

DRENAGEM E ACUMULAÇÃO DE AR FRIO EM NOITES DE ARREFECIMENTO RADIATIVO. UM EXEMPLO NO VALE DE BARCARENA (OEIRAS)

ANTÓNIO LOPES⁽¹⁾

Resumo – O sistema de drenagem do ar frio em noites anticiclónicas, calmas e sem nebulosidade, é um fenómeno climático ainda pouco estudado em Portugal. Esta nota apresenta os primeiros resultados de uma investigação levada a cabo no vale de Barcarena, através de duas campanhas de medição. A drenagem do ar frio ocorre intermitentemente desde o pôr ao nascer do Sol. Os lagos de ar frio possuem uma dupla alimentação: *in situ*, por irradiação e por alimentação do ar frio que drena nas vertentes. A flutuação da espessura destes lagos deve-se à maior ou menor intensificação da drenagem e à rugosidade do solo.

Palavras-chave: drenagem do ar frio, lago de ar frio, cintura térmica, vale de Barcarena, Oeiras.

Abstract – **THE COLD AIR DRAINAGE DURING CALM CLEAR NIGHTS: AN EXAMPLE IN THE BARCARENA VALLEY (OEIRAS, PORTUGAL)** – The cold air drainage system is a recent climatological field research in Portugal. In the valley of Barcarena, a few kilometres westward from Lisbon, it was possible to detect the intermittent flow of the cold air drainage during two calm clear nights. We came to the conclusion that the cold air lakes are formed *in situ* by the irradiation process and also by the accumulation of the cold air drained along the valley slopes. The rugosity of the surface and the slow down of the cold air along the slope could be responsible for the oscillations of the cold air lakes thickness.

Key-words: cold air drainage, cold air lake, thermal belt, valley of Barcarena, Oeiras.

⁽¹⁾ Assistente do Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa e Investigador do Centro de Estudos Geográficos, Alameda da Universidade 1699 Lisboa Codex. Tel:(351-1)7940218; fax:(351-1)7938690; e-mail: antlop@mail.telepac.pt

I – O SISTEMA DE DRENAGEM DO AR FRIO

A drenagem do ar frio nas vertentes, a sua acumulação nos fundos de vales e depressões, e a formação de cinturas térmicas nas noites de arrefecimento radiativo (calmas e sem nebulosidade) constituem um sistema complexo, que tem interessado os investigadores do clima local, sobretudo desde meados do nosso século. YOSHINO (1984, p. 239) refere estudos anteriores (alguns no século passado), em que se pretendia conhecer os efeitos prejudiciais da acumulação do ar frio junto ao solo na agricultura.

Em Portugal alguns investigadores têm estudado estes fenómenos climáticos, em vales da região de Lisboa e da Arrábida. ALCOFORADO (1985) identificou a acumulação do ar frio no fundo do vale do rio Trancão a partir de uma termografia obtida durante uma noite de Inverno e, mais recentemente, estudou alguns aspectos climáticos da serra da Arrábida para, entre outros objectivos, identificar a acumulação de ar frio no fundo do vale da ribeira da Ajuda, e determinar o risco de geada e de nevoeiro de irradiação nessa área (ALCOFORADO *et al*, 1993). O autor desta nota apresentou, noutra trabalho (LOPES, 1994), os resultados de uma investigação sobre os mecanismos que actuam neste sistema complexo de interacção entre a superfície terrestre e a atmosfera junto ao solo, na região de Oeiras.

1 – AS CAUSAS DA DRENAGEM DO AR FRIO NAS VERTENTES

Durante o dia, as principais trocas radiativas entre a atmosfera e a superfície terrestre fazem-se essencialmente à custa da radiação solar directa e difusa. Esta radiação, de pequeno comprimento de onda (entre 0,15 e 3 μm , isto é, do ultravioleta ao infravermelho próximo) é emitida sob a forma de energia térmica, que aquece a superfície terrestre.

Durante a noite, a Terra emite radiação de longo comprimento de onda (irradiação terrestre – 3 a 100 μm) que, contrariamente à anterior, é absorvida pela atmosfera, devido essencialmente à grande capacidade de absorção do dióxido de carbono (CO_2), do vapor de água (H_2O) e outros gases "de estufa" (NO_2 , CH_4 , etc). O espectro de absorção dos grandes comprimentos de onda pela atmosfera é apenas interrompido numa curta banda (entre 8 e 11 μm). É através desta "janela atmosférica" que parte da radiação de longo comprimento de onda emitida pelo sistema terra/atmosfera se perde no espaço. (OKE, 1993, p. 13 a 17).

Se a atmosfera contiver uma grande quantidade de gases absorventes (sobretudo dióxido de carbono e vapor de água), e/ou nuvens, nevoeiro e brumas, a perda de energia não é elevada. A contrairradiação (porção de energia radiativa que retorna à terra) contrabalança a perda energética por

irradiação da superfície terrestre e o arrefecimento do ar junto ao solo não é tão intenso. Pelo contrário, quando a absorvidade da atmosfera é reduzida, as perdas energéticas da superfície são elevadas e a irradiação terrestre é responsável pela diminuição das temperaturas junto ao solo, constituindo o motor do arrefecimento radiativo nocturno (OKE, 1993, p. 237).

Durante a noite, o balanço radiativo da superfície terrestre é, portanto, negativo devido à ausência de radiação solar e às perdas por irradiação de grandes comprimentos de onda infravermelhos. Em noites anticiclónicas, calmas e sem nebulosidade, forma-se uma inversão térmica radiativa na camada de ar junto ao solo e, nas vertentes, ocorre a movimentação do ar no sentido descendente, induzida pela gravidade. Este movimento do ar é denominado drenagem do ar frio, *cold air drainage* na terminologia de língua inglesa.

Depois do nascer do Sol, o balanço radiativo torna-se positivo e a temperatura junto ao solo aumenta. Este facto provoca um movimento ascendente do calor sensível, que vai destruindo a camada de inversão pela sua base. Com o decorrer da manhã e a continuação dos movimentos ascendentes do ar, dá-se o desmantelamento completo desta camada, cessando a drenagem do ar frio nas vertentes (OKE, 1993, p. 62).

Um dos factores que pode modificar o balanço de grande comprimento de onda local é a obstrução do horizonte (*sky view factor*) que representa uma razão geométrica, expressa pela fracção de radiação emitida por uma superfície e intersectada por outra (OKE, 1993, p. 351)⁽²⁾. Por este motivo, num povoamento vegetal de porte arbóreo, o arrefecimento radiativo é apenas eficiente acima da copa das árvores, enquanto no interior da folhagem e junto ao solo é muito menor, verificando-se, portanto, uma menor diminuição da temperatura.

O factor de obstrução do horizonte explica a redução do arrefecimento radiativo nocturno e, conseqüentemente, condiciona a drenagem do ar frio nas vertentes e a sua acumulação nos fundos dos vales.

2 – A DRENAGEM E A FORMAÇÃO DE LAGOS DE AR FRIO

Se a irradiação terrestre e as conseqüentes inversões térmicas, que se formam nas noites anticiclónicas, são as causas do arrefecimento radiativo junto ao solo, a gravidade é o principal motor da drenagem do ar frio.

O ar mais arrefecido começa lentamente a escoar pelas vertentes, pouco depois do pôr do Sol, período em que geralmente se começa a formar a inver-

(2) Essa razão varia entre 0, quando a porção de hemisfério acima do local está completamente obstruída e 1 quando, pelo contrário, não existe nenhum objecto a obstruir o hemisfério.

são térmica na base das vertentes, desenvolvendo-se durante a noite. A sua desapareção ocorre, primeiramente, nas vertentes expostas, pouco depois do nascer do Sol.

A drenagem do ar frio pulsa intermitentemente durante a noite. Segundo YOSHINO (1984), dependendo das condições do tempo e da topografia, o escoamento do ar frio ocorre frequentemente uma ou duas vezes entre o pôr do Sol e a meia-noite e duas ou três vezes entre a meia-noite e o nascer do Sol, coincidindo a última com a temperatura mínima (p. 236).

A intermitência da drenagem do ar frio pode, segundo FLEAGLE (1950), ser explicada pelo aumento de velocidade do ar que, ao descer a vertente, sofre um aquecimento adiabático, que retarda o fluxo. Como a velocidade do ar diminui, a fricção é reduzida, o arrefecimento radiativo incrementa a pressão e o ciclo repete-se.

YOSHINO *et al* (1981) explicam a ciclicidade do fluxo de ar frio devido apenas à fricção criada pelos obstáculos, como, por exemplo, a vegetação. Segundo o mesmo autor, o efeito de aquecimento adiabático é reduzido porque a espessura da camada de ar frio, que desce as vertentes, é normalmente pequena (p. 2).

Segundo NAKAMURA (1989, p. 90), a velocidade da drenagem do ar frio depende da velocidade e direcção do vento geral, da intensidade da inversão térmica junto ao solo, do efeito de fricção da superfície e do declive da vertente. A direcção do vento de gravidade, junto ao solo, nunca se desvia mais de 22,5° da linha de maior declive do terreno (NAKAMURA, 1976, p. 378).

Depois de cada fase de drenagem do ar frio (fig. 1), caracterizada por um abaixamento da temperatura, surgem localmente alguns núcleos de ar mais quente sobre o ar arrefecido, que possuem um movimento contrário ao escoamento do ar frio junto ao solo. GEIGER, já nos anos sessenta, havia notado que se formam circulações isoladas de ar nas encostas, pequenos remoinhos sobre o ar que se escoam pelas vertentes (GEIGER, 1980, p. 442-443).

Experiências levadas a cabo num vale da montanha Engaru (Hokkaido, Japão), referem que esta contracorrente de ar mais aquecido (*antidown slope wind*) surge como movimento compensatório do escoamento do ar mais frio, alimentando-o. Este facto, ainda não completamente esclarecido, poderá ser responsável por novo ciclo de escoamento do ar na vertente (NAKAMURA, 1976, p.387).

Segundo YOSHINO *et al* (1981, p. 13), as características da drenagem do ar frio em cada um dos sectores das vertentes e no vale, podem ser sumariadas como se segue:

– Os sectores mais elevados da vertente são áreas onde se gera o ar frio e se inicia a sua drenagem. Existe uma correlação positiva entre a velocidade

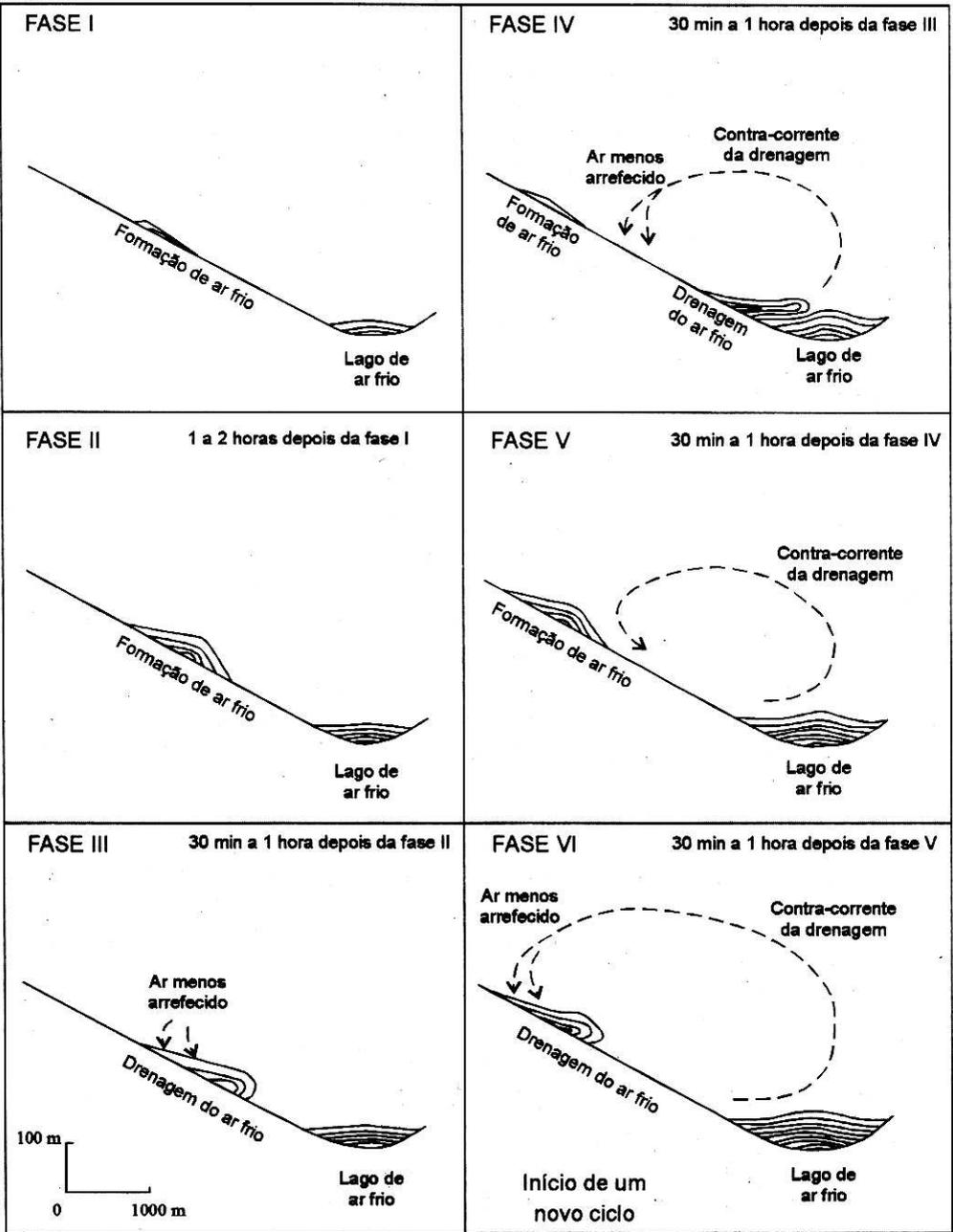


Figura 1 – Modelo de drenagem do ar frio, segundo NAKAMURA (1989). As linhas paralelas representam isotérmicas.

do vento e a temperatura. A temperatura do solo é mais baixa que a temperatura do ar.

– A meio da vertente, a drenagem do ar frio é caracterizada pelas mudanças de temperatura, direcção e velocidade do vento ao longo da noite. Depois da passagem do ar mais arrefecido, a temperatura aumenta ligeiramente, podendo-se formar uma cintura térmica.

– Na base da vertente gera-se uma contracorrente contrária à drenagem do ar frio. O ar que sobe encontra-se menos frio que o ar junto à superfície, que é arrefecido pela irradiação. A temperatura do ar correlaciona-se negativamente com a velocidade de drenagem do ar frio.

– No fundo dos vales e superfícies topograficamente deprimidas origina-se um lago de ar frio (*cold air lake*), caracterizado por uma forte inversão da temperatura (fig. 1).

A forma de alimentação deste lago de ar frio é um dos aspectos mais interessantes no conjunto deste sistema. Uma das questões que se levanta é a de saber se ele se forma exclusivamente pelo arrefecimento radiativo do fundo do vale, ou se também é alimentado pela drenagem do ar que escoia por gravidade; outra é a de determinar qual a relação entre a intermitência da drenagem e a periodicidade da acumulação de ar frio no fundo dos vales e depressões (NAKAMURA, 1989, p. 64). Para YOSHINO (1984, p. 249) o ar arrefecido por irradiação só irá alimentar o lago de ar frio se a temperatura a que se encontra for inferior à temperatura do fundo da depressão. Se se verificar o contrário, o ar frio da vertente sobrepõe-se ao lago, podendo alimentar a contracorrente de drenagem que sobe a vertente (fig.1).

A espessura do lago de ar frio atinge, frequentemente, cerca de um terço da altura das vertentes, correspondendo a sua parte superior ao limite da camada de inversão térmica junto ao solo (YOSHINO, 1984, p. 249). O lago poderá assim ter, em certos casos, um grande desenvolvimento vertical, se atendermos ao facto destas inversões térmicas poderem atingir várias centenas de metros (AOYAMA, 1986).

3 – A FORMAÇÃO DE CINTURAS TÉRMICAS NAS VERTENTES

Entre os topos e o lago de ar frio, forma-se, por vezes, sensivelmente a meio da vertente, uma cintura térmica (*thermal belt*), caracterizada por temperaturas ligeiramente mais elevadas que nos sectores referidos. Este fenómeno era já estudado no século passado pelos agricultores do estado da Carolina do Norte, que reconheciam, nas áreas onde se formavam cinturas térmicas, locais excelentes para plantar pomares e hortas, devido ao menor risco de geadas (YOSHINO, 1984, p. 239).

A posição e características da cintura térmica dependem essencialmente da geometria do vale (forma e declive das vertentes). Na generalidade, as diferenças térmicas entre o topo e a base da vertente são mais acentuadas nos vales em forma de berço, do que nos vales em forma de V. Localmente, em rechãs elevadas, poder-se-á observar a retenção do ar frio, formando lagos de ar frio de pequenas dimensões.

De acordo com NAKAMURA (1989) cada ciclo de drenagem repete-se quatro a cinco vezes por noite (fig. 1).

II – AS EXPERIÊNCIAS DE CAMPO NA REGIÃO DE OEIRAS

Para conhecer o sistema de drenagem e acumulação de ar frio foram escolhidos dois sectores do vale de Barcarena, em Oeiras, contrastados sob o ponto de vista morfológico: o primeiro junto à localidade de Barcarena e o segundo mais a jusante, junto a Laveiras (fig. 2). Em ambos foram efectuadas medições nocturnas (em 21 de Janeiro de 1993, em Barcarena e em 5 de Fevereiro, do mesmo ano, em Laveiras), tendo-se recolhido valores de temperatura e direcção e velocidade do vento, às 22, 0, 2, 4, 6 e 8 horas (LOPES, 1994).

As duas noites foram anticiclónicas, com vento fraco e sem nebulosidade, reunindo as condições meteorológicas para a ocorrência de drenagem e acumulação de ar frio no fundo do vale.

Junto a Barcarena, o vale tem um perfil transversal simétrico, com forma de V (fig. 4) e localiza-se a cerca de 4 km do rio Tejo. As vertentes são ocupadas por vegetação herbácea e os declives não ultrapassam 13°. Não há praticamente nenhuma influência do casario que se expande das duas localidades próximas, Barcarena e Leceia.

O sector escolhido na parte vestibular do vale localiza-se a cerca de 1 km do Tejo. O perfil do vale tem uma forma de berço (fig. 6) e os declives das vertentes são inferiores aos do perfil de Barcarena (entre 5° e 8° de inclinação).

O topo da vertente leste é ocupado com vegetação arbórea, que pertence à mata do Estádio Nacional, enquanto o sector inferior da vertente oeste e o fundo do vale da ribeira são ocupados por casas térreas ou prédios de poucos andares da povoação de Laveiras. Nas restantes áreas a ocupação do solo é constituída por vegetação herbácea.

I – O VENTO E A DRENAGEM DO AR FRIO NO VALE DE BARCARENA

Para ilustrar a drenagem do ar frio no vale de Barcarena, apresentam-se os resultados da campanha de medições da noite de 5 de Fevereiro de 1993, efectuada junto a Laveiras, com vento geral de Norte e Nordeste (fig. 3).

A velocidade do vento inferior a 0,2 m/s, e a sua direcção (aproximadamente no mesmo sentido da maior inclinação da superfície) mostram que a drenagem ocorreu praticamente durante toda a madrugada, nos sectores intermédios das vertentes. No topo ocidental (o mais elevado, a cerca de 100 m de altitude) impera, pelo contrário, o vento de gradiente mais forte (entre 1 e 5 m/s), não se verificando a drenagem do ar frio. O limite entre estes dois

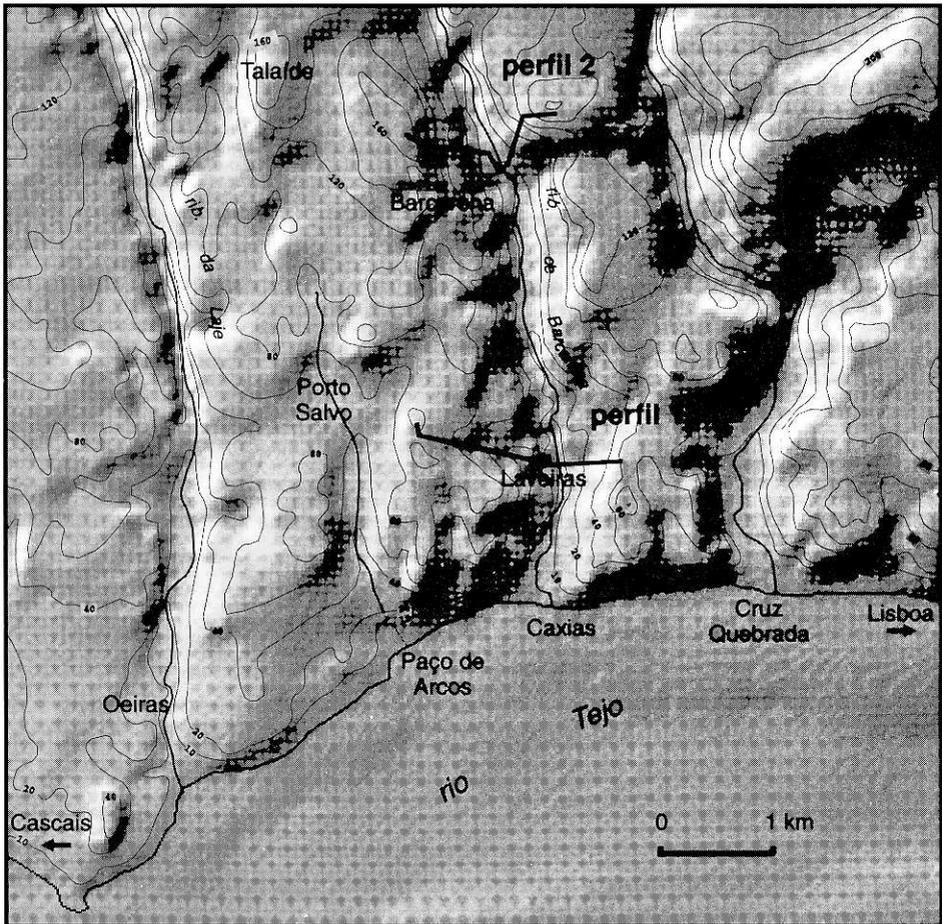
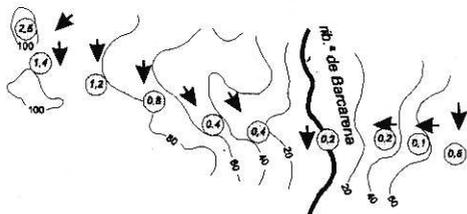
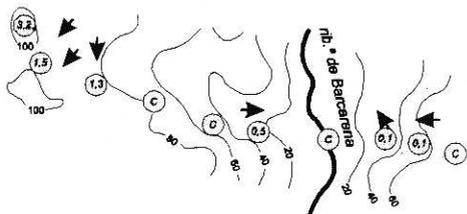


Figura 2 – Localização dos perfis de medição da temperatura e do vento.

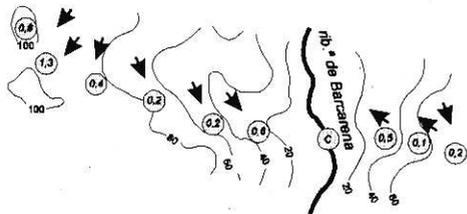
22 h



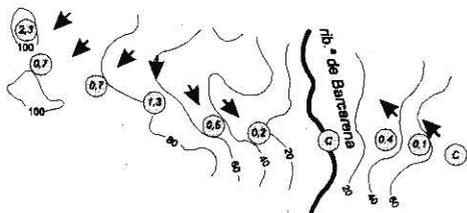
0 h



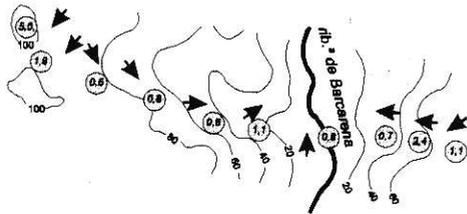
2 h



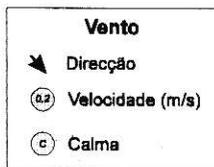
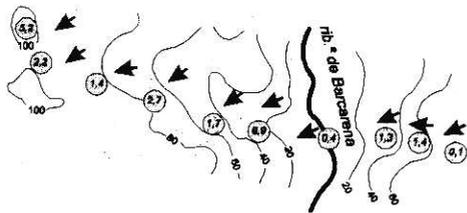
4 h



6 h



8 h



0 260 m

Figura 3 – Direcção e velocidade do vento na madrugada de 5 de Fevereiro de 1993, junto a Laveiras (perfil 1).

sistemas (vento de gradiente e drenagem) fixa a cota máxima da origem do ar frio que alimenta a drenagem a cerca de 80 m de altitude.

No final da madrugada todo este sistema é desmantelado. Às 8 horas, o vento de gradiente (de nordeste) instala-se em todo o vale (fig. 3), excepto no topo da vertente oriental, onde a vegetação impede a sua penetração (0,1m/s).

2 – CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DO VALE DE BARCARENA: LAGOS DE AR FRIO E CINTURAS TÉRMICAS

Os dois exemplos, que a seguir se apresentam, são elucidativos das características térmicas do sistema de drenagem do ar frio. Foi possível verificar experimentalmente o carácter intermitente deste fenómeno ao longo da noite, assim como a dissimetria térmica dos lagos de ar frio, formulando-se uma hipótese quanto à sua alimentação.

No início da noite de 20 de Janeiro de 1993, junto a Barcarena (fig. 2, perfil 2), a acumulação do ar frio no fundo do vale era já visível, embora o lago ainda não se encontrasse bem desenvolvido (fig. 4).

Os locais menos frios (10 a 11°C) eram os sectores intermédios das vertente, formando-se aí uma pequena cintura térmica, e o topo ocidental onde o vento de Nordeste soprava com maior intensidade (3 m/s). Como se referiu anteriormente, os sectores mais elevados das vertentes são áreas onde existe uma correlação positiva entre a velocidade do vento e a temperatura.

À meia-noite, um lago de ar frio já se encontrava bem desenvolvido no fundo do vale de Barcarena. Como se pode observar na figura 4, o seu núcleo mais frio (4,6°C) não coincidia com o local topograficamente mais deprimido, encontrando-se ligeiramente desviado para leste. Este fenómeno decorre do comportamento térmico diferenciado das duas vertentes (fig. 5): na parte ocidental do vale não há drenagem intensa do ar frio, facto comprovado pelo aumento gradual da temperatura da base até ao topo e pela ausência de vento nas áreas que são fonte do ar frio (40-80 m); na vertente leste ocorria a drenagem do ar frio, comprovada pelo declive acentuado da curva da temperatura entre 50 e 80 m. Uma alimentação de ar frio diferenciada poderá estar na origem da dissimetria do lago anteriormente descrita.

Às 2 horas o lago de ar frio encontrava-se novamente pouco desenvolvido, confinando-se ao fundo do vale (fig. 4). O gradiente térmico entre 35 e 50 m (fig. 5) era, no entanto, elevado (cerca de 3°C), existindo acima deste nível uma camada de ar isotérmica, que formava uma cintura térmica bem desenvolvida, com cerca de 80 m de altura.

Uma nova fase de drenagem do ar frio mais intensa ocorreu cerca das 4 horas, para duas horas mais tarde o lago de ar frio atingiu novamente a sua altura máxima (cerca de 50 m), com a chegada do ar mais arrefecido das vertentes.

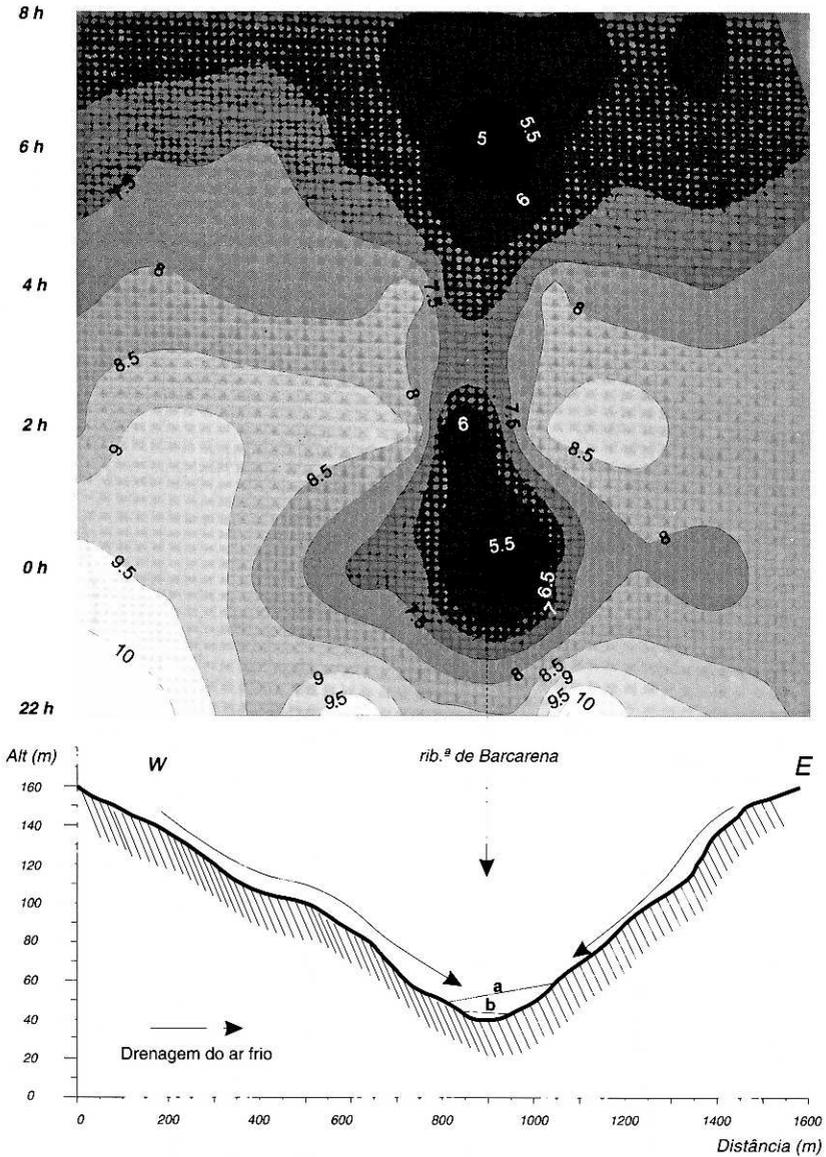


Figura 4 – Evolução da temperatura do ar na madrugada de 21 de Janeiro de 1993 no vale de Barcarena, junto a Barcarena (perfil 2).
 a – limite superior do lago de ar frio às 0 e às 6 h.
 b – limite superior do lago de ar frio às 2 e às 4 h.

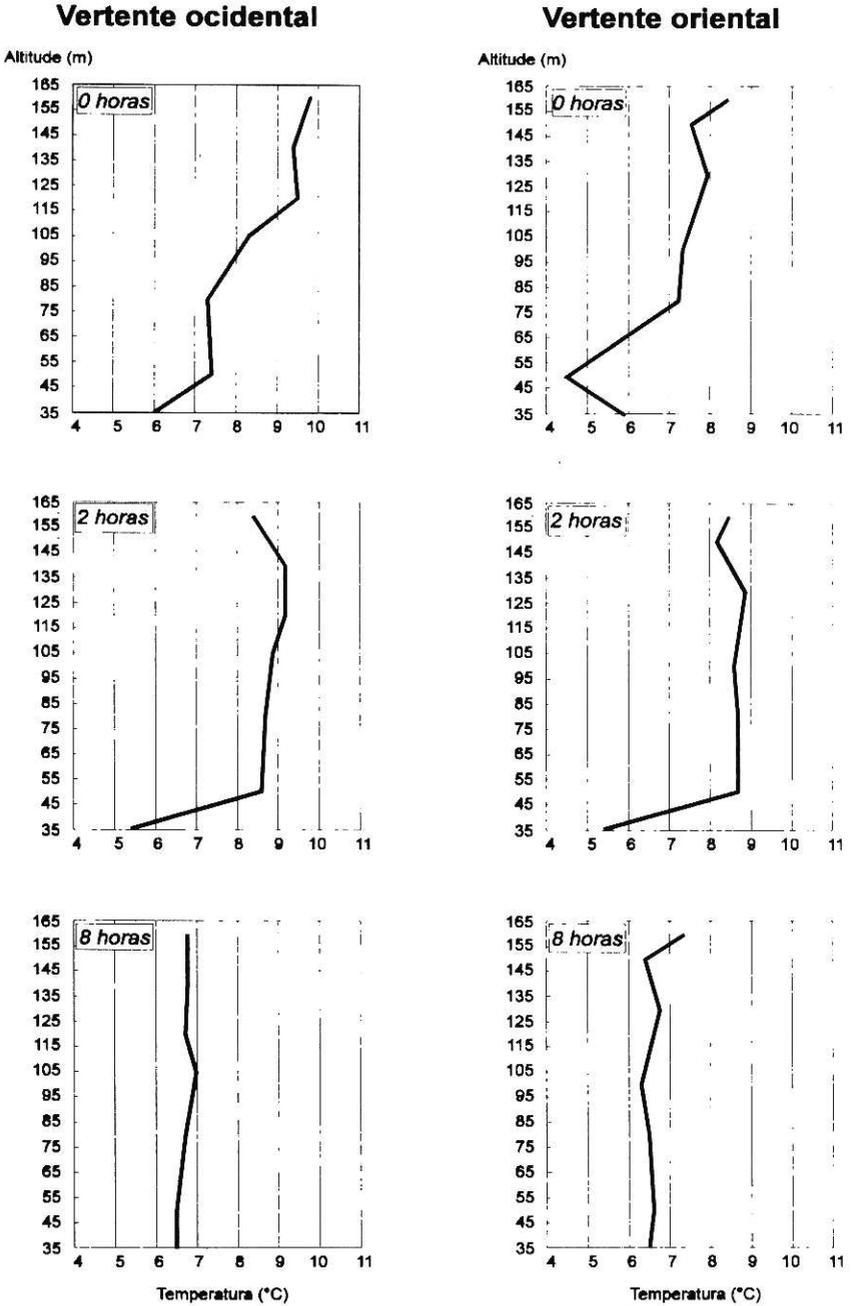


Figura 5 – Temperatura do ar nas vertentes do vale de Barcarena, junto a Barcarena (perfil 2), na madrugada de 21 de Janeiro de 1993.

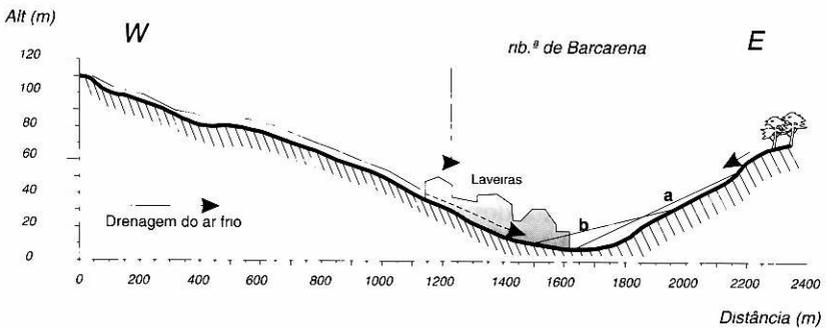
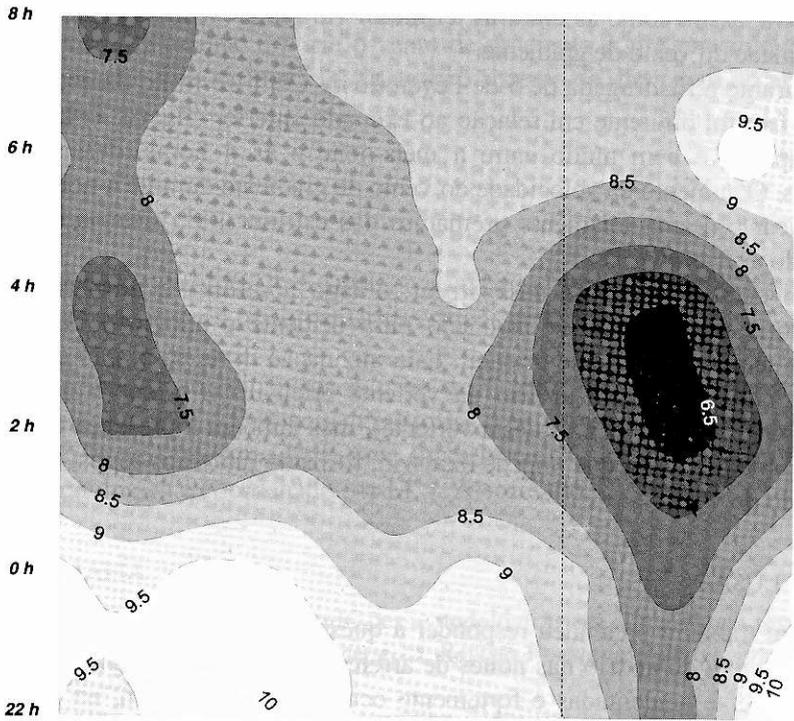


Figura 6 – Evolução da temperatura do ar na madrugada de 5 de Fevereiro 1993 no vale de Barcarena, junto a Laveiras (perfil 1).
 a – limite superior do lago de ar frio às 2 h.
 b – limite superior do lago de ar frio às 4 h.

No final da madrugada a isotermy é quase perfeita nas duas vertentes (fig. 5), desaparecendo por completo o lago de ar frio e a drenagem que o alimentava, assim como as cinturas térmicas. Tal facto decorreu do aumento da velocidade do vento de gradiente.

Durante a madrugada de 5 de Fevereiro de 1993⁽³⁾ o ritmo da acumulação de ar frio foi diferente em relação ao exemplo anterior (fig. 6). O lago de ar frio apenas é bem nítido entre a meia-noite e as 4 horas, desaparecendo depois. O aumento da velocidade do vento de gradiente durante a noite poderá justificar o desmantelamento prematuro das estruturas do sistema de drenagem do ar frio.

No entanto, antes de desaparecer, o lago apresentava uma dissimetria estrutural, encontrando-se inclinado para ocidente e atingindo uma maior altura sempre na vertente oriental. Esta inclinação dever-se-á, não só, a uma maior alimentação em ar frio na vertente oriental (as temperaturas foram cerca de 1° C mais baixas nesta vertente), mas também à presença do núcleo urbano de Laveiras, que impede o ar frio, formado junto aos topos, de atingir o fundo do vale.

CONCLUSÃO

Este trabalho pretendeu responder a questões relacionadas com o sistema de drenagem do ar frio nas noites de arrefecimento radiativo, em áreas topograficamente acidentadas e fortemente ocupadas pelo homem, na região de Oeiras.

Uma análise cuidada permitiu verificar, não só o carácter intermitente da drenagem, como a diferenciação das estruturas térmicas durante duas noites anticiclónicas do Inverno de 1993.

Uma das principais conclusões a que se chegou é que os lagos de ar frio, que se formam nas áreas topograficamente mais deprimidas, têm uma dupla alimentação: através do arrefecimento do ar formado *in situ*, por irradiação e, por outro lado, devido ao ar frio que se forma nos sectores superiores das vertentes drenado pela força da gravidade.

As variações na espessura dos lagos de ar frio é devida à maior ou menor intensificação da drenagem e à rugosidade do solo.

Uma alimentação diferenciada das vertentes em ar frio e a existência de obstáculos como, por exemplo, um núcleo urbano, são factores que condicionam a inclinação do lago, podendo este atingir alturas diferentes nas duas encostas do vale.

⁽³⁾ O vento soprou fraco de Nordeste (inferior a 3 m/s) nos topos desabrigados, aumentando no início da manhã para 5 m/s,

Quando o lago de ar frio fica confinado ao fundo do vale ocorrem cinturas térmicas mais desenvolvidas em altitude, mostrando a relação estreita entre os vários elementos deste sistema.

A partir do momento em que o vento de gradiente sopra em todo o vale, normalmente no final da madrugada, todo o sistema de drenagem do ar frio é desmantelado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às Prof.^{as} Dr.^{as} Suzanne Daveau, Maria Eugénia Moreira e Maria João Alcoforado os comentários críticos ao texto original.

Esta investigação foi levada a cabo no âmbito do Projecto "Imagens e Representações para o Ordenamento Biofísico em Ambiente Urbano: Lisboa" PBIC/C/CEN/1051/92, subsidiado pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica e coordenado por M. J. Alcoforado.

BIBLIOGRAFIA

- ALCOFORADO, M. J. (1978) – Reflexões metodológicas em climatologia regional e local (aspectos térmicos). *Finisterra. Revista Portuguesa de Geografia*, XIII (25): 108-120.
- ALCOFORADO, M. J. (1985) – Dois exemplos de utilização de termografias obtidas de avião. Comunicação apresentada ao *Primeiro Seminário sobre Cartografia Temática e Cadastral*, L.N.E.C., Lisboa, 22 p. (Polic.).
- ALCOFORADO, M. J.; E. ANDRADE; M. NEVES; G. VIEIRA (1993) – Climas locais da Arrábida no Inverno. *Finisterra. Revista Portuguesa de Geografia*, XXVIII (55-56): 215-228.
- AOYAMA T. (1986) – On the development processes of the ground inversion and the nocturnal wind system in Inawasiro basin, Northeast Japan. *Japanese Progress in Climatology, Japan Clima. Seminar*: 1-5.
- FLEAGLE, R. G. (1950) – A theory of air drainage. *Journal of Meteorology*, 7: 227-232.
- GEIGER, R. (1980) – *Manual de microclimatologia, o clima da camada de ar junto ao solo*. (Ed. portuguesa traduzida a partir da 4ª ed. alemã de 1961). Fund. Cal. Gulbenkian, Lisboa. 556 p.
- GEIGER, R.; R. ARON; P. TODHUNTER (1995) – *The climate near the ground*. Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 528 p.
- LOPES, A. (1994) – *Padrões térmicos do clima local na região de Oeiras*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Regional, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 220 p.

- NAKAMURA, K. (1976) – The nocturnal cold air drainage and distribution of air temperature on the gentle slope. *Geographical Review of Japan*, 49 (6): 380-387.
- NAKAMURA, K. (1989) – Local climatological study of the nocturnal cold air drainage on the mountain slope. *Bulletin of Dohoto University, General Education*, 8: 53-145.
- OKE, T. R. (1993) – *Boundary layer climates*. Routledge, London, 435 p.
- YOSHINO, M. M. (1984) – Thermal belt and cold air drainage on the mountain slope and cold air lake in the basin at quiet, clear night. *Geojournal*, 8(3):235-250.
- YOSHINO, M. M.; M. TANAKA; K. NAKAMURA (1981) – Formation of a cold air lake and it's effects on agriculture. *Journal of Natural Disaster Science*, 3 (2): 1-14.