.14. La position de la projection des stations sur le plan 1-2, permet de les séparer non seulement en fonction de la chaleur globale, mais aussi en fonction de leurs rythmes saisonniers propres. Des régressions multiples ont permis de mesurer l'influence de la distance au littoral, de la latitude et de l'altitude sur les températures. En raison de la faible surface de la région étudiée les températures varient peu en fonction de la latitude. En revanche, les maximas d'été augmentent fortement avec la distance à la mer (coefficient de corrélation de +0.8, degré de signification de 1%); ce même facteur fait diminuer les minimas d'hiver ($r = -0.5$). L'influence de l'altitude est plus grande sur les maximas d'hiver ($r = -0.90$ en janvier et février) que sur ceux de l'été ($r = 0.5$). La corrélation entre l'altitude et la température des nuits d'été est négative mais r ne dépasse pas 0.47; pendant les nuits d'hiver on n'a pas trouvé de corrélation significative quantifiable entre l'altitude et les températures minimales, probablement en raison des effets urbain et topographique. Cette hypothèse a pu être vérifiée par l'analyse des résidus de la régression multiple (figs. 3.17 et 3.18).

Au chapitre 4, l'étude des températures moyennes est complétée par celle des données journalières. Les températures maximales et minimales de 250 jours d'été et de 250 jours d'hiver de 20 stations météorologiques (*) de la région de Lisbonne ont été traitées par des analyses en composantes principales, ce qui a permis d'isoler des ensembles de jours à semblable répartition des températures dans l'espace régional (figs 4.5, 4.6, 4.7, 4.12, 4.13 et 4.15). En certains cas, une relation entre le champ thermique et les conditions aérologiques a été établie. En conclusion de ce chapitre, sont présentées des indications détaillées sur la hiérarchie thermique des jours et sur les situations synoptiques qui déterminent les plus forts et les plus faibles contrastes thermiques spatiaux.

Les jours et les nuits les plus chauds d'été et les journées les moins froides d'hiver (ensembles 4) correspondent à des conditions de beau temps anticyclonique, à vent d'est faible. Les minimas d'hiver, quant à eux, sont plus élevés par temps perturbé du sud, venteux et à forte nébulosité (fig.4.15). Les journées les plus fraîches d'été s'observent dans des contextes différents: temps perturbé pour les maximas, vent fort du nord, par situation de marge anticyclonique, pour les minimas. Les temps les plus froids d'hiver, ensoleillé (anticyclonique) ou à averses (dépression peu creusée), sont toujours la conséquence d'advections d'air des hautes latitudes, guidées par des vallées planétaires en altitude, qui abaissent à la fois les maximas et les minimas.

En été, les champs spatiaux les plus contrastés sont produits par des situations de marge anticyclonique en atmosphère stable et vents de nord ou d'est. En hiver, c'est fondamentalement par situation d'anticyclone mixte (pour les minima) et d'anticyclones européens ou marais barométriques (pour les maxima) que sont observés les forts contrastes spatiaux. Des inversions détectées à l'Aéroport

(*) L'absence de données récentes n'a pas permis l'utilisation des 28 stations, traitées au chapitre précédent.

confirment la stabilité de l'atmosphère; des brouillards se développant localement contribuent à intensifier les différences de températures entre stations.

Au contraire, la proximité des dépressions et certaines situations de transition entre un anticyclone atlantique et une dépression à l'est du Portugal engendrent de faibles contrastes thermiques en été; la nébulosité est alors supérieure à 4/8, le vent souffle modérément et parfois fortement de l'ouest (aussi du SW et du NW), à une exception près (ensemble 3a, fig. 4.6). En hiver, les champs thermiques les plus monotones sont liés à des vents de SE ou d'est, sur la marge ouest ou sud d'un anticyclone européen ou la marge orientale d'une dépression (2b, fig. 4.15) ou encore à des vents d'ouest (passage de dépression frontale, 3b). Pendant les journées à temps perturbé, la répartition des températures est remarquablement homogène.

Trois climats locaux ressortent de l'analyse du champs thermique régional; ceux du littoral occidental, de la vallée du Tage et de l'agglomération de Lisbonne. Le climat urbain a été traité le plus en détail.

Le climat de Lisbonne est très influencé par sa position au bord de l'Estuaire du Tage, à 30 km de l'Océan Atlantique; toutefois l'abri des «Serras» de Monsanto à l'Ouest et de Carregueira au NW n'est pas sans influence. Même la Serra de Sintra, plus distante, contribue au climat de la ville. À l'influence du site s'ajoute, bien entendu, l'effet proprement urbain compliqué par la topographie de la ville même (figs. 5.1 et 5.2, chapitre 5).

Après une rapide allusion au bilan énergétique en milieu urbain, une étude des données journalières de concentration de fumées noires est présentée. La concentration de ces fumées est beaucoup plus forte en hiver qu'en été, car les vents du secteur nord nettoient alors plus efficacement l'atmosphère urbaine. Par ailleurs, les valeurs de concentration sont de beaucoup les plus élevées au centre-ville (la «Baixa»), parfois de dix fois supérieures à celles des limites septentrionales de l'agglomération où le trafic automobile est moins intense. Ces fumées diminuent la radiation solaire, favorisant aussi une éventuelle diminution des températures diurnes et contrariant à l'inverse le refroidissement nocturne par une absorption accrue de la radiation terrestre.

Les variations locales des températures ont fait l'objet de mesures itinérantes au niveau local (chapitre 6). Celles-ci ne représentent évidemment qu'une petite partie de ces variations, mais elles confirment notamment l'augmentation des températures nocturnes de la périphérie vers le «centre» de Lisbonne, pourtant relativement excentrique («Baixa»). La supériorité de l'îlot de chaleur atteint 4°C. Pendant la journée, la «Baixa» peut se comporter au contraire comme un «îlot de fraîcheur». En d'autres occasions des différences de 10°C ou plus peuvent s'établir entre divers points de la ville, par exemple, s'il y a du brouillard sur le Tage.

Pendant 43% des jours d'été, il n'y a pas de véritable îlot de chaleur, mais une frange chaude peut s'établir l'après-midi sur les limites sud et SE de l'agglomération, abritées des advections de nord et NW, fréquemment observées (fig. 6.11 et M.J. ALCOFORADO, 1987). Mais il s'agit là d'un effet de site plutôt que vraiment urbain (ensembles 2a et transition 2a-2b, chapitre 4). Pendant les journées à faible gradient barométrique, propices à la circulation d'une brise fraîche et humide dans les quartiers riverains, le champ thermique varie incessamment au cours de l'après-midi. Une véritable bataille a lieu entre la brise et le vent du secteur nord, dont l'issue est presque toujours favorable au second, qui investit entièrement la ville en fin de journée. La température des secteurs accessibles à la brise est de 2 à 7°C inférieure à celle de l'Aéroport, station météorologique de référence. L'îlot de chaleur est alors rejeté sur les quartiers septentrionaux de la ville, avec des écarts à l'Aéroport dépassant généralement +1°C (fig. 6.4, 6.6, 6.7). Ces résultats ont été vérifiés par une étude directe de la dynamique de l'air au dessus de la ville: des lâchers de ballons stabilisés; l'air chaud d'origine urbaine atteignait alors 500 m d'altitude sur les quartiers septentrionaux (FALLOT et ALCOFORADO, 1988). La fréquence de ce type de situation est égale ou supérieure à 39% (2b, 3b et 4b?, chap. 4).

Pendant les nuits d'été, les températures augmentent le plus souvent en direction du centre-ville. C'est pendant les nuits très chaudes, en atmosphère sèche (ex:27/7/81) que la supériorité de l'îlot de chaleur est la plus marquée, avec des anomalies positives de 4 voire 5°C par rapport à l'Aéroport. Les températures les plus élevées s'observent alors dans les fonds de vallées du centre de Lisbonne. Cependant, l'effet proprement urbain est en maintes circonstances compliqué par des influences de site à diverses échelles. Ainsi, par temps très venteux (11,5% des cas) les fonds de vallées des quartiers au sud et SE de l'agglomération (Baixa, Restauradores) sont plus chauds mais il y a de grandes différences thermiques entre points très proches, selon l'abri par rapport au vent, notamment le vent frais du nord. Pendant les nuits chaudes humides et calmes (8,5% ex: 2/8/85, fig. 6.31), les températures augmentent des fonds de vallées vers les interfluves du centre-ville, car l'air relativement frais et très humide, qui a envahit la «Baixa» pendant la journée, pénètre les fonds de vallée et s'y maintient. Parfois, cet air allocthone détermine un très grand refroidissement sur toute la basse-ville, neutralisant tout effet urbain; les températures s'abaissent alors à des valeurs inférieures à celle de l'Aéroport (15% des cas, exemple: 29/6/83).

Toutes situations confondues, les médianes des écarts à l'aéroport se distribuent sur la ville selon des rayons alignés le long des voies principales, irradiant depuis l'îlot du centre-sud, avec des températures plus élevées à l'est qu'à l'ouest de la ville. (fig. 6.35) .

En hiver deux champs thermiques principaux s'opposent pendant le jour. Quand le vent souffle du nord et du NW, la température augmente légèrement vers le centre de Lisbonne (28% des journées d'hiver, 15/1/83 et 24/1/83, fig. 6.39). Ce champ s'inverse lorsqu'une masse d'air proche de la saturation et éventuellement brumeuse stagne sur le Tage: les quartiers qui bordent le Tage sont alors les plus froids tandis que les quartiers septentrionaux présentent des températures relatives positives et élevées (12 % des cas); par exemple, le 7 février 1987, la température la plus élevée en fin de matinée a été observée à l'ouest de Lisbonne, à 200m d'altitude (Monsanto, +6°C, fig. 6.42).

Par nuits d'hiver, la température augmente toujours de la périphérie vers le centre, bien que les secteurs les plus chauds changent avec le vent. Quand le vent souffle fort ou assez fort, les fonds de vallées du centre, la «Baixa» entre autres, sont les moins froids, aussi bien pendant les nuits «très froides» (9% du total, 11/2/83 et 21/1/83) que «froides» (12%, 8 et 10/1/83). Par nuits calmes, au contraire, la température s'abaisse moins sur les interfluves du centre (Largo de Camões, Campo de Ourique) et davantage dans les fonds de vallée, en raison de la concentration de l'air froid dans certaines dépressions incomplètement urbanisées. Dans 27% des cas, il s'agit de nuits assez froides (17 et 12/1/83 et 2 et 12/3/84 par exemple, figs. 6.48 et 6.52), et pour un plus faible pourcentage (non calculable avec les données disponibles) de nuits relativement chaudes d'hiver (1/2/85, fig. 6.53). Toutefois cette influence thermique de la topographie ne masque généralement pas l'effet urbain proprement dit, la température de l'air et de surface dépendant du degré d'urbanisation des différentes vallées (comparer, sur la thermographie de la figure 6.58, la «Baixa» et les vallées à l'est de la ville). En certaines banlieues, à très forte densité de construction, les températures nocturnes peuvent être presque aussi élevées qu'au centre de Lisbonne.

Une des difficultés de l'utilisation des mesures itinérantes étant leur rareté dans le temps, deux thermo-hygrographes ont été placés dans deux quartiers différents: le premier, au fond d'un étroit «canyon» urbain dans une partie relativement ancienne de la ville (Bairro Alto, fig. 6.2), le deuxième dans une cour plus ouverte des «Avenidas Novas» (vers l'Est de P. de Espanha, fig. 6.2), vers le nord. Les écarts relatifs à l'Aéroport ont été calculés toutes les 4 heures, et mis en relation avec divers paramètres aérologiques mesurés à l'Aéroport. Ainsi, la nébulosité influe-t-elle indirectement sur les températures diurnes hivernales sur Bairro Alto du fait de son encaissement, qui crée un fort contraste d'insolation par temps clair, laquelle s'atténue par temps couvert. Les écarts de températures des nuits d'hiver dépen-

dent surtout de la direction du vent, avec de plus grands écarts par vents d'est inversion thermique nocturne intense à l'Aéroport. Pendant les journées d'été les écarts de température du Bairro Alto, plus abrité, augmentent surtout en fonction de la vitesse du vent (coefficient de corrélation de +0.31 à midi).

Les écarts de température mesurés par les thermohygrographes confirment les résultats des mesures itinérantes: l'îlot de chaleur est plus fréquent et plus intense pendant la nuit, aussi bien en été qu'en hiver.

Pendant la journée, le champ thermique urbain est extrêmement variable. La supériorité thermique de la ville est moins nette, exception faite de quelques quartiers septentrionaux.

Le dernier chapitre présente un exemple d'application de la climatologie locale à des fins touristiques. Les champs spatiaux de la fréquence et intensité des vents dominants, déterminées par la déformation des arbres, sont précisés localement par des mesures itinérantes et complétés par des observations thermiques et les résultats d'enquêtes menées pendant des journées d'été. On sait déjà que les vents du nord, dominants du mois de mars à la fin de l'été, sont plus fréquents et plus forts au sud de la Serra de Sintra (fig. 8.1), où est située la plage de Guincho; cette plage est très recherchée pour sa proximité de Lisbonne, sa faible pollution et la beauté du cadre naturel; pourtant elle est souvent déserte pendant les «belles» journées d'été, à cause du vent, qui y atteint parfois des vitesses supérieures à 80 km/h. Une enquête menée auprès d'estivants permet de conclure que le séjour sur la plage reste confortable par vent d'est (à l'Aéroport en surface et à 850 hPa). Il est le plus désagréable par vents du nord et du NW, toujours plus violents, surtout l'après-midi près du littoral (Tableaux 8.2 et 8.3). Les mesures itinérantes ont permis de vérifier l'accélération des vents du nord à Guincho, sous le vent de l'obstacle montagneux (fig. 8.9a), contrastant avec leur freinage à Praia Grande, au nord de cet obstacle; par exemple, le 10/9/83, le vent soufflait à 2m/s à Praia Grande, contre 18m/s voire 24 m/s à Guincho.

Il y a peu de différences de nébulosité et d'humidité entre les ensembles de jours confortables et inconfortables (tableau 8.4), mais les premiers sont plus chauds (Tableaux 8.5 et 8.6), et la diminution de pression entre le littoral et l'intérieur du Portugal est moins forte (en moyenne, — 2hPa sur 100km). Cette partie de l'étude mériterait en particulier d'être approfondie, afin de parvenir à une véritable prévision «en temps réel» à l'usage des vacanciers, élargie, par la suite, aux jours de pluie ou de nébulosité forte, tout aussi désagréables pour les plagistes, mais heureusement assez rares à cette époque de l'année.

Au terme de cette étude, plusieurs voies futures sont suggérées, soit pour l'approfondissement de certains thèmes, soit pour aborder des questions complémentaires à celles développées ici. La documentation de base peut être améliorée ou actualisée (télé-détection, cartes du relief de la ville, carte de l'occupation du sol, diverses cartes analytiques et de synthèse recourant à des modèles numériques de terrain). L'appareillage, les réseaux et traitement de données peuvent également être améliorés. On peut en attendre une meilleure connaissance de l'environnement climatique de Lisbonne dans la mesure où il influence la vie de la cité, le confort et la santé de ses habitants.

SUMMARY

LISBON'S REGIONAL AND LOCAL CLIMATE.

THERMAL CONTRASTS AND RHYTHMS

The results of a regional and local climatological study are presented here. Regional research has centred on temperature and the elements which determine it and/or contribute to its spatial and temporal variations (radiation, nebulosity, fogs and winds).

In the first four chapters, a study of Lisbon's regional climate is carried out. The study area has been extended somewhat to the North to include an «Atlantic» meteorological station (Cabo Carvoeiro); inland and southward boundaries are dependent upon climatic data availability.

Wind records are analysed in the first chapter. At 500 hPa, westerly winds prevail all year round (fig. 1.1). Wind roses referring to surface data indicate that the prevailing winds remain the same during the cold half of the year but that they mostly blow from the North, the Northeast and the Northwest in Spring and Summer (figs. 1.3 to 1.6). However, at certain meteorological stations, wind direction is strongly dependent on local relief (for instance OEIRAS). From March onwards, there is a great increase in the frequency of northerly winds, which disturb the young buds' normal growth and gives rise to wind-shaped trees. Study of these trees reveals the direction and relative intensity of prevailing winds in detail and will be referred to in the last chapter.

As the radiation values are only measured in Lisbon (Lisboa/Geofisico, located at the Botanical Gardens), a detailed study of insolation (I) has been carried out (chapter 2). The winter month mean values are of no significance because the variable distribution has two modes (the highest frequency of very low and very high values). In Summer the mean values and the mode are high and nearly identical (fig. 2.4). In winter as well as in summer, sunny days ($I \geq 0.80$) are more frequent than very cloudy ones ($I \leq 0.20$). The frequency of sunny days is even greater in Lisbon than in the «Côte d'Azur», which is well known for its comfortable winter conditions. The succession of sunny days (fig. 2.6) is longer than that of very cloudy ones: the longest sequence of sunny days reached 11 days in December, 9 in January, 12 in February and 9 in March, while in the same months the longest sequences of «bad» weather did not exceed 7, 7, 6 and 5 days during the 40 years studied on a daily basis. From an insolation ratio «probability calendar» (fig. 2.5, CH. P. PEGUY's technique), a relationship between insolation values and monthly patterns of synoptical circulation has been briefly presented, and the utility of the graphic presentation mentioned above has been emphasized (for the location of solar plants, for example).

Although Monte Estoril, Lisbon and Montijo are the most favourable sites when it comes to insolation (figs. 2.8 and 2.9), no large differences were found. However, a principal component analysis clearly

showed a contrast between the Tagus banks, ill-favoured by insolation in winter (on account of the frequent irradiation and advection fogs), and the oceanic sites, where more sunny days are to be found during the coldest part of the year. In summer, the contrary is to be expected (compare O/S and AZ, figs. 2.8 and 2.9). Linear regressions (valid for summer months) between insolation and fog on the one hand, and insolation and strong nebulosity on the other, permit the insolation to be determined at the meteorological stations where only fog and/or nebulosity are measured.

The chapter concerning temperature (chapter 3) has been based on long trend series from Lisboa/Geofísico (126 years) and on minimum and maximum mean temperatures from 28 climatological stations.

The long-time series have led to the conclusion that there was a global but very irregular temperature increase during the last century. The highest values of the mean maximal temperature took place during the decade embracing 1935-45, as happened in many other places in Europe. The highest minimal temperatures occurred earlier in time: between 1910 and 1920. After a slight decrease during the following decades, a recent rise has been detected. A global rise of 1.2°C has been determined by means of a linear regression (both for minimum and maximum temperatures). For the other meteorological stations whose seasonal regime has been analysed, only short series were available at the time the data was collected (1983) and the period 1947/48-1974/75 was referred to. This was a period of rather large interannual variation, but no particular trend was discovered.

Thermal seasons have been described using the mean values and standard deviation of maximum and minimum temperatures (fig. 3.6) and the probability calendars (figs. 3.7 to 3.10) referring to Lisboa (Geofísico). The warmest season extends from the second decade of July to the beginning of September. During this period, 5% of maximum temperatures exceed 32°C and 10% are higher than 30°C. Minimal temperature dispersion is lower than that of the maximums in Summer (see fig. 3.6) and the daily temperature range is the highest of the year (10% \geq 14°C).

Maximum temperature decrease in Autumn sets in earlier than the minimum temperature drop. The autumnal decline in temperature is more rapid than the rise during spring.

The reader's attention is directed to «St. Martin's Summer» (similar to the Indian Summer of North America), which occurs every second year (fig. 3.7). The cold season is brief: from the second half of December to the end of January low temperatures are frequent. At the beginning of January, there is a 15% probability of minimum temperatures under 4°C occurring. The temperature increase in Spring is slow and irregular (figs. 3.7 and 3.8); the greatest variability is to be found in April. A statistical study of frost risk (based upon first and last frost dates, fig. 3.11) revealed that early and late frosts do not occur in more than 95% of the years studied.

Temperature study has been extended to the other meteorological stations. The results of a principal component analysis is shown in fig. 3.13; it is possible to separate the days according to their heat or cold intensity and also according to the particularities of seasonal temperature variation (figs. 3.13, 3.15 and 3.16). Multiple regressions have been used to quantify the effect of latitude, altitude and distance from the sea on temperature. Latitude variation is unimportant in this fairly small region. Maximum summer temperatures grow higher as the distance from the sea increases ($r = 0.8$); minimum winter temperatures decrease towards inland, but the correlation coefficient is not very high in absolute values (-0.5). The influence of altitude is greater on winter days than on summer ones; a numerical relationship between temperature and altitude has not been found during winter nights, and this fact is most likely due to urban and topographical reasons; this assumption has been verified by calculating residues (figs. 3.17 and 3.18).

An analysis of daily data has been carried out in order to reveal phenomena hidden by the mean values (chapter four). Minimum and maximum temperatures of about 250 days and 250 nights (summer and winter) from 20 meteorological stations have been treated by means of principal analysis components. Groups of days with the same regional temperature pattern have been related to synoptical conditions, occurring at the same time (figs. 4.6, 4.7, 4.13, 4.15). At the end of the fourth chapter, detailed conclusions are presented concerning the causes of the daily temperature values and synoptical situations which correspond to the largest and slightest regional thermal contrasts.

At the end of this chapter, three regions are selected on the basis of their contrasting thermal behaviour: the coastal areas, the Tagus Valley and Lisbon. As the local climatic study of them all could not be handled here, Lisbon's urban climate has been studied in more detail (chapters 5, 6 and 7). In the last chapter, a preliminary study of weather along the western coast is presented.

Lisbon's climate depends a great deal upon its position near the Tagus estuary and not far from the Atlantic Ocean; however the Serra de Monsanto (west of the city) and the Serra da Carregueira (to the Northwest) and even the more distant Serra de Sintra isolate the urban area from the maritime influence.

Within the urban area's limits the climate also depends on relief to a great extent, especially in the southern districts (fig. 5.1). Urban morphology has been briefly presented so that some of the temperature variations may be understood.

As air pollution greatly influences the radiation balance, a brief study of smoke concentration is included here. A high concentration of this pollutant reduces solar radiation from reaching the earth's surface (lowering daily heating) and thus leads to a decrease in terrestrial irradiation. This effect is also apparent at night when the temperature decrease is slowed down. Research was carried out on a daily basis: the concentration of smoke is by far the highest downtown in the «Baixa» (eccentric C.B.D.): there, the concentration of smoke can be more than ten times higher than that of the northern measurement points (fig. 5.4). The concentration of smoke (as well as SO₂, CO₂, NO₂, etc.) is much higher in winter than in summer during which northerly winds are fortunately frequent and strong (chapter 1).

Field measurements led to the recognition of some urban thermal patterns; their presentation in chapter 6 does not claim to be exhaustive and the different types of temperature distribution may not occur most frequently. However, it was confirmed that air temperature from the city-centre's boundary layer (or canopy boundary layer) is frequently higher than that of the countryside, especially during the night. Heat island intensity seldom exceeds 4°C. Nevertheless, on particular occasions, such as in the presence of fog over the Tagus estuary, temperature differences reach 10°C; although in this case the warmer areas are Monsanto and the NW districts of Lisbon and not the Centre. Field data was assembled according to the season (Summer and Winter) and the time of day (middle of the day and dawn).

During very windy summer days, there is no real urban effect on temperature. The city acts as an obstacle to the wind: the highest temperatures are found in the more protected localities of the city. The highest temperatures were measured in the southern districts, which coincide with the city-centre (fig. 6.11). When the atmosphere is calm during the morning, a slight breeze manages to reach the southern Lisbon districts. However, the urban thermal pattern varies continuously from the early afternoon to the evening. A kind of «battle» takes place between the estuary and sea-breeze (blowing weakly from the SE in the morning and then from the South and SW) and the gale-force North winds, whose speed increases gradually. The North winds win the «battle» and sooner or later during the afternoon they blow throughout the urban areas. When the estuarine or maritime air reaches the southern districts

of Lisbon the temperature may be 2 to 5°C lower than that at the Airport (meteorological station used as a «standard» to calculate temperature deviations). But the positive temperature deviations seldom exceed 1°C (figs. 6.4, 6.6, 6.7) The core of the heat island is then situated over the northern parts of Lisbon. These results were verified by Constant Level Balloons in the Summer of 1987; on that occasion, the thickness of heated urban air reached 500 m over the northern districts of Lisbon (figs. 6.19 and 6.20). The first thermal pattern to be described occurs on at least 43% of the occasions and the second on 39%. As is pointed out in the text, these frequencies will be confirmed with further field work.

During the summer nights, there is nearly always a temperature increase towards the centre. On windy nights (11.5%) the southern and southeasterly districts are the warmest; there are large differences among the different places located nearby, but the highest temperatures were found in the downtown valleys (Baixa, Restauradores, etc., protected from the wind). On calm, humid nights (e.g. 2/8/85, fig. 6.31, circa 8.5% of nightly occasions), the highest temperatures were measured at the top of the downtown hills (Camões). It was found that the estuarine air which invaded the city during the day accumulated along the valley floors. On other occasions, this cooler and more humid air accumulated along the banks of the Tagus causing a temperature decrease towards the centre (e.g. 29/6/83, 15% of the occasions). During the rare (4.5%) very warm and dry nights, heat island intensity exceeded 4 or even 5°C in some places (e.g. 27/7/81, fig. 6.28). Urban downtown valleys were the warmest places.

The mean thermal pattern is shown in figs. 6.33 and 6.34. The tentacle-like form of Lisbon's heat island (along the main streets) should be noted. The easterly part of Lisbon is warmer than the westerly part, as it is more protected from the maritime air.

During winter days, two different thermal patterns were detected (as on summer days). When the wind blew from the North and Northwest, there was generally a slight increase in temperature towards the Centre (15/1/83 and 24/1/83, fig. 6.39, 28% of winter days). On foggy days (or when an advection of humid air took place), the waterside areas (in which the centre was included) were the coldest and most humid; temperature increased with altitude and distance from the river (fig. 6.42, 6% of winter days).

Night-time winter field measurements revealed that there was always an air temperature increase towards the Centre. However, the warmer areas were not always the same. When the wind was strong, the temperature became higher over the central valley beds either on very cold nights (11/2/83 and 21/1/83, which represent 9% of the population) or cold ones (8 and 10/1/83, 12%).

On the other hand, when there was no wind, the tops of urban hills (Largo de Camões, Campo de Ourique) were the warmest places. The valley beds were the coldest places, (on account of cold air drainage and concentration), particularly if the construction density was low. This pattern occurred under anticyclonic conditions, on cold nights (17 and 12 January 1983 and 2 March 1984 for example, figs. 6.48 and 6.52, 27%) as well as on abnormally warm ones (1/2/85). The analysis of an infra-red image of the eastern part of Lisbon confirmed some of these results (fig. 6.58 and M. J. ALCOFORADO, 1986). The importance of urban build-up structure on air temperature was pointed out: in some parts of the suburban area with high building density, the night-time temperature could be as high as in some city districts, although it was lower than the core of the urban heat island (fig 6.57).

In order to provide continuous information, two thermo-hygrographs were placed in urban districts. One of them in a very narrow canyon in a relatively old quarter of the city (Bairro Alto) and the other in the yard of a more recent building dating from the nineteen fifties and situated north of the Centre (Av. de Berna). Temperature deviations (city station temperature - Airport temperature at

the same time) were calculated and analysed in chapter 7. The relationship of the value and the signal of the deviations and the meteorological parameters have been established by visual comparison of thermograph records and by calculating the correlation values between the two above-mentioned variables (temperature deviations every 4 hour and meteorological data). As an illustration of the results, the importance of nebulosity in Winter in the Bairro Alto has been briefly referred to. During winter days, the Bairro Alto thermograph receives very few hours of direct solar radiation (from 11 a.m. to 1 p.m. in January): as a consequence, temperature differences on cloudy winter days are smaller than on sunny days (negative correlation coefficients between temperature differences and nebulosity) except for the 4 p.m. observations (positive correlation); at 4 p.m. the sun is still shining at the Airport, while the Bairro Alto temperature has decreased since 1 p.m. (mask effect). These facts help to explain why temperature deviations were high and negative on sunny days at 4 p.m. On cloudy days, the cooling rate is the same and the temperature differences are smaller. The importance of wind direction is greater during the summer afternoons: temperature differences are greater when the winds blow from the W, NW and N and when their speed is higher (Bairro Alto is protected from cooler winds). We find the same effect during winter nights: temperature differences are larger (Bairro Alto is warmer) during easterly wind conditions. Tables with the correlation coefficients and the regression equations have been published elsewhere (M. J. ALCOFORADO, 1988)

These observations confirm the result of field measurements: night-time heat islands are more frequent and their intensity reaches 3 or 4°C in winter as well as in summer.

Day-time thermal patterns are more unsteady. The northern districts are frequently warmer than the Airport. Diurnal temperature increase towards the citycentre is generally due to protection from North winds.

In the last chapter, the importance of local climatic study for tourism is emphasized. A coastal area west from Lisbon was chosen as a sample study-area. Local inquiries involving tourists clearly showed the enormous influence of the wind on human comfort at Guincho (fig. 8.1).

The conclusions of a previous study of the prevailing winds (M. J. ALCOFORADO, 1984) have subsequently been completed by providing field measurements on temperature, humidity and wind, both on pleasant days and on uncomfortable ones, where not many people are able to stand the strong wind, which can reach 80km/h. At the Airport, there are small temperature and humidity differences between «good» and «bad» days at the beach. The wind generally blows from the NW both in the morning and the afternoon during the most unpleasant occasions; when it comes from the east (surface and 850 hPa records), fine weather can be expected at Guincho. The atmospheric pressure difference between a coastal and an inland meteorological station was circa 2 hPa lower on occasions where it was calm at Guincho. The field measurements (fig. 8.9) also proved that at Praia Grande (leeward of the mountain), the weather was cooler but nearly always calmer than at Guincho (as was shown by wind-shaped trees). On windy days at Guincho, this practical experience causes a sort of South-North migration on the western edge of the Serra de Sintra. It is our aim to go further into this research in order to draw up a «real-time» forecast that could be useful to tourists.

Finally, future research openings have been suggested: either going deeper into certain points which have been insufficiently developed here, or undertaking a study of a related field: the complex relationship between climate and humans (comfort, architecture, tourism, health, farming). However, further work should be based on more modern documents (as digital terrain models), better meteorological instruments and more advanced treatment of statistical data.



BIBLIOGRAFIA

I — DOCUMENTAÇÃO ESTATÍSTICA

1 — *Anuário Climatológico de Portugal*, Parte I, Observações de superfície, Serviço Meteorológico Nacional e Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa (1947 a 1975).

2 — *O Clima de Portugal*, vários fascículos, Serviço Meteorológico Nacional e Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.

3 — *Anais do Instituto Geofísico Infante D. Luís*, Lisboa (1856 a 1974), Lisboa.

4 — *Resumo das principais observações meteorológicas realizadas em Lisboa durante 75 anos (1856-1930)*, Fascículo 1, Temperatura, Observatório Central Meteorológico «Infante D. Luís», Lisboa, 1936.

II — DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA

1 — Documentos de análise sinóptica

Boletim Meteorológico Diário, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.

Boletín Meteorológico Diario, S. M. N., Madrid.

Bulletin Météorologique Européen, Offenbach.

2 — Mapas

Carta do Concelho de Lisboa, Serviço Cartográfico do Exército, à escala 1:10 000, Lisboa, 1975.

Carta Militar de Portugal, Serviços Cartográficos do Exército, à escala 1:25 000, Lisboa, folhas 415, 416, 417, 429, 430 e 431.

Vários mapas, à escala 1:40 000, do Plano Director da Câmara Municipal de Lisboa, 1967.

Carta Corográfica de Portugal, Instituto Geográfico e Cadastral, à escala 1:50 000, Lisboa, folhas 34A, B, C e D.

Carta de Portugal, Instituto Geográfico e Cadastral, à escala 1:100 000, Lisboa, folhas 34 e 38.

Carta de Portugal, Instituto Geográfico e Cadastral, à escala 1:500 000, Lisboa, 1974.

Mapa Geomorfológico de Portugal por D. de Brum Ferreira, à escala 1:500 000, Instituto Geográfico e Cadastral e Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa, 1980.

Carta Geológica do Concelho de Lisboa por F. Moitinho de Almeida, Serviços Geológicos de Portugal, à escala 1:10 000, Lisboa, 1986.

Carta Geológica de Portugal (e notícias explicativas), Serviços Geológicos de Portugal, à escala 1:50 000, Lisboa, folhas 34A, B, C e D.

III — LIVROS E ARTIGOS

Os livros e artigos são apresentados por ordem alfabética do apelido dos autores.

- ADEBAYO, Y. R. (1987) — «A note on the effect of urbanization on temperature in Ibadan», *Journal of Climatology*, 7, p. 185-192.
- ALCOFORADO, M. J. (1978) — «Reflexões metodológicas em Climatologia regional e local», *Finisterra*, XIII, 25, Lisboa, p. 108-120.
- ALCOFORADO, M. J. (1984) — *Os ventos dominantes em torno da Serra de Sintra*. Relatório 20, L.A.G.F., C.E.G., Lisboa, 72 p. (pol.)
- ALCOFORADO, M. J. (1984) — «Quelques remarques sur l'évolution séculaire des précipitations à Lisbonne», in *Três Estudos de Geografia Física*, relatório 21, L.A.G.F., C.E.G., Lisboa, p. 12-27.
- ALCOFORADO, M. J. (1986) — «Contribution to the study of Lisbon's heat island», *Freiburger Geographische Hefte*, 26, Freiburg, p. 165-176.
- ALCOFORADO, M. J. (1987) — «Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa», *Finisterra*, XXII, 43, Lisboa, p. 71-112.
- ALCOFORADO, M. J. (1987) — «Calendários de probabilidade da temperatura em Portugal», *Finisterra*, XXII, 43, Lisboa, p. 213-225.
- ALCOFORADO, M. J. (1989) — «Représentativité temporelle des mesures itinérantes. Exemple de Lisbonne», *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 2, p. 69-74
- ALEXANDRE, J. (1979) — «La cartographie de la pollution atmosphérique», *Symposium International sur la cartographie de l'environnement et de sa dynamique*, Caen, p. 77-88.
- ALEXANDRE, J.; PINNA, M.; TYSON, P. D. (1984) — «Évolution récente des climats», *Actes du 25.º Congrès International de Géographie*, U.G.I., Paris, p. 32-36.
- ANGELL, J. et al. (1968) — «Tetron flights over New York City», *Weather*, London, 23, p. 184-191.
- ARLÉRY, R.; GRISOLLET, H.; GUILMET, B. (1973) — *Climatologie. Méthodes et pratiques*. Gauthier-Villars ed., Paris, 434 p.
- ASHBY, M. (1961) — *Introduction to Plant Ecology*. Mc Millan Press, London.
- ATKINSON, B. W. (1985) — *The urban atmosphere*. Update, London, 89 p.
- ATWATER, M. (1977) — «Urbanization and pollutant effects on the thermal structure in four climatic regimes», *Journal of Applied Meteorology*, Boston, 16, 9, p. 888-895.
- AUER, A. (1978) — «Correlation of land use cover with meteorological anomalies», *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, p. 636-643.
- AZEVEDO, A. J. (1982) — *O crescimento urbano e a influência no Clima local*. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, 27 p.
- BARSCHE, D. (1963) — «Wind, Baumform und Landschaft», *Freiburger Geographische Hefte*, 1, p. 1-21.
- BESSEMOULIN, P. (1980) — «Urbanisation et météorologie», *La Météorologie*, Paris, 6.º série, 23, p. 51-67.
- BIGA, A. J.; ROSA, R. (1979) — «Contribution to the study of the solar radiation climate of Lisbon», *Solar Energy*, vol. 23, p. 61-67.
- BILLET, J.; JAIL, M. (1972) — «Caractéristiques climatiques et développement urbain: l'exemple de la cuvette grenobloise», *Revue de Géographie Alpine*, Grenoble, 60, p. 253-259.
- BITAN, A. (1975) — «New concepts in Topoclimatology», *Meteorologische Rundschau*, Berlin, 28, p. 1-5.
- BOGDAN, O. (1978) — «Directu noii cercetarea geografica. Topoclimatologie», *Studii si Cercetari de Geologie, Geofizica, Geografie*, Bucuresti, T. XXV, p. 6-12.
- BOGDAN, O. (1978) — «Topoclimatologia», *Studii si Cercetari de Geologie, Geofizica, Geografie, Geografie*, Bucuresti, 25, p. 5-12.
- BOGDAN, O.; TEODOREANU, E. (1973) — «Contenu des cartes topoclimatiques à différentes échelles», *Revue Roumaine de Géologie, Géophysique et Géographie*, série Geog., T. 17, 2, p. 111-120.

- BOGOLEPOW, M. (1928) — «Über das Klima von Moskau» *Meteorologische Zeitschrift*, p. 152-154.
- BÖHM, R. (1979) — «Stadtentwicklung und Trend der Wärmeinselintensität», *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, Wien, B, 27, p. 31-46.
- BÖHM, R.; GABL, K. (1978) — «Die Wärmeinsel einer Großstadt in Abhängigkeit von verschiedenen meteorologischen Parametern», *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, Wien, B, 26, p. 219-237.
- BOOTH, B. (1982) — «An analysis of sudden, large falls in temperature at Lyneham during periods of weak advection», *Meteorological Magazine*, London, 1324, vol. 11, p. 281-290.
- BORNSTEIN, R. (1968) — «Observations of the urban heat island effect in New York City», *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, vol. 7, p. 575-582.
- BORNSTEIN, R. D. (1986) — «Urban Climate models: nature, limitations and applications». *W. M. O.*, 652, p. 237-276.
- BRAZDIL, R. (1986) — *Variation of atmospheric precipitation in the C.S.S.R. with respect to precipitation changes in the european region*. Brno, 169 p.
- BRAZDIL, R. et al. (1984) — «The study of local climatological conditions of towns», *Sbornik Československé Geografické Společnosti, Rocnik, Cislo 2, Suazek 89*, p. 129-136.
- BRITO, J. XAVIER de (1944) — «Valores Centrais e medidas de dispersão da temperatura do ar em Lisboa, no período 1901-30», *Quarto Congresso da Associação Portuguesa para o Progresso das Ciências*, III, 2º S., p. 178-180.
- BRITO, R. SOEIRO de (1976) — *Lisboa. Esboço Geográfico*, Separata do Boletim Cultural da Junta Distrital de Lisboa, 205 p.
- BUDYKO, M. (1974) — *Climate and Life*. International Geophysics series, 18, Academic Press, London, 508 p.
- BUTZER, K. (1962) — «Notas sobre la evolución del clima en Asia Anterior y Africa», *Estudios Geográficos*, 23, 89, p. 517-534.
- CALVET, C. (1985) — «L'effet thermique d'activité humaine à Paris», *La Météorologie*, Paris, 7.º série, 10, p. 34-42.
- CALVET, C. (1986) — «Les mesures météorologiques en milieu urbain (application à Paris)», *Physio-Géo.*, Meudon, 16, p. 11-16.
- CANTAT, O. (1986) — «Influence de l'urbanisation sur le climat de l'agglomération parisienne», *Physio-Géo.*, n.º 16, p. 25-40.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1975-76) — «Un siglo de observaciones térmicas en Sevilla: 1871-1970», *Cuadernos Geográficos*, 5 e 6, Facultad de Filosofía y Letras, Granada, p. 177-196.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1977) — «Insolación y nebusidad en la España y Baleares», *Paralelo 37º*, Almería, 1, p. 9-24.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1981) — *Los Climas de España*. Barcelona, 429 p.
- CAPPEL, K.; KALB, M. (1976) — «Das Klima von Hamburg», *Berichte des deutschen Wetterdienstes*, 141, Bd. 18.
- CARREGA, P. (1982) — «Les facteurs climatiques limitants dans le sud des Alpes occidentales», *Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée*, Nice, 13, 221 p.
- CARREGA, P. (1984) — «Notes sur les micro-climats urbains de Nice», *Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée*, Nice, 17, p. 1-30.
- CATARINO, F. (1968) — *Endopoliploidia e Diferenciação. Indução experimental de endopoliploidia em Lobularria maritima (L.) e Bryophyofillum crenatum (Bak.)*, Lisboa, 218 p.
- CAYAN, D.; DOUGLAS, A. (1984) — «Urban influences on surface temperatures in the Southwestern United States during recent decades», *Journal of Climate and Applied Meteorology*, vol. 23, p. 1520-1530.
- CHAGNON, S. A. ed. (1981) — *Metromex: a review and summary*, *Meteorological Monographs*, vol. 18, nº 40.
- CHANDLER, T. (1960) — «Wind as factor of urban temperatures — a survey in North-East London», *Weather*, London, 15, p. 204-213.
- CHANDLER, T. (1962) — «London's urban climate», *Geographical Journal*, London, 128, 3, p. 279-302.
- CHANDLER, T. (1962) — «Temperature and humidity traverses across London», *Weather*, London, 17, p. 235-242.
- CHANDLER, T. (1964) — «City growth and urban climates», *Weather*, London, 19, p. 170-171.
- CHANDLER, T. (1965) — *The climate of London*, Hutchinson, London, 292 p.
- CHANDLER, T. (1967) — «Night-time temperatures in relation to Leicester's urban form» *Meteorological Magazine*, London, vol. XCVI, p. 244-250.
- CHANDLER, T. (1967) — «London's heat-island», *Biometeorology*, part. 2, Pergamon Press, p. 589-597.
- CHANDLER, T. (1968) — *Selected bibliography on urban climate*. W.M.O., Geneva, Publ. n. 276, T.P.155, 383 p.
- CHANDLER, T. (1974) — «Urban climatology — Inventory and project, summary and conclusion of the symposium», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 1-14.
- CHANDLER, T. (1976) — *Urban climatology and its relevance on urban design*, W.M.O., Geneva, T.N. 149, 438, 61 p.

- CHANDLER, T. (1976) — «Physical problems of the urban environment», *Geographical Journal*, London, vol. 142, p. 57-80.
- CHANDLER, T. J.; GREGORY, S. (1976) — *The climate of the British Isles*. Longman, London, 390 p.
- CHESNEL, S. (1983) — *Le brouillard dans les grandes villes*, Mémoire DEA, Paris I, 20 p.
- CHESSEL, D.; DOLÉDEC, S. (1987) — «Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I — Description d'un plan d'observation complet par projection des variables», *Acta Œcologica, Œcologia Generalis*, 18, 3, p. 403-426.
- CHOISNEL, E. (1984) — «Notions d'échelle en Climatologie», *La Météorologie*, VII, 4, p. 44-52
- CLARKE, J. (1969) — «Nocturnal urban boundary layer over Cincinnati, Ohio», *Monthly Weather Review*, 97, 8, p. 582-589.
- CLARKE, J.; PETERSON, J. (1973) — «An empirical model using eigenvectors to calculate the temporal and spatial variations of the St. Louis heat island», *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, p. 195-210.
- CLARKE, T.; MC ELROY, J. (1974) — «Experimental studies of the nocturnal boundary layer», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 108-112.
- CNRS-PIRDES (1980) — *Atlas des fréquences d'Insolation Journalière dans le Midi Méditerranéen*, Institut de Mécanique de Grenoble, E.R. 30, 43 p.
- COIN, L. (1974) — «La pollution de l'air en milieu urbain», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 141-163.
- COLACINO, M. (1978) — «Infrared radiometric measurements for the study of Rome urban heat island», *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, B, Wien, 26, p. 207-217.
- COLACINO, M. (1980) — «Some observations of the urban heat island in Rome during the summer season», *Il Nuovo Cimento*, 3, 2, p. 165-179.
- COLACINO, M. (1982) — «Observations of a sea breeze event in the Rome Area», *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, B, 30, p. 127-139.
- COLACINO, M. (1987) — «Climatologia urbana: problemi e prospettive», *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, 47, 3-4, p. 241-250.
- COMISSÃO DE GESTÃO DO AR (1986) — *Qualidade do ar em Lisboa*. Lisboa, 80 p.
- CONRADS, L.; VAN DER HAGE, J. (1971) — «A new method of air-temperature measurement in urban climatological studies», *Atmospheric Environment*, Oxford, 5, 8, p. 629-635.
- COSTA, A. CELESTINO da (1951) — *A Evolução de uma cidade*. Lisboa. Edição da Câmara Municipal, Lisboa, 36 p.
- CRESPO, A. (1981) — «Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de La Coruña (España) mediante bioindicadores liquénicos», *Lazaroa*, 3, Madrid, p. 289-311.
- CROWE, P. R. (1971) — *Concepts in Climatology*. Longman, London, 589 p.
- DALGADO, P. C. (1906) — *The Climate of Lisbon and of the two health resorts in its immediate neighbourhood. Mont'Estoril and Cintra*. London, H.K. Lewis, 50 p.
- DAUPHINÉ, A. (1973) — «L'analyse factorielle: ses contraintes mathématiques et ses limites en géographie», *L'Espace Géographique*, 1, Paris, p. 74-80.
- DAUPHINÉ, A. (1976) — *Les Précipitations dans les Midis Français. Étude de Climatologie Inductive*. Lille, 585 p.
- DAUPHINÉ, A. (s.d.) — *Les bilans thermiques et énergétiques en ville*, 29 p. pol.
- DAVEAU, S. (1977) — *Répartition et rythme des précipitations au Portugal*. Memória do Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 192 p.
- DAVEAU, S. (1980) — *Première lecture des images concernant le NW de la Péninsule Ibérique recueillies le 22 septembre par le satellite HCMM*, C.E.G., Lisboa, 30 p.
- DAVEAU, S. et al. (1980) — *Dois mapas climáticos de Portugal. Nevoeiro e nebulosidade. Contrastes térmicos*. C.E.G., Lisboa, 51 p.
- DAVEAU, S. (1982) — «Les températures les 3 et 4 juillet 1978 au Portugal et dans l'Ouest de l'Espagne d'après les satellites Météosat et HCMM», *Finisterra*, 17, 33, p. 53-96.
- DAVEAU, S. et al. (1985) — *Dois mapas climáticos de Portugal. Nevoeiro e nebulosidade. Contrastes térmicos*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, 7, Lisboa, 84 p.
- DAVEAU, S.; RIBEIRO, O.; LAUTENSACH, H. (1987) — *Geografia de Portugal. I — A Posição Geográfica e o território*, Sá da Costa, Lisboa, 334 p.
- DAVEAU, S.; RIBEIRO, O.; LAUTENSACH, H. (1988) — *Geografia de Portugal. II — O Ritmo climático e a Paisagem*, Sá da Costa, Lisboa, p. 335-623.

- DELREZ, A. (1982-83) — *Contribution à l'étude de la structure thermique de l'atmosphère dans la région liégeoise — en vue de la précision des risques de pollution*, U. de Liège, F. des Sciences, ined..
- DETTWILLER, J. (1970) — *Évolution séculaire du climat de Paris. Influence de l'urbanisation*. Mémorial de la Météorologie Nationale, 52, Paris, 83 p.
- DETTWILLER, J. (1981) — «Les températures annuelles à Paris durant les 300 dernières années», *La Météorologie*, Paris, VI série, 25, p. 103-109.
- DINACOPOULOS, G.; DURAND, D. (1969) — *Éléments de climatologie agricole*, Paris, 182 p.
- DIRECÇÃO-GERAL DA QUALIDADE DO AMBIENTE (1989) — *Relatório do estado do ambiente. Qualidade do ar 1988*, Lisboa, 71 p.
- DOMINGOS, J. J. et al. (1980) — «Ocorrência média anual no território português das classes de estabilidade de Pasquill-Gifford», *Revista de Engenharia técnica*, 460, Lisboa, p. 27-42.
- DOUGUEDROIT, A. (1986) — «Méthodes d'estimation des températures des climats locaux, en particulier des topoclimats», *Symposium International sur la Topoclimatologie et ses applications*, Março 1985, Liège, p. 39-55.
- DOUGUEDROIT, A. (1986) — «Le renouvellement méthodologique de la définition des climats régionaux», *Freiburger Geographische Hefte*, 26, p. 268-279.
- DOUGUEDROIT, A. (1986) — «Climatological sequences: modelisation and applications», *Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung*, 8, p. 379-395.
- DUCKWORTH, F.; SANDBERG, J. (1954) — «The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients», *Bulletin of the American Meteorological Society*, 35, p. 198-207.
- EAST, C. (1968) — «Comparaison du rayonnement solaire en ville et à la campagne», *Cahiers de Géographie de Québec*, 12, p. 81-89.
- EHRENDORFER, M. (1987) — «A regionalization of Austria's precipitation climate using principal component analysis», *Journal of Climatology*, vol. 7, p. 71-89.
- EJARQUE, A. G.; QUINTANILHA, M. (1964) — «Études sur la pollution atmosphérique de la ville de Lisbonne», *Revista Portuguesa de Química*, vol. V, Faculdade de Ciências, Lisboa, p. 125-133.
- EMONDS, H. (1954) — *Das Bonner Stadtklima. Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde*, 7, Bonn, 64 p.
- ENDLICHER, W. (1978) — *Thermalbilder und die Veränderung des Geländeklimas in Flurbereinigten Weinbergen*, Symposium Flugzeugmessprogramm 29-31 August 1977, Hannover, Hrsg. Bundesministerium für Forschung und Technologie, 11 p.
- ENDLICHER, W. (1979) — *Thermal imagery as a tool to delimit Vineyard sites liable to cold-air damage*, Freiburger Universität, Freiburg, 11 p. (pol.).
- ENDLICHER, W. (1980) — «L'utilisation des mesures itinérantes et de thermographies comme moyen d'étude du méso-climat», *Recherches Géographiques à Strasbourg*, 13-14, p. 127-133.
- ENDLICHER, W. (1980) — «Lokale Klimaveränderung durch Flurbereinigung. Das Beispiel Kaiserstuhl», *Erdkunde*, Bonn, 34, 3, p. 175-190.
- ENDLICHER, W. (1980) — «Geländeklimatologische Untersuchungen im Weinbaugebiet des Kaiserstuhls», *Berichte des deutschen Wetterdienstes*, 150, 124 p.
- ENDLICHER, W.; BECKER, N. (1980) — «Zur Witterungsbedingten Differenzierung der Globalstrahlung in den südbadischen Weinbaubereichen», *Ber. Nat. Ges.*, Freiburg i. Br., 70, p. 3-17.
- ENDLICHER, W.; BECKER, N. (1981) — «Witterungsbedingte Unterschiede der Sonnenstrahlung in südbadischen Weinbaubereichen», *Der Badische Winzer*, 7, Freiburg, p. 332-340.
- ENDLICHER, W. (1981) — «L'îlot de chaleur urbain d'Annecy. Quelques remarques sur le climat local d'une ville alpine», *Revue de Géographie Alpine*, LXIX, 3, p. 407-420.
- ENDLICHER, W. (1986) — «Mesures itinérantes, thermographies et superposition des données topoclimatiques», Symposium International sur la Topoclimatologie et ses applications, Março 1985, Liège, p. 75-79.
- ENDLICHER, W. et al. (1987) — «Natürliche und künstliche Strahlung in der Umwelt. Eine Bilanz vor und nach Tschernobyl», *Erlanger Forschungen*, B, 17, p. 45-55.
- ERIKSEN, W. (1964) — «Beiträge zum Stadtklima von Kiel», *Schriften d. Geogr. Institut d. Univ. Kiel*, 22, 1.
- ERIKSEN, W. (1975) — *Probleme der Stadt- und Geländeklimatologie*. Darmstadt, 107 p.
- E. R. 30 (1986) — «Modélisation de la variabilité climatique», *Revue de Géographie Alpine*, LXXIV, 1-2, p. 31-42.
- ERIKSEN, W. (1976) — «Die stätische Wärmeinsel», *Geographische Rundschau*, 28, p. 368-373.
- ERPICUM, M. (1979) — «Le climat de vallée en Haute-Belgique. Analyse en fonction des types de temps», *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 15, p. 143-155.
- ERPICUM, M.; ALEXANDRE, J. (1983) — «Variabilité intra et interannuelle des extrêmes journaliers de la température: proposition d'une méthode de travail», *Hommes et Terres du Nord*, p. 3-7.

- ERPICUM, M. (1984) — *Variation temporelle des disparités locales de la température en Haute-Belgique — Analyse menée en fonction du milieu géographique et des variables météorologiques concomitantes*, Université de Liège, Faculté des Sciences, 2 vol., inédito.
- ERPICUM, M. (1986) — «Éléments pour une modélisation de la différenciation des topoclimats thermiques nocturnes», *Symposium International sur la Topoclimatologie et ses Applications*, Março 1985, Liège, p. 81-92.
- ESCOURROU, G. (1981) — *Climat et Environnement. Les Facteurs locaux du Climat*. Paris, Masson, 182 p.
- ESCOURROU, G. (1984) — «Quelques remarques sur la Climatologie Urbaine», *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, Paris, 500, p. 83-97.
- ESCOURROU, G. (1990) — «La spécificité du climat de l'agglomération parisienne», *Revue de Géographie de Lyon*, 65, 2, p. 85-89.
- ESTOURNEL, C. et al. (1983) — «Observations and modeling of downward radiative fluxes (solar and infrared) in urban/rural areas», *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22, p. 134-142.
- FALLOT, J. M. (1986) — «Mesures de l'îlot de chaleur urbain dans le cadre d'une petite ville à topographie tourmentée: le cas de Fribourg (Suisse)», *Freiburger Geographische Hefte*, 26, p. 20-29.
- FALLOT, J. M.; BUMAN, A. M. (1987) — «Modélisation des influences orographiques et urbaines de l'agglomération fribourgeoise sur les écoulements régionaux», UKPIK, *Cahiers de l'Institut de Géographie de Fribourg*, 5, p. 59-72.
- FALLOT, J. M. (1988) — «Étude des brises thermiques d'une grande vallée préalpine suisse: la vallée de la Sarine en Gruyère. Mesures sur le terrain et essai de modélisation des écoulements», *Journées de Climatologie*, Novembre 1987, Liège, p. 75-96.
- FALLOT, J. M. (1990) — «Bilan de recherches effectuées sur la ventilation et la qualité de l'air dans la région fribourgeoise de 1980 à 1990», *Ukpik - Cahiers de l'Institut de Géographie de Fribourg*, 7, p. 15-22.
- FEIO, M.; HENRIQUES, M. V. (1986) — *As secas de 1980-81 e de 1982-83 e as principais secas anteriores. Intensidade e distribuição regional*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, 10, 113 p.
- FERREIRA, A. e D. de BRUM (1983) — «A seca de 1980-81 em Portugal. Causas meteorológicas e tipos de tempo», *Finisterra*, Lisboa, XVIII, 35, p. 27-63.
- FERREIRA, A. de BRUM (1984) — «Mouvements de terrain dans la région au Nord de Lisbonne: conditions morpho-structurales et climatiques», *Três Estudos de Geografia Física*, rel. 21, L.A.G.F., C.E.G., Lisboa, p. 1-10.
- FERREIRA, D. de BRUM (1980) — *Contribution à l'étude des vents et de l'humidité dans les îles centrales de l'archipel des Açores*, C.E.G., I.N.M.G, Lisboa, 437+192 p.
- FERREIRA, D. de Brum (1984) — *Le système climatique de l'upwelling ouest-ibérique*, L.A.G.F., CEG, Lisboa, 91 p. pol.
- FERREIRA, D. de Brum (1985) — «Les dépressions covectives du bassin atlantique nord subtropical oriental», *Finisterra*, XX, 39, p. 25-45.
- FERREIRA, H. A. (1940) — «Elementos para o conhecimento do clima do Estoril», *Memória da Academia das Ciências de Lisboa*, T. III, classe Ciências, p. 3-13.
- FERREIRA, H. A. (1962) — *O Instituto Geofísico Infante D.Luís*, Publicação 2, Instituto Geofísico Infante D.Luís, Lisboa, 33 p.
- FEZER, F. (1975) — «Lokalklimatologische Interpretation von Thermalluftbildern», *Bildmessung und Luftbildwissen*, 4, p. 152-158.
- FIGUEIRA, F. M. et al. (1983) — *A Meteorologia e os problemas urbanos*. I.N.M.G., Lisboa, 41 p.
- FILLIGER, P.; BERLINCOURT, P.; RICKLI, R. (1984) — «Applied study on urban and air pollution Climatology», Biel-Bienne/Switzerland, *Zürcher Geographische Schriften*, 14, Zürich, p. 93-96.
- FLOHN, H.; FANTECHI, R. (1984) — *The Climate of Europe: Past, Present and Future*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 356 p.
- FRANKE, E. ed. (1977) — *Stadtklima. Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung*, Karl Kramer Verlag, Stuttgart, 144 p.
- FRANZINI, M. M. (s.d.) — *Observações meteorológicas feitas na cidade de Lisboa, no Anno de 1817, acompanhadas da relação dos mais notáveis sucessos, acontecimentos em diversas regiões, oferecidas à Real Academia das Ciências*, Lisboa, s.p.
- FUGGLE, R.; OKE, T. (1970) — «Long wave radiative flux divergence and nocturnal cooling of the urban atmosphere. I — above roof level», *Boundary Layer Meteorology*, Dordrecht, 10, p. 113-120.
- FUKUI, E. (1957) — «Increasing temperature due to the expansion of the urban area in Japan», *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 75th Ann. volume, p. 336-341.
- FUKUI, E. (1968) — «The recent rise of temperature in Japan», *Geographical Review of Japan*, 41, p. 477-490.
- FUKUOKA, Y. (1981) — «Dendroclimatological study on urban atmospheric environment», *Reprints from Memoirs of the Faculty of Integrated Arts and Sciences*, Hiroshima University, Ser. IV, 7, p. 127-135.

- GAJZÁGO, L. (1974) — «Variation of sulphur dioxide concentration in dependence from weather in Budapest», *Urban Climates*, W.M.O., Genebra, T.N. 108, p. 286-290.
- GAJZÁGO, L. (1974) — «Variation of global radiation in Budapest», *Urban Climates*, W.M.O., Genebra, T.N. 108, p. 79-80.
- GALLOY, E. (1982) — *Contribution à l'étude de la sécheresse. Modélisation des séquences climatologiques sur un réseau de stations couvrant l'ensemble de la France*. Thèse de 3.^e cycle, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 139 p.
- GARNETT, A. (1967) — «Some climatological problems in urban geography with reference to air pollution», *Institute of British Geographers Transactions*, 42, p. 1-43.
- GARNIER, B. J. (1967) — «An approach towards formulating procedures for developing topoclimatic indices», *Climatological Bulletin*, Mc. Gill University, 31, p. 7-16.
- GARNIER, B. J. (1971) — «Procedures in using a light aircraft for a remote sensing of surface radiative temperatures», *Climatological Bulletin*, Montréal, 10, p. 1-11.
- GASPAR, J. (1976) — «A dinâmica funcional do Centro de Lisboa», *Finisterra*, Lisboa, XI, 21, p. 37-142.
- GASPAR, J. (1979) — «Zentrum und Peripherie im Ballungsraum Lissabon», *Kässeler Schriften zur Geographie und Planung*, 8, 133 p.
- GEIGER, R. (1980) — *Manual de Microclimatologia. O Clima da camada de ar junto ao solo* (tradução da 4.^a edição, 1961). Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 556 p.
- GEORGII, H. W. (1974) — «The effects of air pollution on urban climates», *Urban Climates*, W.M.O., Genebra, T.N. 108, p. 214-237.
- GIVONI, B. (1978) — *L'homme l'architecture et le climat*, Trad. J. L. IZARD, Ed. du Moniteur, Paris, 464 p.
- GOLDER, D. (1972) — «Relations among stability parameters in the surface layer», *Boundary Layer Meteorology*, 3, p. 47-58.
- GOLDREICH, Y. (1984) — «Urban Topoclimatology», *Progress in Physical Geography*, 8, 3, p. 336-364.
- GONÇALVES, C.; MATA, A. (1962) — *Cinco anos de medições de radiação solar em superfícies verticais em Lisboa*. Publicação 5, Instituto Geofísico Infante D. Luís, Lisboa, 14 p.
- GOSSMANN, M.; LEHNER, M.; STOCK, P. (1981) — «Wärmekarten des Ruhrgebietes», *Geographische Rundschau*, 33, p. 556-562.
- GROUPE CHADULE (1974) — *Initiation aux méthodes statistiques en Géographie*, Masson et Cie, Paris, 191 p.
- GRUPO DE TRABALHO SOBRE A POLUIÇÃO DO AR (1979) — *Estudo da poluição atmosférica na cidade de Lisboa*, Lisboa, 4 p. + anexos.
- GUGIUMAN, J. (1980) — «Stadtklimatologische Forschungen in der S. R. Rumänien als Beitrag zu Verminderung der Luftverschmutzung», *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 124, p. 249-252.
- HAGE, K. D. (1975) — «Urban — rural humidity differences», *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, 14, p. 1277-1283.
- HAGE, K. O. (1972) — «Nocturnal temperatures in Edmonton, Alberta», *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, volume II, p. 123-129.
- HANN, J. (1903) — *Handbook of Climatology*, Londres, MacMillan Co., (tradução da 2.^a edição; 1.^a edição em 1893).
- HANNEL, F. G. (1976) — «Some features of the heat island in an equatorial city», *Geografiska Annaler*, série A, 58-A, p. 95-109.
- HARE, F. K. (1985) — «Climate variability and change» in R. KATES et al. ed., *Climate impact and assessment*, J. Wiley and Sons, 625 p.
- HARRISON, R. et al. (1984) — «Artificial heat release from greater London 1971-1976», *Atmospheric environment*, vol. 18, n° 11, London, p. 2291-2304.
- HARTLEY, M. (1976) — «Glasgow as an urban heat — island», *Scottish Geographical Magazine*, 2, Edinburgh, p. 80-89.
- HENRIQUES, R. (1982) — *Técnicas de Detecção Remota*. M. 573, L.N.E.C., Lisboa, 35 p.
- HENRY, J.; DICKS, S. (1985) — «Urban and rural humidity distributions: relationships to surface materials and land use», *Journal of Climatology*, Royal Meteorological Society, volume V, p. 53-62.
- HENRY, J.; DICKS, S. (1987) — «Association of urban terrain temperature with land use and surface materials», *Landscape and Planning*, 14, p. 21-29.
- HENRY, J.; DICKS, S.; ROGUSKI, S. J. (1988) — «Relationship of the urban fabric of LAWRENCE, Kansas with satellite-derived thermal infra-red data», *International Journal of Biometeorology*, 32, p. 181-187.
- HENRY, J.; DICKS, S.; ROGUSKI, S. J., (1989) — «Comparison of satellite, ground-based, and modeling techniques for analysing the urban heat island», *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 55, 1, p. 69-76.

- HERTIG, J. (1984) — «Simulation of the urban heat island», *Zürcher Geographische Schriften*, 14, Zürich, 91 p.
- HEUMANN, R.; MEISER, B. (1973) — «Untersuchungen über die zeitliche und räumliche Änderung des Temperaturfeldes im Stadtgebiet von Giessen», *Die Erde*, Berlin, 104, 3-4, p. 226-246.
- HOLTMEIER, F. K. (1978) — «Die bodennahen Winde in den Hochlagen der Indian Peaks Section (Colorado Front Range)», *Münstersche Geographische Arbeiten*, Paderborn, p. 5-33.
- HOUGHTON, J. *et al. ed.* (1991) — *Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 365 p.
- HSU SHENG, I. (1984) — «Variation of an urban heat island in Phoenix», *Professional Geographer*, 36, 2, p. 196-200.
- HUETZ DE LEMPS, A. (1970) — *La Végétation de la Terre*. Masson, Paris, 133 p.
- HUFTY, A. (1965) — «Influence des conditions météorologiques sur les mesures de mésoclimat à Florennes», *Travaux Géographiques de Liège*, 146, p. 257-320.
- HUFTY, A. (1966) — *Les Climats locaux dans la région liégeoise*, Université de Liège, 385 p.
- HUFTY, A. (1968) — «Carte des secteurs climatiques de la région liégeoise», *Cahiers de Géographie de Québec*, 25, p. 160-164.
- HUFTY, A. (1974) — «Les vents et la pollution de l'air dans la région liégeoise», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 291-296.
- HUFTY, A. (1974) — «Types de temps et climats locaux de la Région Liégeoise», *Travaux Géographiques de Liège*, 161, p. 125-172.
- HUFTY, A. (1976) — *Introduction à la Climatologie*, P.U.F., Paris, 264 p.
- HUFTY, A. (1988) — «Climatologie et Géographie, un point de vue», in *Climats et Climatologie*, Volume d'hommage au Professeur Pagny, Dijon, p. 261-268.
- HUFTY, A.; PÉRIARD, G. (1985) — «Typologie des rapports d'insolation au Québec», *Canadian Geographer*, 29, 9, p. 340-349.
- HUFTY, A.; SHERIFF, F.; THÉRIAULT, M. (1984) — *El efecto de las variaciones latitudinales y estacionales de la radiación solar recibida sobre superficies inclinadas en la definición de las pendientes de solana y umbria*, Laboratorio de Climatología, Universidade de Laval, Québec, 14 p.
- JAUREGUI, E. (1973) — «The urban climate of Mexico City», *Erdkunde*, 27, p. 298-307.
- JAUREGUI, E. (1983) — «Visibility trends in Mexico City», *Erdkunde*, Bonn, Band 37, p. 296-299.
- JAUREGUI, E. (1986) — *Tropical urban climates: Review and assessment*. W.M.O., Geneva, 652, p. 26-45.
- JENKINS, J. (1974) — «Increase in averages of sunshine in central London», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T. N. 108, p. 292-294.
- JOLY, D. (1980) — «Étude intégrée des climats à grande échelle; exemple pris au Spitsberg», *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, Paris, 474, p. 373-378.
- JONE, P.; JIUSTO, J. (1980) — «Some local climate trends in four cities in New York State», *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, 19, 2, p. 135-141.
- KATSCHNER, T. (1986) — «Stadtstruktur und Stadtklima», *Freiburger Geographische Hefte*, 26, p. 42-57.
- KATSOLIS, B. D.; THEOHARATOS, G. A. (1985) — «Indications of the urban heat island in Athens, Greece», *Journal of Climate and Applied Meteorology*, American Meteorological Society, 24, p. 1296-1302.
- KAWAMURA, T. (1977) — «Causes of the city climate and its modeling», *Kisho — Kenyu Note*, 133, p. 226-238.
- KESSLER, A. (1976) — «Über den Tagesgang von Oberflächertemperaturen in der Bonner Innenstadt an einem sommerlichen Strahlungstag», *Erdkunde*, 25, 1, p. 13-20.
- KRATZER, A. (1937) — «Das Stadtklima», *Die Wissenschaft, Braunschweig*, V, 90, 143 p.
- KRATZER, A. (1968) — «Beiträge zum Münchner Stadtklima», *Wetter und Leben*, 20, p. 110-116.
- LAFONTAINE, J. (1974) — «Les aspects médicaux de la pollution de l'air dans les villes», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 164-178.
- LAMAS, J.; SASHOUA, Y.; COHEN, A. (1972) — «Meteorological criteria for mobile surveys in Agrotopoclimatology», *Meteorologische Rundschau*, 25, p. 140-143.
- LAMB, H. H. (1967) — «Britain's changing climate», *Geographical Journal*, 33, 4, p. 445-460.
- LAMB, H. H. ed. (1968) — *The changing climate*. Norwich, 236 p.
- LANDSBERG, H. E. (1967) — «Air pollution and urban climate», *Biometeorology*, Part 2, p. 648-655.
- LANDSBERG, H. (1974) — «Inadvertent atmospheric modification through urbanization», *Weather and Climate Modification*, Wilmont N. Hessed, New York, John Wiley & Sons, p. 726-763.
- LANDSBERG, H. (1974) — «The urban area as target for meteorological research», *Bonner Meteorologische Abhandlungen*, 17, p. 475-480.
- LANDSBERG, H. (1981) — *The Urban Climate*. International Geophysics Series, XXVIII, Academic Press, London, 275 p.

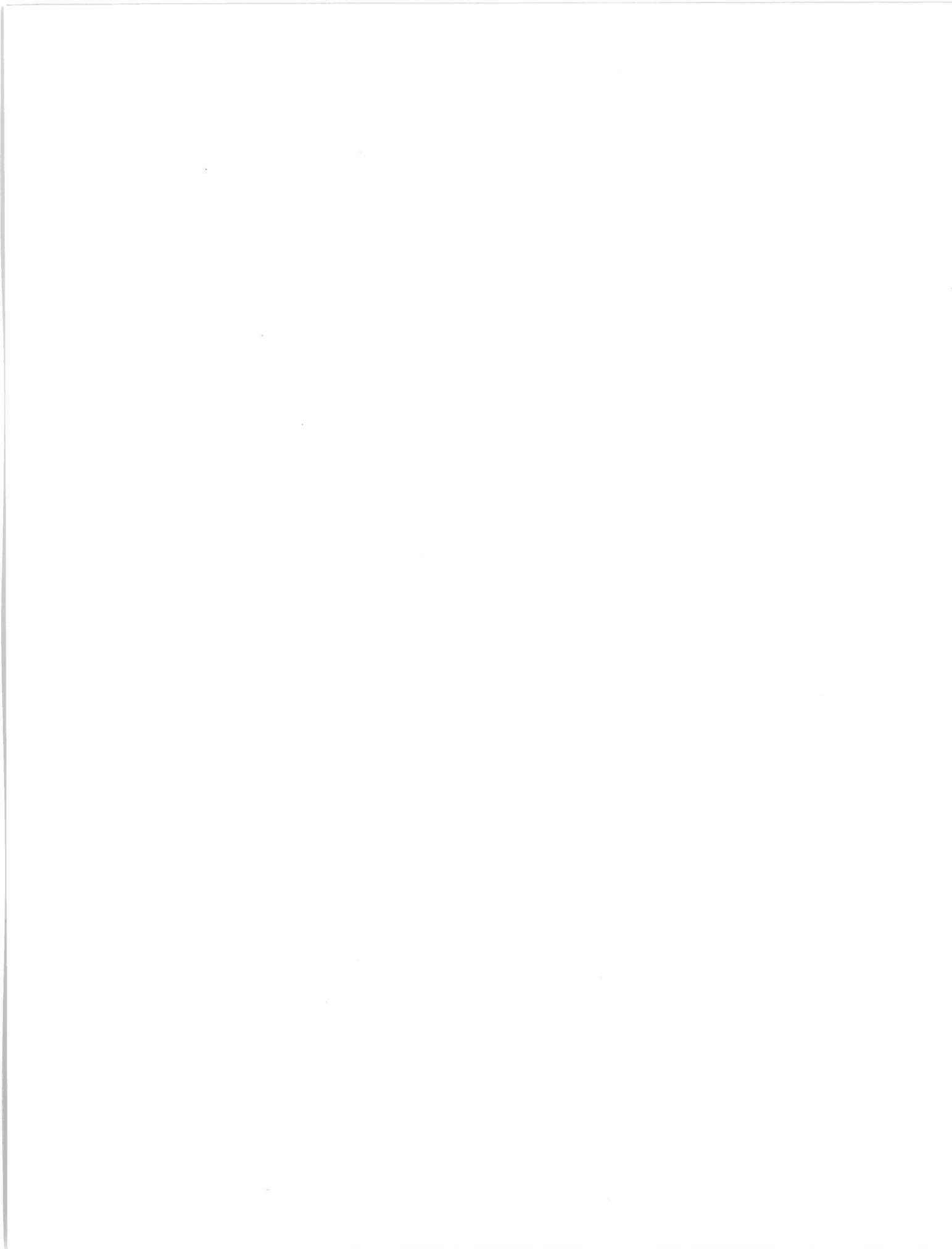
- LANDSBERG, H.; MAISEL, T. (1972) — «Micrometeorological observations in an area of urban growth», *Boundary Layer Meteorology*, 2, p. 365-370.
- LAUTENSACH, H. (1937) — *Portugal auf Grund eigener Reisen und der Literatur*. II — Die portugiesischen Landschaften.
- LAWRENCE, E. (1971) — «Urban climate and day of the week», *Atmospheric Environment*, Pergamon Press, V, p. 935-948.
- LEBARD, L.; MORINEAU, A.; FÉNELON, J.P. (1983) — *Traitement des données statistiques*, Dunod, Paris, 510 p.
- LEBARD, L.; MORINEAU, A.; TABARD, N. (1983) — *Techniques de la description statistique*, Dunod, Paris, 351 p.
- LEBRETON, J. D. et al. (1988) — «L'analyse des relations espèces-milieu par l'analyse canonique des correspondances-I», *Acta Œcologica*, 9, 1, p. 53-67.
- LEBRETON, J. D. et al. (1988) — «L'analyse des relations espèces-milieu par l'analyse canonique des correspondances -II-», *Acta Œcologica*, 9, 2, p. 137-151.
- LECOMPTE, M. (1981) — «Deux approches de la relation climat-végétation», *Eaux et Climats*, Grenoble, p. 303-311
- LECOMPTE, M. (1986) — *Biogéographie de la Montagne marocaine. Le Moyen-Atlas Central*. C.N.R.S., Paris, 202 p.
- LECOMPTE, M. (1986) — «Essai de Biogéographie montagnarde au Maroc», *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique*, Université Paris VII, 15, p. 47-66.
- LECOMPTE, M.; DELANNOY, H. (1975) — «Méthode d'étude des régimes thermiques en liaison avec les situations météorologiques dans le Moyen-Atlas (Maroc)», *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, 422-423, p. 83-94.
- LECOMPTE, M.; DELANNOY, H.; ROMANE, F. (1978) — *Étude des températures quotidiennes dans le Moyen-Atlas et ses bordures. Analyse multivariée et situations atmosphériques*. Recueil des méthodes phyto-écologiques. École d'Emberger. Fascicule 10, Montpellier, 61 p.
- LECOMPTE, M.; DELANNOY, H. (1980) — «Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances pour l'étude des précipitations quotidiennes: un exemple du Maroc». *Méditerranée*, 4, p. 29-36.
- LEE, D. (1975) — «Rural atmospheric stability and the intensity of the London's heat island», *Weather*, London, 30, 4, p. 102-109.
- LEE, D. (1979) — «Contrast in warming and cooling rates at an urban and rural site», *Weather*, London, 34, 2, p. 60-66.
- LEE, D. (1984) — «Urban Climates», *Progress on Physical Geography*, 8, 1, p. 1-31.
- LEE, D. (1985) — «A preliminary analysis of long-term visibility trends in Central London», *Journal of Climatology*, Sussex, 5 (6), p. 673-680, il.
- LEWIS, J. E. et al. (1976) — «Urban surface thermal response associated with land use», *Climatological Bulletin*, 19, Montréal, p. 23-29.
- LIMA, J. de ALMEIDA (1905) — *Subsídios para o estudo do Clima de Lisboa. I: Temperatura*. Memória apresentada à Academia Real das Ciências de Lisboa, 41 p.
- LIMA, J. de ALMEIDA (1912) — *Le Climat de Lisbonne et sa variation*, Lisboa, 31 p.
- LINDQUIST, S. (1970) — «Studies on the local climate in Lund and environs», *Lund Studies in Geography*, Série A, 42.
- LOMBARDO, M. A. (1984) — «A ilha de calor da metrópole paulista: subsídio ao planejamento urbano», *Actas do III Congresso brasileiro de Meteorologia*, Belo Horizonte, p. 143-149.
- LÓPEZ GÓMEZ, A.; FERNANDEZ GARCIA, F. (1984) — «La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano», *Estudios Geográficos*, Madrid, 45 (174), p. 5-34.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1985) — «El clima de las ciudades», *Abor*, 474, CXXI, p. 13-32.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. ed. (1986) — *Cambios recientes en climas mediterráneos*. Conferência Internacional sobre Países mediterráneos. Grupo de Estudo de Variações Climáticas, U.G.I., Madrid, 214 p.
- LOWRY, W. P. (1967) — «The climate of cities», *Man and the Ecosphere*, Readings from Scientific American, p. 180-188.
- LOWRY, W. P. (1977) — «Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis», *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, vol. 16, p. 129-135.
- LYALL, J. T. (1977) — «The London heat-island in June-July 1976», *Weather*, London 32, 8, p. 296-302.
- MACHADO, M. S. (1973) — *Variações climáticas*, S.M.N., Lisboa, 35 p.
- MAEJIMA, I. et al. (1983) — «Recent climatic change and urban growth in Tokyo and its environs», *Japanese Progress in Climatology*, Março, p. 1-22.
- MARCHAND, J. P.; MARTIN, S.; MOUNIER, J. (1981) — «Variations pluviométriques durant la dernière période séculaire en Europe Occidentale», *La Houille Blanche*, 7/8, p. 581-588.
- MARR, R. (1970) — «Geländeklimatische Untersuchung im Raum Südlich von Basel», *Basler Beiträge zu Geographie*, 12, Basel, 155 p.
- MARTIN, S. (1981) — «L'informatique dans la réalisation du calendrier de probabilités», *Information et Sciences Humaines*, 12, 48, p. 59-74.

- MARTIN, S.; SAINTIGNON, M. F. de (1974) — «Application de l'analyse en composantes principales à l'étude de la variabilité régionale et interannuelle des précipitations ardéchoises», *Revue de Géographie de Lyon*, 49, 1, p. 77-92.
- MARTIN, S.; SAINTIGNON, M. F. de (1977) — «Contribution méthodologique à l'étude des séquences climatiques. Exemple de séquences sans précipitations». *Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée*, 3, Nice, p. 54-70.
- MARTIN, S.; VIVIAN, H. (1978) — «Fluctuations spatio-temporelles d'une zone intra-alpine en fonction de la circulation atmosphérique générale», *15. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie*, Grindelwald, Tagungsbericht, 1. Teil, p. 258-262.
- MATTINGLY, P. (1979) — «The urban heat island: a student field project with community interest overtones», *Journal of Geography*, Houston, p. 68-70.
- MAUREL, J. B. (1957) — «El clima de Granada», *Estudios Geográficos*, 69, Año XVIII, p. 457-469.
- MITCHELL, J. M. (1961) — «The temperature of cities», *Weatherwise*, p. 224-229.
- MONJALLON, A. (1980) — *Introduction à la méthode statistique*. Vuibert, Paris, 278 p.
- MONTAMBAULT, P.; LEDUC, R. (1980) — «Quelques aspects statistiques de l'ensoleillement à Montréal, Québec», *Géographie Physique et Quaternaire*, Montréal, 34, 1, p. 115-122.
- MONTEIRO, C. A. (1976) — *Teoria e Clima urbano*. S. Paulo, 181 p.
- MONTEIRO, C. A.; TARIFA, J. R. (1977) — *Contribuição ao estudo do Clima do Maratá: uma abordagem de campo subsidiária ao Planejamento urbano*, S. Paulo, 51 p.
- MORAWSKA-HORAWSKA, M. (1985) — «Cloudiness and sunshine in Cracow, 1861-1980, and its contemporary tendencies», *Journal of Climatology*, Sussex, 5, 6, p. 633-642.
- MORGAN, D.; MYRUP, L.; ROGERS, D.; BASKETT, R. (1977) — «Microclimates within an urban area», *Annals of the Association of American Geographers*, 67, 1, p. 55-65.
- MORGAN, L.; ROGERS, D. (1972) — «Texture of a city: the foundation to urban meteorology», *Conference on urban Environment and second Conference on Biometeorology*, p. 295-302.
- MOUNIER, J. (1979) — *Les Climats océaniques des régions atlantiques de l'Espagne et du Portugal*. Lille, 1221 p. + 259.
- MOUNIER, J. (1979) — «Les origines du passage du domaine méditerranéen dans la Péninsule Ibérique», *Méditerranée*, 3. série, 36, 3, p. 3-17.
- MUNN, R. E. (1973) — «Urban meteorology: some selected topics», *Bulletin of the American Meteorological Society*, 54, 2, p. 90-93.
- MUNN, R. E., HIRT, M.; B. F. FINDLAY (1968) — «A climatological study of the urban temperature anomaly in the lakeshore environment at Toronto», *Journal of Applied Climatology*, 7, p. 411-421.
- NASRALLAH, H. A.; A. BRAZEL; BALLING, R. C. (1990) — «Analysis of the Kuwait city urban heat island», *International Journal of Climatology*, 10, p. 401-405.
- NEIBURGER, M. (1974) — «Air pollution considerations in city and regional planning», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 194-213
- NEIBURGER, M. (1974) — «Diffusion models of urban air pollution», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 248-262.
- NIEUWOLT, S. (1966) — «The urban microclimate of Singapore», *Journal of Tropical Meteorology*, 1966, vol. 22, Malaya and Singapore, p. 30-37.
- NKEMDIRIM, L. (1976) — «Dynamics of an urban temperature field — a case study», *Journal of Applied Climatology*, American Meteorological Society, 15, 8, p. 818-828.
- NÜBLER, W. (1975) — «Lokalklimatische Untersuchungen als Beitrag zur ökologisch-wertenden Differenzierung des Stadtgebietes von Freiburg», *Daten und Dokumente zum Umweltschutz*, Heft 14, p. 83-94.
- NÜBLER, W. (1979) — «Konfiguration und Genese der Wärmeinsel der Stadt Freiburg», *Freiburger Geographische Hefte*, 16, Freiburg, 113 p.
- NUNEZ, M. (1979) — «The urban heat island: some aspects of the phenomenon in Hobort», *Occasional Paper*, Dept. of Geog., Univ. of Tasmania, 6, p. 1-46.
- PERRIN, R. (1974) — «Les plaines du Bas-Sègre. Aspects de Climatologie locale», *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, Toulouse, 45, p. 17-31.
- OKA, S. (1972) — «Deformation of trees on Mt. Fuji», *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, 617, p. 15-29.
- OKE, T. R. (1968) — «Some results of a pilot study of the urban climate in Montréal», *Climatological Bulletin*, Montréal, 3, p. 36-41.
- OKE, T. R. (1969) — «Towards a more rational understanding of the urban heat island», *Climatological Bulletin*, Montréal, 5, p. 1-20.

- OKE, T. R. (1973) — «City size and the urban heat island», *Atmospheric Environment*, Pergamon Press, 7, p. 769-779.
- OKE, T. R. (1974) — *Review of urban climatology 1968-1973*, W.M.O., Geneva, T. N. 134, 18 + 132 p.
- OKE, T. R. (1976) — «The distinction between canopy and boundary layer heat islands», *Atmosphere*, 14, p. 268-277.
- OKE, T. R. (1978) — *Boundary Layer Climates*. Methuen, London, 372 p.
- OKE, T. R. (1981) — «Canyon Geometry and nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations», *Journal of Climatology*, 1, p. 237-254.
- OKE, T. R. (1984) — «Methods in Urban Climatology», *Zürcher Geographische Schriften*, Zürich, 14, p. 19-29.
- OKE, T. R.; EAST, C. (1971) — «The urban boundary layer in Montréal», *Boundary Layer Meteorology*, 1, p. 411-437.
- OKE, T. R. ; FUGGLE, R. T. (1972) — «Comparison of urban-rural counter and net radiation at night», *Boundary Layer Meteorology*, 2, p. 290-308.
- OKE, T. R.; HANNEL, F. G. (1970) — «The form of the urban heat island in Hamilton», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T. N. 108, p. 113-126.
- OKE, T. R.; MAXWELL, G. B (1975) — «Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver», *Atmospheric Environment*, Pergamon Press, 9, p. 191-200.
- OKE, T. R.; NUNEZ, M. (1980) — «Modeling the daytime urban surface energy balance», *Geographical Analysis*, 12, p. 373-386.
- OLIVER, J.; HIDORE, J. (1984) — *Climatology. An Introduction*. Columbus, 381 p.
- OMS/PNUD/POR/RCE001 (1981) — *Luta contra a poluição do ar em zonas urbanas. Qualidade do ar em Lisboa*. Projecto do governo português, Lisboa.
- PAGNEY, P. (1973) — *La Climatologie*. P.U.F., Paris, 127 p.
- PARK, H-S (1987) — *Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments*, Environment Research Center Papers, 11, University of Tsukuba, 79 p.
- PARRY, M. (1967) — «The urban heat-island», *Biometeorology*, S. TROMP e W. WEIME ed. Part. 2, Pergamon Press, London, p. 616-624.
- PASZYNSKI, J. (1964) — «Topoclimatological investigations on heat balance», *Geographia Polonica*, 2, p. 69-77.
- PASZYNSKI, J. (1983) — «Les méthodes d'établissement des cartes topoclimatiques», *Geographia Polonica*, 45, p. 35-45.
- PASZYNSKI, J. (1986) — «Modifications par l'activité humaine du bilan thermique à la surface limite», *Symposium International sur la Topoclimatologie et ses Applications*, Março 1985, Liège, p. 173-178.
- PASZYNSKI, J. (1986) — «Topoklimatologie. Entwicklung, Methoden und Ergebnisse», *International Symposium on Urban and Local Climatology*, Fevereiro 1986, Freiburger Geographische Hefte, 26, p. 7-10.
- PAUL, P. (1973) — *Climatologie dynamique de la région de Montréal*, Thèse 3.^e cycle Strasbourg.
- PEASE, R. W.; LEWIS, J. E.; OUTCALT, S. I. — «Urban terrain Climatology and remote sensing», *Annals Assoc. American Geographers*, Albany, 66, 4, p. 557-569.
- PÉGUY, P. (1961) — *Précis de Climatologie*, Paris, Masson, 347 p.
- PÉGUY, C. P. (1974) — «Étude sur la variabilité de l'enneigement en Vanoise», *Travaux Scientifiques du Parc National de la Vanoise*, V, p. 41-55.
- PÉGUY, C. P. (1976a) — «Quelques expressions graphiques de la variation interannuelle des précipitations et du bilan hydrique», *Colloque UNESCO/OMM sur le bilan hydrique de l'Europe*, Varna, 8 p.
- PÉGUY, C. P. (1976b) — «Une nouvelle expression graphique de la variabilité interannuelle des climats: les calendriers de probabilités», *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, Paris, 431-432, p. 5-11.
- PÉGUY, C. P. (1978a) — «Un outil sémiologique au service des climatologues: les calendriers de probabilités», *La Météorologie*, p. 95-99.
- PÉGUY, C. P. (1978b) — *Le climat du Monétier et de Briançon. Recherches méthodologiques et actualisation de données*. Travaux de Géographie Physique, Université Paris VII, 5, 2, 52 p.
- PETERSON, J.; STOFFEL, T. (1980) — «Analysis of urban-rural solar radiation data from St. Louis, Missouri», *Journal of Applied Meteorology*, 19, p. 275-283.
- PEIXOTO, J. P. (1981) — *A radiação solar e o ambiente*. Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa, 179 p.
- PRESTON-WHYTE, R. A. (1970) — «A spacial model of an urban heat island», *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, vol. 9, 4, p. 571-573.
- PROSEK, P.; BRÄDZIL, R. (1983) — «An example of the climatological processing of the atmospheric landscape component», *Journal of Climatology*, 3, p. 285-295.
- RAMOS, C. (1986) — *Tipos de Anticiclones e ritmo climático de Portugal. Estudo de Climatologia*. L.A.G.F., C.E.G., relatório n° 25, Lisboa, 236 p.
- RETTALLACK, B. J. (1979) — *Meteorologia*. Vol. 2 do Compêndio para a formação profissional de pessoal meteorológico da classe IV, trad. I.N.M.G., Lisboa, 173 p.

- RIBAS, R. B. — *Dispersão de poluentes na atmosfera*, S.E.A., Lisboa, 34 p.
- RIBEIRO, O. (1940) — «Remarques sur la morphologie de la région de Sintra et de Cascais», *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, XI, 3-4, p. 203-218.
- RIBEIRO, O. (1955) — *Portugal*. (Tomo V de Geografia de España y Portugal), Barcelona, 290 p.
- RIBEIRO, O. (1970) — *Variações sobre Temas de Ciência*. Lisboa, Sá da Costa, 269 p.
- RIEHL, H. (1965) — *Introduction to the Atmosphere*, New York, 365 p.
- RONCHAIL, J.; LECOMPTE, M. (1981) — «Essais de climatologie dynamique dans les Alpes internes françaises», *La Météorologie*, VI série, n° 26, p. 57-91.
- RONDA, D. (1974) — «Facteurs climatiques et pollution de l'air en milieu urbain», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 238-247.
- ROTEN, M. et al. (1983) — «Le climat de Fribourg: démarches récentes», *UKPIK, Cahiers de l'Institut de Géographie de Fribourg*, 1, p. 63-94.
- ROTEN, M. (1986) — «Le projet de recherches climatologiques sur la région de Fribourg 1980-1986», *UKPIK, Cahiers de l'Institut de Géographie de Fribourg*, 4, p. 61-63.
- RUFFIEUX, D. (1983) — «Utilisations de ballons stabilisés dans un milieu urbain à topographie tourmentée», *Hommes et Terres du Nord*, 3, p. 74-78.
- RUFFIEUX, D. (1984) — «Influence de la ville de Fribourg sur les écoulements atmosphériques», *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.*, 73, 1-2.
- RUFFIEUX, D. (1986) — «La ventilation de la région de Fribourg (CH) déterminée par modélisation physique», *Symposium International sur la Topoclimatologie et ses applications*, Março 1985, Liège, p. 235-252.
- RUFFIEUX, D.; CARREGA, P. (1986) — «Research into the urban heat island and the windflow above the city of Nice in Summer by vertical measurements and constant level balloons», *Freiburger Geographische Hefte*, 26, p. 96-109.
- SABATIER, R. (1989) — «Principal component analysis with instrumental variables as a tool for modelling composite data», *Multiway data analysis*, p. 341-352.
- SAINTIGNON, M. F. de (1986) — «Décroissance de la température avec l'altitude dans le Jura français en fonction du site des postes de mesure», *Symposium International sur la Topoclimatologie et ses applications*, Março 1985, Liège, p. 253-267.
- SANDERSON, M. et al. (1973) — «Three aspects of the urban climate of Detroit-Windsor», *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, vol. 12, 6, p. 629-638.
- SCHMIDT, F. H. (1974) — «The effect of stability on the dust content in cities», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 273-279.
- SEKIGUTI, T. (1950) — «Introduction to local Climatology», *Geophysical Magazine*, 22, p. 29-33.
- SÉRGIO, C. (1981) — «Alterações da flora briológica epífita na área urbana de Lisboa, nos últimos 140 anos», *Boletim da Sociedade Broteriana*, série 2, 54, p. 313-331.
- SÉRGIO, C.; BENTO-PERREIRA, F. (1981) — «Líquenes e briófitos como bio-indicadores da poluição atmosférica. 1: Utilização de uma escala qualitativa para Lisboa». *Boletim da Sociedade Broteriana*, LIV, 2ª série, Lisboa, p. 291-303.
- SÉRGIO, C.; BENTO-PERREIRA, F. (1983) — «Líquenes e briófitos como bio-indicadores da poluição atmosférica. 2: Utilização de uma escala quantitativa para Lisboa». *Revista de Biologia*, 12, Lisboa, p. 297-312.
- SHARON, D.; KOPLOWITZ, R. (1972) — «Observations of the heat island of a small town», *Meteorologische Rundschau*, Berlin, 25, p. 143-146.
- SHENG-IHSU (1981) — *The urban heat island effect. A case of Metropolitan Phoenix Area*, Ocasional Paper 21. Department of Geography and Geographical Research Center, 19 p.
- SINGER, T. A.; SMITH, M. E. (1974) — «A Summary of the recommended guide for the prediction of the dispersion of air-borne effluents (Asme)», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 308-326.
- SPÖRING, S. (1967) — *Gliederung Lissabons in seine natürlichen Stadtteile*, Göttingen, 134 p.
- SUNDBORG, A. (1950) — «Local climatological studies of the temperature conditions in an urban area», *Tellus*, vol. 2, 3, Stockholm, p. 222-233.
- SWEENEY, J. (1987) — «The urban heat island of Dublin City», *Irish Geography*, Dublin, 20, p. 1-10.
- TAVARES, C. N. (1979) — *História do Jardim Botânico da Universidade de Lisboa*, Guia do Jardim Botânico da Universidade de Lisboa. Artigo de divulgação n° 11, Lisboa.
- TERJUNG, W. M. (1970) — «Urban energy balance climatology: a preliminary investigation of the city-man system in downtown Los Angeles», *Geographical Review of Japan*, vol. 60, p. 31-53.
- TERJUNG, W. M.; LOUIE, S. (1973) — «Solar radiation and urban heat islands», *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 63, 2, p. 181-207.

- THIOULOUSE, J.; CHESSEL, D. (1987) — «Les analyses multitableaux en écologie factorielle». *Acta Œcologica/ Œcologia Generalis*, 8, 4, p. 463-480.
- TRAPPER, N. J. et al. (1981) — «Modeling the winter heat island over Christchurch, New Zealand», *Journal of Applied Meteorology*, 20, p. 365-376.
- TYSON, P. D.; DUTOIT, W. J.; FUGGLE, R. F. (1972) — «Temperature structure above cities: review and preliminary findings from the Johannesburg heat island project», *Atmospheric Environment*, Pergamon Press, 6, p. 533-542.
- UNESCO; W.M.O. (1963) — *Changes of climate*. Proceedings of the Rome Symposium, Liège, 485 p.
- UNWIN, D. J. (1980) — «The synoptic climatology of Birmingham's urban heat island, 1965-74», *Weather*, London, 35, p. 43-50.
- VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (1988) — *Stadtklima und Luftreinhaltung*, Springer Verlag, Berlin, 426 p.
- VELDS, C. A. (1974) — «Relation between SO₂ concentration and circulation type in Rotterdam and surroundings», *Urban Climates*, W.M.O., Geneva, T.N. 108, p. 280-287.
- VENTURA, J. E. (1986) — *Influência das gotas de ar frio no ritmo e na repartição espacial das chuvas em Portugal. Estudo de Climatologia*. L.A.G.F., C.E.G., relatório 24, Lisboa, 212 p.
- WANNER, H. (1984) — «Methods in applied Topoclimatology», *Zürcher Geographische Schriften*, 14, p. 5-17.
- WANNER, H.; HERTIG, J. A. (1984) — «Studies on urban climates and Air pollution in Switzerland», *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 12.
- WANNER, H. et al. (1986) — «Urban Meteorology and Air Pollution in Biel-Bienne», *Freiburger Geographische Hefte*, 26, p. 12-20.
- WATANABE, A. (1988) — «On vertical structure of the atmosphere above an urban region» *Geographical Review of Japan*, 61, Ser. A, 7, p. 11-17.
- WEISCHET, W. (1951) — «Die Baumneigung als Hilfsmittel zur geographischen Bestimmung der klimatische Windverhältnisse», *Erdkunde*, V, 3, p. 221-227.
- WEISCHET, W. (1955) — «Die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht und ihrer Rhamenlandschaften» *Münchener Geogr.*, Heft 8.
- WEISCHET, W. (1963) — «Grundvoraussetzungen, Bestimmungsmerkmale und klimatologische Aussagemöglichkeit von Baumkronendeformationen», *Freiburger Geographische Hefte*, 1, p. 5-19.
- WEISCHET, W. (1967) — «Kann und soll noch Klimatologische Forschung im Rahmen der Geographie betrieben werden?», *Deutscher Geographentag Bad Godesberg*, 2, Wiesbaden, p. 429-440.
- WEISCHET, W. et al. (1977) — «Der Einfluss von Baukörper Strukturen auf das Stadtklima am Beispiel von Freiburg», *Stadtklima*, Stuttgart, p. 39-63.
- WEISCHET, W. (1980) — «Stadtklimatologie und Stadtplanung», *Veröffentlichungen der geographischer Kommission schweizerische Naturforschende Gesellschaft*, 6, Bern, p. 73-94.
- WEISCHET, W. (1982) — «Der Vorteil einer Baukörperklimatologie für Zwecke der Stadtplanung», *Thermalluftbilder für die Stadt und Landesplanung*, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Beiträge Band 62, Hannover, p. 23-28.
- WHITEN, A. J. (1956) — «The ventilation of Oxford Circus», *Weather*, London, 11, p. 227-231.
- WINIGER, M. (1984) — «Satellite data in topoclimatology», *Zürcher Geographische Schriften*, Zürich, 14, p. 41-53.
- YARNAL, B.; WHITE, D. A. (1987) — «Subjectivity in a computer-assisted synoptic climatology I: classification results», *Journal of Climatology*, vol. 7, Royal Meteorological Society.
- YOSHINO, M. M. (1964) — «Some local characteristics of surface winds as revealed by wind-shaped trees in the Rhône valley in Switzerland», *Erdkunde*, 18, 1, p. 28-35.
- YOSHINO, M. M. (1965) — «Local distribution of wind-shaped trees using Ushea as indicators of micro-climates in the sub-alpine zone», *Tokyo Journal of Climatology*, II, 1, p. 58-59.
- YOSHINO, M. M. (1973) — «Studies on Wind-shaped trees: their classification, distribution and significance as a climatic indicator», *Climatological Notes*, 12, p. 1-52.
- YOSHINO, M. M. (1975) — *Climate in a Small Area. An introduction to local Meteorology*. University of Tokyo Press, Tokyo, 549 p.
- YOSHINO, M. M. (1976) — «Bora regions as revealed by wind-shaped trees on the adriatic coast», *Local wind Bora*, University of Tokyo Press, p. 59-71.
- YOSHINO, M. M. (1981) — «Change of air temperature due to urbanization in Tokyo and its surrounding regions», *Science Reports of the University of Tsukuba*, A, 2, p. 45-60.
- YOSHINO, M. M. et al. (1981) — «Orographically induced atmospheric circulations», *Progress in Physical Geography*, 5, 1, p. 77-98.



ÍNDICE DAS FIGURAS

	Pág.
Mapa de Enquadramento	13
1.1 — Fluxos em altitude (500 hPa) e à superfície no Verão e no Inverno, à latitude de Lisboa	24
1.2 — Velocidade e frequência de ocorrência do vento dos vários rumos em Lisboa (Geofísico).....	26
1.3 — Frequência e velocidade média dos três rumos dominantes e percentagem de calmas no Verão (Junho, Julho e Agosto)	28
1.4 — Frequência e velocidade média dos três rumos dominantes e percentagem de calmas no Outono (Setembro, Outubro e Novembro)	29
1.5 — Frequência e velocidade média dos três rumos dominantes e percentagem de calmas no Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro)	30
1.6 — Frequência e velocidade média dos três rumos dominantes e percentagem de calmas na Primavera (Março, Abril e Maio)	31
2.1 — Desvios à média do número de horas anual de insolação em Lisboa (Geofísico).....	34
2.2 — A radiação em Lisboa (Geofísico)	35
2.3 — A razão de insolação em Lisboa (Geofísico)	35
2.4 — Frequência de ocorrência das razões de insolação quotidianas em Lisboa (Geofísico): 1940-1980	37
2.5 — Calendário de Probabilidades da razão de insolação em Lisboa (Geofísico).....	38
2.6 — Percentagem de sequências de dias de muito forte (≥ 0.80) e de muito fraca (≤ 0.20) insolação em Lisboa (Geofísico).....	41
2.7 — Análise em componentes principais da razão de insolação em 17 estações da região de Lisboa: projecção das variáveis (meses) no plano factorial 1-2	44
2.8 — Análise em componentes principais da razão de insolação em 17 estações da região de Lisboa	44
2.9 — Razão de insolação em cinco estações da região de Lisboa	45
2.10 — Número médio de dias de nevoeiro em estações da região de Lisboa	47
2.11 — Número de dias de nebulosidade $\geq 8/10$ em 6 estações da região de Lisboa	48
2.12 — Regressão simples entre a razão de insolação (Y) e o número de dias de nevoeiro (x): distribuição geográfica dos resíduos (%)	51
2.13 — Regressão simples entre a razão de insolação (Y) e o número de dias de nebulosidade $\geq 8/10$ (x): distribuição geográfica dos resíduos (%)	51
2.14 — Regressão múltipla entre a insolação (Y), o número de dias de nevoeiro (x_1) e o número de dias de nebulosidade $\geq 8/10$ (x_2): distribuição geográfica dos resíduos referentes ao mês de Julho (%).....	53
2.15 — Razão de insolação em Julho, Dezembro e Janeiro (médias 1947/75).....	55
3.1 — A evolução da temperatura em Lisboa (Geofísico)	61
3.2 — A evolução da temperatura em Lisboa (Geofísico): médias de 10, 20 e 30 anos consecutivos.....	64
3.3 — A evolução da temperatura em Lisboa (Geofísico) mediana, 1º e 9º decis de séries de 20 anos (com sobreposição de 10 anos)	64
3.4 — Desvios à média e resíduos da temperatura máxima média do mês mais quente em Lisboa (Geofísico)	66
3.5 — Desvios à média e resíduos da temperatura mínima média do mês mais frio em Lisboa (Geofísico)..	67
3.6 — Médias e desvios-padrões das temperaturas máxima e mínima e da amplitude térmica dos dias 1, 11 e 21 de cada mês em Lisboa (Geofísico), 1856-1980	70
3.7 — Calendário de probabilidades: temperatura máxima diária (°C) em Lisboa (Geofísico), 1856-1980.....	72

	Pág.
3.8 — Calendário de probabilidades: temperatura mínima diária (°C) em Lisboa (Geofísico), 1856-1980	72
3.9 — Calendário de probabilidades: temperatura média diária (°C) em Lisboa (Geofísico), 1856-1980	73
3.10 — Calendário de probabilidades: amplitude térmica diária (°C) em Lisboa (Geofísico), 1856-1980	73
3.11 — Calendário de probabilidades da data de ocorrência do 1º e do último dia de temperatura mínima $\leq 5^{\circ}\text{C}$ em Lisboa (Geofísico): 1856-1980	77
3.12 — Calendário de probabilidades da data de ocorrência da 1ª e do última sequência de cinco dias de temperatura $\leq 5^{\circ}\text{C}$ em Lisboa (Geofísico): 1856-1980	77
3.13 — Análise em componentes principais da temperatura máxima média (A) e mínima média (B). Projecção dos indivíduos (estações meteorológicas) no plano 1-2 e sua repartição espacial	79
3.14 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas e mínimas médias mensais: projecção das variáveis (meses) no plano factorial 1-2	80
3.15 — Temperatura máxima média mensal nalgumas estações meteorológicas (1947/48-1974/75)	82
3.16 — Temperatura mínima média mensal nalgumas estações meteorológicas (1947/48-1974/75)	82
3.17 — Número de meses de fortes resíduos de temperatura máxima média mensal em cada semestre	88
3.18 — Número de meses de fortes resíduos de temperatura mínima média mensal em cada semestre	89
3.19 — Temperaturas médias mensais em meses de Verão e de Inverno	90
4.1 — Valores médios, extremos e desvio-padrão da temperatura máxima de Verão	102
4.2 — Valores médios, extremos e desvio-padrão da temperatura mínima de Verão	103
4.3 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Verão: projecção das variáveis (estações meteorológicas) nos planos 1-2 e 1-3	106
4.4 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Verão: projecção das variáveis (estações meteorológicas) nos planos 1-2 e 1-3	107
4.5 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas (A) e mínimas (B) de Verão: qualidade de representação dos vários indivíduos (dias) em relação aos eixos 1 e 2	107
4.6 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Verão	108
4.7 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Verão	118
4.8 — Valores médios, extremos e desvio-padrão da temperatura máxima de Inverno	122
4.9 — Valores médios, extremos e desvio-padrão da temperatura mínima de Inverno	123
4.10 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Inverno: projecção das variáveis (estações meteorológicas) nos planos 1-2 e 1-3	124
4.11 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Inverno: projecção das variáveis (estações meteorológicas) nos planos 1-2 e 1-3	125
4.12 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas (A) e mínimas (B) de Inverno: qualidade de representação dos vários indivíduos (dias) em relação aos eixos 1 e 2	125
4.13 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Inverno	128
4.14 — Análise em componentes principais das temperaturas máximas de Inverno: repartição das temperaturas num dia do grupo de transição 3a — 3b	132
4.15 — Análise em componentes principais das temperaturas mínimas de Inverno	134
5.1 — O relevo e as principais artérias de Lisboa (equidistância das curvas de nível: 10m)	162
5.2 — Lisboa: Esboço de localização e percentagem de área construída	164
5.3 — Localização dos postos de medição de poluentes	169
5.4 — Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), desvio-padrão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e coeficiente de variação (%), da concentração de fumos negros, em Lisboa, em 1983 e 1984	172
6.1 — Diferença de temperatura máxima média e mínima média mensais entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração	179
6.2 — Locais de observação regulares e perfis principais em Lisboa	180
6.3 — Projecção dos dias em que se efectuaram medições em Lisboa no plano 1-2 (A.C.P. aplicada a uma matriz de temperaturas máximas de Verão)	186
6.4 — Perfis térmicos em dias de Verão (Monsanto-Terreiro do Paço)	190
6.5 — Perfis térmicos em dias de Verão (Avenida 24 de Julho-Santa Apolónia)	192
6.6 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em dias de Verão	193
6.7 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto na tarde de 16 de Outubro de 1984	194

6.8 — Registo do termo-higrógrafo de Lisboa/Gago Coutinho a 10 e 11 de Julho de 1988. A ponteado, períodos de observação no terreno	194
6.9 — Localização dos perfis de observações itinerantes de 10 e 11 de Julho de 1988.....	195
6.10 — Perfis térmicos nas tardes de 10 e 11 de Julho de 1988.....	196
6.11 — Média dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto nas tardes de 10 e 11 de Julho de 1988	197
6.12 — Mediana e médias dos desvios de temperaturas em relação ao Aeroporto em dias de Verão: perfil Monsanto-Terreiro do Paço	199
6.13 — Mediana e médias dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto, em dias de Verão	199
6.14 — Os ventos na região de Lisboa a 11, 12 e 13 de Agosto de 1987	201
6.15 — O «tempo» em Lisboa/Portela de 10 a 14 de Agosto de 1987	202
6.16 — Sondagens em Lisboa/Portela a 11 e 12 de Agosto de 1987	203
6.17 — Frequência dos regimes diários dos ventos no Verão, em Lisboa.....	203
6.18 — Sondagem nos Restauradores às 20 h de 11 de Agosto de 1987	204
6.19 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 15h 20 de 11 de Agosto de 1987	205
6.20 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 15h 50 de 11 de Agosto de 1987	206
6.21 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 16h 30 de 11 de Agosto de 1987	207
6.22 — Sondagens no Aeroporto e nos Restauradores às 12 horas de 12 de Agosto de 1987	209
6.23 — Sondagens no Aeroporto a 13 de Agosto de 1987.....	209
6.24 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 10h 45 de 12 de Agosto de 1987	210
6.25 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 11h 30 de 12 de Agosto de 1987	211
6.26 — Trajectória e perfil do balão estabilizado lançado às 14h 45 de 13 de Agosto de 1987	213
6.27 — Projecção das noites em que se efectuaram medições em Lisboa no plano 1-2 (A.C.P. aplicada e uma matriz de temperaturas mínimas de Verão)	216
6.28 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Verão	220
6.29 — Localização dos perfis de observações itinerantes na noite de 1 para 2 de Agosto de 1985.....	221
6.30 — Registo do termo-higrógrafo de Lisboa/Gago Coutinho em 1 e 2 de Agosto de 1985.....	222
6.31 — Perfis térmicos nocturnos a 2 de Agosto de 1985	224
6.32 — Perfis térmicos nocturnos a 10 e 11 de Julho de 1988.....	226
6.33 — Média dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto nas noites de 10 e 11 de Julho de 1988	228
6.34 — Mediana dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Verão (perfil Monsanto-Terreiro do Paço).....	229
6.35 — Mediana dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Verão.....	229
6.36 — Projecção dos dias em que se efectuaram medições em Lisboa no plano 1-2 (ACP aplicada a uma matriz de temperaturas máximas de Inverno)	230
6.37 — Perfis térmicos em dias de Inverno (Monsanto-Terreiro do Paço).....	233
6.38 — Perfis térmicos em dias de Inverno (Av. 24 de Julho-Santa Apolónia).....	234
6.39 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em dias de Inverno.....	235
6.40 — Registo do termo-higrógrafo de Lisboa/Gago/Coutinho a 18 e 19 de Janeiro de 1983.....	236
6.41 — Registo do termo-higrógrafo de Lisboa/Gago Coutinho a 7 e 8 de Fevereiro de 1987	236
6.42 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto e nevoeiro no fim da manhã de 7 de Fevereiro de 1987	237
6.43 — Média e medianas dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em dias de Inverno.....	238
6.44 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em dias de Inverno.....	239
6.45 — Projecção das noites em que se efectuaram medições em Lisboa no plano 1-2 (A.C.P. aplicada a uma matriz de temperaturas mínimas de Inverno).....	241
6.46 — Perfis térmicos em noites de Inverno (Monsanto-Terreiro do Paço)	245
6.47 — Perfis térmicos em noites de Inverno (Av. 24 de Julho-Santa Apolónia).....	247
6.48 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Inverno	248
6.49 — Perfis térmicos numa noite de Inverno a Ocidente de Lisboa (Benfica-Alcântara)	250
6.50 — Perfis térmicos numa noite de Inverno a Ocidente de Lisboa (Monsanto-Parque Eduardo VII).....	251
6.51 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Inverno de 1984	252
6.52 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto a 2 de Março de 1984.....	253
6.53 — Desvios de temperatura em relação ao Aeroporto a 1 de Fevereiro 1985.....	254

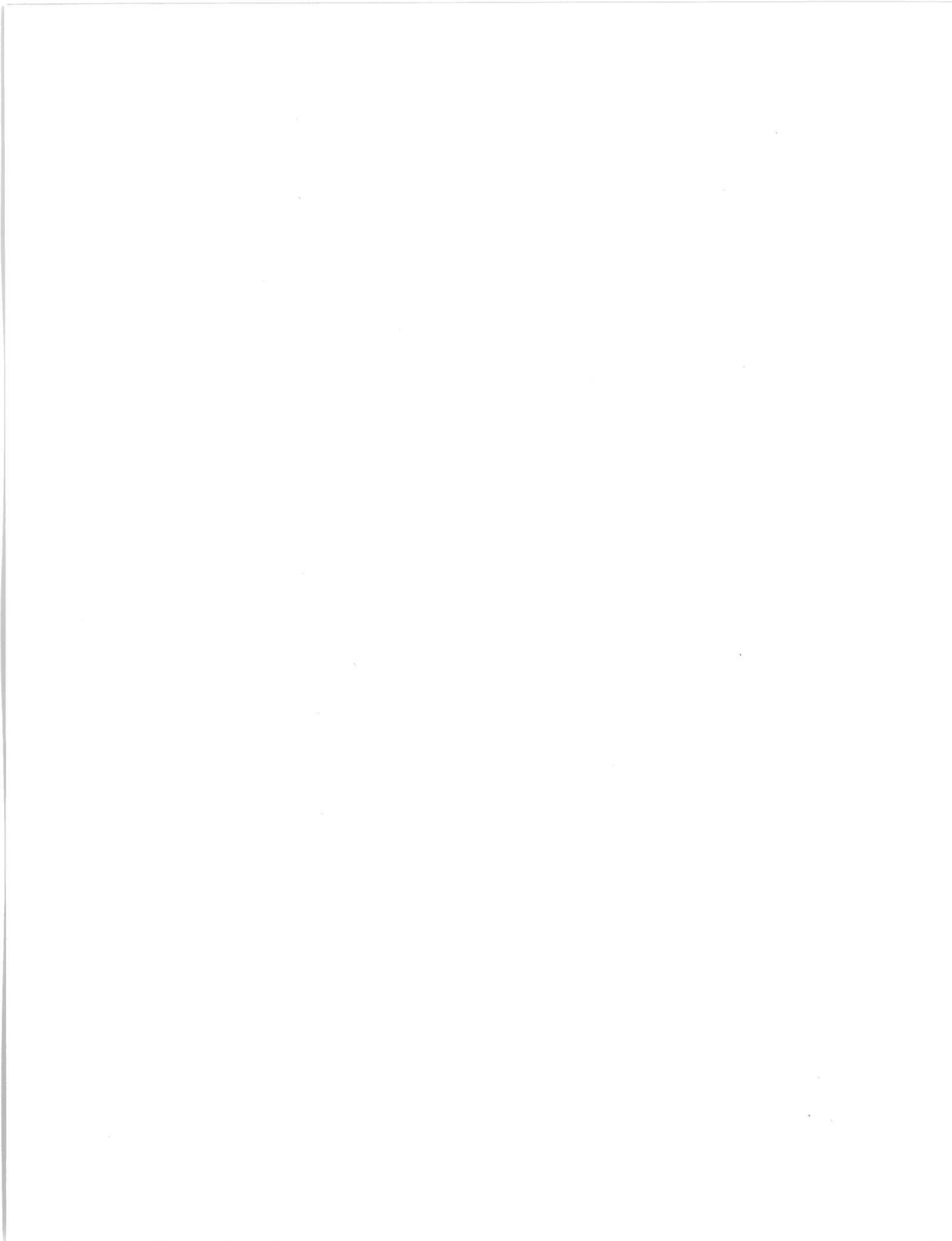
	Pág.
6.54 — Mediana dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Inverno (perfil Monsanto-Terreiro do Paço).....	255
6.55 — Mediana dos desvios de temperatura em relação ao Aeroporto em noites de Inverno	255
6.56 — Média das temperaturas de 9, 10 e 11 de Janeiro 1985, às 8 horas	256
6.57 — Representação de dois níveis de similaridade (A e B) da árvore de ligação (temperaturas observadas a 9, 10 e 11 de Fevereiro 1985 em Lisboa).....	256
6.58 — Temperaturas de superfície em Lisboa, no início de uma noite de Inverno (interpretação de uma termografia)	257
7.1 — Diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto em 91 dias de Verão.....	268
7.2 — Diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto em 109 dias de Inverno.....	271
7.3 — Diferenças de temperatura entre a Avenida de Berna e o Aeroporto em 47 dias de Verão	273
7.4 — Diferenças de temperatura entre a Avenida de Berna e o Aeroporto em 49 dias de Inverno	275
8.1 — Localização do perfil de observações no litoral.....	280
8.2 — Rumo dos ventos na Primavera (1947/75)	281
8.3 — Escala de deformação adaptada ao pinheiro.....	282
8.4 — Bio-indicadores no Cabo Raso	283
8.5 — Conjunto de árvores deformadas.....	284
8.6 — Os ventos dominantes em torno da Serra de Sintra: mapa de síntese	285
8.7 — Bio-indicadores a SW da Serra de Sintra.....	286
8.8 — Projecção dos dias em que se efectuaram medições no litoral ocidental no plano 1-2 (análise em componentes principais aplicada a uma matriz de temperaturas máximas de Verão)	289
8.9 — Temperatura e vento no litoral em dias de Verão (desvios térmicos em relação ao Aeroporto).....	291
8.10 — Mediana dos desvios estivais de temperatura em relação ao Aeroporto no litoral em dias de Verão....	293

Índice dos Quadros

	Pág.
As estações meteorológicas utilizadas	20
2.1 — Diferença do número médio de horas de insolação entre os valores «normais» 1931-60 e 1901-30 em Lisboa (Geofísico) e entre os períodos 1931-60 e 1913-46 no Monte Estoril	33
2.2 — Probabilidade de passagem de uma sequência de n dias de razão de insolação ≥ 0.80 a uma sequência idêntica de n + 1 dias para cada mês.....	43
2.3 — Probabilidade de passagem de uma sequência de n dias de razão de insolação ≤ 0.20 a uma sequência idêntica de n + 1 dias para cada mês ou conjunto de meses.....	43
2.4 — Coeficientes de correlação entre o número médio de dias de nevoeiro e a média da razão de insolação e entre o número médio de dias de nebulosidade $\geq 8/10$ e a média da razão de insolação.....	49
2.5 — Coeficientes de correlação e equação da recta de regressão entre a insolação (Y) e o número médio de dias de nevoeiro (x), para as estações da região de Lisboa, nos meses de Verão.....	49
2.6 — Coeficientes de correlação e equação da recta de regressão entre a insolação (Y) e o número de dias de nebulosidade (x) para as estações da região de Lisboa, nos meses de Verão	50
2.7 — Coeficientes de correlação múltipla entre os números médios de dias de nevoeiro (x_1) e de nebulosidade $\geq 8/10$ (x_2) e a média da razão de insolação e coeficiente de determinação para 15 estações da região de Lisboa	52
2.8 — Coeficientes de correlação (r) e equação das rectas de regressão múltipla entre os números médios de dias de nevoeiro (x_1) e de nebulosidade forte (x_2) e a razão de insolação (Y), para as estações da região de Lisboa, nos meses em que r é significativo.....	52
2.9 — Razão de insolação em 8 estações meteorológicas: valores calculados a partir das equações do quadro 2.8	54
3.1 — Coeficientes de correlação (r) entre a temperatura em Lisboa Geofísico (Y) e o tempo (t): 1956 a 1971 e equações das rectas	62
3.2 — Diferenças de temperatura máxima média mensal (a) e mínima média mensal (b) entre estações do espaço estudado.....	84
3.3 — Equações das rectas de regressão múltipla entre as temperaturas (Y), o factor latitudinal (x_1), o factor longitudinal (x_2), a altitude (x_3) e a distância ao litoral (x_4).....	85
3.4 — Coeficientes de correlação e coeficientes estandardizados do modelo de regressão múltipla entre as temperaturas (Y), a latitude (x_1), a longitude (x_2), a altitude (x_3) e a distância ao litoral (x_4).....	86
3.5 — Coeficientes de correlação entre temperaturas máximas médias e mínimas médias de Lisboa (Geofísico) e Monsanto	91
3.6 — Equações das rectas de regressão entre os valores de temperatura de Monsanto (Y) e de Lisboa Geofísico (x) e cálculo de (Y), nos meses em que o coeficiente de correlação é significativo	92
4.1 — Dados diários utilizados.....	98
4.2 — Posição no plano 1-2, qualidade de representação em relação a F_1 e F_2 e frequência de ocorrência de grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima estival.....	106
4.3 — Nebulosidade e ventos em Cabo Carvoeiro (CC) e Lisboa/Portela (LP) em grupos de dias de semelhante repartição de temperatura máxima estival	111
4.4 — Frequência de ocorrência das situações sinópticas e da direcção dos fluxos à superfície, a 850 e a 500 hPa e estrutura térmica da atmosfera em Lisboa, em vários grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima estival.....	113

	Pág.
4.5 — Posição no plano 1-2, qualidade de representação em relação a F_1 e F_2 e frequência de ocorrência de grupos de dias de semelhante repartição da temperatura mínima estival	116
4.6 — Nebulosidade e ventos em Cabo Carvoeiro (CC) e Lisboa/Portela (LP) em grupos de dias de semelhante repartição de temperatura mínima estival.....	117
4.7 — Frequência de ocorrência das situações sinópticas e da direcção dos fluxos à superfície, 850 e 500 hPa e estrutura térmica da atmosfera em Lisboa, em vários grupos de dias de semelhante repartição da temperatura mínima estival	120
4.8 — Posição no plano 1-2, qualidade de representação em relação a F_1 e F_2 e frequência de ocorrência de grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima no Inverno	127
4.9 — Nebulosidade e ventos em Cabo Carvoeiro (CC) e em Lisboa/Portela (LP) em grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima de Inverno	130
4.10 — Frequência de ocorrência das situações sinópticas e da direcção dos fluxos à superfície, a 850 e 500 hPa e estrutura térmica da atmosfera em Lisboa, em vários grupos de dias de semelhante repartição da temperatura máxima de Inverno.....	131
4.11 — Posição no plano 1-2, qualidade de representação em relação a F_1 e F_2 e frequência de ocorrência de grupos de dias de semelhante repartição de temperatura mínima no Inverno.....	133
4.12 — Nebulosidade e ventos em Cabo Carvoeiro (CC) e em Lisboa/Portela (LP) em grupos de dias de semelhante repartição da temperatura mínima de Inverno.....	136
4.13 — Frequência de ocorrência das situações sinópticas e da direcção dos fluxos à superfície, a 850 e 500 hPa e estrutura térmica da atmosfera em Lisboa, em vários grupos de dias de semelhante repartição da temperatura mínima de Inverno	138
5.1 — Postos fixos de medição de poluentes, cujos dados foram facultados.....	170
5.2 — Coeficientes de correlação entre a concentração de fumos negros em Cabo Ruivo e elementos meteorológicos em Lisboa/Portela	175
6.1 — Locais de observações regulares em Lisboa	181
6.2 — Diferenças de temperatura máxima estival entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração	183
6.3 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nos dias de observações de terreno em Lisboa (Verão)	187
6.4 — Diferenças de temperatura mínima estival entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração	215
6.5 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nas noites de observações de terreno em Lisboa (Verão)	217
6.6 — Diferenças de temperatura máxima de Inverno entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração.....	230
6.7 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nos dias de observações de terreno em Lisboa (Inverno)	231
6.8 — Diferenças de temperatura mínima de Inverno entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração.....	240
6.9 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nas noites de observações de terreno em Lisboa (Inverno)	242
6.10 — Radiação global diária em Lisboa, a 15 de Fevereiro (dias de céu descoberto), em encostas de diferentes orientação e inclinação (MJ/m^2)	258
6.11 — Radiação global horária em Lisboa a 15 de Fevereiro (dias de céu descoberto), em superfícies verticais de diferentes orientações (MJ/m^2).....	259
6.12 — Radiação global horária em Lisboa a 15 de Fevereiro (dias de céu descoberto) em encostas de 20° de inclinação e diferente orientação (MJ/m^2)	259
6.13 — Radiação global horária em Lisboa a 15 de Fevereiro (dias de céu descoberto) em encostas de 50° de inclinação e diferente orientação (MJ/m^2)	259
7.1a — Parâmetros estatísticos das diferenças de temperatura estival entre o Bairro Alto e Lisboa/Gago Coutinho, no Aeroporto (91 dias).....	269
7.1b — Parâmetros estatísticos das diferenças de temperatura no Inverno, entre o Bairro Alto e Lisboa/Gago Coutinho, no Aeroporto (109 dias).....	269
7.2a — Parâmetros estatísticos das diferenças de temperatura estival entre a Avenida de Berna e Lisboa/Gago Coutinho, no Aeroporto (47 dias)	274
7.2b — Parâmetros estatísticos das diferenças de temperatura no Inverno, entre a Avenida de Berna e Lisboa/Gago Coutinho, no Aeroporto (49 dias)	274
8.1 — Elementos meteorológicos e situação sinóptica nos dias de observações de terreno no litoral (Verão)	287

	Pág.
8.2 — Frequência de ocorrência de ventos de cada rumo e de calmas, em dias de «bom tempo de praia» no Guincho	295
8.3 — Frequência de ocorrência de ventos de cada rumo e de calmas, em dias de «mau tempo de praia» no Guincho	296
8.4 — Nebulosidade, vento, temperatura e humidade relativa em Lisboa/Portela e diferença de pressão, entre Cabo Carvoeiro e Évora, às 12h, em dias de «Bom» e «Mau» tempo de praia, no Guincho.....	297
8.5 — Temperatura em vários locais do litoral, em dias de calma na Praia do Guincho («bom tempo de praia»)	298
8.6 — Temperatura em vários locais do litoral em dias de vento na Praia do Guincho («mau tempo de praia»)	298



ÍNDICE

	Pág.
PREÂMBULO	9
INTRODUÇÃO.....	11

PARTE I — ASPECTOS DO CLIMA REGIONAL

OBSERVAÇÕES PRELIMINARES

1 — Estações meteorológicas utilizadas.....	19
2 — Períodos de observação.....	19
3 — Publicações utilizadas	21
4 — Elementos meteorológicos estudados.....	21
4.1 — O vento.....	21
4.2 — A radiação e a insolação.....	22
4.3 — O nevoeiro e a nebulosidade.....	22
4.4 — A temperatura	22

CAPÍTULO 1 — O REGIME DOS VENTOS

1 — Os fluxos a 500 hPa e à superfície.....	23
2 — O vento na estação meteorológica de Lisboa (Geofísico)	23
3 — O vento na região.....	25
4 — Resumo e conclusões	32

CAPÍTULO 2 — O REGIME DA INSOLAÇÃO E DA NEBULOSIDADE

1 — A evolução secular da insolação em Lisboa (Geofísico).....	33
2 — O regime mensal da insolação em Lisboa (Geofísico).....	34
2.1 — Os valores médios e o seu significado	34
2.2 — A variabilidade interanual.....	36
3 — O regime da razão de insolação na região de Lisboa.....	42
4 — O nevoeiro e a nebulosidade na região de Lisboa	46
4.1 — O nevoeiro.....	46
4.2 — A nebulosidade forte	47

	Pág.
5 — Relações numéricas entre insolação, nevoeiro e nebulosidade forte.....	48
6 — Resumo e conclusões	53
6.1 — A insolação em Lisboa (Geofísico).....	53
6.2 — A insolação na região de Lisboa	54
CAPÍTULO 3 — O REGIME ANUAL E MENSAL DA TEMPERATURA	
1 — A evolução da temperatura.....	58
1.1 — A evolução durante o último século em Lisboa (Geofísico)	58
1.2 — A evolução durante as últimas décadas noutras estações meteorológicas.....	68
2 — Os valores mensais da temperatura	69
2.1 — Os valores mensais em Lisboa (Geofísico).....	69
a) Distribuição normal dos valores de temperatura	69
b) O regime médio	69
c) A variabilidade interanual	70
2.2 — Os valores mensais na região de Lisboa.....	76
a) Introdução.....	76
b) As temperaturas máximas	78
— Efeito de dimensão	78
— Ritmos térmicos.....	81
c) As temperaturas mínimas	81
— Efeito de dimensão	81
— Ritmos térmicos.....	83
2.3 — Principais factores que influenciam a repartição das temperaturas máximas e mínimas.....	84
a) Utilização da técnica de regressão múltipla. Os factores latitude, longitude e altitude.....	84
b) Distribuição geográfica dos resíduos	87
c) Os efeitos urbano e topográfico	93
3 — Resumo e conclusões	93
3.1 — A evolução da temperatura.....	93
3.2 — O regime mensal da temperatura em Lisboa (Geofísico).....	94
3.3 — Distribuição espacial da temperatura	95
CAPÍTULO 4 — OS DADOS DIÁRIOS	
1 — A amostragem e a técnica de tratamento	97
2 — A catalogação dos dias	99
3 — A distribuição espacial da temperatura no Verão	102
3.1 — Valores médios, extremos e dispersão das temperaturas estivais	102
3.2 — Análise em componentes principais	104
4 — A distribuição espacial da temperatura no Inverno	121
4.1 — Valores médios, extremos e dispersão das temperaturas no Inverno.....	121
4.2 — Análise em componentes principais	124
5 — Resumo e conclusões	139
5.1 — A escolha da análise em componentes principais	139

	Pág.
5.2 — A hierarquia térmica dos dias	139
5.3 — A distribuição espacial da temperatura	140
a) Contrastes térmicos regionais	140
b) Singularidade térmica de três conjuntos regionais	141
5.4 — Remate	143

PARTE II — ESTUDOS DE CLIMA LOCAL

OBSERVAÇÕES PRELIMINARES	147
1 — Documentação utilizada	147
2 — Percursos de observações itinerantes	148
3 — Aparelhagem utilizada	148
4 — Períodos de observação	149
5 — Apresentação dos resultados. Os desvios de temperatura	149

CAPÍTULO 5 — A ILHA DE CALOR DE LISBOA: INFLUÊNCIA DO SÍTIO, DA MORFOLOGIA URBANA E DA POLUIÇÃO

1 — A ilha de calor urbano. Breve introdução teórica	151
1.1 — Definição e historial	151
1.2 — Causas da ilha de calor urbano	154
a) Factores energéticos da ilha de calor urbano	154
— Balanço de radiação em meio urbano	154
— Balanço energético em meio urbano	157
b) Factores atmosféricos da ilha de calor urbano	159
— Estrutura vertical da atmosfera urbana	159
— Influência da situação sinóptica e do tipo de tempo	159
1.3 — Ritmo temporal da intensidade da ilha de calor	160
2 — O relevo e os diversos padrões morfológicos da cidade de Lisboa	161
3 — Poluição e temperatura. Repartição espacial e temporal dos fumos negros	167
3.1 — Fontes emissoras e dispersão dos poluentes em Lisboa	167
3.2 — Breves apontamentos sobre a poluição em Lisboa	168
a) A rede de medida da qualidade do ar	169
b) Fumos negros	170
— Resultados anteriores	170
— Variação diária da distribuição espacial dos fumos negros	171
c) Relação entre os valores de poluição e as variáveis meteorológicas. Ensaio para Cabo Ruivo	174
4 — Resumo e conclusões	175

CAPÍTULO 6 — A ILHA DE CALOR DE LISBOA: TEMPERATURAS DIURNAS E NOCTURNAS DE VERÃO E INVERNO

1 — A temperatura em Lisboa. Diferenças médias em estações meteorológicas e novos locais de observação	177
1.1 — Estudos anteriores	177
1.2 — Diferenças médias de temperatura entre Lisboa (Geofísico) e as estações dos limites da aglomeração	178

	Pág.
1.3 — Escolha dos locais de observação.....	179
1.4 — Dois novos postos registadores	182
2 — A temperatura em Lisboa em dias de Verão	182
2.1 — Diferenças de temperatura máxima entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração	182
2.2 — Observações itinerantes.....	184
2.3 — Campanha de sondagens e de lançamento de balões estabilizados	198
a) Técnica utilizada.....	200
b) Situação meteorológica durante as medições.....	200
c) Representatividade dos dias escolhidos.....	201
d) Resultados	204
3 — A temperatura em Lisboa em noites de Verão	214
3.1 — Diferenças de temperatura mínima entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração	214
3.2 — Observações itinerantes.....	215
4 — A temperatura em Lisboa em dias de Inverno	227
4.1 — Diferenças de temperatura máxima entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração	227
4.2 — Observações itinerantes.....	230
5 — A temperatura em Lisboa em noites de Inverno.....	239
5.1 — Diferenças de temperatura mínima entre Lisboa (Geofísico) e três estações dos limites da aglomeração	239
5.2 — Observações itinerantes.....	241
5.3 — Observações simultâneas	255
5.4 — Interpretação de uma termografia	256
6 — Resumo e conclusões	260

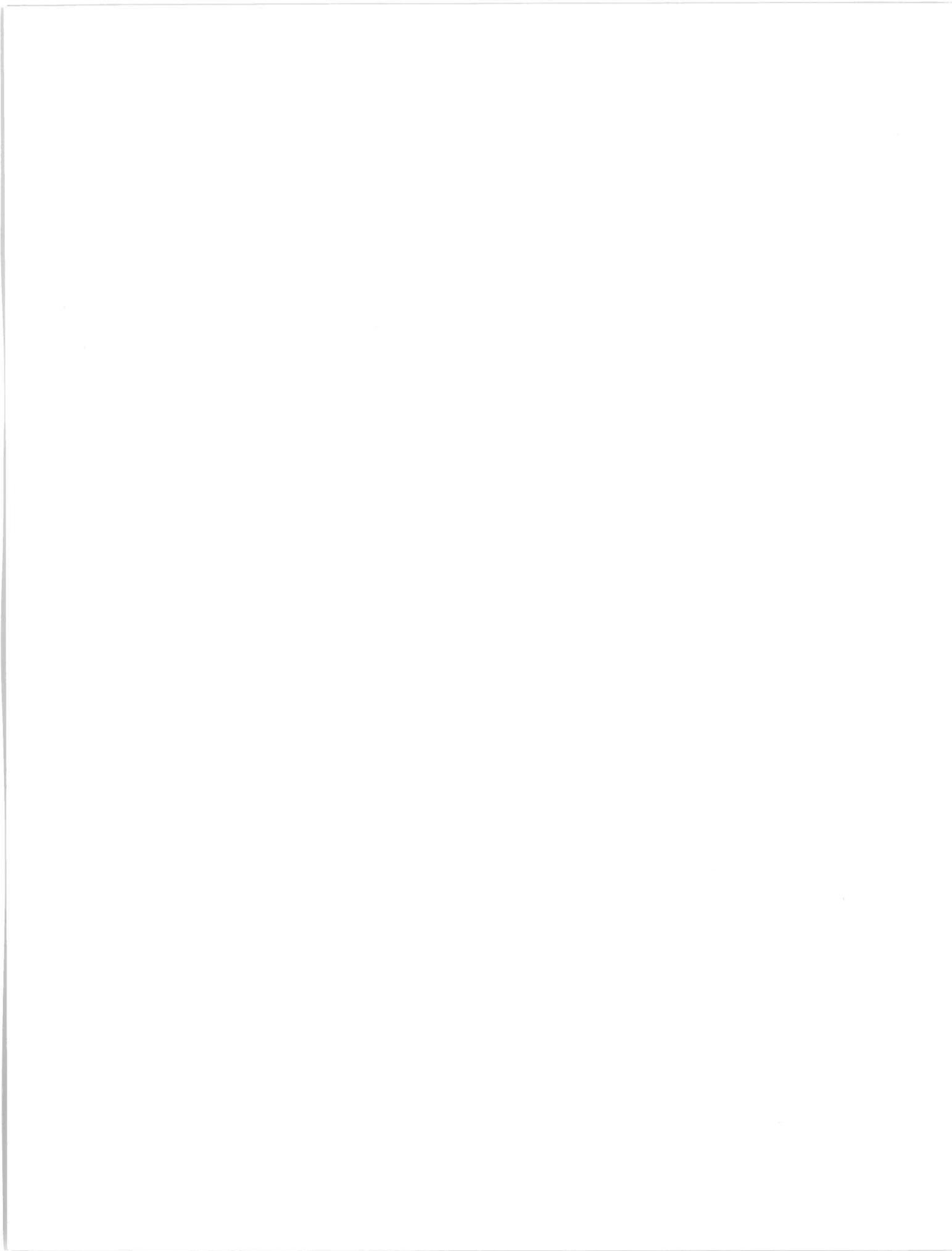
CAPÍTULO 7 — A ILHA DE CALOR DE LISBOA: REGIME TÉRMICO EM DOIS BAIROS DE DIFERENTE MORFOLOGIA URBANA

1 — Localização de dois termo-higrógrafos (em abrigo).....	265
2 — Diferenças de temperatura entre o Bairro Alto e o Aeroporto (Lisboa/Gago Coutinho)	267
2.1 — No Verão	267
2.2 — No Inverno	270
3 — Diferenças de temperatura entre a Avenida de Berna e o Aeroporto (Lisboa/Gago Coutinho).....	270
3.1 — No Verão	270
3.2 — No Inverno	272
4 — Relação entre as diferenças de temperatura e alguns parâmetros meteorológicos no Aeroporto	276
5 — Resumo e conclusões	277

CAPÍTULO 8 — O TEMPO ESTIVAL NO LITORAL OCIDENTAL

1 — A área em estudo	279
2 — Os ventos dominantes. A Nortada	280
2.1 — Estudo do vento a partir de bio-indicadores	280
a) Acção do vento na vegetação	280
b) Escalas de deformação das árvores.....	281
2.2 — Representação cartográfica dos ventos dominantes em torno da Serra de Sintra	282

	Pág.
3 — A temperatura diurna ao longo do litoral ocidental	286
3.1 — Trajecto de observações itinerantes	286
3.2 — Resultados	286
a) Dias de vento fraco ou calma	289
b) Dias de Nortada	290
c) Dias de vento do quadrante Oeste	290
d) Valores medianos	290
4 — O «tempo» no Guincho: bem-estar para o veraneante e desconforto por excesso de vento	294
4.1 — A obtenção dos dados	294
4.2 — Resultados	294
a) «Bons» dias de praia	294
b) «Maus» dias de praia	295
5 — Resumo e conclusões	299
 CONCLUSÃO GERAL	 301
RÉSUMÉ	309
SUMMARY	315
BIBLIOGRAFIA	321
ÍNDICE DE FIGURAS	335
ÍNDICE DE QUADROS	339



Os planos de ordenamento do território apoiam-se em estudos ambientais, sociais, culturais e económicos, entre outros. O clima constitui uma das variáveis ambientais cujas consequências directas e indirectas nos indivíduos e nas populações devem ser tomadas em consideração. Os hábitos de vida, a saúde, a arquitectura, a agricultura e as potencialidades turísticas dependem, em maior ou menor grau, das condições climáticas.

Neste estudo, centrado na região de Lisboa, descrevem-se as características climáticas regionais, investigando-se igualmente as variações de maior pormenor, dependentes das formas de relevo local, da proximidade do Oceano e, sobretudo, da ocupação antrópica do espaço.

Assim, apresenta-se uma primeira síntese do clima urbano de Lisboa. Desenvolver-se-á uma ilha de calor sobre a cidade? Qual a influência do amplo estuário do Tejo e do Oceano Atlântico no clima urbano?

Reflecte-se também sobre as causas das modificações do “tempo” em locais próximos do litoral ocidental (como o Guincho e a Praia Grande) e as suas relações com a afluência estival às diversas praias.