

ACCESO ABIERTO

Autoría

Fábio Luiz Vieira^{1,2*}

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

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

Institución

¹Imperial College London, Londres, Inglaterra.

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

Cómo citar este artículo • Derechos de autor[©]

Vieira FL. Exceso de Mortalidad por Causas Múltiples Durante una Ola de Calor en los Estados Brasileños. Rev. Tec. Cient. CEJAM. 2026;5:e202650058. DOI: <https://doi.org/10.59229/2764-9806.RTCC.e202650058>.

Editores

Abel Silva de Meneses • Editor Jefe

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

André Ramalho • Editor Científico

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

Sumisión

26-08-2026

Aprobación

03-09-2026

Artículo Original

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

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

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.

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

Resumo

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. Días-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.

INTRODUCCIÓN

Las olas de calor extremo se encuentran entre los principales desafíos contemporáneos de la salud pública, y evaluar sus efectos sobre la mortalidad es un requisito previo para respaldar las políticas de adaptación al cambio climático. En Brasil, este tema ha cobrado urgencia ante un fenómeno de El Niño intenso y la elevada probabilidad de eventos extremos.

Sin embargo, la cuantificación de este impacto se enfrenta a un obstáculo estructural: las muertes por calor prácticamente no se registran como tales. El capítulo XX de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10) cuenta con el código X30 (exposición al calor natural excesivo), pero su uso en los certificados de defunción brasileños es prácticamente nulo, incluso en períodos y lugares donde las autoridades meteorológicas documentan fenómenos extremos. La consecuencia es metodológica antes que política: si el calor no aparece como causa básica, el resultado de cualquier estudio debe ser la mortalidad por todas las causas, y la atribución pasa a depender enteramente del diseño, no del registro clínico.

A esto se suma un supuesto que rara vez se ha comprobado. La literatura sobre el calor y la salud ha dado prioridad a los resultados cardiovasculares: en una revisión que abarcó 237 estudios realizados en 43 países, la enfermedad cardiovascular es el resultado específico más estudiado, con 61 estudios, solo superado por la mortalidad por todas las causas, con 65⁽¹⁾. Este enfoque supone que el efecto del calor se concentra en ese ámbito. Si, por el contrario, el calor actúa como un factor desencadenante inespecífico en personas con una reserva fisiológica reducida, el exceso debería manifestarse de manera dispersa en muchas causas —y los estudios limitados al ámbito circulatorio subestimarían el impacto. A pesar del amplio uso de series temporales para estimar el efecto promedio de la temperatura sobre la mortalidad, los eventos extremos individuales reconocidos oficialmente siguen siendo poco explorados como unidad analítica en la epidemiología de la mortalidad.

El 7 de marzo de 2024, el Instituto Nacional de Meteorología (INMET) publicó una nota técnica en la que describía los eventos extremos de febrero de ese año⁽²⁾. El documento identifica, entre los días 7 y 12, la primera ola de calor de 2024, con temperaturas máximas superiores a 39 °C, y señala que el calor extremo se presentó principalmente en zonas de Paraná, Río Grande del Sur y Roraima. Se trata de pleno verano en el sur del país: calor absoluto elevado, y no una anomalía relativa de una estación fría. El período analizado en este estudio es el indicado en esta nota, publicada antes de cualquier análisis de los datos de mortalidad.

Este trabajo es, por su diseño, una investigación epidemiológica basada en eventos. Al igual que en los estudios sobre desastres naturales y brotes epidémicos, la unidad analítica es un evento extremo específico, delimitado en el tiempo y el espacio, reconocido oficialmente y con alertas meteorológicas emitidas durante su ocurrencia⁽²⁾. Los eventos extremos no son equivalentes entre sí —difieren en duración, extensión, intensidad, estación del año y población expuesta—, y analizar cada episodio antes de reunir evidencia entre ellos preserva la variación que es relevante para la planificación. Los estudios centrados en eventos permiten, además, generar evidencia oportuna para respaldar la respuesta del sistema de salud.

El estudio tiene como objetivo estimar el exceso de mortalidad por todas las causas durante el período oficialmente declarado por el INMET, en los estados señalados por este; caracterizar la

distribución de dicho exceso por causa básica de muerte, contrastando la hipótesis de un exceso difuso con la de un exceso concentrado en causas cardiovasculares; y examinar en qué medida la delimitación geográfica que ofrece la nota técnica se corresponde con el área donde ocurrió el exceso.

MÉTODO

Tipo de estudio y fuente de datos

Estudio observacional con diseño de casos cruzados (case-crossover) y estratificación temporal, realizado a partir de los microdatos públicos del Sistema de Información sobre Mortalidad (SIM) del Ministerio de Salud, para los años 2014 a 2024 (último año con datos finales consolidados).

La malla territorial se obtuvo de la base de localidades del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE). El informe sigue las recomendaciones de la lista de verificación STROBE para estudios observacionales.

Definición de la exposición

La exposición se definió según la clasificación técnica oficial del INMET —del 7 al 12 de febrero de 2024— y no mediante una reconstrucción climatológica propia. Se trata de una elección de diseño: el objetivo no es redefinir el evento meteorológico, sino cuantificar su impacto a partir del momento en que fue reconocido operativamente por la autoridad nacional. Aplicar un algoritmo independiente, como el Factor de Calor Excedente o un umbral por percentil, respondería a otra pregunta. De esta elección se derivan dos características: en primer lugar, solo al utilizar el área declarada es posible verificar si la delimitación oficial se corresponde con la distribución real del exceso; en segundo lugar, el intervalo fue establecido por terceros, en un documento publicado sin acceso a los datos de mortalidad analizados posteriormente, lo que equivale a una especificación previa externa de la exposición y elimina la posibilidad de que haya sido elegido para producir un resultado determinado.

Diseño y estratos

Cada fallecimiento es su propia referencia: se comparan los días expuestos y no expuestos del mismo estrato, lo que elimina por definición el sesgo de confusión por características que no varían dentro de él —composición por edad, estructura socioeconómica, cobertura de servicios, tendencia secular y estacionalidad entre meses.

El estrato se definió por unidad federativa, año, mes y día de la semana. Los días de caso fueron del 7 al 12 de febrero de 2024, más un desfase de cero a tres días, lo que dio como resultado el intervalo del 7 al 15 de febrero; los días de control fueron los demás días de febrero de 2024, en el mismo día de la semana y en la misma unidad federativa. El resultado principal fue la mortalidad por todas las causas en Paraná, Río Grande del Sur y Roraima. El análisis se llevó a cabo a nivel estatal: los municipios mencionados en la nota técnica registran entre 14 y 145 muertes mensuales, lo cual es insuficiente para cualquier prueba estadística.

Desfase

El desfase de cero a tres días se estableció por escrito antes de cualquier ejecución, por tres razones. El estrés térmico agudo precipita una descompensación en un lapso de horas a unos pocos días, y un estudio multicéntrico observó que la asociación entre las olas de calor y la mortalidad se manifiesta de manera aguda y dura de tres a cuatro días⁽³⁾.

La estratificación temporal controla la estacionalidad entre meses, pero no la tendencia dentro del mes, por lo que las ventanas más largas aumentan la contaminación por dicha tendencia.

Por último, febrero tiene 29 días, y un intervalo de nueve deja cerca de tres días de control por estrato de día de la semana. El perfil completo de los desfases se presenta como diagnóstico, no como selección.

Estimador

Verosimilitud condicional de Poisson. Al condicionar en el total de muertes del estrato, el número de muertes en los días expuestos sigue una distribución binomial, con un parámetro que depende del riesgo relativo (RR) y de la razón entre días expuestos y no expuestos. Los intervalos de confianza del 95 % (IC95 %) se obtuvieron mediante la aproximación de Wald en $\log(RR)$.

En los diseños de caso-crossover predomina la regresión logística condicional, de la cual la verosimilitud condicional de Poisson es la formulación equivalente para datos agregados por día, con ventajas computacionales⁽⁴⁾. Para recuentos pequeños se empleó inferencia condicional exacta, con distribución nula obtenida por convolución, valor de p mid- p e intervalo de confianza por inversión de la prueba.

Resultados secundarios, estratificaciones y controles

Se preespecificaron cinco causas: circulatorias (I00–I99), respiratorias (J00–J99), enfermedades crónicas no transmisibles, causas externas (V01–Y98) y renales/genitourinarias (N00–N99), esta última por evidencia previa de daño renal asociado al calor⁽⁵⁾— y tres estratificaciones: edad de 80 años o más, fallecimiento en el domicilio y nivel educativo. Las causas externas no se desglosaron por intención, debido a la desviación en la codificación documentada durante el período.

Se aplicaron controles negativos temporales (los mismos días del calendario de 2014 a 2023), espaciales (cuatro estados del Sudeste no señalados), prueba de desplazamiento de la mortalidad con referencia externa al mes y control interno por causas de trayectoria larga. Se verificaron directamente las epidemias concomitantes. Santa Catarina y Mato Grosso del Sur se incorporaron después del análisis primario, en un análisis declaradamente post hoc.

Aspectos éticos y de integridad

Se utilizaron datos públicos, anonimizados y agregados, sin identificación individual, por lo que no fue necesario el dictamen de un Comité de Ética en Investigación, de conformidad con la Resolución del CNS n.º 510/2016.

RESULTADOS

Exceso de mortalidad

Los 21 estratos posibles resultaron todos informativos, con un total de 14.080 fallecimientos en febrero de 2024. Se observaron 4.558 muertes frente a las 4.341,4 esperadas, lo que corresponde a un RR de 1,077 (IC 95 %: 1,039–1,117; $p < 0,001$) y a aproximadamente 217 muertes en exceso en nueve días. Las tres unidades federativas mostraron homogeneidad ($I^2 = 0$ %), lo que permite una interpretación agrupada (Tabla 1).

Tabla 1 - Exceso de mortalidad por todas las causas durante la ola de calor, por unidad federal y por ventana de desfase. Paraná, Río Grande del Sur y Roraima, febrero de 2024.

Recorte	Observado	Esperado	RR	IC 95 %
Conjunto de las tres unidades	4.558	4.341,4	1,077	1,039–1,117
Río Grande del Sur	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
Desfase 0 (del 7 al 12 de febrero)	3.135	2.901,0	1,109	1,065–1,155
Desfase 0–1 (del 7 al 13 de febrero)	3.653	3.402,0	1,100	1,059–1,142
Desfase 0–3 (del 7 al 15 de febrero)	4.558	4.341,4	1,077	1,039–1,117
Desfase 0–7 (del 7 al 19 de febrero)	6.386	6.302,9	1,025	0,991–1,060

Fuente: Elaborado por el autor (2026).

El efecto fue máximo en el desfase cero y disminuyó de manera monótona hasta desaparecer en cero a siete días (Tabla 1). Este es el patrón compatible con el estrés agudo y lo opuesto a lo que produciría la contaminación por tendencia intramensual, en la que el RR aumentaría al ampliarse la ventana. La serie diaria lo corrobora: la relación entre los fallecimientos observados y el promedio del mismo día de la semana en 2014–2023 aumenta de 1,06 el 7 de febrero a 1,25 el 11 y a 1,23 el 12 de febrero, último día de la ola, volviendo al nivel basal el 15 de febrero.

Distribución por causa

El exceso se distribuyó entre prácticamente todas las categorías compatibles con una descompensación aguda, sin que ninguna representara más del 21 % del total (Tabla 2). Se realizaron 25 pruebas, de las cuales 10 tuvieron un valor de $p < 0,05$ frente a los 1,2 esperados por azar, y ninguna superó la corrección de Bonferroni —resultado esperado, ya que el exceso observado constituye precisamente un efecto distribuido entre múltiples categorías, y no concentrado en alguna de ellas—.

El control interno fue satisfactorio: las neoplasias presentaron un RR de 0,980 (0,905–1,060), los trastornos mentales 0,964 y los trastornos digestivos 0,981 —capítulos cuya fisiopatología es incompatible con una precipitación aguda. Un artefacto de recuento elevaría todos los capítulos de manera conjunta, incluidas las neoplasias, lo cual no ocurrió.

Tabla 2 - Riesgo relativo y contribución absoluta al exceso de mortalidad, por capítulo de la CIE-10. Paraná, Río Grande del Sur y Roraima, del 7 al 15 de febrero de 2024.

Capítulo	RR	IC 95 %	Exceso	% del total
Circulatorio (I00–I99)	1,067	0,992–1,147	+46,5	21
Respiratorio (J00–J99)	1,139	1,015–1,277	+37,1	17
Endocrino (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
Renaes/genitourinarios (N00–N99)	1,249	1,033–1,510	+22,9	11
Sistema nervioso (G00–G99)	1,109	0,955–1,289	+17,3	8
Mental (F00–F99)	0,964	0,704–1,319	–1,5	–1
Aparato 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 las causas	1,077	1,039–1,117	+216,6	100

Fuente: Elaborado por el autor (2026).

Se observó la ausencia del calor como causa básica. El código X30 registró cero muertes en todos los estados y en todos los días analizados. El código E86, de depleción de volumen, registró una sola muerte en el período analizado.

Controles negativos

El agrupamiento bruto de los años de exposición ficticia presentó una elevada heterogeneidad ($I^2 = 94\%$), atribuible a dos años identificables como inadecuados: febrero de 2014, con una ola de calor real, y febrero de 2021, en plena ola ascendente de la COVID-19. Al excluir estos años, el sesgo de ventana en febrero es nulo.

El control espacial, aplicado a los cuatro estados del Sudeste -ninguno de ellos señalado en la nota-, también fue nulo (RR 1,011; IC 95 %: 0,992–1,030). El contraste entre los estados señalados y los estados de control resultó en una razón de RR de 1,065 (IC 95 %: 1,023–1,110; $p = 0,002$) (Tabla 3). El RR se mantuvo estable al restringir los días de control a los anteriores a la ventana (1,077), a los posteriores (1,084) o a los posteriores tardíos (1,059).

Tabla 3 - Controles negativos temporales y espaciales, de febrero de 2014 a 2024.

Control	Observado	Esperado	RR	IC 95 %
Exposición falsa, 2014-2023	40.823	40.590,5	1,009	0,997–1,021
Exposición falsa, sin contar 2014 y la pandemia	22.034	22.054,3	0,999	0,982–1,015
Estados no señalados (SP, MG, RJ, ES)	16.354	16.236,2	1,011	0,992–1,030
Estados señalados (PR, RS, RR)	4.558	4.341,4	1,077	1,039–1,117

Fuente: Elaborado por el autor (2026).

Desviación de la mortalidad

El diseño no permite cuantificar el desplazamiento dentro del mes: al condicionar por el total de cada estrato, la suma de las desviaciones mensuales es nula por construcción, por lo que un déficit después de la ventana sería aritmético. La prueba requiere una referencia externa. Por ello, se comparó la razón entre las muertes del 16 de febrero al 31 de marzo y las del período anterior al evento (del 5 de enero al 6 de febrero) del mismo año, contrastando 2024 con los años de control (2015–2019 y 2023).

Si las muertes del período de referencia simplemente se hubieran adelantado, 2024 presentaría una razón inferior a la de los controles. Se observó lo contrario: 1,457 en 2024 frente a un promedio de 1,340 en los controles (desviación estándar 0,034; $z = +3,50$). El resultado se mantiene al excluir el dengue y la COVID-19, cuya incidencia iba en aumento en el período (1,435 frente a 1,343; $z = +2,94$), y en el conjunto de enfermedades circulatorias y respiratorias, donde el desplazamiento se describe clásicamente (1,454 frente a 1,339; $z = +3,76$).

Por lo tanto, no hay evidencia de un déficit compensatorio en las seis semanas siguientes. El exceso observado en el período posterior no es atribuible a esta ola de calor —en marzo de 2024 se registraron otros episodios de calor en el país—, por lo que el hallazgo respalda la ausencia de déficit, no la presencia de un exceso adicional.

Factores de confusión concomitantes

Febrero de 2024 coincidió con el inicio de la mayor epidemia de dengue registrada en el país y con la circulación residual del SARS-CoV-2. Ninguno de estos factores explica el exceso. El RR del dengue en el período analizado fue de 0,806 (IC 95 %: 0,474–1,369) y el de la COVID-19, de 1,122 (0,783–1,609). Sobre todo, ambas presentaron una trayectoria ascendente a lo largo del mes —el dengue con 17, 19 y 35 muertes en los tres tercios de febrero, y la COVID-19 con 20, 47 y 70—, lo que eleva los días de control de la segunda mitad y sesga el estimador hacia abajo en un período situado a principios de mes. Excluidas estas dos, el RR de las causas infecciosas aumentó de 1,192 a 1,274 (1,061–1,529).

Nivel educativo y edad

No se observó un gradiente por nivel educativo en ninguna de las tres vías evaluadas: heterogeneidad entre los cinco niveles ($p = 0,40$), tendencia lineal ($p = 0,78$) y contraste entre bajo y alto nivel educativo ($p = 0,84$). Tampoco se observó un gradiente por edad ($p = 0,88$) (Tabla 4).

La razón de riesgo (RR) más baja detectable entre los estratos fue de 1,147, por lo que el estudio descarta una modificación del efecto de gran magnitud, pero no una de moderada. El campo de nivel educativo estaba sin completar en el 17,6 % de los fallecimientos, y este estrato presentó la RR más alta del conjunto (1,140; $p = 0,002$), con una distribución desigual entre los estados.

Tabla 4 - Riesgo relativo por nivel de escolaridad y por grupo de edad. Paraná, Río Grande del Sur y Roraima, del 7 al 15 de febrero de 2024.

Estrato	n	RR	IC 95 %	p
Sin estudios	1.383	1,099	0,979–1,232	0,11
De 1 a 3 años	2.712	1,012	0,932–1,100	0,78
De 4 a 7 años	3.555	1,105	1,029–1,187	0,006
De 8 a 11 años	3.011	1,073	0,993–1,160	0,08
12 años o más	937	0,983	0,852–1,133	0,81
Nivel educativo desconocido	2.482	1,140	1,047–1,242	0,002
De 0 a 39 años	–	1,108	0,990–1,241	0,08
De 40 a 59 años	–	1,096	1,004–1,197	0,04
De 60 a 79 años	–	1,034	0,977–1,094	0,24
80 años o más	–	1,115	1,047–1,188	0,001

Fuente: Elaborado por el autor (2026).

Distribución espacial

La hipótesis de relación dosis-respuesta por temperatura máxima no encontró respaldo en este evento. La mesorregión que contiene los municipios con la temperatura más alta registrada presentó un RR de 1,204 (0,994–1,459) frente a 1,088 en el resto del estado, con una razón de 1,107 ($p = 0,32$).

El análisis de descomposición mostró que la señal provenía de un solo municipio, cuya serie diaria presenta cuatro ceros consecutivos entre el 20 y el 23 de febrero —probabilidad de 7×10^{-6} bajo una distribución de Poisson—, mientras que el resto del estado mantuvo recuentos normales en esos días. Una vez excluido ese municipio, los demás de la misma microregión sumaron 54 muertes frente a las 50,1 esperadas (RR 1,123; $p = 0,50$).

Las mesorregiones con un exceso lo suficientemente robusto como para sobrevivir a la corrección de Bonferroni entre 19 pruebas fueron la Metropolitana de Porto Alegre (1,174) y la del Norte Central de Paraná (1,183), ninguna de las cuales se menciona en la nota técnica.

Análisis ampliado

Santa Catarina, no mencionada en la nota y ubicada entre los dos estados afectados del sur, presentó un RR de 1,057 (0,980–1,141) tras la corrección por el sesgo propio, resultando indistinguible de Paraná y de Río Grande del Sur ($p = 0,68$) y distinta de los estados de control. El bloque ampliado arrojó un RR de 1,073 (1,035–1,111), con aproximadamente 271 muertes en exceso (Tabla 5).

Tabla 5 - Análisis ampliado, con resultados brutos y corregidos por el sesgo de ventana medido en cada unidad, febrero de 2024.

Grupo	Bruto	Sesgo medido	Corregido	IC 95 %	p
Paraná y Río 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
Bloque ampliado (PR, SC, RS)	1,077	1,004	1,073	1,035–1,111	<0,001
Mato Grosso del Sur (grupo de control)	0,947	0,987	0,959	0,844–1,090	0,52

Fuente: Elaborado por el autor (2026).

DISCUSIÓN

El resultado más relevante de este estudio no es la magnitud del exceso, sino su distribución. Nueve capítulos de la CIE-10 contribuyeron positivamente; ninguno representó más de una quinta parte del total y ninguno sobrevivió de manera aislada a la corrección por multiplicidad, mientras que los capítulos incompatibles con la precipitación aguda no se modificaron.

El patrón es consistente con un mecanismo de fragilidad: el estrés térmico actúa como un factor desencadenante inespecífico en individuos con una reserva fisiológica reducida, y la causa registrada en el certificado de defunción es la enfermedad subyacente, no el calor. La ausencia de un déficit compensatorio en las semanas siguientes indica que el exceso no se explica por la anticipación de muertes inminentes, lo cual es coherente con el patrón difuso entre las causas y con la preservación de las neoplasias: el calor precipitó la descompensación en personas con reserva reducida, y no en una población en fase terminal.

De ello se derivan tres implicaciones. La primera es que, en este caso, los estudios limitados a los resultados cardiovasculares habrían captado solo una parte menor del impacto: el capítulo circulatorio representa el 21 % del exceso, y el 79 % ocurre fuera de él. La hipótesis de la concentración cardiovascular, predominante en la literatura⁽¹⁾, no fue corroborada por los datos de este estudio. La segunda es que, en este evento, los indicadores centinela basados en causas específicas mostraron una utilidad limitada, ya que la señal se diluyó en muchos capítulos. La tercera es que los controles negativos definidos por causa no son válidos en este contexto, por lo que queda la validación mediante controles temporales, espaciales y por causas de trayectoria prolongada.

La composición observada también es compatible con lo que se sabe sobre la vulnerabilidad farmacológica al calor, ya que los diuréticos, los antihipertensivos, los anticolinérgicos y los

psicotrópicos alteran la termorregulación y se concentran en la población con enfermedades crónicas⁽⁶⁾, hipótesis que no se puede comprobar con los datos del SIM.

Ausencia del calor en las estadísticas de causa básica

El hallazgo de cero muertes codificadas como X30, en un evento con cerca de 217 muertes en exceso estimadas, es la principal contribución de este trabajo al debate sobre la vigilancia. La explicación es clínica antes que burocrática: el calor rara vez mata por hipertermia franca en la población general, sino que precipita la descompensación en quienes ya padecen una enfermedad crónica. El médico registra, correctamente, la enfermedad que condujo a la muerte; la condición ambiental que la precipitó no cuenta con un campo específico y, con frecuencia, ni siquiera es conocida por quien llena el documento.

De ello se derivan cuatro consecuencias: la magnitud del problema es oficialmente nula, lo que desplaza el tema de la agenda por razones artificiales; la cuantificación exige un método indirecto y retrospectivo, dependiente de microdatos consolidados, disponibles con un retraso aproximado de un año, lo que excluye la estimación en tiempo real; la atribución depende por completo del diseño; y, sin un recuento oficial, no hay una línea de base para evaluar los planes de contingencia.

No se propone que el X30 se llene de manera rutinaria, ya que la información no está disponible al momento de completarlo. La solución plausible es vincular de manera rutinaria las bases de datos de mortalidad con los datos meteorológicos por municipio y fecha, tratando la exposición térmica como una variable ambiental que debe cruzarse, y no como una causa que deba declararse —lo cual es técnicamente viable, ya que el SIM registra el municipio y la fecha del fallecimiento y el INMET mantiene una red de estaciones automáticas con datos abiertos. Esta integración también permitiría el desarrollo y la validación de modelos predictivos de riesgo poblacional e individual durante futuras olas de calor.

Delimitación oficial y área de impacto

La nota técnica enumera tres estados a partir de las estaciones con las máximas absolutas más altas, y los resultados muestran que esa lista no se corresponde con la distribución del exceso. Dentro de los estados señalados, los municipios con picos de temperatura no fueron aquellos donde ocurrieron las muertes, mientras que las mesorregiones con un exceso robusto son metropolitanas y de baja altitud —un patrón coherente con estudios que documentan el efecto propio de la temperatura nocturna sobre la mortalidad⁽⁷⁾ y con el efecto de la isla de calor urbana sobre las temperaturas mínimas⁽⁸⁾. Fuera de ellos, en el análisis exploratorio post hoc, Santa Catarina presentó un exceso indistinguible del de los estados mencionados.

Esta observación no constituye una crítica al INMET, cuya función es la recopilación de datos meteorológicos y no se propone delimitar áreas de riesgo para la salud, sino que es una advertencia sobre el uso de estos documentos: un plan de contingencia que adoptara la lista de tres estados como definición de área de riesgo excluiría a Santa Catarina y daría prioridad a los municipios fronterizos de baja densidad, en detrimento de las regiones metropolitanas donde se concentró el exceso.

Posición respecto a la literatura

Los estudios sobre el calor y la mortalidad se realizan predominantemente mediante series temporales, siendo el Modelo de Retraso Distribuido No Lineal (Distributed Lag Non-linear Model) el método analítico más frecuentemente empleado en este tipo de estudios⁽¹⁾, con el estudio multicéntrico de Guo et al. entre las principales referencias metodológicas del área⁽³⁾.

Estos diseños estiman la asociación promedio entre la temperatura y la mortalidad a lo largo de los años y lo hacen bien; su contrapartida es diluir los episodios individuales en ese promedio. Ningún diseño es intrínsecamente superior al otro: ambos responden a preguntas epidemiológicas distintas y complementarias.

El enfoque centrado en el evento permite describir la estructura de latencia, la composición por causa, la distribución espacial interna y la correspondencia entre el área declarada y el área afectada —ninguna de las cuales se puede obtener a partir de un riesgo promedio anual.

¿Por qué un evento aislado?

La elección de este episodio no se debió a la disponibilidad temporal, sino a que reúne simultáneamente características que lo hacen analizable: un período delimitado, reconocimiento oficial, alcance en múltiples estados —lo que permite un contraste interno entre áreas afectadas y no afectadas— y una magnitud suficiente para motivar una evaluación específica.

A esto se suma un argumento metodológico: los eventos extremos difieren sustancialmente entre sí, y una estimación agrupada de episodios heterogéneos produce un promedio cuya interpretación depende de qué eventos se incluyeron en la mezcla, lo que oculta la variación relevante para la planificación.

Analizar cada episodio antes de reunir la evidencia entre ellos preserva esa variación y permite, posteriormente, examinar qué la explica. El estudio de múltiples eventos es la consecuencia natural, y en él se vuelve necesaria la reconstrucción de la exposición mediante un índice objetivo, ya que comparar episodios exige un criterio uniforme.

Limitaciones del estudio

La principal limitación es de alcance y se deriva del propio diseño: las estimaciones son específicas de este episodio y dependen de su intensidad, duración, estación del año y de la vulnerabilidad de la población en ese momento, lo que no permite extrapolar el RR de 1,077 a las olas de calor en general, ni estimar el riesgo promedio anual o la relación exposición-respuesta continua, que requieren series plurianuales. La reproducibilidad requiere la replicación en otros episodios, que diferirán entre sí —una heterogeneidad que es objeto de investigación, no ruido—.

En cuanto a la exposición, esta es ecológica y binaria, con estados enteros clasificados como expuestos, lo que diluye el efecto y sugiere que el RR en las áreas efectivamente afectadas sea mayor que el estimado; no existe un vínculo entre la muerte y la temperatura medida, y los resultados no son directamente comparables a los de estudios basados en índices climatológicos.

En cuanto a los datos, Roraima no aporta información útil; la inferencia causal se limita al patrón agregado; no se toma en cuenta el nivel educativo en el 17,6 % de los fallecimientos —el estrato con el RR más alto del conjunto—; la inclusión de Santa Catarina es a posteriori; y se utilizó el municipio donde ocurrió el fallecimiento, con un análisis de sensibilidad por lugar de residencia que no alteró las conclusiones.

Aportes a la ciencia

El estudio ofrece una estimación del exceso de mortalidad asociado a un evento extremo reconocido oficialmente en Brasil, con consecuencias directas para la vigilancia: en este evento, los indicadores centinela basados en causas específicas mostraron una utilidad limitada, y la respuesta del sector de la salud no pudo calibrarse mediante el recuento oficial de muertes por calor.

Al demostrar que el área con la temperatura más alta registrada no coincide con el área de mayor mortalidad, el trabajo indica que los planes de contingencia deben orientarse según la exposición de la población, y no según el ranking de estaciones. Por último, el diseño aquí empleado es reproducible con datos públicos y puede aplicarse a otros eventos extremos, lo que abre el camino para la evaluación oportuna de episodios climáticos relevantes para la salud.

CONCLUSIÓN

Este estudio sugiere la viabilidad de utilizar eventos extremos oficialmente reconocidos como unidad analítica para la investigación epidemiológica de sus impactos sobre la mortalidad. El enfoque complementa los estudios basados en series temporales, sin sustituirlos, y puede contribuir a la evaluación rápida de eventos climáticos de gran relevancia para la salud pública, siempre que vaya acompañado de los controles que respalden la atribución.

Aplicado a la ola de calor del 7 al 12 de febrero de 2024, identificó un exceso de mortalidad espacialmente específico en los estados señalados por el INMET, distribuido en prácticamente todos los capítulos de la CIE-10 compatibles con una descompensación aguda, sin concentración en ninguna causa, grupo de edad o nivel educativo en particular. El patrón es consistente con la fragilidad poblacional y sugiere que, en episodios como este, los estudios limitados a resultados cardiovasculares captan solo una parte minoritaria del fenómeno.

Ninguna de estas muertes se registró como relacionada con el calor. Mientras la exposición térmica no se cruce de manera rutinaria con las bases de datos de mortalidad, el impacto del calor sobre la salud en Brasil seguirá siendo accesible únicamente a través de estudios retrospectivos aislados y, oficialmente, será igual a cero. Se recomienda, como siguiente paso, vincular las bases de datos de mortalidad con los datos de las estaciones meteorológicas por municipio y fecha, y replicar este diseño en otros eventos extremos —entre los cuales se encuentra febrero de 2014, identificado en este trabajo como un episodio de magnitud superior y aún no catalogado.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

El código fuente del análisis, los paneles derivados de los microdatos y los resultados completos de los análisis municipales, microrregionales y mesorregionales se encuentran depositados en Zenodo bajo el DOI 10.5281/zenodo.22148457, en acceso abierto (<https://doi.org/10.5281/zenodo.22148457>). Los microdatos individuales no se redistribuyen: son públicos y se obtienen directamente de DATASUS, y el depósito incluye la procedencia de cada archivo utilizado, con suma de verificación.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Transparencia en la contribución de los autores según la taxonomía [CRediT](#).

Conceptualización	Fábio Luiz Vieira
Curación de datos	Fábio Luiz Vieira
Análisis formal	Fábio Luiz Vieira
Captación de fondos	No Aplicable
Investigación	Fábio Luiz Vieira
Metodología	Fábio Luiz Vieira
Administración del proyecto	No Aplicable
Recursos	No Aplicable
Software	Fábio Luiz Vieira
Supervisión	No Aplicable
Validación	Fábio Luiz Vieira
Visualización	Fábio Luiz Vieira
Redacción - borrador original	Fábio Luiz Vieira
Redacción - revisión y edición	Fábio Luiz Vieira

DECLARACIONES

Conflictos de intereses	No Aplicable
Financiamiento	No Aplicable
Aprobación ética	No Aplicable
Agradecimientos	No Aplicable
Preprint	No Aplicable
Inteligencia Artificial	Se utilizó asistencia de inteligencia artificial (Claude, Anthropic) en tres frentes: redacción y depuración del código de análisis en Python; verificación de la consistencia de los microdatos y comprobación de las citas; y redacción y revisión del texto. Todos los análisis se realizaron con microdatos públicos del Sistema de Información sobre Mortalidad, y sus resultados fueron verificados y revisados por el autor, quien asume toda la responsabilidad por el contenido del manuscrito.

TRADUCCIÓN

La traducción de este artículo ha sido realizada con la ayuda de la inteligencia artificial [DeepL Translator](#) a partir de la versión original escrita en portugués (Brasil). La versión traducida fue sometida a la supervisión del equipo editorial, que consistió en una revisión editorial de alcance limitado. Las traducciones asistidas por inteligencia artificial pueden presentar variaciones en el idioma nativo.

REFERENCIAS

1. 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>

2. Instituto Nacional de Meteorologia (BR). Eventos extremos de fevereiro de 2024 no Brasil. Brasília: INMET; 2024.

3. 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>

4. 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>

5. 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>

6. 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.eclinm.2024.102886>

7. 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>

8. 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>