

ACESSO ABERTO

Autoria

Fábio Luiz Vieira^{1,2*}

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2711-2769>

*Correspondente: fabio.vieira16@alumni.imperial.ac.uk

Instituição

¹Imperial College London, Londres, Inglaterra.

²My Brazilian Doctor, São Paulo, SP, Brasil.

Como citar este artigo • Direitos autorais[©]

Vieira FL. Excesso de Mortalidade por Múltiplas Causas Durante Onda de Calor em Estados Brasileiros. Rev. Tec. Cient. CEJAM. 2026;5:e202650058. DOI: <https://doi.org/10.59229/2764-9806.RTCC.e202650058>.

Editores

Abel Silva de Meneses • Editor Chefe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1632-2672>

André Ramalho • Editor Científico

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8099-3043>

Submetido

26-08-2026

Aceito

03-09-2026

Artigo Original

Excesso de Mortalidade por Múltiplas Causas Durante Onda de Calor em Estados Brasileiros

Excess Mortality from Multiple Causes During a Heat Wave in Brazilian States

Exceso de Mortalidad por Causas Múltiples Durante una Ola de Calor en los Estados Brasileños

Resumo

Objetivo: Estimar o excesso de mortalidade por todas as causas durante a onda de calor de 7 a 12 de fevereiro de 2024 nos estados brasileiros apontados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) -Paraná, Rio Grande do Sul e Roraima-, caracterizar sua distribuição por causa básica e comparar a área declarada com a atingida. **Método:** Delineamento caso-cruzado com estratificação temporal e verossimilhança condicional de Poisson sobre microdados do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM). A janela foi a pré-especificada pela nota do INMET, anterior a esta análise. Dias-caso: 7 a 15 de fevereiro, com defasagem de zero a três dias; controles: demais dias do mês. Aplicaram-se controles negativos temporais e espaciais. **Resultados:** Observaram-se 4.558 óbitos contra 4.341 esperados: risco relativo 1,077 (IC95% 1,039–1,117), aproximadamente 217 óbitos em excesso. Os controles negativos foram nulos. O excesso distribuiu-se por quase todos os capítulos da CID-10, sem concentração em nenhum, poupando neoplasias (0,980) e sem gradiente por escolaridade ou idade. X30 registrou zero óbitos. **Conclusão:** Eventos extremos oficialmente reconhecidos constituem unidade analítica útil, complementar às séries temporais, para investigar o impacto sanitário de ondas de calor.

Descritores: Calor Extremo; Mortalidade; Atestado de Óbito; Sistemas de Informação em Saúde; Mudança Climática.

Abstract

Objective: To estimate all-cause excess mortality during the 7–12 February 2024 heat wave in the Brazilian states identified by the National Institute of Meteorology (INMET) -Paraná, Rio Grande do Sul and Roraima-, to characterize its distribution across underlying causes of death, and to compare the declared and the affected areas. **Method:** Time-stratified case-crossover design using conditional Poisson likelihood on microdata from the Brazilian Mortality Information System. The exposure window was the one pre-specified by the INMET technical note, published before this analysis. Case days: 7–15 February, official window plus a zero-to-three-day lag; controls: remaining days of the month. Temporal and spatial negative controls were applied. **Results:** A total of 4,558 deaths were observed against 4,341 expected: relative risk 1.077 (95%CI 1.039–1.117), approximately 217 excess deaths. Negative controls were null. The excess was distributed across nearly all ICD-10 chapters, with no concentration in any, sparing neoplasms (0.980) and with no gradient by education or age. X30 recorded zero deaths. **Conclusion:** Officially recognized extreme events constitute a useful analytical unit, complementary to time-series studies, for investigating the health impact of heat waves.

Descriptors: Extreme Heat; Mortality; Death Certificates; Health Information Systems; Climate Change.

Resumen

Objetivos: Estimar el exceso de mortalidad durante la ola de calor del 7 al 12 de febrero de 2024 en los estados brasileños señalados por el Instituto Nacional de Meteorología (INMET) -Paraná, Rio Grande do Sul y Roraima-, caracterizar su distribución por causa básica y comparar el área declarada con la afectada. **Método:** Diseño caso-cruzado con estratificación temporal y verosimilitud condicional de Poisson sobre microdatos del Sistema de Información sobre Mortalidad (SIM). La ventana fue la preespecificada por la nota del INMET, previa a este análisis. Días-caso: 7 al 15 de febrero, con retardo de cero a tres días; controles: resto del mes. Se aplicaron controles negativos temporales y espaciales. **Resultados:** Se observaron 4.558 defunciones frente a 4.341 esperadas: riesgo relativo 1,077 (IC95% 1,039–1,117), unas 217 defunciones en exceso. Los controles negativos fueron nulos. El exceso se distribuyó por casi todos los capítulos de la CIE-10, sin concentración en ninguno, exceptuando neoplasias (0,980), sin gradiente por escolaridad ni edad. X30 registró cero defunciones. **Conclusión:** Los eventos extremos oficialmente reconocidos constituyen unidad analítica útil, complementaria a las series temporales, para estudiar las olas de calor.

Descriptores: Calor Extremo; Mortalidad; Certificado de Defunción; Sistemas de Información en Salud; Cambio Climático.

INTRODUÇÃO

As ondas de calor extremo estão entre os principais desafios contemporâneos da saúde pública, e avaliar seus efeitos sobre a mortalidade é condição para subsidiar políticas de adaptação às mudanças climáticas. No Brasil, esse tema ganhou urgência diante de El Niño intenso e da elevada probabilidade de eventos extremos.

A quantificação desse impacto, entretanto, esbarra em um obstáculo estrutural: as mortes por calor praticamente não são registradas como tais. O capítulo XX da Classificação Internacional de Doenças (CID-10) dispõe do código X30 (exposição a calor natural excessivo), mas seu uso nas declarações de óbito brasileiras é próximo de zero, mesmo em períodos e locais onde eventos extremos são documentados pela autoridade meteorológica. A consequência é metodológica antes de ser política: se o calor não aparece na causa básica, o desfecho de qualquer estudo tem de ser a mortalidade por todas as causas, e a atribuição passa a depender inteiramente do desenho, não do registro clínico.

Soma-se a isso um pressuposto raramente testado. A literatura sobre calor e saúde tem privilegiado desfechos cardiovasculares: em revisão de escopo de 237 estudos conduzidos em 43 países, a doença cardiovascular é o desfecho específico mais estudado, com 61 estudos, atrás apenas da mortalidade por todas as causas, com 65⁽¹⁾. Esse recorte supõe que o efeito do calor se concentre nesse capítulo. Se, ao contrário, o calor atua como precipitante inespecífico em indivíduos com reserva fisiológica reduzida, o excesso deve aparecer disperso por muitas causas -e estudos restritos ao capítulo circulatório subestimariam o impacto. Apesar do amplo uso de séries temporais para estimar o efeito médio da temperatura sobre a mortalidade, eventos extremos individuais oficialmente reconhecidos permanecem pouco explorados como unidade analítica em epidemiologia da mortalidade.

Em 7 de março de 2024, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) publicou nota técnica descrevendo os eventos extremos de fevereiro daquele ano⁽²⁾. O documento identifica, entre os dias 7 e 12, a primeira onda de calor de 2024, com temperaturas máximas superiores a 39 °C, e registra que o calor extremo ocorreu principalmente em áreas do Paraná, do Rio Grande do Sul e de Roraima. Trata-se de verão pleno no Sul do país -calor absoluto elevado, e não anomalia relativa de estação fria. A janela analisada neste estudo é a declarada nessa nota, publicada antes de qualquer exame dos dados de mortalidade.

Este trabalho é, por desenho, uma investigação epidemiológica baseada em evento. À semelhança dos estudos de desastres naturais e de surtos, a unidade analítica é um evento extremo específico, delimitado no tempo e no espaço, oficialmente reconhecido e com avisos meteorológicos emitidos durante sua ocorrência⁽²⁾. Eventos extremos não são equivalentes entre si -diferem em duração, extensão, intensidade, estação e população exposta-, e analisar cada episódio antes de reunir evidência entre eles preserva a variação que interessa ao planejamento. Estudos centrados em eventos permitem, ainda, produzir evidência em tempo oportuno para subsidiar a resposta do sistema de saúde.

O estudo tem o objetivo de estimar o excesso de mortalidade por todas as causas durante a janela oficialmente declarada pelo INMET, nos estados por ele apontados; caracterizar a distribuição desse excesso por causa básica de óbito, testando a hipótese de excesso difuso contra a de excesso concentrado em causas cardiovasculares; e examinar em que medida a delimitação geográfica oferecida pela nota técnica corresponde à área onde o excesso ocorreu.

MÉTODO

Tipo de estudo e fonte de dados

Estudo observacional com delineamento caso-cruzado (case-crossover) e estratificação temporal, conduzido sobre os microdados públicos do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), do Ministério da Saúde, para os anos de 2014 a 2024 (último ano com dados finais consolidados).

A malha territorial foi obtida da base de localidades do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O relato segue as recomendações do checklist STROBE para estudos observacionais.

Definição da exposição

A exposição foi definida pela classificação técnica oficial do INMET -7 a 12 de fevereiro de 2024- e não por reconstrução climatológica própria. Trata-se de escolha de desenho: o objetivo não é redefinir o evento meteorológico, mas quantificar seu impacto a partir do momento em que foi operacionalmente reconhecido pela autoridade nacional. Aplicar um algoritmo independente, como o Excess Heat Factor ou um limiar por percentil, responderia a outra pergunta. Duas propriedades decorrem dessa escolha: Primeiro, somente usando a área declarada é possível verificar se a delimitação oficial corresponde à distribuição real do excesso; Segundo, a janela foi estabelecida por terceiros, em documento publicado sem acesso aos dados de mortalidade posteriormente analisados, o que equivale a uma pré-especificação externa da exposição e elimina a possibilidade de que tenha sido escolhida por produzir determinado resultado.

Desenho e estratos

Cada óbito é sua própria referência: comparam-se dias expostos e não expostos do mesmo estrato, o que elimina por construção o confundimento por características que não variam dentro dele -composição etária, estrutura socioeconômica, cobertura de serviços, tendência secular e sazonalidade entre meses.

O estrato foi definido por unidade federativa, ano, mês e dia da semana. Os dias-caso foram 7 a 12 de fevereiro de 2024 acrescidos de defasagem de zero a três dias, resultando na janela de 7 a 15 de fevereiro; os dias-controle foram os demais dias de fevereiro de 2024, no mesmo dia da semana e na mesma unidade federativa. O desfecho primário foi a mortalidade por todas as causas no Paraná, no Rio Grande do Sul e em Roraima. A análise foi conduzida em nível estadual: os municípios citados pela nota técnica registram entre 14 e 145 óbitos mensais, insuficientes para qualquer teste.

Defasagem

A defasagem de zero a três dias foi fixada por escrito antes de qualquer execução, por três razões. O estresse térmico agudo precipita descompensação em curso de horas a poucos dias, e estudo multicêntrico observou que a associação entre ondas de calor e mortalidade aparece agudamente e dura três a quatro dias⁽³⁾.

A estratificação temporal controla a sazonalidade entre meses, mas não a tendência dentro do mês, de modo que janelas mais longas aumentam a contaminação por essa tendência.

Por fim, fevereiro tem 29 dias, e uma janela de nove deixa cerca de três dias-controle por estrato de dia da semana. O perfil completo de defasagens é reportado como diagnóstico, não como seleção.

Estimador

Verossimilhança condicional de Poisson. Condicionando no total de óbitos do estrato, o número de óbitos em dias expostos segue distribuição binomial, com parâmetro função do risco relativo (RR) e da razão entre dias expostos e não expostos. Os intervalos de confiança de 95% (IC95%) foram obtidos por aproximação de Wald em $\log(RR)$.

Em desenhos case-crossover predomina a regressão logística condicional, da qual a verossimilhança condicional de Poisson é a formulação equivalente para dados agregados por dia, com vantagens computacionais⁽⁴⁾. Para contagens pequenas empregou-se inferência condicional exata, com distribuição nula obtida por convolução, valor de p mid-p e intervalo de confiança por inversão do teste.

Desfechos secundários, estratificações e controles

Foram pré-especificadas cinco causas -circulatório (I00-I99), respiratório (J00-J99), doenças crônicas não transmissíveis, causas externas (V01-Y98) e renal/geniturinário (N00-N99), esta por evidência prévia de lesão renal associada ao calor⁽⁵⁾- e três estratificações: idade de 80 anos ou mais, óbito em domicílio e escolaridade. Causas externas não foram desagregadas por intenção, em razão de deriva de codificação documentada no período.

Aplicaram-se controles negativos temporais (mesmos dias de calendário de 2014 a 2023), espaciais (quatro estados do Sudeste não apontados), teste de deslocamento de mortalidade com referência externa ao mês e controle interno por causas de trajetória longa. Epidemias concomitantes foram verificadas diretamente. Santa Catarina e Mato Grosso do Sul foram incorporados após a análise primária, em análise declaradamente post hoc.

Aspectos éticos e de integridade

Foram utilizados dados públicos, anonimizados e agregados, sem identificação individual, dispensando apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa nos termos da Resolução CNS nº 510/2016.

RESULTADOS

Excesso de mortalidade

Os 21 estratos possíveis foram todos informativos, reunindo 14.080 óbitos de fevereiro de 2024. Observaram-se 4.558 óbitos contra 4.341,4 esperados, correspondendo a RR de 1,077 (IC95% 1,039-1,117; $p < 0,001$) e a aproximadamente 217 óbitos em excesso em nove dias. As três unidades federativas foram homogêneas ($I^2 = 0\%$), o que autoriza a interpretação agrupada (Tabela 1).

Tabela 1 - Excesso de mortalidade por todas as causas durante a onda de calor, por unidade federativa e por janela de defasagem. Paraná, Rio Grande do Sul e Roraima, fevereiro de 2024.

Recorte	Observado	Esperado	RR	IC95%
Pool das três unidades	4.558	4.341,4	1,077	1,039-1,117
Rio Grande do Sul	2.367	2.224,2	1,100	1,046-1,156
Paraná	2.122	2.054,4	1,050	0,996-1,107
Roraima	69	62,8	1,158	0,860-1,561
Defasagem 0 (7 a 12/02)	3.135	2.901,0	1,109	1,065-1,155
Defasagem 0-1 (7 a 13/02)	3.653	3.402,0	1,100	1,059-1,142
Defasagem 0-3 (7 a 15/02)	4.558	4.341,4	1,077	1,039-1,117
Defasagem 0-7 (7 a 19/02)	6.386	6.302,9	1,025	0,991-1,060

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O efeito foi máximo na defasagem zero e decaiu monotonicamente até anular-se em zero a sete dias (Tabela 1). Esse é o padrão compatível com estresse agudo e o oposto do que a contaminação por tendência intramensal produziria, na qual o RR cresceria com o alargamento da janela. A série diária corrobora: a razão entre óbitos observados e a média do mesmo dia da semana em 2014-2023 sobe de 1,06 em 7 de fevereiro para 1,25 em 11 e 1,23 em 12 de fevereiro, último dia da onda, retornando ao basal em 15 de fevereiro.

Distribuição por causa

O excesso distribuiu-se por praticamente todos os capítulos compatíveis com descompensação aguda, sem que nenhum respondesse por mais de 21% do total (Tabela 2). Foram 25 testes, dos quais 10 com $p < 0,05$ contra 1,2 esperados por acaso, e nenhum sobreviveu à correção de Bonferroni -resultado esperado, uma vez que o excesso observado constitui precisamente um efeito distribuído entre múltiplos capítulos, e não concentrado em algum deles.

O controle interno passou: neoplasias apresentaram RR de 0,980 (0,905-1,060), transtornos mentais 0,964 e digestivo 0,981 -capítulos cuja fisiopatologia é incompatível com precipitação aguda. Um artefato de contagem elevaria todos os capítulos conjuntamente, inclusive neoplasias, o que não ocorreu.

Tabela 2 - Risco relativo e contribuição absoluta ao excesso de mortalidade, por capítulo da CID-10. Paraná, Rio Grande do Sul e Roraima, 7 a 15 de fevereiro de 2024.

Capítulo	RR	IC95%	Excesso	% do total
Circulatório (I00-I99)	1,067	0,992-1,147	+46,5	21
Respiratório (J00-J99)	1,139	1,015-1,277	+37,1	17
Endócrino (E00-E90)	1,225	1,061-1,414	+36,7	17
Causas externas (V01-Y98)	1,125	1,008-1,256	+36,6	17
Infecciosas (A00-B99)	1,192	1,020-1,392	+27,2	13
Renal/geniturinário (N00-N99)	1,249	1,033-1,510	+22,9	11
Nervoso (G00-G99)	1,109	0,955-1,289	+17,3	8
Mental (F00-F99)	0,964	0,704-1,319	-1,5	-1
Digestivo (K00-K93)	0,981	0,837-1,149	-3,0	-1
Neoplasias (C00-D48)	0,980	0,905-1,060	-12,8	-6
Total, todas as causas	1,077	1,039-1,117	+216,6	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Observou-se ausência do calor na causa básica. O código X30 registrou zero óbitos em todos os estados e em todos os dias analisados. O código E86, de depleção de volume, registrou um único óbito na janela.

Controles negativos

O agrupamento bruto dos anos de exposição falsa apresentou heterogeneidade elevada ($I^2 = 94\%$), atribuível a dois anos identificavelmente inadequados: fevereiro de 2014, com onda de calor real, e fevereiro de 2021, em onda ascendente da COVID-19. Excluídos esses anos, o viés de janela em fevereiro é nulo.

O controle espacial, aplicado aos quatro estados do Sudeste - nenhum deles apontado pela nota-, também foi nulo (RR 1,011; IC95% 0,992-1,030). O contraste entre os estados apontados e os estados-controle resultou em razão de RR de 1,065 (IC95% 1,023-1,110; $p = 0,002$) (Tabela 3). O RR manteve-se estável conforme os dias-controle fossem restritos aos anteriores à janela (1,077), aos posteriores (1,084) ou aos posteriores tardios (1,059).

Tabela 3 - Controles negativos temporais e espaciais, fevereiro de 2014 a 2024.

Controle	Observado	Esperado	RR	IC95%
Exposição falsa, 2014-2023	40.823	40.590,5	1,009	0,997-1,021
Exposição falsa, excluídos 2014 e pandemia	22.034	22.054,3	0,999	0,982-1,015
Estados não apontados (SP, MG, RJ, ES)	16.354	16.236,2	1,011	0,992-1,030
Estados apontados (PR, RS, RR)	4.558	4.341,4	1,077	1,039-1,117

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Deslocamento de mortalidade

O desenho não permite quantificar deslocamento dentro do mês: condicionando no total de cada estrato, a soma dos desvios mensais é nula por construção, de modo que um déficit após a janela seria aritmético. O teste exige referência externa. Comparou-se, por isso, a razão entre os óbitos de 16 de fevereiro a 31 de março e os do período anterior ao evento (5 de janeiro a 6 de fevereiro) do mesmo ano, contrastando 2024 com os anos de controle (2015-2019 e 2023).

Se as mortes da janela tivessem sido apenas antecipadas, 2024 apresentaria razão inferior à dos controles. Observou-se o oposto: 1,457 em 2024 contra média de 1,340 nos controles (desvio-padrão 0,034; $z = +3,50$). O resultado se mantém excluindo dengue e COVID-19, cuja incidência era ascendente no período (1,435 contra 1,343; $z = +2,94$), e no conjunto circulatório e respiratório, onde o deslocamento é classicamente descrito (1,454 contra 1,339; $z = +3,76$).

Não há, portanto, evidência de déficit compensatório nas seis semanas seguintes. O excesso observado no período posterior não é atribuível a esta onda de calor -março de 2024 registrou outros episódios de calor no país-, de modo que o achado sustenta a ausência de déficit, não a presença de excesso adicional.

Confundidores concomitantes

Fevereiro de 2024 coincidiu com o início da maior epidemia de dengue registrada no país e com circulação residual de SARS-CoV-2. Nenhuma explica o excesso. O RR da dengue na janela foi 0,806 (IC95% 0,474-1,369) e o da COVID-19, 1,122 (0,783-1,609). Sobre tudo, ambas apresentavam trajetória ascendente dentro do mês -dengue com 17, 19 e 35 óbitos nos três terços de fevereiro, e COVID-19 com 20, 47 e 70-, o que eleva os dias-controle da segunda metade e enviesa o estimador para baixo em uma janela situada no início do mês. Excluídas as duas, o RR das causas infecciosas aumentou de 1,192 para 1,274 (1,061-1,529).

Escolaridade e idade

Não houve gradiente por escolaridade, por nenhuma das três vias avaliadas: heterogeneidade entre os cinco níveis ($p=0,40$), tendência linear ($p=0,78$) e contraste entre escolaridade baixa e alta ($p=0,84$). Tampouco houve gradiente etário ($p=0,88$) (Tabela 4).

A menor razão de RR detectável entre estratos foi 1,147, de modo que o estudo exclui modificação de efeito grande, mas não moderada. O campo escolaridade estava ignorado em 17,6% dos óbitos, e esse estrato apresentou o maior RR do conjunto (1,140; $p=0,002$), com distribuição desigual entre estados.

Tabela 4 - Risco relativo por nível de escolaridade e por faixa etária. Paraná, Rio Grande do Sul e Roraima, 7 a 15 de fevereiro de 2024.

Estrato	n	RR	IC95%	p
Nenhuma escolaridade	1.383	1,099	0,979-1,232	0,11
1 a 3 anos	2.712	1,012	0,932-1,100	0,78
4 a 7 anos	3.555	1,105	1,029-1,187	0,006
8 a 11 anos	3.011	1,073	0,993-1,160	0,08
12 anos ou mais	937	0,983	0,852-1,133	0,81
Escolaridade ignorada	2.482	1,140	1,047-1,242	0,002
0 a 39 anos	-	1,108	0,990-1,241	0,08
40 a 59 anos	-	1,096	1,004-1,197	0,04
60 a 79 anos	-	1,034	0,977-1,094	0,24
80 anos ou mais	-	1,115	1,047-1,188	0,001

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Distribuição espacial

A hipótese de dose-resposta por temperatura de pico não encontrou suporte neste evento. A mesorregião que contém os municípios de maior temperatura registrada apresentou RR de 1,204 (0,994-1,459) contra 1,088 no restante do estado, razão de 1,107 ($p=0,32$).

A decomposição mostrou que o sinal provinha de um único município, cuja série diária apresenta quatro zeros consecutivos entre 20 e 23 de fevereiro -probabilidade de 7×10^{-6} sob distribuição de Poisson, enquanto o restante do estado manteve contagens normais nesses dias. Excluído esse município, os demais da mesma microrregião somaram 54 óbitos contra 50,1 esperados (RR 1,123; $p=0,50$).

As mesorregiões com excesso robusto o suficiente para sobreviver à correção de Bonferroni entre 19 testes foram a Metropolitana de Porto Alegre (1,174) e a Norte Central Paranaense (1,183), nenhuma citada na nota técnica.

Análise ampliada

Santa Catarina, não mencionada pela nota e situada entre os dois estados atingidos do Sul, apresentou RR de 1,057 (0,980-1,141) após correção pelo próprio viés, sendo indistinguível do Paraná e do Rio Grande do Sul ($p=0,68$) e distinta dos estados-controle. O bloco ampliado resultou em RR de 1,073 (1,035-1,111), com aproximadamente 271 óbitos em excesso (Tabela 5).

Tabela 5 - Análise ampliada, com resultado bruto e corrigido pelo viés de janela medido em cada unidade, fevereiro de 2024.

Grupo	Bruto	Viés medido	Corrigido	IC95%	p
Paraná e Rio Grande do Sul	1,076	0,999	1,077	1,034-1,120	0,0003
Santa Catarina (post hoc)	1,080	1,021	1,057	0,980-1,141	0,15
Bloco ampliado (PR, SC, RS)	1,077	1,004	1,073	1,035-1,111	<0,001
Mato Grosso do Sul (controle)	0,947	0,987	0,959	0,844-1,090	0,52

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

DISCUSSÃO

O resultado mais consequente deste estudo não é a magnitude do excesso, mas sua distribuição. Nove capítulos da CID-10 contribuíram positivamente, nenhum respondeu por mais de um quinto do total e nenhum sobreviveu isoladamente à correção por multiplicidade, enquanto os capítulos incompatíveis com precipitação aguda não se moveram.

O padrão é consistente com mecanismo de fragilidade: o estresse térmico atua como precipitante inespecífico em indivíduos com reserva fisiológica reduzida, e a causa registrada na declaração de óbito é a doença de base, não o calor. A ausência de déficit compensatório nas semanas seguintes indica que o excesso não se explica por antecipação de óbitos iminentes, o que é coerente com o padrão difuso entre causas e com a preservação das neoplasias: o calor precipitou descompensação em indivíduos com reserva reduzida, e não em população em fim de vida.

Disso decorrem três implicações. A primeira é que, neste evento, estudos restritos a desfechos cardiovasculares teriam captado parcela minoritária do impacto: o capítulo circulatório responde por 21% do excesso, e 79% ocorrem fora dele. O pressuposto de concentração cardiovascular, dominante na literatura⁽¹⁾, não foi corroborado pelos dados deste estudo. A segunda é que, neste evento, indicadores-sentinelas baseados em causas específicas mostraram utilidade limitada, pois o sinal se diluiu por muitos capítulos. A terceira é que controles negativos definidos por causa são inválidos neste contexto, restando a validação por controles temporais, espaciais e por causas de trajetória longa.

A composição observada é também compatível com o que se sabe sobre vulnerabilidade farmacológica ao calor, já que diuréticos, anti-hipertensivos, anticolinérgicos e psicotrópicos alteram termorregulação e concentram-se na população com doença crônica⁽⁶⁾, hipótese não testável com os dados do SIM.

Ausência do calor nas estatísticas de causa básica

O achado de zero óbitos codificados como X30, em um evento com cerca de 217 mortes em excesso estimadas, é a principal contribuição deste trabalho ao debate sobre vigilância. A explicação é clínica antes de ser burocrática: o calor raramente mata por hipertermia franca em população geral, e sim precipitando descompensação em quem já tem doença crônica. O médico registra, corretamente, a doença que conduziu à morte; a condição ambiental que a precipitou não tem campo próprio e frequentemente sequer é conhecida por quem preenche o documento.

Quatro consequências decorrem disso: a magnitude do problema é oficialmente nula, o que desloca o tema da agenda por razão artefactual; a quantificação exige método indireto e retrospectivo, dependente de microdados consolidados, disponíveis com defasagem aproximada de um ano, o que exclui estimativa em tempo real; a atribuição depende inteiramente do desenho; e, sem contagem oficial, não há linha de base para avaliar planos de contingência.

Não se propõe que o X30 passe a ser preenchido rotineiramente, pois a informação não está disponível no momento do preenchimento. A solução plausível é vincular rotineiramente as bases de mortalidade a dados meteorológicos por município e data, tratando a exposição térmica como variável ambiental a ser cruzada, e não como causa a ser declarada - tecnicamente viável, uma vez que o SIM registra município e data de óbito e o INMET mantém rede de estações automáticas com dados abertos. Essa integração também permitiria o desenvolvimento e a validação de modelos preditivos de risco populacional e individual durante futuras ondas de calor.

Delimitação oficial e a área de impacto

A nota técnica lista três estados a partir das estações com maiores máximas absolutas, e os resultados mostram que essa lista não corresponde à distribuição do excesso. Dentro dos estados apontados, os municípios de pico térmico não foram onde as mortes ocorreram, enquanto as mesorregiões com excesso robusto são metropolitanas e de baixa altitude -padrão coerente

com estudos que documentam efeito próprio da temperatura noturna sobre a mortalidade⁽⁷⁾ e com o efeito da ilha de calor urbana sobre as temperaturas mínimas⁽⁸⁾. Fora deles, na análise exploratória post hoc, Santa Catarina apresentou excesso indistinguível do dos estados nomeados.

A observação não constitui crítica ao INMET, cuja nota é levantamento meteorológico e não se propõe a delimitar área de risco à saúde, mas é advertência quanto ao uso desses documentos: um plano de contingência que adotasse a lista de três estados como definição de área de risco excluiria Santa Catarina e priorizaria municípios fronteiriços de baixa densidade, em detrimento das regiões metropolitanas onde o excesso se concentrou.

Posição em relação à literatura

Os estudos sobre calor e mortalidade são predominantemente conduzidos por meio de séries temporais, sendo o Distributed Lag Non-linear Model o método analítico mais frequentemente empregado nesse tipo de estudo⁽¹⁾, com o estudo multicêntrico de Guo et al. entre as principais referências metodológicas da área⁽³⁾.

Esses desenhos estimam a associação média entre temperatura e mortalidade ao longo de anos e o fazem bem; sua contrapartida é diluir os episódios individuais nessa média. Nenhum desenho é intrinsecamente superior ao outro: ambos respondem a perguntas epidemiológicas distintas e complementares.

A abordagem centrada em evento permite descrever a estrutura de latência, a composição por causa, a distribuição espacial interna e a correspondência entre área declarada e área atingida -nenhuma delas obtível a partir de um risco médio anual.

Por que um evento isolado

A escolha deste episódio não decorreu de disponibilidade temporal, mas de reunir simultaneamente características que o tornam analisável: período delimitado, reconhecimento oficial, abrangência sobre múltiplas unidades da federação -o que permite contraste interno entre áreas atingidas e não atingidas- e magnitude suficiente para motivar avaliação específica.

A isso soma-se um argumento de método: eventos extremos diferem substancialmente entre si, e uma estimativa agrupada sobre episódios heterogêneos produz média cuja interpretação depende de quais eventos entraram na mistura, apagando a variação relevante para o planejamento.

Analisar cada episódio antes de reunir evidência entre eles preserva essa variação e permite, depois, examinar o que a explica. O estudo multi-evento é o desdobramento natural, e nele a reconstrução da exposição por índice objetivo torna-se necessária, porque comparar episódios exige critério uniforme.

Limitações do Estudo

A principal limitação é de alcance e decorre do próprio desenho: as estimativas são específicas deste episódio e dependem de sua intensidade, duração, estação e da vulnerabilidade da população naquele momento, não autorizando extrapolação do RR de 1,077 para ondas de calor em geral, nem permitindo estimar risco médio anual ou relação exposição-resposta contínua, que exigem séries plurianuais. A reprodutibilidade requer replicação em outros episódios, que diferirão entre si -heterogeneidade que é objeto de investigação, não ruído.

Quanto à exposição, ela é ecológica e binária, com unidades federativas inteiras classificadas como expostas, o que dilui o efeito e sugere que o RR nas áreas efetivamente atingidas seja maior que o estimado; não há vínculo entre óbito e temperatura medida, e os resultados não são diretamente comparáveis aos de estudos baseados em índices climatológicos.

Quanto aos dados, Roraima não contribui com poder útil, a inferência por causa restringe-se ao padrão agregado, a escolaridade está ignorada em 17,6% dos óbitos -estrato com o maior RR do conjunto-, a inclusão de Santa Catarina é post hoc, e utilizou-se o município de ocorrência, com análise de sensibilidade por residência que não alterou as conclusões.

Contribuições para a Ciência

O estudo oferece estimativa do excesso de mortalidade associado a um evento extremo oficialmente reconhecido no Brasil, com consequência direta para a vigilância: neste evento, indicadores-sentinelas baseados em causas específicas mostraram utilidade limitada, e a resposta do setor saúde não pôde ser calibrada por contagem oficial de mortes por calor.

Ao mostrar que a área de maior temperatura registrada não coincide com a área de maior mortalidade, o trabalho indica que planos de contingência devem ser orientados por exposição populacional, e não por ranking de estações. Por fim, o desenho aqui empregado é reproduzível com dados públicos e pode ser aplicado a outros eventos extremos, oferecendo caminho para avaliação oportuna de episódios climáticos de relevância para a saúde.

CONCLUSÃO

Este estudo sugere a viabilidade de utilizar eventos extremos oficialmente reconhecidos como unidade analítica para a investigação epidemiológica de seus impactos sobre a mortalidade. A abordagem complementa os estudos baseados em séries temporais, sem substituí-los, e pode contribuir para a avaliação rápida de eventos climáticos de elevada relevância para a saúde pública, desde que acompanhada dos controles que sustentam a atribuição.

Aplicada à onda de calor de 7 a 12 de fevereiro de 2024, identificou excesso de mortalidade espacialmente específico nos estados apontados pelo INMET, distribuído por praticamente todos os capítulos da CID-10 compatíveis com descompensação aguda, sem concentração em qualquer causa, faixa etária ou nível de escolaridade. O padrão é consistente com fragilidade populacional e sugere que, em episódios como este, estudos limitados a desfechos cardiovasculares captem parcela minoritária do fenômeno.

Nenhuma dessas mortes foi registrada como relacionada ao calor. Enquanto a exposição térmica não for cruzada rotineiramente com as bases de mortalidade, o impacto do calor sobre a saúde no Brasil permanecerá acessível apenas por estudos retrospectivos isolados e oficialmente igual a zero. Recomenda-se, como próximo passo, a vinculação das bases de mortalidade a dados de estações meteorológicas por município e data, e a replicação deste desenho em outros eventos extremos - entre os quais fevereiro de 2014, identificado neste trabalho como episódio de magnitude superior e ainda não catalogado.

INFORMAÇÃO SUPLEMENTAR

O código-fonte da análise, os painéis derivados dos microdados e os resultados completos das análises municipais, microrregionais e mesorregionais estão depositados no Zenodo sob o DOI 10.5281/zenodo.22148457, em acesso aberto (<https://doi.org/10.5281/zenodo.22148457>). Os microdados individuais não são redistribuídos: são públicos e obtidos diretamente do DATASUS, e o depósito inclui a proveniência de cada arquivo utilizado, com checksum.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Transparência na contribuição dos autores segundo a Taxonomia [CRediT](#).

Conceitualização	Fábio Luiz Vieira
Curadoria de dados	Fábio Luiz Vieira
Análise formal	Fábio Luiz Vieira
Aquisição de financiamento	Não aplicável
Investigação	Fábio Luiz Vieira
Metodologia	Fábio Luiz Vieira
Administração do projeto	Não aplicável
Recursos	Não aplicável
Software	Fábio Luiz Vieira
Supervisão	Não aplicável
Validação	Fábio Luiz Vieira
Visualização	Fábio Luiz Vieira
Escrita - esboço original	Fábio Luiz Vieira
Escrita - revisão e edição	Fábio Luiz Vieira

DECLARAÇÕES

Conflitos de interesse	Não aplicável
Financiamento	Não aplicável
Aprovação ética	Não aplicável
Agradecimentos	Não aplicável
Preprint	Não aplicável
Inteligência Artificial	Foi utilizada assistência de inteligência artificial (Claude, Anthropic) em três frentes: escrita e depuração do código de análise em Python; verificação de consistência dos microdados e conferência de citações; e redação e revisão do texto. Todas as análises foram executadas sobre microdados públicos do Sistema de Informações sobre Mortalidade, e seus resultados foram conferidos e curados pelo autor, a quem cabe integral responsabilidade pelo conteúdo do manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Graffy PM, Sunderraj A, Visa MA, Miller CH, Barrett BW, Rao S, et al. Methodological approaches for measuring the association between heat exposure and health outcomes: a comprehensive global scoping review. *GeoHealth*. 2024;8:e2024GH001071. <https://doi.org/10.1029/2024GH001071>
- Instituto Nacional de Meteorologia (BR). Eventos extremos de fevereiro de 2024 no Brasil. Brasília: INMET; 2024.
- Guo Y, Gasparrini A, Armstrong BG, Tawatsupa B, Tobias A, Lavigne E, et al. Heat wave and mortality: a multicountry, multicomunity study. *Environ Health Perspect*. 2017;125(8):087006. <https://doi.org/10.1289/EHP1026>
- Armstrong BG, Gasparrini A, Tobias A. Conditional Poisson models: a flexible alternative to conditional logistic case cross-over analysis. *BMC Med Res Methodol*. 2014;14:122. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-122>
- Mohammed SY, Nashwan AJ. Heat stress and kidney injury: a growing concern amidst climate change. *Kidney Med*. 2026;8(2):101215. <https://doi.org/10.1016/j.xkme.2025.101215>
- Hospers L, Smallcombe JW, Morris NB, Capon A, Jay O. The effect of prescription and over-the-counter medications on core temperature in adults during heat stress: a systematic review and meta-analysis. *eClinicalMedicine*. 2024;77:102886. <https://doi.org/10.1016/j.eclim.2024.102886>
- Murage P, Hajat S, Kovats RS. Effect of night-time temperatures on cause and age-specific mortality in London. *Environ Epidemiol*. 2017;1(2):e005. <https://doi.org/10.1097/EE9.000000000000005>
- Oke TR. The energetic basis of the urban heat island. *Q J R Meteorol Soc*. 1982;108(455):1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>