

Um sistema de vigilância e alerta de ondas de calor com efeitos na mortalidade: o índice Ícaro

PAULO JORGE NOGUEIRA

BALTASAR NUNES

CARLOS MATIAS DIAS

JOSÉ MARINHO FALCÃO

Desde Maio de 1999 está em execução um sistema de vigilância e alerta de ondas de calor e das suas repercussões sobre os óbitos. Este sistema de vigilância/alerta insere-se no âmbito de uma linha de investigação desenvolvida no Observatório Nacional de Saúde do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, designada por projecto ÍCARO, e foi implementado em parceria com o Instituto de Meteorologia.

A exequibilidade deste sistema de alerta resultou do conhecimento adquirido em trabalhos anteriores sobre a relação entre temperaturas excessivas e mortalidade e da possibilidade de dispor de informação em tempo útil sobre variáveis meteorológicas observadas e previstas.

Assim, com base nos modelos estatísticos desenvolvidos para estabelecer a relação entre temperaturas altas e mortalidade para a região de Lisboa, criou-se um índice, o índice Ícaro, que é calculado diariamente de Maio a Setembro. Com base nas observações e previsões da temperatura

feitas a três dias e fornecidas diariamente pelo Centro de Análise e Previsão do Tempo do Instituto de Meteorologia tornou-se possível prever ondas de calor que possam repercutir-se na mortalidade da população.

Introdução

É clara e recorrente a descrição de uma associação positiva entre temperaturas elevadas e mortalidade (Kalkstein *et al.*, 1996). São inúmeros os exemplos de episódios de ondas de calor em grandes cidades ou áreas bem definidas onde se estabelece uma relação causal entre temperaturas máximas e mortalidade humana.

Em Portugal ocorreram nas últimas décadas duas ondas de calor separadas por dez anos, uma em Junho de 1981 e outra em Julho de 1991. As consequências da onda de calor de 1981 foram abordadas em Falcão, Castro e Falcão (1988), onde a relação entre essa onda e a mortalidade no distrito de Lisboa era apontada como altamente provável. Agora, em García, Nogueira e Falcão (1999) é um facto que a onda de calor de 1981 está associada positivamente com um excesso de mortalidade observada, quantificada em cerca de 1900 mortes para todo o país, número que fica aquém do avançado em 1988, devido a diferenças regionais.

Um tão elevado número de óbitos num período tão limitado de tempo, sendo clara a sua relação com o excesso de temperatura e existindo evidências de que



Paulo Jorge Nogueira é licenciado em Probabilidades e Estatística, mestre em Probabilidades e Estatística, Observatório Nacional de Saúde do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge.

Baltasar Nunes é licenciado em Estatística e Investigação Operacional, Observatório Nacional de Saúde do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge.

Carlos Matias Dias é médico de saúde pública, mestre em Epidemiologia, Observatório Nacional de Saúde do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge.

José Marinho Falcão é licenciado em Medicina, mestre em Epidemiologia, assistente graduado de Saúde Pública, director do Observatório Nacional de Saúde do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge.

parte desses óbitos seria evitável [Falcão, Castro e Falcão (1988)], impunha que se desenvolvessem modelos de previsão das ondas de calor com repercussões severas na saúde, por forma que se pudesse intervir adequadamente.

Como tal, com base nos conhecimentos empíricos da onda de calor de 1981 e na literatura, foram desenvolvidos modelos estatísticos no Observatório Nacional de Saúde (ONSA) do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, descritos em Nunes e Canto e Castro (1998) e Nunes, Canto e Castro e Falcão (1998), usando metodologias de séries temporais aliadas a técnicas de regressão dinâmica que propuseram como preditores do número de óbitos diários funções matemáticas da temperatura máxima diária observada.

Partindo destes modelos foi possível construir um índice que de forma simples indica se estamos perante uma onda de calor com prováveis consequências na mortalidade.

Material e métodos

O índice Ícaro

Perante as suspeitas fundadas de uma relação entre o excesso de calor e mortalidade, o ponto de partida fundamental foi a construção de um modelo matemático para essa relação.

A construção desse modelo permite estabelecer que variáveis climatéricas conduzem a uma boa previsão da mortalidade associada a temperaturas elevadas e esclarecer, desse modo, qual a natureza da relação calor-óbitos.

Além disso, a existência de previsões a três dias das ondas de calor e concomitante mortalidade permite avançar na construção do índice Ícaro e de um sistema de vigilância e alerta nele baseado.

O modelo descrito em Nunes e Canto e Castro (1998) baseia-se numa covariável, função da temperatura máxima diária, que se designou por *sobrecarga térmica acumulada* (STA). Esta covariável é dada pelo número de dias a que a temperatura máxima diária se encontra acima dos 32°C, um valor sugerido pela literatura [Garcia, Nogueira e Falcão (1999)], ponderados pelo excesso da temperatura máxima acima dos mesmos 32°C. O modelo toma a seguinte forma:

$$Y_t = C + \alpha STA_{t-1} + \phi_1 Y_{t-1} + \theta_1 a_t + a_t = C + \alpha STA_{t-1} + \eta_t$$

onde Y_t representa o número de óbitos no dia t , STA_{t-1} a *sobrecarga térmica acumulada* observada no dia anterior ($t-1$), η_t um processo constituído por uma

função do número de óbitos no dia ($t-1$) mais uma estrutura de dependência nos erros das observações e C uma constante.

Em Nunes e Canto e Castro (1998) η_t era necessário porque existia aí a preocupação de modelar o mecanismo da mortalidade ao longo de todo ano. Mas, para a implementação de um sistema de vigilância/alerta que tem de dar respostas diariamente, existem duas razões para se prescindir desse processo: (1) estamos apenas interessados no período de Verão e na detecção do fenómeno das ondas de calor, não sendo a estrutura do mecanismo anual da mortalidade relevante; (2) é difícil conhecer o processo de mortes no passado recente, ou seja, um modelo que necessite do número de óbitos que ocorreram na véspera não é facilmente operacionalizável.

Então, do ponto de vista prático, parece fundamental olhar para o modelo como possuindo na sua essência duas componentes. Uma componente centrada no efeito provocado pelo excesso de calor no processo de óbitos e a outra centrada na estrutura corrente do processo de óbitos. Ora, restringido o interesse ao período de Maio a Setembro e ao distrito de Lisboa, é possível verificar que durante este período, e excluindo as ondas de calor, a mortalidade não se afasta da estacionariedade. Isto é, o processo de óbitos segue aproximadamente uma distribuição normal, com valor médio e variância estáveis ao longo do tempo, que podem estimar-se com os dados da mortalidade dos anos mais recentes.

Existem duas estimativas possíveis do número de óbitos: o número de óbitos esperados sem o efeito do calor (do processo conhecido) e o número de óbitos esperados com o efeito do calor. A partir destas duas estimativas definiu-se o índice Ícaro:

$$\text{Índice Ícaro} = \frac{\text{Número de óbitos esperados com o efeito do calor}}{\text{Número de óbitos esperados sem efeito do calor}} - 1$$

No numerador da fracção deste índice, o número de óbitos esperados com o efeito do calor é o número de óbitos estimado pelo modelo da relação temperatura-mortalidade a partir das temperaturas observadas e previstas. No denominador fica o número médio de óbitos esperados durante o Verão na ausência de ondas de calor, como foi descrito acima.

Assim, este índice pode ser também interpretado como o incremento estimado de óbitos devido a efeitos do calor, ponderado pelo número médio de óbitos esperados quando não existe efeito do calor.

O índice está delineado de forma que seja zero sempre que não exista qualquer efeito do calor na mortalidade.

Para exemplificar o comportamento do índice Ícaro e facilitar a sua discussão, utilizaram-se os dados da mortalidade de 1981 e de 1991 obtidos a partir da base de dados da mortalidade do Instituto Nacional de Estatística de Maio a Setembro e as respectivas temperaturas. Para aferir a aderência do índice, e consequentemente do modelo, à realidade, apresenta-se o índice Ícaro calculado retrospectivamente durante cada uma das ondas de calor e também o índice Ícaro real. O índice Ícaro real é calculado com a fórmula do índice Ícaro, usando o número de óbitos observados

em cada dia, em vez das respectivas estimativas obtidas através do modelo.

Resultados

As Figuras 1 e 2 apresentam o índice Ícaro tal como está implementado correntemente e tal como teria sido calculado diariamente, quer na onda de calor de 1981 (Figura 1), quer na onda de calor de 1991 (Figura 2). Incluem-se também dois traçados, um

Figura 1
Comparação para a onda de calor de 1981 da previsão do sistema implementado com o índice Ícaro real observado

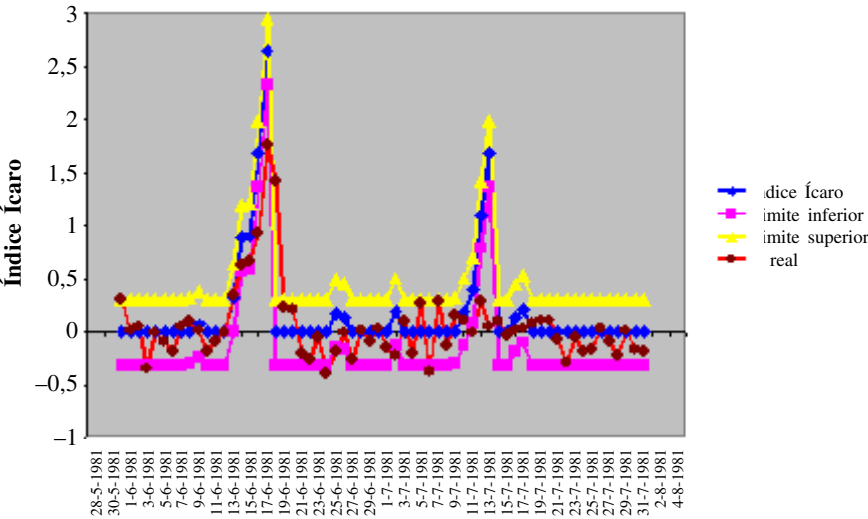
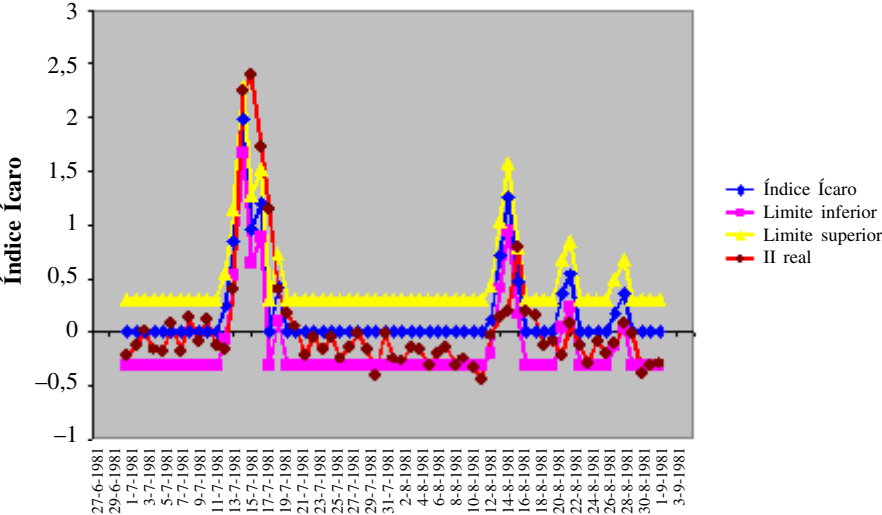


Figura 2
Comparação para a onda de calor de 1991 da previsão do sistema implementado com o índice-Ícaro real observado



superior e outro inferior, correspondentes aos limites de 95% de confiança para o processo de mortes sem efeitos de onda de calor, acrescentando-se em cada caso o valor do índice Ícaro real.

É visível que o índice se adapta à onda de calor de 1981, funcionando bem tanto na sua detecção como na determinação da sua amplitude. Em Julho existe um pequeno excesso de mortalidade que é antecipado pelo índice mas sobrestimado. Existem ainda duas pequenas perturbações em Julho que não têm correspondência em termos de óbitos.

Em 1991 existe uma onda de calor em Julho, a qual o índice Ícaro detecta, mas sobrestimando a sua severidade. De facto, o índice aponta para valores semelhantes aos verificados em Junho de 1981, mas, felizmente, não se verificaram esses níveis em termos de óbitos. Existe um claro falso alarme em Agosto de 1991, onde o número de óbitos observados não acompanhou o previsto pelo modelo.

Relatório do índice Ícaro

Com base nas temperaturas previstas e no respectivo índice Ícaro é elaborado diariamente desde Maio de 1999 um relatório do índice Ícaro (v. Apêndice). Neste relatório são apresentados os elementos considerados pertinentes, que incluem:

1. Os vinte e dois valores mais recentes do índice Ícaro, incluindo as previsões para o próprio dia e para os dois dias seguintes, e os traçados correspondentes aos limites de 95% de confiança;
2. Os traçados *baseline* correspondentes à situação de inexistência de efeitos de calor na mortalidade;
3. Os valores do índice Ícaro real atingidos durante as ondas de calor de 1981 e 1991, que servem como termo de comparação.

Existem ainda informações sobre valores para os dez dias mais recentes, nomeadamente o índice Ícaro propriamente dito, os respectivos limites de 95% de confiança e as temperaturas observadas e previstas. Com base na informação existente para os três últimos dias, respeitantes às previsões, é emitido automaticamente no próprio relatório um comentário consoante a situação em curso e que pode originar procedimentos diversos. As situações previstas são quatro, operacionalizadas através do limite inferior de 95% de confiança para o índice Ícaro, da seguinte forma:

Lim. inf. = - 0,31* → Efeito nulo sobre a mortalidade.

* Um limite inferior do intervalo de 95% de confiança igual a - 0,31 corresponde a um índice Ícaro igual a zero.

- 0,31 < Lim. inf. ← 0,31 → Efeito não significativo sobre a mortalidade.

0,31 < Lim. inf. ← 0,93 → Provável efeito sobre a mortalidade.

Lim. inf. > 0,93 → Possível alerta de onda de calor em avaliação.

Estas situações podem ser consideradas como tendo graus de severidade crescente, atribuindo-se ao conjunto dos três dias a maior severidade observada em cada um dos dias.

Como facilmente se depreende, a primeira e segunda situações não implicam quaisquer procedimentos especiais. Por sua vez, a terceira situação implica uma atenção especial, que passa pelo diálogo estreito entre o ONSA e o Centro de Análise e Previsão do Tempo (CAPT) no sentido de avaliar a possível evolução meteorológica para os dias seguintes. Esta situação, bem como a seguinte, já com a possibilidade de onda de calor em avaliação, podem implicar ainda a actualização das previsões do índice com base nas observações da temperatura do próprio dia e nos possíveis ajustes das previsões meteorológicas mais do que uma vez por dia.

A informação contida no relatório do índice Ícaro é enviada diariamente ao Serviço Nacional de Protecção Civil e à Autoridade Nacional de Saúde para decisão sobre uma eventual intervenção.

Discussão

O sistema de vigilância e alerta que aqui se apresenta, apesar de não ser certamente perfeito, parece ter a sensibilidade necessária para funcionar bem em situações de risco reais. Em termos de especificidade, isto é, na sua capacidade para evitar falsos alarmes, está longe de ser perfeito. Mas, claramente, num sistema de alerta não pode sacrificar-se a sensibilidade à especificidade.

A ocorrência de falsos alarmes num sistema de alerta não é um problema grave desde que o sistema denote uma muito boa sensibilidade. De facto, o índice Ícaro, implementado como se descreve neste trabalho, parece mostrar uma boa capacidade de detectar todas as ondas de calor de que temos conhecimento e avaliar a severidade do seu impacto na mortalidade.

Convém tornar claro que o intervalo de confiança que acompanha o índice Ícaro, sempre que existe uma intervenção do calor no processo de óbitos, continua a ser o intervalo de confiança do processo de mortes sem efeitos do calor. Provavelmente, existe uma variação suplementar devida à incerteza asso-

ciada ao mecanismo de ocorrência de excesso de óbitos devidos ao calor; no entanto, as ondas de calor são demasiado raras para que tenhamos uma ideia dessa variação.

O índice Ícaro, tal como é calculado diariamente, tem uma fonte suplementar de variação para os três últimos valores, pois as respectivas temperaturas são apenas previsões para o dia corrente e para os dois dias que se lhe seguem.

Em termos da implementação do sistema de vigilância/alerta Ícaro, embora o modelo de que partimos se refira à sobrecarga térmica acumulada até ao dia anterior, não é particularmente relevante ter este aspecto em consideração, já que os dados que possuímos são previsões a três dias e é nesses dados que temos de basear a decisão de lançar um alerta ou não.

A decisão de intervir junto da população a partir de um alerta gerado pelo sistema baseado no índice Ícaro terá de ter em conta, por um lado, a relativa falta de especificidade do índice, com os consequentes receios e pânicos que uma intervenção pode gerar, e, por outro lado, a sua boa sensibilidade e consequente potencial ganho de vidas humanas.

No entanto, o sistema de alerta descrito neste trabalho pode gerar um falso alarme, isto é, alertar para a existência de um possível excesso de mortalidade devida a calor e ele não se verificar; não o faz, porém, sem que exista de facto uma onda de calor. Portanto, não existe um alerta baseado no índice Ícaro sem que existam temperaturas máximas do ar elevadas, pois é esse o elemento essencial do modelo da relação calor-mortalidade.

Assim, a existência de falsos alarmes que dêem origem a intervenções não acarreta inconvenientes para a população, porque o calor está presente, podendo mesmo contribuir para a sua consciencialização sobre o efeito e o perigo dessas situações.

As imperfeições do índice Ícaro carecem de investigação adicional com base em dados da temperatura de outros anos e de outras regiões do país.

O facto de o sistema de vigilância e alerta Ícaro existir já implementado no terreno põe o conhecimento científico adquirido ao serviço dos cidadãos e da saúde pública, estimulando adicionalmente o encetar de passos no aperfeiçoamento deste sistema.

□ Referências bibliográficas

KALKSTEIN, L. S., *et al.* — The Philadelphia hot weather – health watch/warning system : development and application, Summer 1995. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 77 : 7 (1996) 1519-1528.

GARCIA, A. C.; NOGUEIRA, P. J.; FALCÃO, J. M. (1999) — Onda de calor de Junho de 1981 em Portugal : efeitos na mortalidade. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*. Volume temático: 1 (1999).

FALCÃO, J. M.; CASTRO, M. J.; FALCÃO, M. L. M. — Efeitos de uma onda de calor na mortalidade da população de Lisboa. *Saúde em Números*. 3 : 2 (1988) 10-12.

NUNES, B.; CANTO E CASTRO, L. — Não morrer de calor!... Será uma questão de habituação? In MIRANDA, M. S.; PEREIRA, I., ed.lit. — Estatística : a diversidade na unidade. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Estatística. Edições Salamandra, 1998, 457-463.

NUNES, B.; CANTO E CASTRO, L.; FALCÃO, J. M. — Efeitos do excesso de calor na mortalidade : modelos de previsão. Lisboa: Observatório Nacional de Saúde. Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, 1998.

Documento interno (não publicado).

□ Summary

A WATCH/WARNING SYSTEM OF HEAT WAVES AND THEIR EFFECTS ON MORTALITY: THE ICARUS INDEX

Since May 1999 a watch/warning system of heat waves and their effects on mortality is being executed. This watch/warning system was one of the consequences from a research line of Observatório Nacional de Saúde of the Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, called Projecto Ícaro, and was implemented jointly with Instituto de Meteorologia.

Feasibility of this warning system was based on acquired knowledge on the relationship between excessive temperatures and mortality and on the availability of meteorological variables both observed and predicted.

So, with base on models developed to establish the relationship between high temperatures and mortality, for the district of Lisbon, an index was created, the Icarus index, which is calculated daily from May to September. With the observed and the three days predicted daily maximum temperatures provided by Centro de Análise e Previsão do Tempo of Instituto de Meteorologia it became possible to predict heat waves that may have an impact on population's mortality.

Apêndice

Relatório do índice Ícaro do dia 15 de Julho de 1999



INSTITUTO NACIONAL DE SAÚDE
DR. RICARDO JORGE

INSTITUTO DE METEOROLOGIA



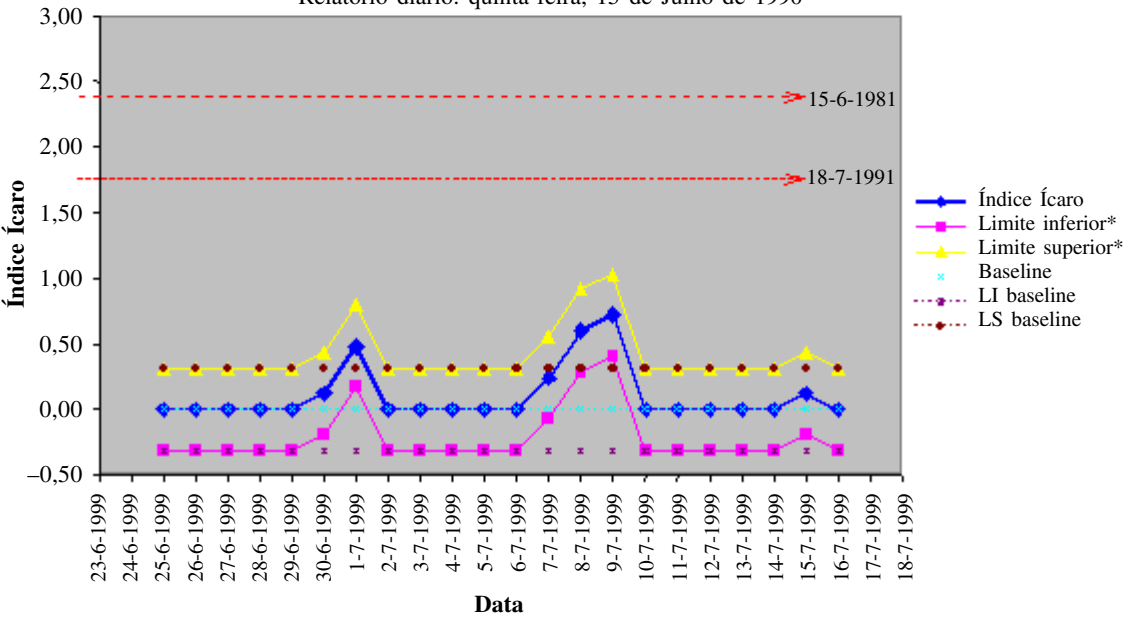
CAPT — Centro de Análise e Previsão do Tempo



Índice Ícaro

Índice de efeito do calor na mortalidade

Relatório diário: quinta-feira, 15 de Julho de 1999



Data	Índice Ícaro	Limite inferior*	Limite superior*	Temp. máxima (°C)
7-7-1999	0,24	-0,07	0,55	36
8-7-1999	0,60	0,29	0,91	37
9-7-1999	0,72	0,41	1,03	36
10-7-1999	0,00	-0,31	0,31	30
11-7-1999	0,00	-0,31	0,31	24
12-7-1999	0,00	-0,31	0,31	24
13-7-1999	0,00	-0,31	0,31	28
14-7-1999	0,00	-0,31	0,31	32
15-7-1999	0,12	-0,19	0,43	33
16-7-1999	0,00	-0,31	0,31	30

Comentário: Efeito não significativo sobre a mortalidade nos próximos três dias.