

Olga Sandra Moreira de Pinho

**A INTERACÇÃO
SER HUMANO - CLIMA DE AVEIRO:**

*** A ILHA DE CALOR URBANA**

*** O CONFORTO CLIMÁTICO E A SAÚDE HUMANA**

universidade de aveiro

Dissertação submetida à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de
Mestre em Ciências das Zonas Costeiras

Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Abril 1997



RESUMO

É objectivo desta tese analisar dois aspectos das interacções entre o Clima e o Homem, na região de Aveiro:

- a influência do ser humano no seu “habitat climático urbano” - estudo da ilha de calor urbana;
- a influência do clima no ser humano, no âmbito da biometeorologia - análise do conforto climático humano e análise da variação sazonal da mortalidade e da morbilidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em relação com as variáveis meteorológicas.

Os estudos realizados, através de medições itinerantes da temperatura do ar (segundo percursos predefinidos entre o meio rural, o meio urbano, e o meio lagunar - Ria), permitiram concluir que, na cidade de Aveiro, se desenvolve uma **Ilha de Calor Urbana** (porção do espaço urbano em que a temperatura do ar é mais elevada do que nos arredores rurais próximos), cuja *Intensidade* (diferença máxima entre a temperatura do ar urbana e rural) pode atingir os 7,5°C.

A forma e a intensidade da ilha de calor de Aveiro respondem à interacção dos 3 principais factores que a condicionam: as *Condições Meteorológicas* (a intensidade da ilha de calor é máxima quando o céu está totalmente descoberto e não há vento, e é mínima em situações de instabilidade da atmosfera, vento e nebulosidade fortes, ocorrência de precipitação); a *Morfologia Urbana* (as zonas mais quentes da cidade são as de maior densidade e altura de edifícios, sem espaços verdes e com intensa actividade antrópica geradora de calor - tráfego, comércio, serviços); a *Proximidade à Laguna Costeira - Ria* (é evidente a importante influência da Ria, que bordeja a cidade a NW e a W, na amenização da temperatura do ar desta cidade costeira).

É, ainda, realçada a possível influência da ilha de calor urbana no conforto e na saúde dos seus habitantes e a importância do planeamento urbano na mitigação/prevenção da ilha de calor do ponto de vista urbano e de ambiente humano.

A aplicação do **Índice de Conforto Climático** a Aveiro, no período de 1985 a 1995, indica que esta cidade é bastante confortável climaticamente, sendo a maior parte dos dias *Suaves*, logo seguidos pelos dias *Frescos*. Os Invernos são *Frios*, as Primaveras e Outonos *Frescos* a *Suaves* e os Verões *Quentes* a *Suaves*, não se registando, em média, valores extremos de desconforto (*Muito Frio*, *Muito Quente*, *Abafadiço*).

É realçado o facto destes resultados corresponderem à zona peri-urbana, onde o impacto da ilha de calor é ténue e o conforto climático é próximo do natural, supondo-se que, dentro da cidade, no “cume” da ilha de calor, as condições de conforto podem ser ligeiramente superiores no Inverno, mas, no Verão, são provavelmente degradadas.

O estudo das flutuações da **Mortalidade e Morbilidade por doenças respiratórias e cardiovasculares** com os elementos climáticos foi realizado através da análise estatísticas das séries temporais (entre 1990 e 1995): análise gráfica, análise de correlação/regressão, análise espectral (FFT) e análise de classificação. Verifica-se que tanto a mortalidade como a morbilidade apresentam uma sazonalidade marcada (com períodos de oscilação anuais, semestrais e trimestrais), com um máximo nos meses de Inverno, seguido pelo Outono e Primavera e um mínimo nos meses de Verão.

As maiores mortalidade e morbilidade correlacionam-se bem com as condições climáticas prevalecentes no Inverno, de onde se destacam as baixas temperaturas e os baixos índices de conforto climático, o que vem apoiar a possível influência da ilha de calor urbana, por intermédio da sua acção no conforto, na saúde dos seus habitantes. É, igualmente, notado que a grande humidade relativa que se verifica na região se encontra particularmente associada às frequentes afecções respiratórias em Aveiro.

ABSTRACT

It is the aim of this thesis to investigate two aspects of the interaction between human beings and the climate in the region of Aveiro: the influence of human beings on their urban climatic environment and, conversely, the influence of the climate on human beings. The former has involved the study of the urban heat island in Aveiro and the latter has been concerned with biometereology, the analysis of human climatic comfort, the analysis of seasonal variations of mortality and morbidity due to respiratory and cardiovascular diseases, and its relation to the meteorological variables .

The investigation has been carried out by means of itinerant measurements of air temperature according to pre-defined routes through the rural, the urban , and the lagoon areas. This has led to the conclusion that in the city of Aveiro develops an **Urban Heat Island**, with an intensity that can reach 7,5°C. This phenomena consists of a part of the urban space where the air temperature is higher than in its near rural suburbs, its intensity being the maximum difference between the city air temperature and that of the rural suburbs.

The shape and intensity of the heat island of Aveiro responds to the interaction of three main factors that condition it. The first factor is the meteorological conditions, i. e., the intensity of the heat island reaches its maximum when the sky is completely clear and there is no wind and it reaches its minimum when the atmosphere is unstable with strong wind, cloudy sky and the occurrence of precipitation. The second factor is urban morphology, i. e., the warmest zones of the city are the ones with the greater levels of building height and building density, with no green spaces and with intense heat-generating human activity such as traffic, commerce or services. The third factor is the proximity of the coastal lagoon, i.e., the important influence of the "Ria" that borders the city in the NW and the W in the rendering mild of the air temperature of the city. Furthermore, the possible influence of the urban heat island in the comfort and health of its inhabitants, as well as the importance of urban planning in the reduction and prevention of this phenomena, has been highlighted from both the urban point of view and that of the human environment.

The application of the **Climatic Comfort Indices** to the city of Aveiro from 1985 to 1995 has indicated that this city is climatically comfortable, being most days of those years mild, closely followed by the cool days. The winters are cold, the springs and autumns are cool to mild and the summers are mild to warm , not having been registered, on average, extreme values of discomfort (hot, very hot or very cold). It is stressed that these results correspond to the peri-urban zone, where the impact of the heat island is tenuous and the climatic comfort is close to the natural one. It is assumed that inside the town , at the "peak" of the heat island , the comfort conditions can be slightly superior in the winter, but in summer are probably degraded.

The study of the fluctuations in **Mortality and Morbidity due to respiratory and cardiovascular diseases** has been made through statistical analysis of temporal series (between 1990 and 1995): graphic analysis, correlation/regression analysis, spectral analysis (FFT) and classification analysis. It has been verified that both mortality and morbidity present a marked seasonality , with oscillation periods that can be annual, semestral and trimestral, reaching a maximum in the winter months followed by autumn and spring and reaching a minimum in the summer months. The higher mortality and morbidity is highly correlated to the prevailing climatic conditions of winter, of which the low temperatures and the low levels of climatic comfort are worth noting. This provides support for the possible influence of the urban heat island on the comfort and health of its inhabitants. It is equally worth noting that the high levels of relative humidity observed in the region are particularly associated with the frequent respiratory affections in Aveiro.

ÍNDICE

| | Pág. |
|--|-----------|
| Agradecimentos | I |
| Resumo/Abstract | II |
| Lista de Figuras | VI |
| Lista de Tabelas | VIII |
| | |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| | |
| PARTE I - A ILHA DE CALOR DE AVEIRO | 2 |
| | |
| I - INTRODUÇÃO: Conceitos, Características e Efeitos da ilha de calor urbana | 3 |
| I.1 - Definição e historial | 3 |
| I.2 - Causas da ilha de calor urbana | 4 |
| I.3 - Aspectos gerais da ilha de calor urbana | 8 |
| I.3.1 - Intensidade da ilha de calor | 8 |
| I.3.2- Ritmo temporal da intensidade da ilha de calor | 8 |
| I.3.2.1 - Ritmo diário | 8 |
| I.3.2.2 - Ritmo estacional | 9 |
| I.3.2.3 - Ritmo semanal | 9 |
| I.4 - Condicionantes da ilha de calor urbana | 10 |
| I.4.1 - Influência da situação sinóptica e do tipo de tempo | 10 |
| I.4.2 - Vento | 11 |
| I.4.3 - Topografia | 11 |
| I.4.4 - Distância ao mar | 12 |
| I.4.5 - Espaços verdes e espaços edificados | 12 |
| I.4.6 - Tamanho e desenvolvimento da cidade | 12 |
| I.4.7 - Actividades antrópicas | 13 |
| I.5 - Forma da ilha de calor urbana | 13 |
| I.6 - Efeitos da ilha de calor urbana | 14 |
| I.7 - Outros aspectos do clima urbano | 16 |
| I.8 - Novos meios para estudar a ilha de calor urbana | 18 |
| I.9 - Soluções para arrefecer as cidades | 18 |
| I.10 - Conclusão | 19 |
| | |
| II - PARTE EXPERIMENTAL | 20 |
| II.1 - Caracterização geral da área estudada | 20 |
| II.1.1 - Clima Regional | 20 |
| II.1.2 - Localização | 23 |
| II.1.3 - Estrutura urbana | 28 |
| II.2 - Amostragem | 31 |
| II.2.1 - Material | 31 |
| II.2.2 - Métodos | 34 |
| II.2.2.1 - Observações preliminares | 34 |
| II.2.2.2 - Medições Itinerantes | 35 |
| II.2.2.3 - Dados climáticos | 38 |
| II.3 - Metodologia de Análise | 38 |
| II.3.1 - Correção dos dados de temperatura do ar | 38 |
| II.3.2 - Elaboração de perfis térmicos e mapas de isotérmicas | 39 |
| II.3.3 - Análise estatística dos factores condicionantes da ilha de calor urbana | 39 |
| II.3.3.1 - Análise de Correlação | 39 |
| II.3.3.2 - Análise de Regressão | 42 |
| II.3.3.3 - Análise de Classificação | 42 |
| II.3.4 - Análise dos mapas de isotérmicas e dos factores condicionantes da ilha de calor | 42 |
| II.3.5 - Programas utilizados | 43 |

| | |
|---|-----|
| III - RESULTADOS E DISCUSSÃO | 44 |
| III.1 - Observações preliminares | 44 |
| III.2 - Medições itinerantes - 1ª fase | 45 |
| III.3 - Medições itinerantes - 2ª fase | 47 |
| III.3.1 - Energia radiante do solo (medição por infravermelhos) | 47 |
| III.3.2 - Distribuição da temperatura do ar - Ilha de Calor Urbana | 50 |
| III.3.2.1 - Análise estatística da influência das variáveis geográficas | 50 |
| III.3.2.2 - Análise estatística da influência das variáveis meteorológicas | 52 |
| III.3.2.3 - Padrão de distribuição da temperatura relativa do ar no espaço | 58 |
| III.3.2.4 - Padrão de distribuição da temperatura relativa do ar no tempo | 59 |
| III.3.2.5 - A forma e a intensidade da ilha de calor de Aveiro - mapas de isotérmicas | 62 |
| IV - CONCLUSÃO | 82 |
| PARTE II - A RELAÇÃO ENTRE O CLIMA, O CONFORTO E A SAÚDE | 85 |
| I - INTRODUÇÃO: A influência do clima no ser humano | 86 |
| I.1 - A Bioclimatologia Humana | 86 |
| I.2 - A Percepção climática colectiva | 86 |
| I.3 - O Clima e o Conforto Humano | 87 |
| I.3.1 - O balanço térmico humano | 87 |
| I.3.2 - A fisiologia da termorregulação | 88 |
| I.3.3 - A subjectividade da percepção térmica | 89 |
| I.3.4 - O conforto térmico humano | 90 |
| I.3.5 - A quantificação do conforto térmico | 90 |
| I.4 - O Clima e a Saúde Humana | 91 |
| I.4.1 - Referências históricas | 91 |
| I.4.2 - Morbilidade e Sazonalidade | 92 |
| I.4.3 - Mortalidade e Sazonalidade | 95 |
| II - PARTE EXPERIMENTAL | 96 |
| II.1 - Fontes de Dados | 96 |
| II.1.1 - Dados Clínicos | 96 |
| II.1.2 - Dados Climáticos | 97 |
| II.2 - Metodologia de Análise | 97 |
| II.2.1 - Quantificação do conforto climático de Aveiro | 97 |
| II.2.2 - Análise da influência do clima na morbilidade e mortalidade | 99 |
| II.2.2.1 - Selecção do dados | 99 |
| II.2.2.1 - Análise estatística | 99 |
| II.2.3 - Programas utilizados | 101 |
| III - RESULTADOS E DISCUSSÃO | 102 |
| III.1 - Índice de conforto climático de Aveiro | 102 |
| III.2 - Influência do clima na morbilidade e mortalidade | 105 |
| III.2.1 - Sazonalidade da morbilidade em Aveiro | 105 |
| III.2.2 - Sazonalidade da mortalidade em Aveiro | 109 |
| III.2.3 - Sazonalidade dos elementos climáticos | 112 |
| III.2.4 - A interacção entre a sazonalidade climática e a sazonalidade da mortalidade | 115 |
| III.2.5 - A interacção entre a sazonalidade climática e a sazonalidade da morbilidade | 119 |
| IV - CONCLUSÃO | 124 |
| CONCLUSÕES | 126 |
| Referências | 128 |
| Anexos | 134 |

LISTA DE FIGURAS

| FIGURA | Pág. |
|---|------|
| I.I.1 - Diagrama esquemático evidenciando os fluxos de energia modificados pelo ambiente urbano. | 4 |
| I.I.2 - Distribuição da água pluvial nas superfícies urbanas e nas rurais. | 5 |
| I.I.3 - Efeitos das superfícies horizontais e verticais na radiação solar incidente. | 6 |
| I.I.4 - Perfil térmico típico de uma ilha de calor. | 14 |
| | |
| I.II.1 - Localização da cidade de Aveiro na planta geral da Ria de Aveiro. | 23 |
| I.II.2 - Vista aérea sobre a cidade de Aveiro e seu meio envolvente. | 24 |
| I.II.3 - Cidade de Aveiro e meio envolvente. Escala: 1/29 000. | 25 |
| I.II.4 - Estrutura da cidade de Aveiro - Rede Viária e Edificado. Escala: 1/25 000 | 26 |
| I.II.5 - Estrutura da cidade de Aveiro - Altimetria, Canais, Linhas de água e Espaços verdes. Escala: 1/25 000. | 27 |
| I.II.6 - Principais espaços urbanos da cidade de Aveiro: Arredores Rurais, Espaços Ajardinados, Zonas Amplas, Bairro Antigo, Zonas Habitacionais, Comercial Antigo, CBD. Escala: 1/29000. | 29 |
| I.II.7 - Zonas de maior trânsito automóvel em Aveiro. Escala: 1/29 000 | 30 |
| I.II.8 - Estação meteorológica portátil, enquanto esteve estacionada na Avenida Dr. Lourenço Peixinho. | 32 |
| I.II.9 - Transdutor de temperatura por infravermelhos - modelo 4000. 4GL. Sensor da temperatura do ar dentro do cilindro metálico que o protege. Datataker 50 - Data Logger | 32 |
| I.II.10 - Datataker 50 - Data Logger. | 33 |
| I.II.11 - Posição do Sensor da temperatura do ar e do Transdutor de temperatura por infravermelhos, no automóvel, durante as medições itinerantes. | 33 |
| I.II.12 - Localização das estações meteorológicas portáteis durante as observações preliminares. Escala: 1/38 000. | 34 |
| I.II.13 - Pontos das medições itinerantes da 1ª Fase. Escala: 1/25 000. | 36 |
| I.II.14 - Pontos das medições itinerantes da 2ª Fase. Escala: 1/25 000. | 37 |
| | |
| I.III.1 - Variação da temperatura do ar em dois locais de Aveiro: CBD e Zona do Parque. | 44 |
| I.III.2 - Variação do rumo do vento em dois locais de Aveiro: CBD e Zona do Parque. | 44 |
| I.III.3 - Variação da velocidade do vento em dois locais de Aveiro: CBD e Zona do Parque. | 44 |
| I.III.4 - Perfil térmico de Aveiro - 1ª fase de medições itinerantes. | 46 |
| I.III.5 - Perfil térmico de Aveiro em 9 e 14 de Agosto de 1996. | 45 |
| I.III.6 - Perfil térmico de Aveiro - Temperaturas médias relativas do ar e do solo. | 48 |
| I.III.7 - Distribuição espacial da temperatura do solo em dias de diferentes condições atmosféricas. | 47 |
| I.III.8 - Distribuição das noites segundo a cobertura nebulosa e a intensidade da ilha de calor. | 53 |
| I.III.9 - Distribuição das noites segundo a situação sinóptica e a intensidade da ilha de calor. | 53 |
| I.III.10 - Distribuição das noites segundo a velocidade do vento a 1,5 m e a intensidade da ilha de calor. | 55 |
| I.III.11 - Distribuição das noites segundo o rumo do vento a 1,5m e a intensidade da ilha de calor. | 56 |
| I.III.12 - Diagrama de classificação dos diversos pontos da cidade e arredores segundo as temperaturas do ar. | 58 |
| I.III.13 - Classificação das diversas noites de ilha de calor segundo a intensidade, cobertura nebulosa e rumo do vento. | 59 |
| I.III.14 - A Ilha de Calor de Aveiro - Mapas de Isotérmicas - Grupo A | 62 |
| I.III.15 - A Ilha de Calor de Aveiro - Mapas de Isotérmicas - Grupo B | 77 |

| | |
|--|-----|
| II.III.1 - Percentagem anual de duração de sensações climáticas médias. | 102 |
| II.III.2 - Cronograma do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças respiratórias. | 106 |
| II.III.3 - Plexograma mensal do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças respiratórias. | 106 |
| II.III.4 - Plexograma estacional do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças respiratórias. | 106 |
| II.III.5 - Cronograma do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças cardiovasculares. | 107 |
| II.III.6 - Plexograma mensal do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças cardiovasculares. | 107 |
| II.III.7 - Plexograma estacional do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças cardiovasculares. | 107 |
| II.III.8 - Cronograma do número de episódios de internamento, no hospital distrital de Aveiro, por doenças respiratórias, por sexo. | 108 |
| II.III.9 - Plexograma mensal do número de episódios de internamento, no hospital distrital de Aveiro, por doenças respiratórias, por sexo. | 108 |
| II.III.10 - Plexograma estacional do número de episódios de internamento, no hospital distrital de Aveiro, por doenças respiratórias. | 108 |
| II.III.11 - Cronograma do número total de óbitos por doenças do sistema respiratório e circulatório, na área do Baixo Vouga. | 109 |
| II.III.12 - Plexograma mensal do número total de óbitos por doenças do sistema respiratório e circulatório, na área do Baixo Vouga. | 109 |
| II.III.13 - Cronograma do número de óbitos por doenças do sistema circulatório, na área do Baixo Vouga. | 110 |
| II.III.14 - Plexograma mensal do número de óbitos por doenças do sistema circulatório, na área do Baixo Vouga. | 110 |
| II.III.15 - Plexograma estacional do número de óbitos por doenças do sistema circulatório, na área do Baixo Vouga. | 110 |
| II.III.16 - Cronograma do número de óbitos por doenças do sistema respiratório, na área do Baixo Vouga. | 111 |
| II.III.17 - Plexograma mensal do número de óbitos por doenças do sistema respiratório, na área do Baixo Vouga. | 111 |
| II.III.18 - Plexograma estacional do número de óbitos por doenças do sistema respiratório, na área do Baixo Vouga. | 111 |
| II.III.19 - Plexograma mensal das temperaturas mínima, média e máxima, em Aveiro. | 112 |
| II.III.20 - Plexograma mensal do índice de conforto (Tb), em Aveiro. | 112 |
| II.III.21 - Plexograma mensal da precipitação, em Aveiro. | 113 |
| II.III.22 - Plexograma mensal da velocidade média do vento, em Aveiro. | 113 |
| II.III.23 - Plexograma mensal da pressão atmosférica, em Aveiro. | 114 |
| II.III.24 - Plexograma mensal da humidade relativa, em Aveiro. | 114 |
| II.III.25 - Diagrama de classificação dos elementos climáticos e da mortalidade por doenças respiratórias e circulatórias segundo os respectivos períodos de maior densidade espectral. | 117 |
| II.III.26 - Diagrama de classificação dos elementos climáticos e da morbilidade por doenças respiratórias e cardiovasculares segundo os respectivos períodos de maior densidade espectral. | 122 |

LISTA DE TABELAS

| TABELA | Pág. |
|--|------|
| I.I.1 - Consequências do fenómeno urbano no comportamento de alguns elementos climáticos. | 16 |
| I.I.2 - Alterações de alguns parâmetros climatológicos nos meios urbanos. | 16 |
| I.II.1 - Estações do ano e respectivos meses e temperaturas médias em Aveiro. | 20 |
| I.II.2 - Meses do ano e respectivas horas de insolação médias mensais em Aveiro. | 21 |
| I.II.3 - Épocas do ano e respectivos meses, percentagem de precipitação anual e situação sinóptica frequente, em Aveiro. | 21 |
| I.II.4 - Principais espaços urbanos da cidade de Aveiro e suas características. | 28 |
| I.II.5 - Classificação da ilha de calor consoante a sua intensidade. | 39 |
| I.II.6 - Classificação quantitativa das diferentes zonas dos percursos, segundo a morfologia urbana e as actividades antrópicas. | 40 |
| I.II.7 - Caracterização das diferentes zonas urbanas segundo a morfologia urbana e as actividades antrópicas. | 40 |
| I.II.8 - Classificação quantitativa da cobertura nebulosa. | 40 |
| I.II.9 - Classificação das diferentes situações sinópticas. | 41 |
| I.III.1 - A influência das variáveis geográficas na temperatura do ar - análise de correlação e análise de regressão. | 50 |
| I.III.2 - A influência das variáveis meteorológicas na intensidade da ilha de calor - análise de correlação e análise de regressão. | 52 |
| I.III.3 - Zonas e subzonas urbanas correspondentes ao diagrama de classificação da figura I.III.12. | 58 |
| I.III.4 - Tipos de ilhas de calor de acordo com o diagrama de classificação da figura I.III.13. | 60 |
| | |
| II.II.1 - Escala de sensações em função do índice de conforto climático [2]. | 98 |
| II.II.2 - Escala de sensações adaptada em função do índice de conforto climático. | 98 |
| II.III.1 - Índice de conforto climático (T_b) de Aveiro às 9h, no período de 1985 a 1995 - médias mensais e desvios padrões mensais. | 102 |
| II.III.2 - Índice de conforto climático (T_b) de Aveiro às 9h, no período de 1985 a 1995 - valores médios mensais. | 104 |
| II.III.3 - Matriz de correlação entre a mortalidade e os elementos climáticos. | 115 |
| II.III.4 - Variáveis climáticas significativas introduzidas no modelo de regressão e respectivo R^2 ajustado para as diferentes doenças de mortalidade. | 116 |
| II.III.5 - Resultados da análise espectral (single series Fourier analysis) para variáveis de mortalidade e variáveis meteorológicas. Períodos por ordem decrescente de densidade espectral. | 116 |
| II.III.6 - Matriz de correlação entre a mortalidade e os elementos climáticos. | 119 |
| II.III.7 - Variáveis climáticas significativas introduzidas no modelo de regressão e respectivo R^2 ajustado para as diferentes doenças de morbilidade. | 120 |
| II.III.8 - Resultados da análise espectral para variáveis de morbilidade e variáveis meteorológicas. Períodos por ordem decrescente de densidade espectral. | 121 |

INTRODUÇÃO

O Ser Humano passa toda a sua vida no fundo de um “oceano de ar” - a Atmosfera.

É da atmosfera que o Homem capta o oxigénio indispensável para satisfazer, directamente, a necessidade básica e vital da respiração; indirectamente, é a atmosfera que, através dos processos de fotossíntese e quimiossíntese, permite ao Homem satisfazer outra necessidade também básica, a da nutrição; mais subtil e menos obviamente, a atmosfera tem, ainda, influências diversas, tanto fisiológica como psicologicamente, no bem estar e saúde do Homem [18].

Mas, se o “habitat climático” influencia e condiciona a vida do ser humano, também o ser humano influencia e manipula o seu próprio “habitat climático”, alterando-o, a várias escalas:

- ◆ à micro-escala, na sua casa (com aquecimento e “ar condicionado”, por exemplo);
- ◆ à escala da sua cidade (criando um clima urbano próprio e uma “ilha de calor”);
- ◆ até mesmo à escala do Planeta (com as alterações climáticas à escala global).

Existe, pois, uma enorme gama de interacções ambiente climático - ser humano.

No estudo que nos propomos fazer, abordaremos apenas dois aspectos das interacções Clima - Homem:

⇒ a influência do Homem no Clima, à escala urbana - estudo da Ilha de Calor de Aveiro - Parte I

⇒ a influência do Clima no Homem, no âmbito da biometeorologia - estudo da influência da atmosfera e suas variações no conforto climático e nos fenómenos fisiopatológicos humanos na zona de Aveiro - Parte II

Esperamos que este estudo seja um contributo positivo para o conhecimento bioclimático da cidade de Aveiro, e que através dele seja possível:

- * diagnosticar o estado de algumas das componentes ambientais de Aveiro;
- * ponderar o planeamento e desenvolvimento urbano para mitigar o fenómeno da ilha de calor do ponto de vista de conforto urbano e de ambiente humano;
- * verificar o impacte na saúde, em especial no agravamento de algumas patologias, gerado pelo comportamento de alguns elementos climáticos;
- * repensar as relações Homem - Meio Ambiente e assumir uma atitude humilde e construtiva face ao suporte ambiental de que todos dependemos.

PARTE I

A ILHA DE CALOR DE AVEIRO

*“A cidade é o requinte da capacidade do Homem
para inaugurar e controlar alterações no seu habitat”*

(Detwyler e Marcus, 1972)

I - INTRODUÇÃO: Conceitos, Características e Efeitos Ilha de Calor Urbana

I. 1 - Definição e historial

Os ambientes urbanos apresentam, frequentemente, temperaturas superiores às dos seus arredores rurais. Este fenómeno é conhecido como *Ilha de Calor Urbana* e corresponde a uma *"integração da totalidade dos microclimas originados pela urbanização"* (J. Sweeney, 1987).

Segundo H. Landsberg, esta expressão foi utilizado, pela primeira vez, em 1958, na literatura científica inglesa, por Gordon Mandley; no entanto, este fenómeno já fora documentado, em 1818, pelas medições do meteorologista Luke Howard, em Londres.

Ilha de calor designa, muito genericamente, a porção do espaço urbano em que a temperatura do ar é mais elevada do que nos arredores rurais próximos. É um fenómeno muito complexo que resulta de um grande número de interações e tem inúmeras consequências.

De início, as ilhas de calor urbanas eram estudadas por médicos devido às suas implicações na saúde. Mais tarde, os cientistas investigaram os factores ambientais que conduzem às temperaturas mais levadas nas cidades [2,5].

I. 2 - Causas da ilha de calor urbana

A ilha de calor urbana é o resultado da interação de diversos factores energéticos.

Nas cidades, as construções e todo o seu meio envolvente criam um ambiente energético bastante diferente do ambiente natural rural antecedente. Assim, atentemos, por exemplo, no seguinte:

* As estruturas urbanas, que utilizam materiais como o cimento, asfalto e vidro, com propriedades térmicas diferentes e contribuindo para a impermeabilização do solo, substituem a vegetação natural.

* A complexa geometria das superfícies urbanizadas, a forma e orientação dos edifícios - estruturas de dimensão vertical substituem a grande interface horizontal.

* Grandes quantidades de energia são importadas e consumidas; o calor das diversas actividades antrópicas é libertado; os combustíveis fósseis poluem [30,71].

Estes são alguns dos contributos decisivos para alterar o balanço energético nas cidades, o qual pode ser definido pela expressão:

$$Q_s + Q_f + Q_i = Q_l + Q_g + Q_e \quad (\text{Douglas, 1983}) [71].$$

Consideremos o significado e alcance de cada um destes parâmetros:

Q_s - Q_s (energia radiante recebida do sol) é menor nas áreas urbanizadas.

Os poluentes urbanos reduzem a radiação solar incidente que colide com partículas de fumo e poeiras presentes na baixa troposfera urbana e é reflectida de volta para o espaço - ver figura I. 1. Outras partículas actuam como núcleos de condensação de vapor de água para formar nuvens. Assim, partindo do princípio que as áreas urbanas são mais poluídas que as rurais, as cidades tendem a ser mais enevoadas que estas, recebendo menos radiação solar. Há um défice da “chegada” de radiação em ondas curtas nas cidades. Os valores deste défice variam muito, sendo geralmente inferiores a 10%, mas podendo atingir 60% quando o grau de turbidez é maior [2].

O menor fornecimento de energia solar, devido ao aumento da reflexão por partículas e nuvens e também devido à menor insolação pelo efeito de sombras, poderia resultar na menor temperatura das cidades se não fosse mais do que contrabalançada por outros efeitos. Alguns dos poluentes absorvem, em vez de reflectirem energia, e o aumento da nebulosidade reduz a perda de energia de onda longa para o espaço [30].

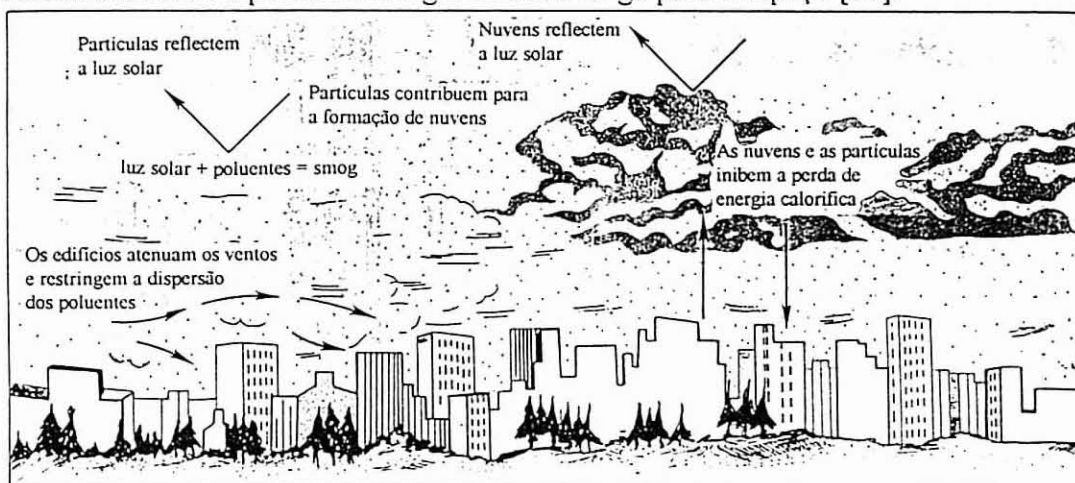


Figura I.I.1 - Diagrama esquemático evidenciando os fluxos de energia modificados pelo ambiente urbano [30].

$Q_f - Q_f$ (energia gerada por combustão, metabolismo e energia dissipada nos processos industriais) é maior nas áreas urbanizadas.

Como áreas de actividade concentrada, as cidades são grandes consumidoras de energia para manter o seu funcionamento. Este grande consumo de energia implica que muito calor é desperdiçado das fábricas, edifícios e sistemas de transporte, passando para a atmosfera e aumentando o calor da cidade [30].

Esta grande contribuição de calor artificial produzido pelos consumidores industriais, comerciais e domésticos pode ser tanto quanto um terço do recebido da energia solar [1]. No Inverno, o calor gerado pelos combustíveis fósseis pode até superar o calor derivado da radiação solar [30].

$Q_i - Q_i$ (calor emitido pelo interior da terra) é semelhante nas áreas rurais e urbanas.

$Q_l - Q_l$ (perda de calor por evaporação) é menor nas áreas urbanizadas.

Em superfícies livres de edificios e outras construções, parte da água da chuva é retida no solo. As plantas consomem a água para o seu metabolismo e, eventualmente, esta retorna ao ar por transpiração. Ao mesmo tempo, a água parada e a misturada no solo evapora. Tanto a evaporação como a transpiração requerem energia solar, em grande parte subtraída à atmosfera envolvente, cuja temperatura, em consequência, diminui. Ora, em meio urbano, há uma muito forte redução da evapotranspiração: por um lado, os espaços verdes e as árvores nos arruamentos são raros em muitas cidades; por outro lado, grande parte das precipitações escapa ao processo de evaporação (70% a 90%). Nas cidades, os pavimentos e os edificios impedem a entrada da água no solo, a maior parte da água da chuva escorre rapidamente para os sumidouros ou sarjetas reduzindo grandemente a água disponível para evaporação [2,30] - ver figura I. 2. Assim, o arrefecimento evaporativo é menor, o que contribui para maiores temperaturas do ar [1].

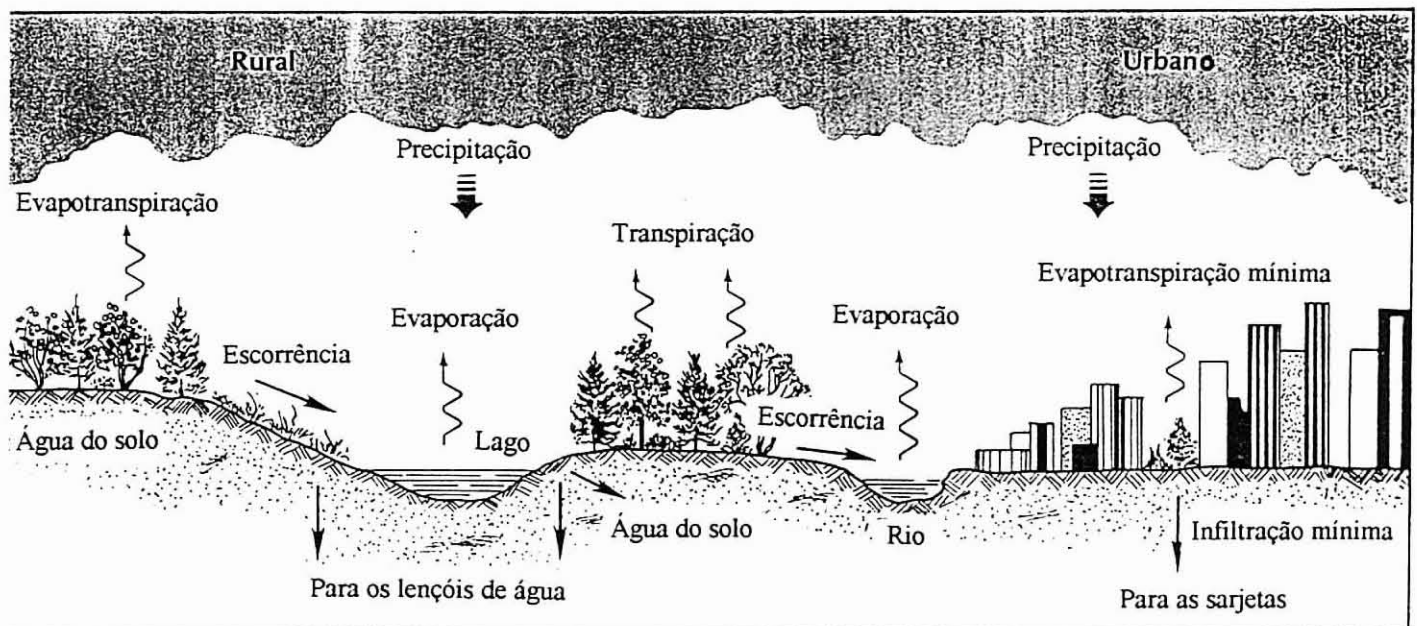


Figura I.I.2 - Distribuição da água pluvial nas superfícies urbanas e nas rurais [30].

As perdas de calor por evaporação (Q_l) são inferiores no meio urbano, pela simples razão de que nele não há tanta água disponível para evaporar [71].

Q_g - Q_g (perda de calor por condução no solo, nos edifícios e nas ruas) é maior nas áreas urbanizadas, durante o dia.

A quantidade de calor armazenada no solo e nos edifícios depende da condutibilidade térmica e da capacidade calorífica das superfícies urbanas. Estas, constituídas por cimento/asfalto/vidro/tijolo, têm maior capacidade térmica e maior condutividade do que a vegetação das áreas rurais. A cidade pode conservar uma grande quantidade de energia radiactiva ou antrópica no interior dos edifícios (seis vezes mais do que no campo, segundo W. Terjung e S. Louie, 1973). As propriedades térmicas dos edifícios adicionam calor ao ar, por condução.

O fluxo de energia é, também, modificado pela geometria dos edifícios da cidade. Paredes, telhados e estradas representam uma superfície muito mais complexa para a radiação solar do que as áreas não desenvolvidas - ver figura I. 3.

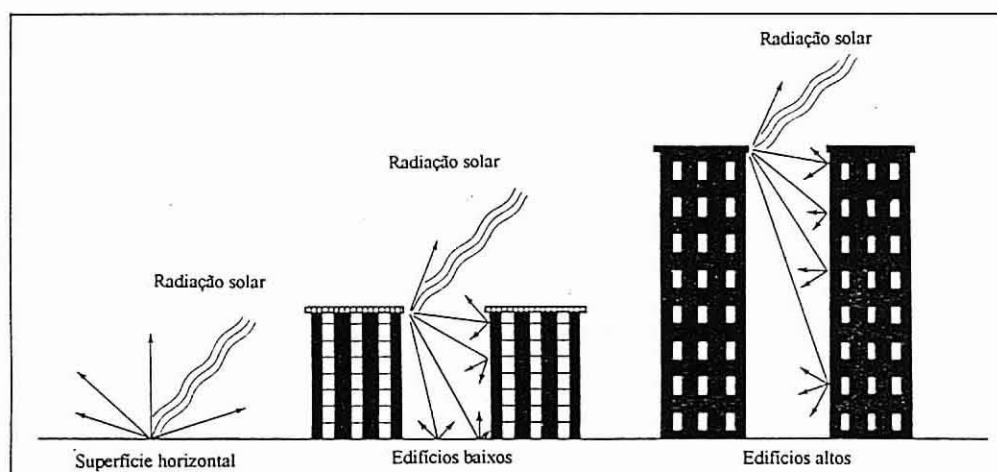


Figura I.I. 3 - Efeitos das superfícies horizontais e verticais na radiação solar incidente[30].

Mesmo quando o sol está baixo no céu - espaço de tempo em que ocorre pouca absorção de energia em zonas planas - os edifícios verticais das cidades recebem o impacto total dos raios solares. No início da manhã e ao entardecer, a cidade está a absorver mais energia que as áreas rurais dos arredores [30]. Durante o dia, a energia solar é aprisionada pelas múltiplas reflexões nos edifícios altos com estrutura em corredor [1]. Assim, comparadas com superfícies rurais, as superfícies urbanas absorvem, significativamente, mais radiação solar, porque uma maior proporção da radiação reflectida é retida pelas altas paredes e pelas cores escuras dos telhados e das estradas das cidades [26].

Q_e - Q_e (perda de calor por irradiação) é maior nas áreas urbanizadas, durante a noite.

A energia acumulada, durante o dia, pelas superfícies urbanas, é cedida, durante a noite, e torna-se uma fonte de radiação que eleva a temperatura nocturna e impede o arrefecimento rápido da atmosfera urbana [2].

A radiação reflectida varia em função do albedo que, por sua vez, depende muito da cor dos edifícios, da densidade de construção, da configuração, das dimensões e posição relativa dos prédios e dos espaços verdes e da presença de lagos ou outras extensões de

água. Superfícies como o asfalto, o tijolo e o cimento têm uma baixa capacidade reflectiva e, portanto, absorvem e armazenam a energia do sol em vez de a reflectir. As estruturas em corredor das cidades também reduzem a perda de calor para a atmosfera[77].

Esta diminuição do albedo¹ na cidade deve-se ao facto da radiação sofrer reflexões múltiplas, ficando “aprisionada” entre prédios [2]: a absorção de radiação solar é maior pela “captura” que ocorre nas ruas e edifícios, com reflexões complicadas, e durante a noite a irradiação é menor porque se reduz o “céu livre” (sky view factor), dificultando a perda de emissões infravermelhas para a atmosfera; no campo, existe uma grande interface horizontal [24].

A cidade é mais quente que o campo devido à diferença entre os ganhos e as perdas energéticas da cidade [1].

Enquanto Q_f é sempre superior na cidade, relativamente à sua periferia, Q_s e Q_i são normalmente mais baixos. Da importância relativa que o total de energia libertada (Q_f) -tanto pelos seres humanos e outros animais, como pelas actividades económicas - tiver face ao total de energia proveniente da radiação solar (Q_s) e do interior da terra (Q_i), dependerá a ordem de grandeza do excedente energético disponível para ser transportado, por condução e/ou perdido por irradiação.

Como não estão facilitadas as perdas por evaporação (Q_l) e a capacidade de armazenamento no seio do espaço construído é grande, quer pela densidade de ocupação, quer pelo tipo de materiais, quer pela geometria, parece óbvio que o balanço final entre as perdas e os ganhos, nos meios urbanos, não é nulo.

Favorecendo um leque mais diversificado de entradas de energia e bloqueando algumas das possíveis vias de saída da mesma, a cidade cria condições para se tornar, no seu todo ou em parte, numa “ilha de calor”.

Nenhum dos parâmetros atrás referido é único e constante, responsável pelas diferenças de temperatura entre a cidade e o campo, mas, antes, este complexo fenómeno resulta da interacção de todos eles [2,71].

Conclusão

A causa fundamental da ilha de calor é a distorção do balanço energético das áreas construídas devido ao comportamento térmico dos materiais dos edifícios e ruas e às alterações que o traçado urbano e os usos do solo introduzem na propagação do calor [24].

¹ Em média o albedo é de 10% a 30 % menor na cidade do que no campo não florestado (citado em B. Atinkson, 1985) [2].

I. 3 - Aspectos gerais da ilha de calor urbana

Os aspectos mais significativos da ilha de calor urbana são a intensidade e as variações espaciais e temporais que apresenta, características que estão extremamente relacionadas com os diversos factores que contribuem para a sua formação [24].

I. 3.1 - Intensidade da ilha de calor

Segundo H. S. Park (1987) *“The heat island intensity ΔT_{u-r} is the difference between the highest urban temperature figure from among all figures for places in the city at any time and the lowest background rural temperature figure among all figures for places surrounding the city at the same time”*

Assim, a diferença entre a temperatura urbana máxima e a temperatura rural mínima, define a “intensidade da ilha de calor urbana” (Oke, 1978) [49].

I. 3.2 - Ritmo temporal da intensidade da ilha de calor

A ilha de calor urbana não é uma característica imutável de determinado local. Os seus ritmos (diário e estacional) nem sempre são evidentes e variam de local para local.

I. 3.2.1 - Ritmo diário

A ilha de calor oscila diariamente, sendo mais intensa durante a noite, período em que a emissão infravermelha é maior na cidade e uma grande porção dela fica aprisionada pelos múltiplos obstáculos que existem. Esta grande inércia calorífica da cidade contrasta com o campo, que arrefece mais depressa. Nas grandes urbes, esta situação perdura até cerca de amanhecer e, portanto, afecta as temperaturas mínimas [24].

Um estudo muito completo de T. Oke e G. Maxwell (1975) para Montreal e Vancouver fornece detalhes sobre o ritmo atrás citado: depois do pôr do sol, o arrefecimento nocturno é muito mais lento no interior do espaço urbano; em consequência deste facto, a ilha de calor desenvolve-se muito rapidamente e atinge a sua máxima amplitude 3 a 5 horas depois do crepúsculo [2]. Também em Madrid, num estudo feito por A. López Gómez (1991) se verificou que o valor máximo da ilha de calor aparece, geralmente, umas horas depois do pôr do sol e em alguns casos à meia - - noite. Em Portugal, estudos realizados para Lisboa (Alcoforado, 1988) e para o Porto (Sousa, 1993) confirmam, igualmente, que as diferenças de temperatura tendem a ser mais elevadas durante a noite, especialmente no início da noite, entre as 23h e 1h.

Durante o dia, o contraste cidade-campo é menor. As zonas rurais, de baixa capacidade térmica e expostas ao sol, aquecem mais depressa, enquanto que, nas zonas urbanas, a radiação directa é menor, devido à maior poluição do ar e às sombras provocadas pelos edificios e o ritmo de aquecimento é menor, como consequência da maior capacidade calorífica dos materiais urbanos [24].

A meio da tarde, a ilha de calor é pouco marcada, e pode acontecer mesmo que o centro da cidade esteja mais fresco do que o campo próximo, devido à sombra projectada nas ruas e pátios pelos edificios altos [24]. Em Londres, em 50% dos dias, a temperatura é mais baixa do que nos arredores próximos (T. Chandler, 1965).

Em cidades mediterrânicas como Atenas (B. Katsoulis e G. Theoharatos, 1985) e Roma (M. Colacino, 1978) também se verificou que durante o dia, a ilha de calor tende a desaparecer [2].

Várias investigações comprovam, portanto, que a ilha de calor é menos intensa de dia do que de noite.

I.3.2.2 - Ritmo estacional

O ritmo estacional da variação da intensidade da ilha de calor urbano nem sempre é evidenciado pelos dados disponíveis (A. Douglas, 1983). L. C. Nkemdirim e P. Truch (citados por B. Atinkson, 1985) provaram que, em Calgary, a ilha de calor é bastante mais intensa no Inverno do que no fim do Verão e início de Outono. Em cidades mediterrâneas como Roma (M. Colacino, 1978) e Atenas (B. Katsoulis e G. Theoharatos, 1985) as diferenças são máximas no Verão. Nenhuma explicação convincente foi ainda adiantada [2].

A diversidade estacional é difícil de explicar; em muitos núcleos do Reino Unido e no oeste dos EUA, a intensidade da ilha de calor é maior no Verão; no Japão, é maior no Inverno, assim como em Madrid; em várias localidades da Escandinávia, Europa central e América central, não se verifica um ritmo claro. Em Lisboa (Alcoforado, 1988), a intensidade da ilha de calor é superior no Verão e no Porto (Sousa, 1993), não se registam diferenças significativas de intensidade da ilha de calor entre o Verão e o Inverno.

É possível que os diferentes resultados possam exprimir os métodos diversos utilizados para quantificar a intensidade da ilha de calor [24].

I.3.2.3 - Ritmo semanal

Além destes ritmos diário e estacional, a acção humana cria os seus próprios ciclos, nomeadamente o **ciclo semanal**. E. Lawrence (1971) demonstrou que, próximo do palácio de Kensington, no centro de Londres e durante o Verão, as temperaturas máximas mais elevadas se registam, em média, aos domingos, e as mais baixas, às 5^{as} feiras (maior poluição). Na estação rural de Porton, este ritmo não aparece.

Assinalou-se, também, a tendência de a temperatura diminuir aos domingos, no Inverno, o que se relaciona com a actividade humana, (menor poluição e menor emissão de calor pela indústria, pelos automóveis, pelo aquecimento de lugares públicos, etc [24].

Em Portugal, na cidade do Porto, registou-se um anormal aumento ininterrupto da temperatura, na Baixa, na época Natalícia de 1990. Este facto traduz a “*relação causa - efeito entre o ritmo a que se desenrola o modus vivendi urbano portuense e o aumento da temperatura*” (Sousa, 1993).

I. 4 - Condicionantes da ilha de calor urbana

Diversos aspectos, tanto naturais como humanos, condicionam a ilha de calor urbana.

De entre os aspectos naturais, destacam-se a situação sinóptica e tipo de tempo, o vento, a topografia e a distância ao mar.

De entre os aspectos humanos, destacam-se a morfologia e tamanho da cidade e as actividades antrópicas.

I. 4.1 - Influência da situação sinóptica e do tipo de tempo

A ilha de calor urbano não é uma característica imutável de determinado local. A sua existência e a sua intensidade dependem da situação sinóptica e do tipo de tempo resultante. Teoricamente, os desvios térmicos entre a cidade e os seus arredores são máximos quando o céu está totalmente descoberto e não há vento. Estas condições de tempo correspondem a *situações anticiclónicas*. Então, são preponderantes os fenómenos radiactivos, e a estrutura térmica vertical da atmosfera não é alterada pela advecção de ar alóctone. Inversamente, em *situações depressionárias* (instabilidade da atmosfera, vento e nebulosidade fortes, ocorrência de precipitação) atenuam-se os desvios térmicos entre a cidade e o campo. Estes factos foram confirmados na maior parte dos estudos feitos na zona temperada [2,24].

A. Lopez-Gomez e F. F. Garcia (1984) referem que, em Madrid, a ilha de calor desaparece quase completamente com vento forte e nebulosidade elevada, não se verificando, em dias de chuva, qualquer aumento de temperatura em meio urbano [2].

W. Lowry (1977) salienta a dificuldade de comparação dos elementos climáticos medidos, na mesma cidade, em momentos diversos; propõe uma tipologia de situações sinópticas para organizar os resultados, mas duvida que situações sinópticas aparentemente semelhantes, o sejam efectivamente, e que tenham as mesmas consequências nos padrões térmicos urbanos [2]. De facto, esta opinião foi confirmada, tanto nos estudos realizados sobre a ilha de calor de Lisboa (Alcoforado, 1988), como sobre a ilha de calor do Porto (Sousa, 1993).

Alcoforado, no seu estudo sobre a ilha de calor de Lisboa, chegou à conclusão que as situações anticiclónicas, bastante variadas, não correspondem, por si só, a ilhas de calor mais intensas. No Inverno, a ilha é inibida em situações depressionárias e ventos fortes, e é exacerbada em situações anticiclónicas estáveis, noites calmas e frias (tanto anticiclónicas, como situações perturbadas). No Verão, a ilha é intensificada em noites de céu limpo, com calmas frequentes, noites quentes secas e sem vento, ou em situações de vento forte de N ou NW, quando Portugal se encontra num forte gradiente barométrico, entre um anticiclone Atlântico e uma depressão sobre a Península.

De igual modo, um estudo realizado para a cidade do Porto (Sousa, 1993) refere que *“a intensidade da ilha de calor não depende directamente do tipo de situação sinóptica presente. Mesmo sob acção de condições sinópticas semelhantes a intensidade da ilha de calor foi muito diversa. Não é de forma alguma evidente qualquer domínio de maiores intensidades da ilha de calor em dias sob influência de condições anticiclónicas. A ilha distingue-se especialmente nos dias com grande estabilidade, fraco gradiente barométrico, vento fraco e calmas frequentes, condições normalmente associadas à presença de situações anticiclónicas, mas que podem surgir sob influência de situações depressionárias. Não é verdade que a ilha seja mais diluída em situações depressionárias ou perturbadas do que sob a acção de situações anticiclónicas. Apesar da forte relação positiva entre a intensidade da ilha de calor e situações de anticiclone*

atlântico subtropical, não é possível generalizar e afirmar o mesmo para os outros sub-tipos de situações anticiclónicas.”

A situação sinóptica parece determinar, não tanto a intensidade da ilha de calor, mas antes a influência dos outros factores que a condicionam. Assim, para Lisboa (Alcoforado, 1988), em situações anticiclónicas, a diversidade térmica segue a diversidade na densidade de construção, sendo as zonas mais densamente construídas as mais quentes. Esta importância da morfologia urbana, pelo contrário, não se manifesta em situações perturbadas.

No Porto, *“em dias com perturbação, centros depressionários e margens anticiclónicas, dois factores geográficos considerados: distância ao mar e altitude, não são determinantes da forma da ilha de calor, sendo determinantes, sim, em situações de massas de ar secas e muito quentes ou muito frias, normalmente associadas a anticiclones”* (Sousa, 1993).

I. 4.2 - Vento

O aumento da velocidade do vento diminui a intensidade ou mesmo destrói a ilha de calor urbana (exemplos em H. Landsberg, 1981) [2].

Com vento ligeiro, a ilha de calor debilita-se e desloca-se para sotavento, inclusive até à periferia; com vento forte, chega a desaparecer.

Tanto os estudos realizados para a cidade do Porto (Sousa, 1993) como para Lisboa (Alcoforado, 1988) confirmam que a ilha de calor é mais intensa em situações de vento fraco e calmas frequentes. Referem ainda que as zonas abrigadas do vento apresentam, geralmente, temperaturas mais elevadas, e que o ar alóctone provoca o arrefecimento da atmosfera urbana. Nas noites muito ventosas, a ilha de calor tende a esbater-se ou mesmo a desaparecer. No estudo realizado em Lisboa, é sublinhada a importância da direcção e intensidade do vento na distribuição das temperaturas.

A ausência de vento evita a dispersão do calor devido às actividades antrópicas (circulação automóvel, ar condicionado, etc.), e do calor armazenado nos edifícios da aglomeração urbana que, a partir do pôr do Sol, é restituído à atmosfera urbana. O vento fraco, por sua vez, pode transportar o calor, tanto do centro da cidade para os arredores, como da periferia industrial para dentro da cidade [2].

Foi possível estabelecer uma correlação entre o tamanho da cidade e uma velocidade limite, a partir da qual a ilha de calor se desvanece. Oke e Hannel estabeleceram, em 1970, a seguinte fórmula para a dita velocidade limite: $(3,4 \log P) - 11,6$ em que P é a população [24].

Segundo esta fórmula, a velocidade do vento a partir da qual a ilha de calor se desvanece em Aveiro (com 70 000 habitantes - censo de 1991) seria de 4,87 m/s.

I. 4.3 - Topografia

Tanto em Lisboa como no Porto, a topografia é tida como um factor condicionante da forma da ilha de calor. Em Lisboa, no Verão, as áreas deprimidas apresentam temperaturas mais elevadas, sucedendo o contrário durante o Inverno. No Porto, as maiores intensidades da ilha de calor coincidem com pontos da cidade localizados a altitudes diversas. É referida a dificuldade em isolar o efeito da altitude, do efeito dos outros factores condicionantes da ilha de calor, como a morfologia urbana, o tráfego, as actividades, etc.

A ilha de calor pode ser dividida, total ou parcialmente, quando um rio importante cruza a cidade, como ocorre em Washington, em Bona e Buel. Em Londres, verificam-se entradas frias no Tamisa por Este e Oeste [24].

I. 4.4 - Distância ao mar

Este factor apenas se torna importante em cidades relativamente próximas do mar, cidades costeiras. No Porto, é evidente a grande importância da acção amenizadora do mar e do Douro nas temperaturas nocturnas (Sousa, 1993). Em Lisboa, quando se desenvolvem brisas do Tejo e do oceano, a cidade está mais fresca que os arredores próximos. O ar marítimo ou estuarino, relativamente fresco e muito húmido, circula preferencialmente pelos vales e aí se acumula, determinando a diminuição da temperatura. Este ar alóctone provoca um grande arrefecimento em toda a área ribeirinha, relativamente ao interior da cidade, mais abrigado (Alcoforado, 1988).

I. 4.5 - Espaços edificados e espaços verdes

O perfil térmico das cidades segue com aproximação a densidade e altura dos edifícios. A morfologia urbana, em termos de volumetria dos edifícios e compacidade do espaço construído, é determinante na forma e intensidade da ilha de calor. Isto é confirmado, tanto no Porto (Sousa, 1993), como em Lisboa (Alcoforado, 1988), onde as zonas de maior densidade de construção e sem espaços verdes apresentam temperaturas mais elevadas. A temperatura desce menos, à noite, nos locais de maior densidade de construção, tanto em noites frias como em noites quentes (Alcoforado, 1988).

Os parques e espaços verdes são as zonas mais frescas. Em Londres, salienta-se o Hyde Park no centro da cidade, onde se registam as mais baixas temperaturas (Chandler) e em Madrid, salienta-se o Parque do Retiro (Gómez, 1991) [24]. Também no Porto (Sousa, 1993) se verificam diminuições pontuais da temperatura coincidentes com a proximidade de jardins públicos arborizados.

As árvores desempenham, basicamente, duas funções, no fenómeno da ilha de calor urbana: por um lado, a cobertura florestal é muito eficiente na dissipação da energia solar recebida através do arrefecimento do ar por evapotranspiração; por outro lado, sombreiam as superfícies, como o asfalto, os telhados e os parques de estacionamento, o que previne o aquecimento inicial e o armazenamento de calor [23].

I. 4.6 - Tamanho e desenvolvimento da cidade

Ambos os factores acentuam a ilha de calor. Para comparar os tamanhos das cidades e a sua evolução, à falta de outros parâmetros, pode-se utilizar a população, como já o fazia Mitchel, em 1961. Ao encontrar fortes correlações positivas entre a intensidade da ilha de calor de várias cidades e a sua dimensão, em termos de população, T. R. Oke (1973) demonstra que a intensidade máxima da ilha de calor nas cidades europeias pode ser definida através da equação $\Delta T_{u-r} (\text{max.}) = 2,01 \log P - 4,06$ e nas cidades norte americanas através da equação $\Delta T_{u-r} (\text{max.}) = 2,96 \log P - 6,41$, em que P é a população [71]. Segundo esta equação seriam de esperar em Aveiro intensidades máximas da ilha de calor da ordem dos 5,67 °C.

No entanto, alguns autores, como Chandler, crêem que em situações concretas, o tamanho não é tão decisivo, e os maiores contrastes devem-se, antes, à morfologia urbana mais compacta, com um centro de maior volume, que debilita o vento [24]. Estes

autores referem que a relação entre tamanho da cidade e diferença rural - urbano, não é, necessariamente, linear, pois grandes contrastes de temperaturas nocturnas têm sido medidos, mesmo em cidades relativamente pequenas. Factores como a densidade de construção são, pelo menos, tão importantes como o tamanho da cidade [26].

I. 4.7 - Actividades antrópicas

Como actividades antrópicas decisivas para a ilha de calor, podemos citar as pequenas e médias indústrias, potencialmente poluidoras e produtoras de calor, o ar condicionado e o tráfego automóvel. Na cidade do Porto, *“a localização da ilha de calor coincide com o centro funcional da cidade, tanto em situações anticiclónicas como em centros depressionários. Formam-se duas ilhas de calor coincidentes com o centro da cidade, do ponto de vista administrativo e funcional. As duas ilhas correspondem ao CBD (Central Business District) principal e secundário, e a zonas onde o tráfego é intenso e a função residencial coexiste com um grande número de pequenas e médias indústrias.”* (Sousa, 1993). Também em Lisboa *“em noites quentes e sem vento, as temperaturas mais altas encontram-se nas áreas deprimidas do Centro Administrativo de Lisboa”* (Alcoforado, 1988).

I. 5 - Forma da ilha de calor urbana

A forma da ilha de calor é, geralmente, complexa e responde à interacção dos numerosos factores que para ela contribuem. A topografia, a situação sinóptica, o vento, a influência do mar, a distribuição dos espaços verdes, as diferentes tipologias de ocupação do espaço urbano, todos estes factores contribuem para moldar constantemente a forma da ilha urbana. Consoante o peso relativo que, momentaneamente, as características físico-químicas da massa de ar presente sobre a região lhes concedem, assim se vão evidenciando uns factores e anulando outros.

Em geral, as maiores anomalias térmicas estão associadas com as áreas densamente construídas próximo do centro da cidade, e decrescem marcadamente na periferia da cidade. A forma “estereotipada” do efeito térmico urbano tem sido assemelhado a uma “ilha” saindo distintamente para fora do frio “mar” dos arredores rurais. O limite rural - urbano apresenta um íngreme gradiente de temperatura ou um “precipício” da ilha de calor urbano. A maior parte da restante área urbana aparece como um “plateau” de ar quente com um gradiente horizontal estável e fraco de temperaturas crescentes para o centro da cidade. O coração urbano pode ser um “cume” onde se encontra a temperatura urbana máxima ² [26,81].

Num mapa, a ilha de calor surge com densas linhas isotérmicas à volta da periferia da cidade e linhas esparsas na área urbana central.

A temperatura urbana máxima encontra-se nos bairros de maior densidade e volume de edifícios, onde é frequente a ilha apresentar uma forma amesetada, por vezes com depressões internas provocadas por parques ou vales [24]. Nos arredores rurais, a temperatura mantém-se aproximadamente constante [36] - ver figura I.I. 4.

² Oke (1978) definiu os seguintes termos: “precipício” é um íngreme gradiente de temperatura no limite rural-urbano; “plateau” é um estável mas fraco gradiente horizontal de temperatura crescente para o centro da cidade [81].

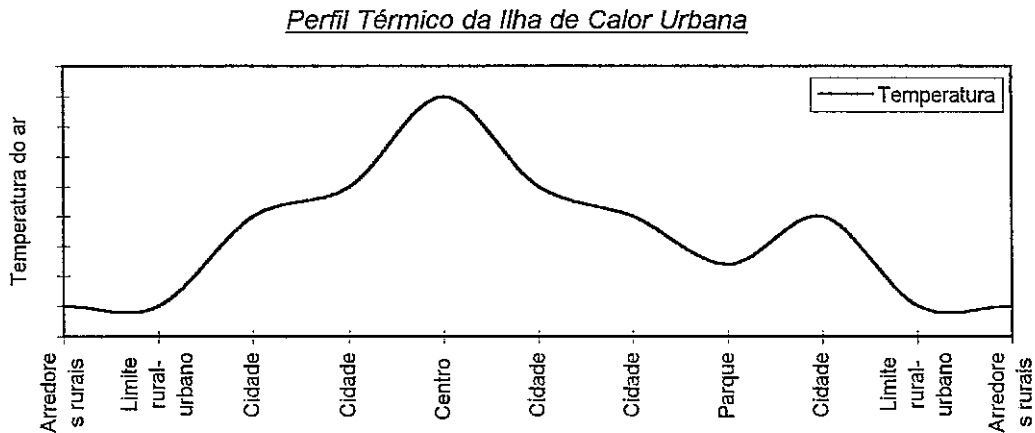


Figura I.I.4 - Perfil térmico típico de uma ilha de calor [36].

I.6 - Efeitos da ilha de calor urbana

A existência da ilha de calor urbana tem uma série de implicações: umas inócuas - as plantas da cidade florescem e frutecem mais cedo, alguns pássaros são atraídos pelo habitat urbano termicamente mais favorável; outras mais graves - os humanos, se a cidade já está situada numa área quente, sentem o calor adicional “stressante” que contribui para o desconforto e até para a mortalidade humana [18,24].

Efeito da Ilha de Calor Urbana no Conforto

Na cidade distinguem-se diferentes zonas de conforto climático, como:

- a área peri-urbana e a rural próxima, de baixa densidade de construção, na qual o impacto climático da cidade é fraco. Nesta zona a ilha de calor é praticamente imperceptível e os níveis de conforto climático são próximos dos naturais;
- a zona de maior densidade urbana, onde o impacto da ação antrópica é notável, com forte incremento térmica nos dias em que se manifesta a ilha de calor.

Até que ponto as diferenças climáticas tornam a zona urbana mais ou menos confortável em relação à periferia próxima?

No Inverno, a cidade aumenta ligeiramente o conforto climático, ao elevar a temperatura em relação ao meio rural envolvente; no Verão, ocorre o contrário, a ilha de calor gera situações de mal estar, tanto de dia como de noite. Durante os meses estivais, nas zonas de maior densidade urbana, as condições quentes mantêm-se 24h por dia, eliminando o conforto que de noite e de madrugada se faz sentir nas zonas periféricas. Confirma-se a imagem característica das noites de Verão no centro de uma grande cidade, incómodas e quentes, nas quais até é difícil conciliar o sono, e o maior conforto das zonas peri-urbanas, o que justifica as deslocações diárias que ocorrem nesta estação entre a cidade e os seus arredores.

O efeito da ilha de calor também se manifesta pela atenuação dos rigores do Inverno, assim como pelo alargamento do estio de Junho a Setembro [24].

Este fenómeno indica a capacidade urbana para modificar as condições ambientais e configurar o seu próprio nível de conforto.

Efeito da Ilha de calor urbana na mortalidade

O “stress” de calor provocado pela temperatura urbana elevada, especialmente durante o Verão, está frequentemente relacionado com o pontual aumento das taxas de mortalidade, o que ocorreu em Nova Iorque em 1966 (Landsberg, 1981).

Um aspecto interessante da geografia das ondas mortíferas de calor é que são quase inteiramente um meteorotropismo urbano. Isto deve-se ao facto de, nas cidades, haver grandes aglomerações e casas degradadas, onde não há forma de escape do calor; da população de risco ser proporcionalmente mais elevada nas áreas urbanas e suburbanas e das cidades, como ilhas de calor, serem mais quentes que os arredores rurais, especialmente na mínima nocturna [18].

Outros efeitos da ilha de calor

As temperaturas mais elevadas nas cidades não são apenas mais desconfortáveis e insalutares. Também têm efeitos económicos, pois incrementam o consumo de energia, essencialmente devido às maiores necessidades de ar condicionado no Verão.

Além disso, contribuem para a formação do insalutar “smog” nas cidades. O processo é cíclico: o aquecimento das cidades leva a elevados níveis de poluição, e essa poluição, por sua vez, contribui para a formação da ilha de calor. O “smog” é formado a partir de reacções fotoquímicas entre os poluentes no ar, e muitas destas reacções ocorrem mais facilmente em elevadas temperaturas, pelo que a ilha de calor urbana contribui para a formação do “smog”, e este contribui para a sua formação.

Outro factor a agravar a situação, é que os edifícios e o desenvolvimento industrial nas áreas urbanas continuam a degradar as árvores, que não são substituídas à medida que vão morrendo, e estas são essenciais para reciclar o ar urbano e para refrescar o ambiente [36].

As implicações do fenómeno da ilha de calor são numerosas, especialmente no desenho do volume de edificações ou nas necessidades de aquecimento ou refrigeração, para as quais se deveria conhecer a temperatura nos diversos bairros da cidade.

É essencial conhecer o impacte ambiental da cidade sobre o bem estar dos seus habitantes [24].

I.7 - Outros aspectos do clima urbano

Embora os reflexos do fenómeno de urbanização na temperatura, especialmente nas mínimas, sejam os mais estudados e comprovados, as consequências das inúmeras artificialidades típicas de qualquer meio urbano, bem como do excedente energético que lhes está associado, repercutem-se, também, noutros elementos climáticos (Tabelas I.I.1 e I.I. 2) [71].

Tabela I.I.1 - Consequências do fenómeno urbano no comportamento de alguns elementos climáticos.

| Fenómeno | Consequências |
|--|--|
| Produção de calor | mais precipitação/temperatura mais elevada |
| Retenção da radiação reflectida pelas paredes dos edifícios e telhados escuros | temperatura mais elevada |
| Aumento da rugosidade | menos vento/ mais redemoinhos |
| Aumento das poeiras | mais nevoeiro/mais precipitação |

Adaptado de Goudie, 1990, p. 278

Tabela I.I.2 - Alterações de alguns parâmetros climatológicos nos meios urbanos.

| Elemento | Parâmetro | Meio Urbano* |
|-------------------|--|---|
| Radiação | Na superfície horizontal Ultravioleta | < 15% Inverno - < 30% Verão - < 5% |
| Temperatura | Média anual Máximo de Inverno Duração da estação s/ gelo | > 0,7% > 1,5% > 2 a 3 semanas |
| Vel. Vento | Média anual Extremos Frequência de calmas | < 20 a 30% < 10 a 20% > 5 a 20% |
| Humidade relativa | Média anual Média estacional | < 6% Inverno - < 2% Verão - < 8% |
| Nebulosidade | Frequência de dias nebulosos Nevoeiros | > 5 a 10% Inverno - >100% Verão - < 30% |
| Precipitação | Totais N.º de dias Dias de neve | > 5 a 10 % > 10% < 14% |

* relativamente ao meio rural

Adaptado de Goudie, 1990, p. 278

O caso particular dos ventos

A velocidade do vento na cidade é, em média, inferior à do campo aberto envolvente, devido à rugosidade dos edifícios urbanos. Estes exercem um poderoso efeito friccional no ar em movimento em seu redor (Chandler, 1976) criando turbulência, com rápidas alterações espaciais e temporais, tanto na direcção como na velocidade do vento. Recorde-se, apenas a título de exemplo, o desconforto proporcionado pelos parques no meio de blocos de edifícios, ou o extraordinário incremento na velocidade do vento nas galerias abertas sob esses blocos de edifícios, ou ainda os “jets” canalizados através de ruas com a mesma orientação do fluxo de ar [71]. No interior das cidades, até uns 40 m de altura, a velocidade e direcção do vento variam muito segundo e traçado e amplitude das ruas e o volume e altura dos edifícios. No fundo de espaços fechados ocorrem calmas. Pelo contrário, o vento é maior quando se canaliza por ruas orientadas numa mesma direcção; originam-se remoinhos nos cruzamentos com ruas perpendiculares e nesta vórtices de eixo horizontal. Estes últimos são fundamentais para a evacuação dos poluentes, originados pelos automóveis, ao nível do solo [24].

Nas cidades costeiras, há um retardamento da penetração da brisa marinha, como se comprovou em Nova Iorque. Investigar este fenómeno é de grande interesse para a planificação das cidades balneares [24].

Como foi referido, a ilha de calor está mais desenvolvida sob condições calmas; nestas condições, a cidade pode desenvolver o seu padrão de ventos próprio. Um gradiente de baixas pressões forma-se quando o ar quente da cidade sobe e é substituído por ar proveniente das áreas envolventes, como uma espécie de “brisa do campo”. A subida do ar não é alta e forma-se um ciclo convectivo. Este processo significa que o ar da cidade é reciclado. Se ocorrerem descargas de poluentes nestas condições, os níveis de poluição podem subir dramaticamente e provocar um domo de poeiras sobre a cidade.

Estudos em Leicester e Londres demonstraram que em noites calmas e limpas, quando o efeito da ilha de calor urbana está no seu máximo, há um influxo de ar frio para as zonas mais quentes. O mesmo foi verificado por Stummer em Frankfurt. Estas chamadas “brisas do campo” têm baixas velocidades e tornam-se rapidamente desaceleradas por fricção intensa nas áreas suburbanas [26].

Esta espécie de convergência urbana explicaria, segundo Landsberg, a maior intensidade do vento que se manifesta por vezes na cidade, contra a norma geral [24]. A velocidade média dos ventos é menor em áreas construídas do que em áreas rurais. No entanto, Chandler demonstrou que em Londres, quando os ventos são suaves, as velocidades são geralmente maiores no interior da cidade do que no exterior, enquanto que se verifica o contrário quando os ventos são fortes [26].

I. 8 - Novos meios para estudar a ilha de calor

Actualmente, para estudar o fenómeno da ilha de calor urbana, certos países como, por exemplo, os Estados Unidos da América, utilizam dados de sensores remotos obtidos por satélite ou por aviões de voos baixos.

Imagens de satélite obtidas em dias sem nuvens, como imagem 11 μ produzida com o Radiómetro Avançado de Muito Grande Resolução (AVHRR) são muito úteis. A imagem tem uma resolução espacial de aproximadamente 1 Km. A este comprimento de onda, o AVHRR mede a quantidade de energia radiante emitida pela superfície e topo das nuvens, que é proporcional à temperatura do corpo emissor: quanto mais quente o corpo, maior a quantidade de energia radiante que é emitida [1].

Seria difícil tirar medidas de temperatura suficientes numa grande cidade para caracterizar a variabilidade de temperatura, mas os "scanners" térmicos "airborne" são ideais para estes serviços, pois rapidamente registam as temperaturas superficiais na cidade e identificam as zonas mais quentes dentro dela [44]. Estas imagens de sensores remotos são obtidas por aviões de voos baixos e fornecem resultados de uma precisão extraordinária [24].

Dada a importância da radiação, a utilização de imagens de infravermelho térmico, segundo dados de sensores remotos, é de grande ajuda para determinar os balanços energéticos especiais em termos de emissividade dos materiais no meio urbano. No entanto, o sensor capta a radiação emitida pela superfície rural ou urbana pelo que é um bom indicador daquela, e não da temperatura do ar. (Lagouarde, 1985). A radiação captada pelo avião ou satélite reflecte a grande variedade de influências, sobretudo no que se refere aos diferentes albedos e emissividades dos materiais, sem esquecer as distorções do meio atmosférico por onde se transmitem as ondas e as próprias características dos sensores. Tudo isto limita consideravelmente as possibilidades de interpretação e, sobretudo, dificulta as possibilidades de correlação entre as temperaturas do solo e do ar [24].

I.9 - Soluções para arrefecer as cidades

O que pode ser feito para arrefecer as nossas cidades?

A utilização de superfícies de cores claras e a plantação de árvores são duas boas formas de mitigar o efeito de ilha de calor [36].

Assim, seria vantajoso substituir superfícies escuras e quentes, passando a haver telhados com materiais mais claros e mais reflectivos. Estão a ser estudados materiais para telhados e também para asfalto mais reflectivos, que se mantêm limpos e duram mais, pois não são tão desgastados pelo sol. Utilizar materiais mais reflectivos poupará energia e dinheiro e tornará os nossos edifícios e as nossas cidades mais frescas e confortáveis.

Programas de plantação podem ajudar a reduzir as temperaturas dentro de 10 a 15 anos. As árvores são muito mais baratas do que os sistemas de ar condicionado e a energia necessária para eles. As árvores têm grande capacidade para arrefecer as nossas cidades, através da sombra que produzem sobre as superfícies construídas e pelo efeito de arrefecimento por evapotranspiração. Para maximizar os efeitos benéficos das árvores, devem-se colocar árvores e arbustos correctamente à volta dos edifícios, para produzirem sombra e para protegerem do vento, e devem-se agrupar as árvores em parques.

Na Florida do sul, pesquisas estimaram que árvores e arbustos próximos de casa podem reduzir os custos com ar condicionado em 40 % [77].

Os dados “airborne”, obtidos por satélite, permitem-nos quantificar o efeito da cobertura de árvores no arrefecimento do ambiente urbano. Estes dados vêm demonstrar o benefício de plantar árvores e reforçar a necessidade de manter e desenvolver florestas urbanas. Parques de estacionamento melhor desenhados que incluam “ilhas de árvores” para fazer sombra ao asfalto. Estradas com árvores em linha irão também fazer sombra ao cimento e asfalto. Benefícios adicionais virão do sombreamento de telhados que reduz o aquecimento nas casa e edifícios, reduzindo as necessidades energéticas para o arrefecimento [44].

I.10 - Conclusão

O clima urbano, em particular o fenómeno da ilha de calor, tornou-se muito importante do ponto de vista de ambiente urbano humano, pois cada vez mais pessoas tendem a viver em áreas, urbanas tanto nos países desenvolvidos como nos não desenvolvidos [81].

Apesar do clima urbano ser apenas uma variante do regional e responder às características básicas deste, os estudos realizados sobre as ilhas de calor devem ser tomados em consideração para o planeamento urbano e desenvolvimento urbano.

Se a cidade cria o seu próprio clima, cria também o seu próprio conforto ou mal-estar. A cidade pode, com a mesma facilidade, melhorar ou piorar o seu próprio conforto, num claro exemplo de como as condições ambientais da cidade são também um produto social.

O planeamento urbano deve contemplar a densidade de construção, a distribuição e o impacto dos emissores de calor, a valorização das zonas verdes, etc. A ilha de calor é, cada vez mais, a expressão da capacidade humana para modificar o meio e gerar, se não prevenida, uma grave e irreversível situação de mal-estar climático e ambiental.

No geral, todo o cidadão é consciente das peculiaridades climáticas ou ambientais da sua cidade. A influência deste conhecimento na tomada de decisões, no planeamento e na urbanização deve ser orientada para mitigar o fenómeno de ilha de calor do ponto de vista urbano e de ambiente humano [5,81].

Devemos evitar uma atitude passiva e indiferente perante a degradação do ambiente urbano, que infelizmente se verifica em muitas cidades portuguesas, e que converte em realidade a fina ironia de Mark Twain: *“Todo a gente fala do tempo, mas ninguém faz nada a esse respeito”* [81].

II - PARTE EXPERIMENTAL

II.1 - Caracterização geral da área estudada

Aveiro, com mais de 70 000 habitantes (censo de 1991), pode ser considerada uma cidade de tamanho médio que, provavelmente, apresenta já um clima urbano próprio. Não foi possível uma análise detalhada deste clima urbano em todos os seus aspectos, alguns dos quais requerem investigações prolongadas, pelo que nos cingimos ao aspecto básico e mais conhecido, a *Ilha de Calor*. Foi também analisado o conforto climático e a variação sazonal da salubridade da cidade.

Como aspectos preliminares, indicam-se, muito brevemente, algumas características do clima regional e da estrutura urbana da cidade de Aveiro.

II.1.1 - Clima Regional

Aveiro situa-se no litoral norte de Portugal (latitude 40 38' 18" N - longitude 8 39'09" W).

A proximidade do oceano, o que corresponde a uma pequena continentalidade, confere determinadas características ao clima desta região, designadamente no que se refere à amplitude da variação diária da temperatura do ar, ocorrência de nevoeiros e ao regime dos ventos [9].

Temperatura

Relativamente à temperatura, é possível delimitar o Inverno, o Verão (que se estende de Junho a Setembro) e dois períodos de transição - Primavera e Outono.

A temperatura média anual é de 15°C. [4].

Tabela I.II.1 - Estações do ano e respectivos meses e temperaturas médias em Aveiro[4].

| Estação do ano | Meses | Temperaturas médias (°C) |
|----------------|--------------------------------|---------------------------|
| Inverno | Dezembro, Janeiro, Fevereiro | 10,8 - 8,9 - 10,4 |
| Primavera | Março, Abril, Maio | 12,2 - 13,7 - 15,6 |
| Verão | Junho, Julho, Agosto, Setembro | 18,7 - 20,1 - 19,8 - 19,2 |
| Outono | Outubro, Novembro | 16,5 - 13,3 |

Quanto à amplitude da variação diária da temperatura do ar, ela apresenta valores compreendidos entre os 5°C e os 10°C em todos os meses do ano [9].

Nebulosidade

Varia com regularidade ao longo do ano, sendo máxima nos meses de Novembro a Maio e mínima nos meses de Julho a Agosto [4].

A ocorrência de nevoeiros é frequente nesta zona litoral (40 a 100 dias por ano); deve salientar-se que cerca de 50% dos dias do ano com nevoeiro ocorrem nos meses de Julho a Setembro, mantendo-se muitas vezes esse nevoeiro até ao fim da manhã, nesta época do ano [9].

Humidade

As médias anuais de humidade do ar estão compreendidas entre 79% e 88%, resultando estas percentagens elevadas da evaporação permanente que se verifica na Ria e ainda da humidade trazida pelos ventos quentes que, soprando do mar, são influenciados pela Corrente do Golfo [8].

Insolação

Varia ao longo do ano de uma forma gradual: é crescente entre os meses de Dezembro e Julho e decrescente entre Agosto e Novembro [4].

Nesta região, verificam-se, em média, as seguintes horas de insolação mensais:

Tabela I.II.2 - Meses do ano e respectivas horas de insolação médias mensais em Aveiro [8].

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-------|-----|----------|-----|----------|------|
| Janeiro | 110 | Abril | 240 | Julho | 320 | Outubro | 170 |
| Fevereiro | 130 | Maió | 260 | Agosto | 310 | Novembro | 130 |
| Março | 210 | Junho | 270 | Setembro | 200 | Dezembro | 110 |
| | | | | | | Total | 2460 |

Pluviosidade

As chuvas são mais frequentes em Janeiro (135 mm), Novembro (130 mm) e Dezembro (125 mm), ocorrendo os valores mínimos em Julho (12 mm) e Agosto (16 mm) (valores médios). O valor médio anual de precipitação é da ordem dos 900 mm [8]. Apesar de haver uma diminuição da quantidade de precipitação nos meses estivais, estes não são secos [4].

Tabela I.II.3 - Épocas do ano e respectivos meses, percentagem de precipitação anual e situação sinóptica frequente, em Aveiro [4].

| Classificação | Meses | % da precipitação anual | Situação sinóptica frequente |
|--------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| Época Chuvosa | Novembro a Março | 58% | superfície frontal polar atravessa o território do continente |
| Época de Transição | Abril, Maio e Outubro | 31% | variabilidade dos fenómenos de advecção nas massa de ar marítimo |
| Época Seca | Julho a Agosto | 11% | subsistência associada ao anticiclone dos Açores a nordeste do arquipélago |

Ventos

Verifica-se, durante todo o ano, uma predominância dos ventos de Noroeste e Norte. No Inverno, há uma importância decrescente de ventos de Sul, Norte e Sudeste. Na Primavera, são predominantes os ventos de Noroeste e, menos acentuados, os do Norte, situação que se repete no período de Verão. No Outono, a predominância de Noroeste vai diminuindo, aumentando, progressivamente, a influência dos ventos de Sudeste e Sul [8].

Verifica-se ainda um regime de brisas: durante a manhã, o vento sopra do continente para o oceano (rumo SE); durante o decorrer da tarde, faz-se sentir e acentua-se o regime de nortada (o rumo mais frequente é o de NW). Este regime ocorre, mais frequentemente, nos meses de Verão (meses de Junho a Setembro) [4].

Temperatura da água do mar

A temperatura da água do mar junto ao litoral apresenta valores médios mensais de 15,5 °C em Julho a 17°C em Outubro, sendo os valores mais baixos nos restantes meses do ano com um valor mínimo de 13,5°C em Fevereiro [9].

Conclusão

Segundo a classificação de Koppen, o clima de Aveiro é temperado húmido, com estação seca e com Verão pouco quente mas extenso (forma climática Cbs). O Inverno é ameno e as temperaturas não sofrem grandes oscilações ao longo do ano. A evaporação é activa, embora o ar não sature, apresentando a precipitação valores máximos no Inverno e mínimos no Verão. É elevado o número de horas de insolação [4,8].

Estes factos resultam, fundamentalmente da proximidade ao oceano. O facto de Aveiro estar localizada junto à costa e esta ser banhada por águas relativamente quentes (corrente quente do golfo do México) condiciona, não só o regime de distribuição da temperatura e da precipitação, mas também o regime dos ventos [4].

II. 1. 2 - Localização

Aveiro é uma pequena cidade limítrofe da laguna costeira, vulgarmente conhecida por Ria de Aveiro - figuras I.II.1 e I.II.2.

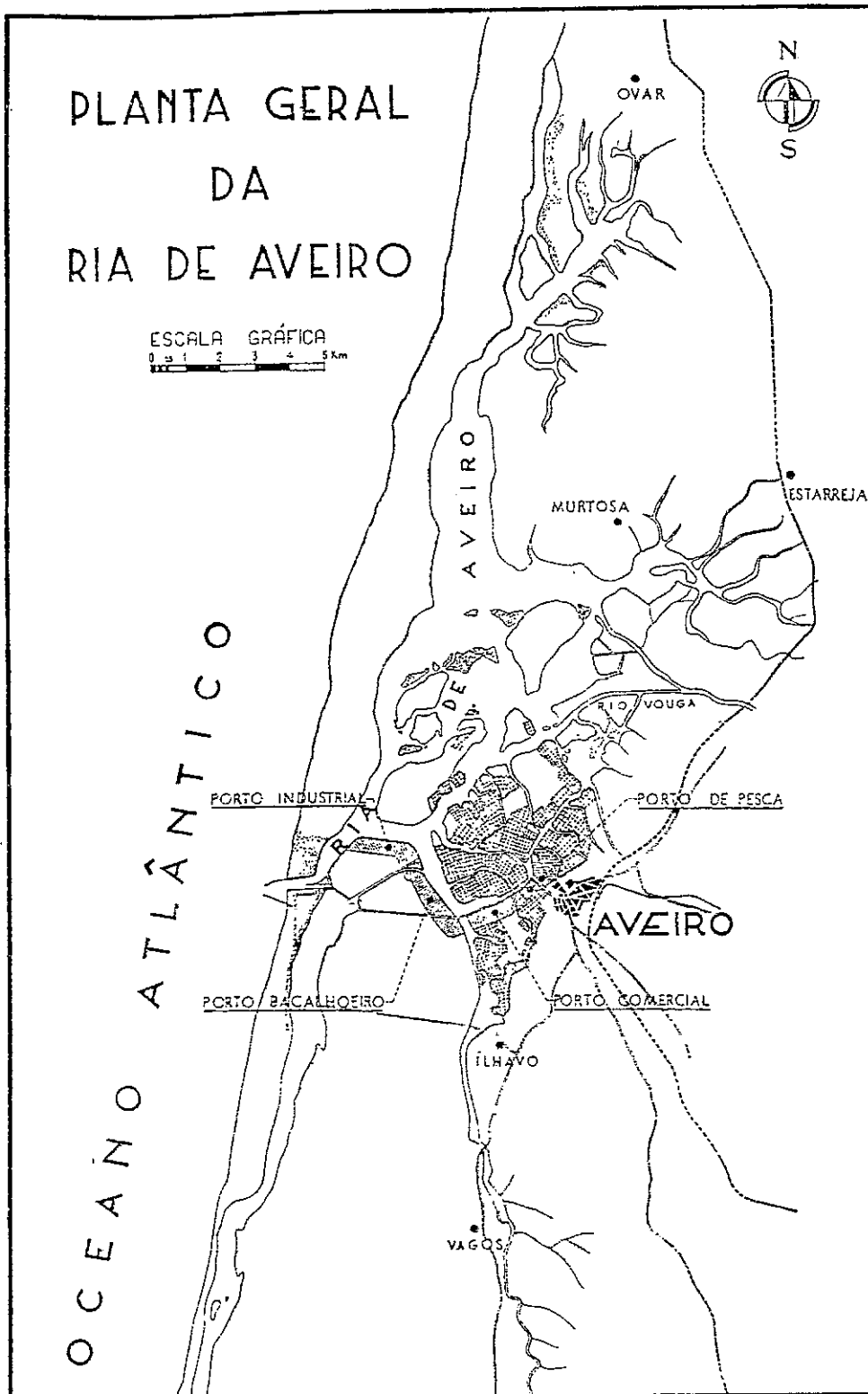


Figura I.II.1 - Localização da cidade de Aveiro na planta geral da Ria de Aveiro [56].

Figura 1.12 - Vista aérea sobre a cidade de Aveiro e seu meio envolvente



A cidade de Aveiro está situada na interface entre sapal / zonas húmidas / salinas, a NW, e zonas rurais, a SE - figura I.II. 2 e figura I.II.3

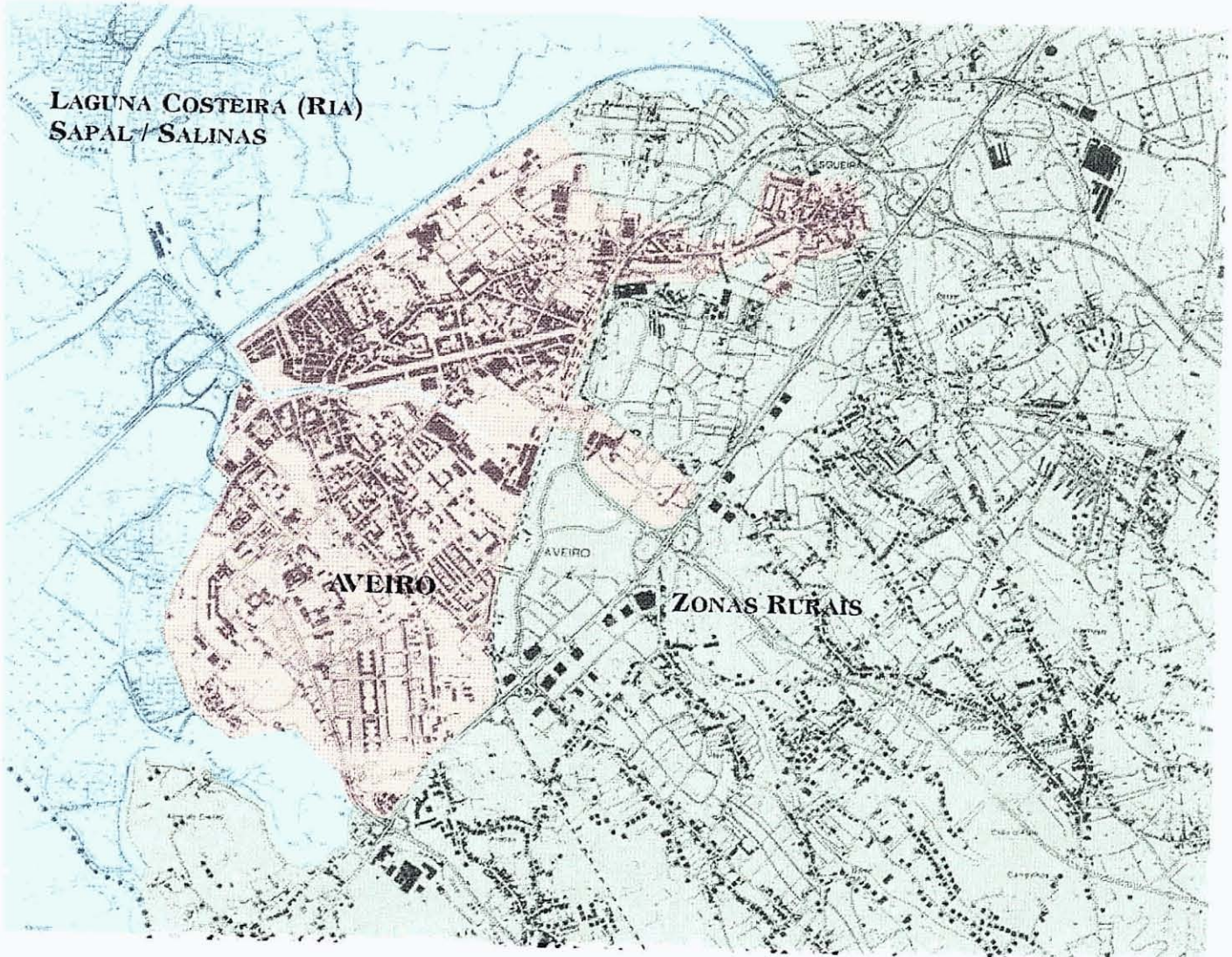


Figura I.II.3 - Cidade de Aveiro e meio envolvente [82].
Escala: 1/29 000

A cidade de Aveiro ocupa uma área de 7,6 Km² e apresenta uma forma irregular [7], aproximadamente em V, como se pode verificar na figura I.II. 4. É atravessada por um canal da Ria que separa a zona “baixa” da zona “alta” e que tem originado, ao longo do tempo, um desenvolvimento diferenciado da cidade [7] - ver figura I.II. 3 e I.II. 5.



Figura I.II. 4 - Estrutura da cidade de Aveiro - Rede Viária e Edificado [84].

Escala: 1/25 000

AVEIRO - Altimetria
Ria e Espaços Verdes

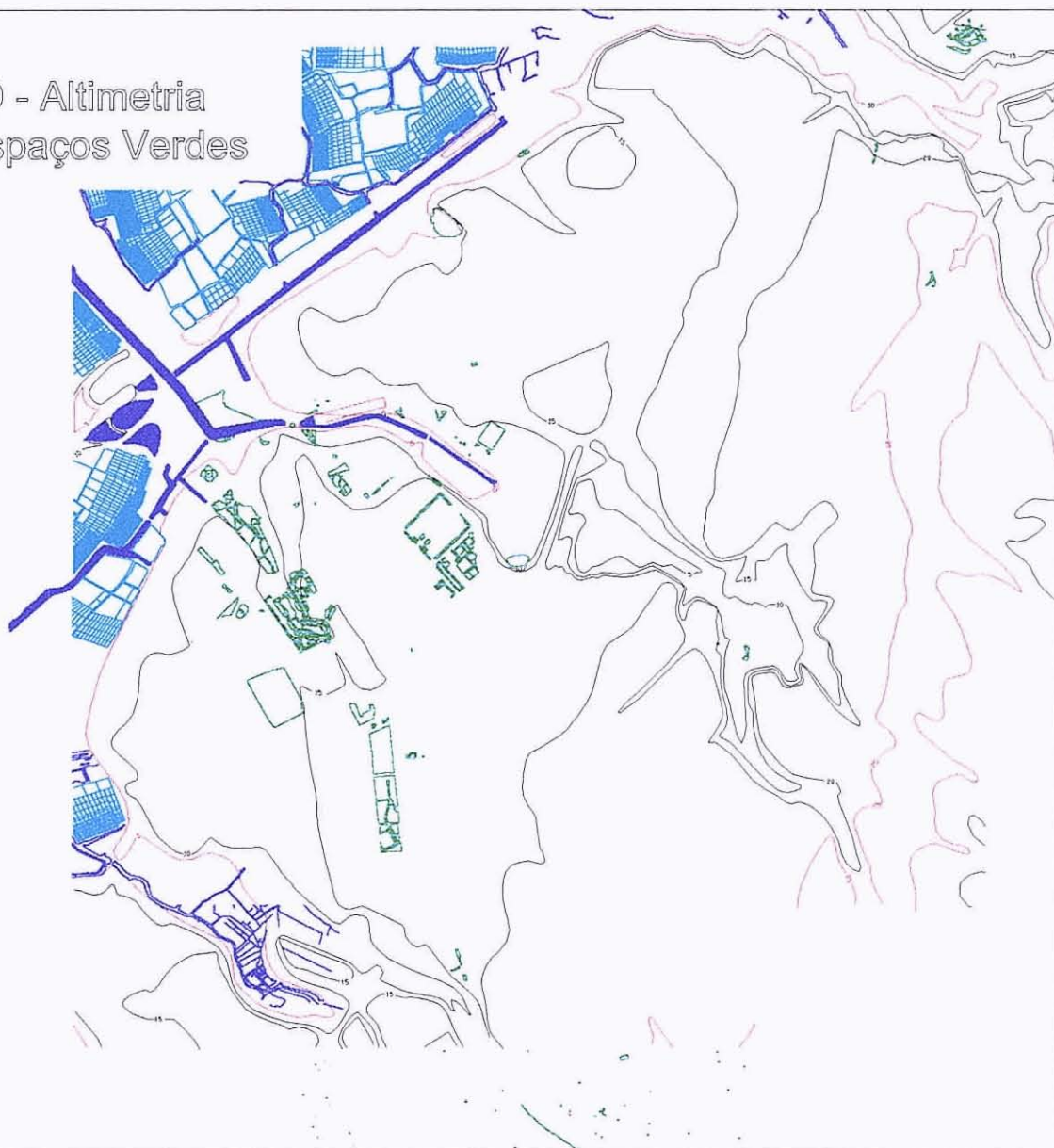


Figura I.II.5 - Estrutura da cidade de Aveiro - Altimetria, Canais, Linhas de água e Espaços verdes [84]. Escala: 1/25 000

II. 1.3 - Estrutura Urbana

A estrutura urbana condiciona as variações da temperatura, com três aspectos em complexa interacção: relevo, desenvolvimento dos espaços urbanos e actividades [71].

Relevo

Aveiro é uma cidade relativamente plana, de altitudes que variam entre os 5m e os 20m - ver figura I.II.5.

Espaços urbanos

No desenvolvimento urbano, distinguem-se 7 espaços fundamentais - Tabela I.II.4 e Figura I.II.6

Tabela I.II. 4 - Principais espaços urbanos da cidade de Aveiro e suas características [7].

| Designação | Características |
|---|---|
| Arredores Rurais | Residências uni-familiares e campos de cultivo. |
| Espaços Ajardinados | Parques e Jardins. |
| Zonas Amplas | Hospital, Universidade e espaços subaproveitados. |
| Bairro Antigo ¹ | Ruelas estreitas e casario muito compacto de 1- 2 pisos; habitacional e com restaurantes/bares. |
| Zonas Habitacionais | Prédios de 2-4 pisos, ou vivendas de 1-2 pisos, ordenados ou não em blocos, habitacional. |
| Comercial Antigo | Ruelas estreitas e casario compacto de 1-2 pisos; comercial > habitacional |
| Centro Activo Comercial (Central Business District) | Prédios de 5-6 pisos, com forte actividade terciária; centros comerciais e trânsito intenso, também habitacional. |

¹ Antigamente a zona "baixa" da cidade constituía o burgo que dominava o concelho e cuja actividade principal era a pesca, devido à proximidade do rio e do mar.

À medida que a actividade piscatória foi perdendo importância e apareceram novas actividades ligadas à indústria, à educação e a serviços que exigiram espaços mais amplos, a cidade passou a crescer na zona alta, deixando o antigo burgo de dominar o concelho [7].

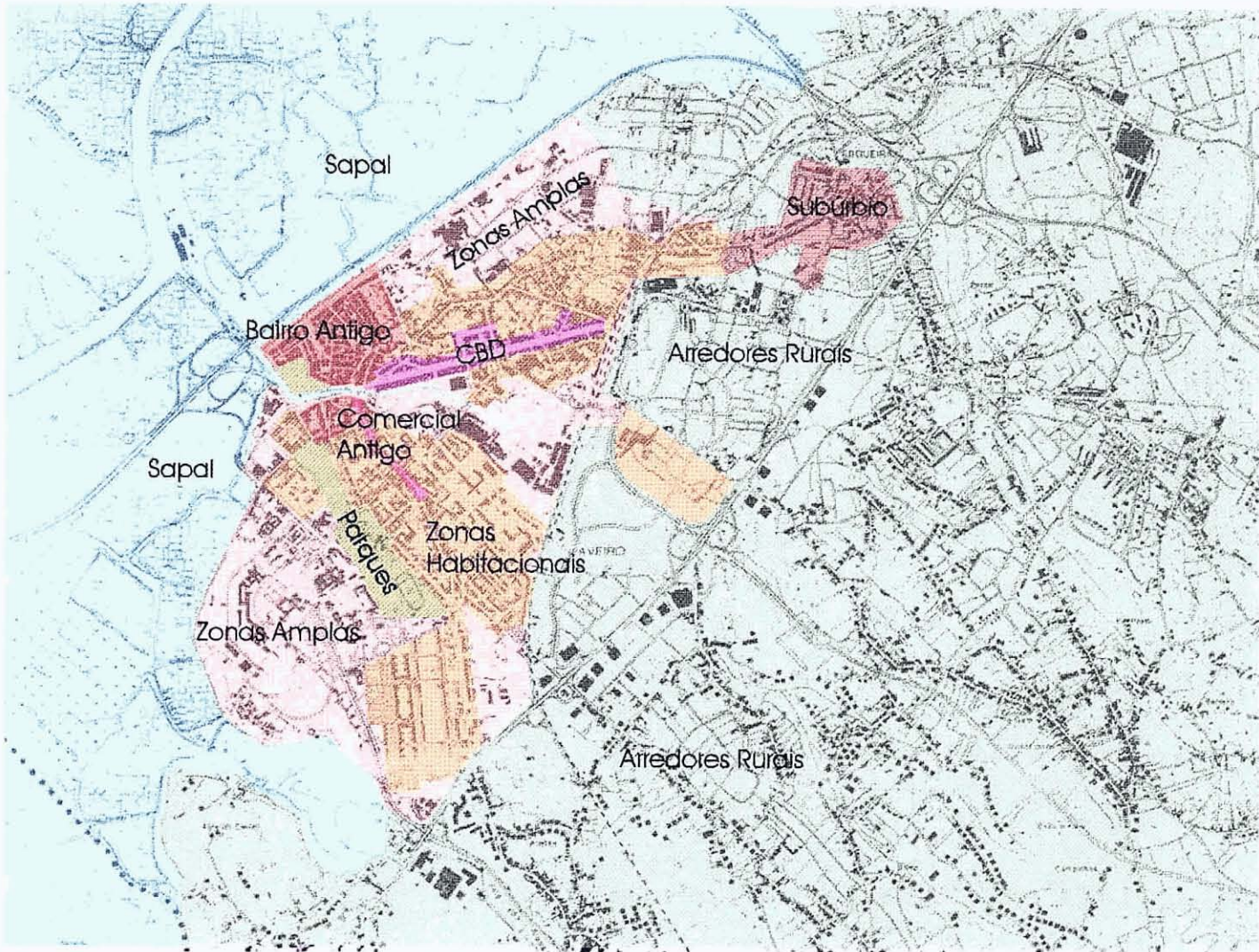


Figura I.II.6 - Principais espaços urbanos da cidade de Aveiro: Arredores Rurais, Espaços Ajardinados, Zonas Amplas, Bairro Antigo, Zonas Habitacionais, Comercial Antigo, CBD. Escala: 1/29 000

Actividades

Distinguem-se zonas agrícolas, zonas habitacionais e zonas comerciais. Não há aglomerações industriais importantes geradoras de calor na cidade (sidero-metalúrgicas, termoeléctricas, refinarias, etc.). Como suplementos de calor e vapor de água, para além da poluição, há o tráfego automóvel, o aquecimento principalmente derivado dos serviços e das pequenas indústrias (restaurantes, padarias, etc.), etc..

Quanto ao tráfego, em relação com o nosso trabalho, destacam-se, como vias de maior trânsito, os seguintes eixos (ver figura I.II.7):

- Eixo Comercial - Rua de Viseu, Avenida Dr. Lourenço Peixinho, Rua Clube dos Galitos.
- Eixo Central - Av. Artur Ravara, Rua Miguel Bombarda, Av. 5 de Outubro, Av Calouste Gulbenkian - principal eixo distribuidor da cidade.
- Eixo Habitacional - Av. 25 de Abril, Av. de Oita, Rua Mário Sacramento - principais eixos de penetração na cidade [7].

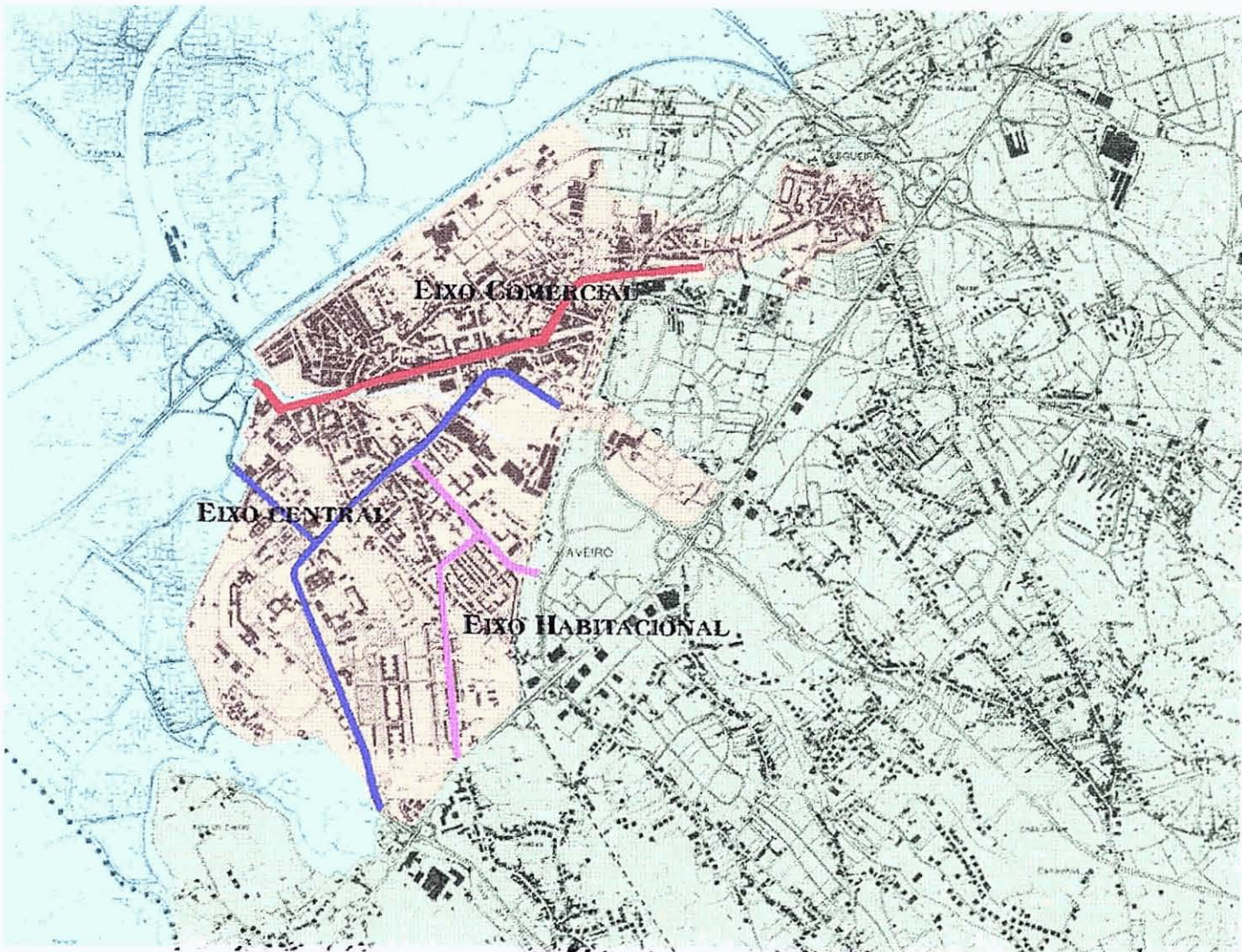


Figura I.II. 7 - Zonas de maior trânsito automóvel em Aveiro [7].

Escala: 1/29 000

II. 2 - Amostragem

Para verificar se em Aveiro é possível definir uma ilha de calor, saber qual a sua intensidade e a sua forma, e perante as enormes carências técnicas, financeiras e humanas de um projecto como este, vocacionado para ser desenvolvido em equipa, e que nos propusemos iniciar individualmente, recorreremos a um método simples, referido na bibliografia como eficiente para cidades pequenas a médias, como é o caso de Aveiro. Foram feitas medições itinerantes da temperatura do ar ao longo de percursos de automóvel previamente definidos.

Como pioneiros no estudo da ilha de calor da cidade de Aveiro, apesar de haver um planeamento prévio, o trabalho foi-se desenrolando e adaptando progressivamente ao fim a que se destinava, à medida que iam surgindo os dados. Começamos por comparar termicamente apenas dois pontos da cidade, seguidamente definimos uma rede de recolha de dados cingida ao interior da cidade e finalmente alargamos essa rede ao meio rural para comparar termicamente o meio urbano e a sua periferia.

II.2.1 - Material

Os instrumentos que utilizámos, neste trabalho, foram os seguintes:

- duas estações meteorológicas portáteis utilizadas nas observações preliminares;
 - um sensor da temperatura do ar;
 - um transdutor de temperatura por infravermelhos - modelo 4000.4GL;
 - um Datataker 50 - Data Logger;
 - um computador pessoal portátil
- (Ver figuras I.II.8, 9, 10, 11)

As medições itinerantes foram realizadas num veículo ligeiro de transporte de passageiros.

O Datataker 50 é um data Logger, alimentado por uma bateria, baseado num microprocessador, que mede os "inputs" enviados dos sensores, neste caso, do sensor de temperatura e do transdutor de temperatura por infravermelhos. Os dados são armazenados no data Logger e observados e recolhidos pelo computador portátil.

O termómetro de infravermelhos mede a energia radiante abaixo da gama visível pelo olho humano. Todos os objectos radiam esta energia com uma intensidade proporcional à temperatura do objecto. A radiação infravermelha (IR) é radiação electromagnética de comprimento de onda entre a 0,75 e 1000 μm [80]. O transdutor de temperatura por infravermelhos, com um tempo de resposta de 0,25 segundos, foi colocado no exterior do automóvel, afastado deste (para evitar, dentro do possível, que fosse influenciado pelo calor do automóvel) e orientado para o solo.

O sensor da temperatura do ar, com um tempo de resposta desconhecido, foi protegido por um cilindro metálico (a fim de reduzir o arrefecimento pelo ar em movimento), colocado no exterior do automóvel e afastado o mais possível das fontes de calor do automóvel (motor) - ver figura I.II.11.



Figura I II 8 - Estação meteorologica portátil, enquanto esteve estacionada na Avenida Dr. Lourenço Peixinho

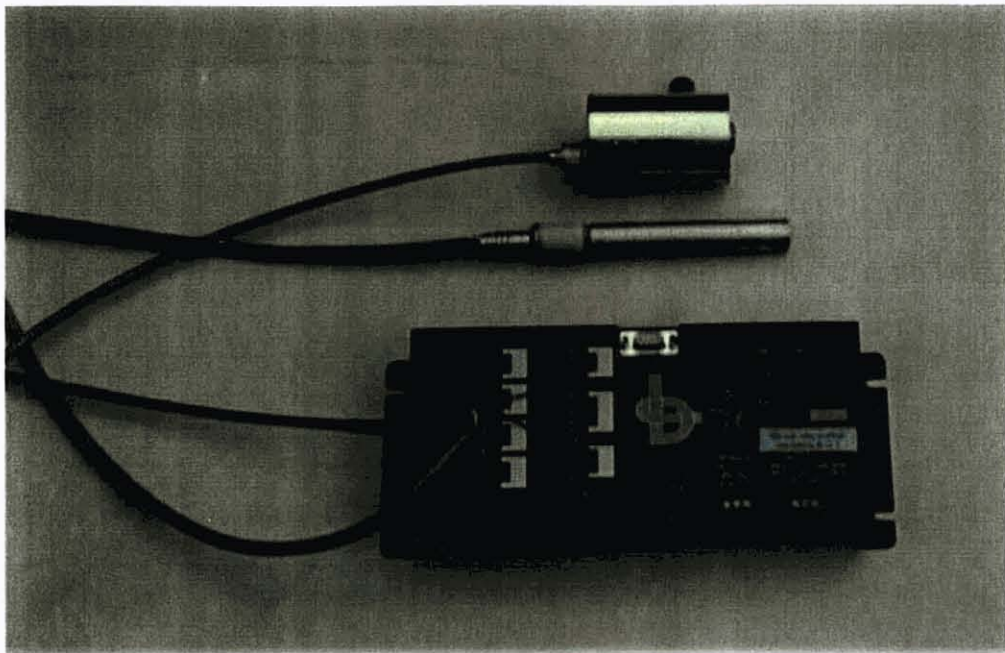


Figura I II 9 - Transdutor de temperatura por infravermelhos - modelo 4000 4GL (em cima) Sensor da temperatura do ar dentro do cilindro metálico que o protege (no meio) Datataker 50 - Data Logger (em baixo)

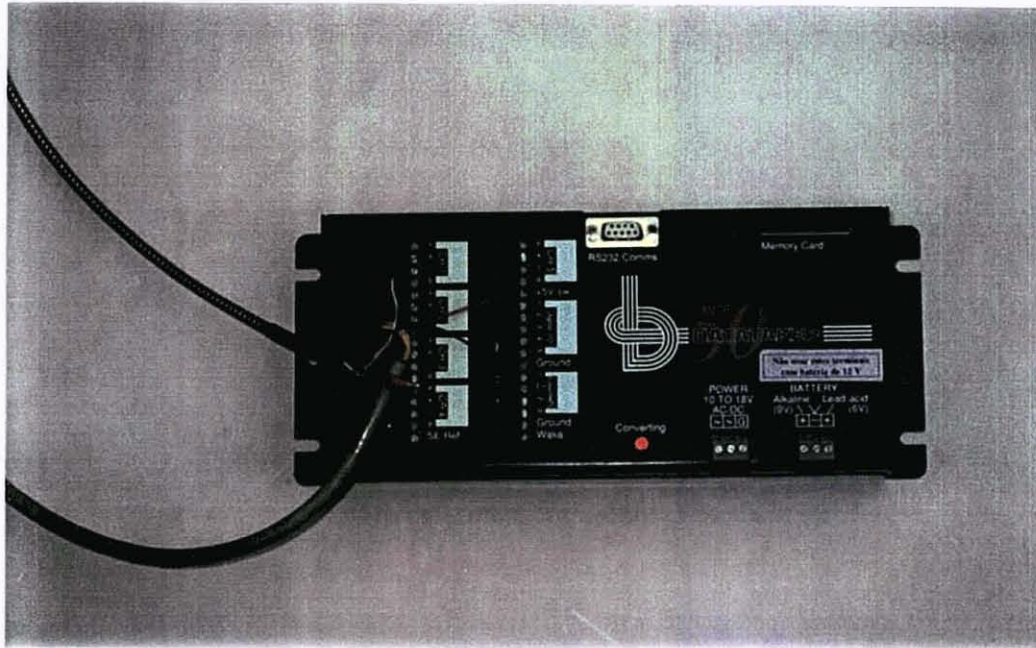


Figura I II 10- Datataker 50 - Data Logger



Figura I III 11 - Posição do Sensor da temperatura do ar e do Transdutor de temperatura por infravermelhos, no automovel, durante as medições itinerantes

II.2.2 - Métodos

Realizámos observações preliminares no Inverno de 1995.

No Verão - Inverno de 1996 realizámos as medições itinerantes, registando a temperatura do ar e do solo.

II. 2.2.1 - Observações Preliminares

Com o intuito de analisar previamente a existência ou não de alguma variação espacial de elementos climáticos dentro da cidade, entre 19/12/95 e 09/01/96, foram feitas medições simultâneas, com duas estações meteorológicas portáteis que foram colocadas em dois locais predefinidos: uma na Avenida Dr. Lourenço Peixinho - CBD e outra na Zona Residencial periférica, muito próximo do Parque da cidade - ver figura I.II.12.

Foram medidos e analisados os seguintes elementos climáticos: velocidade do vento, direcção do vento e temperatura do ar. Devido a dificuldades técnicas, relativamente à temperatura do ar, apenas dispomos de dados comparativos nos dois locais para 6 dias (19/12/95 - 24/12/95); relativamente à direcção do vento, apenas dispomos de dados comparativos nos dois locais para 8 dias (19/12/95 - 27/12/95).

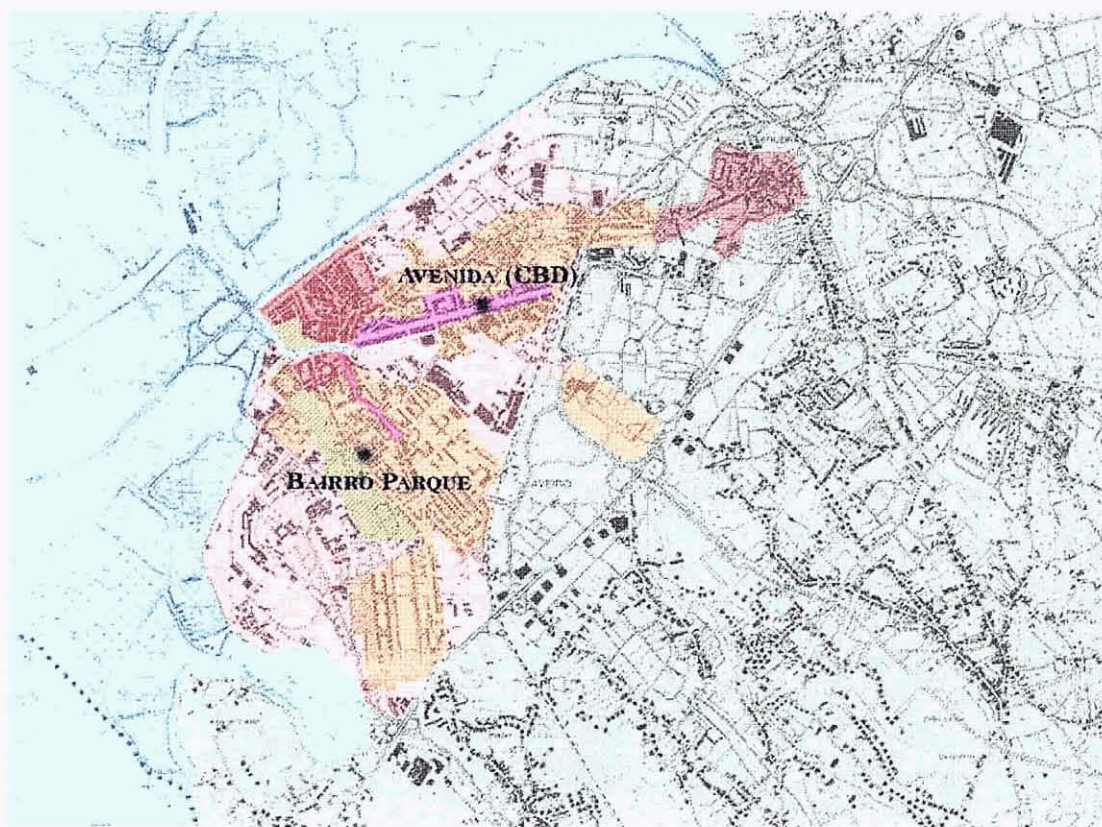


Figura I.II.12 - Localização das estações meteorológicas portáteis durante as observações preliminares. Escala: 1/38 000

II. 2.2.2 - Medições itinerantes

Após controvérsia em torno da escolha dos pontos que supostamente seriam representativos de uma determinada área, predefinimos uma rede de recolha de dados, tentando maximizar a utilidade da informação que era possível obter, mas conscientes das nossas limitações, uma vez que não é possível passar nem por todos os pontos da cidade, nem simultaneamente, como seria ideal.

O método de recolha de dados por medições itinerantes está sujeito a uma série de condicionalismos, imprescindíveis para lhe maximizar a utilidade:

- As medições itinerantes devem cobrir a maior diversidade possível de ambientes urbanos.
- Não devem ser muito demoradas para não reflectirem, enquanto são executadas, condições físicas da atmosfera e fases do ciclo diário da temperatura muito diferenciadas.
- Cada percurso deve ser executado, em duas passagens simultâneas, e o valor final a atribuir a cada ponto deve ser igual à média dos dois registos efectuados.

Além disto, em cada ponto de medição deve-se evitar, ao máximo, a interferência de factores exógenos que modifiquem as características do valor de temperatura registado. Não devem ser contabilizados os registos efectuados, quando, em paralelo, estiver outro veículo. A viatura deve deslocar-se a uma velocidade baixa e constante. É necessário fazer com que um determinado processo de registo, seja ele qual for, seja mantido, posteriormente, durante toda a fase de experimentação [71].

Todos estes condicionalismos foram respeitados, na medida do possível, à excepção da terceira condição, uma vez que dispunhamos apenas de um sensor de temperatura do ar e de um veículo.

As medições de temperatura foram feitas no início da noite (22 h - 1h) - horas em que as diferenças espaciais de temperatura urbano-rural são supostamente as maiores e a variação temporal da temperatura é relativamente fraca [24,71]. As medições, ao longo dos principais eixos da cidade, duraram cerca de hora e meia, e o automóvel circulava lentamente e a velocidade aproximadamente constante ($\pm 30 \text{ Km/h}$). Os dados correspondem à temperatura do ar a 1,5 m do solo e foram recolhidos em contínuo e em vários pontos predefinidos - ver figuras I.II. 13 e 14.

Os percursos foram escolhidos com o objectivo de cruzarem os diversos espaços urbanos de Aveiro, desde o centro até aos arredores rurais e até à zona de sapal; os espaços verdes, na impossibilidade de serem atravessados de automóvel, foram bordejados.

Foram efectuadas medições sob diversas condições atmosféricas, desde condições de céu limpo e ausência de vento, até vários tipos de situações perturbadas.

Os dados do transdutor de infravermelhos correspondem à radiação de calor (radiação infravermelha) do solo, uma vez que estava apontado para o solo. Os percursos cobriram áreas com diferentes tipos de solo: alcatrão, paralelo granítico e terra batida, o que nos permitiu comparar a energia radiante nocturna entre eles.

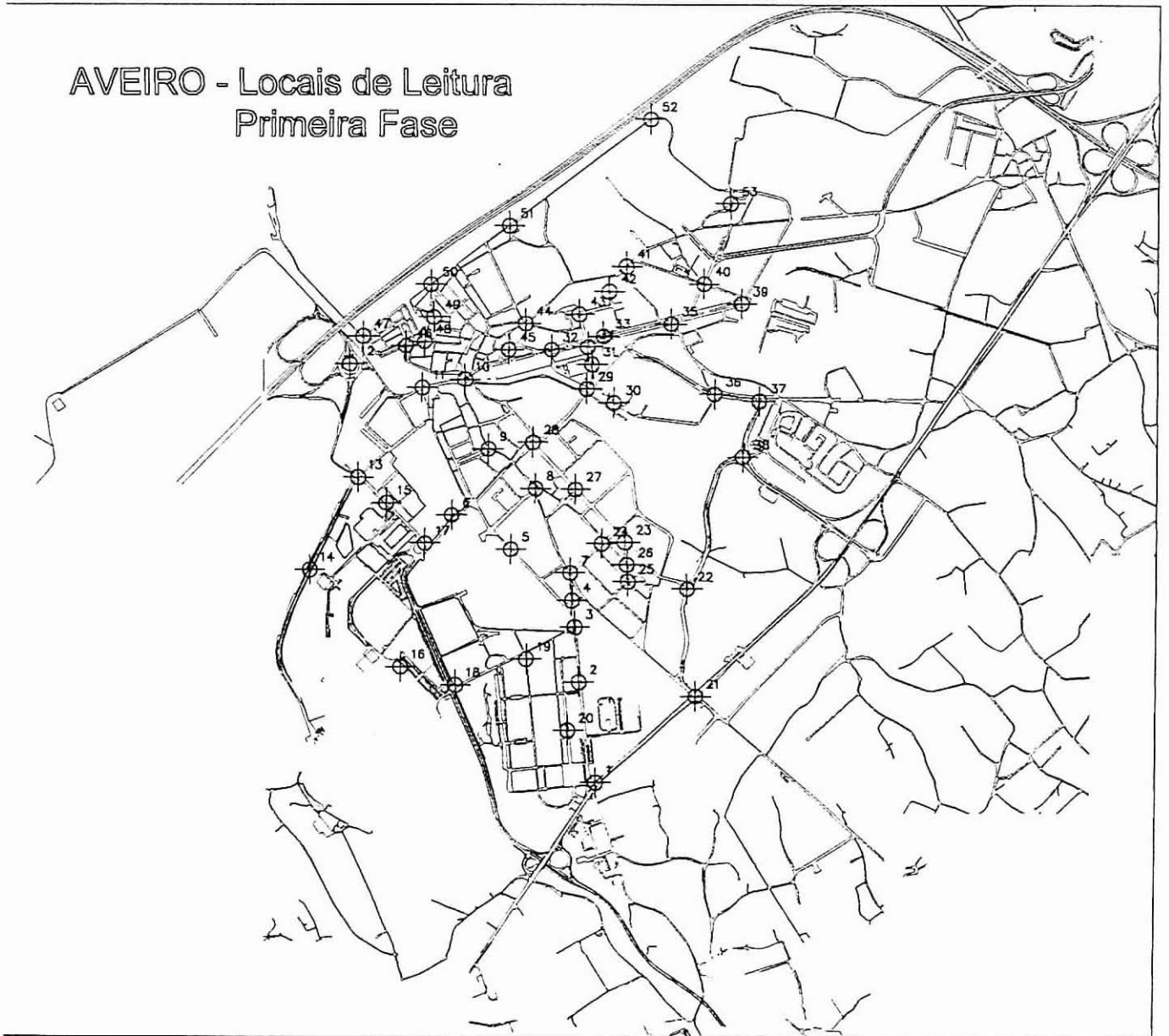


Figura I.II. 13 - Pontos das medições itinerantes da 1ª Fase. Escala: 1/25 000

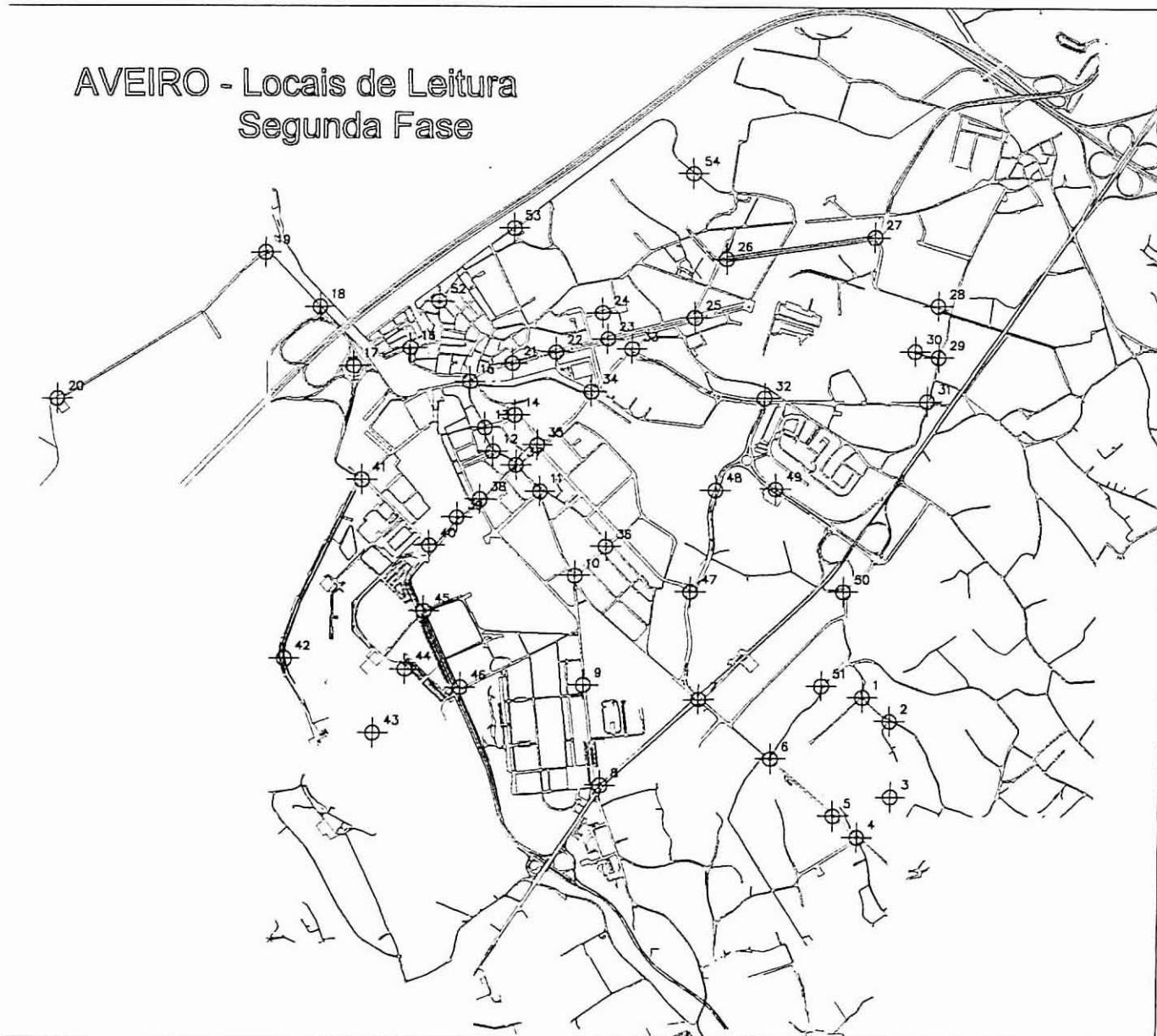


Figura I.II. 14 - Pontos das medições itinerantes da 2ª Fase. Escala: 1/25 000

II.2.2.3 - Dados Climáticos

Para analisar a influência das variáveis climáticas na distribuição das temperaturas do ar e do solo, tentámos obter o maior número possível de dados climáticos que pudessem ajudar a interpretar as variações espaciais e temporais da ilha de calor. Deste modo, registamos, para cada dia de medições:

- dados diários obtidos na estação meteorológica do Campus Universitário: temperatura do ar mínima e máxima, precipitação, pressão atmosférica, evaporação de Piche, humidade relativa, velocidade do vento durante o percurso e rumo do vento durante o percurso.
- dados relativos à observação directa diária e dados do Boletim Meteorológico (informação do Instituto de Meteorologia - via Diário de Notícias e informação Boletim Meteorológico Europeu do "latest surface isotherms and isobars for Europe" - via Internet [86]) relativamente à situação sinóptica à superfície, ao vento e à cobertura nebulosa.

Para a correcção dos dados de temperatura do ar obtidos em cada percurso, foram registados dados da estação meteorológica do Campus Universitário relativos ao curso horário (10 em 10 minutos) da temperatura do ar a 1,5 m, cada noite, durante o intervalo de tempo em que decorreu cada percurso.

II. 3 - Metodologia de Análise

II.3.1 - Correcção dos dados de temperatura do ar

Um percurso de observações itinerantes demora sempre um certo tempo. Como durante este espaço de tempo a temperatura segue o seu ciclo diário, não se podem comparar directamente os valores de temperatura anotados. Este problema pode-se resolver efectuando trajectos de ida e volta e calculando-se, para cada local, a média das duas observações de temperatura [81]. Isto não foi possível realizar, por um lado, devido à limitada duração da bateria do computador portátil (aproximadamente 1h 30m) e por outro lado, devido aos condicionalismos do tráfego dentro da cidade (sentidos únicos, por exemplo).

Então, optámos pela correcção dos valores observados em função do curso horário da temperatura na estação de referência localizada no Campus Universitário. Reconhecemos, no entanto, que este método não é integralmente correcto, uma vez que a velocidade de arrefecimento não é a mesma nos diversos pontos da cidade.

Para cada noite, calculámos a velocidade de arrefecimento no intervalo de tempo em que se realizaram as medições, segundo os dados da estação de referência. O valor de temperatura do ar corrigido de cada ponto do percurso foi obtido pela seguinte equação:

$$T_{ar_{cor}} = T_{ar_{med}} + (\Delta t * V)$$

$T_{ar_{cor}}$ - temperatura do ar corrigida do ponto

$T_{ar_{med}}$ - temperatura do ar medida no ponto

Δt - intervalo de tempo desde o início do percurso até ao ponto

V - velocidade de arrefecimento durante o percurso

II.3.2 - Elaboração de perfis térmicos e mapas de isotérmicas

Após a correcção dos dados, foram calculadas, para cada ponto, as diferenças de temperatura em relação à mínima em cada percurso - temperaturas relativas. Seguidamente, com estas temperaturas relativas, foram elaborados perfis térmicos e mapas de isotérmicas e foi calculada a intensidade da ilha de calor (temperatura relativa máxima) para cada noite. Classificámos a ilha de calor em 4 níveis, segundo a sua intensidade [24] :

Tabela I.II.5 - Classificação da ilha de calor consoante a sua intensidade [24].

| Classificação | Intensidade (°C) |
|---------------|------------------|
| Fraca | entre 0 e 2 |
| Moderada | entre 2 e 4 |
| Forte | entre 4 e 6 |
| Muito Forte | maior que 6 |

II.3.3 - Análise estatística dos factores condicionantes da ilha de calor

Como referimos anteriormente, diversos aspectos condicionam a ilha de calor. Para além de aspectos urbanos, como a estrutura da cidade e as actividades antrópicas, há, também, a considerar a situação sinóptica e tipo de tempo associado, o vento, a topografia e a distância ao mar.

II.3.3.1 - Análise de correlação

A correlação é uma medida da intensidade da variação conjunta de dois factores dependentes, permitindo-nos saber se os vários factores apresentam uma variação directa ou inversa. No entanto, a existência de correlação não implica relações de causa - efeito; apenas avalia a interdependência das variáveis [70].

Utilizámos a análise de correlação para detectar o padrão de interacção entre:

- a temperatura do ar nos diversos pontos dos percursos e as características geográficas desses pontos (distância ao sapal, altitude, estrutura urbana);
- a intensidade da ilha de calor e as diversas variáveis climáticas (cobertura nebulosa, situação sinóptica, rumo do vento, velocidade do vento, humidade relativa, pressão atmosférica, temperatura máxima, temperatura mínima, evaporação de Piche).

O coeficiente de correlação utilizado foi o coeficiente de correlação de ordem de Spearman, não paramétrico e que não exige a normalidade dos dados.

O cálculo do coeficiente de correlação permitiu-nos complementar a apreciação subjectiva da análise gráfica.

Variáveis geográficas

Apesar de Aveiro ser uma cidade relativamente plana, analisámos a possível relação entre a altitude e a distribuição espacial das temperaturas. Para tal, foi calculada, para cada noite, a correlação entre a altitude de cada ponto dos percursos e a respectiva temperatura relativa, utilizando o coeficiente de correlação de Spearman.

De igual modo, foi calculada a correlação entre a distância mínima ao sapal de cada ponto dos percursos e a respectiva temperatura relativa.

Relativamente à estrutura urbana, cada ponto dos percursos foi classificado de acordo com a sua densidade de construção e actividade antrópica e foi calculada a correlação com a respectiva temperatura relativa. A classificação utilizada foi a seguinte:

Tabela I.II.6 - Classificação quantitativa das diferentes zonas dos percursos, segundo a morfologia urbana e as actividades antrópicas.

| Classe | Designação |
|--------|----------------------------|
| 1 | Ria |
| 2 | Arredores Rurais e Jardins |
| 3 | Zonas Amplas |
| 4 | Bairro Antigo |
| 5 | Zonas Residenciais |
| 6 | Comercial Antigo |
| 7 | CBD |

Esta classificação foi feita segundo a seguinte caracterização das diferentes zonas urbanas:

Tabela I.II.7 - Caracterização das diferentes zonas urbanas segundo a morfologia urbana e as actividades antrópicas.

| Zonas | Superfície construída | Altura dos edifícios | Impermeabilização do solo | Tráfego | Habitação | Actividades terciárias | Total |
|--------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|---------|-----------|------------------------|-------|
| Zonas Rurais | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| Zonas Amplas | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| Bairro Antigo | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 12 |
| Zonas Residenciais | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 14 |
| Comercial Antigo | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 16 |
| CBD | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 17 |

Legenda: 1 - Fraco; 2 - Médio; 3 - Forte

Variáveis meteorológicas

Conhecidos os valores da intensidade da ilha de calor nos vários percursos, foram estes relacionados com as diferentes variáveis meteorológicas. Com isto pretendemos determinar a relação existente entre a intensidade da ilha de calor e os diferentes tipos de situações sinópticas, e também entre a intensidade da ilha de calor e as várias variáveis climáticas consideradas isoladamente. Foi calculada o coeficiente de correlação de Spearman entre cada um dos referidos elementos climáticos diários e o valores da intensidade da ilha de calor diários. Esta análise estatística foi complementada pela análise gráfica dos dados.

A cobertura nebulosa apresentada no boletim meteorológico e na nossa observação directa diária numa escala qualitativa foi convertida na seguinte escala quantitativa:

Tabela I.II.8 - Classificação quantitativa da cobertura nebulosa.

| Classe | Descrição |
|--------|--------------------------------|
| 1 | céu limpo |
| 2 | céu pouco nublado |
| 3 | céu encoberto ou muito nublado |
| 4 | Chuva / Aguaceiros |

Quanto às situações sinópticas, a sua grande diversidade levou a uma catalogação prévia. Foi seguida, em termos gerais, a classificação utilizada por Alcoforado (1988) que, com base nas consultas de J. Mounier (1979), A. e D. de Brum Ferreira (1983), C. Ramos (1986) e J. Ventura (1986), distinguiu 4 tipos de anticiclones atlânticos e 3 continentais. Simplificou, também, a classificação das situações depressionárias. Foi dado especial relevo aos anticiclones, devido à estreita relação destes aparelhos isobáricos com a repartição das temperaturas e com os ventos superficiais [2]:

Tabela I.II.9 - Classificação das diferentes situações sinópticas [2].

| Código | Descrição |
|--------|--|
| 1 | Anticiclone atlântico subtropical (ou "anticiclone dos Açores"): anticiclone dinâmico e homogéneo, composto por ar quente e subsidente, podendo apresentar uma inversão térmica baixa, devido ao arrefecimento das camadas superficiais pelas águas frias oceânicas. A faixa costeira ocidental de Portugal é, não raro, afectada pela margem oriental deste anticiclone. No Verão, é frequente a presença simultânea de uma depressão de origem térmica no interior da península Ibérica, caso que se indica por código especial (8). |
| 2 | Anticiclone atlântico misto: anticiclone composto, em superfície, por ar polar marítimo, e em altitude, por ar quente tropical, subsidente. Com uma forte inversão térmica (a cerca de 3000m), a pressão no seu centro é sempre mais elevada do que no centro do anticiclone subtropical. Quando Portugal está em situação de margem deste anticiclone, o fluxo geral provém de N ou de NW (às vezes de W). Na mesma categoria foi incluído o anticiclone atlântico sazonal, devido às descargas de ar frio à superfície, depois da passagem de uma família de depressões. |
| 3 | Anticiclone atlântico misto com apófise polar: anticiclone que se desenvolve segundo os meridianos, sendo então alimentado por ar polar ou mesmo ártico. O ar tem tendência a tornar-se convectivo, à medida que se desloca para Sul, devido a um aquecimento pela base. |
| 4 | Anticiclone de raiz atlântica, prolongando-se pela Europa Ocidental, ligado no Inverno ao anticiclone térmico europeu, de eixo NE-SW ou E-W, constituído por massas de ar polar continentalizadas ou mesmo continentais. |
| 5 | Anticiclone continental europeu: em circulação meridiana, desenvolve-se frequentemente um anticiclone continental dinâmico, centrado sobre a Europa Ocidental e que perdeu características atlânticas devido à longa permanência sobre o continente europeu. Portugal recebe fluxo do quadrante E, frio ou quente, consoante a estação do ano. |
| 6 | Anticiclones ibero-africano e ibero-mediterrâneo: o eixo do primeiro alonga-se de norte para sul, o do segundo de Oeste para Este. O primeiro é constituído por ar quente e seco tropical, que chega a Portugal de S ou SE, enquanto na circulação do anticiclone ibero-mediterrâneo são transportadas massas de ar mais húmido. |
| 7 | Situação de transição - Anticiclone no Atlântico e depressão no interior da Península Ibérica ou na Europa Ocidental. Este tipo de organização de sistemas isobáricos mantém-se, pelo menos, até 50° de latitude Norte, sendo o fluxo geral de SE, Sul ou SW. |
| 8 | Depressão na Península Ibérica |
| 9 | Perturbações próximas |

As diversas situações sinópticas encontradas nos dias das medições itinerantes foram distribuídas por estas 9 classes. Esta classificação foi dificultada pelo facto de dispormos apenas de mapas sinópticos de superfície de 500 hPa, e não dos de 850 hPa. Foi calculada o coeficiente de correlação de Spearman entre as classificações sinópticas diárias e os valores da intensidade da ilha de calor diários.

II.3.3.2 - Análise de Regressão

A análise de regressão permite-nos estimar a relação existente entre duas ou mais variáveis, exprimindo uma em função da ou das outras [70].

Utilizámos a Regressão Linear Múltipla que nos permitiu estimar a relação existente entre a intensidade da ilha de calor e as diversas variáveis climáticas, exprimindo aquela em função destas. Assim, como variável dependente, indicámos a intensidade da ilha de calor, e como variáveis independentes (explicadoras) indicámos todos os factores climáticos: cobertura nebulosa, situação sinóptica, rumo do vento, velocidade do vento, humidade relativa, pressão atmosférica, temperatura máxima, temperatura mínima, evaporação de Piche. Foi utilizado o método da Regressão Progressiva, método que nos permite testar quais as variáveis significativas, com uma probabilidade à introdução de 1,00 e uma probabilidade de eliminação de 0,00. A significância da regressão foi testada pela análise de variâncias - Teste F clássico. A percentagem de variância explicada pelo modelo é dada pelo R^2 ajustado.

O mesmo método de Regressão Linear Múltipla foi utilizado para estimar a relação existente entre a temperatura relativa do ar média nos diversos pontos do percurso e as diversas variáveis geográficas, exprimindo aquela em função destas.

Utilizámos a Regressão Linear Simples para estimar a dependência da intensidade da ilha de calor em relação a cada uma das variáveis climáticas e entre a temperatura relativa do ar média nos diversos pontos do percurso e cada uma das variáveis geográficas.

II.3.3.3 - Análise de Classificação

Para analisar o padrão espacial da distribuição das temperaturas do ar na cidade de Aveiro e arredores, submetemos a matriz dos dados de temperatura relativa do ar (com os diferentes pontos dos percursos como Objectos e as diferentes noites de medições como Descritores) a uma Análise de Classificação Hierárquica Aglomerativa por Ligações Completas e Distâncias Euclidianas.

A análise do padrão temporal da distribuição das temperaturas relativas do ar na cidade de Aveiro e arredores, foi realizada, através do mesmo tipo de Análise de Classificação. Classificámos as diversas noites de medição (Objectos) segundo a intensidade da ilha de calor e duas condicionantes meteorológicas: cobertura nebulosa e rumo do vento (Descritores). Estes dados foram previamente centrados e reduzidos, uma vez que apresentam unidades diferentes.

II.3.4 - Análise dos mapas de isotérmicas e dos factores condicionantes da ilha de calor

A análise particular das variações da ilha de calor no espaço e no tempo foi realizada através da análise conjunta dos mapas de isotérmicas e dos diversos factores geográficos e meteorológicos condicionantes da ilha de calor.

II.3.5 - Programas utilizados

O tratamento de dados, assim como os perfis térmicos, foram realizados através do programa *EXCEL for Windows*. O tratamento estatístico dos dados foi, também, realizado através do programa *STATISTICA for Windows*. Os mapas de isotérmicas foram elaborados através do programa *SOFTDESK for AutoCAD*. Alguns mapas e esquemas da cidade foram elaborados através do programa *CORRELDRAW* e *MICROGRAFX ABC Picture Publisher for Windows*. Além destes programas, utilizámos, para o processamento, o *WORD for Windows*.

III - RESULTADOS E DISCUSSÃO

III.1 - Observações preliminares

Apesar do curto intervalo de tempo em que se realizaram as medições, notámos algumas diferenças dos elementos climáticos entre as diferentes zonas da cidade. Entre a Zona do Parque e o CBD (Avenida Dr. Lourenço Peixinho), verificámos que a temperatura do ar é regularmente superior neste último, como seria comprovado mais tarde. Notámos, também, uma diferença na direcção do vento: na Zona do Parque é predominantemente de NW enquanto que no CBD é de E, evidenciando o efeito de corredor de vento urbano ao longo da Avenida Dr. Lourenço Peixinho. Relativamente à velocidade do vento, as rajadas são atenuadas no CBD, fazendo-se sentir mais intensamente na zona periférica e relativamente menos abrigada do Parque - ver figuras I.III.1, I.III.2 e I.III.3.

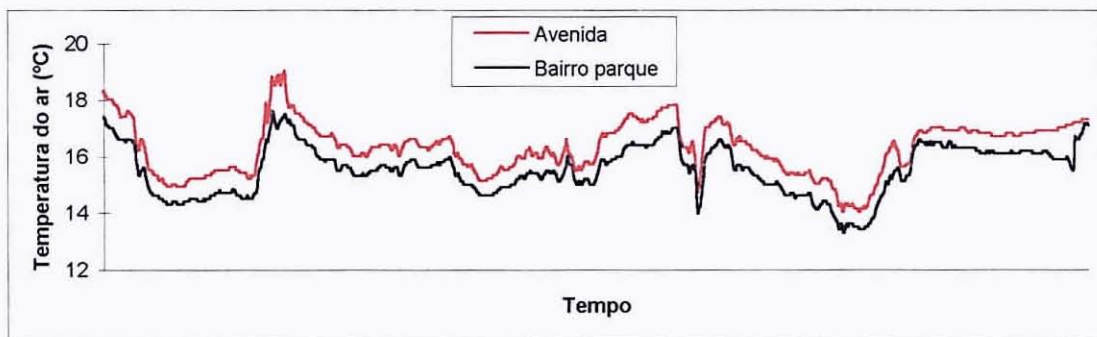


Figura I.III.1 - Variação da temperatura do ar em dois locais de Aveiro: CBD e Zona do Parque.

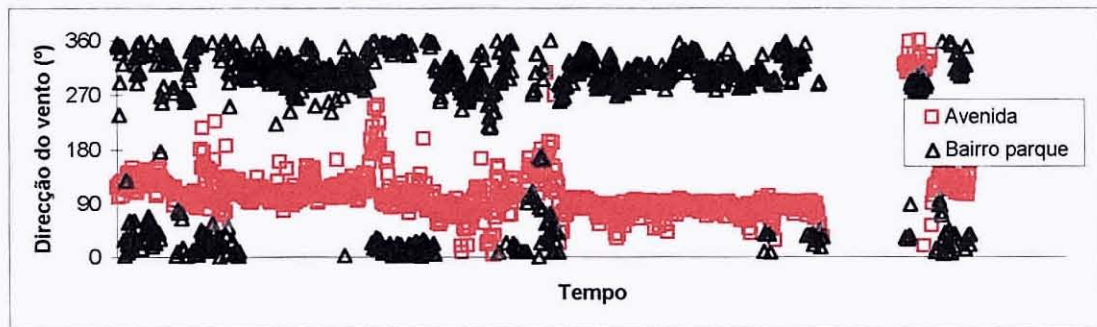


Figura I.III.2 - Variação do rumo do vento em dois locais de Aveiro: CBD e Zona do Parque.

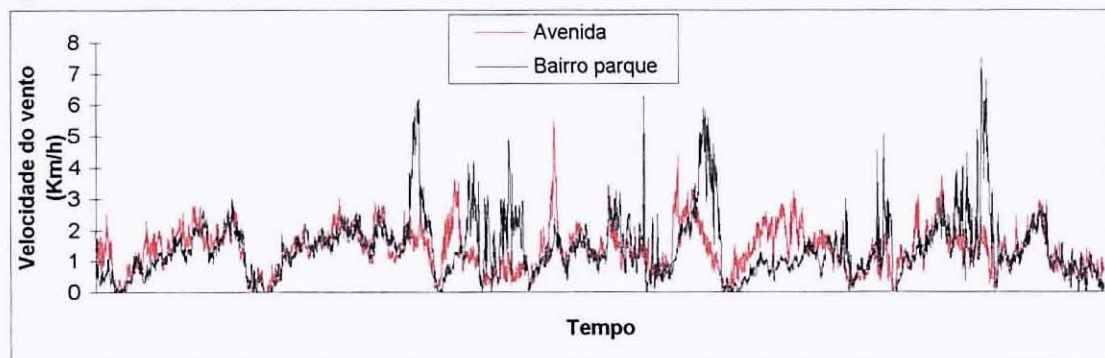


Figura I.III.3 - Variação da velocidade do vento em dois locais de Aveiro: CBD e Zona do Parque.

Dado o curto intervalo de tempo em que se realizaram estas medições, estes resultados não nos permitem, como é lógico, qualquer tipo de generalização ou

conclusão. No entanto, nomeadamente no que se refere à temperatura do ar, foram um estímulo para o estudo da ilha de calor, uma vez que nos permitiram antever um indício de diferenças térmicas entre dois pontos distintos da cidade.

III.2 - Medições Itinerantes - 1ª Fase

Numa primeira análise gráfica do perfil térmico da cidade, notámos que, apesar das variações inter-diárias, existe um padrão geral da distribuição das temperaturas relativas do ar em Aveiro, como se pode verificar na figura I.III.4. As diferenças entre os vários bairros da cidade não são muito marcadas, no entanto destacam-se um pouco o Centro Antigo e o CBD. Notórias são as diferenças térmicas entre a cidade e a sua periferia próxima, apesar de não terem ultrapassado os $1,4^{\circ}\text{C}$. Tanto a periferia-campo como a periferia-ria se apresentam mais frescas do que a cidade. Para evidenciar este contraste cidade-arredores, alargámos o raio dos percursos, numa segunda fase de medições itinerantes.

Nesta primeira fase de medições, notámos, também, a clara influência das condições atmosféricas na distribuição espacial das temperaturas. No dia 9 de Agosto, em que choveu, a distribuição da temperatura é bastante uniforme, quer dentro da cidade, quer entre esta e a sua periferia próxima: as diferenças térmicas não ultrapassam os $0,4^{\circ}\text{C}$. Já no dia 14 de Agosto, de céu limpo e vento fraco, a distribuição da temperatura apresenta-se bem contrastada, com uma diferença térmica máxima de $1,3^{\circ}\text{C}$ - ver figura I.III.5.

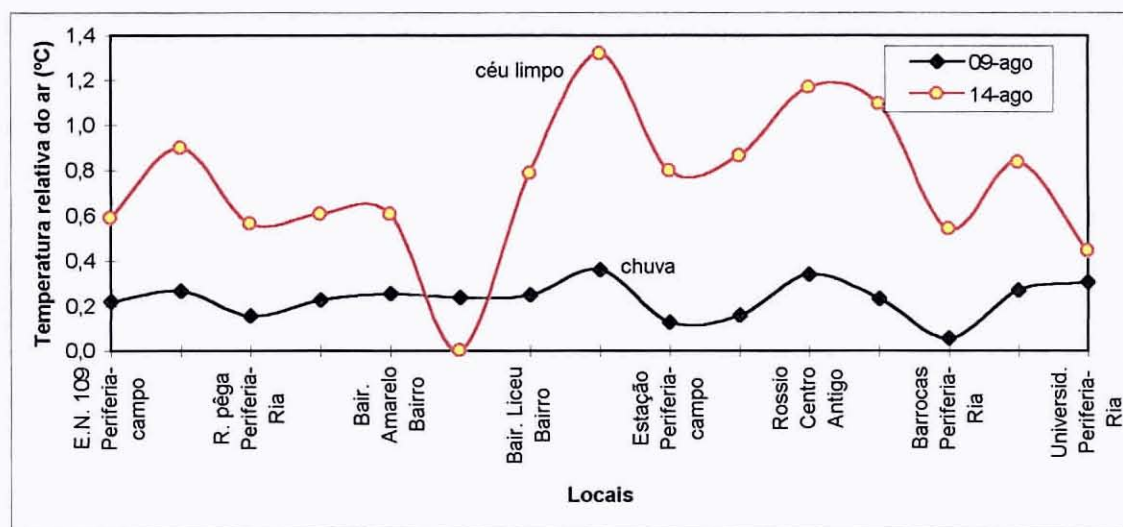


Figura I.III.5 - Perfil térmico de Aveiro em 9 e 14 de Agosto de 1996.

Como os perfis térmicos apenas nos fornecem uma informação bastante fragmentada da distribuição espacial das temperaturas do ar, optámos por fazer a análise detalhada da ilha de calor de Aveiro a partir de mapas de isotérmicas, apresentados mais adiante.

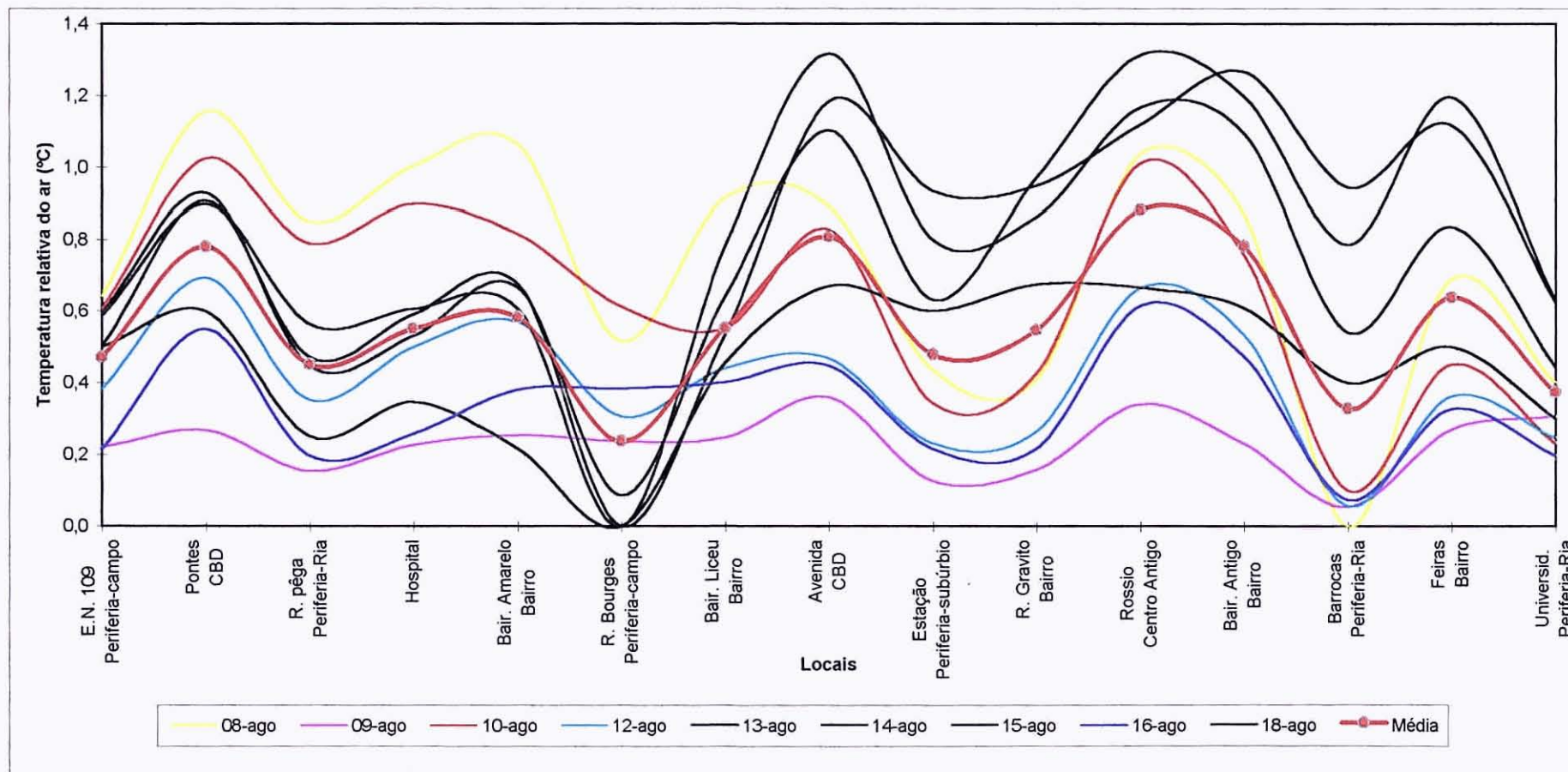


Figura I.III.4 - Perfil térmico de Aveiro - 1ª fase de medições itinerantes.

III.3 - Medições Itinerantes - 2ª Fase

III.3.1 - Energia radiante do solo (medição por Infravermelhos)

Devido à grande sensibilidade do transdutor de temperatura por Infravermelhos, observámos grandes variações pontuais, que se tornam difíceis de interpretar e sem grande utilidade para o objectivo do nosso estudo. Assim, estes perfis não foram analisados exaustivamente, apenas fizemos uma análise do padrão geral (médio) das temperaturas relativas do solo (diferença entre cada temperatura e a temperatura mínima do percurso) que passamos a expor - Figura I.III.6.

Estes dados referem-se a medições realizadas em Setembro, com um percurso diferente, estendendo-se até a um subúrbio (Esgueira) e respectivos campos e pinhal, em deterimento de alguns pontos nas imediações e interior da cidade, uma vez que estávamos limitados pela duração da bateria do computador portátil. O objectivo deste percurso foi analisar a distribuição de temperaturas do ar e da irradiação do solo numa maior gama de ambiências.

Da análise gráfica da distribuição comparativa das temperaturas média relativa do ar e da temperatura média relativa da radiação do solo, confirmámos que, como seria de esperar, a amplitude da temperatura do solo é muito maior do que a da temperatura do ar. A superfície do solo aquece e arrefece mais rapidamente e intensamente do que o ar, uma vez que tem uma maior capacidade calorífica e irradiativa.

Como seria de esperar também, uma vez que o ar é aquecido pelo calor irradiado do solo, verificámos que a distribuição da temperatura do ar segue a distribuição da energia irradiada do solo, com uma correlação significativa ($p < 0,05$) de 0,65. Assim, os padrões de distribuição espacial das temperaturas do ar e do solo são muito semelhantes: é claro o contraste de temperaturas entre a cidade e os arredores mais frescos - campos, pinhal e proximidades da ria; dentro da cidade destaca-se o CBD mais quente e o Jardim mais fresco; o subúrbio é termicamente muito semelhante à cidade.

Estes dados vêm confirmar que a energia irradiada do solo muito contribui para o desenvolvimento da ilha de calor.

Verificámos, também, que as condições atmosféricas condicionam a irradiação do solo: num dia de chuva (21 de Setembro de 1996), a distribuição espacial das temperaturas é bastante uniforme, pelo contrário num dia quente de céu limpo, sem vento (1 de Setembro de 1996), essa distribuição apresenta-se bastante contrastada, como se pode verificar na figura I.III.7.

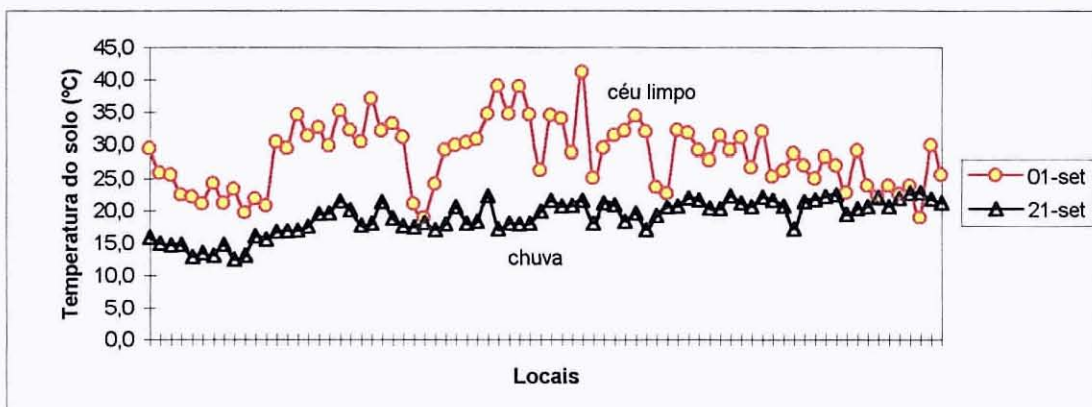


Figura I.III.7 - Distribuição espacial da temperatura do solo em dias de diferentes condições atmosféricas.

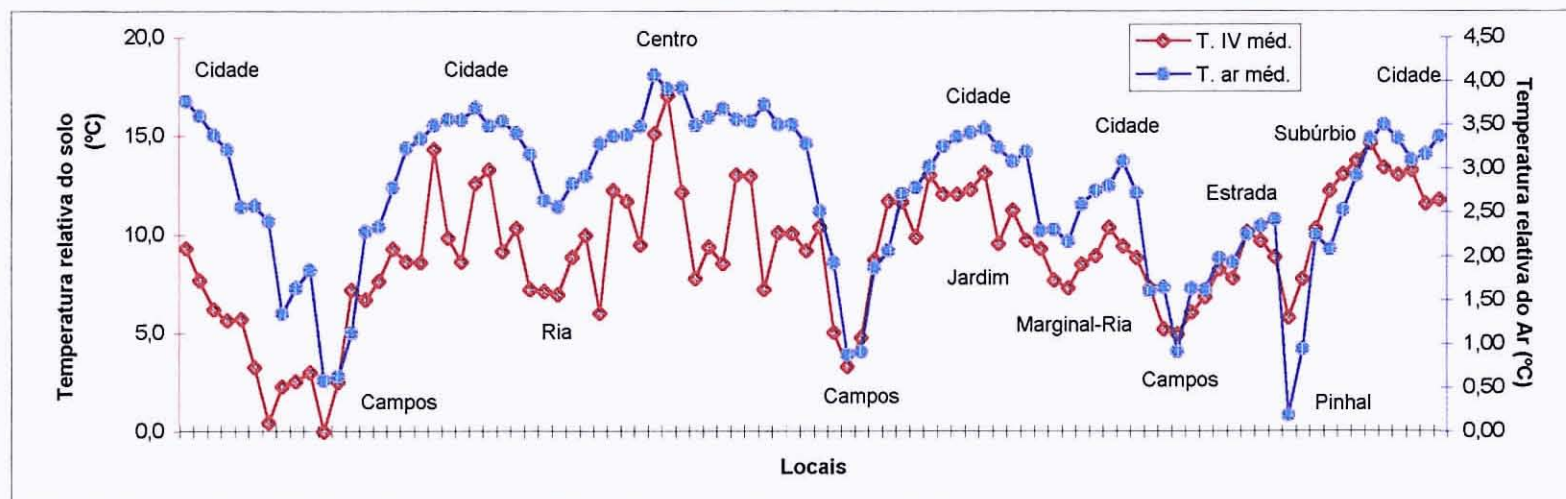


Figura I.III.6 - Perfil térmico de Aveiro - Temperaturas médias relativas do ar e do solo.

Durante as medições da temperatura do solo por infravermelhos, em que os dados eram fornecidos de 5 em 5 segundos, constatámos empiricamente que existia uma relação entre o tipo de pavimento e a temperatura do solo, nomeadamente o alcatrão estava mais quente que o paralelo granítico e este mais quente que a terra batida. Classificámos o tipo de pavimento segundo a seguinte escala numérica: alcatrão - 3; paralelo granítico - 2; terra batida - 1. Calculámos a correlação entre a temperatura do solo e o tipo de pavimento para 4 noites de medições itinerantes e obtivemos valores significativos ($p < 0,05$) compreendidos entre 0,50 e 0,68, o que confirma a constatação empírica. Isto está de acordo com as propriedades térmicas destes materiais; é sabido que o alcatrão preto tem maior poder calorífico que o paralelo granítico, absorve mais energia durante o dia que depois irradia à noite, e a terra, devido à sua composição química e sendo um material poroso com uma certa humidade, não acumula tanta energia durante o dia e, portanto, também pouco irradia à noite.

É curioso notar que, apesar do maior poder calorífico do alcatrão em relação ao paralelo, este factor é atenuado por outros factores condicionantes da ilha de calor, uma vez que, como veremos adiante, são exactamente as zonas que têm calçada de paralelo granítico, que são as mais quentes da cidade, porque são, também, as de maior densidade de construção e de maior actividade antrópica - Avenida Dr. Lourenço Peixinho - CBD e "Rua Direita" até às "5 bicas" (Rua Coimbra, Comb. Grande Guerra, Eça Queiros)- zona comercial antiga.



III.3.2 - Distribuição da Temperatura do ar - Ilha de calor Urbana

Como referimos anteriormente, diversos são os factores que condicionam a ilha de calor no espaço e no tempo, desde factores geográficos, como a densidade do edificado e a actividade antrópica, a altitude e a proximidade ao sapal/zonas húmidas/salinas que bordejam a cidade, até factores meteorológicos, como a situação sinóptica e variáveis climáticas associadas.

III.3.2.1 - Análise estatística da influência das variáveis geográficas

Pela análise estatística da influência das variáveis geográficas na temperatura do ar, obtivemos os seguintes resultados:

Tabela I.III.1 - A influência das variáveis geográficas na temperatura do ar - análise de correlação e análise de regressão.

| Variável Geográfica | Coef. de correlação de Spearman entre a temperatura relativa do ar e a variável geográfica | R ² Ajustado obtido por Regressão Linear Simples com Y= temperatura relativa do ar média X= variável geográfica |
|---------------------|--|--|
| Morfologia Urbana | [0,43; 0,86] Média = 0,69 | R ² _{adj} = 0,65 |
| Distância ao sapal | [-0,35; -0,87] Média = -0,46 | R ² _{adj} = 0,51 |
| Altitude | [-0,28; -0,74] Média = -0,54 | R ² _{adj} = 0,34 |

Morfologia urbana (densidade de construção e actividades antrópicas)

Encontrámos, em todas as noites, correlações positivas significativas ($p < 0,05$) entre a temperatura do ar e a densidade de construção e actividades antrópicas (nos diversos pontos do percurso). A análise de regressão linear simples indica-nos que a morfologia urbana explica 65% da variância da temperatura relativa do ar média.

Estes dados vêm suportar a conhecida acção da compactidade de construção (densidade e altura dos edifícios, ausência de espaços verdes) e das actividades antrópicas geradoras de calor de onde se destacam o tráfego, as unidades hoteleiras (restaurantes, padarias, etc.), e os serviços (grandes utilizadores de ar condicionado e aquecimento), na intensificação da ilha de calor.

As actividades antrópicas, como grandes consumidoras de energia, conduzem à libertação do calor na cidade, calor este que se adiciona ao calor acumulado pelo materiais urbanos, durante a incidência da radiação solar diurna, e ao calor retido entre os prédios pelas múltiplas reflexões entre eles, prédios estes que reduzem a interface com a atmosfera. Todo este calor acumulado durante o dia é libertado à noite, impedindo o arrefecimento nocturno da atmosfera urbana. Também os reduzidos espaços verdes e a impermeabilização do solo contribuem para a intensificação da ilha de calor, pois conduzem a uma reduzida evapotranspiração e, conseqüentemente, o arrefecimento evaporativo do ar urbano é diminuto [2,24,30].

Proximidade ao Sapal/Zonas Húmidas/Salinas

À excepção das noites de intensidades muito fracas, com uma distribuição das temperaturas relativas do ar bastante uniforme (22/8/96; 25/8/96; 11/10/96) - ver

Anexo I.1, encontramos correlações negativas significativas ($p < 0,05$) entre a temperatura relativa do ar e a distância mínima ao sapal (nos diversos pontos do percurso). A análise de regressão linear simples indica-nos que a proximidade ao sapal explica 51% da variância da temperatura relativa do ar média.

Estes dados confirmam a importante influência do sapal/zonas húmidas/salinas, que bordejam Aveiro a NW, na amenização da temperatura do ar desta cidade costeira.

As amplitudes térmicas sobre meios aquáticos são pequenas, por várias razões: por um lado, devido ao elevado calor específico da água (aquece lentamente e arrefece lentamente); por outro lado, a mistura da água superficial com a água subjacente retarda o aquecimento e o arrefecimento. Além disto, a radiação solar penetra mais profundamente na água do que na terra, pelo que há uma distribuição do calor mais eficiente. A forte evaporação, sendo o principal mecanismo de arrefecimento (retirando 590 cal de calor do ambiente por cada grama de água que evapora), também explica porque é que nunca fica tão quente no verão sobre a água do que sobre a terra. Deste modo, uma superfície molhada como o sapal retarda o arrefecimento, assim como retarda o aquecimento, contribuindo decisivamente para a amenização das temperaturas em todas as estações do ano [30].

Altitude

À excepção das noites de intensidades muito fracas (22/8/96; 25/8/96; 11/10/96) e das noites de intensidades muito fortes (31/8/96; 1/9/96) - ver Anexo I.1, encontramos correlações negativas significativas ($p < 0,05$) entre a temperatura do ar e a altitude (nos diversos pontos do percurso). A análise de regressão linear simples indica-nos que a altitude explica 34% da variância da temperatura relativa do ar média.

Estes dados indicam que os locais mais altos são os mais frescos. No entanto, há a salientar o facto de as zonas mais altas serem as mais afastadas da cidade, zonas de campo e distantes do sapal, pelo que a relativa frescura das zonas mais altas pode ser devida mais aqueles factores do que ao efeito directo da altitude.

É bastante difícil tentar isolar o efeito de cada uma das variáveis geográficas, pois todas elas actuam em conjunto para condicionar a temperatura do ar nas diversas zonas da cidade de Aveiro e arredores.

Para finalizar, e para colmatar esta dificuldade em isolar o efeito de cada uma das variáveis geográficas, efectuámos uma análise de regressão linear múltipla progressiva em que, como variável dependente, indicámos a temperatura relativa do ar média, e como variáveis independentes (explicadoras), as três variáveis geográficas consideradas: morfologia urbana, distância ao sapal e altitude. A variável altitude foi considerada não significativa e excluída. Obtivemos a seguinte equação de regressão:

$$T.\text{ar relativa (média)} = 1,452 + 0,205 (\text{Morf. Urb.}) - 0,067 (\text{Dist. Sap.}) \quad R^2_{\text{Adj}} = 0,87$$

Morf. Urb. = Morfologia Urbana

Dist. Sap. = Distância ao Sapal

O modelo obtido é estatisticamente significativo e explica 87% da variância observada. A exclusão da variável Altitude vem confirmar a sua menor importância como condicionante da temperatura do ar, em relação às duas restantes variáveis: morfologia urbana e distância ao sapal. De entre estas, a morfologia urbana é a que mais explica a variação da temperatura do ar.

III.3.2.2 - Análise estatística da influência das variáveis meteorológicas

A intensidade da ilha de calor depende não só de factores geográficos, mas também do estado do tempo dominante sobre a cidade. A grande diversidade de variáveis climáticas levou-nos a realizar uma análise prévia, a fim de poder determinar a incidência de cada uma delas sobre a ilha de calor e se essa incidência se manifesta num reforçamento ou num enfraquecimento da mesma.

Tabela I.III.2 - A influência das variáveis meteorológicas na intensidade da ilha de calor - análise de correlação e análise de regressão.

| Variável Meteorológica | Coef. de correlação de Spearman entre a intensidade da ilha de calor e a variável meteorológica | R ² Ajustado obtido por Regressão Linear Simples com Y= intensidade da ilha de calor X= variável meteorológica |
|------------------------|---|---|
| Cobertura nebulosa | -0,83 | R ² _{Adj} = 0,60 |
| Situação sinóptica | -0,68 | R ² _{Adj} = 0,33 |
| Rumo do vento | -0,68 | R ² _{Adj} = 0,48 |
| Velocidade do vento | -0,51 | R ² _{Adj} = 0,20 |
| Humidade relativa | -0,42 | R ² _{Adj} = 0,10 |
| Pressão atmosférica | 0,26 | R ² _{Adj} = 0,11 |
| Temperatura máxima | 0,44 | R ² _{Adj} = 0,18 |
| Temperatura mínima | 0,42 | R ² _{Adj} = 0,11 |
| Evaporação de Piche | 0,34 | R ² _{Adj} = 0,23 |

Cobertura Nebulosa

Verificámos uma forte correlação negativa significativa ($p < 0,05$) de -0,83 entre a intensidade da ilha de calor e a cobertura nebulosa. A análise de regressão linear simples indica-nos que a cobertura nebulosa explica 60% da variância intensidade da ilha de calor, o que indica que é um factor determinante para esta.

Como se verifica na figura I.III.8, em termos gerais, quanto maior é a cobertura nebulosa, menor é a intensidade da ilha de calor. Ilhas fortes a muito fortes estão sempre associadas a situações de céu limpo, assim como chuva/aguaceiros estão sempre associados a ilhas fracas. Situações de céu muito a pouco nublado estão associadas a ilhas fracas a moderadas.

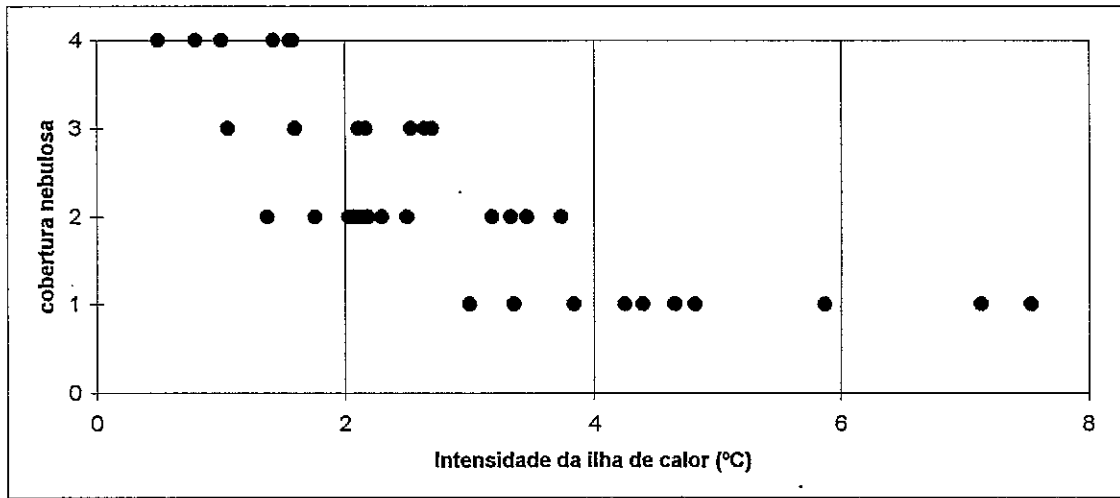


Figura I.III.8 - Distribuição das noites segundo a cobertura nebulosa e a intensidade da ilha de calor.
 Legenda: Cobertura nebulosa: 1 - céu limpo; 2 - céu pouco nublado; 3 - céu muito nublado; 4 - chuva
 Intensidade da ilha de calor (°C): 0-2 Fraca; 2-4 Moderada; 4-6 Forte; 6-8 Muito forte

Em situações de céu limpo e sem vento são preponderantes os fenómenos radiativos que intensificam a ilha de calor; pelo contrário, as nuvens reduzem a recepção e a saída de radiação, atenuando os desvios térmicos entre a cidade e o campo [2,30].

Situação sinóptica

Verificámos uma correlação negativa significativa ($p < 0,05$) de -0,68 entre a intensidade da ilha de calor e a situação sinóptica. A análise de regressão linear simples indica-nos que a situação sinóptica explica 33% da variância intensidade da ilha de calor, o que indica que é um factor determinante para esta.

Pela análise da figura I.III.9, verificámos que intensidades fracas correspondem quase sempre a situações depressionárias ou perturbadas. Ilhas moderadas correspondem a uma grande diversidade de situações sinópticas, desde depressões a situações de transição até às diversas situações anticiclónicas. As ilhas fortes a muito fortes correspondem apenas a situações anticiclónicas.

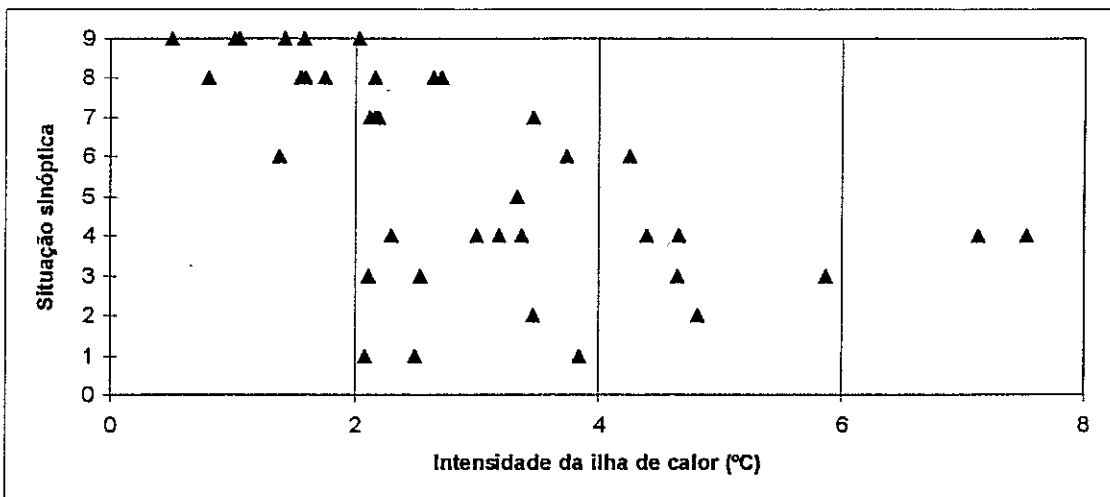


Figura I.III.9 - Distribuição das noites segundo a situação sinóptica e a intensidade da ilha de calor.
 Legenda: Situação sinóptica: 1 a 6 - Situações anticiclónicas; 7 - Situações de transição; 8 a 9 - Situações depressionárias e perturbadas.
 Intensidade da ilha de calor (°C): 0-2 Fraca; 2-4 Moderada; 4-6 Forte; 6-8 Muito forte

Da análise detalhada da situação sinóptica e da intensidade da ilha de calor em cada noite, verificámos que quando um centro depressionário se encontra na Península Ibérica ou se aproxima alguma perturbação, por exemplo uma frente fria, as ilhas de calor são fracas a moderadas débeis; nas situações de transição, são moderadas; em todas as restantes situações anticiclónicas, as intensidades variam de moderadas a fortes, verificando-se que, quanto mais próximo e mais dominante estiver o centro anticiclónico em relação à Península Ibérica, maior a intensidade da ilha de calor. Deste modo, as duas situações encontradas de intensidades muito fortes correspondem a situações de anticiclone de raiz atlântica mas prolongando-se e dominando toda a Península Ibérica e Europa ocidental.

Quando um anticiclone se encontra centrado sobre a Península, a estabilidade é grande e a ausência de nebulosidade favorece o forte aquecimento durante o dia e o rápido arrefecimento nocturno, o que agudiza os contrastes entre a cidade os espaços rurais próximos. Quando o centro anticiclónico ocupa outras posições, a Península fica situada numa zona marginal e a estabilidade é menor. Isto favorece o aparecimento de ventos moderados a fortes e uma maior nebulosidade, o que determina uma diminuição da intensidade da ilha de calor, como acontece com um anticiclone atlântico, situado a W e NW, ou com advecções frias, provocadas por anticiclones situados ao norte das Ilhas Britânicas ou sobre a Escandinávia.

Nas situações instáveis e/ou depressionárias, a intensidade da ilha de calor depende da existência ou não de frentes sobre a nossa região ou do grau de instabilidade determinado pela posição desta em relação ao centro depressionário. De qualquer forma, a tendência é para intensidades fracas.

Por último, é interessante assinalar que em percursos sucessivos onde não ocorrem alterações significativas da situação sinóptica, as intensidades da ilha de calor são muito semelhantes (por exemplo entre 26/8/96 e 27/8/96 ambas com 1,6°C, ou entre 16/11/96 e 18/11/96 ambas com 2,1°C); mas quando ocorre uma alteração, estas são afectadas de forma notável, reforçando-se, ao passar de situações instáveis e/ou depressionárias para situações anticiclónicas (por exemplo de 22/8/96 com 0,5 °C para 23/8/96 com 3,7°C) ou debilitando-se, no caso oposto (por exemplo de 21/8/96 com 4,2 °C para 22/8/96 com 0,5°C) [24] - ver Anexo I.1.

Velocidade do Vento

Verificámos uma correlação negativa significativa ($p < 0,05$) de -0,51 entre a intensidade da ilha de calor e velocidade do vento a 1,5 m de altura. A análise de regressão linear simples indica-nos que a velocidade do vento explica 20% da variância intensidade da ilha de calor, o que indica que é um factor pouco determinante para esta.

Pela análise da figura I.III.10, verificámos que as maiores velocidades de vento correspondem a intensidades da ilha de calor fracas, pelo contrário, as ilhas fortes a muito fortes ocorrem em situações de vento fraco.

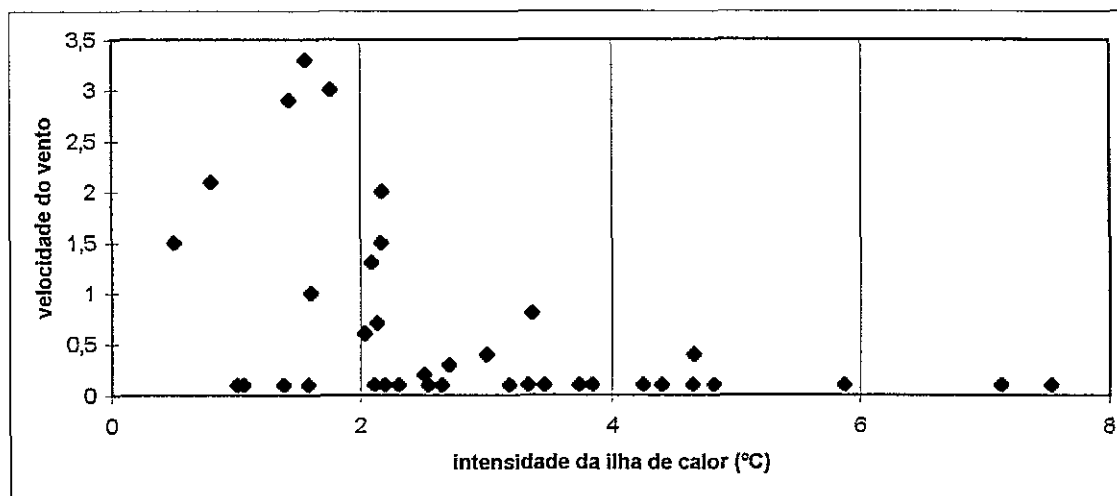


Figura I.III.10 - Distribuição das noites segundo a velocidade do vento a 1,5 m e a intensidade da ilha de calor.

Legenda: Intensidade da ilha de calor (°C): 0-2 Fraca; 2-4 Moderada; 4-6 Forte; 6-8 Muito forte

A ausência de vento ou o vento fraco evitam a dispersão do calor urbano libertado, pelo que incrementam a intensidade da ilha de calor; pelo contrário, se o vento soprar, a turbulência remove o calor da cidade e, conseqüentemente, as variações de temperatura entre esta e os arredores rurais são menores.

Segundo a fórmula proposta por Oke e Hannel (1970)¹, a velocidade do vento a partir da qual a ilha de calor se desvanece em Aveiro, com 70 000 habitantes, é de 4,87 m/s. Não nos foi possível testar este valor, uma vez que para tal seria necessário um estudo bastante mais intensivo da ilha de calor; no entanto, julgamos que é um valor provável uma vez que pudemos verificar que com velocidades de 3,3 m/s e de 2,9 m/s já encontramos ilhas de intensidades fracas.

Rumo do vento

Verificámos uma correlação negativa significativa ($p < 0,05$) de -0,68 entre a intensidade da ilha de calor e o rumo do vento a 1,5 m de altura. A análise de regressão linear simples indica-nos que o rumo do vento explica 48% da variância intensidade da ilha de calor, o que indica que é um factor determinante para esta.

Pela análise da figura I.III.11, verificámos que as ilhas de calor são fracas quando o vento sopra de W a NW (rumos 6,7 e 8), do lado do Oceano. As ilhas de calor fortes a muito fortes ocorrem quando o vento sopra de NE a E (rumos 1, 2 e 3), do lado de Espanha. Ilhas moderadas ocorrem sob uma grande diversidade de rumos de vento.

¹ Descrição na página 11.

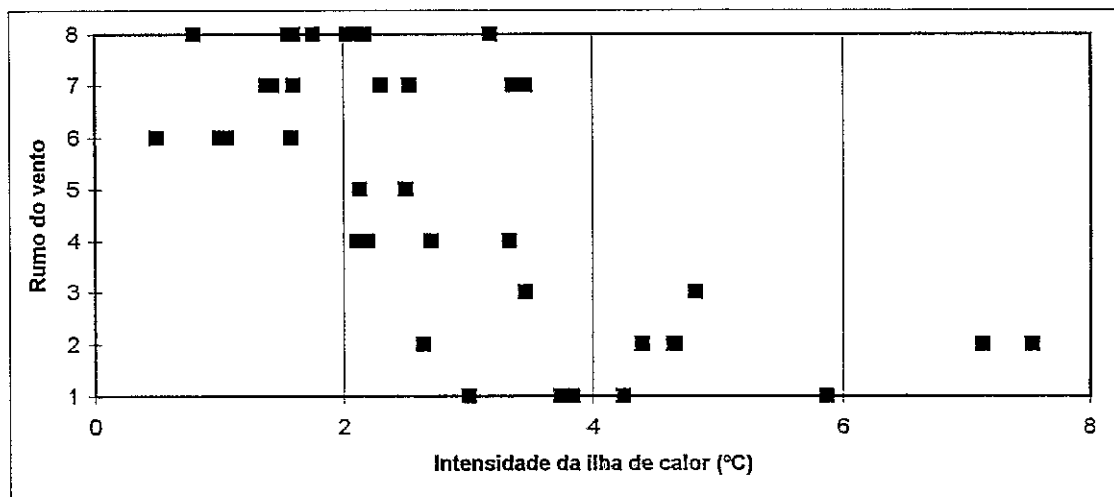


Figura I.III.11 - Distribuição das noites segundo o rumo do vento a 1,5m e a intensidade da ilha de calor.

Legenda:

Rumo do vento: 1 - N/NE; 2 - NE/E; 3 - E/SE; 4 - SE/S; 5 - S/SW; 6 - SW/W; 7 - W/NW; 8 - NW/N

Intensidade da ilha de calor (°C): 0-2 Fraca; 2-4 Moderada; 4-6 Forte; 6-8 Muito Forte

Esta variação da intensidade da ilha de calor consoante o rumo do vento conjuga o efeito de vários factores: por um lado, constatámos que as maiores velocidades do vento se verificam quando este sopra de NW; por outro lado, este vento vindo do mar é mais húmido que o vindo de Espanha que também apresenta as menores velocidades. Deste modo, conjugando vento forte e húmido de NW e vento fraco e seco de NE, facilmente se compreendem as repercussões do rumo do vento na intensidade da ilha de calor. O vento forte dispersa o calor e, sendo húmido, ameniza as temperaturas, conduzindo a fracos contrastes térmicos cidade - campo, logo, a fracas intensidades. Sucede o oposto quando o vento é fraco e seco.

Humidade relativa

Verificámos uma correlação negativa significativa ($p < 0,05$) de $-0,42$ entre a intensidade da ilha de calor e a humidade relativa do ar. A análise de regressão linear simples indica-nos que a humidade relativa explica 10% da variância intensidade da ilha de calor, o que indica que é um factor pouco determinante para esta. Esta menor intensidade da ilha de calor quando a humidade relativa é superior deve-se ao efeito amenizador das temperaturas da água na atmosfera.

Evaporação de Piche

Verificámos uma correlação positiva significativa ($p < 0,05$) de $0,34$ entre a intensidade da ilha de calor e a evaporação de Piche. A análise de regressão linear simples indica-nos que a evaporação de Piche explica 23% da variância intensidade da ilha de calor.

Quanto maior a temperatura da atmosfera, maior a evaporação (Evaporação de Piche), pelo que como seria de esperar, o valor de correlação entre a evaporação de Piche e a intensidade da ilha de calor é positivo.

Temperatura do ar

As temperaturas elevadas, assim como a ilha de calor, são o resultado dos intensos fenómenos radiativos entre a terra e a atmosfera. A temperatura do ar não é proporcional à recepção solar, mas resulta, grandemente, da radiação da terra [30].

Os dias quentes são, geralmente, dias de ar calmo e seco e céu sem nuvens, o que favorece os fenómenos radiativos, quando as condições são boas para uma forte incidência de energia radiante durante o dia e radiação durante a noite. Estas são, também, as condições que favorecem o desenvolvimento da ilha de calor, pelo que, como seria de esperar, verificámos uma correlação positiva significativa ($p < 0,05$) de 0,44 e de 0,42 entre a intensidade da ilha de calor e a temperatura do ar máxima e mínima diárias, respectivamente. A análise de regressão linear simples indica-nos que as temperaturas do ar máxima e mínima explicam respectivamente 18% e 11% da variância intensidade da ilha de calor, o que indica que são factores pouco determinantes para esta.

Pressão Atmosférica

Verificámos uma correlação positiva significativa ($p < 0,05$) de 0,26 entre a intensidade da ilha de calor e a pressão atmosférica. A análise de regressão linear simples indica-nos que a pressão atmosférica explica 11% da variância intensidade da ilha de calor, o que indica que é um factor pouco determinante para esta. Seriam de esperar valores mais importantes, tanto de coeficiente de correlação como de R^2 ajustado, uma vez que a pressão atmosférica está directamente relacionada com a situação sinóptica e esta é, como vimos, determinante para a intensidade da ilha de calor. No entanto, em termos gerais, este coeficiente de correlação positivo confirma que altas pressões (situações anticiclónicas) correspondem a intensidades mais fortes do que baixas pressões (situações depressionárias).

É difícil isolar o efeito de cada uma das variáveis meteorológicas, uma vez que todas elas são interdependentes e actuam em conjunto para condicionar a ilha de calor. Para colmatar, em parte, esta dificuldade, efectuámos uma análise de regressão linear múltipla progressiva em que, como variável dependente, indicámos a intensidade da ilha de calor, e como variáveis independentes (explicadoras), as diversas variáveis meteorológicas consideradas: cobertura nebulosa, situação sinóptica, rumo do vento, velocidade do vento, humidade relativa, pressão atmosférica, temperatura máxima, temperatura mínima e evaporação de Piche.

As variáveis: situação sinóptica, velocidade do vento, pressão atmosférica, temperatura mínima e evaporação de Piche foram consideradas não significativas e excluídas do modelo. Obtivemos a seguinte equação de regressão:

$$\Delta T_{ar} (max) = 5,88 - 0,837 (Cob. Neb) - 0,215 (RumoV) + 0,066 (Tmax) - 0,012 (HR) \quad R^2_{Adj} = 0,77$$

Cob. Neb = cobertura nebulosa RumoV = rumo do vento Tmax = temperatura máxima
HR = humidade relativa

O modelo obtido é, estatisticamente, significativo e explica 77% da variância observada. São, portanto, a cobertura nebulosa, o rumo do vento, a temperatura máxima e a humidade relativa as variáveis meteorológicas que mais explicam a variação da intensidade da ilha de calor.

III.3.2.3 - Padrão da distribuição das temperaturas relativas do ar no espaço

Por Análise de Classificação dos diversos pontos da cidade e arredores segundo as temperaturas relativas do ar, nas diversas noites, obtivemos o seguinte diagrama - Figura I.III.12

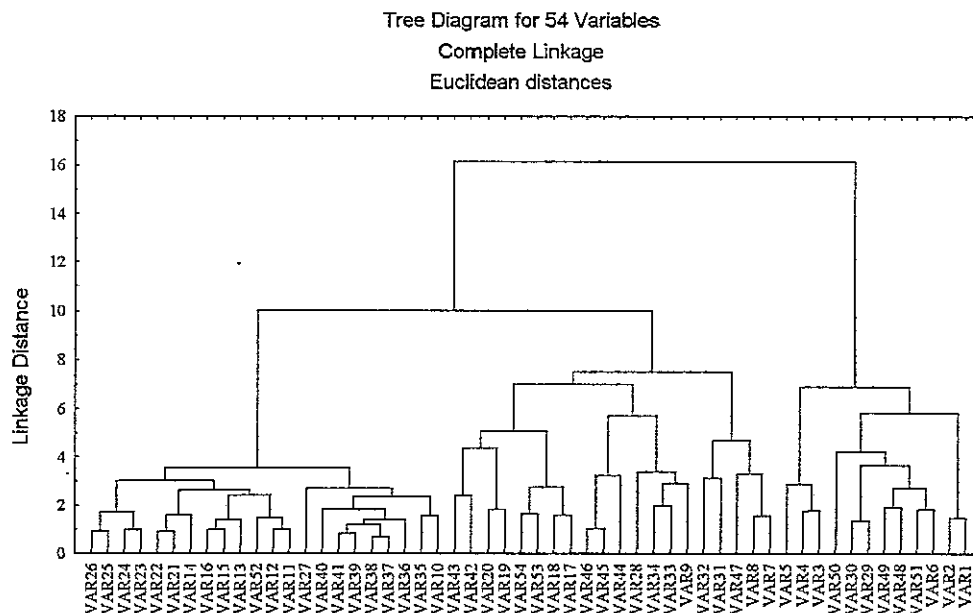


Figura I.III.12 - Diagrama de classificação dos diversos pontos da cidade e arredores segundo as temperaturas relativas do ar.

Distinguem-se três Classes com várias subclasses que correspondem a três Zonas Urbanas com várias subzonas:

Tabela I.III.3 - Zonas e subzonas urbanas correspondentes ao diagrama de classificação da figura I.III.12.

| Zonas | Cidade | | Periferia | | | Rural | |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------|----------------|
| Subzona | CBD e Zona Comercial Antiga | Bairros Residenciais | Periferia Cidade-Ria e Ria | Zonas Amplas | Periferia Cidade-Campo | Campos | Rural Habitado |
| Nº dos Pontos ² | 11 | 10 | 17 | 9 | 7 | 3 | 1 |
| | 12 | 35 | 18 | 33 | 8 | 4 | 2 |
| | 52 | 36 | 53 | 34 | 47 | 5 | 6 |
| | 13 | 37 | 54 | 28 | 31 | | 51 |
| | 15 | 38 | 19 | 44 | 32 | | 48 |
| | 16 | 39 | 20 | 45 | | | 49 |
| | 14 | 41 | 42 | 46 | | | 29 |
| | 21 | 40 | 43 | | | | 30 |
| | 22 | 27 | | | | | 50 |
| | 23 | | | | | | |
| | 24 | | | | | | |
| | 25 | | | | | | |
| | 26 | | | | | | |

² Ver a distribuição destes pontos no mapa da Cidade de Aveiro e Arredores - página 37.

Estes resultados vêm confirmar que as temperaturas do ar seguem, com aproximação a estrutura urbana, uma vez que, a partir unicamente da temperatura do ar, é possível distinguir perfeitamente as diferentes zonas urbanas, numa gradação quase perfeita: -rural - periferia - cidade, e ainda, dentro destas, as diferentes subzonas.

III.3.2.4 - Padrão da distribuição das temperaturas relativas do ar no tempo

Por Análise de Classificação das diversas noites de ilha de calor, segundo a intensidade e as duas variáveis meteorológicas que mais explicam a variação da mesma - cobertura nebulosa e rumo do vento, obtivemos o seguinte diagrama - Figura I.III.13.

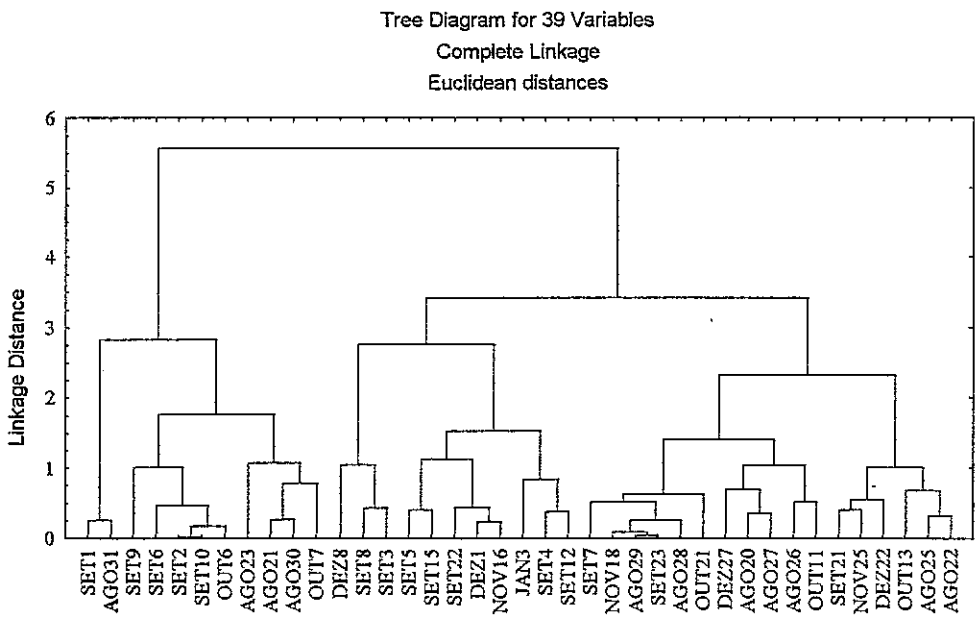


Figura I.III.13 - Classificação das diversas noites de ilha de calor segundo a intensidade, cobertura nebulosa e rumo do vento.

Distinguem-se três Classes com várias subclasses que correspondem a três Tipos de ilhas de calor com vários subtipos:

Tabela I.III.4 - Tipos de ilhas de calor de acordo com o diagrama de classificação da figura I.III.13.

| Tipo | Intensidade | Cobertura Nebulosa | Situação Sinóptica | Rumo do Vento | Data |
|-------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|--|
| Fracas | Fraca | Chuva | Perturbação B | <i>W - NW</i> | 22-ago 25-ago 13-out 22-dez 25-nov 21-set |
| | Fraca - Moderada | Muito nublado | B | <i>NW</i> | 11-out 26-ago 27-ago 20-ago 27-dez |
| | Fraca - Moderada | Pouco Nublado | A e B | <i>NW</i> | 21-out 28-ago 23-set 29-ago 18-nov 07-set |
| Moderadas | Moderada | Muito Nublado | B | <i>SE</i> | 12-set 04-set 3-jan |
| | Moderada | Pouco nublado | Transição A-B | <i>S - SE</i> | 16-nov 01-dez 22-set 15-set 05-set |
| | Moderada | Pouco nublado | A | <i>NW</i> | 03-set 08-set 08-dez |
| Fortes | Moderada - Forte | Limpo | A | <i>N - NE</i> | 07-out 30-ago 21-ago 23-ago |
| | Forte | Limpo | A | <i>NE-E</i> | 06-out 10-set 02-set 06-set 09-set |
| Muito Fortes | Muito Forte | Limpo | A | <i>NE-E</i> | 31-ago 01-set |

Esta classificação vem confirmar a influência decisiva das condições meteorológicas na intensidade da ilha de calor. Verificámos uma gradação: céu muito nublado - limpo; situações depressionárias - anticiclónicas; vento de NW - NE, correspondente à gradação da intensidade da ilha de calor: fraca - muito forte.

III.3.2.5 - A forma e intensidade da ilha de calor de Aveiro - mapas de isotérmicas

Analisámos os mapas de isotérmicas um a um e apresentamos aqui, não todos, pois tornar-se-ia exaustivo (seriam 39 mapas), mas aqueles que julgamos mais elucidativos e representativos das diferentes formas que a ilha de calor de Aveiro assumiu durante o nosso estudo.

A ilha de calor de Aveiro desenvolve-se submetida às duas condições de Aveiro: a condição de **cidade** enquanto espaço urbano com uma certa morfologia e actividade e a condição de **costeira** enquanto submetida a todas as características meteorológicas que advêm da sua proximidade à laguna costeira (vulgarmente conhecida por Ria). É do jogo entre estes dois condicionalismos que resultam as diferentes formas da ilha de calor.

Deste modo, distinguimos dois grupos de ilhas de calor na cidade de Aveiro: aquelas em que a condição de cidade parece pesar mais do que a condição de costeira (Grupo A) e aquelas em que sucede o contrário (Grupo B). Os mapas de isotérmicas são apresentados por ordem decrescente da relativa importância de uma e de outra das condições.

Figura I.III.14

Ilha de Calor de Aveiro

MAPAS DE ISOTÉRMICAS

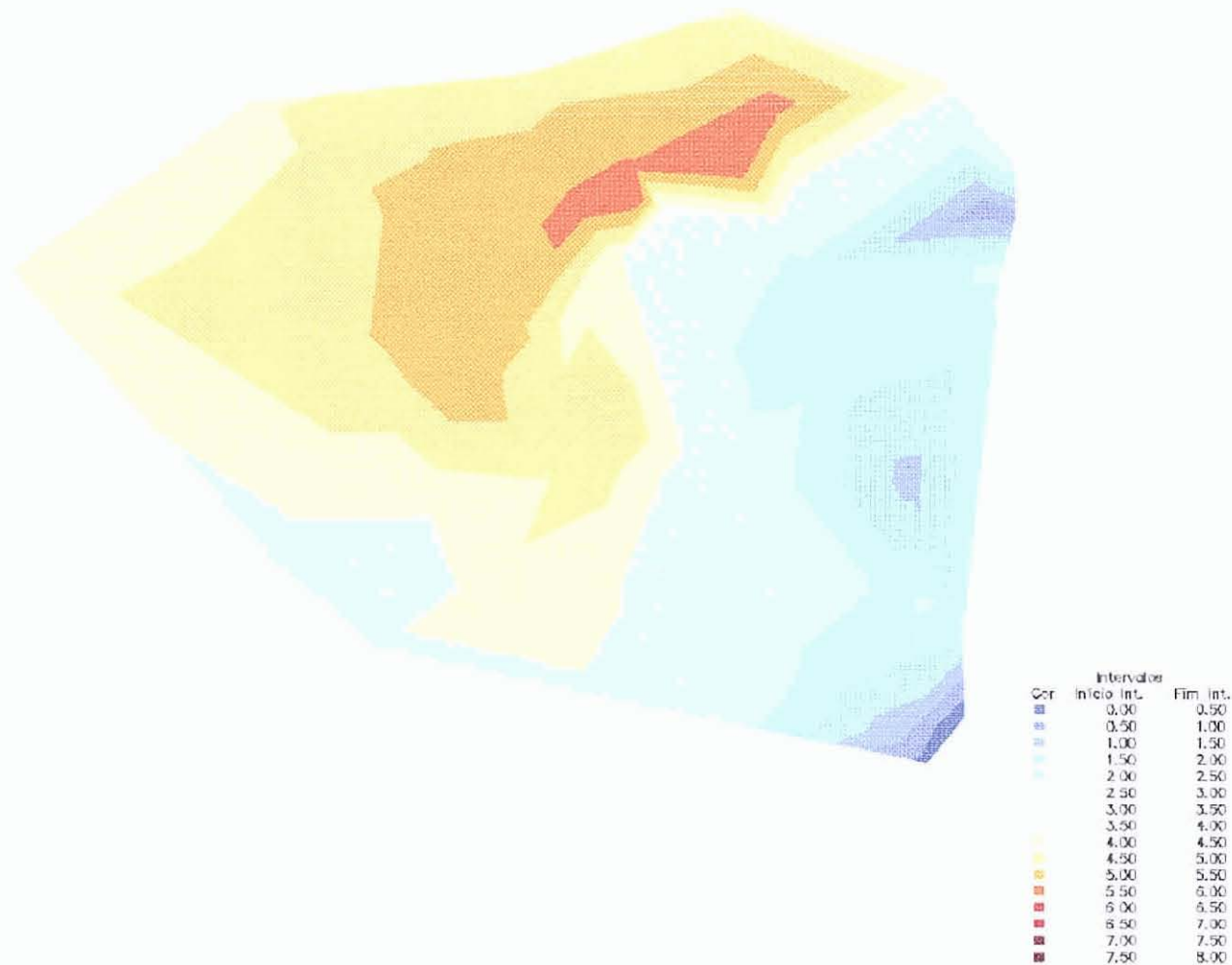
GRUPO A

Ilha de Calor de Aveiro



Escala 0 | _____ | 250 m

*Data: 9 Setembro 1996 *Hora: 22:30 - 0:00
*Situação sinóptica: Anticiclone de raiz atlântica
*Vento: fraco de N
*Descrição do tempo: Céu limpo
*Coeficiente de Correlação T. ar - Dist. Sapal: -0,65
T. ar - Edificado: 0,77
*Intensidade da ilha de calor: 5,87 °C
*Classificação da ilha de calor: **Forte a Muito forte**



Comentário:

A distribuição da temperatura relativa do ar segue, com grande aproximação, a compacidade de construção e as actividades antrópicas, numa gradação térmica: rural, periferia, cidade e, dentro desta: zonas amplas, zonas habitacionais, Bairro Antigo/Zona Comercial Antiga/CBD, destacando-se o CBD no “cume” da ilha de calor.

O campo encontra-se bem mais fresco que o sapal, evidenciando o efeito amenizador deste na temperatura do ar - a ilha de calor encontra-se bastante desviada para NW.

Nota-se, ainda, a presença de uma “micro-ilha”, correspondendo a uma aglomeração de habitações em Vilar, rodeada pela relativa frescura dos campos.

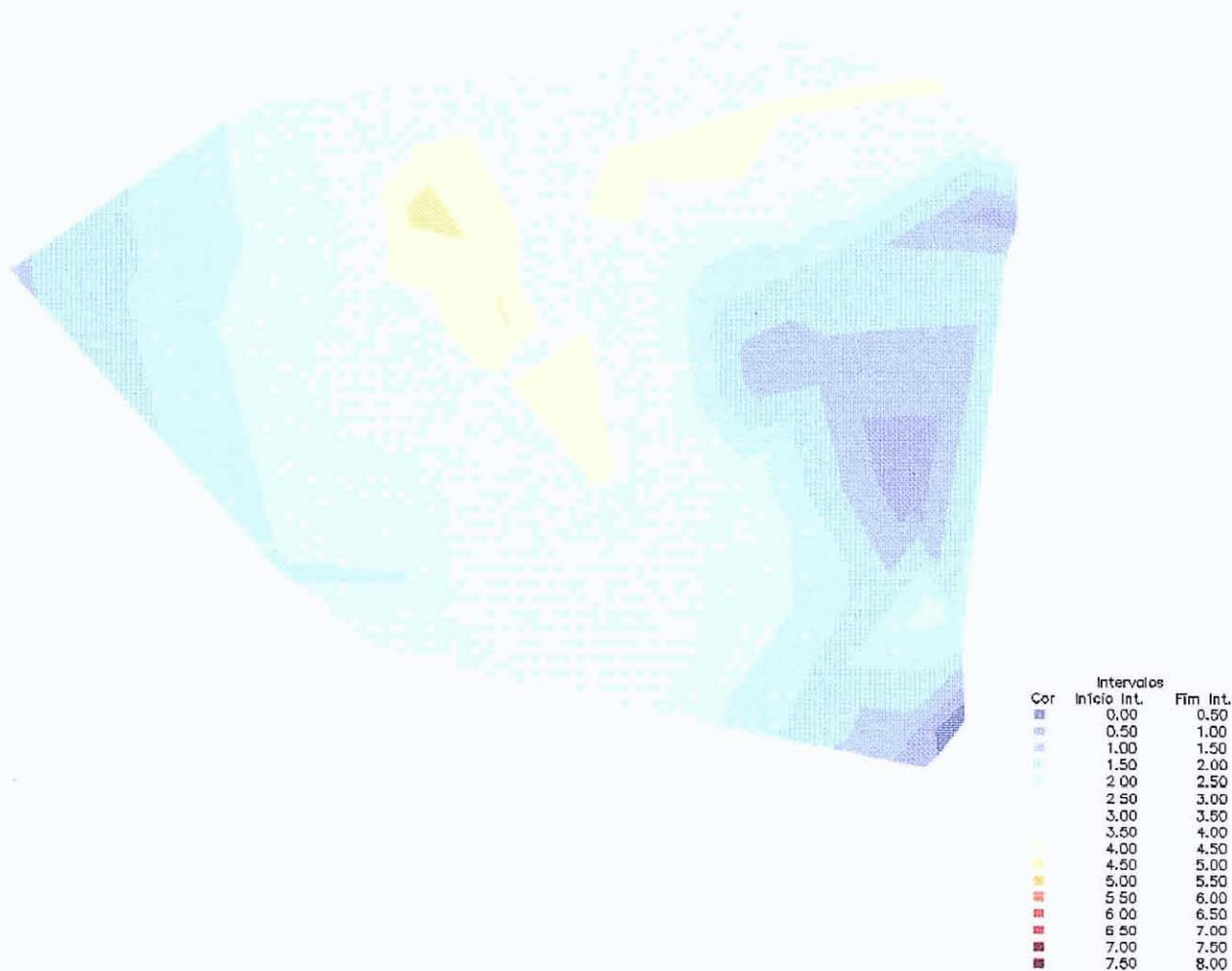
Ilha de Calor de Aveiro



Escala 0 | _____ | 250 m

*Data: 10 Setembro 1996 *Hora: 23:30 - 1:00
*Situação sinóptica: Anticiclone atlântico misto com apófise polar
*Vento: fraco de NE
*Descrição do tempo: céu limpo
*Coeficiente de Correlação T. ar - Dist. Sapal: -0,43
T. ar - Edificado: 0,83

*Intensidade da ilha de calor: 4,65 °C
*Classificação da ilha de calor: **Forte**



Comentário:

A distribuição da temperatura relativa do ar segue, com grande aproximação, a compacidade de construção e as actividades antrópicas, numa gradação térmica: rural, periferia, cidade e, dentro desta: zonas amplas, zonas habitacionais, Bairro Antigo/Zona Comercial Antiga/CBD, destacando-se o Rossio no “cume” da ilha de calor. Dentro da cidade, nota-se ainda, um “vale”, quebrando o seguimento da zona comercial antiga, corresponde a uma zona descampada devido a obras recentes no seguimento da Rua Miguel Bombarda.

O campo encontra-se mais fresco que o sapal, evidenciando o efeito amenizador deste na temperatura do ar - a ilha de calor encontra-se um pouco desviada para NW.

Nota-se, ainda, a presença de uma “mini-ilha”, correspondendo a uma aglomeração de habitações em Vilar, rodeada pela relativa frescura dos campos.

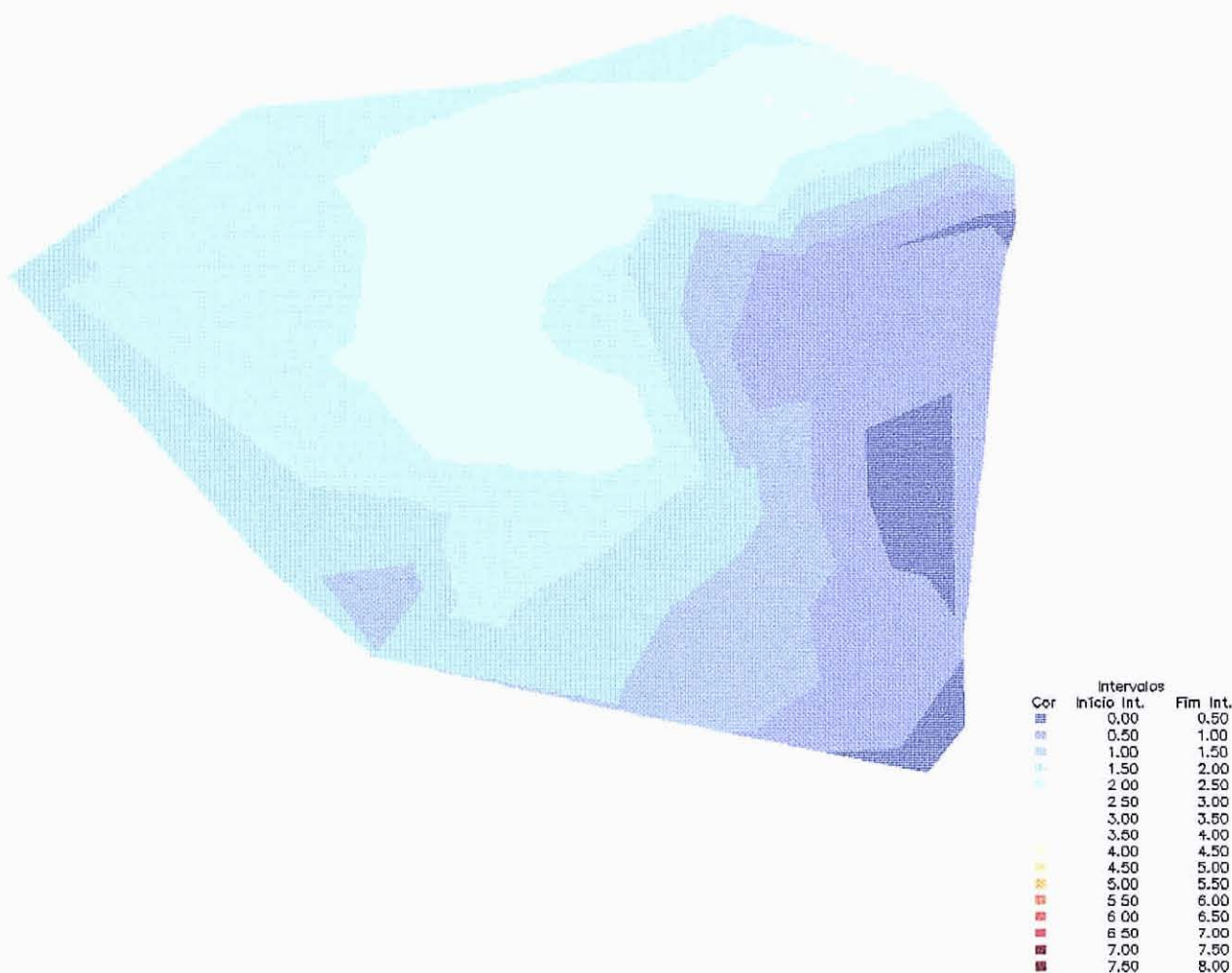
Ilha de Calor de Aveiro



Escala 0 | _____ | 250 m

*Data: 15 Setembro 1996 *Hora: 23:30 - 1:00
*Situação sinóptica: Anticiclone continental europeu
*Vento: fraco de SE
*Descrição do tempo: céu pouco nublado
*Coeficiente de Correlação T. ar - Dist. Sapal: -0,60
T. ar - Edificado: 0,77

*Intensidade da ilha de calor: 3,33 °C
*Classificação da ilha de calor: **Moderada**



Comentário:

A distribuição da temperatura relativa do ar segue, com aproximação, a compacidade de construção e as actividades antrópicas, numa gradação térmica: rural, periferia, cidade e, dentro desta: zonas amplas, zonas habitacionais, Bairro Antigo/Zona Comercial Antiga/CBD, destacando-se o "cume" da ilha de calor em forma de T correspondente ao CBD, Rossio e Zona Comercial Antiga central.

O campo encontra-se mais fresco que o sapal, evidenciando o efeito amenizador deste na temperatura do ar - a ilha de calor encontra-se desviada para NW.

Ilha de Calor de Aveiro



Escala 0 | _____ | 250 m

*Data: 22 Agosto 1996 *Hora: 23:30 - 1:00

*Situação sinóptica: Perturbação próxima

*Vento: moderado de W

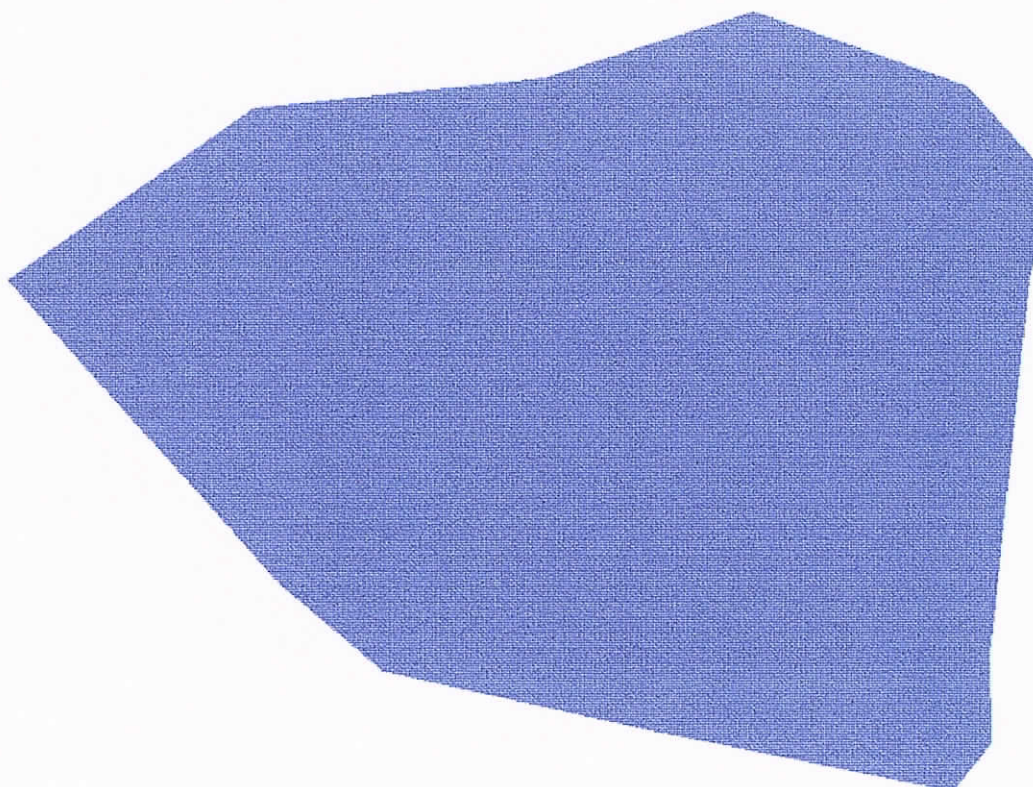
*Descrição do tempo: Chuva

*Coeficiente de Correlação T. ar - Dist. Sapal: 0,10

T. ar - Edificado: 0,60

*Intensidade da ilha de calor: 0,5 °C

*Classificação da ilha de calor: **Fraca**



| Cor | Intervalos | |
|-----|-------------|----------|
| | Início Int. | Fim Int. |
| ■ | 0,00 | 0,50 |
| ■ | 0,50 | 1,00 |
| ■ | 1,00 | 1,50 |
| ■ | 1,50 | 2,00 |
| ■ | 2,00 | 2,50 |
| ■ | 2,50 | 3,00 |
| ■ | 3,00 | 3,50 |
| ■ | 3,50 | 4,00 |
| ■ | 4,00 | 4,50 |
| ■ | 4,50 | 5,00 |
| ■ | 5,00 | 5,50 |
| ■ | 5,50 | 6,00 |
| ■ | 6,00 | 6,50 |
| ■ | 6,50 | 7,00 |
| ■ | 7,00 | 7,50 |
| ■ | 7,50 | 8,00 |

Comentário:

Ilha de calor praticamente inexistente, as diferenças térmicas entre o meio urbano, o meio rural e o sapal são inferiores a 0,5°C.

O efeito amenizador da laguna costeira (Ria - sapal) na temperatura do ar não se faz sentir.

Figura I.III.15

Ilha de Calor de Aveiro

MAPAS DE ISOTÉRMICAS

GRUPO B

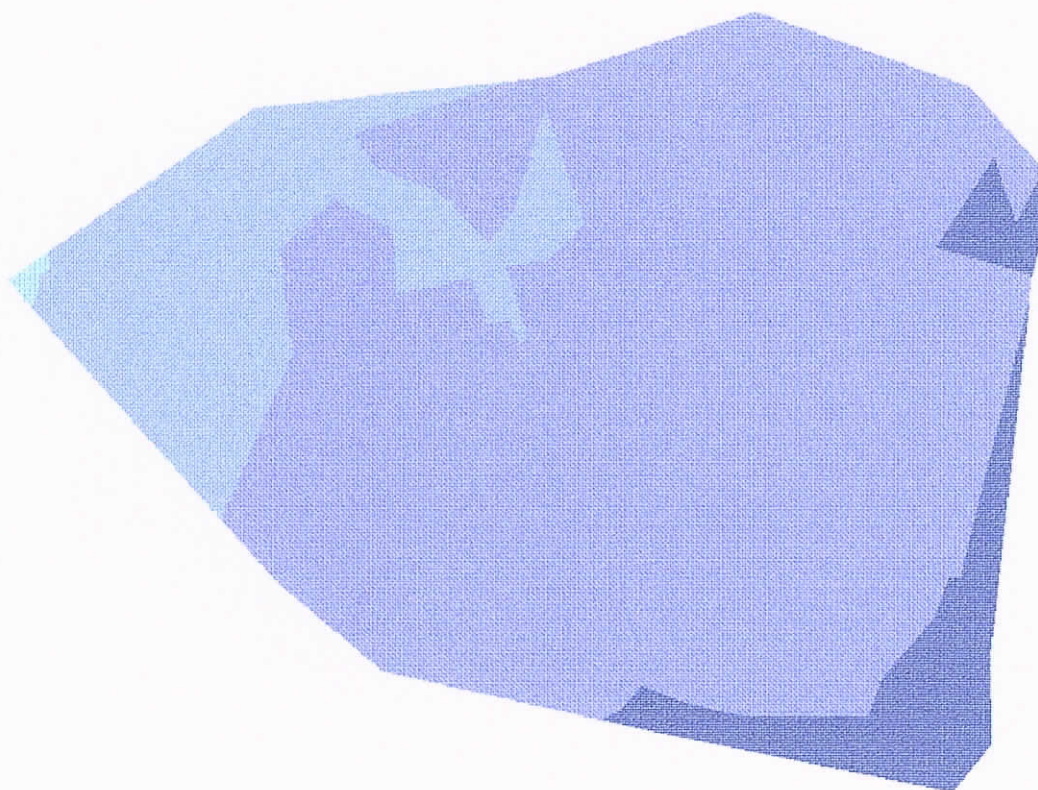
Ilha de Calor de Aveiro



Escala 0 | _____ | 250 m

*Data: 21 Setembro 1996 *Hora: 23:00 - 0:30
*Situação sinóptica: Depressão na península ibérica
*Vento: forte de NW
*Descrição do tempo: Chuva
*Coeficiente de Correlação T. ar - Dist. Sapal: -0,75
T. ar - Edificado: 0,49

*Intensidade da ilha de calor: 1,56 °C
*Classificação da ilha de calor: **Fraca**



| Cor | Intervalos | |
|-----|-------------|----------|
| | Início Int. | Fim Int. |
| ■ | 0,00 | 0,50 |
| ■ | 0,50 | 1,00 |
| ■ | 1,00 | 1,50 |
| ■ | 1,50 | 2,00 |
| ■ | 2,00 | 2,50 |
| ■ | 2,50 | 3,00 |
| ■ | 3,00 | 3,50 |
| ■ | 3,50 | 4,00 |
| ■ | 4,00 | 4,50 |
| ■ | 4,50 | 5,00 |
| ■ | 5,00 | 5,50 |
| ■ | 5,50 | 6,00 |
| ■ | 6,00 | 6,50 |
| ■ | 6,50 | 7,00 |
| ■ | 7,00 | 7,50 |
| ■ | 7,50 | 8,00 |

Comentário:

A distribuição da temperatura relativa do ar faz-se segundo faixas paralelas à laguna costeira (Ria - sapal), notando-se, ainda, um “ramo” de ar mais quente, proveniente do sapal, que penetra na cidade ao longo do seu canal principal (canal das pirâmides - canal central). É evidente a acção da Ria na amenização da temperatura do ar.

A morfologia urbana e as actividades antrópicas parecem não ter qualquer efeito na distribuição das temperaturas relativas do ar, sendo esta distribuição determinada, antes, pela distância ao sapal.

Ilha de Calor de Aveiro



Escala 0 | _____ | 250 m

*Data: 7 Outubro 1996 *Hora: 23:30 - 1:00

*Situação sinóptica: Anticiclone de raiz atlântica

*Vento: fraco de N

*Descrição do tempo: céu limpo

*Coeficiente de Correlação T. ar - Dist. Sapal: -0,81

T. ar - Edificado: 0,49

*Intensidade da ilha de calor: 3,0 °C

*Classificação da ilha de calor: **Moderada**



| Cor | Intervalos | |
|-----|-------------|----------|
| | Início Int. | Fim Int. |
| ■ | 0,00 | 0,50 |
| ■ | 0,50 | 1,00 |
| ■ | 1,00 | 1,50 |
| ■ | 1,50 | 2,00 |
| ■ | 2,00 | 2,50 |
| ■ | 2,50 | 3,00 |
| ■ | 3,00 | 3,50 |
| ■ | 3,50 | 4,00 |
| ■ | 4,00 | 4,50 |
| ■ | 4,50 | 5,00 |
| ■ | 5,00 | 5,50 |
| ■ | 5,50 | 6,00 |
| ■ | 6,00 | 6,50 |
| ■ | 6,50 | 7,00 |
| ■ | 7,00 | 7,50 |
| ■ | 7,50 | 8,00 |

Comentário:

A distribuição da temperatura relativa do ar faz-se segundo faixas paralelas à laguna costeira (Ria - sapal), evidenciando a acção da Ria na amenização da temperatura do ar.

A distância ao sapal condiciona a distribuição das temperaturas relativas do ar, mas a morfologia urbana e as actividades antrópicas também exercem o seu efeito nessa distribuição: nota-se uma gradação térmica: rural - periferia - cidade.

AVEIRO



IV - CONCLUSÃO

Com este estudo pudemos verificar que a cidade de Aveiro, apesar de ser uma cidade pequena/média, apresenta já um clima urbano próprio com uma Ilha de Calor Urbana.

A forma da ilha de calor de Aveiro é complexa e responde à interação dos numerosos factores que para ela contribuem, desde factores geográficos, como a densidade do edificado e a actividade antrópica, a altitude e a proximidade ao sapal/zonas húmidas/salinas que bordejam a cidade, até factores meteorológicos, como a situação sinóptica e variáveis climáticas associadas. Todos estes factores contribuem para moldar constantemente a forma da ilha urbana e consoante o peso relativo que, momentaneamente, as características físico-químicas da massa de ar presente sobre a cidade lhes concedem, assim se vão evidenciando uns factores e anulando outros.

A ilha de calor de Aveiro desenvolve-se, pois, submetida às duas condições de Aveiro: a condição de **cidade** enquanto espaço urbano com uma certa morfologia e actividade e a condição de **costeira** enquanto submetida a todas as características meteorológicas que advêm da sua proximidade à laguna costeira (vulgarmente conhecida por Ria). É do jogo entre estes dois condicionalismos que resultam as diferentes formas da ilha de calor.

Assim, segundo o nosso estudo, distinguem-se três grandes factores condicionantes da ilha de calor: as condições meteorológicas, a morfologia urbana e a proximidade do sapal. Analisámos a influência de cada um destes factores e chegámos às seguintes conclusões:

Influência das Condições Meteorológicas

A existência e a intensidade da ilha de calor de Aveiro dependem da situação sinóptica e do tipo de tempo resultante.

- * Em relação à situação sinóptica, verificámos que intensidades fracas correspondem quase sempre a situações depressionárias ou perturbadas. Ilhas moderadas correspondem a uma grande diversidade de situações sinópticas, desde depressões a situações de transição até às diversas situações anticiclónicas. As ilhas fortes a muito fortes correspondem apenas a situações anticiclónicas.
- * Em relação à cobertura nebulosa, verificámos que, em termos gerais, quanto maior é a cobertura nebulosa, menor é a intensidade da ilha de calor. Ilhas fortes a muito fortes estão sempre associadas a situações de céu limpo, assim como chuva/aguaceiros estão sempre associados a ilhas fracas. Situações de céu muito a pouco nublado estão associadas a ilhas fracas a moderadas.
- * Em relação à velocidade do vento, verificámos que o seu aumento diminui a intensidade da ilha de calor. As maiores velocidades de vento verificadas correspondem a intensidades fracas; pelo contrário, as ilhas fortes a muito fortes ocorrem em situações de vento fraco. Estes resultados confirmam que a ilha de calor é mais intensa em situações de vento fraco e calmas frequentes. Em algumas situações, o vento também exerce a sua acção deslocando a ilha para sotavento.

Deste modo podemos concluir que a intensidade da ilha de calor é máxima quando o céu está totalmente descoberto e não há vento. Estas condições de tempo correspondem, normalmente, a situações anticiclónicas. Pelo contrário, em situações depressionárias (instabilidade da atmosfera, vento e nebulosidade fortes, ocorrência de precipitação)

atenua-se a ilha de calor, chegando mesmo a desaparecer. Estes resultados estão de acordo com a maior parte dos estudos feitos na zona temperada.

A situação sinóptica parece determinar, além da intensidade da ilha de calor, a influência dos outros factores que a condicionam. Em situações anticiclónicas, a diversidade térmica segue a diversidade na densidade de construção, sendo as zonas mais densamente construídas as mais quentes. Esta importância da morfologia urbana, pelo contrário, não se manifesta em situações perturbadas. De igual forma a influência do sapal parece atenuada em situações depressionárias.

Influência da morfologia urbana (densidade de construção e actividades antrópicas)

A distribuição da temperatura relativa do ar segue, com aproximação, a compacidade de construção e as actividades antrópicas, numa gradação térmica: rural, periferia, cidade e, dentro desta: zonas amplas, zonas habitacionais, Bairro Antigo/Zona comercial antiga/CBD. O “cume” da ilha de calor encontra-se, frequentemente, na zona de maior actividade antrópica (tráfego, comércio, serviços) e de maior compacidade e altura de construção - CBD (Avenida Dr. Lourenço Peixinho) e, por vezes, também na zona do Rossio, de grande densidade de construção.

Verifica-se uma diminuição pontual da temperatura coincidente com a proximidade do Parque - jardim público arborizado.

Estes dados vêm suportar a conhecida acção da compacidade de construção (densidade e altura dos edificios, ausência de espaços verdes) e das actividades antrópicas geradoras de calor (de onde se destacam o tráfego, as unidades hoteleiras e os serviços), na intensificação da ilha de calor.

Influência da proximidade ao Sapal/Zonas Húmidas/Salinas

Vários aspectos da ilha de calor de Aveiro tornam evidente a importante influência do sapal/zonas húmidas/salinas, que bordejam Aveiro a NW, na amenização da temperatura do ar desta cidade costeira:

- a ilha de calor raramente se encontra centrada sobre a cidade, na maior parte das situações, encontra-se desviada para a Ria.
- em algumas situações, a distribuição das temperaturas faz-se segundo faixas paralelas à Ria, aumentando a temperatura na sua direcção.
- em algumas situações, o ar ameno proveniente da ria penetra na cidade ao longo do seu canal central.

Em relação às variáveis geográficas consideradas: morfologia urbana e distância ao sapal, a altitude revelou-se um factor de menor importância nesta cidade praticamente plana, no entanto é de salientar a dificuldade em isolar o seu efeito, do efeito dos outros factores condicionantes da ilha de calor.

Quanto à intensidade da ilha de calor de Aveiro, durante o nosso estudo, variou entre 0,5°C e 7,53°C, ultrapassando o valor proposto por Oke, (1973), segundo o qual, em função do tamanho da cidade, seriam de esperar em Aveiro intensidades máximas da ilha de calor da ordem dos 5,67 °C.¹

¹ Ver descrição na página 12.

Quanto ao ritmo diário e estacional da ilha de calor de Aveiro, o nosso estudo não teve a continuidade no tempo (anual, estacional e horária diária), necessária para definir tais ritmos.

Os resultados do estudo sobre a ilha de calor de Aveiro, descontínuo no espaço e no tempo, que acabamos de apresentar, não podem passar de resultados provisórios, melhor ainda, não deveriam constituir mais do que a investigação preliminar para o estabelecimento de um plano de estudo aprofundado sobre a ilha de calor desta cidade, com outros meios materiais e humanos.

PARTE II

A RELAÇÃO ENTRE O CLIMA, O CONFORTO E A SAÚDE

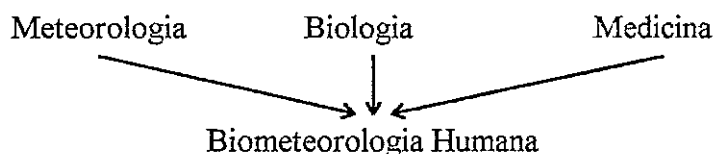
I - INTRODUÇÃO: A influência do Clima no Ser Humano

I.1 - A Biometeorologia Humana

A Ciência que estuda a influência do clima no Homem é a Biometeorologia Humana. É uma ciência muito antiga, que remonta ao tempo de Hipócrates, e que se encontra perfeitamente enraizada na sabedoria popular, pois que, desde há muito tempo, é reconhecida a influência das condições atmosféricas no Homem.

Actualmente recorre a modelos matemáticos das interações entre o corpo humano e o ambiente físico e ao cálculo de correlações estatísticas entre fenómenos atmosféricos e organismo humano, fazendo juz à citação de Kant: *“Há tanta sabedoria na ciência, quanta matemática há nela.”*

A Biometeorologia Humana, também chamada meteorologia médica, pode ser considerada uma subdisciplina da Meteorologia que requer a colaboração da Biologia e da Medicina. Tem sido um campo interdisciplinar de interesse desde há centenas de anos e reúne uma multitude de ramos divergentes sob o mesmo tecto.



A Biometeorologia Humana é definida como a ciência que estuda as relações entre factores geofísicos naturais e artificiais e as respostas e adaptações humanas, tanto fisiológicas como patológicas e comportamentais [31].

I.2 - A Percepção Climática Colectiva

À margem da observação matematicamente mensurável, as gentes sempre conheceram a tónica das variáveis climáticas em seu redor como um elemento de si mesmo. Existiu, ao longo dos tempos, uma percepção colectiva do ambiente climático, como existiu do meio físico ou social em geral. Esta percepção reflecte, através de termos simples de calor-frio, húmido-seco, sensações muito mais complexas, de conforto ou mal-estar ambiental perante esse meio. Do mesmo modo, se o clima e o ambiente condicionam a comodidade de um território, esta manifesta-se também na sua salubridade, ou, pelo menos, assim se cria.

A saúde ou doença dos habitantes de uma zona, assim como a sua longevidade e, em geral, o seu bem estar, eram tidos como fenómenos territoriais, mais do que sociais ou culturais. O que permite afirmar que a salubridade ou comodidade de qualquer região eram tidas como componentes geográficos do território, características intrínsecas do mesmo; como a sua temperatura, humidade ou altitude, com as quais era considerado intimamente relacionado.

É mais frequente o clima ser qualificado de são ou insalutar, ou propenso a determinadas doenças, do que ser caracterizado por elementos propriamente climáticos, como temperaturas, humidade, ventos, etc., o que revela a percepção popular da relação entre o Clima, a Saúde e o Conforto.

Na realidade, Clima, Saúde e Conforto não são mais do que facetas de um mesmo fenómeno: as interações entre o Homem e o Clima [24].

Quanto a Aveiro, encontramos uma referência antiga ao seu clima, numa obra de 1873 de Augusto Pinho Leal que refere essa percepção climática colectiva: “*A situação d’esta cidade, em uma amena, deliciosa e feracissima planicie... Seu clima actualmente é bom, e seus arrabaldes são lindos e fertilissimos...*” [39].

I.3 - O Clima e o Conforto Humano

O conforto térmico é uma reacção do organismo perante os estímulos provenientes do meio ambiente atmosférico, que requer uma componente fisiológica e outra psicológica e que o Homem percebe como uma sensação subjectiva. Fisiologicamente, a sensação de desconforto corresponde ao desencadear dos mecanismos de termorregulação, no caso de se ter quebrado o balanço térmico do corpo humano; pelo contrário, a sensação de conforto ocorre quando as necessidades de termorregulação são mínimas [64].

I.3.1 - O Balanço Térmico Humano

O balanço energético do corpo humano depende das trocas de calor entre este e o meio envolvente. Estas trocas ocorrem por condução, convecção, radiação, assim como pelas perdas energéticas que acompanham o processo de evaporação. Todos estes itens estão intimamente ligados às flutuações meteorológicas. [64]

A **condução** é o processo menos importante, aplica-se apenas para os humanos em pé: há perda condutiva de calor através da sola dos pés, o que é mínimo.

O corpo humano geralmente actua como uma fonte de **radiação**, pois a sua temperatura é normalmente superior à dos objectos próximos. Esta troca envolve a emissão de radiação de onda longa (infravermelho) pelo corpo e a recepção, tanto de radiação de onda longa emitida pelos objectos próximos e ao ar livre, como de radiação solar de onda curta.

A **convecção** é um processo de transferência que remove calor do corpo quando a temperatura da superfície do corpo ou do vestuário é superior à do ambiente, o que geralmente sucede. Há duas formas de convecção: convecção natural - o movimento do ar produzido somente pelo calor do corpo; e convecção forçada - o movimento do ar causado por factores exteriores às pessoas. Esta perda de calor processa-se, aproximadamente, segundo a raiz quadrada da velocidade do vento (movimento do ar).

Além destes fenómenos, há ainda a considerar a perda de calor do corpo humano por **evaporação**. Ocorre, constantemente, perda de calor por transpiração insensível, que é absorvido pelo o ar ambiente. A transpiração sensível (também chamada transpiração termal) ocorre apenas em condições excessivamente quentes ou durante o exercício físico. Grandes quantidades de calor são necessárias para evaporar o suor, constituindo um mecanismo muito eficiente para o arrefecimento do corpo [18].

Para o calor do corpo se conservar, as perdas de calor devem igualar os ganhos.

O balanço térmico humano pode ser representado pela seguinte equação:

$$M - W + R \pm C - E = 0$$

Onde:

M é a produção metabólica de calor;

W é o trabalho desenvolvido (se aplicável);

R é a troca de radiação líquida (i.e., o balanço entre: a emissão de radiação de onda longa e a absorção de radiação de onda longa de corpos e objectos sólidos nas vizinhanças, e a absorção de radiação de onda curta do céu e sol (se aplicável));

C é a perda ou ganho por condução-convecção, incluindo calor sensível exalado;

E é a perda de calor por evaporação, por transpiração sensível ou insensível e pelo vapor de água expirado [18].

Cada um dos termos pode assumir uma grande gama de valores, dependendo das condições extrínsecas ou intrínsecas do corpo. A convecção e radiação contam com pouco mais de um terço cada, a vaporização (evaporação) de suor insensível contribui com quase todo o resto.

Se o balanço destes cinco termos for diferente de zero, o corpo está a ganhar ou a perder calor e o equilíbrio térmico é quebrado [18], desencadeando-se os mecanismos de termorregulação.

1.3.2 - A Fisiologia da Termorregulação

Dos vários fenómenos fisiológicos que são alterados pelas condições atmosféricas, vamos destacar a termorregulação.

Os seres humanos são homeotérmicos ou de “sangue quente”, o que significa que mantêm uma temperatura do corpo constante, apesar das variações térmicas do ambiente, se estas não forem excessivas [18]. Esta temperatura constante é mantida, porque os órgãos vitais apenas funcionam, em boas condições, se a sua temperatura se mantiver próxima dos 37°C - temperatura óptima de reacção das enzimas básicas dos processos bioquímicos do organismo humano [63].

O corpo humano tem uma extraordinária capacidade para se ajustar ao “stress” térmico (quente ou frio). Esta “plasticidade térmica” deve-se ao papel desempenhado pelo hipotálamo, principal responsável pela capacidade de aclimatização [24].

O hipotálamo, chefe do centro de controlo automático do cérebro, contém células que são extremamente sensíveis à temperatura do sangue que, por sua vez, responde às condições ambientais. Quando a temperatura do sangue é elevada, o hipotálamo envia impulsos que causam a dilatação dos vasos sanguíneos superficiais (vasodilatação cutânea), acompanhada pela bombear de mais sangue para a superfície do corpo e menos para o interior, de tal forma que a perda de calor é acelerada. Quando o hipotálamo sente uma temperatura do sangue reduzida, desencadeia-se o oposto: vasoconstrição, bombeamento de sangue para o interior, estrangimento dos vasos periféricos e, conseqüentemente, redução da perda de calor.

O hipotálamo também recebe impulsos de receptores sensíveis à temperatura na pele e é possível uma resposta vasomotora localizada. Esta é a primeira linha de defesa do corpo contra condições térmicas fora da zona de termoneutralidade.

Num ambiente muito quente ou durante exercício físico pronunciado, o hipotálamo invoca a transpiração sensível, um fluido é libertado através dos poros da pele e, quando evapora, reduz a temperatura desta. Este mecanismo é mais eficiente quando o ar ambiente tem uma menor humidade relativa. O movimento do ar também é importante para a evaporação. A quantidade de calor perdido durante a transpiração depende da superfície exposta à livre circulação do ar. O máximo é atingido quando toda a superfície da pele está exposta e coberta de suor; o vestuário pode impedir a evaporação.

Através da boca e das fossas nasais, durante a expiração, o corpo perde calor latente e sensível, pelo que a taxa respiratória pode aumentar ligeiramente durante o desconforto por calor e, claro, aumenta marcadamente durante o exercício físico.

Os mecanismos fisiológicos desencadeados nos humanos como resposta ao frio, são o tremer/tiritar - uma rápida sucessão de contracções musculares que produzem calor localmente, e, também, o aumento do metabolismo¹.

Os seres humanos, como corolário da homeotermia, são exotérmicos (libertam calor). O calor é gerado como um subproduto dos processos metabólicos, pela ingestão de alimentos e pela contracção dos músculos esqueléticos durante o exercício físico, mas esta produção de calor pode ser modificada pela libertação de certas hormonas, como a epineferina e a norepineferina [18].

Se as variações das condições climatológicas ambientais ultrapassam uma certa amplitude, todo o sistema termorregulador entra em acção por elevação ou redução do metabolismo. Mas, tão importantes como as adaptações metabólicas, são as alterações de temperatura devido às diferentes actividades humanas, pois o calor produzido pelo organismo é diferente segundo o trabalho e o consumo energético que realiza. [24,63]

O hipotálamo é, portanto, o que desencadeia a reacção fisiológica de termorregulação. Mas, além disso, não se pode esquecer a reacção psíquica, que é, em última instância, a que gera a percepção térmica. Não se trata de saber o calor ou o frio que faz, nem o que experimentam os mecanismos fisiológicos de termorregulação, mas o que realmente sente cada indivíduo e como reage conscientemente perante isso. Isto quer dizer que a sensação última de conforto ou mal-estar não responde apenas a um equilíbrio físico, mas também a uma apreciação subjectiva [24].

I.3.3 - A Subjectividade da Percepção Térmica

A noção de conforto ou bem estar térmico é uma noção subjectiva [63].

A principal dificuldade em caracterizar os conceitos de conforto térmico e de bem estar atmosférico é a vasta gama de respostas, objectivas ou subjectivas, medidas instrumentalmente ou determinadas por uma opinião pessoal, que é dúbia devido às diferentes sensações de uma mesma pessoa em diferentes momentos, ou devido aos inúmeros factores que fazem os humanos diferentes uns dos outros: a idade, o sexo, o estado de saúde e de ânimo, o tipo de actividade, o vestuário, a taxa metabólica, o acondicionamento prévio ou experiência, a raça ou origem geográfica, os costumes, a alimentação, a resistência psíquica, as doenças antigas, etc. Para não falar dos factores psicológicos que nos podem predispor a gostar ou desgostar de tempo frio ou quente [18,64]. A sensação térmica é, deste modo, um processo subjectivo que requer considerações fisiológicas e psicológicas [64].

¹ Designa-se por metabolismo o conjunto de processos bioquímicos que ocorrem no organismo quando este cria tecido vivo a partir de substâncias nutritivas básicas ou as transforma em energia [63].

1.3.4 - O Conforto Térmico Humano

O organismo adapta-se a determinadas condições ambientais, mas sofre sensações de incómodo, de desconforto, ou, pelo contrário, de bem estar, de conforto, conforme o ambiente climático exige uma maior ou menor acção dos seus mecanismos termorreguladores [63]. O desconforto térmico surge quando os processos internos, devido a alterações meteorológicas, são subjectivamente desagradáveis. Pelo contrário, o bem estar climático refere-se a um meio cujas características meteorológicas favorecem um mínimo de esforço termorregulador [64].

Fora das condições de conforto térmico, produz-se um mal-estar ou incomodidade que se denomina “stress bioclimático” e que em casos extremos pode chegar ao choque térmico, à doença e, se não se corrigir, inclusive à morte. [24]

1.3.5 - A Quantificação do Conforto Térmico

Os principais elementos meteorológicos que originam desvios térmicos no corpo e, portanto, modificam as sensações de conforto climático, são: a temperatura do ar, a humidade atmosférica e a velocidade do vento [64].

Há que ter em conta que estes componentes físicos do clima (temperatura, humidade e vento) não são sentidos pelo organismo tal como separadamente são medidos, pois actuam inter-relacionados, potenciando-se ou complementando-se segundo os casos. Em toda a sensação de calor ou humidade intervêm a sensibilidade psicofisiológica da pessoa, e também o tipo de calor objectivo (húmido ou seco) ou a humidade (fria ou quente) que determinam percepções climáticas muito diferentes. As sensações também não são as mesmas, com ou sem vento. Nem a sensação é a mesma se o vento é frio ou quente, húmido ou seco.

Definitivamente, para medir as sensações humanas, a maioria dos parâmetros climáticos utilizados têm de ser inter-relacionados uns com os outros e não nos podemos limitar a medir quantidades, para descobrir a ampla gama de valores sentidos pelo organismo.

Estas variáveis inter-relacionadas - conjugação de calor, vento, humidade - são as realmente sentidas pelo organismo e as que expressam o grau de bem estar ou conforto climático [24].

Para conhecer o conforto climático de uma determinada área geográfica, há que recorrer a modelos matemáticos que permitam relacionar todas as variáveis climáticas que intervêm no balanço térmico, e que permitirão elaborar índices sintéticos de conforto climático [24].

I.4 - O Clima e a Saúde Humana

I.4.1 - Referências Históricas

A vulnerabilidade humana perante o clima já preocupava o Homem pré-histórico que, apesar dos seus conhecimentos rudimentares, descobriu o vestuário, os abrigos e o fogo.

A noção de que a saúde humana e a doença estão intimamente ligadas às condições climatológicas diárias ou estacionais antecede, provavelmente, a história escrita. Mesmo o conceito básico da acção dos elementos climatológicos sobre o estado de saúde e sobre o desenvolvimento de doenças humanas é mais antigo que a própria medicina tornada ciência individualizada na Europa. Em apoio desta tese, pode-se evocar as citações do imperador chinês Huang Ti, no ano 2650 a.C. e do cirurgião hindu Susruta, que viveu na cidade indiana de Tacsasila, entre os séculos VI e V a.C., que já referiam a correlação de factores meteorológicos e do estado de saúde das pessoas; o mesmo acontece no tratado escrito na Grécia Antiga, no século IV a. C., “Dos ares, águas e lugares”, por Hipócrates, considerado o “pai da medicina ocidental” [63].

Em defesa da relação entre o clima e a saúde em Aveiro, encontramos uma obra do princípio do século, de António do Nascimento Leitão, sob o tema “A Bacia hydrographica de Aveiro e a Salubridade Pública (esboço de estudo)”, onde o autor refere: *“É incontestável e poderosa a influência do clima na salubridade pública. Temperatura e humidade do ar, pressão atmosférica, chuvas, ventos - são elementos concatenados d’um clima”*.

“Na respiração do ar marinho o chloreto de sodio é facilmente absorvido pelos pulmões, activa as oxydações e augmenta a eliminação da uréa. O ar do mar não tem poeiras; é quasi aseptico.”

“A suspensão de vapor d’agua na atmosphaera, concorre para a amenidade do clima. A humidade do ar provoca a humidade do solo, e esta predispõe para as affecções das vias respiratórias. O ar medianamente humido, longe de irritar e arrefecer as vias respiratórias, tem antes uma acção calmante. O ar excessivamente humido é mais temivel do que quando sêcco, sobretudo se á humidade excessiva se junta uma temperatura accentuada.”

“O papel do vento na salubridade é incontestável. Varrem dos agglomerados humanos o ar viciado, ventilam o solo, expulsam os gazes deleterios. Repartem o calor e as chuvas. O vento N é bom depurador da atmosphaera, o vento de S é quente e porisso muito nocivo. O vento forte, pelo arrefecimento que provoca, exerce uma acção nociva, mais acentuada talvez do que a que se pretende imputar á humidade atmospherica. As frequentes affecções das vias respiratórias, que se observam na região de estudo, terão de certo aquella como provocação principal, juntando-se a ella a humidade do solo nos bairros humidos. O vento leva ao maximo a acção do ar seco ou do ar humido. Os fortes ventos seccos, nocivos aos sãos, aos doentes, sobretudo os affectados de lesões pulmonares, augmentam a tosse, a difficuldade de expectoração, a frequencia respiratoria, a frequencia do pulso, as hemoptyses e até a insomnia. A brisa do mar traz á região do Baixo-Vouga e Ria o ar marinho n’um elevado grau de pureza.” [40].

I.4.2 - Morbilidade e Sazonalidade

O corpo humano, através de vários processos termorreguladores, mantém uma temperatura interna muito próxima dos 37°C. Duas condições podem evitar ou inibir esta manutenção: as temperaturas podem ser demasiado excessivas para estes mecanismos manterem a homeotermia, ou pode haver uma deficiência da capacidade para a termorregulação, como acontece nos muito jovens, nos velhos e nos doentes ou enfermos.

Hipotermia e hipertermia são os termos gerais que descrevem, respectivamente, baixas e elevadas temperaturas corporais, e podem conduzir a condições que ameaçam a vida. Os estados patológicos que resultam da hipertermia são: desidratação, exaustão por calor e golpes de calor, cada um deles caracterizado por um diferente conjunto de sintomas. Em exposições ao calor menos severas mas prolongadas, a integridade do balanço de sal e água é ameaçada, e podem resultar caibras de calor. Os efeitos severos da hipotermia são manifestados primariamente no sistema circulatório e há um cessar geral das funções do corpo. Efeitos locais incluem frieiras e ulcerações produzidas pelo frio.

No entanto, a variação de mortalidade e morbilidade com os factores climáticos é devida, principalmente, a doenças que são exacerbadas pelo frio ou calor e não tanto por doenças resultantes directamente do excesso de calor ou frio. Estas doenças exacerbadas pelo frio ou calor são as doenças cardiovasculares e respiratórias em geral, e em particular, as doenças arterioscleróticas do coração, os enfartes de miocárdio, as lesões vasculares afectando o sistema nervoso central, as doenças respiratórias crónicas, e até mesmo casos de cancro, diabetes, acidentes e homicídios [18].

Muitos estudos do clima e saúde abordam a coincidência da variação temporal das características atmosféricas e da morbilidade e mortalidade em grandes populações. Há um grande número de doenças com incidência estacional marcada, como a asma, as infecções respiratórias e intestinais e diversos tipos de alergias. E outras de carácter crónico, cuja origem não é precisamente o clima, mas em que este actua sobre elas, podendo agravá-las. [18]

As alterações sazonais do clima geralmente correlacionam-se bem com a incidência de doenças e esta associação tem ajudado na dedução da sua etiologia. Em particular, a transmissão de muitas doenças por vírus, bactérias e parasitas é sazonal. A temperatura e a humidade afectam os vectores como os insectos; actividades fora de casa põem as pessoas em contacto com patógenos; a conecção de pessoas dentro de casa no Inverno (e das crianças no início do ano escolar) facilita a dispersão de vírus e aumenta as hipóteses de infecção. O aquecimento central, presumivelmente de grande benefício, é uma benção confusa: diminui a mortalidade e morbilidade máximas no inverno, que resultam em parte de complicações após a exposição ao frio, mas pode também diminuir a resistência a certas doenças infecciosas, por secar as superfícies mucosas (na ausência de aumento da humidade). Em alguns países em desenvolvimento, a ausência de condições sanitárias e medidas higiénicas apropriadas tem permitido que os patógenos sobrevivam, especialmente em condições quentes e húmidas, tendo sido observado, então, um pico de Verão, particularmente em doenças entéricas.

É importante reconhecer que a influência do ambiente atmosférico sobre os humanos pode não ser directa, mas actuar em factores intermediários, tais como nos

patogénios, seus reservatórios e sua transmissão. A susceptibilidade e a exposição das populações pode também ser influenciada. Uma maior predisposição a certas doenças provavelmente resulta de factores sociais, culturais ou comportamentais, coincidentes com as estações, mais do que da actuação directa da atmosfera sobre os humanos.

As estações influenciam, pois, o ambiente animal e vegetal, com mudanças na disponibilidade de alimentos e em vectores e hospedeiros de agentes infecciosos; além disto, há variações sazonais do comportamento humano, tais como ocupação, dieta e actividades de recreio. O efeito destas alterações no corpo é reflectido em variações fisiológicas: os níveis de serum cálcio, por exemplo, tendem a ser inferiores no Inverno e no início da Primavera; há variações da taxa de metabolismo basal, da distribuição de fluidos corporais, e do conteúdo de sal dos fluidos extracelulares. Outros parâmetros fisiológicos manifestam variações sazonais e ritmos circum-anuais, podendo as causas ser endógenas (reguladas por mecanismos internos) ou exógenas (causadas por factores exteriores ou ambientais).

Em conclusão: seja o efeito da atmosfera na saúde humana directo ou indirecto, há pouca ou nenhuma dúvida de que esse fenómeno se verifica. Assim, as condições atmosféricas:

- influenciam aspectos do ambiente físico que actuam na formação e disseminação de patogénios e no seu transporte
- provocam alterações sazonais em muitos aspectos do comportamento humano que podem conduzir a diferenças na susceptibilidade a factores ambientais. [18]

Analisemos, de seguida, algumas doenças com variações sazonais:

Doenças infecciosas

Algumas doenças desenvolvem-se nos humanos quando estes entram em contacto directo com o patogénio, ou com um transportador (vector) do patogénio. As condições atmosféricas influenciam ambos os elementos desta ligação. O patogénio pode ser um vírus cujo transporte é facilitado pela elevada humidade e pode morrer, ou pelo menos, ficar dormente, em ar muito seco. A radiação solar ultravioleta é muito eficiente a matar estes germes.

A febre amarela e a malária envolvem a transmissão do vírus pelo mosquito, cuja fecundidade é fortemente influenciada pelo tempo. Outras doenças infecciosas, cujos transportadores são influenciados pelo tempo, em maior ou menor grau, são, por exemplo, a doença do sono (mosca tsétsé) e as pragas (ratos e moscas). A cólera e a febre tifóide estão mais abaixo na hierarquia de doenças influenciadas pelo tempo porque o transportador, nestes casos a água, é menos influenciado por condições atmosféricas do que os transportadores referidos anteriormente.

Pode acontecer, nesta complexa etiologia de doenças infecciosas, que o clima também influencie o receptor - o ser humano. São conhecidas variações sazonais de certos parâmetros fisiológicos, tais como os níveis hormonais, que levam a que o ambiente atmosférico possa condicionar ou predispor as pessoas a estarem mais susceptíveis a doenças de qualquer tipo, mais numas alturas do que noutras. No entanto, há poucas provas médicas de que assim seja. Parece que o efeito directo dos elementos atmosféricos nos humanos é, provavelmente, menor, comparado com esse efeito no transportador e no patogénio [18]

Doenças respiratórias

Variações sazonais na frequência de doenças são características das doenças respiratórias (especialmente respiratórias superiores que, geralmente, têm um máximo no Inverno).

As doenças respiratórias influenciadas pelas condições atmosféricas são aquelas em que o elemento patogénico é transmitido pela atmosfera (“airborne”) e em que as condições atmosféricas contribuem para a sua formação.

A febre dos fenos é um exemplo em que tanto a formação como a transmissão do patogénio são influenciadas pelo tempo. Noutras doenças respiratórias influenciadas pelo tempo, a ligação é apenas entre a atmosfera e o transporte do patogénio. A constipação normal e as viroses de influência sobrevivem melhor no frio, em condições depressionárias e húmidas; estas doenças são, assim, mais prevalentes no Inverno, apesar disto ser devido, em parte, à tendência das pessoas estarem em casa mais frequentemente nessa altura, e ser assim mais fácil espalhar o vírus.

Além das viroses e das constipações, há outros patogénios que são influenciados pelo tempo apenas no transporte. É o caso dos esporos dos fungos, dos bolores e de miscelâneas de fibras vegetais e poeiras.

Outras doenças respiratórias, em cuja etiologia o clima está envolvido, são as bronquites, o enfisema e a asma. As duas primeiras envolvem inflamações ou anormalidades dos brônquios e dos alvéolos pulmonares, respectivamente. A asma é um termo receptáculo para estádios avançados de doenças respiratórias originadas por variadas causas, embora seja, por vezes, restrita a bronquites crónicas de origem tanto infecciosa como alérgica. Os seus sintomas são tosse, ofego e dificuldade em respirar. A ligação com o tempo ocorre, porque os patogénios se tornam “airborne” e assentam nos brônquios e alvéolos. Há consideráveis provas de que, no entanto, outros elementos climáticos inócuos, como o frio, o tempo chuvoso e as mudanças bruscas de tempo, podem exacerbar a asma e mesmo iniciar os seus ataques.

Os subprodutos da sociedade industrializada também estão envolvidos com a etiologia das doenças respiratórias. Os poluentes do ar, incluindo materiais particulados e gases noxious, foram associados a bronquites, ao cancro de pulmão, e a outras doenças respiratórias. A residência a longo-prazo em áreas poluídas, provavelmente inicia males crónicos deste tipo, assim como do sistema cardiovascular. Na etiologia de tais doenças, no entanto, o clima é uma condição necessária mas não suficiente [18].

Aflições circulatórias

Possivelmente a mais antiga e mais persistente queixa relacionada com o clima vem daqueles que sofrem de aflições circulatórias, tais como algumas formas de artrite, especialmente artrite reumática. Na verdade, certas pessoas dizem-se “barómetros humanos”, capazes de prever o tempo, de acordo com a duração e severidade da dor nas articulações e músculos. Sintomas similares são relatados por pessoas com fracturas, cicatrizes, neurites, e até enxaquecas. Inquestionavelmente, a artrite reumática é endémica nas regiões de climas frios e húmidos instáveis das latitudes médias, e uma terapia frequentemente recomendada é a deslocação dos doentes para sítios de clima quente e seco.

Acredita-se que algumas doenças têm uma componente psicossomática. Esta pode ser uma explicação parcial para a associação do tempo com a artrite reumática [18].

Outras associações

Para completar esta secção de doenças e aflições humanas que são directa ou indirectamente influenciadas pelo clima, há que referir as várias agressões à pele e aos olhos. No caso das aflições da pele, os agentes atmosféricos são o calor - a combinação da temperatura com a absorção de radiação solar, o vento e, menos frequentemente, a humidade. Os seus efeitos no revestimento cutâneo são elementos contribuidores para o eczema, a psoríase, o acne, etc. [18]

I.4.3 - Mortalidade e Sazonalidade

A variação sazonal na mortalidade tem sido evidenciada por vários investigadores. As causas desta sazonalidade podem ser explicadas pelas flutuações tanto exógenas, por exemplo, dos factores ambientais tais como a temperatura ambiente (Frost et al. 1992; Kunst et al. 1993), como pelas flutuações endógenas, tais como as variações sazonais das funções corporais e ritmos circum-anuais de vários parâmetros fisiológicos (Smolensky 1983) [47].

Smolensky et al. (1983) estudaram a variação sazonal na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias, tanto no hemisfério norte como no sul, e verificaram que o pico de mortalidade ocorre em Janeiro-Fevereiro no hemisfério norte, mas em Junho-Julho no hemisfério sul. Os autores concluíram que o pico de mortalidade ocorre na estação fria, apesar das flutuações endógenas nas funções corporais também terem o seu contributo.

Momiyama (1968) estudou as variações sazonais em doenças cerebrovasculares no Japão e notou uma associação entre a mortalidade por doenças cerebrovasculares e a temperatura média ambiente.

Dados suportando a relação entre sazonalidade e factores meteorológicos existem em estudos feitos em zonas temperadas, onde as baixas temperaturas do Inverno aparecem associadas com o aumento da mortalidade (Momiyama 1968; Smolensky 1983; Frost et al. 1992; Kunst et al. 1993) [47].

II - PARTE EXPERIMENTAL

II.1 - Fontes de Dados

Neste estudo, utilizámos dados médicos, recolhidos em três instituições, e dados climáticos, recolhidos na estação meteorológica do Campus Universitário. Os dados médicos referem-se a doenças respiratórias e cardio-vasculares por serem aquelas que, geralmente, mais se relacionam com as condições meteorológicas e também por terem um peso significativo em relação ao total da morbilidade e mortalidade em Aveiro^{3/5} [18]. Os dados climáticos correspondem aos elementos meteorológicos de que dispúnhamos para o mesmo intervalo de tempo a que se referem os dados médicos.

II.1.1 - Dados Clínicos

Foram utilizados os seguintes dados clínicos:

I - Dados sobre Morbilidade no distrito de Aveiro, provenientes de várias fontes:

⇒ Dados mensais, recolhidos no Hospital Distrital de Aveiro, referentes a episódios de internamento, por doenças respiratórias, por sexo, no período de 1990 a 1996.¹

⇒ Dados mensais, recolhidos em todos os hospitais do Serviço Nacional de Saúde do distrito de Aveiro, conforme registos existentes na base de dados nacional do IGIF², referentes a admissões hospitalares, por doenças respiratórias (pneumonia, influência com pneumonia, enfisema, influência, bronquite, asma e outras) e doenças cardio-vasculares (acidentes vasculares, enfarte de miocárdio, angina de peito, insuficiência cardíaca, trombose periférica e outras), no período de 1991 a 1995.³

II - Dados sobre Mortalidade no distrito de Aveiro, fornecidos pelo INE⁴, sobre a área do distrito de Aveiro mais próxima da cidade - o Baixo Vouga. Estes dados referem-se à mortalidade por doenças do sistema circulatório (doenças hipertensivas, enfarte agudo de miocárdio, outras doenças isquémicas do coração, doenças cérebro-vasculares, arteriosclerose e outras doenças do sistema circulatório) e doenças do sistema respiratório (pneumonia, gripe, bronquite, enfisema e asma). São dados mensais, para o período de 1990 a 1994.⁵

¹ Devido à limitação de tempo, tivemos que optar entre analisar as doenças respiratórias ou as doenças cardio-vasculares. Optámos pelas primeiras, uma vez que, como já foi referido por Ant^o do Nascimento Leitão, como é do senso comum dos aveirenses e como comprovámos numericamente, as doenças respiratórias, são, em Aveiro, bem mais preponderantes do que as cardio-vasculares. Entre 1990 e 1995 registaram-se, no Hospital Distrital de Aveiro, 2089 casos de internamento por doenças respiratórias contra 1185 por doenças cardio-vasculares.

² Ministério da Saúde - Instituto de Gestão Informática e Financeira da Saúde (IGIF) - Departamento de desenvolvimento de sistemas de financiamento e de gestão (DDSFG)

³ Os episódios de internamento por doenças respiratórias e cardiovasculares representam 55% do total de episódios de internamento nos hospitais do distrito de Aveiro, entre 1991 e 1994 (22% correspondem às doenças respiratórias e 33% às doenças cardiovasculares), segundo dados do IGIF.

⁴ Instituto Nacional de Estatística (INE) - Direcção Regional do Centro.

⁵ Os óbitos por doenças do sistema respiratório e por doenças do sistema circulatório correspondem, respectivamente a 4,2% e 42,6% (prefazendo conjuntamente 46,8%) do total de óbitos da área do Baixo Vouga, entre 1990 e 1994, segundo dados do INE.

II.1.2 - Dados Climáticos

Dados recolhidos na estação meteorológica do Campus Universitário referentes às observações diárias de superfície dos seguintes elementos meteorológicos: precipitação em 24h (mm), temperatura mínima, máxima e média (°C), humidade relativa (%) às 9h e pressão atmosférica (mb), no período de 1990-1995; temperatura do termómetro húmido e do termómetro seco (°C) às 9h e velocidade média do vento (km/h), no período de 1985 a 1995.

II.2 - Metodologia de Análise

II.2.1 - Quantificação do conforto climático de Aveiro

Neste trabalho, determinámos o conforto climático da cidade de Aveiro no período de 1985 a 1995. Para tal, utilizámos um método que manifesta a dependência entre o conforto e as variáveis climáticas: temperatura do ar, temperatura húmida e velocidade do vento [64].

Intensidade de arrefecimento

A sensibilidade ao frio não é apenas representada pela temperatura do meio mas depende, também, da rapidez com que se perde calor - a intensidade de arrefecimento (Landsberg, 1972). Nela desempenham um papel fundamental tanto o vento como a humidade ambiental que, ao actuar sobre a evapotranspiração, modificam o processo térmico [24].

A velocidade de perda de calor por unidade de superfície do corpo denomina-se intensidade de arrefecimento - H, e representa-se pela seguinte equação:

$$H = (a + bv^n) (t_c - t_w)$$

Onde:

v é a velocidade do vento

t_c é a temperatura do corpo

t_w é a temperatura medida pelo termómetro húmido

a, b e n são coeficientes empíricos dependentes dos processos de difusão, transferência de calor, etc. Os valores a e b são, respectivamente, 0,9311 e 0,0295 e $n = 0,60 e^{-0,01t}$; onde t é a temperatura do ar (Rodríguez y col. 1983,1984) [64].

Índice de conforto climático

Trata-se de um índice que, incluindo as variações de temperatura, humidade e velocidade do vento, expressa as diferentes sensações térmicas do Homem e, portanto, permite avaliar o seu conforto.

A equação seguinte representa o conforto climático (Rodríguez y col. 1983,1984):

$$T_b = t_a + t_w / 2$$

T_b é o índice de conforto climático (expresso em °C)

t_a é a temperatura aerodinâmica

t_w é a temperatura do termómetro húmido

A temperatura aerodinâmica t_a , é a temperatura modificada pelo efeito do vento. Para determinar esta diminuição térmica pelo efeito do vento atmosférico, referimos a intensidade de arrefecimento a um vento constante, designado vento de referência v_r . Este vento de referência v_r é a velocidade do ar, relativa a uma pessoa a andar, estando o ar calmo. O seu valor é de 7,5 Km/h (Dare, 1981) para uma altura de 10 metros sobre a superfície da terra (altura padrão do anemómetro). Assim, a temperatura aerodinâmica é obtida pela equação:

$$t_a = t_c - \gamma (t_c - t_w) \quad \text{sendo } \gamma = 0,9311 + 0,0295 v_r^n / 0,9311 + 0,0295 v_r^n$$

O índice proposto T_b expressa-se em °C e, portanto, os resultados obtidos manifestam, de uma forma intuitiva, a sensação térmica que se produz no homem pelo efeito do ambiente meteorológico que o rodeia. A escala de sensações, deduzida da de Schmid, expressa em °C, é a seguinte [64]:

Tabela II.II.1- Escala de sensações em função do índice de conforto climático [64].

| Sensação | T_b (°C) |
|--------------|--------------------|
| Muito Frio | $T_b \leq -5$ |
| Frio | $-5 < T_b \leq 1$ |
| Fresco | $1 < T_b \leq 6$ |
| Suave | $6 < T_b \leq 12$ |
| Quente | $12 < T_b \leq 18$ |
| Muito Quente | $18 < T_b \leq 24$ |
| Abafado | $24 < T_b$ |

Rodríguez (1984) refere a possibilidade de modificar os intervalos de valores do índice correspondentes a cada sensação, tendo em conta a subjectividade do processo. Realmente, a escala proposta manifestou-se desajustada para a aclimatização dos aveirenses, submetidos a um clima bem menos rigoroso que o clima experimentado pelos madrilenos. Segundo esta escala, os aveirenses nunca sentiriam Muito Frio pois o mínimo valor de T_b registado entre 1985 e 1995 foi $-1,97^\circ\text{C}$. Deste modo, através de questionários (ver Anexo II.1), foram conhecidas as sensações climáticas de grande número de pessoas submetidas a diferentes valores do índice de conforto climático (T_b) e, com base nelas, os intervalos da escala de sensações térmicas foram alterados.

A escala de conforto térmico utilizada foi a seguinte:

Tabela II.II.2 - Escala de sensações adaptada, em função do índice de conforto climático.

| Sensação | Abreviatura | T_b (°C) |
|--------------|-------------|--------------------|
| Muito Frio | MF | $T_b \leq 6$ |
| Frio | F | $6 < T_b \leq 10$ |
| Fresco | f | $10 < T_b \leq 14$ |
| Suave | S | $14 < T_b \leq 18$ |
| Quente | Q | $18 < T_b \leq 22$ |
| Muito Quente | MQ | $22 < T_b \leq 26$ |
| Abafado | A | $26 < T_b$ |

Este índice de conforto climático (T_b) foi aplicado aos dados meteorológicos diários entre 1985 e 1995 obtidos às 9h: temperatura do termómetro húmido e do termómetro seco e velocidade do vento. Deste modo, calculámos o índice de conforto climático de Aveiro às 9h. Infelizmente, devido à insuficiência de dados, não foi possível determinar o índice de conforto médio diário.

II.2.2 - Análise da influência do clima na Morbilidade e Mortalidade

II.2.2.1 - Selecção dos dados

Devido à limitação de tempo, fomos forçados a restringir a nossa análise da morbilidade e mortalidade aos dados que considerámos mais seus representativos. Assim, considerámos, para cada tipo de doenças (respiratórias ou circulatórias), o valor total e, individualmente, as duas doenças que mais contribuem para esse valor.

Relativamente aos dados de Morbilidade do distrito, optámos por analisar:

- ⇒ quanto às doenças respiratórias: o conjunto total, pneumonia e bronquite.⁶
- ⇒ quanto às doenças cardio-vasculares: o conjunto total, acidentes vasculares e insuficiência cardíaca.⁶

Relativamente aos dados de Mortalidade do Baixo Vouga, optámos por analisar:

- ⇒ quanto às doenças do sistema respiratório: o conjunto total, pneumonia e bronquite, enfisema e asma.⁷
- ⇒ quanto às doenças do sistema circulatório: o conjunto total, enfarte de miocárdio e doenças cerebro-vasculares.⁷

II.2.2.2 - Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a: análise gráfica, análise de correlação, análise de regressão, análise espectral e análise de classificação.

Análise gráfica

Os dados de saúde e os dados climatológicos foram analisados por séries temporais, tendo-se comparado estes dois parâmetros no sentido de pesquisar alguma relação nas observações.

As séries temporais dos dados foram analisadas por cronogramas e plexogramas.

Os dados foram inicialmente distribuídos em função do tempo (Cronograma), o que permitiu uma inspecção visual de tendências. Seguidamente, para cada mês e cada estação do ano, foram calculadas e distribuídas as médias dos vários anos (Plexograma).

Análise de correlação

A determinação do grau de relação entre dois conjuntos de variáveis pode efectuar-se através do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson obtido na análise de regressão simples ou múltipla. Este coeficiente quantifica o grau de dependência linear entre uma ou mais variáveis ambientais e uma variável médica, permitindo ainda estimar a percentagem de variância, na variável dependente, se for elevado ao quadrado [70].

Utilizámos a análise de correlação (coeficiente de correlação de Pearson) para detectar o padrão de interacção entre a morbilidade e a mortalidade e os factores

⁶ Dados do IGIF.

⁷ Dados do INE.

climáticos e o índice de conforto climático (Tb). O cálculo do coeficiente de correlação permitiu-nos complementar a análise gráfica.

A reacção do organismo às condições meteorológicas não é imediata, devendo considerar-se um “tempo de latência”, dependente de vários factores como sejam: o tipo de doença, a idade, a resistência física e psicológica, etc. Para estudar o problema de latência recorreremos ao método das correlações cruzadas. O princípio do método consiste em calcular as correlações entre dois conjuntos de parâmetros, por exemplo, entre a variável “internamento” e uma variável climática (temperatura, humidade, etc), esta última medida no mês que antecede os registos hospitalares e no próprio mês. Os dois coeficientes de correlação obtidos são posteriormente comparados. Este método foi aplicado para a morbilidade e mortalidade mensais.

Análise de regressão

Utilizámos a Regressão Linear Múltipla que nos permitiu estimar a relação existente entre a morbilidade/mortalidade e as diversas variáveis climáticas, exprimindo aquela em função destas. Assim, como variável dependente, indicamos a morbilidade/mortalidade mensais e como variáveis independentes (explicadoras) indicámos os factores climáticos médios mensais: temperatura mínima, máxima e média, velocidade média do vento, humidade relativa, precipitação e pressão atmosférica, e também o índice de conforto médio mensal (Tb). Foi utilizada o método da Regressão Progressiva, método em que as variáveis independentes são adicionadas ou eliminadas do modelo em cada passo da regressão até se obter o “melhor” modelo de regressão. Este método permite testar quais as variáveis significativas, com uma probabilidade à introdução de 1,00 e uma probabilidade de eliminação de 0,00. A significância da regressão foi testada pela análise de variâncias - Teste F clássico. A percentagem de variância explicada pelo modelo de regressão é dada pelo R^2 ajustado [70].

Análise espectral

Para analisar o comportamento das series temporais das variáveis clima e saúde, recorreremos à utilização de um método estatístico poderoso - método clássico de Fourier (FFT). A variabilidade das séries de dados traduz-se numa sobreposição de oscilações de amplitudes e frequências diferentes. Este método permite-nos determinar a escala e a intensidade das flutuações predominantes dos dados e suas variações temporais [41,60].

Aplicamos o referido método às séries mensais de dados, após extraídas as tendências, e obtivemos, deste modo, para cada doença de morbilidade/mortalidade e para cada elemento climático, os períodos (oscilações mensais) correspondentes aos maiores valores de densidade espectral.

Análise de classificação

Por último, para agrupar a mortalidade/morbilidade e os elementos climáticos segundo a semelhança dos seus períodos de oscilação, submetemos a matriz de dados dos períodos de maior densidade espectral, obtidos por análise espectral (com as diversas doenças como Objectos e os respectivos períodos como Descritores) a uma Análise de Classificação Hierárquica Aglomerativa por Ligações Simples e Distâncias Euclídeanas.

II.2.3 - Programas utilizados

Todo o tratamento estatístico dos dados foi realizado através do programa *STATISTICA for WINDOWS*, utilizando as opções: *Basic Statistics: Correlation matrices; Multiple Regression: Forward stepwise regression; Cluster Analysis: Joining (tree clustering); Time series: Spectral (Fourier) analysis.*

Utilizámos também o programa *EXCELL for WINDOWS*, para o cálculo do Índice de Conforto Climático de Aveiro.

III - RESULTADOS E DISCUSSÃO

III.1 - Índice de Conforto climático de Aveiro

Calculámos o índice de conforto climático de Aveiro às 9h, no período de 1985 a 1995, e obtivemos os seguintes resultados -ver tabela II.III.1 e 2 e figura II.III.1.

Tabela II.III.1 - Índice de conforto climático (Tb) de Aveiro às 9h, no período de 1985 a 1995 - médias mensais e desvios padrões mensais.

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Sensação | F | F | f | f | S | S | Q | Q | S | S | f | F |
| Tb médio (°C) | 7,5 | 9,1 | 10,7 | 11,9 | 15,1 | 17,2 | 18,6 | 18,5 | 17,3 | 14,9 | 11,7 | 9,9 |
| Desvio padrão | 3,3 | 2,9 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,0 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,7 | 3,3 | 3,4 |

Legenda:

| Sensação | Cor | Abreviatura | Tb (°C) |
|--------------|-----|-------------|-------------------|
| Muito Frio | | MF | $Tb \leq 6$ |
| Frio | | F | $6 < Tb \leq 10$ |
| Fresco | | f | $10 < Tb \leq 14$ |
| Suave | | S | $14 < Tb \leq 18$ |
| Quente | | Q | $18 < Tb \leq 22$ |
| Muito Quente | | MQ | $22 < Tb \leq 26$ |
| Abafadiço | | A | $26 < Tb$ |

Calculámos, também, a percentagem anual de duração de sensações climáticas médias, às 9h.

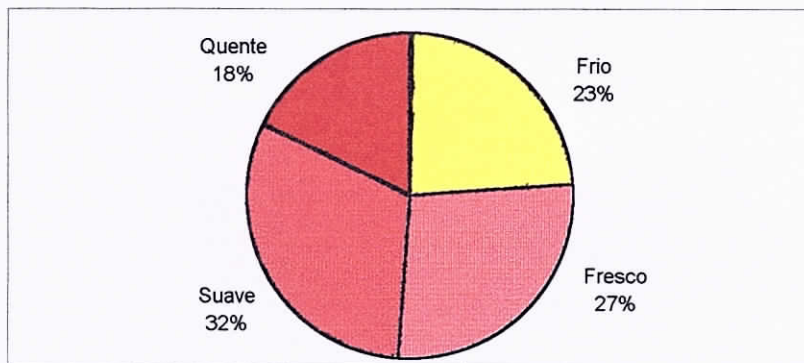


Figura II.III.1 - Percentagem anual de duração de sensações climáticas médias.

Os resultados obtidos permitem-nos afirmar que a cidade de Aveiro, na zona do Campus Universitário, às 9h, é confortável termicamente, sendo os Invernos Frios, as Primaveras e Outonos Frescos a Suaves e os Verões Quentes a Suaves, não se registando, em média, valores extremos de desconforto (Muito Frio, Muito Quente, Abafadiço). Os dias suaves representam a maior percentagem dos dias nos anos estudados, logo seguidos pelos dias frescos.

Infelizmente, devido à insuficiência de dados, não foi possível determinar o índice de conforto médio diário. No entanto, sabendo que as amplitudes médias diárias são pequenas (para o período de 1985 a 1995, a amplitude média diária foi de 7,8°C)

podemos prever que os valores de conforto diário não serão muito diferentes dos valores de conforto às 9h.

Esta classificação do conforto térmico da cidade de Aveiro foi realizada com base em medições objectivas dos parâmetros climáticos, susceptíveis de serem trabalhadas matematicamente. No entanto, não nos devemos esquecer que a sensação humana de conforto passa por uma componente fisiológica e por outra psicológica, pelo que aos valores quantitativos obtidos devemos dar uma ampla margem de subjectividade quando os seus efeitos se aplicam ao ser humano, margem essa que não é mensurável, pois exige o complemento de escalas e notações qualitativas [24].

Aveiro é, pois, uma cidade termicamente bastante confortável, como já dizia Augusto Pinho Leal, em 1873, referindo-se à percepção climática colectiva: *“A situação d’esta cidade, em uma amena planície... Seu clima actualmente é bom”* [39].

Tabela II.III.2 - - Índice de conforto climático (Tb) de Aveiro às 9h, no período de 1985 a 1995 - valores médios mensais.

| Meses | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Janeiro | 6,4 | 7,6 | 7,6 | 9,3 | 6,7 | 7,5 | 7,7 | 5,6 | 7,2 | 7,9 | 8,7 |
| Fevereiro | 10,6 | 8,6 | 8,8 | 8,8 | 9,3 | 11,8 | 7,5 | 8,2 | 8,5 | 8,2 | 10,4 |
| Março | 9,3 | 9,8 | 11,0 | 10,4 | 10,9 | 11,9 | 11,0 | 10,3 | 10,5 | 11,4 | 11,2 |
| Abril | 13,1 | 9,7 | 13,6 | 12,4 | 11,0 | 11,6 | 11,6 | 11,9 | 11,3 | 11,4 | 12,8 |
| Maio | 14,1 | 14,0 | 15,4 | 14,5 | 16,4 | 16,8 | 15,4 | 15,6 | 14,6 | 13,7 | 16,2 |
| Junho | 17,2 | 17,0 | 16,9 | 17,0 | 17,9 | 17,4 | 16,8 | 16,1 | 17,4 | 17,7 | 17,5 |
| Julho | 18,9 | 18,1 | 18,9 | 17,3 | 20,5 | 20,0 | 18,4 | 17,6 | 18,4 | 17,3 | 19,3 |
| Agosto | 17,4 | | 19,4 | 17,1 | 19,8 | 18,9 | 19,2 | 17,6 | 18,0 | 17,7 | 19,7 |
| Setembro | 18,6 | 18,6 | 18,2 | 16,5 | 17,1 | 18,5 | 18,7 | 15,8 | 16,1 | 16,0 | 16,5 |
| Outubro | 15,5 | 15,5 | 14,0 | 14,7 | 17,5 | 15,0 | 13,4 | 12,8 | 13,2 | 15,6 | 16,7 |
| Novembro | 11,0 | 10,7 | 11,1 | 12,8 | 12,9 | 10,8 | 10,5 | 12,5 | 10,2 | 12,2 | 13,8 |
| Dezembro | 9,3 | 8,7 | 10,9 | 8,0 | 12,2 | 8,3 | 8,1 | 9,9 | 10,0 | 10,6 | 12,4 |

Legenda:

| Sensação | Cor | Abreviatura | Tb (°C) |
|--------------|-----|-------------|-------------------|
| Muito Frio | | MF | $Tb \leq 6$ |
| Frio | | F | $6 < Tb \leq 10$ |
| Fresco | | f | $10 < Tb \leq 14$ |
| Suave | | S | $14 < Tb \leq 18$ |
| Quente | | Q | $18 < Tb \leq 22$ |
| Muito Quente | | MQ | $22 < Tb \leq 26$ |
| Abafadiço | | A | $26 < Tb$ |

III.2 - Influência do Clima na Morbilidade e Mortalidade

III.2.1 - Sazonalidade da Morbilidade em Aveiro

Tanto o total das doenças respiratórias como o total de doenças cardiovasculares no distrito apresentam uma periodicidade evidente e uma tendência ligeiramente crescente ao longo dos anos, como se pode ver na figura II.III.2 e II.III.5, embora essa periodicidade seja mais evidente nas doenças respiratórias.

Em ambos os casos, a periodicidade traduz-se num mínimo nos meses de Verão, seguido pelos meses de Outono e Primavera e um máximo nos meses de Inverno - figuras II.III.3 e 4 e II.III.6 e 7.

A mesma periodicidade é válida para a Pneumonia e para a Bronquite, se bem que menos marcada nesta última.

A mesma periodicidade é, também, válida para a insuficiência cardíaca, mas mais atenuada para os acidentes vasculares.

Os internamentos no Hospital Distrital de Aveiro por doenças respiratórias apresentam uma evidente tendência crescente tanto para os elementos masculinos como para os femininos - Figura II.III.8. Esta tendência deve-se, em grande parte, ao aumento da capacidade de internamento do hospital, mas também, possivelmente, ao facto da população recorrer cada vez mais aos serviços hospitalares, uma vez que a tendência crescente, se bem que menos evidente, também se verifica nos restantes hospitais do distrito.

Quanto à periodicidade das doenças respiratórias no hospital de Aveiro, traduz-se, em termos gerais (masculino e feminino), por um mínimo nos meses de Verão, seguido pelos meses de Outono e Primavera e um máximo nos meses de Inverno - figura II.III.10. Esta mesma periodicidade é seguida pelos elementos masculinos, mas no caso dos elementos femininos é um pouco diferente, com um mínimo nos meses de Verão e Outono, seguido pela Primavera e um máximo nos meses de Inverno. Ambos os sexos apresentam um pico máximo de doenças respiratórias em Janeiro. Em termos médios, os episódios de internamento dos elementos masculinos são mais numerosos do que os dos elementos femininos - figura II.III.9.

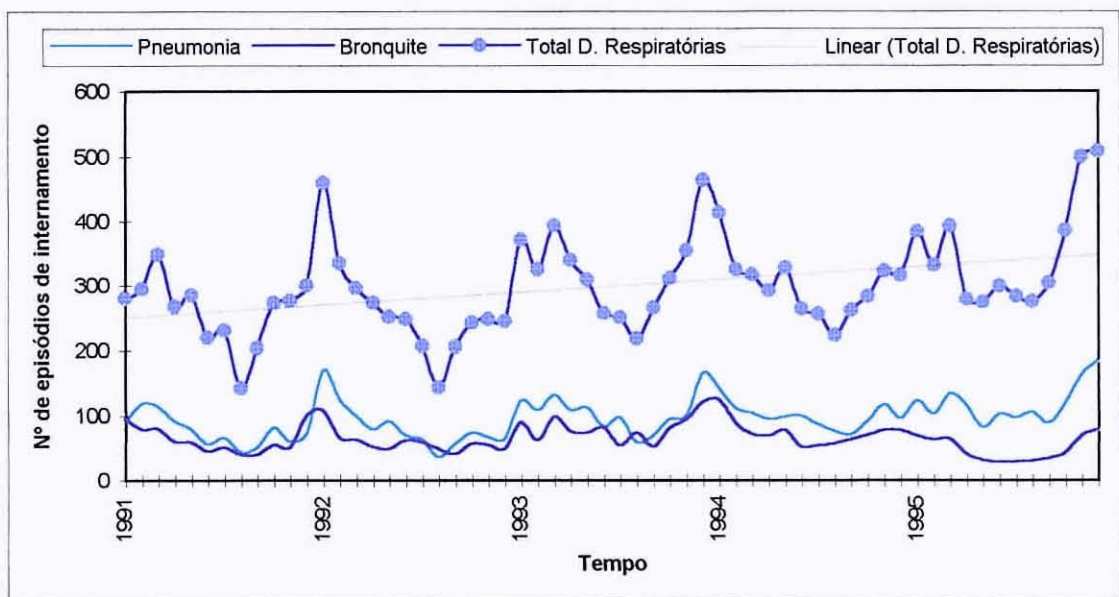


Figura II.III.2 - Cronograma do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças respiratórias.

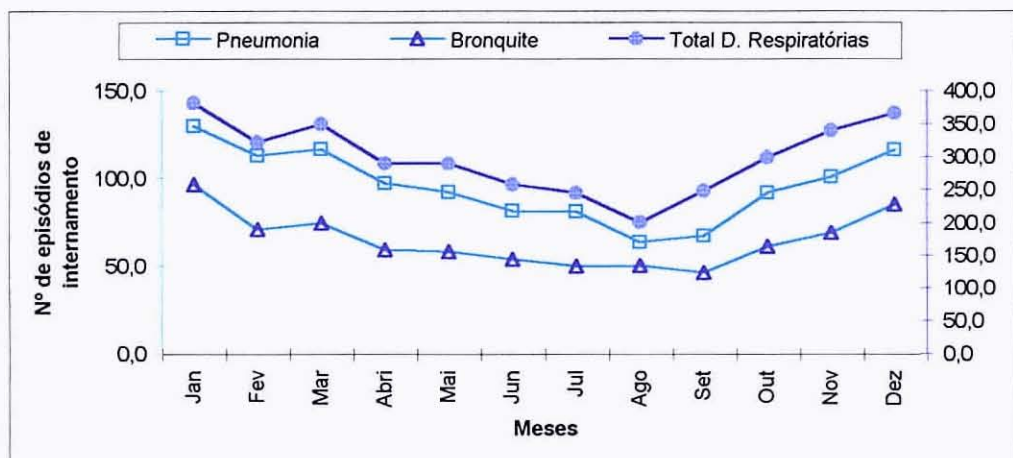


Figura II.III.3 - Plexograma mensal do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças respiratórias.

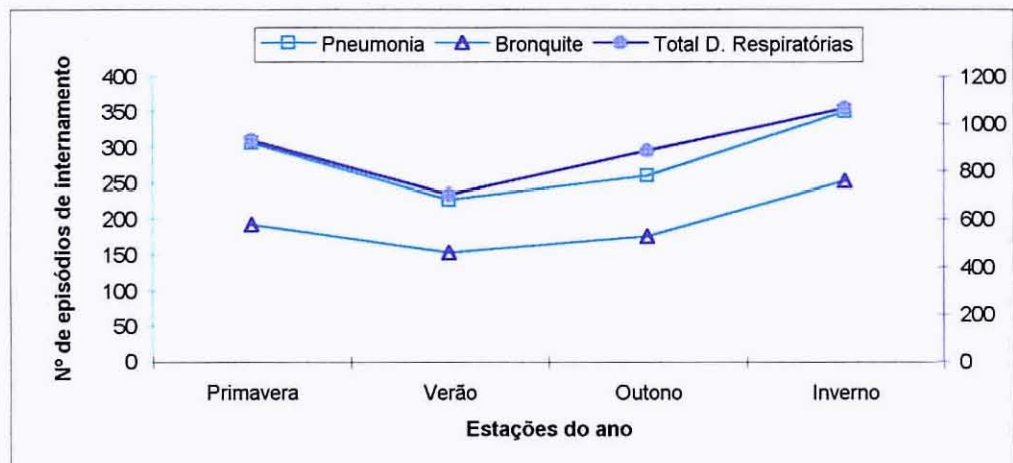


Figura II.III.4 - Plexograma estacional do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças respiratórias.

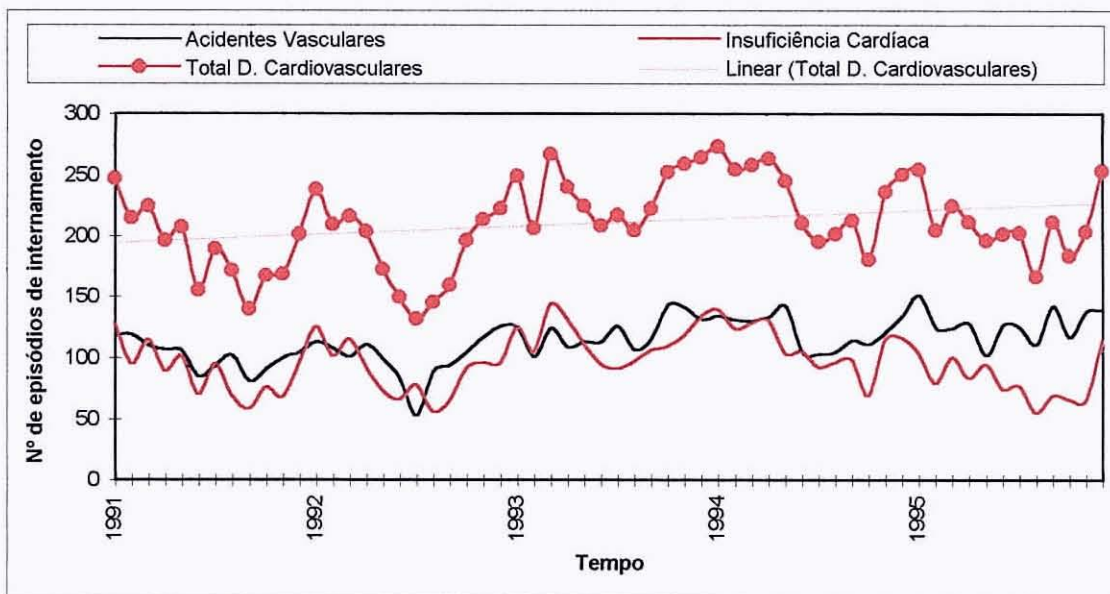


Figura II.III.5 - Cronograma do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças cardiovasculares.

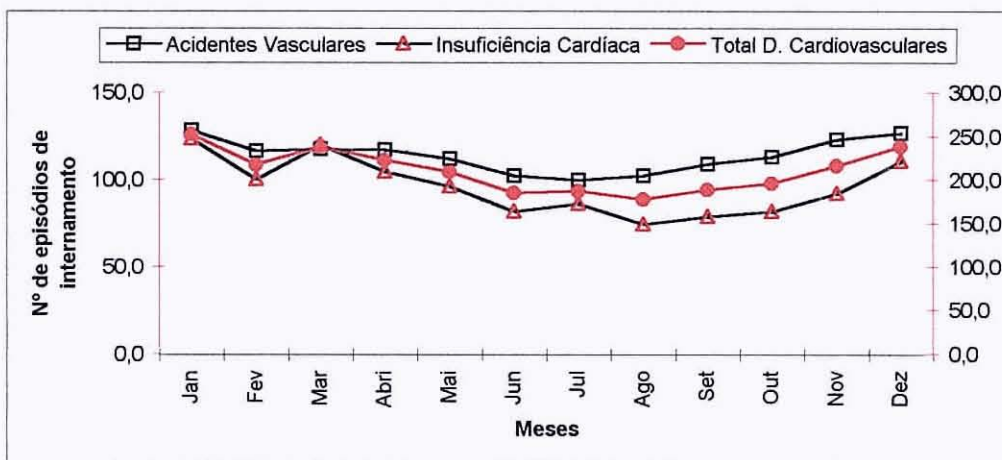


Figura II.III.6 - Plexograma mensal do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças cardiovasculares.

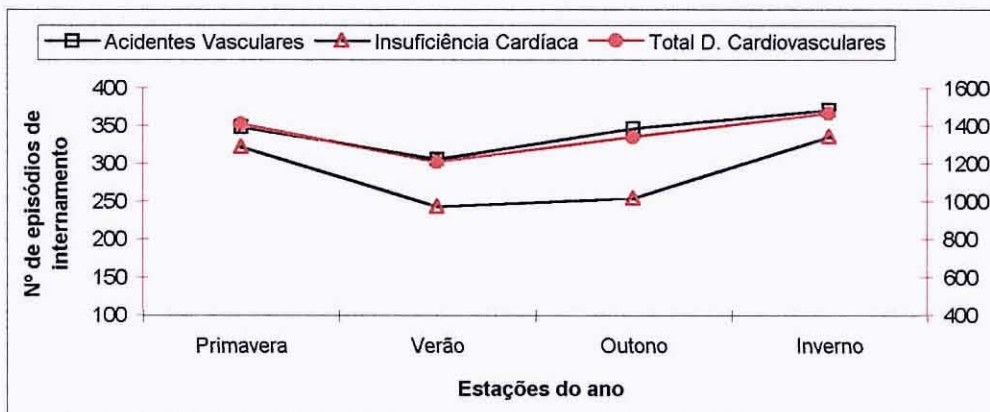


Figura II.III.7 - Plexograma estacional do número de episódios de internamento, nos hospitais do distrito de Aveiro, por doenças cardiovasculares.

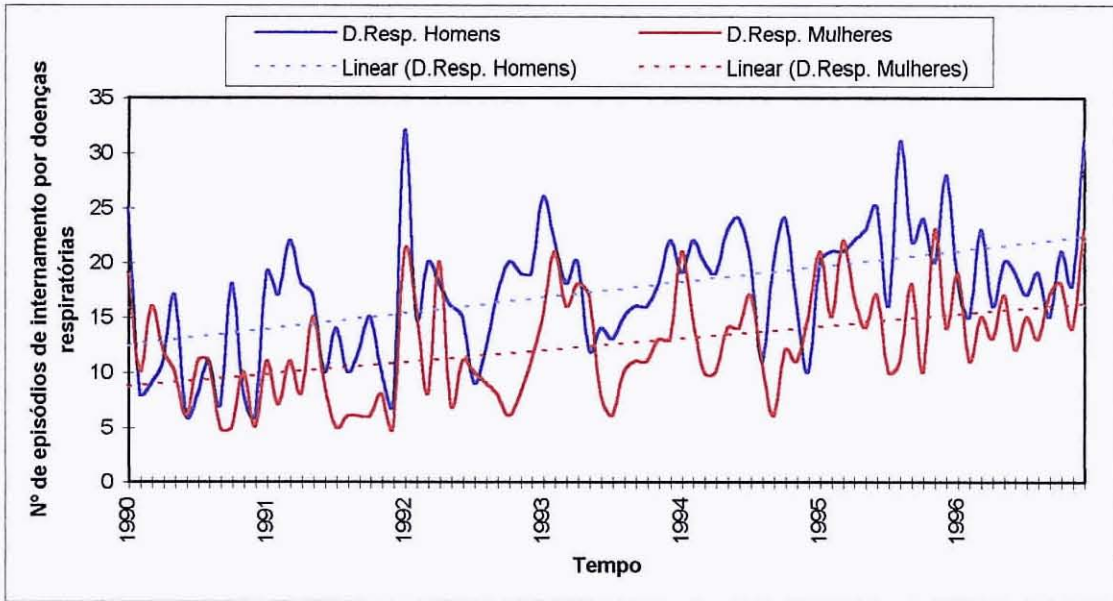


Figura II.III.8 - Cronograma do número de episódios de internamento, no hospital distrital de Aveiro, por doenças respiratórias, por sexo.

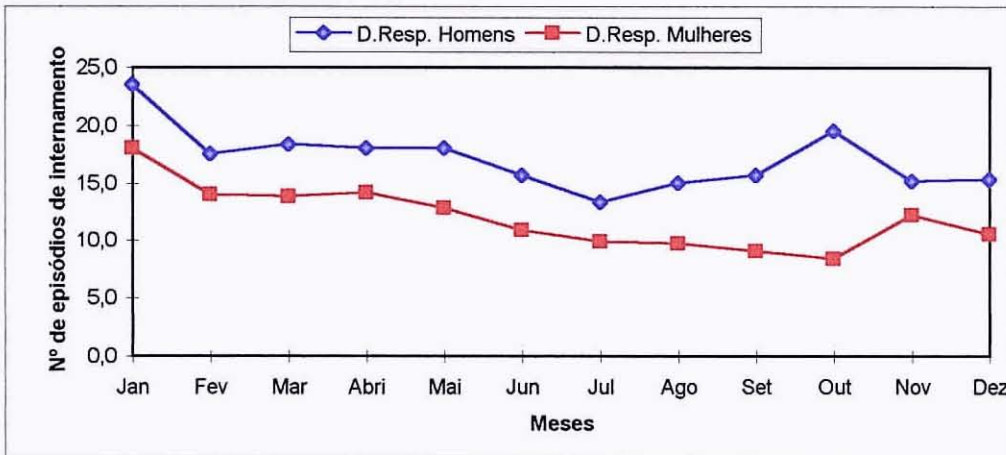


Figura II.III.9 - Plexograma mensal do número de episódios de internamento, no hospital distrital de Aveiro, por doenças respiratórias, por sexo.

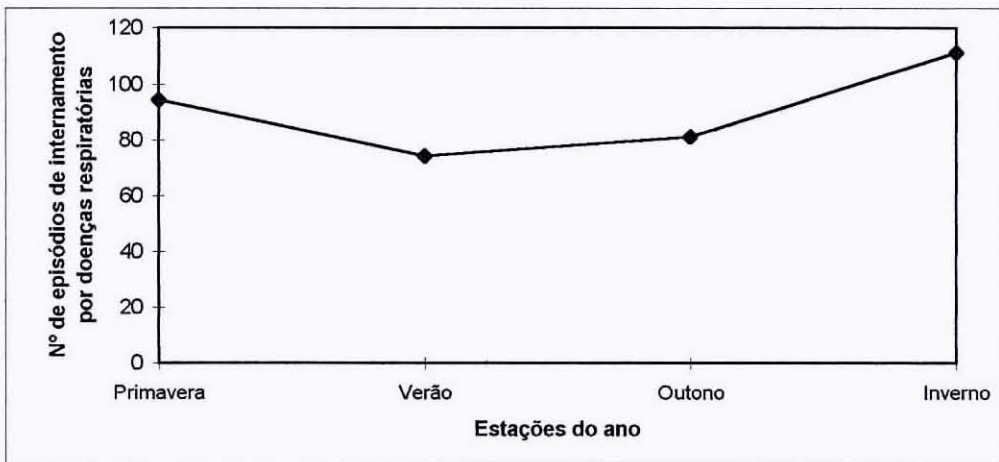


Figura II.III.10 - Plexograma estacional do número de episódios de internamento, no hospital distrital de Aveiro, por doenças respiratórias.

III.2.2 - Sazonalidade da Mortalidade em Aveiro

A mortalidade total por doenças do sistema respiratório e circulatório, na área do Baixo Vouga, apresenta uma periodicidade evidente, nestes 4 anos de estudo, com um mínimo nos meses de Verão, seguido pelo Outono e Primavera e um máximo nos meses de Inverno - figura II.III.11 e 12.

A mesma periodicidade aplica-se ao total de doenças do sistema circulatório e dentro destas, às doenças cerebro-vasculares. Quanto ao enfarte de miocárdio apresenta uma distribuição bastante uniforme no tempo - figura II.III.13, 14 e 15.

A mesma periodicidade é, também, válida, tanto para o total de doenças respiratórias, como para a Bronquite, Enfisema e Asma. Quanto à pneumonia apresenta-se aproximadamente constante nos meses de Primavera, Verão e Outono mas nos meses de Inverno apresenta um contrastado pico máximo - figura II.III.16, 17 e 18.

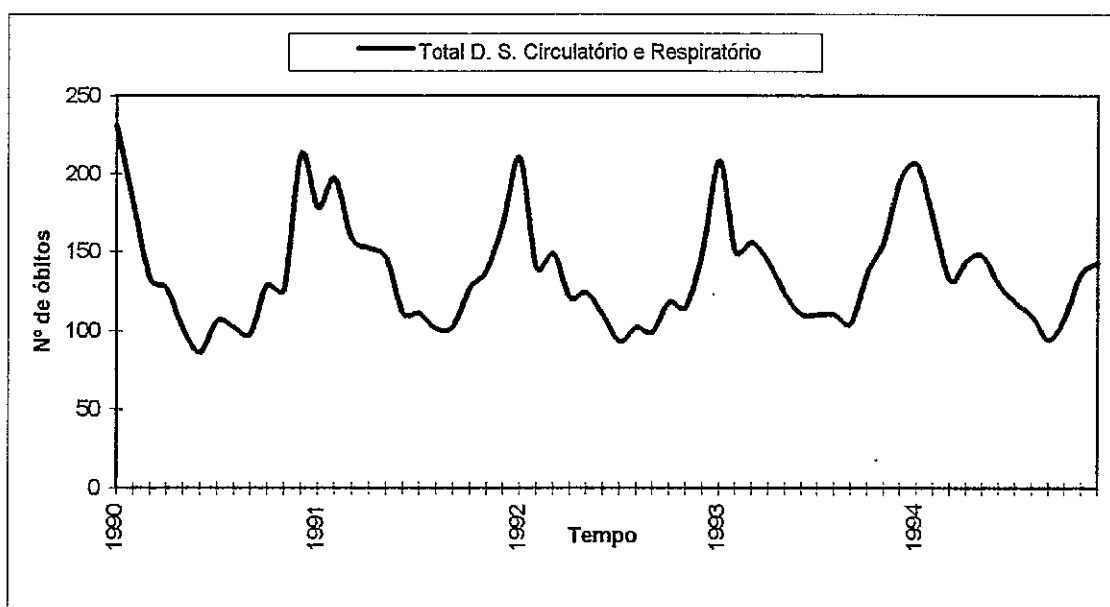


Figura II.III.11 - Cronograma do número total de óbitos por doenças do sistema respiratório e circulatório, na área do Baixo Vouga.

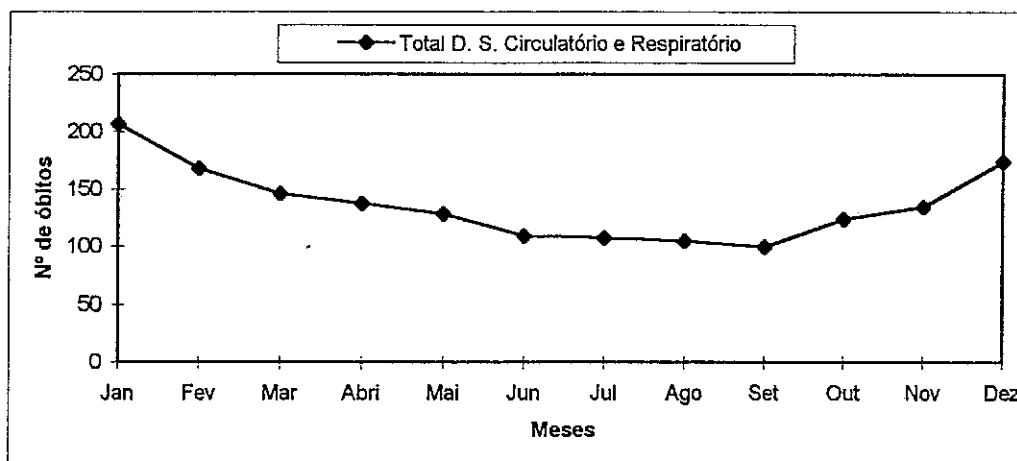


Figura II.III.12 - Plexograma mensal do número total de óbitos por doenças do sistema respiratório e circulatório, na área do Baixo Vouga.

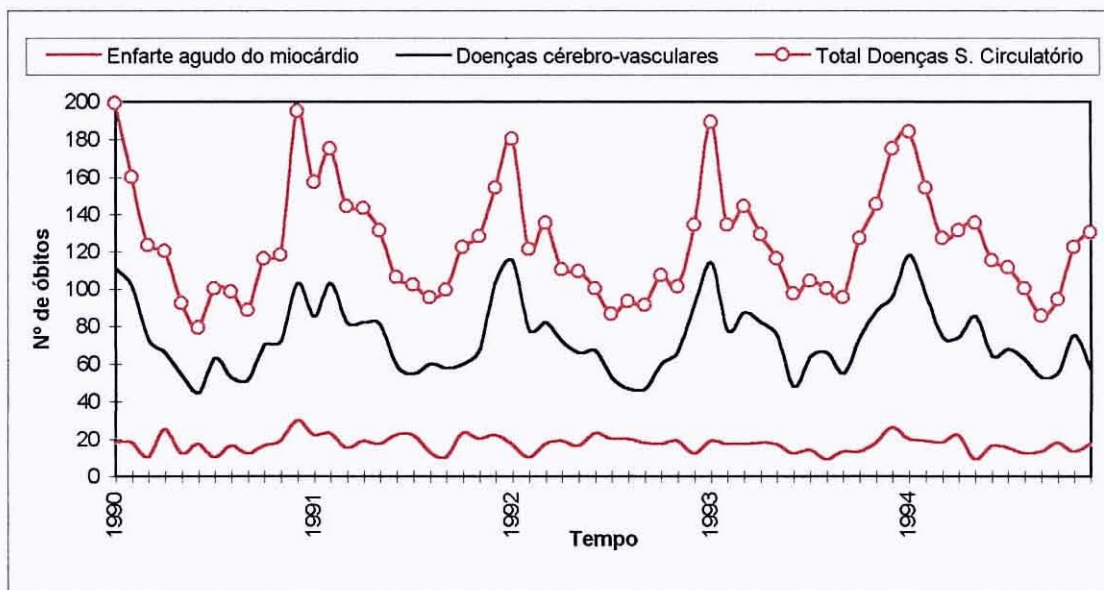


Figura II.III.13 - Cronograma do número de óbitos por doenças do sistema circulatório, na área do Baixo Vouga.

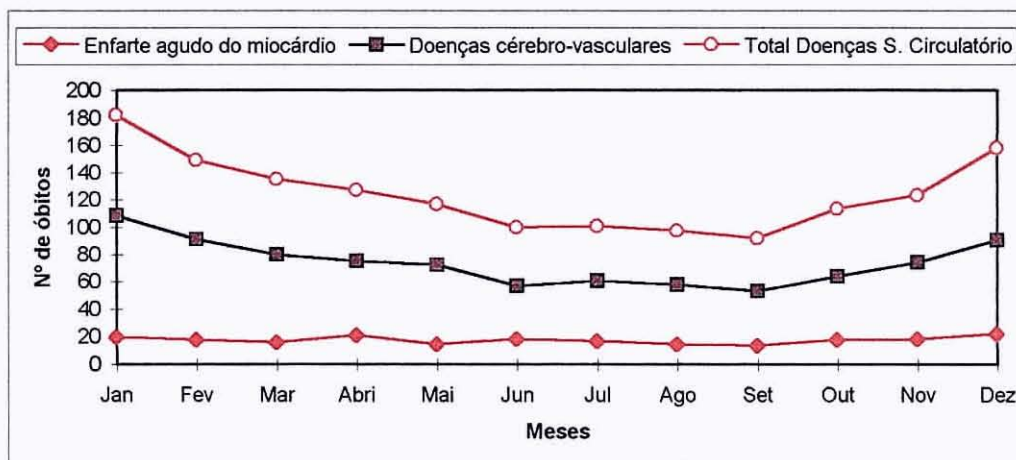


Figura II.III.14 - Plexograma mensal do número de óbitos por doenças do sistema circulatório, na área do Baixo Vouga.

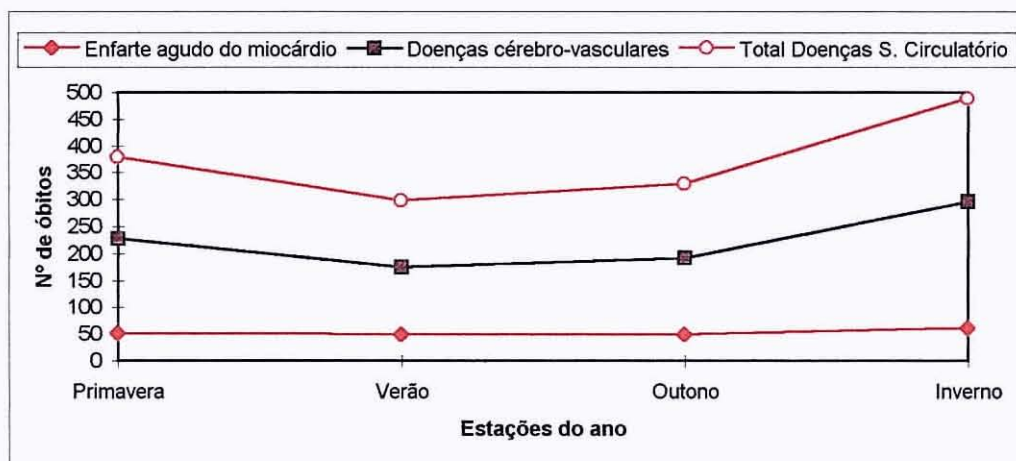


Figura II.III.15 - Plexograma estacional do número de óbitos por doenças do sistema circulatório, na área do Baixo Vouga.

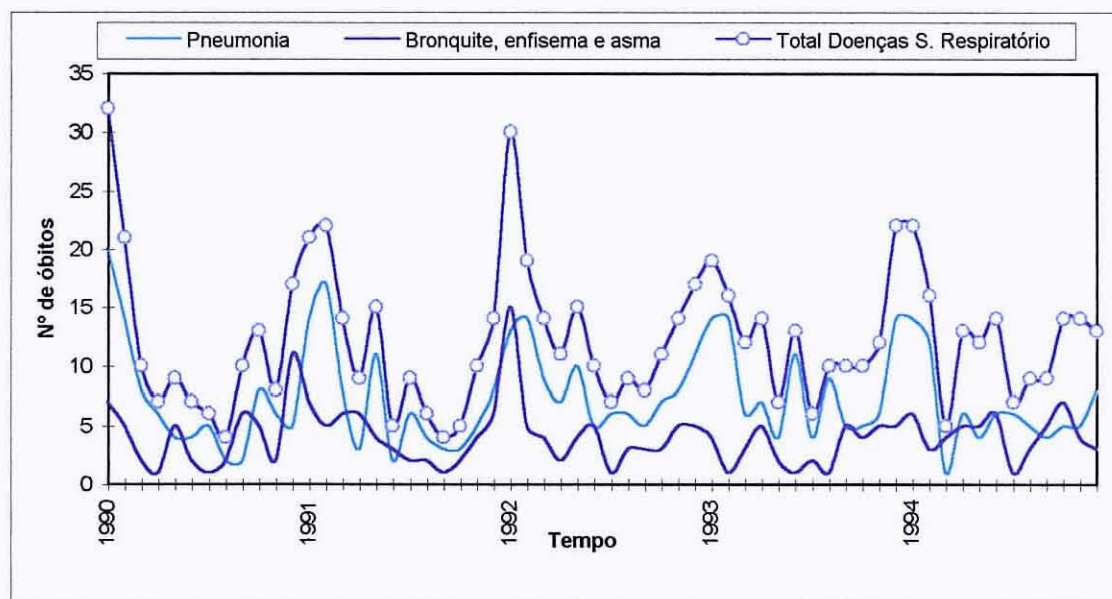


Figura II.III.16 - Cronograma do número de óbitos por doenças do sistema respiratório, na área do Baixo Vouga.

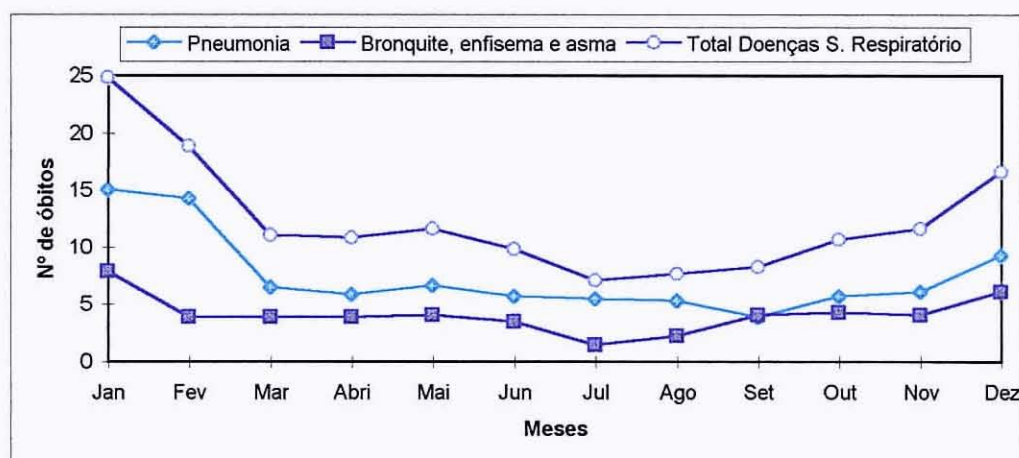


Figura II.III.17 - Plexograma mensal do número de óbitos por doenças do sistema respiratório, na área do Baixo Vouga.

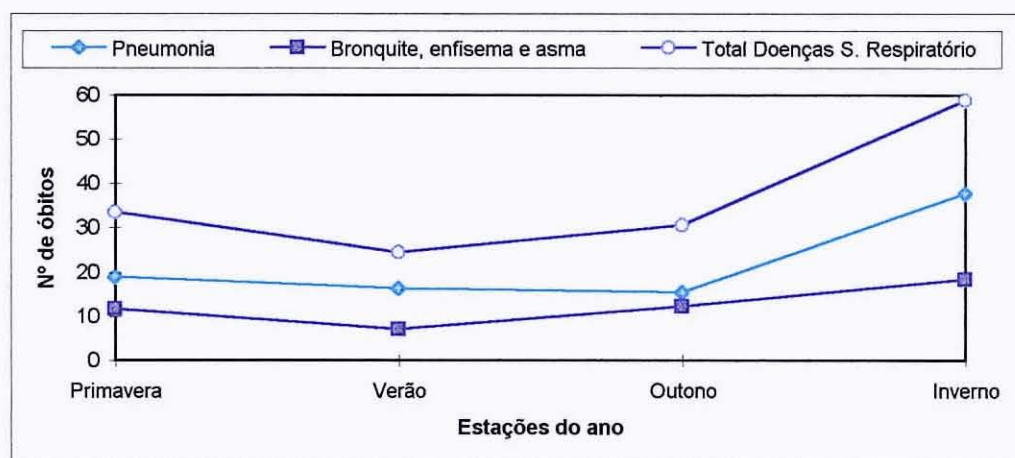


Figura II.III.18 - Plexograma estacional do número de óbitos por doenças do sistema respiratório, na área do Baixo Vouga.

III.2.3 - Sazonalidade dos elementos climáticos

Todos os elementos climáticos, considerados entre 1990 e 1995, apresentam flutuações sazonais. A temperatura e o Índice de conforto (Tb), com ela directamente relacionado, apresentam um máximo no Verão, seguido pela Primavera e Outono e um mínimo no Inverno - figura II.III.19 e II.III.20.

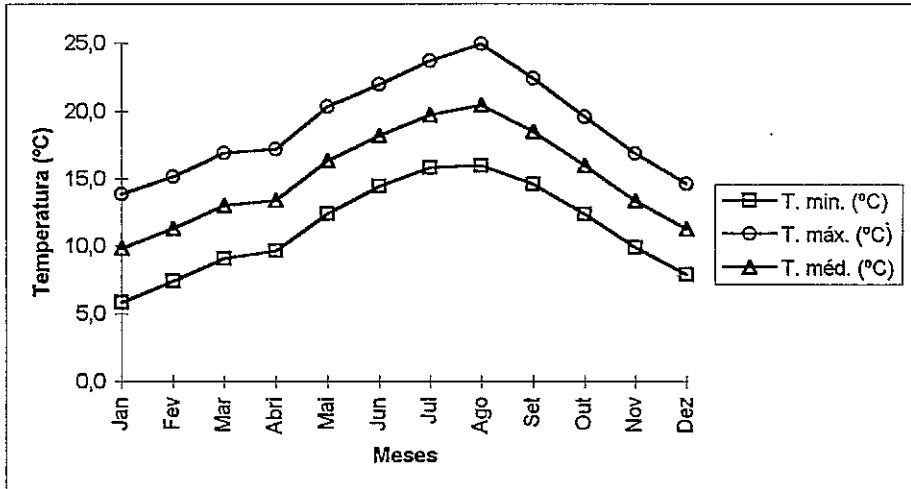


Figura II.III.19 - Plexograma mensal das temperaturas mínima, média e máxima, em Aveiro.

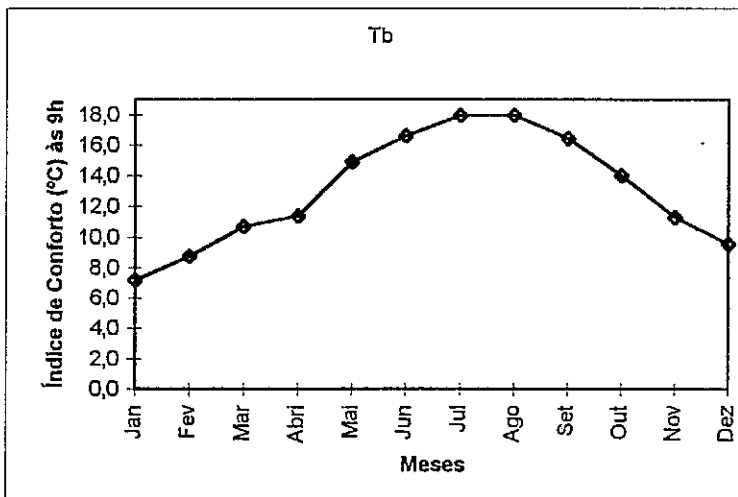


Figura II.III.20 - Plexograma mensal do índice de conforto (Tb), em Aveiro.

A precipitação apresenta um máximo no Outono seguido pelo Inverno e Primavera e um mínimo no Verão - figura II.III.21.

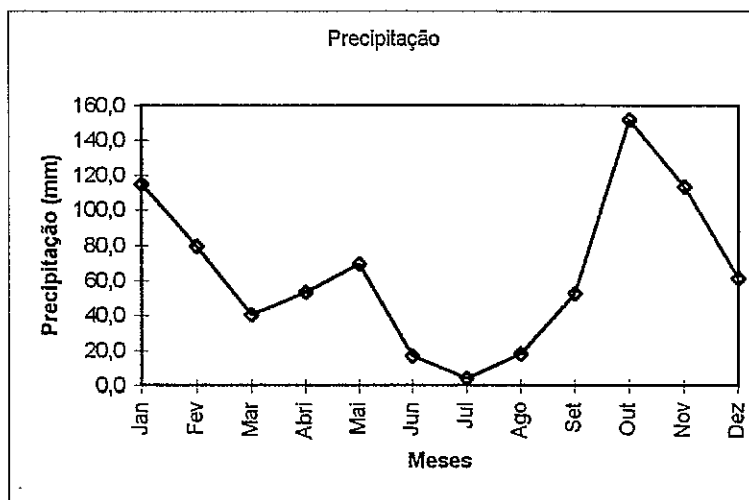


Figura II.III.21 - Plexograma mensal da precipitação, em Aveiro.

A velocidade do vento apresenta um máximo na Primavera, seguido pelo Verão e Outono e um mínimo no Inverno - figura II.III.22.

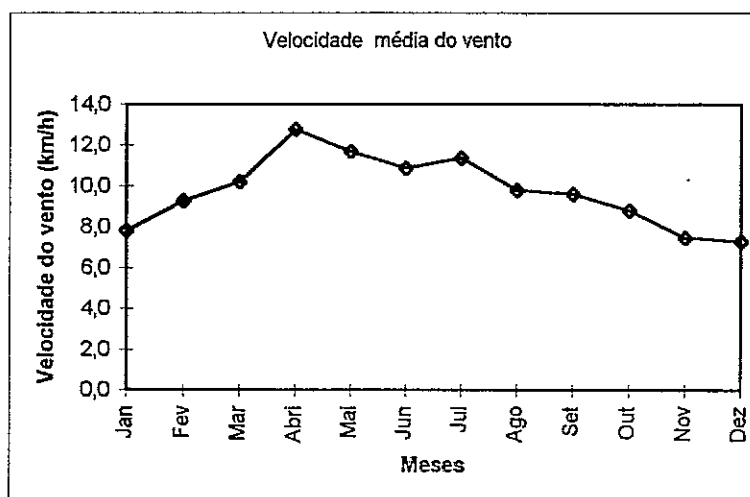


Figura II.III.22 - Plexograma mensal da velocidade média do vento, em Aveiro.

A pressão atmosférica apresenta valores superiores nos meses de Inverno e Outono e valores inferiores nos meses de Verão e Primavera - figura II.III.23.

Estes valores de pressão atmosférica, devido a lacunas de dados, foram obtidos apenas para 4 anos dos 6 em estudo, pelo que não são representativos do padrão normal de variação deste elemento climático durante os 6 anos.

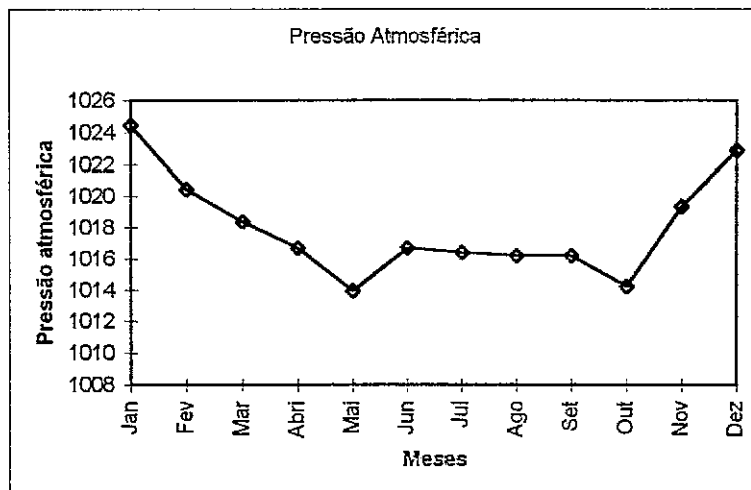


Figura II.III.23 - Plexograma mensal da pressão atmosférica, em Aveiro.

A humidade relativa apresenta valores sempre elevados, entre 70 a 80%, devido à proximidade do mar e da ria. Os valores mínimos ocorrem na Primavera, seguidos pelo Verão e os valores máximos ocorrem no Outono e Inverno - figura II.III.24.

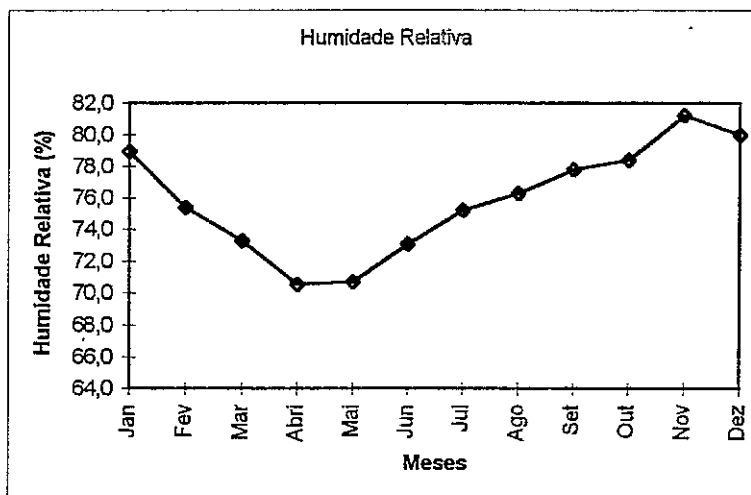


Figura II.III.24 - Plexograma mensal da humidade relativa, em Aveiro.

III.2.4 - A interação entre a sazonalidade climática e a sazonalidade da Mortalidade

Análise de correlação e de regressão

Determinamos o coeficiente de correlação de Pearson entre a mortalidade e os elementos climáticos - tabela II.III.3.

Tanto as doenças do sistema respiratório, como as do sistema circulatório, à exceção do enfarte de miocárdio, apresentam coeficientes de correlação significativos negativos com as temperaturas e com o índice de conforto, sendo estas correlações um pouco mais fortes nas doenças do sistema circulatório do que nas do respiratório, quando consideradas no total. Isto indica que a maior mortalidade ocorre com as baixas temperaturas e baixos índices de conforto climático, como seria de esperar. Os enfartes de miocárdio apenas apresentam correlação significativa, e fraca, com a temperatura máxima e com a pressão atmosférica.

Em relação à humidade relativa e à precipitação, ambas não apresentam correlações significativas com nenhuma das doenças.

A velocidade do vento apresenta correlações negativas significativas mas fracas com todas as doenças consideradas, à exceção dos enfartes de miocárdio, indicando que a maior mortalidade ocorre com baixas velocidades do vento.

A pressão atmosférica apresenta correlações positivas significativas mas fracas, com todas as doenças consideradas, à exceção das Bronquites, Enfisema e Asma, indicando que a maior mortalidade ocorre com as altas pressões.

Todas estas condições atmosféricas que ocorrem com a maior mortalidade, baixas temperaturas e índices de conforto climático, menor velocidade do vento e altas pressões, são as condições prevaletentes no Inverno, o que está de acordo com o verificado na análise gráfica dos dados - picos de mortalidade no Inverno.

Tabela II.III.3 - Matriz de correlação entre a mortalidade e os elementos climáticos. Os valores destacados correspondem aos coeficientes de correlação significativos ($p < 0,05$).

| | TB | TMIN | TMAX | TMED | HR | PRECIP | VV | PRESS |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Enfarte de Miocárdio | -0,26 | -0,26 | -0,30 | -0,28 | 0,12 | -0,13 | 0,00 | 0,33 |
| Cerebrovasculares | -0,80 | -0,82 | -0,72 | -0,78 | -0,01 | 0,24 | -0,35 | 0,43 |
| Total S. Circulatório | -0,84 | -0,85 | -0,77 | -0,82 | 0,06 | 0,24 | -0,37 | 0,49 |
| Pneumonia | -0,57 | -0,58 | -0,48 | -0,54 | -0,07 | -0,03 | -0,30 | 0,52 |
| Bronquite, Enfisema, Asma | -0,50 | -0,51 | -0,46 | -0,49 | -0,06 | 0,23 | -0,34 | 0,24 |
| Total S. Respiratório | -0,70 | -0,71 | -0,63 | -0,68 | -0,04 | 0,14 | -0,40 | 0,50 |
| Total S. Respirat. e Circulat. | -0,85 | -0,86 | -0,77 | -0,83 | 0,04 | 0,24 | -0,39 | 0,51 |

Legenda:

TMED = Temperatura média
TMIN = Temperatura mínima
HR = Humidade Relativa
VV = Velocidade do vento

TMAX = Temperatura máxima
TB = Índice de conforto climático
PRECIP = Precipitação
PRESS = Pressão atmosférica

Elaboramos igualmente uma matriz de correlação entre a mortalidade e os elementos climáticos com um desfasamento de um mês, para analisar possíveis fenómenos de "latência".¹ Os valores de correlação obtidos, entre a mortalidade e os elementos

¹ Ver explicação na Parte Experimental, página 100

climáticos do mês anterior, são, em geral, inferiores aos obtidos com os elementos climáticos do próprio mês, pelo que concluímos que não se fazem sentir fenómenos de latência de um mês significativos.

Através da análise de regressão linear múltipla progressiva, estimámos a possível dependência da mortalidade em relação aos elementos climáticos. Obtivemos os seguintes resultados:

Tabela II.III.4 - Variáveis climáticas significativas ($p < 0,05$) introduzidas no modelo de regressão e respectivo R^2 ajustado para as diferentes doenças de mortalidade.

| Doença | Variáveis climáticas significativas ($p < 0,05$) introduzidas no modelo de regressão | R^2 Adj. |
|--------------------------------------|--|------------|
| Enfarte de Miocárdio | Pressão atmosférica | 0,14 |
| Cerebrovasculares | Temperatura mínima | 0,66 |
| Total S. Circulatório | Temperatura mínima | 0,71 |
| Pneumonia | Temperatura mínima | 0,37 |
| Bronquite, Enfisema, Asma | Temperatura mínima | 0,24 |
| Total S. Respiratório | Temperatura mínima | 0,49 |
| Total S. Respiratório e Circulatório | Temperatura mínima | 0,73 |

Em todas as doenças apenas uma variável foi considerada significativa ($p < 0,05$) e introduzida no modelo de regressão.

À excepção da mortalidade por enfarte de miocárdio, a variável meteorológica que parece explicar a variação na mortalidade, é a temperatura mínima. Este elemento meteorológico explica 71% da variância da mortalidade por doenças do sistema circulatório e 49% da variância da mortalidade por doenças do sistema respiratório.

Quanto à mortalidade por enfarte de miocárdio, a pressão atmosférica explica apenas 14% da sua variância.

A temperatura mínima explica igualmente 73% da variância da mortalidade pelo total de doenças respiratórias e circulatórias.

Análise espectral e análise de classificação

Por análise espectral (single series Fourier analysis) obtivemos os períodos de maior densidade espectral, dos elementos climáticos e da mortalidade - Tabela II.III.5.

Tabela II.III.5 - Resultados da análise espectral (single series Fourier analysis) para variáveis de mortalidade e variáveis meteorológicas. Períodos por ordem decrescente de densidade espectral.

| MORTALIDADE | PERÍODOS |
|--------------------------------------|----------------------|
| Enfarte de Miocárdio | 2,0 > 12 > 8,6 > 6,0 |
| Cerebrovasculares | 12 > 6,0 > 8,6 > 3,0 |
| Total S. Circulatório | 12 > 6,0 > 8,6 > 6,7 |
| Pneumonia | 12 > 6,0 > 6,7 > 3,0 |
| Bronquite, Enfisema, Asma | 12 > 4,0 > 4,3 > 6,0 |
| Total S. Respiratório | 12 > 6,0 > 4,0 > 4,3 |
| Total S. Respiratório e Circulatório | 12 > 6,0 > 8,6 > 6,7 |

| ELEMENTOS CLIMÁTICOS | PERÍODOS |
|------------------------------|------------------------|
| Índice de conforto climático | 12 > 8,6 > 3,0 > 6,7 |
| Temperatura mínima | 12 > 8,6 > 6,0 > 6,7 |
| Temperatura média | 12 > 8,6 > 6,0 > 3,0 |
| Temperatura máxima | 12 > 8,6 > 6,0 > 3,0 |
| Humidade relativa | 12 > 4,3 > 8,6 > 6,0 |
| Precipitação | 12 > 4,3 > 6,0 > 3,0 |
| Velocidade do vento | 12 > 8,6 > 4,3 > 6,0 |
| Pressão atmosférica | 11,5 > 9,2 > 6,1 > 2,9 |

Estes resultados confirmam a marcada sazonalidade tanto das variáveis meteorológicas como da mortalidade nas diversas doenças respiratórias e circulatórias. Os períodos correspondem a oscilações anuais (à volta dos 12 meses), a oscilações semestrais (à volta dos 6 a 8 meses) e oscilações trimestrais (à volta dos 3 a 4 meses).

Obtidos os períodos de maior densidade espectral para cada doença e cada variável climática, submetemo-los à análise de classificação, no sentido de agrupar doenças e clima segundo o seu padrão de oscilação semelhante. Obtivemos os seguintes resultados:

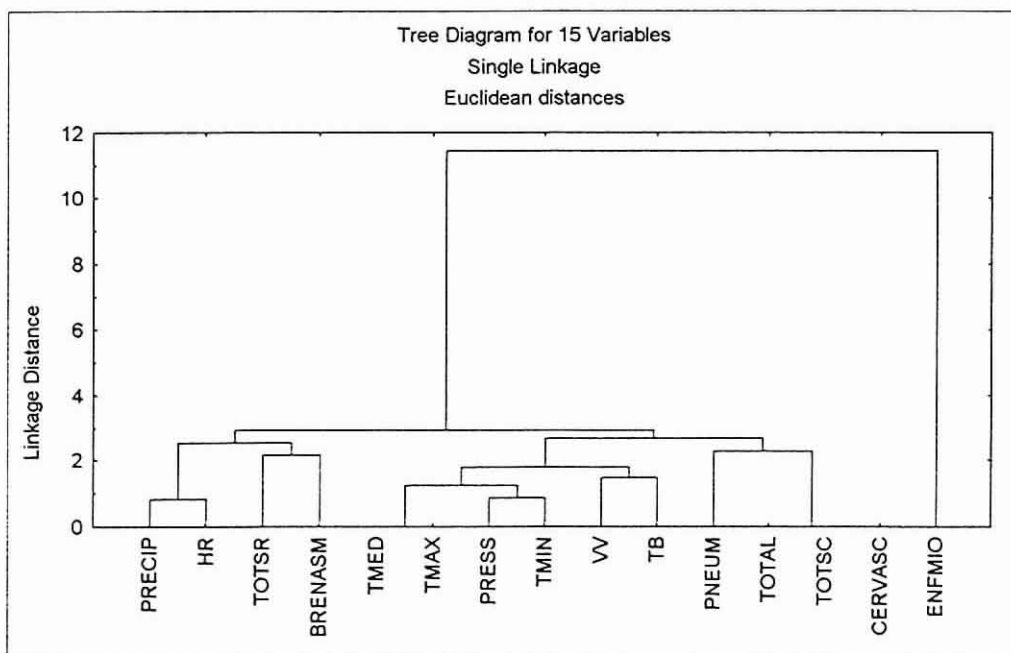


Figura II.III.25 - Diagrama de classificação dos elementos climáticos e da mortalidade por doenças respiratórias e circulatórias segundo os respectivos períodos de maior densidade espectral.

Legenda:

- | | |
|---|--|
| PRECIP = Precipitação | HR = Humidade Relativa |
| VV = Velocidade do vento | PRESS = Pressão atmosférica |
| TMED = Temperatura média | TB = Índice de conforto climático |
| TMAX = Temperatura máxima | TMIN = Temperatura mínima |
| BRENASM = Bronquite, Enfisema e Asma | PNEUM = Pneumonia |
| CERVASC = Cerebrovasculares | ENFMIO = Enfarte de Miocárdio |
| TOSR = Total de doenças do sistema respiratório | TOTSC = Total de doenças do sistema circulatório |
| TOTAL = Total de doenças do sistema respiratório e circulatório | |

A mortalidade por enfarte de miocárdio apresenta oscilações diferentes das restantes doenças pelo que se encontra nitidamente destacada no diagrama de classificação.

Todas as doenças causadoras de mortalidade, à excepção do enfarte de miocárdio, apresentam períodos de oscilação semelhantes aos períodos dos elementos climáticos, pois, como se pode ver no diagrama de classificação, à "Linkage Distance" de 4, elementos climáticos e mortalidade constituem um grupo de semelhança. Dentro deste grupo, distinguem-se dois sub-grupos:

- ⇒ A mortalidade pelo Total de doenças do sist. respiratório e as bronquites, enfisema e asma, apresentam-se agrupadas com a precipitação e a humidade relativa indicando que têm períodos de oscilação semelhantes.
- ⇒ Os restantes elementos climáticos: temperaturas, velocidade do vento e pressão atmosférica, assim com o índice de conforto, encontram-se agrupados com a mortalidade pelo total de doenças do sist. Circulatório, doenças cerebrovasculares, pneumonias e total de doenças do sist. respiratório e circulatório.

Em relação à Mortalidade podemos concluir que:

* A distribuição da mortalidade apresenta uma sazonalidade marcada (com períodos de oscilação anuais, semestrais e trimestrais), com um máximo nos meses de Inverno, seguido pelo Outono e Primavera e um mínimo nos meses de Verão.

* As suas variações no tempo correlacionam-se bem, negativamente, com as temperaturas sendo a temperatura mínima a que mais explica a variação, tanto das doenças respiratórias como das circulatórias, principalmente nestas últimas.

* As flutuações das doenças respiratórias, à excepção das pneumonias, encontram-se também associadas às flutuações da humidade relativa e da precipitação.

* As flutuações das doenças circulatórias, das pneumonias e do total de doenças respiratórias e circulatórias, encontram-se associadas, às flutuações da velocidade do vento, da pressão atmosférica e do índice de conforto, além da temperatura.

* Todas as doenças causadoras de mortalidade, uma vez que variam sazonalmente com os elementos climáticos, podem ser consideradas meteorotrópicas, sendo o enfarte de miocárdio a que se apresenta menos meteorotrópica.

A sazonalidade da mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em Aveiro, com um pico no Inverno - estação fria, coincide com o verificado por Smolensky et al. (1983) para as mesmas doenças no hemisfério norte. Estes resultados estão de acordo, também, com estudos feitos em zonas temperadas, onde as baixas temperaturas do Inverno aparecem associadas com o aumento da mortalidade (Momiya 1968; Smolensky 1983; Frost et al. 1992; Kunst et al. 1993) [47].

III.2.5 - A interacção entre a sazonalidade climática e sazonalidade da Morbilidade

Análise de correlação e de regressão

Determinamos o coeficiente de correlação de Pearson entre a morbilidade e os elementos climáticos - tabela II.III.6.

Em relação à morbilidade distrital podemos verificar que:

Todas as doenças apresentam coeficientes de correlação significativos ($p < 0,05$) negativos com as temperaturas e com o índice de conforto, sendo estas correlações mais fortes nas doenças do sistema respiratório do que nas do circulatório (cardiovasculares), quando consideradas no total. Isto indica que a maior morbilidade ocorre com as baixas temperaturas e baixos índices de conforto, como seria de esperar.

Em relação à humidade relativa, esta não apresenta correlações significativas com nenhuma das doenças.

A velocidade do vento e a pressão atmosférica apresentam correlações respectivamente negativas e positivas, significativas mas fracas, com as doenças respiratórias, mas não com as cardiovasculares, indicando que a maior morbilidade respiratória ocorre com baixas velocidades do vento e elevadas pressões atmosféricas.

A precipitação apresenta correlações positivas significativas mas fracas com as doenças respiratórias e circulatórias, quando consideradas no total, indicando que a maior morbilidade ocorre com maiores precipitações.

Todas estas condições atmosféricas que ocorrem com a maior morbilidade, baixas temperaturas e índices de conforto climático, menor velocidade do vento, maior precipitação e altas pressões, são as condições prevaletentes no Inverno, o que está de acordo com o verificado na análise gráfica dos dados - picos de morbilidade no Inverno.

Tabela II.III.6 - Matriz de correlação entre a mortalidade e os elementos climáticos. Os valores destacados correspondem aos coeficientes de correlação significativos ($p < 0,05$).

| MORBILIDADE DISTRITAL | TB | TMIN | TMAX | TMED | HR | PRECIP | VV | PRESS |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Acidentes Vasculares | -0,48 | -0,47 | -0,51 | -0,50 | 0,17 | 0,45 | -0,22 | 0,08 |
| Insuficiência cardíaca | -0,62 | -0,63 | -0,64 | -0,65 | 0,06 | 0,18 | -0,18 | 0,26 |
| Total doenças cardiovasculares | -0,61 | -0,61 | -0,63 | -0,63 | 0,12 | 0,33 | -0,21 | 0,19 |
| Pneumonia | -0,67 | -0,67 | -0,65 | -0,68 | -0,03 | 0,20 | -0,33 | 0,31 |
| Bronquite | -0,64 | -0,64 | -0,66 | -0,66 | 0,26 | 0,30 | -0,46 | 0,32 |
| Total doenças respiratórias | -0,78 | -0,78 | -0,78 | -0,80 | 0,05 | 0,31 | -0,39 | 0,35 |
| MORBILIDADE LOCAL | | | | | | | | |
| Doenças Respiratórias (Masc.) | -0,45 | -0,45 | -0,44 | -0,45 | -0,06 | 0,17 | -0,15 | 0,12 |
| Doenças Respiratórias (Fem.) | -0,49 | -0,47 | -0,47 | -0,48 | -0,14 | 0,19 | -0,05 | 0,16 |
| Doenças Respiratórias (Total) | -0,55 | -0,53 | -0,53 | -0,54 | -0,12 | 0,21 | -0,12 | 0,17 |

Legenda:

TMED = Temperatura média

TMAX = Temperatura máxima

TMIN = Temperatura mínima

TB = Índice de conforto climático

HR = Humidade Relativa

PRECIP = Precipitação

VV = Velocidade do vento

PRESS = Pressão atmosférica

Em relação aos dados de doenças respiratórias do hospital distrital de Aveiro (morbilidade local) podemos verificar que apresentam correlações significativas ($p < 0,05$)

negativas apenas com as temperaturas e o índice de conforto climático, sendo estas correlações ligeiramente mais fortes nos elementos femininos do que nos masculinos.

Isto indica que a maior morbidade respiratória local ocorre, à semelhança da distrital, com as baixas temperaturas e baixos índices de conforto.

À semelhança do realizado para a mortalidade, elaboramos uma matriz de correlação entre a morbidade e os elementos climáticos com um desfazamento de um mês, para analisar possíveis fenómenos de “latência”. Os valores de correlação obtidos, entre a morbidade e os elementos climáticos do mês anterior, são, em geral, inferiores aos obtidos com os elementos climáticos do próprio mês, pelo que concluímos que não se fazem sentir fenómenos de latência de um mês significativos.

Através da análise de regressão linear múltipla progressiva, estimámos a possível dependência da morbidade em relação aos elementos climáticos. Obtivemos os seguintes resultados:

Tabela II.III.7 - Variáveis climáticas significativas ($p < 0,05$) introduzidas no modelo de regressão e respectivo R^2 ajustado para as diferentes doenças de morbidade.

| Doença | Variáveis climáticas significativas ($p < 0,05$) introduzidas no modelo de regressão | R^2 Adj. |
|--------------------------------|---|------------|
| MORBILIDADE DISTRITAL | | |
| Acidentes Vasculares | Temperatura máxima / Precipitação | 0,30 |
| Insuficiência cardíaca | Temperatura média | 0,41 |
| Total doenças cardiovasculares | Temperatura média | 0,40 |
| Pneumonia | Temperatura média | 0,45 |
| Bronquite | Temperatura média / Velocidade do vento | 0,46 |
| Total doenças respiratórias | Temperatura média | 0,63 |
| MORBILIDADE LOCAL | | |
| Doenças Respiratórias (Masc.) | Temperatura média | 0,19 |
| Doenças Respiratórias (Fem.) | Temperatura mínima / Índice de conforto | 0,30 |
| Doenças Respiratórias (Total) | -- | -- |

A variável meteorológica que parece explicar as variações das doenças respiratórias é a temperatura média e, também, a velocidade do vento, no caso específico da Bronquite. Esta temperatura média explica 63% da variância observada no total de doenças respiratórias.

Em relação ao total de doenças cardiovasculares é, também, a temperatura média que explica 40% da sua variância. No caso específico dos acidentes vasculares, as variáveis climáticas que explicam 30% das suas variações são a temperatura máxima e a precipitação.

Quanto à morbidade respiratória no hospital distrital de Aveiro, a sua variância, para os elementos masculinos, é explicada pela temperatura média em 19% e, para os elementos femininos, é explicada pela temperatura mínima e pelo índice de conforto em 30%. Em relação ao total da morbidade respiratória, nenhuma variável climática foi introduzida no modelo de regressão a $p < 0,05$.

Análise espectral e análise de classificação

Por análise espectral obtivemos os períodos de maior densidade espectral, dos elementos climáticos e da morbidade - Tabela II.III.8.

Tabela II.III.8 - Resultados da análise espectral para variáveis de morbidade e variáveis meteorológicas. Períodos por ordem decrescente de densidade espectral.

| MORBILIDADE | PERÍODOS |
|--------------------------------|----------------------|
| Acidentes Vasculares | 12 > 8,6 > 3,3 > 7,5 |
| Insuficiência cardíaca | 12 > 2,0 > 6,7 > 8,6 |
| Total doenças cardiovasculares | 12 > 8,6 > 2,0 > 6,7 |
| Pneumonia | 12 > 8,6 > 4,3 > 3,8 |
| Bronquite | 12 > 8,6 > 7,5 > 6,0 |
| Total doenças respiratórias | 12 > 8,6 > 7,5 > 4,6 |
| Doenças Respiratórias (Masc.) | 12 > 2,4 > 4,0 > 3,5 |
| Doenças Respiratórias (Fem.) | 12 > 3,0 > 2,5 > 2,7 |
| Doenças Respiratórias (Total) | 12 > 2,5 > 4,0 > 3,0 |

| ELEMENTOS CLIMÁTICOS | PERÍODOS |
|------------------------------|------------------------|
| Índice de conforto climático | 12 > 8,6 > 3,0 > 6,7 |
| Temperatura mínima | 12 > 8,6 > 6,0 > 6,7 |
| Temperatura média | 12 > 8,6 > 6,0 > 3,0 |
| Temperatura máxima | 12 > 8,6 > 6,0 > 3,0 |
| Humidade relativa | 12 > 4,3 > 8,6 > 6,0 |
| Precipitação | 12 > 4,3 > 6,0 > 3,0 |
| Velocidade do vento | 12 > 8,6 > 4,3 > 6,0 |
| Pressão atmosférica | 11,5 > 9,2 > 6,1 > 2,9 |

Estes resultados confirmam a marcada sazonalidade tanto das variáveis meteorológicas como da morbidade nas diversas doenças respiratórias e circulatórias. Os períodos correspondem a oscilações anuais (à volta dos 12 meses), a oscilações semestrais (à volta dos 6 a 8 meses) e oscilações trimestrais (à volta dos 3 a 4 meses).

Obtidos os períodos de maior densidade espectral para cada doença e cada variável climática, submetemo-los à análise de classificação, no sentido de agrupar doenças e clima segundo o seu padrão de oscilação semelhante. Obtivemos os seguintes resultados:

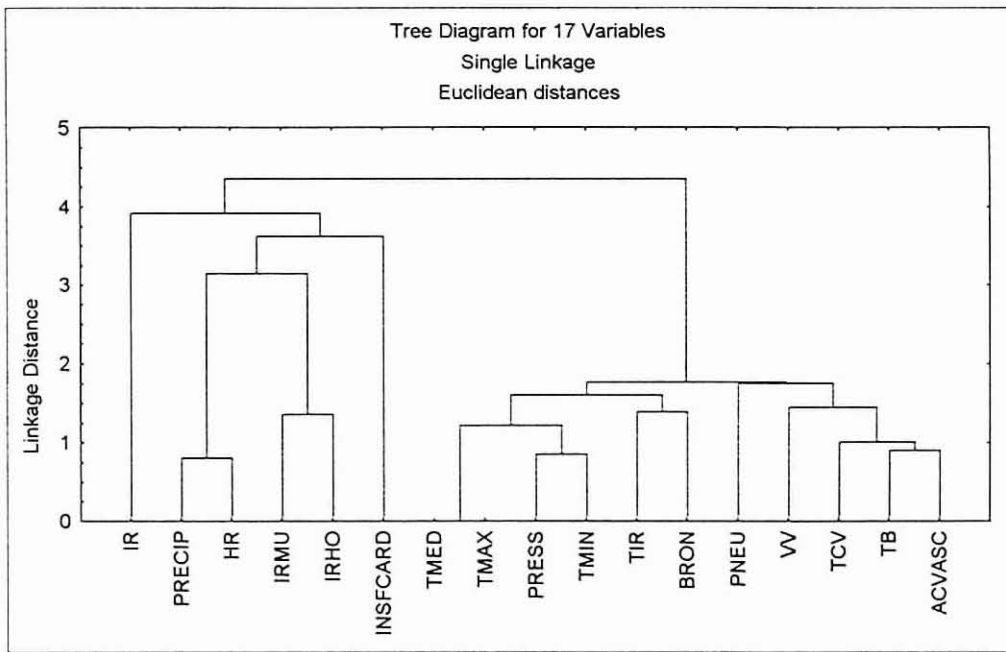


Figura II.III.26 - Diagrama de classificação dos elementos climáticos e da morbidade por doenças respiratórias e cardiovasculares segundo os respectivos períodos de maior densidade espectral.

Legenda:

- | | |
|---|---|
| PRECIP = Precipitação | HR = Humidade Relativa |
| VV = Velocidade do vento | PRESS = Pressão atmosférica |
| TMED = Temperatura média | TB = Índice de conforto climático |
| TMAX = Temperatura máxima | TMIN = Temperatura mínima |
| BRON = Bronquite | ACVASC = Acidentes vasculares |
| PNEU = Pneumonia | INSFCARD = Insuficiência cardíaca |
| TIR = Total de doenças do sistema respiratório | TCV = Total de doenças cardiovasculares |
| IRMU = Doenças respiratórias dos elementos femininos no hospital de Aveiro | |
| IRHO = Doenças respiratórias dos elementos masculinos no hospital de Aveiro | |
| IR = Total de doenças respiratórias no hospital de Aveiro | |

Todas as doenças causadoras de morbidade, apresentam períodos de oscilação semelhantes aos períodos dos elementos climáticos, pois, como se pode ver no diagrama de classificação, à “Linkage Distance” de 5, elementos climáticos e mortalidade constituem um grupo de semelhança. Dentro deste grupo, distinguem-se dois sub-grupos de semelhança, em termos dos períodos de oscilação (em meses):

- ⇒ A morbidade local por doenças respiratórias, assim como a insuficiência cardíaca no distrito, apresentam-se agrupadas com a precipitação e a humidade relativa indicando que têm períodos de oscilação semelhantes.
- ⇒ Os restantes elementos climáticos: temperaturas, velocidade do vento e pressão atmosférica, assim com o índice de conforto, encontram-se agrupados com a morbidade tanto respiratória como cardiovascular no distrito.

Em relação à Morbidade podemos concluir que:

* A distribuição da morbidade apresenta uma sazonalidade marcada (com períodos de oscilação anuais, semestrais e trimestrais), com um máximo nos meses de Inverno, seguido pelo Outono e Primavera e um mínimo nos meses de Verão.

* As suas variações no tempo correlacionam-se bem, negativamente, com as temperaturas sendo a temperatura média a que mais explica a variação, tanto das doenças circulatórias como das respiratórias, principalmente nestas últimas.

* As flutuações das doenças respiratórias em Aveiro encontram-se também associadas às flutuações da humidade relativa e precipitação.

* As flutuações das doenças respiratórias e cardiovasculares no distrito encontram-se associadas, às flutuações da velocidade do vento, da pressão atmosférica e do índice de conforto, além da temperatura.

* Todas as doenças consideradas, uma vez que variam sazonalmente com os elementos climáticos, podem ser consideradas meteorotrópicas.

A morbidade por doenças respiratórias em Aveiro, é sazonal e apresenta um máximo no Inverno como é característico destas doenças (especialmente respiratórias superiores). No caso específico da bronquite, a associação com o clima deve-se ao facto do patogénio ser “airborne” - as condições atmosféricas contribuem para a sua formação e transmissão [18].

A semelhança das flutuações da humidade relativa/precipitação e das doenças respiratórias, em particular, leva-nos a supor uma possível explicação para a predominância das doenças respiratórias em relação às cardiovasculares, que se verifica em Aveiro - trata-se de uma zona costeira com humidades relativas elevadas durante todo o ano.

Também, a morbidade por doenças cardiovasculares, é sazonal e apresenta um máximo no Inverno. No caso específico da insuficiência cardíaca, o pico de morbidade no Inverno, pode ser explicado, em parte, pelo maior “output” cardíaco provocado pelas baixas temperaturas em consequência da maior exigência metabólica dos tecidos [32].

IV - CONCLUSÃO

⇒ **O clima influencia o ser humano, condicionando o seu conforto ou bem estar.**

Neste estudo, analisámos o conforto climático da cidade de Aveiro, durante o período de 1985 a 1995, e chegámos à conclusão de que se trata de uma cidade bastante confortável climaticamente. Os Invernos são *Frios*, as Primaveras e Outonos *Frescos a Suaves* e os Verões *Quentes a Suaves*, não se registando, em média, valores extremos de desconforto (*Muito Frio, Muito Quente, Abafadiço*). Os dias *Suaves* representam a maior percentagem dos dias nos anos estudados, logo seguidos pelos dias *Frescos*.

Estes resultados estão de acordo com a percepção climática colectiva dos aveirenses, traduzida pelas palavras de Augusto Pinho Leal, referindo-se à cidade como “*amena*” e de “*clima bom*” [39].

A nossa análise do Índice de Conforto Climático foi realizada com base em medições objectivas dos parâmetros climáticos, trabalhados matematicamente, com o objectivo de traduzir a sensação de conforto ou desconforto perante esses elementos. No entanto, não nos devemos esquecer que a noção de conforto é subjectiva porque, sendo uma sensação humana, requer considerações fisiológicas mas também psicológicas. Cada indivíduo tem uma capacidade preceptiva diferente, uma diferente sensibilidade térmica ou ambiental, que pode ou não corresponder ao índice de conforto medido objectivamente.

Conscientes desta limitação, fica, pois, feita a caracterização do conforto climático de Aveiro para o período de 1985 a 1995 que julgamos corresponder à sensação climática da maioria dos aveirenses.

⇒ **O clima actua sobre o ser humano, condicionando a sua Saúde.**

Em relação ao estudo das flutuações dos elementos climáticos, da Mortalidade e Morbilidade por doenças respiratórias e cardiovasculares, podemos concluir que tanto a mortalidade como a morbilidade apresentam uma sazonalidade marcada (com períodos de oscilação anuais, semestrais e trimestrais), com um máximo nos meses de Inverno, seguido pelo Outono e Primavera e um mínimo nos meses de Verão.

A maior mortalidade e morbilidade correlaciona-se bem com as baixas temperaturas e também se correlaciona, embora menos, com os restantes elementos climáticos prevalentes no Inverno, no que diz respeito à velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação. Também os baixos índices de conforto climático se correlacionam com a maior mortalidade e morbilidade.

Igualmente, os períodos de oscilação temporais, obtidos por análise espectral, para os elementos climáticos e para a mortalidade e morbilidade, se manifestaram semelhantes, sendo, ainda, de realçar a semelhança das flutuações da humidade relativa/precipitação e das doenças respiratórias, em particular.

Esta semelhança das flutuações da humidade relativa/precipitação e das doenças respiratórias, leva-nos a supor uma possível explicação para as frequentes afecções respiratórias que se verificam em Aveiro - trata-se de uma zona costeira com humidades relativas elevadas durante todo o ano.

Os resultados obtidos, em relação à sazonalidade, aos picos de Inverno e à correlação com a temperatura, estão de acordo com o verificado em vários estudos, para a zona temperada, sobre a morbilidade/mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares.

As doenças respiratórias e cardiovasculares, causadoras de mortalidade e morbidade em Aveiro, uma vez que variam sazonalmente com os elementos climáticos, podem ser consideradas meteorotrópicas.

Neste estudo, limitamo-nos a verificar que a mortalidade e morbidade e os elementos climáticos variam conjuntamente sazonalmente e estão correlacionados, mas não nos atrevemos a fazer quaisquer considerações de causa - efeito, pois são do âmbito da medicina e ultrapassam os objectivos deste estudo. Além disso, para fazer tais considerações, teríamos de assumir que o clima é o principal factor actuando na comunidade da qual foram obtidos os dados, e não podemos assumir tal, nem mesmo podemos ter a certeza que as pessoas afectadas (que formam a base de resposta-dados) experimentaram exactamente as condições ambientais medidas e registadas na estação meteorológica, porque podem residir a grandes distâncias desta, nomeadamente no que se refere a dados distritais, e porque, mesmo as que residem na cidade, como homens e mulheres modernos, passam muito do seu tempo em criptoambientes [18].

O que é certo é que se verifica uma variação sazonal da mortalidade e morbidade por doenças respiratórias e cardiovasculares com os factores climáticos, em Aveiro.

Esta variação da mortalidade e morbidade com os factores climáticos, segundo a bibliografia consultada, é devida, principalmente, a doenças que são exacerbadas pelo frio ou calor (como as respiratórias e circulatórias) e não tanto por doenças provocadas directamente pelo efeito do calor ou frio. As variações sazonais da mortalidade e morbidade podem ter causas endógenas (variações sazonais de parâmetros fisiológicos) ou exógenas (causadas por factores ambientais). A acção do ambiente atmosférico no ser humano pode ser directa ou indirecta, actuando em factores intermédios como a formação, disseminação e transporte de patogénios, ou provocando variações sazonais de factores sociais, culturais ou comportamentais, tais como ocupação, dieta e actividades de recreio, que podem conduzir a uma maior ou menor predisposição ou susceptibilidade às doenças [18].

CONCLUSÕES

Com este estudo propusemo-nos investigar dois aspectos das interacções Clima - Homem:

* a influência do Homem no Clima à escala urbana - estudo da ilha de calor de Aveiro

* a influência do Clima no Homem - estudo da influência da atmosfera no conforto e na saúde humana.

Chegámos à conclusão que, na região de estudo - Aveiro, se verificam ambas as interacções:

Homem \longleftrightarrow Clima

Deste modo, em Aveiro, o ser humano influencia e cria o seu próprio “habitat climático”; a prova disso é que pudemos verificar, neste estudo, que a cidade de Aveiro, apesar de ser uma cidade pequena/média, apresenta já um clima urbano próprio com uma Ilha de Calor Urbana.

A ilha de calor de Aveiro desenvolve-se, submetida às duas condições de Aveiro: a condição de **cidade**, enquanto espaço urbano com uma certa morfologia e actividade, e a condição de **costeira**, enquanto submetida a todas as características meteorológicas que advêm da sua proximidade à laguna costeira (vulgarmente conhecida por Ria). É do jogo entre estes dois condicionalismos que resultam as diferentes formas e intensidades da ilha de calor. Assim, segundo o nosso estudo, os três grandes factores condicionantes da ilha de calor são: as condições meteorológicas, a morfologia urbana e a proximidade do sapal.

Por outro lado, também o “habitat climático” de Aveiro influencia o conforto e a saúde do ser humano.

Em relação ao conforto, verificámos, neste estudo, que o ser humano se sente bastante confortável climaticamente em Aveiro. Os Invernos são *Frios*, as Primaveras e Outonos *Frescos* a *Suaves* e os Verões *Quentes* a *Suaves*, não se registando, em média, valores extremos de desconforto (*Muito Frio*, *Muito Quente*, *Abafadiço*). A maior percentagem dos dias, nos anos estudados (1985 - 1995), são *Suaves* e *Frescos* e, portanto, confortáveis.

O índice de conforto climático calculado com base nos elementos meteorológicos, refere-se à zona periurbana, marginal à ria - de baixa densidade de construção, sob influência da acção amenizadora da ria, e na qual o impacte climático da cidade é fraco. Nesta zona, a ilha de calor é praticamente imperceptível e os níveis de conforto climático são próximos dos naturais. Mas, como será o conforto climático nas zonas de maior densidade urbana de Aveiro, onde o impacte da acção antrópica é notável, e onde o incremento térmico, nos dias em que se manifesta a ilha de calor, pode chegar aos 7,5°C?

Provavelmente, no Inverno, a ilha urbana aumenta ligeiramente o conforto climático, mas no Verão, ocorre o contrário, a ilha de calor pode gerar situações de desconforto e pode até ter implicações na saúde humana.

Este fenómeno indica a capacidade urbana para modificar as condições ambientais e configurar o seu próprio nível de conforto, pelo que os estudos realizados sobre as ilhas de calor devem ser tomados em consideração para o planeamento e desenvolvimento urbano.

O planeamento urbano deve contemplar a densidade de construção, a distribuição e o impacte dos emissores de calor, a valorização das zonas verdes, etc, no sentido de mitigar o fenómeno da ilha de calor do ponto de vista urbano e de ambiente humano.

Outro aspecto da influência do “habitat climático” de Aveiro no ser humano é o seu impacto na saúde humana.

Em relação ao estudo das flutuações dos elementos climáticos, da Mortalidade e Morbilidade por doenças respiratórias e cardiovasculares, podemos concluir que tanto a mortalidade como a morbilidade apresentam uma sazonalidade marcada (com períodos de oscilação anuais, semestrais e trimestrais), com um máximo nos meses de Inverno, seguido pelo Outono e Primavera e um mínimo nos meses de Verão.

A maior mortalidade e morbilidade correlaciona-se bem com as condições climáticas prevalecentes no Inverno, de onde se destacam as baixas temperaturas e os baixos índices de conforto climático, o que vem apoiar a possível influência da ilha de calor urbana, por intermédio da sua acção no conforto, na saúde dos seus habitantes. É, igualmente, notado que a grande humidade relativa que se verifica na região se encontra particularmente associada às frequentes afecções respiratórias em Aveiro.

Os resultados do estudo descontínuo no espaço e no tempo, que acabam de ser apresentados, sobre a bioclimatologia de Aveiro, não deveriam constituir mais do que uma investigação preliminar, para um futuro estudo, mais aprofundado, com outros meios materiais e humanos e com outra disponibilidade de tempo.

REFERÊNCIAS

- [1] ACKERMAN, S., "WXWISE Urban Heat Island", 1996 - página da internet (<http://oldthunder.ssec.wisc.edu/wxwise/heatisl.html>)
- [2] ALCOFORADO, M^a.J., O clima da região de Lisboa. Vento, insolação e temperatura, FLUL, Lisboa, polic.,1988
- [3] ATKINSON, B.W., The urban atmosphere, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.
- [4] BOTELHO, F.; CAMELO, L., Estudo climatológico de Aveiro, Dep. de Física, Univ. Aveiro, 1993
- [5] BRISTOW, R.S.; MULLENS, J.B., "Environmental Geography Education: Urban heat islands", Geography and Regional Planing, Westfield, 1995 - página da internet (<http://bondo.wsc.mass.edu/dept/garp/faculty/nestvi95.htm>)
- [6] CAIRNS, J. ; HARRISON, R.M., Methods of Environmental data analysis, C.N. Hewitt, London, 1992
- [7] CÂMARA MUNICIPAL DE AVEIRO, Plano de Ordenamento da Circulação e do Estacionamento da cidade de Aveiro - Relatório da 1ª fase, Tecnep, Aveiro, 1996.
- [8] CÂMARA MUNICIPAL DE AVEIRO: Clima, 1996 - página da internet (<http://www.ua.pt/cmaveiro/clima.html>)
- [9] CARVALHO, R.; MACHADO, M.J.S., Contribuição para o conhecimento das regiões climáticas de Portugal Continental, I.N.M.G., Lisboa., 1979.
- [10] CHANDLER, T., The Climate of London, Hutchinson, London, 1965
- [11] CHANDLER, T.J., "Urban climates and the natural environment", Int. Journal Biometeorology, vol 20, nº2, 1976, p.128 - 138
- [12] COELHO, J.G.G., Da importância dos estudos meteorológicos para a medicina, Porto, 1861
- [13] COLACINO, M., "Infrared radiometric measurements for the study of Rome urban heat island", Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, B, Wien, 26, 1978, p.207 - 217
- [14] DARE, P.M., "A study severity the midwestern winters of 1977 and 1978 using heating days determined from both measured and wind chill temperatures", Am. Meteor. Soc., 62 (7), 1981, p.974 - 982
- [15] DETWYLER, T.R., MARCUS, M.G., Urbanization and environment. Duxbury Press, Belmont, 1975
- [16] DOUGLAS, A.S., et al. "Seasonal variation in coronary heart disease in Scotland", J. Epidemiol. Community Health, 49:6, 1995, p.572 - 582
- [17] DOUGLAS, I., The urban environment, Edward Arnold, London, 1983
- [18] DRISCOLL, D.M., "Human Health", Handbook of Applied Meteorology, David D. Houghton Wiley, Interscience, New York, 1985, p.778-814

- [19] FERREIRA, A.; de BRUM, D., "A seca de 1980-81 em Portugal. Causas meteorológicas e tipos de tempo", Finisterra, XVIII, 35, Lisboa, 1983, p.27 - 63
- [20] FROST, D.B.; AULICIENS, A.; de FREITAS, C., "Myocardial infarct death and temperature in Auckland, New Zealand, Int. J. Biometeorol., 36, 1992, p.14 - 17
- [21] FUKUOKA, Y., "Biometeorological studies on urban climate", Int. J. Biometeorol., 40, 1997, p.54- 57
- [22] GALLO, K.P. et al, "The use of NOAA - AVHRR Data for Assessment of Urban heat Island Effect", 1996 - página da internet (http://www.ncdc.noaa.gov/papers/K_gallo/kg1.html)
- [23] GASTLAND, L. "Heat Island Group", LBNL - Energy Analysis Program, The heat island Group of Lawrence Berkeley National Laboratory, 1995 - página da internet (<http://eande.lbl.gov/EAP/BEA/HIP/himain.html>)
- [24] GÓMEZ, A. LÓPEZ, et al., El clima de las ciudades, Abor, 474, CXXI, Madrid, 1985.
- [25] GÓMEZ, A. LÓPEZ, et al., El clima urbano de Madrid: la isla de calor, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1991.
- [26] GOUDIE, A., The human Impact on the Natural Environment, Third Ed., Basil Blackwell Ltd., Oxford, 1990, p.262 - 266
- [27] GRIFFITHS, J., "Climatology", Handbook of Applied Meteorology, David D. Houghton Wiley & Sons, Interscience, New York, 1985, p.62 - 132
- [28] HENRY, J.; DICKS, S.; ROGUSKI, S.J., Comparison of satellite, ground-based, and modeling techniques for analysing the urban heat island, Photogrammetric engineering and remote sensing, 55, 1, 1989, p.69 - 76
- [29] HERMONI, D. et al. "Age, seasonality and health", Isr. J. Med. Sci., 32:1, 1996, p.66 - 69
- [30] HIDORE, J.J.; OLIVER, J.E., Climatology - an atmospheric science, Maxmillan Publishing Company, New York, 1993, p.41 - 248
- [31] HOPPE, P., "Aspects of Human Biometeorology in past, present and future", Int. J. Biometeorol., 40, 1997, p.19 - 23
- [32] HURST, J.W.; SCHLANT, R.S. et al., The Heart, arteries and veins, 7 edition, McGraw-Hill Inc., International Edition, 1990, p.470
- [33] KATSOULIS, B. D.; THEOHARATOS, G. A., "Indications of the urban heat island in Athens, Greece", Journal of Climate and Applied Meteorology, American Meteorological Society, 24, 1985, p. 1296 - 1302
- [34] KRISTAL - BONEH, et al., "Seasonal changes in ambulatory blood pressure in employees under different indoor temperatures", Occup. Environ. Med., 52:11, 1995, p.715 - 721
- [35] KUNS, A.E. et al., "Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands: a time-series analysis", Am J. Epidemiol., 137, 1993, p.331 - 341

- [36] LAMACCHIA, D., "LBL reseachers publish book on heat islands", 1992 - página da internet (<http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/heat-island.html>)
- [37] LANDSBERG, H.E., "The Urban Climates", International Geophysics Series, vol. 28, Academic Press, London, 1981.
- [38] LANDSBERG, H.E., "The assesment of Humans Bioclimate. A limited review of physical parameters", W.M.O. Tech. Note núm. 123, 1972
- [39] LEAL, A. PINHO, Portugal antigo e moderno - Dicionário, 1º vol., Livraria Editora de Mattos Moreira & Companhia, Lisboa, 1873, p.258 - 276
- [40] LEITÃO, A.N., A Bacia Hydrographica de Aveiro e a Salubridade Pública (esboço de estudo), Imprensa Portugueza, Porto, 1906.
- [41] LEITE, S.M.; PEIXOTO, J.P., "Spectral analysis of climatological series in Duero basin", Theor. Appl. Climatol., 50, 1995, p.157 - 167
- [42] LÓPEZ GÓMEZ, A.; FERNANDEZ GARCIA, F., "La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano", Estudios Geográficos, 45 (174), Madrid, 1984, p.5 - 34
- [43] LOWRY, W.P., "Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis", Journal of Applied Meteorology, American meteorology Society, vol. 16, Boston, 1977, p.129 - 135
- [44] LUVAL, J.C.; QUATTROCHI, D., "NASA/MSFC - Urban Heat Island - What's hot in Huntsville and what's not: A NASA thermal remote sensing project", NASA's Global Hydrology and Climate Center, 1996 - página da internet (<http://wwwghcc.msfc.nasa.gov/HYDRO/treecity.html>)
- [45] MITCHELL, J. M., "The temperature of cities", Weatherwise, 1961, p.224 - 229
- [46] MOMIYAMA, M., "Biometeorological study of the seasonal variation of mortality in Japan and other countries, on the seasonal disease calendar", Int. J. Biometeorol., 12, 1968, p.377 - 393
- [47] MOTOHASHI, Y. et al. "Seasonality of mortality in Sri Lanka: biometeorological considerations", Int. J. Biometeorol., 39, 1996, p.121 - 126
- [48] MOUNIER, J. Les climats océaniques des régions atlantiques de l'Espagne et du Portugal, Lille, 1979, p.259 - 1221
- [49] MYER, W.B., "Urban heat island and urban health: Early American prespective", Professional Geographer, 43, nº 1, 1991, p.38 - 48
- [50] OKE, T. R. ; HANNEL, F. G., "The form of the urban heat island in Hamilton", Urban Climates, W.M.O., T.N. 108, Genebra, 1970, p.113 - 126
- [51] OKE, T. R., Boundary Layer Climates, Methuen Co. Ltd., New York, 1978, p.372
- [52] OKE, T. R.; MAXWELL, G.B., "Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver", Atmospheric Environment, Pergamon Press, 9, 1975, p. 191 - 200
- [53] OKE, T.R., "City size and urban heat island", Atmospheric Environment, 7, 1973, p.769 - 779
- [54] OKE, T.R., "Review of urban climatology - 1973-1976", WMO Techn. Note, nº 169, Geneve, 1979

- [55] OKE, T.R.; NUNEZ, M., "Modeling the daytime urban surface energy balance", Geographical Analysis, 12, 1980, p. 373 - 386
- [56] OLIVEIRA, O., Origens da Ria de Aveiro, CMA, 1988
- [57] OLIVER, J.E., Climate and Man's environment - na introduction to applied climatology, John Wiley & Sons, New York, 1973
- [58] PAN, W.H., LI, L.A.; TSAI, M.J., "Temperature extremes and mortality from coronary heart disease and cerebral infarction in elderly chinese", Lancet, 345 - 8946, 1995 Feb 11, p.353 - 355
- [59] PARK, H.S., "Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments", Environment Research Center Papers, 11, University of Tsukuba, 1987, p.79
- [60] PEIXOTO, J.P.; OORT, A., Physics of Climate, American Institute of Physics, New York, 1992, p.520
- [61] RAMOS, C., "Tipos de Anticiclones e ritmo climático de Portugal". Estudo de Climatologia. L.A.G.F., C.E.G., relatório nº25, Lisboa, 1986, 236p.
- [62] REIS, A., Ria de Aveiro - Memórias da Natureza, Câmara Municipal de Ovar, 1993
- [63] RODRIGUES, B.C.M. "A Bioclimatologia e a Produtividade Laboral", Rev. Inst. Nac. Met. Geof., vol 1 (1), 1978, p.5-71
- [64] RODRIGUEZ, C.; MATEOS, J. "Precisiones sobre el bienestar climático en el Distrito Académico de Salamanca", Secretaria General Técnica - Servicio de Publicaciones, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 1985
- [65] RODRIGUEZ, C.; MATEOS, J.; GARMENDIA, J., "Determinación y estudio del enframamiento bioclimático", Avances sobre la investigación en Bioclimatología, C.S.I.C., 1983
- [66] RODRIGUEZ, C.; MATEOS, J.; GARMENDIA, J., "Sensaciones bioclimáticas: influencia del viento", Ver. de Geof., 39, 1983, p.89 - 95
- [67] RODRIGUEZ, C.; MATEOS, J.; GARMENDIA, J., "Biometeorological comfort Index", Int. J. Biometeorol, 1984
- [68] SARGENT, II; TROMP, S.W., "A survey of human biometeorology" W.M.O. núm. 160, TP. 78, Tech. Note núm 65, 1964
- [69] SMOLENSKY, M.H., "Aspects of human chronopathology", Biological rhythm and medicine. Springer, New York, 1983, p. 131 - 209
- [70] SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J., Introduction to Biostatistics, W.H. Freeman and Company, 2d. ed., New York, 1987
- [71] SOUSA, A.M.R.M., O clima urbano do Porto, Tese de doutoramento, 1993
- [72] SWEENEY, J., "The urban heat island of Dublin City", Irish geography, vol. 20, 1, 1987, p.1-10

- [73] TERJUNG, W. M.; LOUIE, S., "Solar radiation and urban heat islands", Annals of the Association of American Geographers, Vol. 63, 2, 1973, p.181 - 207
- [74] THOMPSON, D. et al. "Meteorological factors and the time of onset chest pain in acute myocardial infarction" Int. J. Biometeorol., 39, 1996, p.116 - 120
- [75] TROMP, S.W., "Biometeorological effect on healthy man: Medical Biometeorology", Elsevier Pub. Co., London, 1963
- [76] TROMP, S.W., "Studies of thermal and other physical environmental influences on oncogenic viruses", Biometeorological Survey Part. A. Human Biometeorology, Heyden & Son Ltd, London, 1979
- [77] U. S. Department of Energy (DOE), "Cooling our cities", Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, National Renewable Energy Laboratory, 1996 - página da internet (http://www.nrel.gov/documents/cities_counties/coolcity.html)
- [78] UEDA, H. et al. "Clothing microclimate temperatures during thermal comfort in boys, young and older men", Int. J. Biometeorol., 39, 1996, p.127 - 132
- [79] VENTURA, J.E., Influência das gotas de ar frio no ritmo e na repartição espacial das chuvas em Portugal. Estudo de Climatologia. L.A.G.F., C.E.G., relatório nº24, Lisboa, 1986, 212p.
- [80] VÓRTICE - equipamentos científicos, Lda. - Instruction Manual for model 4000.4GL Infrared Temperature Transducer, Lisboa, 1996
- [81] YAMASHITA, S., "Detailed Structure of Heat Island phenomena from moving observations from electric tram-cars in metropolitan Tokyo", Atmospheric environment, Vol 30, Nº 3, 1996, p.429 - 435

FONTES CARTOGRÁFICAS UTILIZADAS

- [82] CÂMARA MUNICIPAL DE AVEIRO, Levantamento topográfico de Aveiro, à escala 1/10000.
- [83] JUNTA AUTÓNOMA DO PORTO DE AVEIRO, Planta Geral da Ria de Aveiro
- [84] UNAVE, Planta de Aveiro, Laboratório de SIG e Teledetecção, 1996
- [85] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA (INMG) - Boletim Meteorológico Diário entre 6/8/96 e 3/1/97
- [86] Latest surface Isotherms and Isobars for Europe - página da internet (<http://WWW.uni-koeln.de/math-nat-fak/geomet/meteo/winfos/wetterkarten.htm>)

FONTES ESTATÍSTICAS UTILIZADAS

- [87] INSTITUTO DE GESTÃO INFORMÁTICA E FINANCEIRA DA SAÚDE (IGIF) - Departamento de Desenvolvimento de Sistemas Financeiros e de Gestão, Dados de Morbilidade no Distrito de Aveiro entre 1991 e 1995

-
- [88] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (INE) - Direcção Regional do Centro - Estatísticas da Saúde, Dados de Mortalidade no Baixo Vouga entre 1990 e 1994
- [89] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA (INMG) - Dados climatológicos de Aveiro entre 1985 e 1996

ANEXOS

Anexo I.1 - Data das noites de medições itinerantes e respectiva intensidade da ilha de calor e condições meteorológicas: situação sinóptica, cobertura nebulosa, rumo e velocidade do vento.

| Data | Intensidade da ilha de calor(°C) ¹ | Situação Sinóptica ² | Cobertura Nebulosa ³ | Rumo do vento | Velocidade do Vento(m/s) |
|--------|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------|
| 20-ago | 2,17 | 8 | 3 | 8 | 2 |
| 21-ago | 4,25 | 6 | 1 | 1 | 0,1 |
| 22-ago | 0,5 | 9 | 4 | 6 | 1,5 |
| 23-ago | 3,74 | 6 | 2 | 1 | 0,1 |
| 25-ago | 1,01 | 9 | 4 | 6 | 0,1 |
| 26-ago | 1,6 | 8 | 3 | 7 | 1 |
| 27-ago | 1,6 | 8 | 3 | 8 | 1 |
| 28-ago | 1,76 | 8 | 2 | 8 | 3 |
| 29-ago | 2,08 | 1 | 2 | 8 | 1,3 |
| 30-ago | 3,84 | 1 | 1 | 1 | 0,1 |
| 31-ago | 7,13 | 4 | 1 | 2 | 0,1 |
| 01-set | 7,53 | 4 | 1 | 2 | 0,1 |
| 02-set | 4,66 | 4 | 1 | 2 | 0,4 |
| 03-set | 3,18 | 4 | 2 | 8 | 0,1 |
| 04-set | 2,7 | 8 | 3 | 4 | 0,3 |
| 05-set | 3,46 | 7 | 2 | 3 | 0,1 |
| 06-set | 4,82 | 2 | 1 | 3 | 0,1 |
| 07-set | 2,3 | 4 | 2 | 7 | 0,1 |
| 08-set | 3,46 | 2 | 2 | 7 | 0,1 |
| 09-set | 5,87 | 3 | 1 | 1 | 0,1 |
| 10-set | 4,65 | 3 | 1 | 2 | 0,1 |
| 12-set | 2,11 | 3 | 3 | 4 | 0,1 |
| 15-set | 3,33 | 5 | 2 | 4 | 0,1 |
| 21-set | 1,56 | 8 | 4 | 8 | 3,3 |
| 22-set | 2,19 | 7 | 2 | 4 | 0,1 |
| 23-set | 2,03 | 9 | 2 | 8 | 0,6 |
| 06-out | 4,4 | 4 | 1 | 2 | 0,1 |
| 07-out | 3 | 4 | 1 | 1 | 0,4 |
| 11-out | 1,06 | 9 | 3 | 6 | 0,1 |
| 13-out | 1,58 | 9 | 4 | 6 | 0,1 |
| 21-out | 1,38 | 6 | 2 | 7 | 0,1 |
| 16-nov | 2,13 | 7 | 2 | 5 | 0,7 |
| 18-nov | 2,16 | 7 | 2 | 8 | 1,5 |
| 25-nov | 1,43 | 9 | 4 | 7 | 2,9 |
| 01-dez | 2,5 | 1 | 2 | 5 | 0,2 |
| 08-dez | 3,36 | 4 | 1 | 7 | 0,8 |
| 22-dez | 0,8 | 8 | 4 | 8 | 2,1 |
| 27-dez | 2,53 | 3 | 3 | 7 | 0,1 |
| 03-jan | 2,64 | 8 | 3 | 2 | 0,1 |

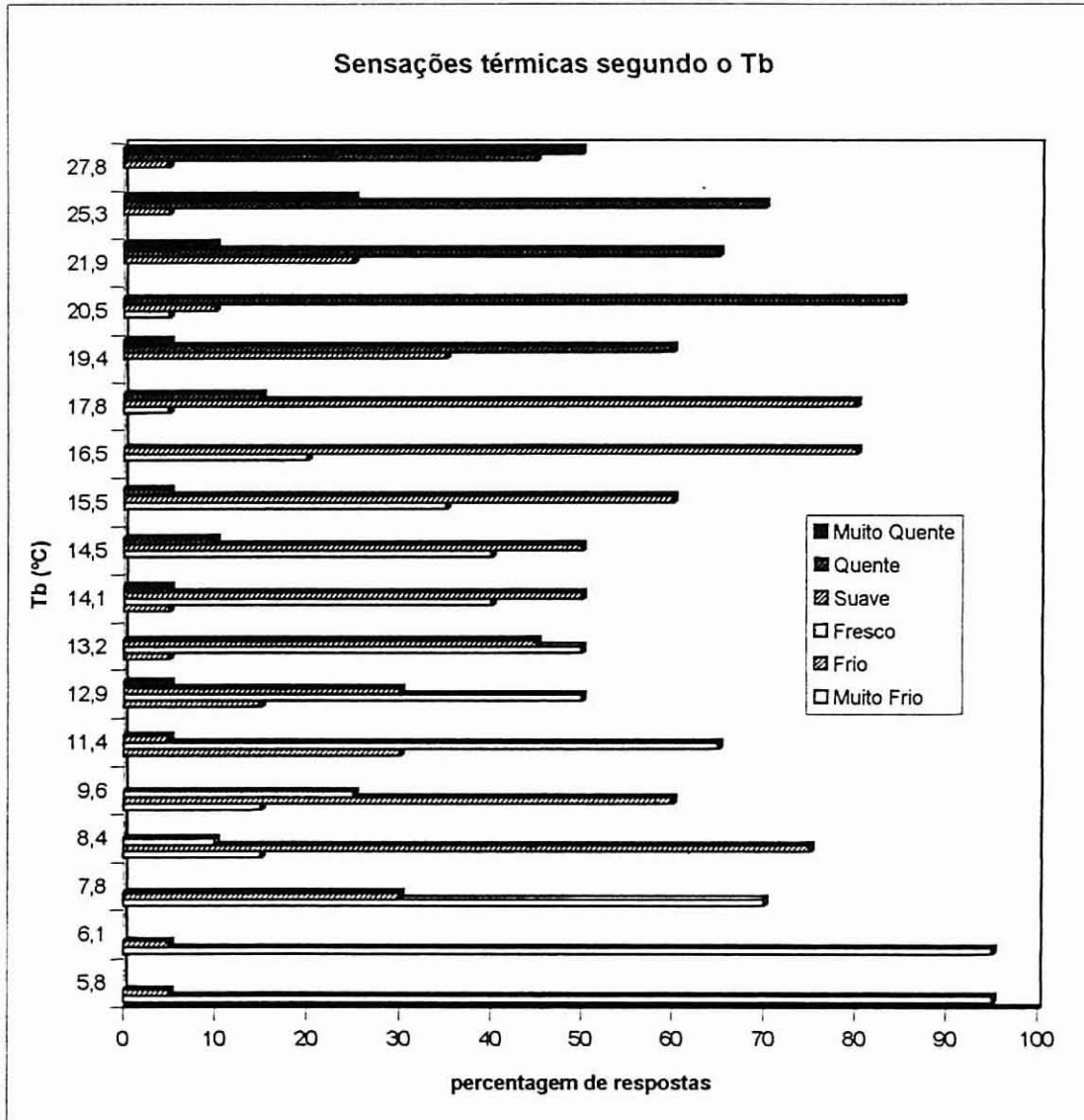
¹ Ver definição na página 8.

² Ver classificação na página 41.

³ Ver classificação na página 40.

Anexo II.1 - Resultados do questionário realizado com o objectivo de adaptar a escala de sensações térmicas do Índice de Conforto Climático, proposta por Rodríguez (1984), à aclimatização dos aveirenses.

Figura anexo II.1 - Percentagem de respostas (sensações térmicas), para cada valor de Índice de Conforto Climático (T_b) obtido segundo as condições meteorológicas presentes.



Errata

| <i>Página</i> | <i>Onde se lê</i> | <i>Deve ler-se</i> |
|---------------|--|---|
| 3 | levadas | elevadas |
| 4 | Fig. I.1 | Fig. I.I.1 |
| 5 | Fig. I.2 | Fig. I.I.2 |
| 6 | Fig. I.3 | Fig. I.I.3 |
| 10 | No Verão, a ilha é intensificada em noites de céu limpo, com calmas frequentes, noites quentes e sem vento ou em situações de vento forte de N ou NW, quando Portugal se encontra num forte gradiente barométrico, entre um anticiclone Atlântico e uma depressão sobre a Península. | No Verão, a ilha é intensificada em noites de céu limpo, com calmas frequentes, noites quentes e sem vento. |
| 43 | processamento | processamento de texto |
| 50 | Distância ao sapal Média = -0,46 Altitude Média = -0,54 | Distância ao sapal Média = -0,54 Altitude Média = -0,46 |