

## VULNERABILIDADE DA POPULAÇÃO DA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA EM RELAÇÃO AOS EXTREMOS TÉRMICOS: UMA TENTATIVA DE MODELAÇÃO ESPACIAL

**P Canário, H Andrade, H Nogueira**

### **RESUMO**

O impacto das temperaturas extremas na mortalidade humana tem sido objecto de numerosos estudos, desenvolvidos quase sempre a escalas nacionais ou regionais. No entanto, observações a escalas de maior pormenor permitem sublinhar variações na mortalidade resultantes da especificidade do local, decorrentes tanto de contrastes climáticos locais, como de factores demográficos, socioeconómicos e culturais, condicionantes da vulnerabilidade das populações. Neste sentido, está a ser desenvolvido um modelo espacial, ao nível local, da perigosidade – vulnerabilidade – risco de morrer em situações de extremos térmicos na Área Metropolitana de Lisboa. As variações espaciais dos elementos atmosféricos (factores de perigosidade) são modeladas utilizando o Brazilian Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS). A vulnerabilidade, dependente da sensibilidade e do nível de exposição individual ao evento perigoso, será avaliada por medidas compósitas integrando diferentes variáveis (demográficas e socioeconómicas) e diferentes níveis de análise (análise hierárquica considerando factores individuais e contextuais). Os resultados preliminares mostram, durante a vaga de calor de 2003, uma forte variação da temperatura entre o litoral, menos quente e com menor taxa de mortalidade e o interior, mais quente e com mortalidade, em geral, superior. A vulnerabilidade revelou-se fortemente condicionada pelos factores demográficos - as populações mais envelhecidas e com maiores níveis de feminilidade são mais fortemente afectadas.

### **1 INTRODUÇÃO**

Os impactos dos extremos térmicos sobre a morbidade e mortalidade das populações têm sido objecto de numerosos estudos (Dessai, 2002; 2003; Díaz et al., 2006; Hutter et al., 2007; Kovats and Hajat, 2008; Tan e tal., 2007; Knowlton et al., 2009). Espera-se que as alterações climáticas aumentem esses impactos no Verão, amortecendo-os no Inverno (Meehl and Tebaldi, 2004; Patz et al., 2005; Casimiro et al., 2006). A vaga de calor de Agosto de 2003, que foi o período mais quente, nesta área, desde o início do século XVI (Luterbacher et al. 2004) e que terá provocado a morte a mais de 70 000 pessoas na Europa (Robine *et al.* 2008), despertou o interesse das autoridades e investigadores europeus para este tema. Complementarmente às temperaturas elevadas, considera-se hoje que o ozono ( $O_3$ ) é um factor importante no desencadeamento da mortalidade em situações de vagas de calor (Fischer et al., 2004; Lacour et al., 2006; Pelegrini e tal., 2007). Não obstante os impactos das vagas de calor serem no presente mais conhecidos e estudados, refira-se que a mortalidade associada ao frio é maior, inclusive no Sul da Europa, onde o Inverno é considerado ameno (Alberdi et al.; 1998; Keatinge et al.; 2004).

O estudo da relação entre temperatura e mortalidade permite concluir que em, diferentes regiões, os valores mínimos de mortalidade ocorrem em determinados intervalos de temperatura – correspondentes a uma temperatura óptima – acima e abaixo dos quais aumenta o número de óbitos. Os limiares e a amplitude desse intervalo variam regionalmente, reflectindo a capacidade de adaptação térmica humana (Alberdi et al., 1998; Curriero et al., 2002; Medina-Rámon et al., 2006). Há, pois, uma grande variação nesses limiares; por exemplo, em Espanha, em situações de calor, foram identificados limiares para aumento de mortalidade de 26.2°C, na Galiza e de 41.2°C, na Andaluzia – uma variação de quase 15°C no valor de temperatura associado ao aumento da mortalidade (Diaz et al., 2005).

Os efeitos dos extremos térmicos sobre a saúde têm sido estudados sobretudo a nível nacional ou regional. Existem, contudo, variações espaciais de escala mais fina, observadas, por exemplo, no aumento da mortalidade registado durante as vagas de calor. Essas dissimetrias espaciais poderão dever-se, por um lado, aos contrastes climáticos locais (devidos por exemplo à urbanização) e, por outro lado, à desigual vulnerabilidade das populações.

O impacto na mortalidade depende da forma como cada indivíduo experiêcia a tensão fisiológica decorrente do stress climático, variando com a idade e com outras características demográficas e socioeconómicas; os indivíduos mais sensíveis são sobretudo idosos e aqueles que apresentam patologia prévia específica (Paixão et al, 2006), associando-se o excesso de mortalidade principalmente a doenças dos aparelhos respiratório e circulatório (Patz et al. 2005; Haines et al. 2006; Kovats and Hajat, 2008). Factores como o sexo, a capacidade respiratória e cardiovascular, o tamanho e a composição corporal (percentagem de gordura corporal) são outros dos factores que têm sido implicados na relação temperatura – mortalidade (Havenith, 2005). Para a sensibilidade individual contribuem ainda factores culturais, sociais e económicos, como o isolamento/suporte social e o estatuto socioeconómico; a sensibilidade aumenta para indivíduos e grupos da base da hierarquia social, o que se compreende atendendo a factores como o tipo de ocupação (predominantemente manual, envolvendo esforço físico), as piores condições de trabalho, o mais difícil acesso à informação e o menor acesso aos serviços de saúde, entre outros.

Para além da sensibilidade individual, os impactes dos extremos térmicos na mortalidade relacionam-se com o nível de exposição de cada indivíduo ao evento térmico. Por sua vez, a exposição decorre quer da mobilidade individual, quer das características dos locais de trabalho e de residência, como a qualidade da habitação e a estrutura verde. A exposição está, pois, relacionada com a sensibilidade: o estatuto socioeconómico condiciona não apenas o tipo de ocupação e o acesso à informação, mas também a qualidade da habitação, as características do local de residência e a mobilidade; a idade e o sexo relacionam-se também com a mobilidade.

A vulnerabilidade de cada indivíduo aos extremos térmicos deve então considerar factores relativos à sensibilidade, à exposição e ainda as inter-relações existentes entre estes factores: por exemplo, a vulnerabilidade de um indivíduo idoso pode resultar de alterações fisiológicas decorrentes do envelhecimento biológico, da existência de patologia respiratória ou cardíaca, do baixo rendimento, que condiciona as condições da habitação e a capacidade de pagar cuidados de saúde, da reduzida mobilidade, do isolamento social. Alguns destes factores são potenciados pelo sexo; por exemplo, as mulheres são mais

sensíveis ao calor, devido a factores hormonais (Havenith, 2005), sendo também provável que, dada a sua maior longevidade, se encontrem socialmente isoladas, vivendo sós, com pouca mobilidade, condições que agravam a sua vulnerabilidade.

Todavia, muitas das variáveis subjacentes à vulnerabilidade (sensibilidade e exposição) são redundantes, podendo e devendo ser sintetizadas através de indicadores compósitos de vulnerabilidade. Estas medidas têm conhecido um amplo desenvolvimento e têm sido aplicadas tanto na análise dos impactes dos extremos térmicos na saúde, como em estudos mais genéricos de variações espaciais da saúde. Considerando a sensibilidade ao calor como um componente da vulnerabilidade, McGregor et al (2008) desenvolveram um índice compósito de sensibilidade, que aplicaram a 4765 unidades espaciais de Londres. As variáveis consideradas nesse índice foram: percentagens de população idosa (entre 65 e 84 anos) e muito idosa (mais de 65 anos), percentagem de população com doença incapacitante de longa duração, percentagem de população institucionalizada (em estabelecimentos prestadores de cuidados médicos e sociais), percentagem de população residente em alojamento partilhado (apartamento); nível de privação da população (índice de privação múltipla que inclui uma variável relacionada com a educação), percentagem de famílias com residência a partir do quinto andar (inclusive), percentagem de famílias constituídas por reformados vivendo sós, densidade populacional. As variáveis foram classificadas em decis, aos quais foi atribuída uma pontuação entre 1 a 10. O índice de sensibilidade resultou da acumulação das pontuações dos decis para as nove variáveis, podendo teoricamente variar entre um valor mínimo de 9 a um valor máximo 90.

Em Portugal, não foi ainda criada uma medida que permita avaliar a sensibilidade da população aos factores climáticos; no entanto, refira-se que algumas medidas compósitas de vulnerabilidade têm sido desenvolvidas e aplicadas a estudos de variações em saúde. Uma destas medidas foi desenvolvida para avaliar a privação múltipla nas freguesias da Área Metropolitana de Lisboa (AML), relacionando-a com a mortalidade prematura, concluindo-se pela forte associação entre privação socioeconómica e mortalidade prematura (Nogueira, 2007).

## 1.1 Objectivos

Considerando que a mortalidade associada a extremos térmicos varia à escala local, em resultado tanto de contrastes climáticos locais, como da desigual vulnerabilidade das populações, pretende-se desenvolver um modelo espacial dos impactes dos extremos térmicos sobre a mortalidade para a AML, a uma escala de pormenor. O trabalho está ainda em desenvolvimento, apresentando-se aqui a metodologia seguida e os primeiros resultados.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar a variação espacial da mortalidade associada a extremos térmicos na AML, foi desenvolvido um modelo de Perigosidade-Vulnerabilidade-Risco (Zêzere, 2001). Neste, considera-se que o risco de morrer numa vaga de frio ou de calor é o produto da perigosidade pela vulnerabilidade (fig. 1); a perigosidade corresponde à probabilidade de ocorrência do fenómeno potencialmente perigoso – temperaturas excepcionalmente elevadas ou baixas e outros factores ambientais associados (por exemplo o vento, a temperatura radiativa e a qualidade do ar); a vulnerabilidade, por sua vez, depende da sensibilidade e do nível de exposição dos indivíduos ao fenómeno perigoso. Para além da

perigosidade e da vulnerabilidade, a avaliação do risco deve ainda considerar o valor, entendido como quantificação dos danos ou perdas. Este modelo é apresentado na figura 1.

### Modelo Conceptual de Risco a Extremos Térmicos



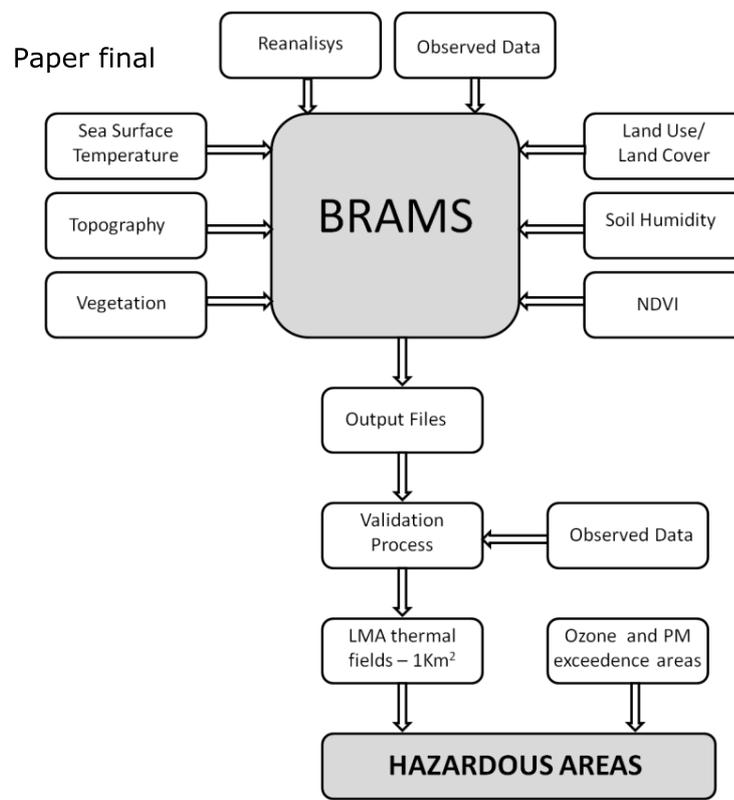
**Fig. 1 Modelo conceptual de risco de extremos térmicos**

Os dados e os métodos diferem para os diferentes termos do modelo de avaliação do Risco, bem como o estágio de desenvolvimento dos trabalhos.

#### 2.1 Perigosidade

As variações espaciais da perigosidade (elementos atmosféricos e qualidade do ar) são modeladas utilizando o Brazilian Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS) (fig. 2) e os resultados validados utilizando uma rede de 17 registadores de temperatura e humidade do ar instalados na AML.

São utilizados dados de qualidade do ar disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente e, de forma complementar, será desenvolvido um modelo de variação espacial do Ozono (O<sub>3</sub>). Os dados de mortalidade para o desenvolvimento deste modelo foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística, consistindo no número de óbitos diários por grupo etário e sexo, desagregados ao nível da freguesia.



**Fig. 2 Modelação espacial da perigosidade**

## 2.2 Vulnerabilidade

De forma complementar, está a ser desenvolvido um modelo de vulnerabilidade das populações, considerando-se que esta resulta quer da sensibilidade, quer do nível de exposição dos indivíduos ao fenómeno perigoso. Considera-se que a vulnerabilidade dos indivíduos é condicionada por factores de diferentes níveis – individual, local, regional, nacional (Metzger et al., 2006) (fig. 3).

# Escala Nacional

Políticas e  
Intervenções no Território

Desenvolvimento  
Económico



**Fig. 3 Elementos determinantes da sensibilidade aos extremos térmicos**

O estudo encontra-se numa fase inicial de selecção e recolha de um conjunto de variáveis individuais discriminativas das características demográficas (essencialmente sexo e idade), constitucionais (estado de saúde) e socioeconómicas dos indivíduos (Nogueira, 2007); aos níveis local e nacional relevam variáveis relacionadas com a estrutura social (com relevância para o tipo de laços familiares e sociais mantidos), bem como com a qualidade e acessibilidade aos cuidados de saúde. A sensibilidade é definida pela relação dose-resposta (Ebi et al. 2006); perante determinado valor de perigosidade (extremo térmico) e de exposição, em diferentes populações verificar-se-ão diferentes valores de mortalidade, de acordo com a variação da sua sensibilidade. A carga térmica (dose) é determinada pelo tempo de sujeição de um indivíduo a um valor extremo de temperatura. O nível de exposição será avaliado pela mobilidade dos indivíduos e ainda pelas suas condições de vida, ambas muito condicionadas pelo contexto socioeconómico e cultural.

Para integrar os diferentes níveis de informação subjacentes à vulnerabilidade – individual, local, regional – serão utilizadas técnicas de análise estatística multinível (Leyland and Groenewegen, 2003), pretendendo-se, com isso, desenvolver um modelo de vulnerabilidade, que, combinado com a variação espacial dos factores ambientais, permita compreender a distribuição espacial da mortalidade e prever os impactes de futuros eventos extremos.

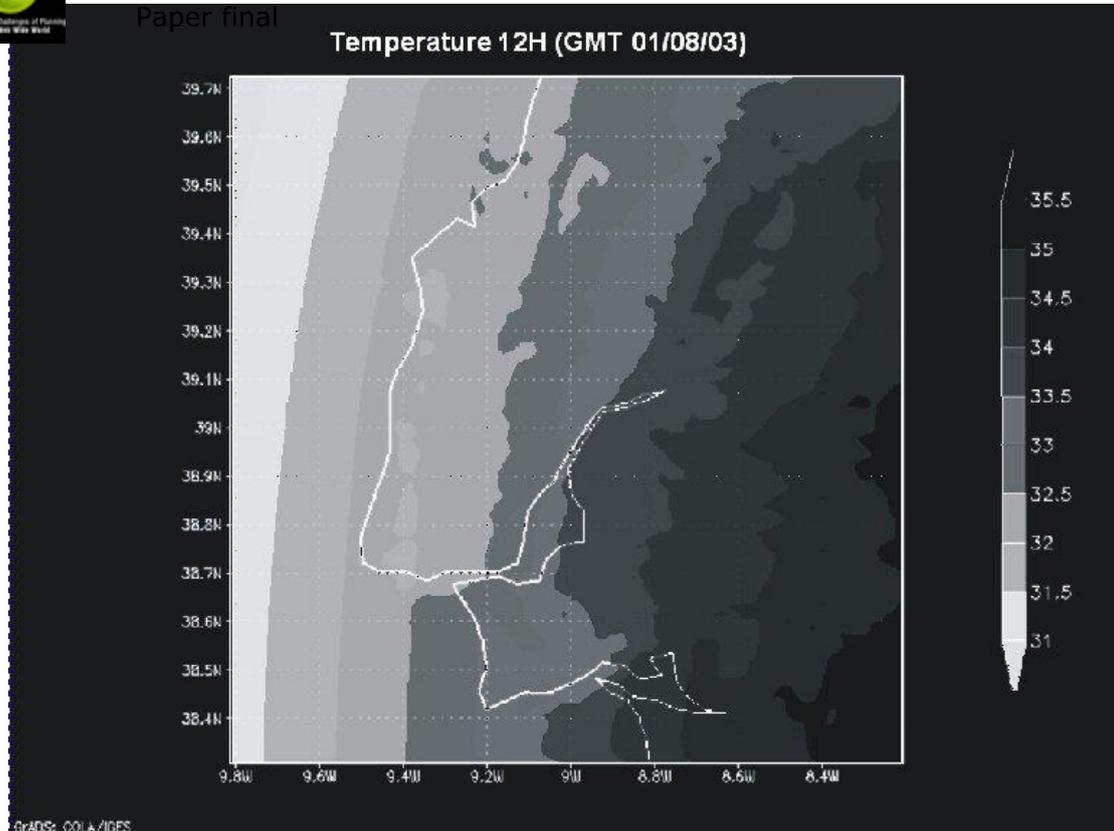
### 2.3 Valor

O último termo da equação apresentada - o valor - relaciona-se com a quantificação das perdas e será calculado através dos “Anos de Vida Perdidos” (AVP). Este indicador é definido como o número de anos de vida “perdidos” quando um indivíduo morre prematuramente e é calculado a partir do número de mortes em cada idade multiplicado pela esperança média de vida para a idade em que a morte ocorre (Lopez et al., 2006).

## 3 RESULTADOS PRELIMINARES

Os primeiros resultados da modelação climática, utilizando o BRAMS (Fig. 4) mostram uma forte variação da temperatura entre o litoral e o interior. A título experimental, foi modelado o campo térmico no dia 1 de Agosto de 2003, que foi o mais quente e mais “mortífero” da vaga de calor do Verão de 2003. Em Lisboa/Gago Coutinho, a temperatura do ar atingiu o valor máximo de 42°C e a sobremortalidade atingiu cerca de 60 óbitos na área metropolitana. As temperaturas mais baixas na área estudada ocorreram no litoral ocidental da Península de Lisboa (inferiores a 32.5°C), coincidindo também com os menores valores das taxas de mortalidade. Refira-se que várias freguesias desta área registaram taxas de mortalidade inferiores a 4 óbitos por 10 000 habitantes, enquanto para o interior as taxas de mortalidade foram em geral superiores a 8 (e em certos casos a 10) óbitos por 10 000 habitantes.

Uma análise preliminar da vulnerabilidade demonstrou que esta é fortemente condicionada pelos factores demográficos. Como seria de esperar, as populações mais envelhecidas e com maiores níveis de feminilidade são mais fortemente afectadas. O facto de as mulheres idosas serem particularmente vulneráveis ao calor é consistente com outros estudos já publicados, embora não seja totalmente generalizável e as causas não estejam ainda totalmente compreendidas (Kovats e Hajat, 2008; Nogueira e Paixão, 2008). Verifica-se portanto que é necessário controlar o efeito do sexo e da idade na taxa de mortalidade, a fim de identificar a importância de outros factores (nomeadamente socioeconómicos) na variação espacial da mortalidade.



**Fig. 4 – Campos térmicos na Área Metropolitana de Lisboa**

#### Bibliografia

Alberdi, J.C., Diaz, J., Montero, J.C. and Mirón, I. (1998) Daily mortality in Madrid community 1986-1992: Relationship with meteorological variables. **European Journal of Epidemiology** 14:571-578

Casimiro, E., Calheiros, C., Santos, F.D., Kovats, S. (2006) National assessment of human health effects of climate change in Portugal: approach and key findings. **Environ Health Perspect** 114:1950–1956

Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, R., Toccaceli, V., Vichi, M., Beltrano, C., Perini, L. (2005) Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy. **Environ Res** 98:390–399

Curriero, F.C., Heiner, K.S., Samet, J.M., Zeger, S.L., Strug, L., Patz, J.A. (2002) Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. **Am J Epidemiol** 155:80–87.

Dessai, S. (2002) - Heat stress and mortality in Lisbon Part I - Model construction and validation. **Int J Biometeorol** 47:6–12

Dessai, S. (2003) - Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change. **Int J Biometeorol** (2003) 48:37–44

- Díaz, J., Ballester, F. and López-Vélez, R. (2005), “Impactos sobre la salud humana” In **Impactos del Cambio Climatico en España** cap.16
- Ebi, K.L., Mills, D.M., Smith, J.B., Grambsch, A. (2006) Climate Change and Human Health Impacts in the United States - An Update on the Results of the U.S. National Assessment. **Environmental Health Perspectives** 114: 1318-1324.
- Fischer, P.H., Brunekreef B., Lebet, E. (2004) Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands. **Atmospheric Environment** 38: 1083–1085
- Havenith, G. (2005) Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress. In Wilhelm Kirch, B. Menne, R. Bertollini (eds), **Extreme Weather Events and Public Health Responses**: 69-80
- Haines, H., Kovats, R.S. and Corvalan, C. (2006) Climate change and human health - impacts, vulnerability, and mitigation. **Lancet** 367:2101–09
- Hutter, H., Moshammer, H., Wallner, P., Leitner, B. and Kundi, M. (2007) Heatwaves in Vienna: effects on mortality. **Wien Klin Wochenschr** 119/7–8: 223–227
- Keatinge, W.R. and Donaldson, G.C. (2004) Winter mortality in elderly people in Britain: Action on outdoor cold stress is needed to reduce winter mortality. **BMJ** 329;976
- Knowlton, K., Rotkin-Ellman, M., King, G., Margolis, H.G., Smith, D., Solomon, G., Trent, R., English, P. (2009) The 2006 California Heat Wave: Impacts on Hospitalizations and Emergency Department Visits. **Environmental Health Perspectives** 117:1 | January
- Kovats, R.S., Hajat, S. (2008) Heat stress and public health: a critical review. **Annual Review of Public Health**, 29: 41-55.
- Lacour, S.A., Monte, M., Diot, P., Brocca, J., Veron, N., Colin, P. and Leblond, V. (2006) Relationship between ozone and temperature during the 2003 heat wave in France: consequences for health data analysis. **BMC Public Health** 6:261
- Leyland, A.H. and Groenewegen, P.P., (2003), “Multilevel modelling and public health policy”. **Scand J Public Health**, 31: 267–274
- Lopez, A.D., Mathers, C.D., Ezzati, M., Murray, C.J.L. and Jamison, D.T. (2006), “Global burden of disease and risk factors”. New York, Oxford University Press
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., Wanner, H. (2004) European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. **Science** 303:1499–1503
- McGregor, G., Tanja, W. (2008) Development and Validation of an Index for Mapping Heat Vulnerability Hotspots in Urban Areas. Human 1, Symposium
- Medina-Ramón, M., Zanobetti, A., Cavanagh, D.P. and Schwartz, J. (2006) Extreme Temperatures and Mortality - Assessing Effect Modification by Personal Characteristics

and Specific Cause of Death in a Multi-City Case-Only Analysis. **Environmental Health Perspectives** 114:1331-1336

Meehl, G., Tebaldi, C. (2004) More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. **Science** 305, 994

Metzger, M.J., Schröter, D. (2006) - Towards a spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of environmental change in Europe. **Reg Environ Change** 6:201–216

Nogueira, H. (2007), “Privação sociomaterial e saúde na Área Metropolitana de Lisboa”. In: P. Santana (coord.), **A Cidade e a Saúde**. Coimbra, Edições Almedina, p. 155-162.

Nogueira, P. and Paixão, E. (2008) Models for mortality associated with heatwaves: update of the Portuguese heat health warning system. **Int. J. Climatol.** 28: 545–562

Paixão, E., Nogueira, P., Nunes, A., Nunes, B., Falcão, J. (2006) Onda de calor de Julho de 2006: Efeitos na mortalidade - **Estimativas preliminares para Portugal Continental**. Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge

Patz, J.A., Campbell-Lendrum, C., Holloway, T. and Foley, J.A. (2005) Impact of regional climate change on human health. **Nature** 437 41-88

Pellegrini, E., Lorenzini, G. Nali, C. (2007) The 2003 European Heat Wave: Which Role for Ozone? Some Data from Tuscany, Central Italy, *Water Air Soil Pollut.* 181:401–408

Robine, J., Cheung, S.L.K., Sophie, L.R., Herman, V.O., Clare, G., Michel, J. and Herrmann, F.R. (2008) Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. **C. R. Biologies** 331, p.171–178

Tan, J., Zheng, Y., Song, G., Kalkstein, L.S., Kalkstein, A., Tang X (2007) Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003. **Int J Biometeorol** 51:193–200.

Zêzere, J.L. (2001) Distribuição e Ritmo dos Movimentos de Vertentes na Região a Norte de Lisboa. Centro de Estudos Geográficos. Área de Geografia Física e Ambiente. **Relatório nº 38**