

BRISAS ESTIVAS DO TEJO E DO OCEANO, NA REGIÃO DE LISBOA

MARIA JOÃO ALCOFORADO

INTRODUÇÃO

As condições meteorológicas de Lisboa dependem, em larga medida, das influências conjugadas do Oceano Atlântico e do estuário do Tejo, nas margens do qual a cidade se desenvolveu (fig. 1). Apesar da sua proximidade do oceano, numerosos obstáculos se interpõem entre a cidade e o mar: 30 km a ocidente, a Serra de Sintra de 500 m de altitude, a NW, as elevações mais baixas da Serra da Carregueira. Monsanto (200 m de altitude), hoje em dia praticamente cercado pela cidade em expansão, constitui outro importante obstáculo à penetração de ar marítimo. Apenas separadas de Monsanto pelo «gargalo» do Tejo, as colinas de Almada contribuem igualmente para o isolamento de Lisboa em relação ao Oceano. O objectivo deste estudo é o reconhecimento dos regimes diários dos ventos estivais, na aglomeração e na região de Lisboa, dando particular atenção aos fenómenos de brisa que, em certas tardes, sopra do Oceano e do estuário em direcção ao continente sobre-aquecido e das relações entre os ventos e a distribuição espacial das temperaturas máximas.

As brisas do mar (dum lago ou dum estuário) são ventos que se desencadeiam, quando as diferenças de temperatura entre as atmosferas continental e marítima (lacustre ou estuária) atingem valores suficientemente elevados e que cessam — teoricamente — quando as temperaturas se igualam. Segundo o modelo de BJERKNES (citado em STRINGER, 1972),

este fenómeno consistiria numa série de circulações solenoidais: durante o dia e, na ausência de vento na circulação geral, quando o continente está relativamente quente e o mar ainda fresco, as isóbaras são horizontais (P1, P2 e P3 na fig. 2), mas as isostéricas (d_1 , d_2 , d_3) são inclinadas devido ao aquecimento diferencial à superfície. Tendo em conta as acções

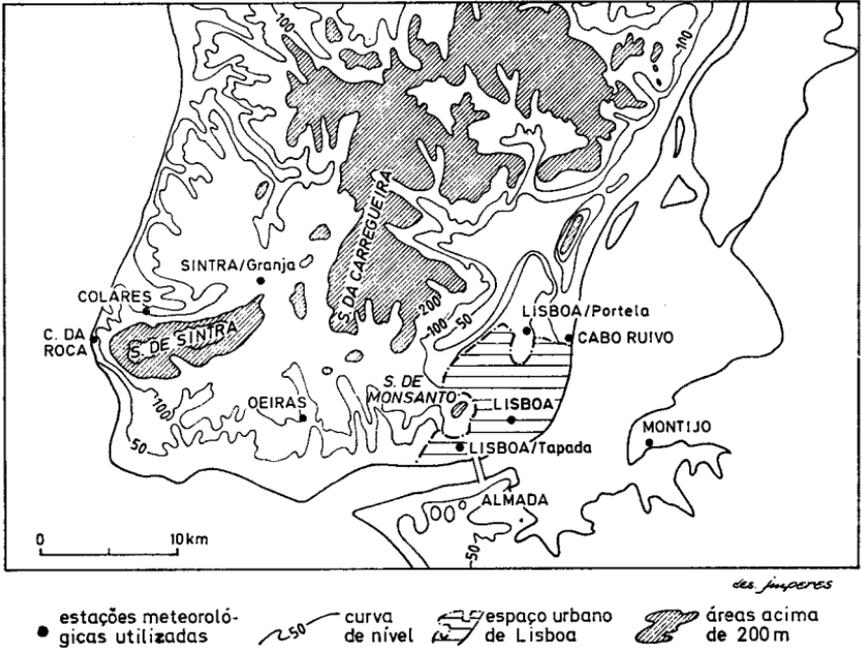


Fig. 1 — Esboço de localização.

conjugadas da pressão e da densidade do ar, a circulação entre ABCD terá os sentidos indicados na figura 2, sendo a resultante destes movimentos parciais uma «brisa do mar» à superfície e estabelecendo-se uma «corrente de retorno» em altitude. A circulação faz-se de maneira a rodar as superfícies isostéricas em direcção às superfícies isobáricas, acumulando-se ar menos denso sobre ar mais denso.

Também na tentativa de estudo deste fenómeno, HAURWITZ (1947) e SMITH (1947) entraram em conta nos seus modelos com as forças de atrito e de Coriolis. PIERSON indicou, em 1950, que o desvio das brisas em altitude se faz segundo a espiral de Ekman, confirmando portanto o facto da circulação das

brisas ser fechada, A partir de FISHER (1959) e PEARCE (1965) passaram a ser elaborados modelos mais conformes à realidade observada ⁽¹⁾. Os estudos de ESTOQUE (1961 e 1962), base da maior parte das teorias modernas, visavam, entre outros objectivos, a determinação da influência do vento de gradiente e da estrutura vertical das massas de ar na intensificação das brisas. Depois do modelo de ESTOQUE (1962), aplicado a um litoral rectilíneo, para obter as variações espaço-temporais dos campos de vento e de temperatura em diferentes condições

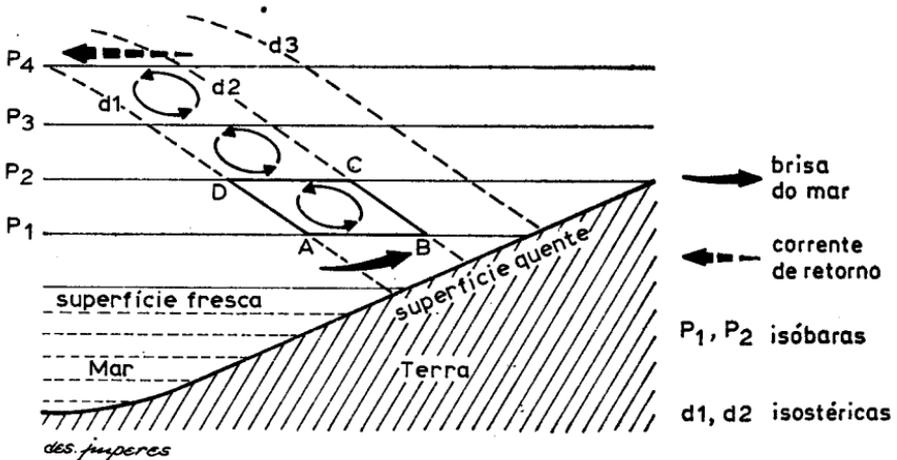


Fig. 2 — A brisa do mar segundo BJERKNES (in STRINGER, 1972).

sinópticas, outros foram surgindo, adaptados a situações como a brisa em lagos (MOROZ, 1967), ou em litorais não rectilíneos (Mc. PHERSON, 1970). Qualquer destes modelos se aplica a casos específicos, nem sempre de generalização possível. A circulação de brisa apenas se pode intensificar sob determinadas condições da circulação regional e da estrutura vertical da atmosfera. Mas, dada a sua complexidade, as relações de causa-efeito parecem estar ainda por determinar, encontrando-se na bibliografia opiniões diversas e, às vezes, contraditórias, sobre certos pontos. Por exemplo, WEXLER afirmou (em 1946) e alguns autores confirmaram mais recentemente (ATKINSON, 1981) que, em atmosfera estável, as brisas

(1) Trabalhos citados em ATKINSON, 1981.

não podem ser mais do que incipientes, dada a fraqueza dos movimentos horizontais. SUMMER (1977) parece concordar com tal asserção quando afirma, a dado passo, que «...under extremely stable atmospheric conditions any initial vertical air motion may be inhibited to the extent that virtually no horizontal flow can result on a sufficiently large scale». Fica-se no entanto na dúvida porque, no mesmo artigo, é também referido que «extremely unstable air masses tend to encourage such strong vertical air motion that any incipient sea breeze development is totally swamped»; e, nunca é precisado para que valores de gradiente vertical de temperatura, se considera a atmosfera «extremamente estável» ou «extremamente instável»!

A ausência de dados sistemáticos da temperatura do ar sobre o oceano e o estuário, impossibilitam o estudo das brisas a partir da sua causa. Optou-se então pela análise das modificações das características dos ventos durante o dia, tarefa nem sempre fácil: se as brisas se detectam facilmente quando se «apaga» a circulação geral, elas são, pelo contrário, praticamente impossíveis de reconhecer em dias de vento forte ou, no caso da direcção da brisa ser próxima da do vento de gradiente. Quando o ângulo formado pelos dois vectores for forte, o vento soprará segundo a respectiva resultante: por exemplo, de NW, com vento de gradiente N e brisa de W.

A complexidade das retro-acções traz ainda novas dificuldades: admite-se, como já foi referido, que são as diferenças térmicas que geram as brisas; mas estes ventos, por sua vez, ao transportarem ar marítimo, vão provocar modificações nos ritmos térmicos (e higrométricos) das regiões que atingem. Dada a importância prática que tais diferenças de temperatura e humidade podem ter, o estudo das brisas em determinado local pode ser levado a cabo a partir das suas consequências, ou seja das observações das «anomalias» dos registos dos termo-higrógrafos.

Conviria, portanto, num estudo mais alargado no espaço e no tempo, assentar claramente os *critérios* de definição de brisa. Nas observações superficiais poder-se-ia definir qual o ângulo mínimo que a brisa deverá fazer com o vento de gradiente e as variações mínimas que deverá provocar nos ritmos térmicos e higrométricos diurnos.

O estudo incidirá sobre o Verão, estação do ano em que as brisas mais facilmente se detectam. Consideram-se, de início, os dados mensais de duas séries de 18 anos (1959/60-1976/77), os únicos comuns às estações de Cabo Ruivo e do Montijo, na margem esquerda do estuário (fig. 3). Embora os ventos do quadrante norte sejam dominantes todo o ano, o razoável equilíbrio entre as frequências de ocorrência dos ventos dos vários rumos existentes nos meses de Outono, Inverno e mesmo da Primavera, desaparece no Verão: tal como no litoral ocidental da região de Lisboa, assiste-se a um espectacular aumento de frequência (e às vezes mesmo da velocidade) dos ventos de N e NW em Cabo Ruivo e de N no Montijo. Mas estes valores não exprimem, com clareza, o conhecimento empírico do habitante de Lisboa. Este sabe que a realidade quotidiana é bem mais complexa: há dias de vento forte e contínuo de norte, outros em que só à tarde aquele se «levanta», outros ainda em que, a meio do dia, o lisboeta sente uma «aragem» vinda do rio ou do mar, sempre agradável no Verão.

Apresenta-se um estudo preliminar das características das brisas em Cabo Ruivo, elaborado a partir da análise dos ventos e das simultâneas variações de temperatura e humidade relativa. Esta estação meteorológica foi escolhida como ponto de referência, em virtude da sua posição ribeirinha e suficientemente afastada das áreas de morfologia urbana mais densa, que modificam, decerto, as características do vento. Anotou-se o rumo do vento às várias horas do dia, assim como a velocidade média em 24 horas. Sendo este um elemento meteorológico cuja direcção e velocidade variam constantemente, um cuidado particular deve ser tido na interpretação dos resultados; no caso de não existirem anemógrafos nas estações, é necessário ter em conta que os rumos e velocidades dos ventos apontados correspondem às observações médias durante um determinado intervalo de tempo (em geral 3 minutos) às horas normais de observação (vulgarmente 9,15 e/ou 18 h) e que podem não corresponder ao rumo e velocidades mais frequentes respectivamente de manhã, a meio e ao fim da tarde.

A possibilidade de consulta sistemática de registos de anemógrafos proporcionou um conhecimento da variação do

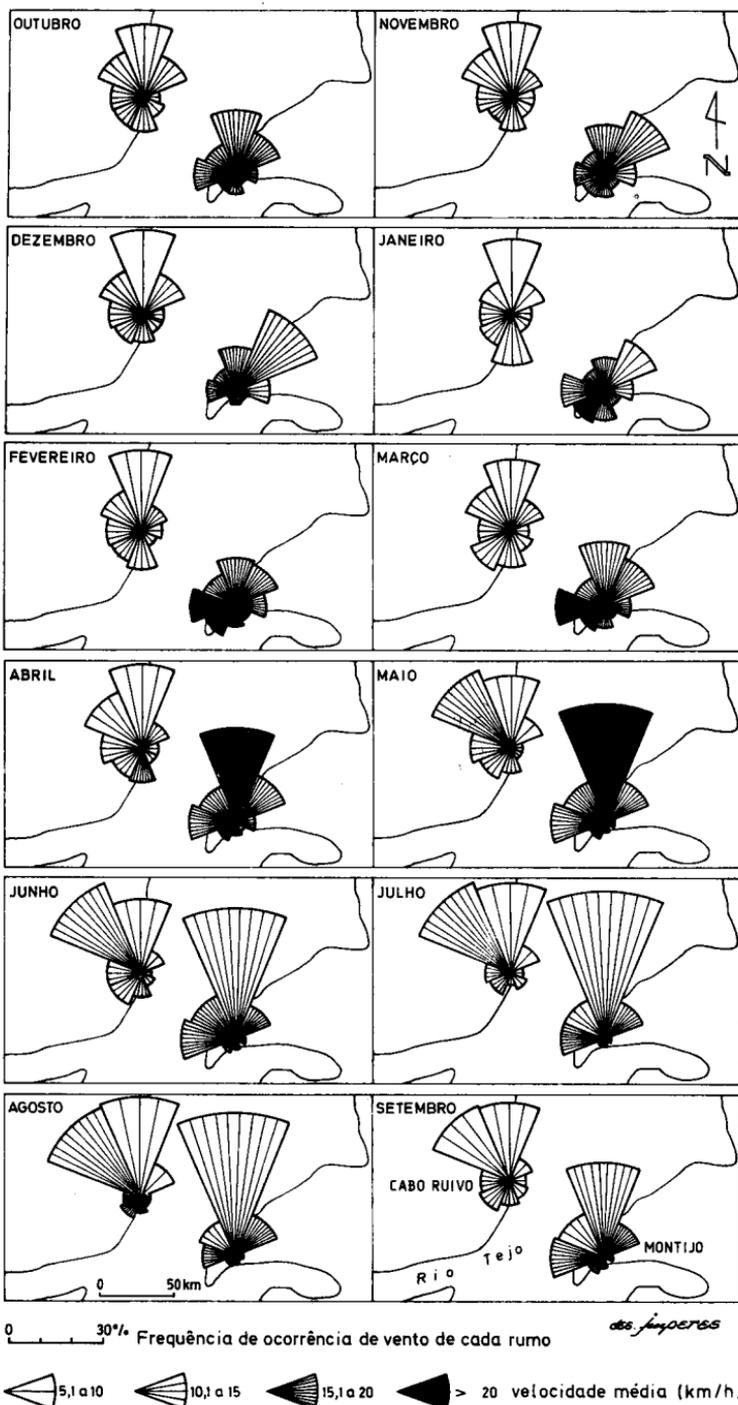


Fig. 3 — Rosas dos ventos mensais em Cabo Riuvo e no Montijo (dados extraídos dos Anuários Climatológicos de Portugal, 1959-1970).

rumo e da velocidade do vento ao longo das 24 horas de cada dia e permitiu uma primeira sistematização dos vários regimes diários. Esta foi levada a cabo a partir da análise de 646 dias de Verão (de 1973 a 1977, 1981, 1983 e 1984), em Cabo Ruivo. Fixou-se o início do Verão a 15 de Junho e o seu termo a 15 de Setembro, por ser aproximadamente entre estas datas que é maior a probabilidade de se alcançarem temperaturas máximas mais altas. Em 1981 e 1983 apenas se classificaram uma parte dos dias de Verão (por avaria temporária dos aparelhos de registo ou por dificuldade no acesso aos referidos registos na altura da primeira sistematização). Em 1981 iniciou-se mais cedo o período analisado (a 10 de Junho). O principal critério que presidiu à escolha dos anos a estudar foi a possibilidade de utilização de registos simultâneos em várias outras estações, posteriormente usadas como termos de comparação. Foi verificada a existência de brisas (ou rotação do vento de gradiente devido a causas térmicas) no litoral ocidental (dados de Sintra/Granja) e na margem esquerda do Tejo (dados do Montijo), sendo apresentada, pormenorizadamente e, a título de exemplo, a evolução diária da temperatura e do vento em alguns dias de Verão.

Este estudo limita-se ao *reconhecimento de fenómenos*, cujo significado estatístico terá de ser revisto usando nomeadamente processos mais sofisticados de manipulação e tratamento de maior número de dados. Por esta razão, será sempre indicado o número de casos — nem sempre o mesmo e nem sempre em número suficiente — utilizados para os diferentes resultados apresentados.

OS REGIMES DIÁRIOS DOS VENTOS E AS TEMPERATURAS MÁXIMAS

A — EM CABO RUIVO

Cada regime do vento está relacionado com uma determinada combinação de elementos meteorológicos (o estado do tempo) de que seguidamente se comenta a evolução diária. Nesta apresentação, além dos dados de Cabo Ruivo, utilizam-se as observações mais frequentes de Lisboa/Portela (ou Lisboa/

/Gago Coutinho, também no Aeroporto), dado que as condições meteorológicas são análogas, na maior parte dos casos ⁽²⁾.

1. Dias de vento do quadrante norte

1.1. Sem modificação apreciável da direcção do vento durante o dia

- a) Nortada de velocidade média ≥ 15 km/h (N)
- b) Nortada de velocidade média < 15 km/h (n)

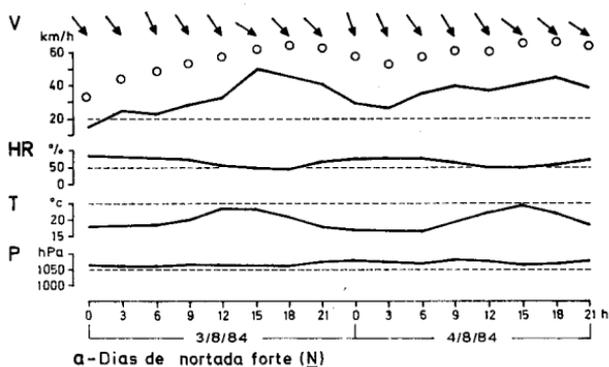
1.2. Ventos de velocidade variável, soprando de NE durante a manhã e de norte ou NW à tarde (NE-N)

Nos dias de nortada forte (N, fig. 4) a velocidade do vento é quase sempre superior a 20 km/h; repare-se que, tal como no dia 8 de Agosto de 1984, nos dias de nortada fraca (n), a mais baixa velocidade média é devida à calma durante a noite e princípio da manhã. Mesmo em dias de vento constantemente forte a velocidade aumenta a meio da tarde: por exemplo, 50 km/h às 15 h do dia 3/8/84 e rajadas de quase 70 km/h entre as 15 e as 18 h (fig. 4a). Nestes dias pode haver uma inflexão do rumo do vento para W (WNW no dia 3/8) à hora do maior aquecimento.

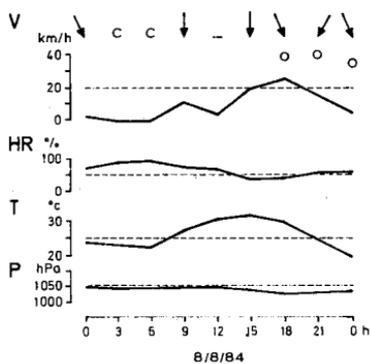
A humidade relativa costuma ser mais forte nos dois primeiros casos (figs. 4a e b) dado que, quando o vento provém de NE, transporta massas de ar mais secas e quentes, mas as curvas da evolução da temperatura e da humidade relativa são simples (um só máximo de temperatura, um só mínimo de humidade relativa a meio da tarde) e, naturalmente, simétricas. As amplitudes térmicas diurnas mais fracas observam-se em dias de nortada forte (N), podendo as temperaturas máximas nem sequer atingir 25°.

Estes três conjuntos de dias de vento norte constituem 45 % da amostragem analisada para Cabo Ruivo (fig. 5). Na maior parte deles (27 %) a nortada foi forte, tendo sido fraca em 11 % dos casos; em apenas 7 % das situações analisadas, o vento, de NE pela manhã, rodou para N ou NW

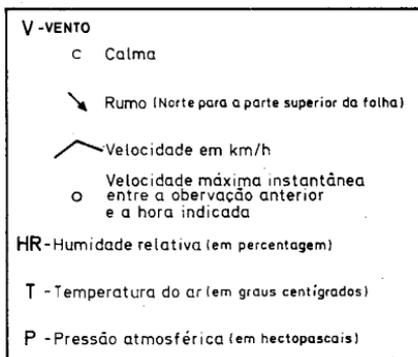
⁽²⁾ Indica-se, entre parêntesis, a sigla utilizada no texto para designar cada tipo de regime.



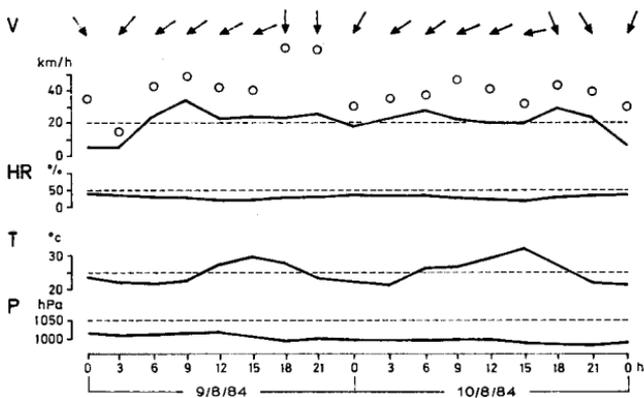
a-Dias de nortada forte (N)



b-Dia de nortada fraca (n)



das junças



c-Dias de vento NE, rodando para N (NE-N)

Fig. 4 — Variação de vários elementos do clima em Lisboa/Gago Coutinho em dias de vento norte (dados I. N. M. G., Lisboa).

durante a tarde. Esta modificação do rumo é devida ao facto do vento soprar então segundo a resultante dos vectores constituídos pelo vento de gradiente e pela brisa do mar, que seria perpendicular ao litoral ocidental.

O número de dias de vento norte aumenta, regularmente, a partir do início do Verão (fig. 7), atingindo maior frequência

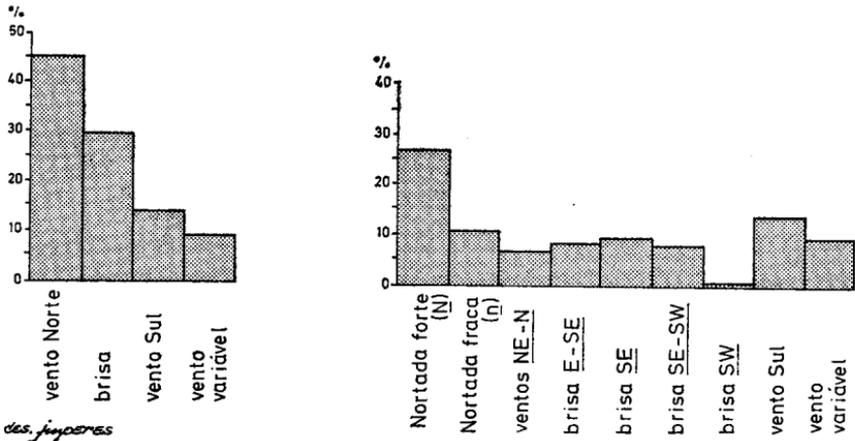


Fig. 5 — Frequência de ocorrência de dias com diferentes regimes diários do vento em Cabo Ruivo (Verões 1973 a 1977, 1981, 1983 e 1984).

de ocorrência na primeira quinzena de Agosto (34 dias, nos 45 dos três Verões analisados para o efeito, logo seguida pela última quinzena de Julho: 28 dias) ⁽³⁾.

Nestes dias são pouco pronunciadas as variações do rumo e da velocidade dos ventos na região de Lisboa, tal como se observa nos mapas da figura 8, apresentados a título de exemplo:

a) Nos dias de nortada forte (N) em Lisboa, os ventos sopram de norte (ou de NW) em todas as outras estações, não havendo aumento da sua velocidade de oriente para o litoral ocidental. Nos dias de vento forte e contínuo do qua-

⁽³⁾ Esta contagem foi apenas feita para os Verões de que não havia qualquer falta de informação e cujo polígono de frequências dos dias de vários regimes diurnos (fig. 6) é comparável ao do conjunto dos dias estudados (fig. 5).

drante norte, não se observam brisas do mar, mas, por vezes, uma inflexão para W do rumo do vento durante a tarde.

b) Em dias de nortada fraca (n) no litoral a leste de Lisboa, pode observar-se uma rotação do vento noutros locais:

Fig. 6 — Frequência de ocorrência de dias com diferentes regimes diários dos ventos em Cabo Ruivo (Verões de 1975, 1977 e 1983).

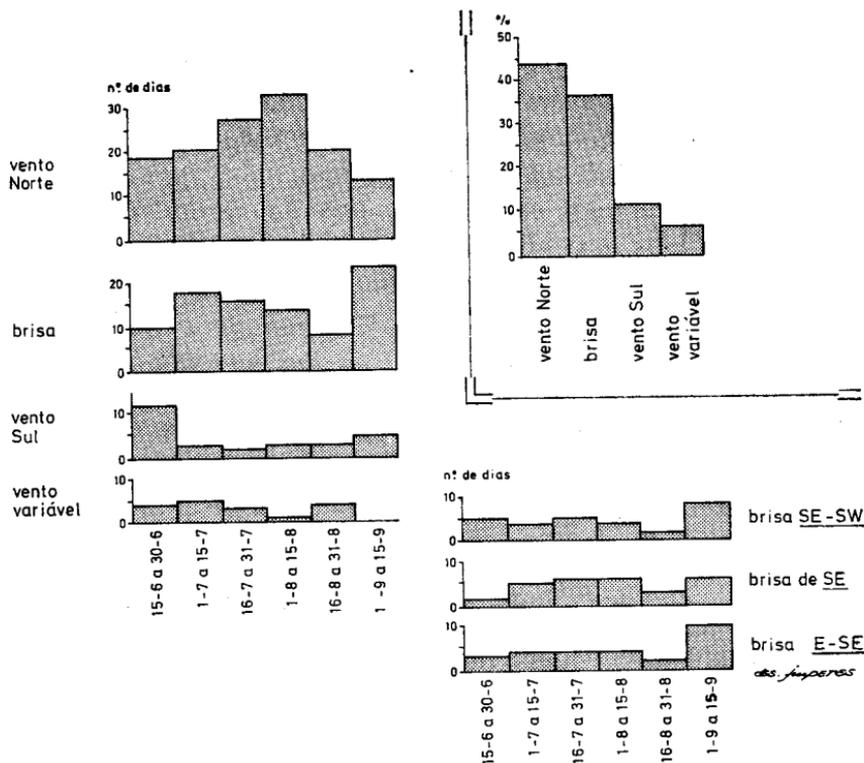


Fig. 7 — Frequência de ocorrência de dias com diferentes regimes dos ventos ao longo do Verão em Cabo Ruivo (dados de 1975, 1977 e 1983).

por exemplo o vento de W (brisa) no Montijo e em Lisboa/Geofísico, às 15 h. Há, assim, possibilidade da parte ocidental da cidade de Lisboa ser «refrescada» por ar marítimo a meio da tarde, enquanto tal não acontece nestes dias nas vizinhanças imediatas do rio Tejo.

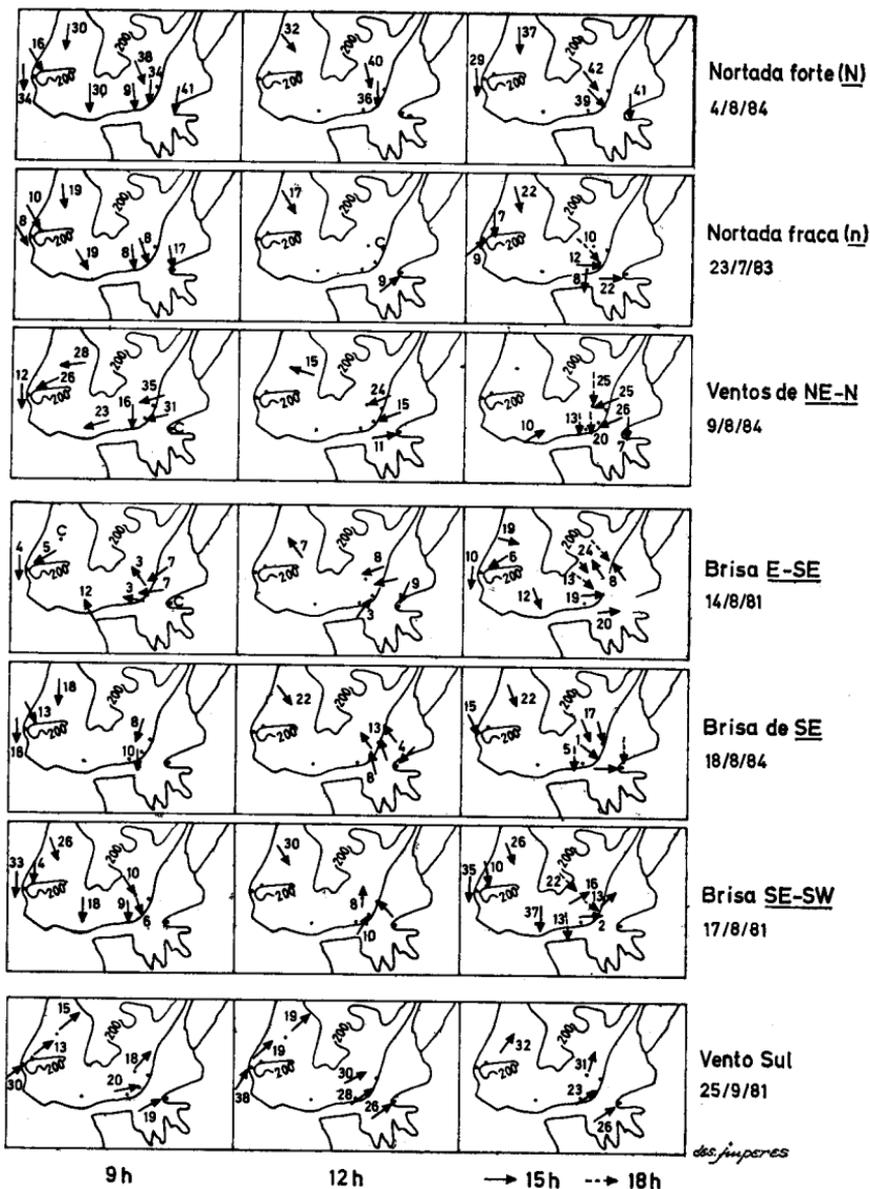


Fig. 8—O vento na região de Lisboa em dias com diferentes regimes diários. (Os números representam a velocidade do vento em km/h).

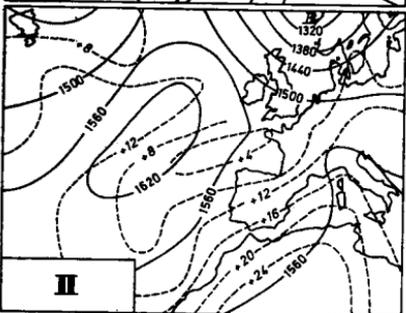
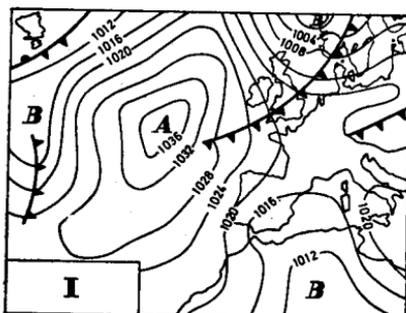
c) Em dias de vento de gradiente de NE, as velocidades são mais elevadas a oriente, havendo por vezes brisas de W no Montijo e no litoral ocidental.

Nos dias em que se desenvolvem ventos muito fortes do quadrante N o eixo do anticiclone, na margem do qual Portugal frequentes vezes se encontra, alonga-se de N para S, de NNE para SSW ou de NE para SW quando de nortada forte (N) e de NE para SW quando de ventos NE-N (fig. 9); ao passo que, em grande parte dos dias de nortada fraca (n), Portugal está na margem de um anticiclone orientado segundo os paralelos.

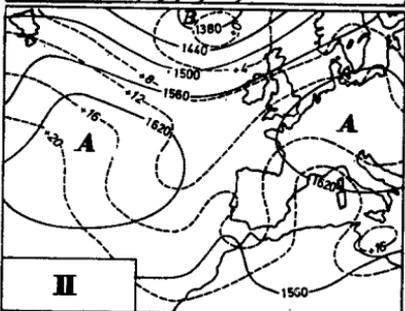
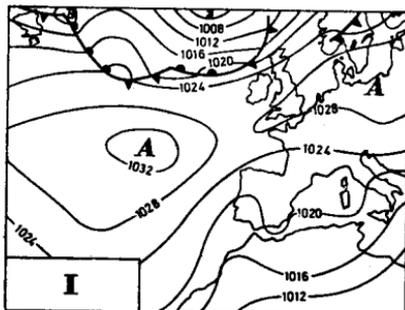
Embora a diminuição de pressão entre o centro dos anticiclones e o interior da Península Ibérica seja grande (mais de 12 hPa em qualquer destes três grupos de dias), o gradiente de pressão entre o litoral e o interior de Portugal é maior nos casos de nortada forte (N) e de ventos NE-N (quadro 1) do que em dias de nortada fraca (n), em que as isóbaras são, às vezes, quase perpendiculares ao litoral português. O fluxo a 500 hPa é quase sempre do quadrante W, nos dias de nortada, e de NE nos dias de vento NE-N à superfície. A 850 hPa (cerca de 1500 m) em dias de nortada forte há frequentemente situações de pântano barométrico em que é difícil determinar o rumo dos ventos, enquanto em dias de vento NE-N é vulgar encontrar-se a este nível isobárico uma dorsal, dirigindo ventos de NE para SW. Em situações de nortada fraca (n), devido às altas pressões subtropicais instaladas a 850 hPa, os ventos são fracos e variáveis (fig. 9).

2. *Dias de vento do quadrante norte interrompido por brisas*

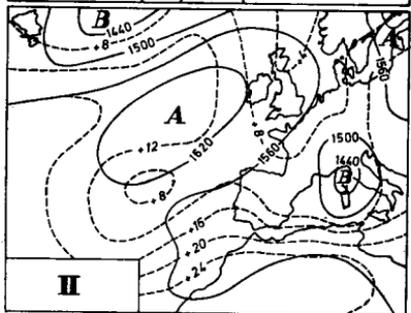
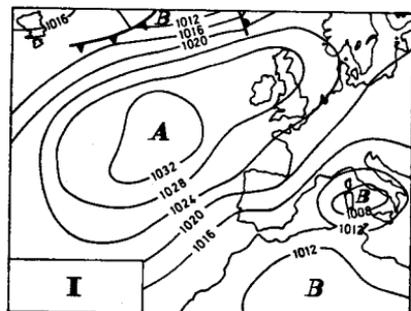
2.1. *De E, rodando para SE e às vezes para S (E-SE)*. Em alguns dias de vento de gradiente NE (de baixa velocidade média, comparem-se as figuras 4c e 10a), o vento sopra no início da tarde de leste, depois de SE, e, às vezes ainda, de Sul. Trata-se da brisa do estuário que ocorre em 8% dos casos estudados (fig. 5). A temperatura apenas atinge o seu valor máximo a meio ou ao fim da tarde, quando o vento torna a soprar de norte aumentando de velocidade (fig. 10a).



a) Nortada forte (N): 26/6/83



b) Nortada «fraca» (N): 4/8/81



c) Vento NE-N: 9/8/84

Fig. 9 — Dias de vento norte, às 12 h: I — Situação sinóptica à superfície (isóbaras em hPa); II — Topografia da superfície de 850 hPa (isoiipsas em metros, isotérmicas em °C). *Fonte:* Boletim Meteorológico Diário, Madrid.

QUADRO I

Valores superficiais de temperatura e pressão e características da estrutura vertical da atmosfera em dias de diferentes regimes diários dos ventos em Cabo Ruivo (segundo os Boletins Meteorológicos Diários, I. N. M. G., Lisboa)

			Vento norte			Brisa		
			<u>N</u>	<u>n</u>	<u>NE-N</u>	<u>F-SE</u>	<u>SE</u>	<u>SE-SW</u>
Diferenças entre Cabo Carvoeiro e Beja (18 h)	Temperatura (°C)	\bar{x}	10,3	9,3	8,2	13,4	12,4	9,2
		σ	3,2	3,1	5,6	3,7	2,4	1,7
		Mediana	10	9	15	16	14	9,5
	Pressão (hPa)	\bar{x}	4,9	4,1	4,1	4	4,6	3,3
		σ	0,98	0,85	2,3	1,4	0,96	1,2
		Mediana	5	4,2	5,5	4,1	4,5	3,4
Lisboa/Portela (12 h)	Diferença de temperatura entre o solo e a superfície de: (°C)	1000 hPa	1,2	1,0	2,0	1,0	1,1	0,9
		850 hPa	9,4	11,2	7,6	7,6	7	8,4
		700 hPa	16,2	18	16,6	16,6	17,1	16,3
	Base da inversão mais baixa (Mediana, hPa)	908	904	953	970	947	919	

2.2. De SE (SE). Noutros dias (10,6 %), o vento de norte ou de NW que sopra de manhã roda para SE, chegando a Cabo Ruivo ar mais fresco e húmido proveniente do Tejo. Este facto reflecte-se também no atraso da ocorrência da temperatura máxima que, ao contrário do caso anterior, raramente alcança os 30° em Lisboa/Portela (fig. 10b).

2.3. De E ou SE, rodando para SE, Sul e às vezes para W (SE-SW). Noutro conjunto de dias (9,1 %), a direcção do vento, inicialmente de SE ou mesmo de E, acusa uma rotação para a direita, chegando a soprar de SW, e às vezes de W.

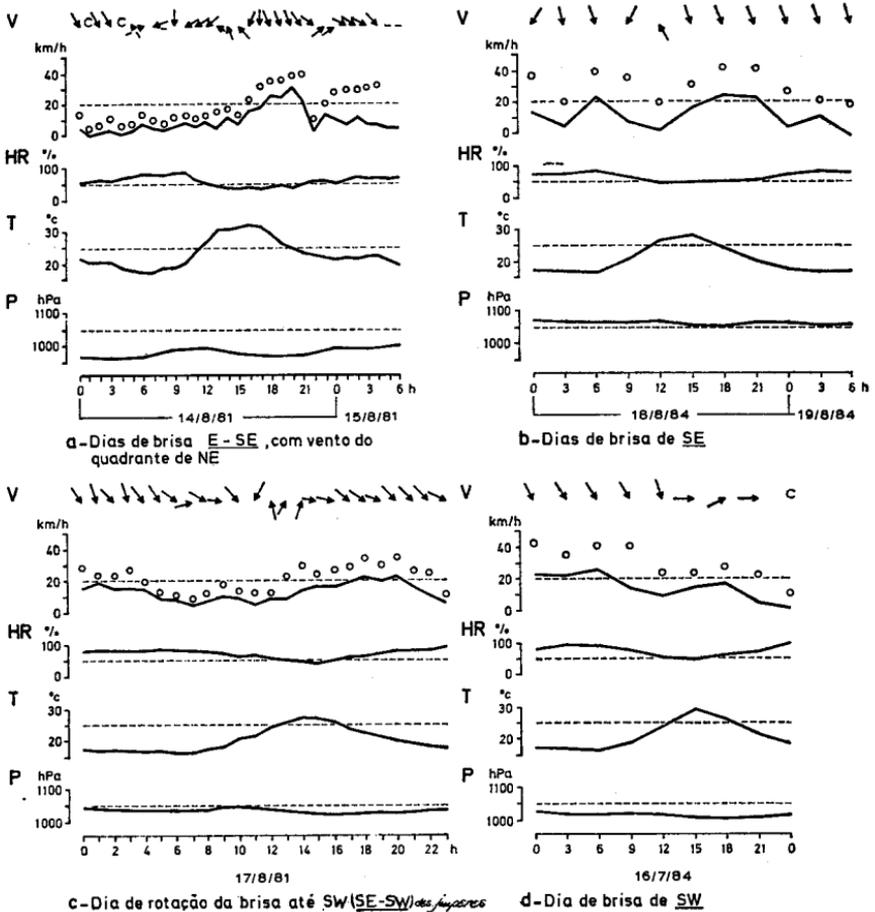


Fig. 10 — Variação de vários elementos do clima em Lisboa/Portela (1981) e Lisboa/Gago Coutinho (1984) em vários dias de brisa (dados I. N. M. G., Lisboa).

Nestas condições a temperatura máxima raras vezes atinge valores elevados, devido à hora tardia em que a nortada se restabelece (fig. 10c).

2.4. *De SW ou W (SW)*. Por vezes o rumo do vento roda de norte para SW ou para W (fig. 10d). Esta situação, rara em Cabo Ruivo (1,3%), parece ser muito mais frequente noutras estações, mesmo da cidade de Lisboa.

Os dias de brisa que constituem 30 % dos dias de Verão analisados (fig. 5), são ainda raros no fim do mês de Junho (10 dias nos três Verões analisados), tendo uma maior frequência de ocorrência no início de Julho (18 dias) e na primeira quinzena de Setembro, alturas em que a nortada ou ainda não domina ou já diminuiu de importância. Embora a brisa de SE seja um pouco mais frequente do que as outras, não parece haver uma época do Verão em que qualquer destes tipos de dias ocorra preferencialmente (fig. 6 e 7).

3. *Dias de vento do quadrante sul*

Os ventos nestes dias, que correspondem a 14 % dos casos analisados, são quase sempre devidos a situações depressionárias, tanto à superfície como em altitude. No exemplo apresentado na figura 11 o vento soprou de WSW e SW, forte sobretudo durante a tarde (rajadas de 60 km/h). Estes dias, em que a oscilação térmica diurna é fraca, as temperaturas máximas baixas para a época do ano (21° C nesse dia) e a humidade relativa elevada (neste caso, sempre superior a 70 %), ocorrem, como seria de esperar, fundamentalmente no início e no fim da estação quente (fig. 6).

4. *Dias de vento variável*

Os dias em que a variação do vento não se enquadrava em qualquer dos esquemas atrás propostos, não foram classificados. Estes constituem 10 % da amostragem utilizada e, na maior parte dos casos, a variação do rumo do vento foi devida a passagens de sucessivas depressões frontais, raras nesta época do ano; ou seja, o regime diário do vento era praticamente independente do ritmo térmico ao contrário do que acontecia nos dois primeiros grupos de dias e, às vezes, em dias de vento de sul. Assim, por exemplo, nota-se na figura 12 que, depois de 20/8/84, em que ainda existia uma depressão de origem térmica sobre a Península Ibérica, se aproximaram várias superfícies frontais, causadoras das sucessivas modificações do rumo dos ventos na região de Lisboa.

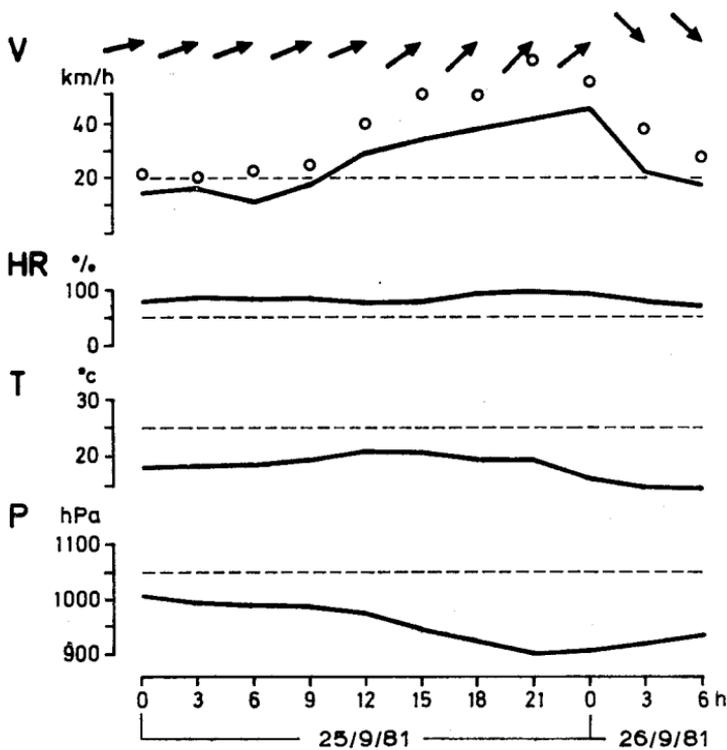


Fig. 11 — Variação de vários elementos do clima em Lisboa/Portela em dias de vento Sul (dados I. N. M. G., Lisboa).

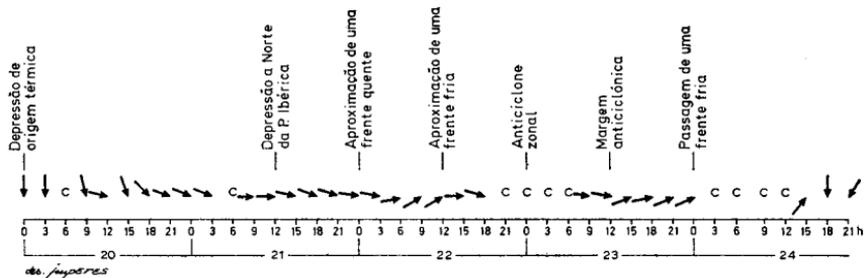


Fig. 12 — Variação da direcção do vento de 20 a 24 de Agosto de 1984 em Lisboa/Gago Coutinho (dados I. N. M. G., Lisboa).

B — NA REGIÃO DE LISBOA

Analisar-se-á brevemente a distribuição espacial da temperatura máxima no conjunto da região de Lisboa para vários regimes dos ventos, embora, devido à complexidade das retroacções, nem sempre seja possível determinar quais as causas e quais os efeitos (quadro II e fig. 13).

QUADRO II

Diferenças médias de temperaturas entre os extremos oriental e ocidental da região de Lisboa em grupos de dias de Verão (°C)

		Temp. Lisboa- -Temp. C. Roca	Temp. C. Ruivo- -Temp. C. Roca
Dias de vento norte	<u>N</u>	7,1	7,1
	<u>NE-N</u>	7,5	8,5
Dias de brisa	<u>SE</u>	9,5	8,7
	<u>SE-SW</u>	8,2	8,2
Dias de vento sul		3,5	3,8

Note-se primeiro que, em dias de nortada (com ou sem brisa) as diferenciações térmicas espaciais são bastante mais fortes do que no caso dos ventos do quadrante sul, de trajectória unicamente marítima em que os valores da temperatura máxima são os mais baixos no Verão e também dos menos variáveis (bastante menor dispersão dos valores em torno da média).

Em dias de vento norte (*), a diferença média de temperatura entre o ocidente e o oriente da região de Lisboa é de 7,1°, sendo o desvio-padrão das temperaturas máximas sempre inferior a 2,8° e mais baixo no litoral ocidental, onde

(*) Não são indicados os valores médios para dias de nortada fraca (n) e de brisa E-SE, visto que o desvio-padrão dos casos analisados foi considerado demasiado elevado (fig. 15).

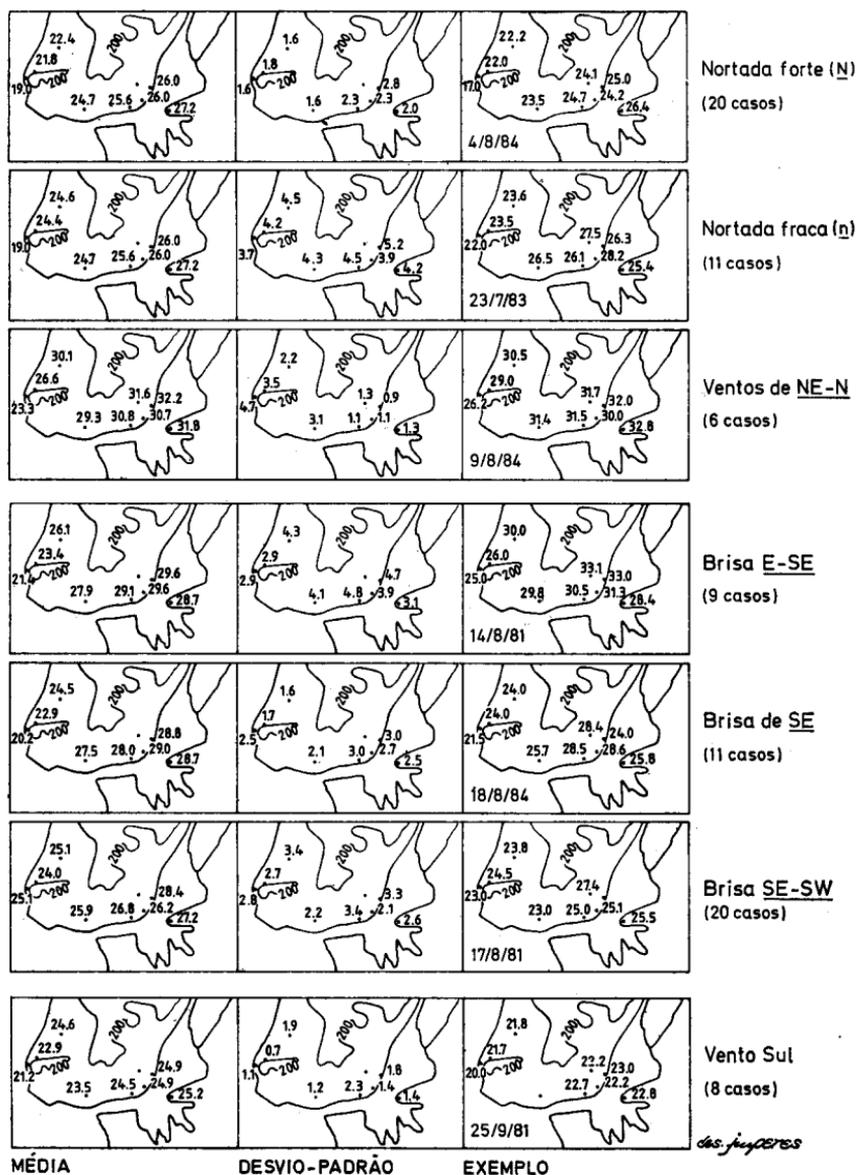


Fig. 13 — Temperaturas máximas na região de Lisboa em dias com diferentes regimes diários do vento (°C, dados I. N. M. G., Lisboa).

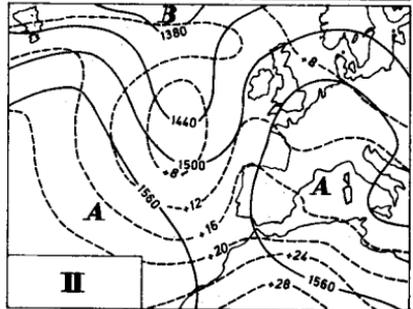
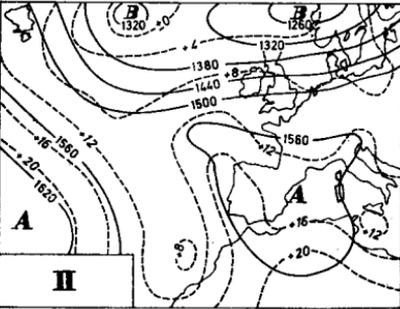
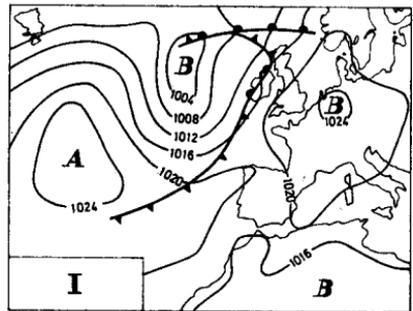
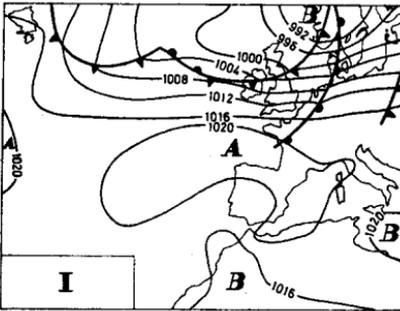
são fracas as diferenças de temperatura de dia para dia de nortada. Nota-se que, tanto em média como num dia escolhido aleatoriamente para exemplo, a máxima é mais elevada no Montijo do que nas estações de Lisboa (+ 2,2° C do que em Lisboa/Geofísico, na fig. 13). Em situações de vento NE-N e de brisa, as diferenças de temperatura máxima são superiores a 7,5°, registando-se, apesar de tudo, valores anormalmente altos em Cabo da Roca. Ao contrário dos dias de nortada forte (N), notem-se os desvios-padrões mais elevados a ocidente. O facto da brisa de SE terminar bastante cedo, como se verá, permite ainda um aumento de temperatura ao fim da tarde em Cabo Ruivo; de modo que os maiores gradientes térmicos E-W se registam, em média, em dias de brisa de SE no estuário (quadro II), pois no litoral ocidental a brisa de W ou o vento que rodou para NW impedem ou atrasam o aquecimento durante a tarde. Repare-se que, nestes dias, as temperaturas mais elevadas ocorrem no centro da cidade. Em dias de brisas SE-SW, as diferenças são menores, visto que se estabelecem ventos generalizados de SW ou mesmo de W. As máximas mais elevadas registam-se, neste caso, no litoral oriental da região de Lisboa, para onde o vento de SW transporta o ar urbano quente e relativamente seco.

AS BRISAS

A — EM CABO RUIVO

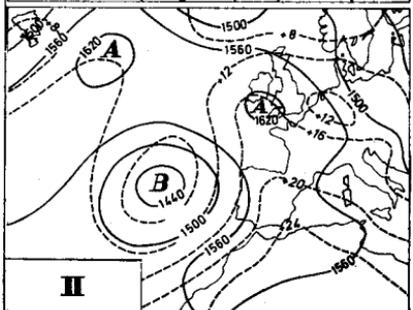
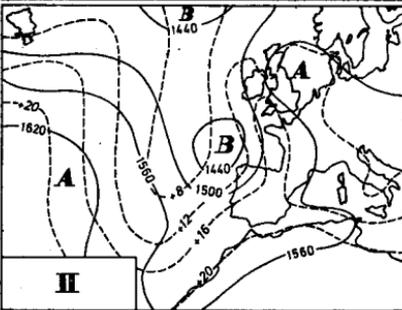
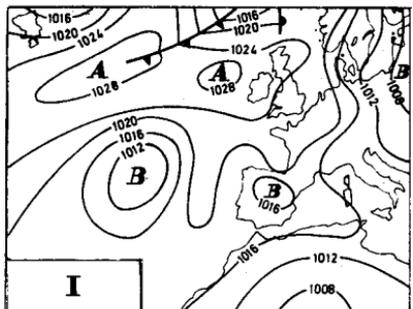
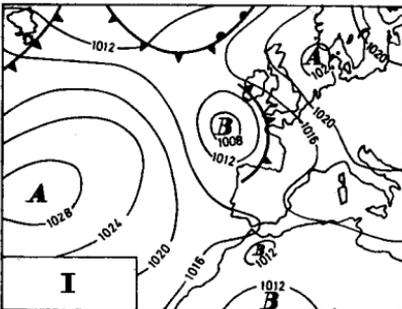
1. *Circunstâncias de desencadeamento ou de intensificação das brisas*

Nos dias de brisa estudados, a pressão no centro dos anticiclones de raiz atlântica que se podem alongar segundo os paralelos ou que, frequentemente, se subdividem em duas células (uma sobre o Atlântico e outra sobre a Europa Ocidental) raramente ultrapassa 1028 hPa, sendo fraco o gradiente de pressão resultante, sobre o Atlântico oriental, à latitude de Portugal (quadro I e fig. 14). A 500 hPa, em qualquer dos casos, as situações de pântano barométrico são frequentes. A 850 hPa, individualiza-se, por vezes, a W de Portugal, um vale depressionário, geralmente acompanhado



a) Brisa E-SE: 30/8/84

b) Brisa SE: 18/8/84



c) Brisa SE-SW: 20/8/84

d) Brisa SE-SW: 13/7/83

Fig. 14 — Dias de brisa, às 12 h: I — Situação sinóptica à superfície (isóbaras em hPa); II — Topografia da superfície de 850 hPa (isóipsas em metros, isotérmicas em °C). Fonte: Boletim Meteorológico Diário, Madrid.

por uma língua de ar frio nos casos de brisas E-SE e SE; nos dias em que a brisa parece rodar até SW, assiste-se por vezes à individualização de gotas de ar frio a ocidente da Península Ibérica, sendo o fluxo de SW, a 1500 m de altitude, circunstância esta que poderá suscitar dúvidas sobre o facto de se tratar efectivamente de uma brisa de SW. De notar também que, ao contrário de todos os outros casos de vento de norte estudados, a situação à superfície pode ser depressionária sobre o Atlântico, tal como no dia 13/7/83 (fig. 14).

Verificou-se também para Lisboa/Portela (às 12 h, quadro 1) que:

a) Há sempre um gradiente sobradiabático entre a superfície e os 1000 hPa (entre 100 e 150 metros na maior parte dos dias), devido ao grande aquecimento do ar junto ao solo e que é mais pronunciado no caso dos dias de ventos de NE.

b) Existe uma inversão de temperatura cuja base está, em mais de 50 % dos casos, mais baixa nos dias de brisa do que em dias de nortada (quadro 1 e fig. 15).

c) Os diferentes graus de estabilidade da atmosfera podem ser materializados pelos gradientes de temperatura entre a superfície e 850 hPa (já que são insignificantes as diferenças entre os gradientes médios entre a superfície e os 700 hPa): $0,62^\circ/100$ m e $0,74^\circ/100$ m, respectivamente, em dias de nortada forte (N) e fraca (n); $0,5^\circ/100$ m nos dias de vento NE (com ou sem brisa); $0,46^\circ/100$ m e $0,56^\circ C/100$ m, respectivamente, em dias de brisa de SE e SE-SW.

À luz destes exemplos (que deverão ser multiplicados) pensa-se que as brisas se desencadeiam (ou só são detectadas) em determinadas condições (suas causas, suas consequências ou apenas fenómenos que ocorrem simultaneamente?), sendo fundamental que existam as já referidas diferenças de temperatura entre as atmosferas marítima e continental. Na maior parte dos casos, há, sobre o continente, uma pouca espessa camada superficial de ar quente e uma inversão baixa (300 a 500 m). Repare-se também que, nos dias de vento NE-N, em que não se verificam brisas em Cabo Ruivo, a estrutura vertical da atmosfera é semelhante à dos dias de brisas E-SE (com

vento de NE mais fraco). E, no primeiro conjunto de dias detectaram-se brisas no Montijo, que podem eventualmente existir em Cabo Ruivo, com a mesma direcção que os ventos de gradiente, e não terem sido reconhecidas.

Nos dias de brisa o gradiente de pressão W-E em Portugal (materializado no quadro 1 pelas diferenças de pressão atmosférica entre Cabo Carvoeiro e Beja) deve ser fraco para que a velocidade do vento de gradiente se conserve fraca

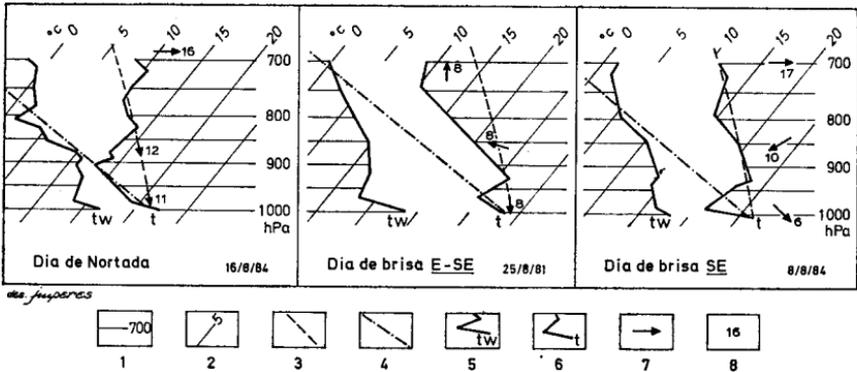


Fig. 15 — Estrutura vertical da atmosfera em três dias de Verão, em Lisboa/Portela às 12 h (Boletim Meteorológico Diário, I. N. M. G., Lisboa). 1: Isóbara (hPa), 2: Isotérmica ($^{\circ}\text{C}$), 3: Adiabática saturada, 4: Adiabática seca, 5: Curva da temperatura do termómetro molhado, 6: Curva de estado da temperatura, 7: Rumo do vento, 8: Velocidade do vento (nós).

também. Alguns autores apontam que as brisas se desencadeiam, sobretudo quando o vento em altitude contribui para reforçar a «corrente de retorno». Dado que apenas são publicadas as características do vento aos níveis isobáricos de 1000 e 850 hPa, respectivamente abaixo e acima da provável corrente de retorno, aquela afirmação não pôde ser confirmada.

2. Características das brisas

Para uma caracterização mais objectiva das brisas, foram analisados pormenorizadamente os registos dos anemógrafos e dos termo-higrógrafos de cerca de 4 dezenas de dias. Este fenómeno foi reconhecido não só pela já referida modificação do rumo do vento como também pela interrupção das habituais subida de temperatura e descida de humidade relativa a meio da

tarde. Repare-se na figura 16 que cerca das 12 h do dia 11/8/76 a temperatura desceu 1° C em 10 minutos e pouco se modificou até às 13 h 40. A humidade relativa aumentou de 50 % para 59 % depois do meio dia e permaneceu elevada também até às 13 h 40. O vento que, durante a manhã soprara fraco, de NW, rodou para SE (das 12 às 13 h 40) voltando depois a soprar, forte, de NW, foi o responsável por esta excepção às regras da variação diurna da temperatura e humidade relativa.

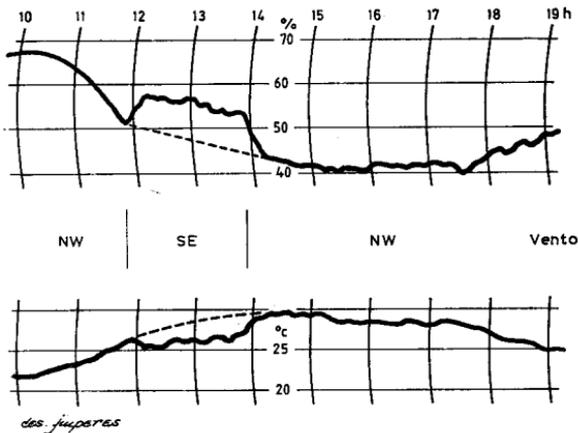


Fig. 16 — Curvas do termo-higrógrafo de Cabo Ruivo a 11/8/76. (A tracejado, curvas prováveis da evolução da temperatura e da humidade relativa, no caso de não ter havido modificação na direcção do vento).

No entanto, nem sempre a mudança da direcção do vento tem efeitos tão claros na temperatura e humidade relativa como no exemplo da figura 16. Foram observados 29 gráficos de termo-higrógrafos de dias de brisa que permitiram concluir que a chegada de ar marítimo ou fluvial, que se inicia, às vezes, bastante cedo, pode não provocar uma descida de temperatura, mas apenas impedir a sua subida regular e atrasar a descida de humidade relativa. Pelo contrário, nota-se quase sempre (de 82 a 100 % dos casos) uma importante subida de temperatura e descida de humidade relativa quando a nortada se restabelece (quadros III e IV). Os menores decréscimos de temperatura matinais ocorrem no caso de vento

QUADRO III

Percentagem de casos em que as brisas modificam os ritmos térmico e higrométrico diurno em Cabo Ruivo (estudo de 29 dias)

	Diminuição de temperatura no início da brisa	Aumento de temperatura no fim da brisa	Aumento de humidade relativa no início da brisa	Diminuição da humidade relativa no fim da brisa
<u>Brisa SE</u>	63,6 %	90,9 %	63,6 %	81,8 %
<u>Brisa E-SE</u>	57 %	100 %	71,4 %	100 %
<u>Brisa SE-SW</u>	45,5 %	90,9 %	45,5 %	90,9 %

QUADRO IV

Variação da temperatura durante a brisa em Cabo Ruivo (estudo de 29 dias)

	No início da brisa				No fim da brisa			
	Todos os casos		Casos de diminuição de temperatura		Todos os casos		Casos de aumento de temperatura	
	Média (°C)	Desvio padrão (°C)	Média (°C)	Desvio padrão (°C)	Média (°C)	Desvio padrão (°C)	Média (°C)	Desvio padrão (°C)
<u>Brisa SE</u>	-0,4	2,4	-1,4	0,6	+ 5,1	2,4	+ 5,6	1,9
<u>Brisa E-SE</u>	-0,15	1,5	-1,0	0,4	+ 3,8	2,4	+ 5,4	1,3
<u>Brisa SE-SW</u>	-0,9	2,6	-2,1	1,3	+ 5	3,9	+ 5,5	3,7

QUADRO V

Variação da humidade relativa durante a brisa em Cabo Ruivo
(estudo de 29 casos)

	No início da brisa				No fim da brisa			
	Todos os casos		Casos de aumento de humidade relativa		Todos os casos		Casos de diminuição de humidade relativa	
	Média (%)	Desvio padrão (%)	Média (%)	Desvio padrão (%)	Média (%)	Desvio padrão (%)	Média (%)	Desvio padrão (%)
<u>Brisa SE</u>	+ 3,4	4,1	+ 5,6	2,0	- 10,3	7,3	- 12,6	5,8
<u>Brisa E-SE</u>	+ 5,4	2,4	+ 5,4	2,4	- 15,1	11,9	- 15,1	11,9
<u>Brisa SE-SW</u>	+ 5	3,9	+ 5,5	3,7	- 14,3	10,8	- 16,6	10,1

de gradiente de NE (brisa E-SE, quadro IV) e os maiores no caso da brisa SE-SW. A subida de temperatura a meio da tarde é quase três vezes maior que o decréscimo matinal e é mais baixa nos dias de brisa E-SE. Os valores de diminuição matinal de humidade relativa são semelhantes nos três casos, mas há uma maior dispersão de valores no caso de brisas SE-SW. É também nestes dias que o aumento de humidade relativa é maior à tarde.

No quadro VI estão resumidos os resultados da análise de 21 dias de brisa de SE. Durante a manhã o vento sopra do quadrante norte (em 74 % dos casos, rumos compreendidos entre NE e NW), de velocidade média fraca ($\bar{x} = 9,6$ km/h). A brisa sopra de 1 a 6 horas, sendo a sua duração média de 3 h 45 (σ de 1 h 40) e raramente ultrapassa a velocidade média de 9 km/h ($\bar{x} = 8,3$ km/h). Em 50 % dos casos a brisa inicia-se antes das 10 h 30 e termina antes das 14 h. Restabelece-se então novamente a nortada (em 100 % dos casos rumos entre norte e NW), desta vez forte (velocidade média de 18,9 km/h). Note-se que, tal como se viu atrás, a temperatura máxima, que atinge por vezes valores elevados, pode ocorrer apenas a meio ou ao fim da tarde.

QUADRO VI

Características do vento em dias de brisa SE em Cabo Ruivo
(estudo de 21 casos)

Velocidade média (9-9 h)		$\bar{x} = 12,9 \text{ km/h}$ $\sigma = 2,1 \text{ km/h}$
Ventos antes da brisa	Rumo	42 % dos casos: NW e NNW 31,5 % dos casos: N e NE 26,5 % dos casos de vento variável ou outros rumos
	Velocidade	$\bar{x} = 9,6 \text{ km/h}$ $\sigma = 3,0 \text{ km/h}$
Brisa de SE	Hora de início	Mediana 10 h 30
	Hora de fim	Mediana 14 h
	Duração	$\bar{x} = 3 \text{ h } 45$ $\sigma = 1 \text{ h } 40$
	Velocidade	$\bar{x} = 8,3 \text{ km/h}$ $= 1,4 \text{ km/h}$
Ventos nas 5 horas posteriores à brisa	Rumo	95 % dos casos: de NW ou NNW 100 % dos casos de N a NW
	Velocidade	$\bar{x} = 18,0 \text{ km/h}$ $\sigma = 4,9 \text{ km/h}$

Noutros grupos de dias assistiu-se a uma modificação da direcção do rumo do vento (rotação para a direita) durante a tarde (brisa SE-SW).

Os dias de vento de gradiente de NE foram analisados separadamente; correspondem, na sua totalidade, a dias de fluxo de E ou NE à superfície (quadro VII). Depois de um período de calma, o vento de NE sopra, fraco, em 50 % dos casos, a partir das 9 h e até às 11 h 30. Seguidamente o vento roda seja para E, seja para SE de onde sopra durante cerca de 2 horas ($\bar{x} = 1 \text{ h } 55$), sempre com velocidades baixas ($x = 7,9 \text{ km/h}$ e $\sigma = 1,3 \text{ km/h}$) e, em 50 % dos casos, a partir

das 12 h 30. Nalguns dos dias a «rotação» prossegue até ao rumo SW e às vezes W. Note-se a velocidade mais elevada dos ventos de SW e de W (13,9 e 12,8 km/h) e que os ventos de SW têm uma maior duração média (3 h 35). Depois da brisa, o vento não retoma o rumo NE, mas sopra de norte, com uma velocidade média de 17 km/h.

Nos outros conjuntos de dias, o vento que sopra de manhã fraco de norte, roda para este ou directamente para SE (cerca das 9 h no primeiro caso e das 10 h no segundo). A brisa de SE tem, em média, maior duração do que no caso anterior (2 h 40 contra 1 h 55), mas menor do que no caso de apenas haver brisa de SE (duração média 3 h 45). Durante a tarde (entre as 13 h e as 17 h em 1/2 dos casos) o vento roda ainda para Sul e/ou SW, sendo estes últimos os mais fortes, sobretudo se precedem imediatamente a nortada, de velocidade média de 17 km/h nas 5 horas que se seguem à brisa (quadro VIII).

3. *A rotação da brisa*

Sabe-se que, devido às diferenças de temperatura entre o oceano e o continente, há tendência para a brisa soprar perpendicularmente ao litoral. Observa-se, no entanto, em grande número de casos, uma rotação da brisa de algumas dezenas de graus (para a direita no hemisfério norte), chegando este vento a soprar paralelamente à linha de costa ao fim da tarde; em certas condições de vento de gradiente fraco, a rotação seria mesmo de 360° em 24 horas. Este desvio progressivo é geralmente atribuído à força de Coriolis, dependendo também do gradiente de pressão. Mais recentemente, verificou-se que a rotação da brisa se faz, por vezes, em sentido contrário (ALPERT et al., 1983; ALPERT et al., 1984) tendo tal facto sido atribuído às «irregularidades» da superfície terrestre (relevo, diferentes condições de albedo e humidade do solo das regiões litorais, forma recortada da costa, etc.).

No estuário nota-se a rotação da brisa para a direita, possivelmente devido às causas acima apontadas. Há, porém, duas hipóteses, que não se excluem necessariamente, a pôr para as observações em Cabo Ruivo:

a) A brisa do oceano, fraca ainda a meio da manhã, é canalizada pelo «gargalo» do Tejo, divergindo depois no local

QUADRO VII

Variação da direcção e velocidade da brisa em 12 dias de vento de gradiente NE no Verão em Cabo Ruivo

Velocidade média (9-9 h)		$\bar{x} = 10,2 \text{ km/h}$ $\sigma = 2 \text{ km/h}$
Vento de NE (12 casos)	Velocidade	$\bar{x} = 7,8 \text{ km/h}$ $\sigma = 1,9 \text{ km/h}$
Vento de E (6 casos)	Hora de início	Mediana: 12 h
	Hora de fim	Mediana: 13 h
	Duração	$\bar{x} = 1 \text{ h } 35$ $\sigma = 55 \text{ min}$
	Velocidade	$\bar{x} = 7,2 \text{ km/h}$ $\sigma = 2,3 \text{ km/h}$
Vento de SE (todos os casos: 12)	Hora de início	Mediana: 12 h 30
	Hora de fim	Mediana: 14 h 30
	Duração	$\bar{x} = 1 \text{ h } 55$ $\sigma = 55 \text{ min}$
	Velocidade	$\bar{x} = 7,9 \text{ km/h}$ $\sigma = 1,3 \text{ km/h}$
Vento de S (5 casos)	Hora de início	Mediana: 12 h 30
	Hora de fim	Mediana: 16 h 30
	Duração	$\bar{x} = 3 \text{ h } 35$ $\sigma = 1 \text{ h } 30$
	Velocidade	$\bar{x} = 13,9 \text{ km/h}$ $\sigma = 1,1 \text{ km/h}$
Vento de W (3 casos)	Hora de início	Mediana: 15 h
	Hora de fim	Mediana: 17 h 30
	Duração	$\bar{x} = 1 \text{ h } 30$
	Velocidade	$\bar{x} = 12,8 \text{ km/h}$
Vento do quadrante N nas 5 horas posteriores à brisa		$\bar{x} = 17,0 \text{ km/h}$ $\sigma = 2,9 \text{ km/h}$

QUADRO VIII

Variação da direcção e velocidade da brisa em 9 dias de vento de gradiente norte, no Verão, em Cabo Ruivo

Velocidade média	$\bar{x} = 13,3 \text{ km/h}$ $\sigma = 3,8 \text{ km/h}$	
Vento antes da brisa	Do quadrante Norte	
E (4 casos)	Hora de início	Mediana: 9 h
	Hora de fim	Mediana: 11 h 30
	Duração	$\bar{x} = 2 \text{ h } 10$ $\sigma = 50 \text{ min}$
	Velocidade	$\bar{x} = 7,8 \text{ km/h}$ $\sigma = 1,3 \text{ km/h}$
SE (todos os casos: 9)	Hora de início	Mediana: 10 h
	Hora de fim	Mediana: 13 h
	Duração	$\bar{x} = 2 \text{ h } 40$ $\sigma = 50 \text{ min}$
	Velocidade	$\bar{x} = 10,1 \text{ km/h}$ $\sigma = 2,3 \text{ km/h}$
S (4 casos)	Hora de início	Mediana: 13 h 15
	Hora de fim	Mediana: 16 h 15
	Duração	$\bar{x} = 2 \text{ h } 30$ $\sigma = 1 \text{ h } 25$
	Velocidade	$\bar{x} = 11,5 \text{ km/h}$ $\sigma = 3,9 \text{ km/h}$
SW (4 casos)	Hora de início	Mediana: 12 h
	Hora de fim	Mediana: 16 h 15
	Duração	$\bar{x} = 3 \text{ h } 30$ $\sigma = 1 \text{ h } 30$
	Velocidade	$\bar{x} = 15,4 \text{ km/h}$ $\sigma = 1,9 \text{ km/h}$
W (3 casos)	Hora de início	Mediana: 16 h
	Hora de fim	Mediana: 17 h
	Duração	$\bar{x} = 2 \text{ h } 15$ $\sigma = 1 \text{ h } 30$
	Velocidade	$\bar{x} = 14,9 \text{ km/h}$ $\sigma = 1,7 \text{ km/h}$
Vento do quadrante N nas 5 horas posteriores à brisa	$\bar{x} = 17,1 \text{ km/h}$ $\sigma = 3,1 \text{ km/h}$	

em que o estuário alarga e chegando a Cabo Ruivo de SE. À medida que a diferença de temperatura se vai tornando maior, a brisa torna-se mais veloz e, eventualmente mais espessa, consegue ultrapassar os numerosos obstáculos a barlavento e chega a Cabo Ruivo de SW ou de W.

b) Outra hipótese seria de considerar que a brisa que atinge Cabo Ruivo de manhã, vinda de E ou de SE seria um *fenómeno localizado*, gerado pelas diferenças de temperatura entre as águas frescas do estuário do Tejo e a cidade, mais quente. Esta segunda hipótese parece mais plausível pelo facto da brisa soprar por vezes de E e também pela hora mais tardia do seu início no Montijo, como adiante se verá: se a brisa matinal proviesse do oceano, alcançaria primeiro o Montijo. Durante a tarde, nos dias em que a nortada não se restabelece imediatamente depois da brisa de SE, aquela roda depois para o quadrante W, chegando do Atlântico.

B — AS BRISAS NA REGIÃO DE LISBOA

A título de exemplo foram comparados 48 dias dos Verões de 1981 e 1984 em Cabo Ruivo, Montijo (Base Aérea n.º 6) e Sintra (Base Aérea n.º 1).

Antes porém, convém referir brevemente as características das brisas e as suas consequências termo-higrométricas, naquelas estações tomadas como termos de comparação (figs. 17 e 18). No Montijo as inabituais variações de temperatura e humidade relativa são devidas à brisa de W, que chega do oceano pelo «gargalo» do Tejo. Em Sintra-Granja as irregularidades das curvas podem ser também devidas à brisa proveniente de W (tal como a 9/7/86), ou, mais frequentemente, a uma inflexão para WNW ou mesmo apenas para NW do vento do quadrante norte que domina também aqui todo o Verão (como a 10/8/86).

Em 35 % dos casos estudados, de nortada forte, não houve brisas em nenhuma das três estações. Em 23 % dos dias ocorreram brisas simultaneamente nos três locais, em 25 % apenas se registou este fenómeno no estuário do Tejo e, em 10 %, as brisas apenas foram detectadas em Sintra e no Montijo.

Limitar-nos-emos à apresentação de três exemplos, indicando, concretamente, as condições do vento na região de

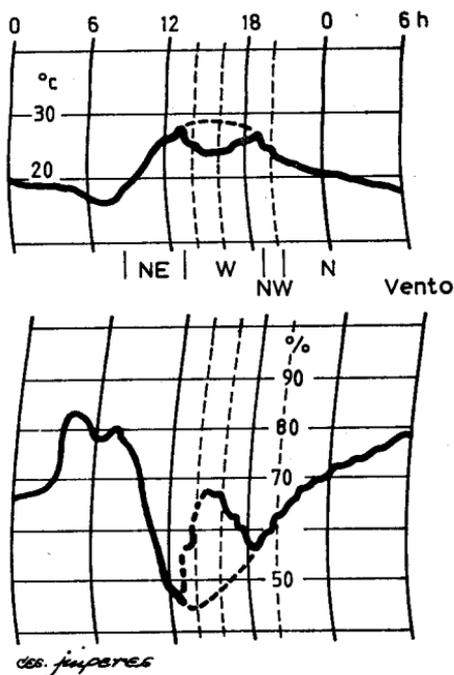


Fig. 17 — Curvas do termo-higrógrafo e rumo do vento no Montijo a 13 e 14/9/81.

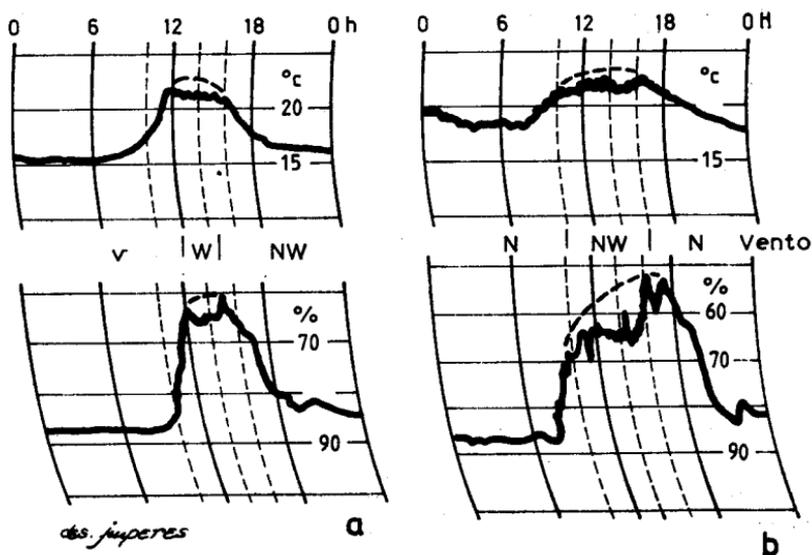


Fig. 18 — Curvas do termo-higrógrafo e rumo do vento em Sintra/Granja a 9/7/86 (a) e 10/8/86 (b).

Lisboa, em dias escolhidos, considerando insuficiente a amostragem para qualquer generalização.

Brisa nas três estações — Examine-se, na figura 19, a variação do rumo do vento durante o dia 6 de Agosto de 1984 em que o vento de gradiente sopra de manhã fraco de NE (velocidade média de 11,3 km/h em Cabo Ruivo).

O vento sopra de norte no litoral ocidental (excepto em Sintra, em que havia calma) e de NE, E ou SE, a oriente da

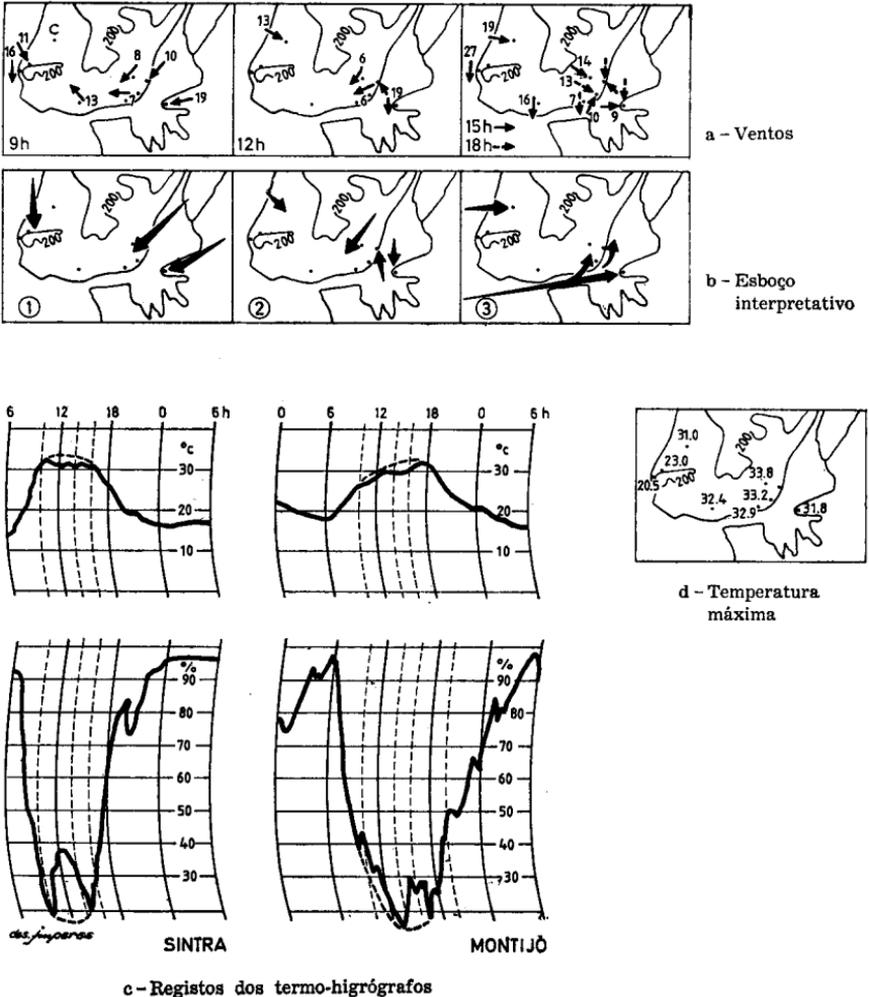


Fig. 19 — Temperatura, humidade relativa e vento a 6/8/84.

região de Lisboa. Esta situação modifica-se progressivamente: primeiro em Cabo Ruivo, onde às 12 h o vento já rodou de NE para SE, «levantando-se» em Sintra vento de NW (de 13 km/h). Repare-se que, à hora em que o vento começa a soprar de SE em Cabo Ruivo, houve uma rotação do vento de NE para N no Montijo (confirmação de que a brisa se confina no início do dia ao estuário do Tejo?), sendo então este fenómeno independente da rotação do vento (de N para NW) que se faz sentir na costa ocidental. Às 15 h o fenómeno generaliza-se. Embora em Cabo Ruivo o vento ainda sopra de SE, em Sintra rodou de NW para WNW, em Lisboa/ /Geofísico chega de SW e ao Montijo de W. Pode-se inferir a partir da escassa informação às 18 h que o vento sopra do quadrante norte em toda a região (fig. 19a).

Brisa só no estuário do Tejo? — Repare-se no dia 18 de Agosto de 1984, em que o vento de gradiente é de norte às 9 h (fig. 8). Às 12 h o vento sopra de SE em todas as estações de Lisboa. Em Sintra regista-se vento de NW que se manterá toda a tarde. Às 15 h chega a brisa de W ao Montijo, altura em que o vento já rodou para NW nas estações de Lisboa. Ao contrário do caso anterior, não houve chegada de vento de SW à aglomeração urbana, e a brisa de W só muito tarde alcançou o Montijo. Em Sintra não se observa um tão grande desvio do rumo do vento para W como no dia 6/8/84.

Note-se que, se nos dois casos apresentados as temperaturas máximas são semelhantes no Cabo da Roca e em Colares, estas atingem valores muito mais elevados no dia 6 a oriente. O máximo de temperatura é alcançado em Sintra antes do início da brisa, ao passo que o do Montijo (praticamente igual) só se regista cerca das 17 h quando o vento torna a rodar para norte (figs. 19d e 20). A 18 de Agosto de 1984, em que a brisa soprou entre as 10 e as 15 h, as temperaturas máximas são mais baixas e os valores mais elevados registam-se na cidade, sendo o gradiente térmico E-W menos pronunciado.

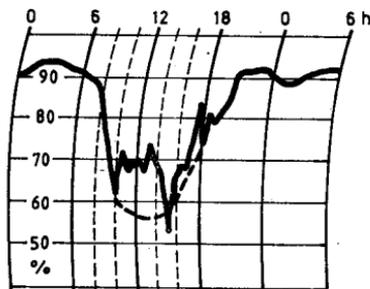
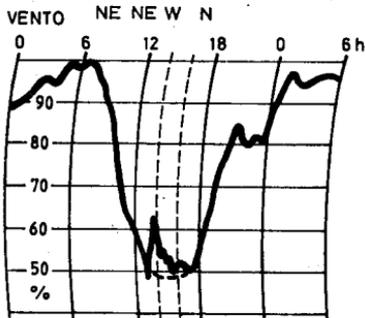
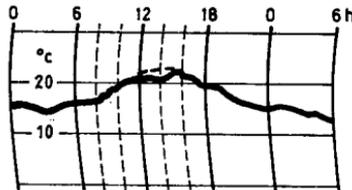
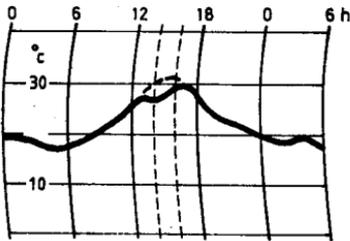
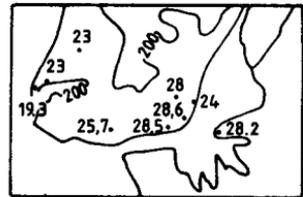
Brisa no Montijo e no litoral ocidental — Em certos dias de vento de gradiente muito fraco de NE e E a brisa dificilmente se reconhece em Cabo Ruivo, sendo muito fácil de detectar tanto no litoral ocidental como no Montijo. Exemplos

deste tipo de situação encontram-se nos dias muito quentes de Junho de 1981, de que se apresenta como exemplo o dia 14 (fig. 21): o vento foi fraco de E (NE ou SE) todo o dia (fig. 21a), com as excepções de Sintra e de Montijo, onde a brisa soprou de W com, respectivamente, 19 e 11 km/h,



a - Esboço interpretativo (ventos na fig. 8)

b - Temperatura máxima



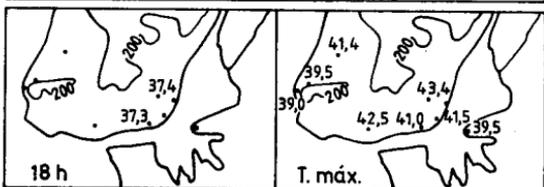
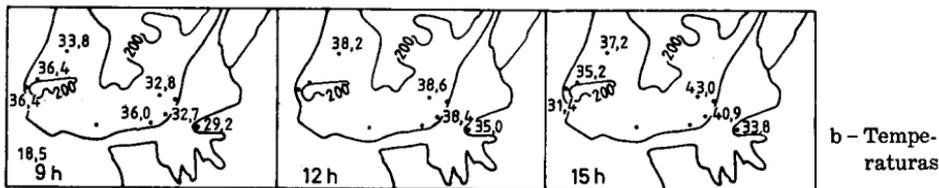
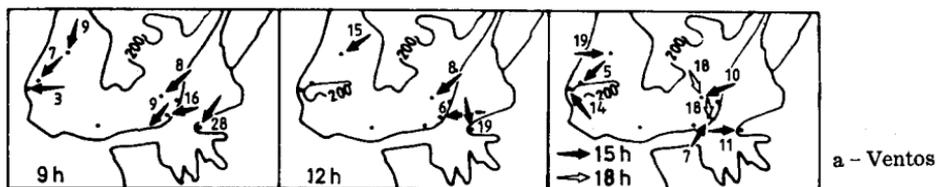
des. J. J. PERES

MONTIJO

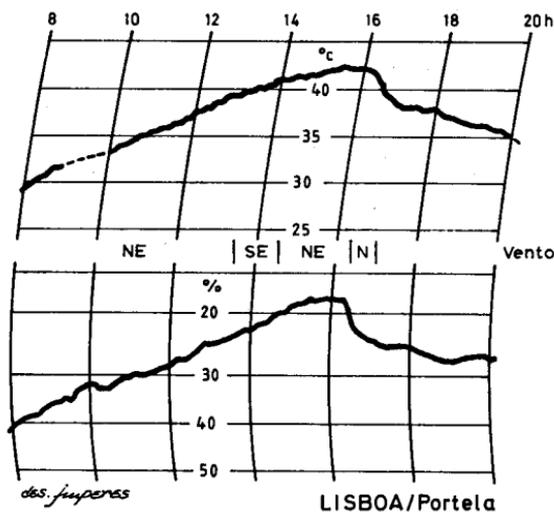
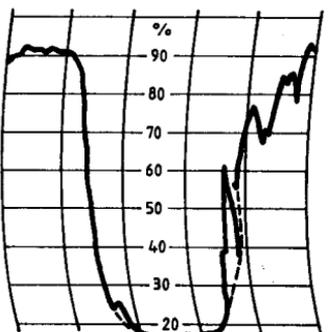
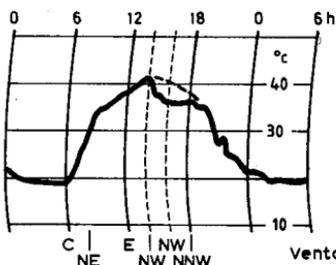
SINTRA/Granja

c - Registos dos termo-higrógrafos

Fig. 20 — Temperatura, humidade relativa e vento a 18/8/84.



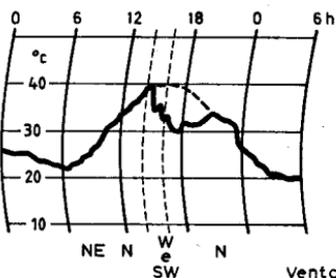
SINTRA



c - Registos dos termo-higrógrafos

Fig. 21 — Temperatura, humidade relativa e vento a 14/6/81.

MONTIJO



tendo o vento rodado para norte ou NW ao fim da tarde. As temperaturas, já anormalmente elevadas às 9 h (fig. 21b), sobretudo no litoral ocidental, que recebe ventos «continentais», continuam a elevar-se até às 14 h em Sintra e no Montijo (fig. 21c) e até cerca das 16 h em Lisboa/Portela, que atingiria o valor mais elevado de toda a região (em Cabo Ruivo não há dados neste dia), talvez por não ter recebido, como Lisboa/Geofísico, ventos de SW, que lhe travassem o aumento de temperatura.

CONCLUSÃO

O estudo dos regimes diários dos ventos no limite nordeste da cidade de Lisboa veio confirmar a grande frequência dos ventos do quadrante norte no Verão, inferida já dos valores mensais: 76 % dos dias analisados! Destes, 27 % foram de vento contínuo e muito forte, enquanto em 30 % dos casos se observaram fenómenos de brisa, devidos às grandes diferenças de temperatura que se estabelecem durante a tarde entre a atmosfera continental e o ar marítimo ou estuário; são detectadas pela variação do rumo do vento a meio do dia, a que correspondem inabituais descidas de temperatura e aumentos de humidade relativa. As brisas têm maior probabilidade de se verificar no início do Verão (durante o mês de Julho) e no princípio de Setembro, dado que em Agosto a nortada é francamente dominante.

As brisas verificaram-se quando a diferença de pressão *entre o centro do anticiclone geralmente localizado no Atlântico e o interior da Península Ibérica* é mais fraca do que nos dias de «Nortada Forte» em que aquelas atingem sempre mais de 12 hPa e, conseqüentemente, também são menores as diferenças de pressão entre o litoral e o interior de Portugal (≤ 4 hPa). Nestas ocasiões, antes da chegada da brisa, existe um gradiente sobre-adiabático nas primeiras centenas de metros à superfície e uma inversão baixa (cerca de 950 hPa), sendo os gradientes de temperatura médios entre a superfície e os 850 hPa (0,46 e 0,56°/100 m) mais fracos do que nos dias de nortada (0,62 e 0,74°/100 m).

As brisas em Cabo Ruivo podem soprar unicamente de SE, ou sofrer uma rotação para a direita (E → SE → SW → W),

atribuída à força de Coriolis. Neste caso particular, pensa-se também que, no início do dia, a brisa será um fenómeno restrito ao estuário do Tejo, podendo este vento chegar directamente do oceano, à tarde, quando aumentam as diferenças de temperatura terra-mar.

O reconhecimento da existência das brisas e a determinação de algumas características destes ventos revelou a necessidade e o interesse do seu estudo mais aprofundado, seguindo fundamentalmente duas orientações:

— A análise mais pormenorizada das numerosas condições de vento à superfície, com base em registos simultâneos do maior número de estações possível.

— O estudo da estrutura vertical da atmosfera em dias de brisa (balões estabilizados, sodar).

Saber-se-ia assim até que ponto as aglomerações urbanas (Lisboa em particular) poderiam beneficiar das brisas no Verão e, conhecendo exactamente em que medida as brisas dependem dos vários parâmetros meteorológicos, estar-se-ia numa primeira fase de elaboração de modelos numéricos de explicação e previsão deste fenómeno.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERT, P.; KUSUDA, P. — «Anti-clockwise Rotation of the Wind Hodograph. Part I: Theoretical Study», *Journal of the Atmospheric Sciences*, 40, 2, 1983, p. 487-495.
- ALBERT, P.; KUSUDA, M.; ABE, N. — «Anti-clockwise Rotation, Eccentricity and Tilt Angle of Wind Hodograph. Part II. An observational Study», *Journal of the Atmospheric Science*, 41, 24, 1984, p. 3568-3583.
- ATKINSON, B. W. — *Meso-scale Atmospheric Circulations*, Academic Press, London, 1981.
- ELLIOT, A. — «Sea Breezes at Porton Down», *Weather*, 19, 1964, p. 147-151.
- ESTOQUE, W. J. — «A theoretical investigation of the sea Breeze», *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 87, 1961, p. 136-146.
- «The sea Breeze as a Function of the prevailing synoptic situation», *Journal of the Atmospheric Sciences*, 19, 1962, p. 244-250.
- GOLDREICH, Y. et al. — «The Interaction of Valley/Mountain Winds with a diurnal Veering Sea/Land Breeze», *Journal of Climatology*, 6, 1986, p. 551-561.

- MC. PHERSON, R. — «A numerical Study of the Effect of a coastal Irregularity on the sea-Breeze», *Journal of Applied Meteorology*, 9, 1970, p. 767-777.
- MOROZ, J. W. — «A lake Breeze on the eastern Shore of Lake Michigan: Observations and Model», *Journal of Atmospheric Sciences*, 24, 1967, p. 337-355.
- PRASAD, M. C. et al. — «A Study of sea and land breeze over Goa», *Indian Journal of Meteorology, Hydrology and Geophysics*, 28, 1, 1977, p. 85-90.
- PRESTON-WHYTE, R. A. — «Sea Breeze Studies in Natal», *The South African Geographical Journal*, 51, 1969, p. 38-49.
- STRINGER, E. — *Fundations of Climatology*, W. H. Freeman, S. Francisco, 1972, 586 p.
- SUMNER, G. N. — «Sea Breeze Occurrence in hilly Terrain», *Weather*, 32, 6, 1977, p. 200-208.

Agradeço particularmente ao Senhor Dr. COSTA MALHEIRO (INMG) a leitura crítica deste texto. Este trabalho só foi possível graças às facilidades concedidas para a consulta dos registos diários dos anemógrafos e termo-higrógrafos e de outros dados diários e horários pelo Senhor Dr. RODRIGO DE CARVALHO e Senhor PEREIRA no Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, pelos Senhor Engenheiro MÁRIO VIEIRA e Senhor EDGAR na Petrogal em Cabo Ruivo, pelos Senhores Tenente Coronel SILVA E CASTRO e Capitão GRAFANHATE na Base Aérea n.º 1 em Sintra, e pelos Senhores Coronel VAZ AFONSO e Major GUERREIRO na Base Aérea n.º 6, no Montijo, a quem também exprimo os meus mais sinceros agradecimentos.

RÉSUMÉ

Les brises estivales du Tage et de l'océan à Lisbonne. — L'analyse des brises du Tage et de l'océan à Lisbonne procède du dépouillement d'anémogrammes et de thermo-hygrogrammes de la station de *Cabo Ruivo* à la limite NE de l'espace urbain, sur la rive droite de l'estuaire (fig. 1), de l'utilisation de données journalières sur le vent et les températures des autres stations de la région de Lisbonne, de cartes synoptiques et de quelques sondages à l'aéroport (Lisboa/Portela).

La dominance des vents du nord (76 %), déjà révélée par les données mensuelles (fig. 3), est ainsi confirmée. Les vents du sud ne représentent que 14 % de l'échantillon (646 jours) et les jours où la direction des vents varie en fonction de l'alternance de situations synoptiques que 10 % (fig. 5). Le vent du nord peut souffler continuellement pendant les 24 heures ou être interrompu par des brises, soit du Tage (de l'est ou du SE), soit de l'océan. Le plus souvent on observe une rotation diurne de la direction de la brise: elle provient du secteur est pendant la matinée et souffle ensuite, successivement, du sud, puis du SW et parfois enfin de l'ouest. L'inflexion de la brise est généralement

attribuée à la force de Coriolis, importante aux latitudes moyennes. Sans nier cette action, il nous semblerait que le phénomène doit être ici attribué aussi au renforcement progressif de la brise océane d'ouest ou du SW, qui prend le pas, sur celle du Tage: l'après-midi la brise de l'océan, plus épaisse et plus développée, surmonterait l'obstacle que constituent les collines de la ville, atteignant ainsi le rivage oriental de Lisbonne, ce qui ne pourra être confirmé que par des sondages supplémentaires; les sondages à 12 h à Lisbonne/Portela révèlent que l'air inférieur, à très fort gradient thermique vertical, est surmonté par une inversion marquée qui s'observe vers 950 hPa (exemple fig. 13). Les brises se font sentir quand le gradient de pression E-W est inférieur à 4 hPa au Portugal (contre 5,5 hPa pour les jours de vent fort — tableau I). Ces conditions se réalisent quand l'axe des anticyclones sur l'Atlantique, au nord de la Péninsule Ibérique, s'oriente d'est en ouest ou du NE au SW.

Une étude détaillée sur une quarantaine de journées révèle que les brises sont bien plus faibles que les vents du nord qui les remplacent en fin d'après-midi (vitesses moyennes des brises du Tage: 7 à 9 km/h, de celles de l'océan: 13 à 14 km/h, des vents du nord: 17 km/h). La durée médiane des brises est comprise entre 1 h 30 et 3 h 45 (tableaux VI à VIII). Elles sont fréquentes au début et à la fin de l'été, car souvent au mois d'août, le vent souffle continuellement du nord (fig. 6).

Paradoxalement les températures maximales les plus basses sont dues aux vents du sud (fig. 13). Pendant les journées de vents forts et constants, soit du sud soit du nord, la variation spatiale des maxima est faible, alors que le jeu des brises est corrélatif de fortes variations thermiques E-W sur la région de Lisbonne.

Sur le littoral occidental (données de Sintra) et à Montijo, sur la rive gauche de l'estuaire, les brises soufflent invariablement de l'ouest. L'analyse d'anémogrammes et de thermo-hygrogrammes de ces deux stations pendant des journées où s'observent des brises diurnes, de directions variables et parfois opposées, selon l'heure et le lieu (figs. 19 à 21), suggère l'intérêt d'une comparaison plus poussée d'un plus grand nombre de cas.

SUMMARY

Sea and estuarine breezes during summer in Lisbon. — In order to study the relationship between wind regimes and temperatures in Lisbon, an analysis of anemograph records from *Cabo Ruivo* (fig. 1), meteorological station located at the NE limit of the city, directly at the riverside, was carried out. It was possible to confirm the dominance of the northern winds (76%), already revealed by monthly data (fig. 3). In effect, southern winds represent only 14% of the 646 days used as a sample; 10% were included in a separate class, as their daily wind patterns depended mostly on the alternation of synoptical situations. Northern winds which sometimes blow continuously all day long, are interrupted on other occasions by thermally induced eastern (or south-

eastern) estuarine breezes and western (or southwestern) sea breezes. On most of those days there is a veering of the breeze to the right, already observed elsewhere and commonly attributed to the action of the Coriolis force. In this particular case it also seems that during the morning hours the breeze is a local phenomenon, blowing from the Tejo estuary to the city, which is then warmer than the surrounding areas. During the afternoon the sea breeze, thicker and more developed, overcrosses the city and the western topographical obstacles, and reaches Lisbon's eastern shore. On those days there is a strong vertical temperature gradient on the first 300 or 500 meters of the atmosphere and a low inversion at Lisboa/Portela at 12 h. However several pilot balloon observations will be essential for further breeze studies. During breeze days the anticyclone axes elongate in E-W (or NE-SW) direction, to the north of the Iberian Peninsula and E-W pressure gradient in Portugal remains under 4 hPa (5,5 when winds blow continuously from the north — table 1).

Paradoxically, the lowest maximum temperatures are due to southern winds (fig. 13). Breeze days correspond with those of greatest E-W temperature variations; when the breezes ceases early enough, very high maximum temperatures are to be expected. At Sintra (on the western coast) and Montijo (on the Tejo's left bank), the two stations used for comparison, breezes blow from the west. Examples from different days (figs. 19 to 21) should serve as guides for a future study of more numerous summer days, so that the results may be statistically reliable.