

## Temperaturas do ar de Lisboa e Portugal (por distritos). Distribuições semanais e geográficas: modelos para previsão e monitorização dos impactos das ondas de calor na mortalidade humana

Versão Portuguesa **B**

**Autores:** **Paulo Jorge Nogueira** \_Direção-Geral da saúde. Instituto de Medicina Preventiva - Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa  
**E.J. Paixão** \_Instituto Nacional de saúde Doutor Ricardo Jorge  
**L. Morais** \_Direção-Geral da Saúde

**Resumo:** A ocorrência de ondas de calor, que se verifica com alguma frequência em Portugal Continental, tem um grande impacto em termos de mortalidade, sendo reconhecida como um problema de saúde pública. Desde 1999 que Portugal possui um sistema de vigilância de ondas de calor – sistema de vigilância ícaro – em funcionamento de Maio a Setembro. Este sistema mostrou toda a sua potencialidade com a ocorrência da onda de calor de 2003 mas trouxe também a oportunidade de continuar a caminhar no sentido de fazer a melhor previsão deste tipo de eventos e assim construir modelos de medição, previsão e monitorização do impacto das ocorrências de ondas de calor na mortalidade humana.

O objectivo central deste artigo foi o estudo e o conhecimento da evolução das temperaturas do ar nos 18 distritos de Portugal Continental de 1980 a 2001 e de Maio a Setembro, quer do ponto de vista geográfico, quer ao longo do período de Verão, de forma a permitir a escolha das melhores opções metodológicas para a construção dos modelos de previsão da mortalidade. Este estudo permitiu definir os limiares teóricos para as temperaturas do ar; concluir que as temperaturas de Verão têm um padrão bem definido ao longo das semanas; que a distribuição geográfica das temperaturas, por distrito, mostrou que, no Verão, Portugal apresenta um gradiente Norte-Sul, com Sul a tender para ser mais quente, um gradiente Litoral-Interior, onde o Litoral tende a ser mais “fresco” que o Interior e que as temperaturas de todos os distritos de Portugal Continental demonstraram ser matematicamente modeláveis da mesma forma.

**Palavras - chave:** Ondas de calor; modelos matemáticos; saúde pública

**1**

### Introdução

Dado ser um fenómeno causalmente associado a excesso de mortalidade potencialmente evitável <sup>(1-8)</sup>, a ocorrência das ondas calor é atualmente reconhecida como um sério problema de saúde pública <sup>(9-13)</sup>. Na literatura científica está descrita uma diversidade enorme de episódios de ondas de calor ocorridos em quase toda a superfície terrestre. Portugal não é excepção, tendo, inclusive, um elevado nível de exposição a ondas de calor <sup>(14)</sup>. Estes eventos ocorrem com uma frequência considerável e com impactos substanciais, particularmente no acréscimo da mortalidade. No passado recente, é possível identificar períodos de calor com impacto na mortalidade, quase todos os anos <sup>(10-13,15)</sup>. De facto, no período de 1980 a 2004, foram identificados múltiplos episódios de ondas de calor de

várias amplitudes: episódios de calor com forte impacto na mortalidade – grandes ondas de calor – e alguns episódios de calor com menores repercussões na mortalidade – pequenas e moderadas ondas de calor.

No entanto, o primeiro grande alerta para os graves impactos das vagas de calor foi a onda de calor que ocorreu durante o Verão de 2003 na Europa, devido à sua duração e intensidade. O impacto estimado, em 2005, em toda a Europa, foi de um excesso de mortalidade de cerca 50000 óbitos, além do esperado.<sup>(16)</sup> Posteriormente, em 2009, esta estimativa foi estabelecida em 70000 óbitos acima do esperado <sup>(17)</sup>. Em Portugal, este acontecimento afectou todos distritos e atingiu um número inesperado de mulheres, e maioritariamente pessoas idosas (ambos os sexos) como esperado. Foi estimado um excesso de óbitos

de 1953, após correção para a idade dos indivíduos (18).

Estes eventos tendem a ocorrer com uma maior frequência assistindo-se recorrentemente a episódios de temperaturas elevada em que regularmente se batem “records”. Tomemos como exemplo o ano de 2006 em que foi registada em Portugal Continental uma anomalia da temperatura média do ar superior a 1,05°C, relativamente ao valor médio do período de referência (1961-1990). Este aumento de 1°C na temperatura média, em Portugal, foi superior ao aumento verificado à escala global, que se situou em 0,42°C acima do valor médio de 1961-1990, segundo dados da Organização Meteorológica Mundial. O ano de 2006 foi também o 5º mais quente desde 1931 (ano inicial de referência para as observações climatológicas no território nacional) tendo mesmo sido ultrapassados, em alguns locais, os maiores valores da temperatura máxima do ar em Setembro<sup>i</sup>.

Paralelamente, nestes últimos três anos (2009-2011) verificaram-se episódios de ondas de calor consideráveis, tenha-se como exemplo a região norte:

a onda de calor de Agosto de 2009, que afectou os distritos do interior (Bragança e Vila Real) teve uma duração de 7 dias (19);

em 2010, 7 ondas de calor, com uma duração de 32 dias, particularmente gravosas nos meses de julho e agosto, e mais frequentes nos distritos de Braga, Bragança e Vila Real (20);

em 2011, 4 ondas de calor, com uma duração de 14 dias entre os meses de junho e agosto, sendo também mais frequentes nos distritos de Braga, Bragança e Vila Real (21).

Em analogia com o ano de 2006, o Verão climatológico de 2009, que abrangeu os meses de Junho, Julho e Agosto, caracterizou-se, em Portugal, por valores médios da temperatura do ar superiores ao valor médio registado no período 1971-2000. Verificaram-se ainda anomalias de +1,1°C na temperatura máxima e observaram-se valores próximos do normal no que se refere a temperaturas média e mínima, + 0,5°C e + 0,1°C respetivamente. Realça-se o facto da temperatura média do ar ter sido, nos últimos 16 anos, sempre superior ao valor médio, com excepção de 2007 e 2008<sup>ii</sup>.

<sup>i</sup> [http://www.meteo.pt/pt/media/comunicadosimprensa/comunidetail.html?f=/pt/media/comunicadosimprensa/arquivo/2007/CI\\_rel\\_clima\\_final\\_2006](http://www.meteo.pt/pt/media/comunicadosimprensa/comunidetail.html?f=/pt/media/comunicadosimprensa/arquivo/2007/CI_rel_clima_final_2006)

<sup>ii</sup> [http://www.meteo.pt/pt/media/noticias/newsdetail.html?f=/pt/media/noticias/arquivo/2009/Clima\\_Verac2009.html](http://www.meteo.pt/pt/media/noticias/newsdetail.html?f=/pt/media/noticias/arquivo/2009/Clima_Verac2009.html) [http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/pr\\_904\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_904_en.html)

Segundo a Organização Meteorológica Mundial, o ano de 2010 deverá ficar entre os 3 mais quentes, desde 1850 (ano de início dos registos climáticos consolidados a nível mundial), de acordo com informação preliminar divulgada o valor médio da temperatura média global (temperatura da água do mar + temperatura do ar) é 0,55°C ( $\pm 0,11^\circ\text{C}$ ) acima do valor normal de 1961-1990 (14,0°C)<sup>iii</sup>.

Em termos de mortalidade, é consensual que são sobretudo os idosos que sofrem os impactos mais avultados. Mas ninguém está a salvo de sofrer os efeitos nefastos da ocorrência de calor excessivo. De facto, existem casos de episódios severos de calor onde todos os grupos etários são comprovadamente afectados. É exemplo desta situação a onda de calor de Junho de 1981 em Portugal (22). Mas, em termos de saúde, a idade avançada, as limitações cognitivas, a existência de doenças e as condições da habitação são apenas alguns exemplos das condições de vulnerabilidade (23-25). Contudo, existem vários estudos, de que é exemplo um estudo ibérico, que mostra que o risco de sofrer os efeitos de ondas de calor é maior nas mulheres do que nos homens, com quase o dobro do impacto na mortalidade (26-27).

O impacto das temperaturas extremas de Verão na mortalidade ocorre quase imediatamente, sendo, muitas vezes, atingido o pico máximo de mortalidade um dia após o registo do pico máximo de temperatura. Assim, há normalmente um atraso de 1 ou 2 dias (26-27) entre a ocorrência de calor e a respetiva mortalidade.

Nestas situações a ação é necessária, de forma a evitar a ocorrência da mortalidade que é evitável. Nesta área Portugal possui um longo e notável histórico:

1) um modelo de previsão da mortalidade para o distrito de Lisboa, associado à ocorrência de ondas de calor (modelo ÍCARO<sup>iv</sup>);

2) um índice-ÍCARO<sup>v</sup> que permite uma avaliação do risco de excesso de mortalidade associado à ocorrência de calor;

<sup>iii</sup> <http://www.wmo.int/pages/mediacentre/pressreleases/pr904en.html>

<sup>iv</sup> Modelo para a relação entre calor e mortalidade calibrado com os dados do distrito de Lisboa nas ondas de calor de Junho de 1981 e Julho de 1991.

<sup>v</sup> Relaciona a mortalidade prevista com impacto de calor com mortalidade esperada sem impacto de calor.

3) um sistema de vigilância de ondas de calor<sup>vi</sup> em funcionamento desde 1999. Este sistema demonstrou toda a sua potencialidade com a ocorrência da onda de calor de 2003 mas trouxe também o aviso de que é necessário continuar a caminhar no sentido de fazer a melhor previsão destes eventos nefastos e assim construir modelos de medição, previsão e monitorização do impacto das ocorrências de ondas de calor na mortalidade humana. Neste sentido, o objetivo do trabalho aqui apresentado centrou-se no estudo da distribuição das temperaturas, em Lisboa e Portugal, de Maio a Setembro, de forma a estabelecer o conhecimento necessário para definir “ondas de calor” e obter os limiares de temperatura que permitam estabelecer os melhores modelos.

Recorda-se que não existe uma definição consensual para onda de calor. No contexto português podem ser tidos em consideração dois critérios: a duração do evento e o impacto na mortalidade. No primeiro caso, estamos perante uma definição meteorológica usada pelo Instituto de Meteorologia Português que leva em conta o período de, pelo menos, seis dias consecutivos em que a temperatura máxima diária é superior em 5°C ao valor médio diário no período de referência (1961-1990)<sup>vii</sup>. Esta definição apenas considera a variabilidade climática sem qualquer relação com os impactos na saúde pública. Na segunda definição, adotada pela Direção-Geral da Saúde (DGS), assume a ocorrência de onda de calor quando se tem dois ou mais dias consecutivos com temperaturas acima do limiar de 32°C (26). Em Portugal, para a mortalidade do distrito de Lisboa, nas grandes ondas de calor de 1981 e 1991, o limiar de 32°C revelou-se como um bom indicador para a ocorrência de excesso de mortalidade. Na verdade, a mortalidade no distrito de Lisboa foi sempre aumentando depois de dois ou mais dias consecutivos acima de 32°C.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

Caracterizar a distribuição das temperaturas do ar tri-horárias, média diária e máxima diária do distrito de Lisboa, por semana;

Definir os limites teóricos da variação das temperaturas do ar tri-horárias e média diária do distrito de Lisboa, por semana;

Estabelecer os limites teóricos da variação da temperatura do ar máxima diária do distrito de Lisboa, por semana;

Caracterizar a distribuição geográfica (por distritos) das temperaturas tri-horárias elevadas e da temperatura máxima diária elevada (percentil 97,5) durante o Verão em Portugal;

Modelar a evolução diária das temperaturas máximas limiares, por distrito, de forma a estabelecer critérios de vigilância de ondas de calor diário, a nível distrital;

Definir os limites limiares de temperaturas máximas de Verão, por distrito;

Caracterizar os conjuntos de distritos, de acordo com diferentes limiares superiores de temperaturas de Verão.

## 2

### Material e Métodos

Os dados de temperaturas do ar observadas desde 1980 a 2001, relativas aos 18 distritos de Portugal Continental, foram disponibilizadas pelo Instituto de Meteorologia Português, nomeadamente, as temperaturas máximas e mínimas do ar observadas diariamente e as temperaturas tri-horárias, para uma análise minuciosa.

Foram utilizados três níveis distintos da distribuição das temperaturas: a distribuição nacional que visou o conhecimento e entendimento da *distribuição geográfica*; a distribuição semanal, sobretudo de Lisboa onde se visou ter modelos mais elaborados; e a *distribuição diária* onde o objectivo principal foi a respetiva modelação matemática para posterior construção de informação útil para a vigilância de ondas de calor ao nível do distrito.

O estudo geográfico da distribuição das temperaturas foi feito de forma descritiva com a construção de mapas de Portugal Continental onde se apresentaram as distribuições dos percentis 97,5 das temperaturas tri-horárias e das temperaturas máximas e médias diárias.

Note-se que, em Portugal, o limiar de 32°C é um bom indicador para a ocorrência do excesso de mortalidade. Avaliações posteriores mostraram que esse valor de

<sup>vi</sup> O Sistema de vigilância ICARO. Sistema que permite a monitorização das ondas de calor com potencial impacto na morbilidade e mortalidade.

<sup>vii</sup> <http://www.meteo.pt>

temperatura corresponde aproximadamente ao percentil 97,5 da distribuição da temperatura máxima observada em Lisboa nos meses de Maio a Setembro, de 1980 a 2000.

Quando o mesmo percentil foi calculado para os 18 distritos de Portugal Continental, estes variaram entre si. No entanto, o percentil 97,5 da temperatura máxima média diária dos 18 distritos, no mesmo período foi de aproximadamente 32°C, tornando-se portanto, numa boa opção.

A distribuição semanal das temperaturas do ar do distrito de Lisboa foi estudada de forma descritiva, através de simples medidas de resumo, como a mediana e percentis, e da obtenção de limites suavizados de Tukey para os dados de variação. Estes limites de Tukey, correspondem aos limites de definição de *outliers* moderados e severos estabelecidos, respectivamente,  $L1 = Q3 + 1,5 * [Q3-Q1]$ , e  $L2 = Q3 + 3 * [Q3-Q1]$ , em que  $Q1$  e  $Q3$  denotam o 1º e o 3º quartil respectivamente.  $Q3 - Q1$  é amplitude interquartilica. Estes limites foram suavizados, fazendo-se a média móvel de uma janela de 5 semanas consecutivas.

Por último, a distribuição diária das temperaturas por distrito foi modelada usando um modelo de regressão cúbica (caso particular da regressão polinomial <sup>(47)</sup> que constitui o modelo de regressão múltipla) que tem a seguinte forma genérica:

$$Y_t = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + \varepsilon$$

Onde,

$Y_t$  representa a temperatura observada no dia  $t$  ;

$X$  representa a ordem do dia na sequência temporal escolhida (do ponto de vista prático escolheu-se o número de dias a contar desde o dia 1 de Maio);

$b_i$  são os respetivos parâmetros de regressão; e,

$\varepsilon$  Um processo de erro com valor esperado de zero.

3

## Resultados

### 3.1 Temperaturas de Lisboa

A *tabela 1* mostra a distribuição semanal da temperatura do ar em Lisboa, de 1981 a 2000, através das temperaturas tri-horárias, das temperaturas máximas e médias diária, mediana e quartis. A partir da observação da tabela é notório que as temperaturas diárias aumentam progressivamente até à 32ª semana do ano (aproximadamente a primeira quinzena de Agosto) e diminuem posteriormente<sup>viii</sup>.

Era expectável que a distribuição das temperaturas tri-horárias mostrasse uma maior variabilidade quando comparada com temperaturas médias diárias (em termos de amplitude interquartilica por semana). É notória a grande distância entre a temperatura máxima observada e a temperatura média a que um indivíduo está exposto. Como exemplo, considere-se que um dia mediano no período considerado (da 18ª semana até à 40ª do calendário anual), a uma temperatura máxima de 25,2°C corresponde a média diária de exposição de 19,7°C.

<sup>viii</sup> A Figura 3 dá uma perspectiva deste padrão apesar das temperaturas surgirem aí diariamente.

Tabela:

**1** Resumo da distribuição das temperaturas do ar, por semana, em Lisboa (1981 a 2000)

Semana	Temperaturas do ar tri-horárias em Lisboa (1981 - 2000)			Temperaturas do ar média em Lisboa (1981 - 2000)			Temperaturas máxima diária em Lisboa (1981 - 2000)		
	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
18	13,4	15,6	18	14,1	15,7	18,3	18,0	19,9	24,3
19	13,4	15,4	17,8	14,3	15,7	16,8	18,3	19,9	21,7
20	13,8	15,7	18,3	14,6	16,3	17,8	18,2	20,6	23,4
21	14,6	16,6	19,6	15,8	17,2	18,5	19,7	21,6	24,2
22	15,4	17,4	20	16,6	17,5	19,3	20,6	22,4	25,5
23	15,6	18,0	20,6	17,0	18,2	19,5	21,1	23,1	25,7
24	16,8	19,8	23,8	18,1	19,7	23,1	23,0	26,1	30,7
25	17,2	19,5	22,6	18,6	19,6	21,0	23,2	25,0	27,8
26	17,4	19,7	23,2	18,9	20,2	21,8	23,6	25,6	29,4
27	17,4	20,0	23,2	19,0	20,3	21,5	23,6	25,7	28,6
28	18,4	21,4	25,4	20,3	21,4	24,5	25,8	27,6	31,7
29	18,8	22,0	25,7	20,1	21,7	24,8	25,6	28,5	32,5
30	18,7	21,6	25	20,4	21,6	23,8	25,4	27,8	31,8
31	18,8	21,6	25,1	20,4	21,8	23,6	25,7	28,1	31,2
32	19	22,0	25,4	20,6	21,8	24,1	26,0	27,7	31,3
33	18,7	21,1	24,8	20,6	21,5	22,9	26,3	27,8	30,2
34	18,8	21,0	24,2	20,4	21,4	22,8	25,5	27,2	30,2
35	18,8	20,8	24,2	20,3	21,5	22,7	25,3	27,4	30,6
36	19	21,2	24,8	20,7	21,5	23,3	26,1	28,3	30,9
37	18,4	20,7	23,6	19,2	21,2	22,7	24,7	26,5	30,4
38	17,7	19,7	22,2	18,6	20,1	21,4	22,8	24,8	27,5
39	17,2	19,2	21,6	17,9	19,4	21,0	22,0	24,3	27,4
40	16,4	18,3	20,9	17,4	18,6	20,1	21,1	24,0	26,5
<b>Média</b>	<b>17,1</b>	<b>19,5</b>	<b>22,6</b>	<b>18,4</b>	<b>19,7</b>	<b>21,5</b>	<b>23,1</b>	<b>25,2</b>	<b>28,4</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,88</b>	<b>2,12</b>	<b>2,54</b>	<b>2,15</b>	<b>2,06</b>	<b>2,29</b>	<b>2,74</b>	<b>2,79</b>	<b>3,08</b>

Tabela:

**2** Estimativas dos limiares teóricos da temperatura do ar em Lisboa

Semana	Temperaturas do ar tri-horárias em Lisboa (1981 - 2000)		Temperaturas do ar média em Lisboa (1981 - 2000)		Temperaturas máxima diária em Lisboa (1981 - 2000)	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2
18	24,0	30,6	22,0	27,0	29,6	36,9
19	24,8	31,6	22,2	27,0	30,2	37,4
20	25,7	32,6	22,7	27,3	31,1	38,4
21	26,3	33,4	22,5	26,6	30,8	37,6
22	28,3	36,1	24,4	29,3	34,0	42,0
23	29,4	37,5	24,9	29,5	34,7	42,5
24	30,4	38,7	25,6	30,3	36,1	44,4
25	31,4	40,1	26,0	30,5	36,7	45,0
26	32,9	42,2	27,5	32,5	38,3	47,0
27	33,3	42,5	27,7	32,7	38,4	46,8
28	34,0	43,5	28,6	33,9	39,7	48,7
29	34,5	44,2	29,0	34,4	40,1	49,0
30	35,2	45,0	29,9	35,6	40,7	49,7
31	34,8	44,4	29,0	34,2	39,8	48,3
32	34,1	43,2	27,9	32,4	38,7	46,5
33	33,6	42,5	27,4	31,5	38,1	45,6
34	33,4	42,1	27,1	31,1	37,8	45,0
35	32,7	41,1	26,8	30,8	37,8	45,1
36	31,7	39,6	26,7	30,7	37,5	45,0
37	30,9	38,5	26,5	30,8	37,1	44,9
38	29,9	37,2	26,1	30,5	36,3	44,1
39	28,6	35,6	25,5	30,1	35,2	43,0
40	27,3	33,8	24,5	28,8	33,2	40,4
<b>Média</b>	<b>30,7</b>	<b>39,0</b>	<b>26,1</b>	<b>30,8</b>	<b>36,2</b>	<b>44,1</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>3,41</b>	<b>4,43</b>	<b>2,27</b>	<b>2,47</b>	<b>3,31</b>	<b>3,79</b>

A *tabela 2* apresenta os resultados suavizados para os valores limiares extremos das distribuições das temperaturas de ar consideradas. Estes valores extremos são o padrão para a determinação de *outliers* moderados (acima L1) e *outliers* severos (acima de L2) na análise exploratória de dados. Estas estimativas de valores limiares tiveram em conta a variabilidade semanal e a variabilidade máxima ocorreu em torno da semana 30, sendo por isso expectáveis os valores mais extremos de temperatura, por volta da semana 30 e não da semana 32.

É também de referir que o limiar de *outliers* moderados (L1), estimado para temperaturas do ar tri-horárias é muito semelhante ao limiar de *outliers* severos (L2) para a temperatura média diária. Isto significa que uma temperatura muito extrema, num período de tempo limitado, não se refere necessariamente a uma prolongada exposição a temperaturas extremas. No outro extremo, como esperado, dentro das semanas consideradas, os limiares das temperaturas tri-horárias dos *outliers* severos, estão sempre dentro dos limites moderados e severos de *outliers* das temperaturas máximas diárias.

### 3.2 Temperaturas de Portugal Continental

Nas figuras 1 e 2 são apresentadas as distribuições das temperaturas do ar máxima e percentil 97,5, durante os meses de Maio a Setembro, dos 18 distritos de Portugal Continental. Vê-se que as temperaturas do continente mostram gradientes norte-sul e litoral-interior.

A observação empírica mostra que a temperatura de Lisboa parece constituir uma boa estimativa para a temperatura média de todos os distritos. Lembra-se o percentil 97,5 da distribuição da temperatura máxima corresponde aproximadamente ao limiar de 32°C, cuja mortalidade no distrito de Lisboa aumentou sempre depois de um ou dois dias consecutivos acima deste limiar de temperatura.

figura:

① Percentil 97,5 (P97,5) da temperatura tri-horária de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental

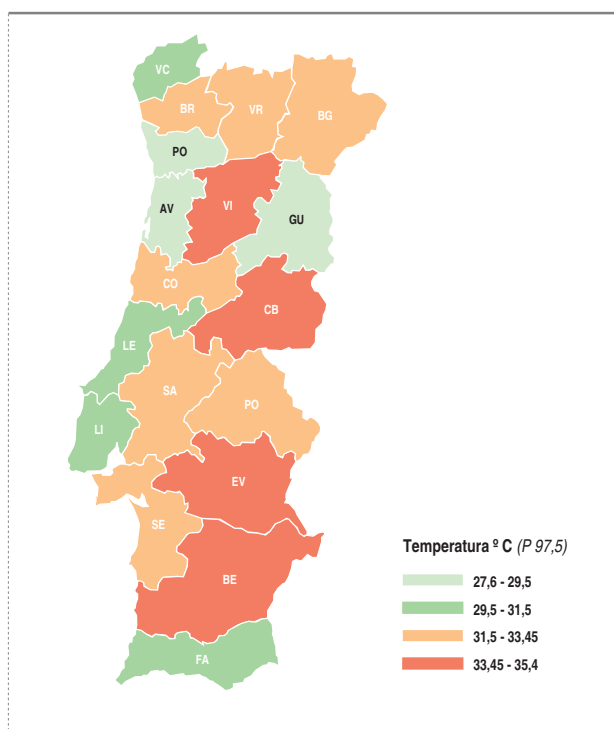
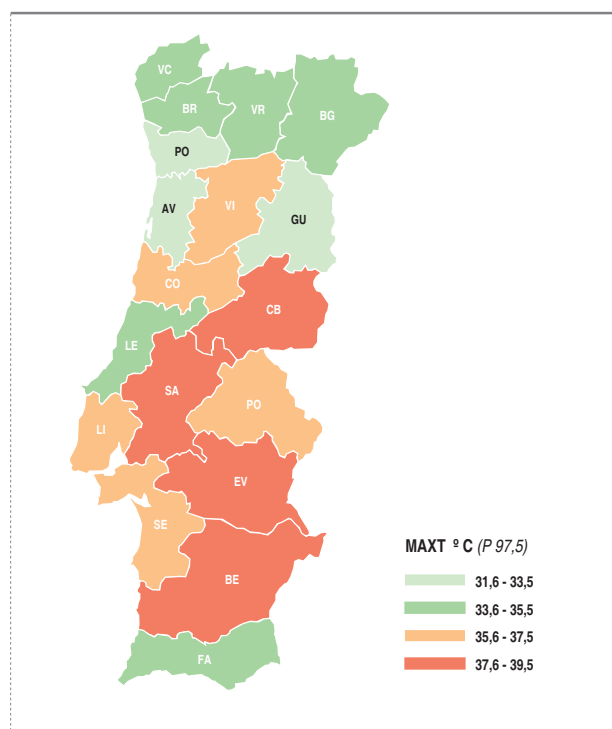


figura:

② Percentil 97,5 (P97,5) da temperatura máxima diária de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental



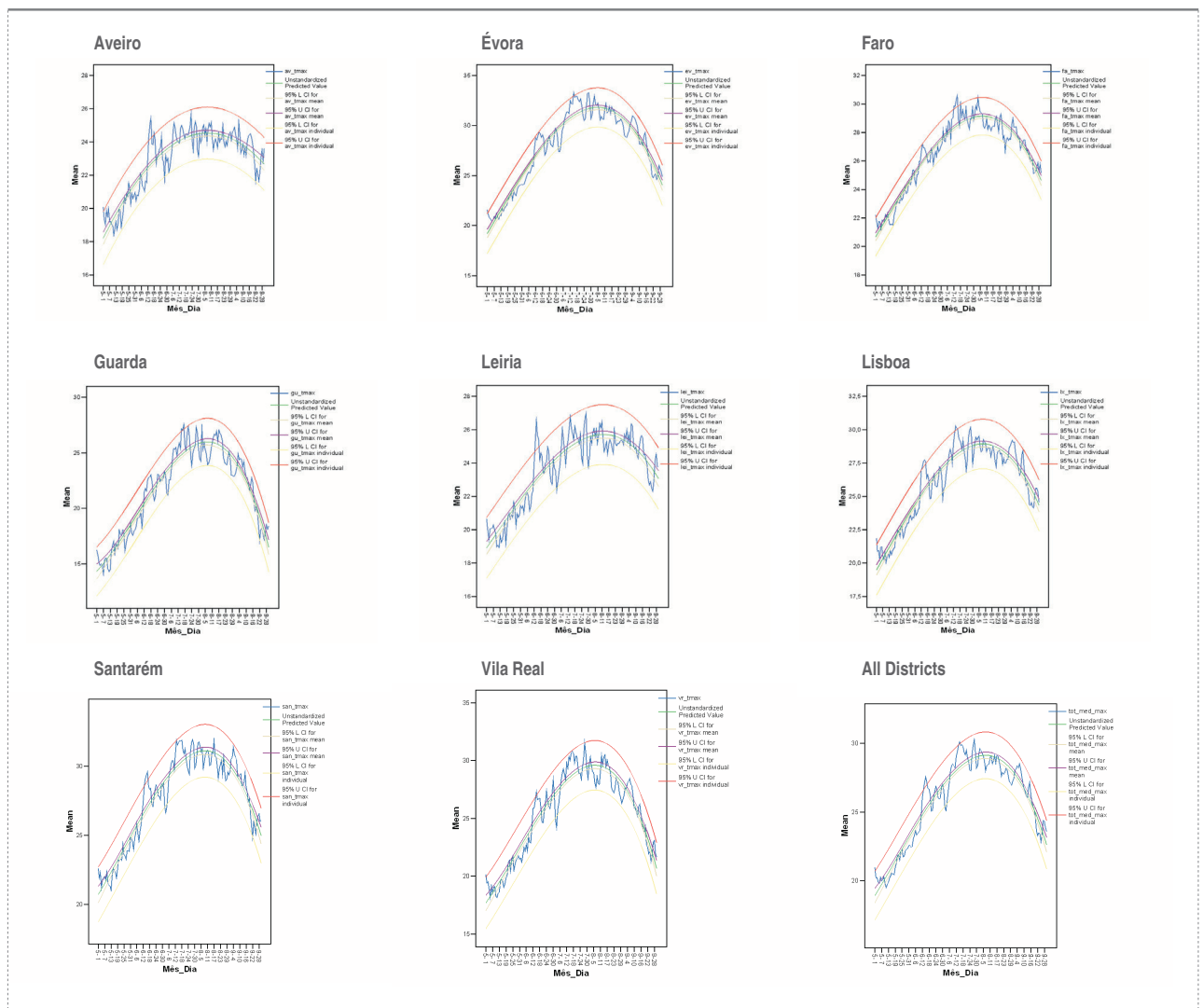
### 3.3 Temperaturas por distrito

Na secção 3.1. foi avaliada a evolução das temperaturas do distrito de Lisboa no conjunto de 20 anos. Conclui-se que essas temperaturas têm um padrão de crescimento durante o início do Verão, atingindo um máximo em torno da 32ª semana e de decréscimo no final do Verão. Nesta secção, o objetivo é o estudo da evolução das temperaturas máximas, de Maio a Setembro, de todos os distritos de Portugal Continental e da respectiva média conjunta.

Como se verifica na **Figura 3**, dos quais constam alguns exemplos dos distritos de Portugal Continental, todos eles apresentam uma evolução temporal das temperaturas máximas semelhante (em dias), com os respetivos dados a revelarem um bom ajustamento por um modelo de regressão cúbica [regressão polinomial (29)].

figura:

**3** Modelação cúbica da evolução diária das temperaturas máximas de Maio a Setembro de 1981 a 2000 pelos distritos selecionados de Portugal Continental



**Linha verde escura** – mortalidade esperada (média);  
**Linha verde** – limite inferior do intervalo de confiança ao nível de 95% para mortalidade esperada (média);  
**Linha roxa** – limite superior do intervalo de confiança ao nível de 95% para a mortalidade esperada (média);  
**Linha verde** – limite inferior do intervalo de confiança ao nível de 95% para a mortalidade esperada de um dia;  
**Linha vermelha** – limite superior do intervalo de confiança ao nível de 95% para a mortalidade esperada de um dia;  
**Eixos xx** – representam dias de 1 de Maio (5-1) a 30 de Setembro (9-30).

Para cada gráfico individual visualizam-se os ajustamentos dos dados de temperaturas máximas, dia-a-dia, no conjunto de 20 anos, pelo modelo de regressão cúbica. As linhas azuis (média dos dados de 20 anos, para cada dia) em alguns distritos, mostram perturbações relativas às ondas de calor de Junho de 1981 e Julho de 1991. No entanto o modelo de regressão polinomial mostrou-se resistente a essas ocorrências. É observável que os modelos de regressão cúbica detectam anomalias nos meses de Junho e Julho para a maioria dos distritos. De facto, dos distritos seleccionados (*figura 3*), denotaram anomalias em Junho (reflexo da onda de calor de 1981) os distritos de Aveiro, Lisboa, Santarém, Vila Real e o conjunto de todos os distritos de Portugal Continental. Relativamente a Julho (reflexo da onda de calor de 1991) os modelos denotaram ocorrência de anomalia nos seguintes distritos seleccionados: Évora, Faro, Guarda, Lisboa e no conjunto de todos os distritos de Portugal Continental.

Todos os distritos, com a excepção de Aveiro, evidenciaram uma relação cúbica entre a contagem dos dias a partir do dia 1 de Maio e as respectivas temperaturas máximas. No distrito de Aveiro, essa relação revelou-se um pouco mais simples – quadrática, ou seja, um modelo sem a componente cúbica, mas em que o padrão, apesar da menor amplitude das temperaturas, se mostrou idêntico.

O padrão modelado demonstrou um aumento sustentado das temperaturas do ar durante os primeiros 100 dias, (aproximadamente), [contados a partir do 1º dia de Maio] e posterior decréscimo.

Na *tabela 3*, apresentam-se os resultados da regressão cúbica por distrito, cujos parâmetros se referem ao limite superior de 95% de confiança e não à linha basal<sup>ix</sup>. Observa-se, genericamente, que as tendências e os máximos são, em ambos os casos, concomitantes. Assim, o ponto máximo das temperaturas variou entre 95 dias, após o dia 1 de Maio, (5 Agosto) em Leiria, e 104 (13 Agosto) em Beja e Évora.

São ainda apresentados, na *tabela 3*, estimativas dos limiares superiores de Verão para as temperaturas máximas por distrito. Para evitar precisão numérica das temperaturas ao décimo de grau centígrado que não farão certamente sentido prático, optou-se por fazer o arredondamento do valor estimado a partir do modelo acrescido de 1°C.

Definiram-se assim quatro grupos de distritos:

Limiares superiores de Verão abaixo de 30°C:  
Aveiro, Porto, Guarda e Leiria.

Limiares superiores de Verão entre 30°C e 32°C:  
Faro, Braga, Coimbra, Faro, Lisboa e Viana do Castelo.

Limiares superiores de Verão entre 33°C e 35°C:  
Bragança, Évora, Portalegre, Santarém, Vila Real e Viseu.

Limiares superiores de Verão acima de 35°C:  
Castelo Branco e Beja.

O particular interesse dos resultados desta secção reside na sua utilização para definir limiares e riscos de calor ao nível distrital dada a impossibilidade de criar modelos robustos assentes nas mortalidades observadas por distrito (a única excepção é Lisboa, por ter uma densidade populacional que permite tal modelação).

Adicionalmente, estes resultados reforçam os obtidos nas secções anteriores (3.1. e 3.2.) e dão realce às opções tomadas na definição de limiares dinâmicos para o ensaio de modelos.

<sup>ix</sup> Porque se pretendeu construir uma ferramenta de Apoio à monitorização ao nível de distritos por forma a permitir monitorizar afastamentos diários e persistentes dos valores esperados.

labela:

**3** Estimação dos parâmetros do modelo cúbico do limite superior do intervalo de confiança de 95% para a temperatura máxima diária para cada distrito e para o total dos distritos.

Distrito	Modelo Cúbico					Determinação de Limiar		
	Constante	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R2 Ajustado	Dia de temp. máx	Máximo	Limiar
Aveiro	19,666	0,129	-6,474		0,829	100,4	26,1	27,0
Beja	22,647	0,201		-7,266	0,940	104,1	35,4	36,0
Braga	20,712	0,151		-5,254	0,860	102,2	30,5	32,0
Bragança	19,119	0,144	10,971	-12,427	0,934	101,8	32,0	33,0
C. Branco	21,492	0,159	8,733	-11,472	0,940	102,1	34,6	36,0
Coimbra	21,604	0,147		-4,984	0,868	100,7	31,3	32,0
Évora	20,985	0,198		-7,066	0,930	103,5	33,6	35,0
Faro	21,868	0,130		-4,407	0,930	100,8	30,5	31,0
Guarda	16,381	0,107	14,209	-13,257	0,920	101,3	28,0	29,0
Leiria	20,623	0,099		-3,038	0,827	95,9	27,4	28,0
Lisboa	21,211	0,143		-4,7	0,893	99,3	30,6	32,0
Portalegre	19,578	0,177	5,926	-10,194	0,937	102,2	33,0	34,0
Porto	19,612	0,104		-3,309	0,810	97,7	26,7	28,0
Santarém	22,526	0,129	5,565	-7,901	0,911	99,1	33,1	34,0
Setúbal	23,104	0,101	6,96	-7,915	0,901	99,2	32,2	33,0
V. do Castelo	20,685	0,126		-4,326	0,816	101,5	29,0	30,0
Vila Real	19,732	0,139	9,15	-11,034	0,917	102,0	31,7	33,0
Viseu	20,302	0,141	8,6	-10,644	0,918	101,4	32,3	33,0
<b>Todos</b>	20,521	0,132	4,79	-7,71	0,925	101,0	30,8	32,0

$\beta_1$  parâmetro associado à variável X - contagem dos dias a partir de 1 de Maio

$\beta_2$  parâmetro associado à variável X2 - X<sup>2</sup> dividido por 10 000

$\beta_3$  parâmetro associado à variável X3 - X<sup>3</sup> dividido por 100 000

**4**

### Discussão e conclusões

Os resultados permitiram definir limiares teóricos com base nas temperaturas do ar tri-horárias e temperaturas médias diárias do ar de Lisboa, cuja média aritmética nas semanas de 18 a 40 do ano civil, rondou os 31°C.

As temperaturas de Verão têm um padrão bem definido ao longo das semanas. As temperaturas aumentam até por volta das semanas 30-32 e voltam a decrescer, posteriormente, ao longo do término do período de Verão.

Com base na distribuição geográfica (por distritos) dos percentis de 97,5 das temperaturas tri-horárias verificou-se que no Verão (de Maio a Setembro) Portugal apresenta um gradiente Norte-Sul, tendendo o Sul a ser mais quente (com a zona costeira do Algarve a escapar a esta tendência), e um gradiente Litoral-Interior, onde o litoral tende a ser mais “fresco” que o Interior (com o distrito da Guarda a contrariar esta tendência talvez devido à presença da Serra da Estrela).

É interessante notar que, quando consideradas as temperaturas tri-horárias e o seu respetivo percentil de 97,5, o limiar de 31,5°C pareceu delimitar Norte-Sul e Litoral-Interior. Este facto coaduna-se com a experiência inicial do Projecto ÍCARO (e do primeiro modelo ÍCARO), onde a adopção do limiar de 32°C, referido na literatura científica, tendo por base a experiência Norte Americana e a literatura, gerou resultados bem ajustados aos dados portugueses (22,30).

As temperaturas de todos os distritos de Portugal Continental demonstraram ser, matematicamente modeláveis, de forma muito semelhante. Apenas no distrito de Aveiro se revelou um padrão distinto (um modelo quadrático em vez de cúbico) devido ao facto das respectivas temperaturas terem uma gama de valores mais reduzida, o que não impede (como mencionado) de obter no final um padrão idêntico. Esta situação terá de ser analisada com maior detalhe, mas torna-se evidente que a influência da proximidade do oceano bem como a extensa área lagunar terão os seus efeitos nos resultados.

A consistência dos modelos ao longo de todos os distritos demonstra que todos os indivíduos estarão expostos ao mesmo mecanismo de variação de temperaturas ao longo do Verão. Este fato poderá explicar diferentes atitudes ou aspectos culturais de adaptação locais ao longo do período de Verão, diferenciadas por serem respostas a níveis de temperatura diferentes em localizações distintas. É de notar o facto de se poderem modelar os limiares de temperatura esperados dia-a-dia em cada distrito, o que representa mais uma componente que pode ser posta sob vigilância e constituir uma ferramenta útil para a decisão ao nível local (distrito), dado que à excepção de Lisboa, não é possível estabelecer modelos específicos para a relação calor-mortalidade dadas as baixas densidades populacionais.

### Conflito de interesses

Os autores não têm conflitos de interesses a declarar.

### Agradecimentos

Este trabalho foi realizado quando o primeiro autor trabalhou no Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge e fez parte do respetivo trabalho de doutoramento, obtido no Instituto de Higiene e medicina Tropical da Universidade Nova de Lisboa, sob a orientação do Professor Doutor Paulo Ferrinho.

Este trabalho não teria sido possível sem a colaboração do Instituto de Meteorologia. Somos gratos pelo fornecimento dos dados, no âmbito da colaboração no Projecto ÍCARO. Estamos particularmente gratos á Dra. Teresa Abrantes, Dra. Fátima Espírito Santo e ao Prof. Pedro Viterbo.

Este trabalho teve inspiração no trabalho pioneiro, no talento epidemiológico e nas ideias sempre visionárias do Dr. José Carlos Marinho Falcão.

Estamos ainda particularmente gratos aos revisores pelos comentários e sugestões.

## 5

### Bibliografia

- (1) Faunt JD, Wilkinson TJ, Aplin P, Henschke P, Webb M, Penhall RK. The effete in the heat: heat-related hospital presentations during a ten day heat wave. *AustNZJ Med*. 1995;25(2):117-21.
- (2) Richards DA. Deaths in a heat wave. *AustNZJ Med*. 1995;25(2):109-10.
- (3) Heat--related illnesses and deaths--United States, 1994-1995. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 1995;44(25):465-8.
- (4) Wainwright SH, Buchanan SD, Mainzer HM, Parrish RG, Sinks TH. Cardiovascular mortality--the hidden peril of heat waves. *Prehosp Disaster Med*. 1999;14(4):222-31.
- (5) Mastrangelo G, Hajat S, Fadda E, Buja A, Fedeli U, Spolaore P. Contrasting patterns of hospital admissions and mortality during heat waves: are deaths from circulatory disease a real excess or an artifact? *Med Hypotheses*. 2006;66(5):1025-8.
- (6) Yip FY, Flanders WD, Wolkin A, Engelthaler D, Humble W, Neri A, et al. The impact of excess heat events in Maricopa County, Arizona: 2000-2005. *Int J Biometeorol*. 2008 Nov;52(8):765-72.
- (7) Hajat S, Kosatky T. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *J Epidemiol Community Health*. 2010 Sep;64(9):753-60.
- (8) Montero Rubio JC, Miron Perez IJ, Criado-Alvarez JJ, Linares C, Diaz Jimenez J. [Heat health warning systems: possibilities of improvement]. *Rev Esp Salud Publica*. 2010 Mar-Apr;84(2):137-49.
- (9) Centers for Disease Control and P. Heat-related deaths--four states, July-August 2001, and United States, 1979-1999. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 2002 Jul 5;51(26):567-70.
- (10) Clarke JF. Some climatological aspects of heat waves in the contiguous United States. *Environ Res*. 1972;5(1):76-84.
- (11) Kunst AE, Looman CW, Mackenbach JP. Outdoor air temperature and mortality in The Netherlands: a time-series analysis. *Am J Epidemiol*. 1993 Feb 1;137(3):331-41.
- (12) Smoyer-Tomic KE, Kuhn R, Hudson A. Heat wave hazards: An overview of heat wave impacts in Canada. *NATURAL HAZARDS*. 2003 MAR 2003;28(2-3):463-85.
- (13) Conti S, Meli P, Minelli G, Solimini R, Toccaceli V, Vichi M, et al. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environ Res*. 2005;98(3):390-9.
- (14) Trigo, R. M. et al. Evaluating the impact of extreme temperature based indices in the 2003 heatwave excessive mortality in Portugal. *Environ. Sci. Policy* 12,844-854 (2009)
- (15) 14- Naughton MP, Henderson A, Mirabelli MC, Kaiser R, Wilhelm JL, Kieszak SM, et al. Heat-related mortality during a 1999 heat wave in Chicago. *Am J Prev Med*. 2002;22(4):221-7.
- (16) Brucker G. 2005. Vulnerable populations: lessons learnt from the summer 2003 heat waves in Europe. *Euro Surveillance* 10(7): 147 (available at <http://www.eurosurveillance.org/em/v10n07/1007>- 221.asp, last accessed 11-11-2005).
- (17) Robine JM, Cheung SL, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol*. 2008 Feb;331(2):171-8.
- (18) Calado R, Nogueira PJ, Catarino J, Paixão E, Botelho J, Carreira M, Falcão JM - A onda de calor de Agosto de 2003 e os seus efeitos sobre a mortalidade da população portuguesa. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, 2004; 22(2):7-20.
- (19) Direcção Geral de Saúde - Administração Regional de Saúde do Norte (2009) Plano de Contingência Regional Ondas de Calor, Região Norte, Relatório final.
- (20) Direcção Geral de Saúde - Administração Regional de Saúde do Norte (2010) Plano de Contingência Regional Ondas de Calor, Região Norte, Relatório final.
- (21) Direcção Geral de Saúde - Administração Regional de Saúde do Norte (2011) Plano de Contingência Regional para as Temperaturas Adversas, Modulo Calor Região Norte, Relatório final.