III SIMPOSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA
26 a 28 de agosto de 2026

EVENTOS DE ONDAS DE CALOR E IMPACTOS NA MORTALIDADE ENTRE INTERNADOS POR DOENÇAS CIRCULATÓRIAS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS-MA

Priscilla Ikefuti (1) Natacha Aleixo (2) Pedro Murara (3)
(1) Doutora em Geografia, Universidade de São Paulo (USP), pvikefuti@usp.br
(2) Doutora em Geografia, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), natachaaleixo@ufam.edu.br
(3) Doutor em Geografia, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), pedro.murara@uffs.com.br

RESUMO

Palavras-chave: Ondas de calor; Clima e saúde; Doenças circulatórias; Mudanças climáticas; São Luís.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm intensificado a frequência, duração e intensidade dos eventos extremos de temperatura em diversas regiões do mundo. Embora os impactos das ondas de calor sobre a saúde já estejam bem documentados em regiões temperadas (Basagaña et al., 2011; Hajat et al., 2010), ainda existem lacunas importantes relacionadas aos efeitos desses eventos em cidades tropicais úmidas e de clima equatorial, como São Luís, Maranhão. Nessas localidades, pequenas variações térmicas podem representar importante fator de estresse fisiológico, especialmente para populações vulneráveis e indivíduos acometidos por doenças cardiovasculares e circulatórias.

Estudos recentes têm demonstrado que os efeitos das ondas de calor sobre a saúde cardiovascular tendem a ser mais intensos em áreas urbanas densamente povoadas e socialmente vulneráveis, especialmente em cidades localizadas em regiões tropicais. A exposição prolongada a temperaturas elevadas pode desencadear importantes alterações fisiológicas, incluindo aumento da viscosidade sanguínea, desidratação, estresse térmico e sobrecarga cardíaca, elevando o risco de internações e óbitos por doenças circulatórias (Gasparrini et al., 2015; Zhao et al., 2021).

No Brasil, apesar do crescente número de estudos sobre clima e saúde, ainda são escassas as investigações voltadas para os impactos das ondas de calor em cidades do Nordeste brasileiro, particularmente em ambientes de clima tropical úmido, onde a reduzida amplitude térmica anual dificulta a identificação dos efeitos extremos da temperatura. Nesse cenário, compreender os impactos das ondas de calor sobre a saúde em São Luís (MA) torna-se fundamental para subsidiar estratégias de vigilância em saúde ambiental e adaptação às mudanças climáticas.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar episódios de ondas de calor em São Luís (MA) e avaliar sua associação com a morbimortalidade por doenças circulatórias, considerando variáveis meteorológicas de controle.

2. OBJETIVO

Avaliar a associação entre episódios de ondas de calor e a mortalidade entre internados por doenças circulatórias no município de São Luís, Maranhão, considerando variáveis meteorológicas, sazonalidade e tendência temporal no período de 2000 a 2020.

3. MÉTODO

Realizou-se um estudo ecológico de séries temporais utilizando dados diários de temperatura mínima, média e máxima do ar, para o município de São Luís (MA) no período de 2000 a 2020. Os episódios de ondas de calor foram identificados a partir de limiares extremos de temperatura máxima (percentil 90), considerando eventos consecutivos de calor persistente (3 dias).

As variáveis meteorológicas utilizadas incluíram temperatura média, umidade relativa do ar e precipitação. Os desfechos analisados corresponderam aos registros de morbimortalidade por doenças circulatórias (Capítulo IX do CID-10) na escala diária, obtidos a partir de sistemas oficiais de saúde do Sistema Único de Saúde (TABNET/SUS).

Inicialmente, foi realizada análise descritiva dos episódios de ondas de calor, avaliando frequência temporal e duração dos eventos. Posteriormente, empregaram-se modelos lineares generalizados (GLM) com distribuição quasi-Poisson e função de ligação log para estimar a associação entre ondas de calor e os desfechos em saúde, controlando-se pelas variáveis meteorológicas.

Também foram incorporadas funções spline naturais para controle de tendência temporal e sazonalidade, além de ajuste para dias da semana.

Para as analyses foi utilizado o program R versão 4. 5.3 e os pacotes: dplyr; lubridate; splines; broom; knitr e ggplot2.

4. RESULTADOS

Os resultados indicaram aumento na frequência e duração das ondas de calor ao longo da série histórica, principalmente após 2014. Observou-se maior concentração de eventos extremos entre os anos de 2015 e 2020, incluindo episódios persistentes com duração superior a 10 dias consecutivos.

A análise descritiva revelou que as temperaturas máximas durante os episódios de ondas de calor frequentemente ultrapassaram 34 °C, atingindo valores próximos de 37 °C em alguns períodos extremos.

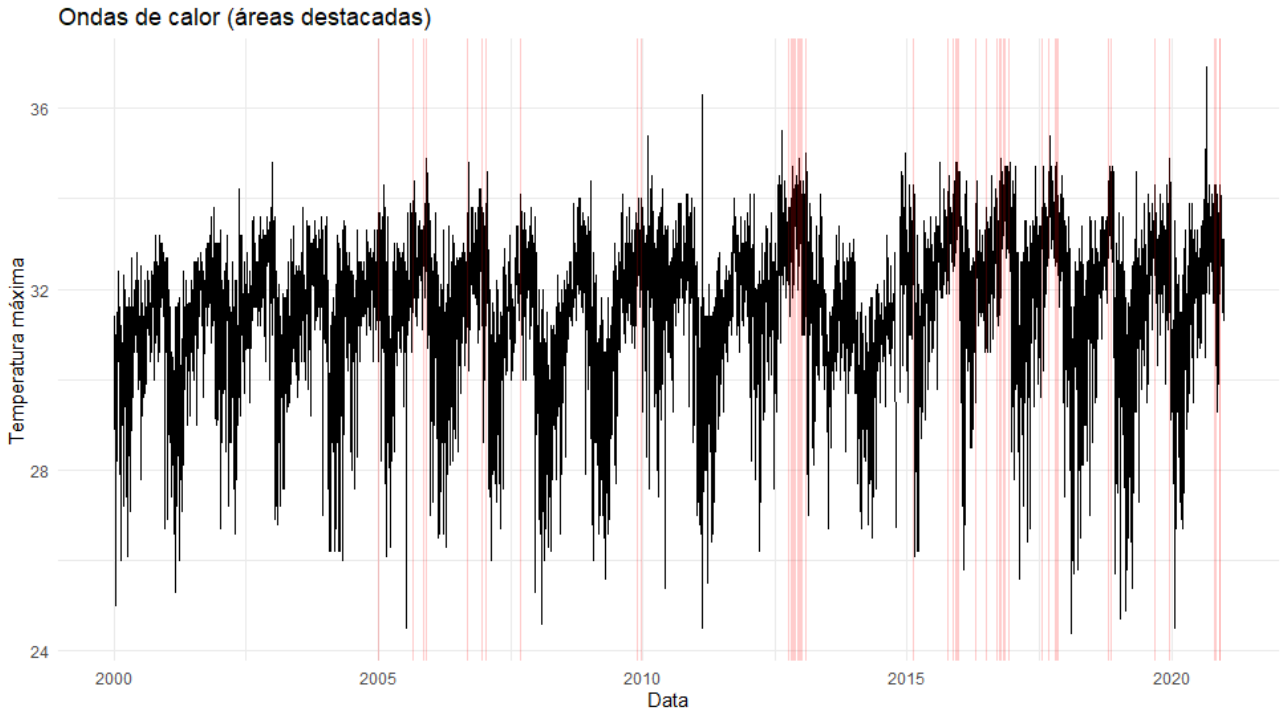


Figura 1. **Variabilidade da temperatura máxima e ondas de calor** entre 2000 e 2020 no município de São Luís. Organizado por: Autores (2026).

Para avaliar os efeitos das ondas de calor sobre a mortalidade por doenças circulatórias, foram ajustados modelos lineares generalizados (GLM) com distribuição Poisson e quasi-Poisson. O primeiro modelo incluiu apenas as variáveis meteorológicas de controle. Os resultados (Figura 2) demonstraram associação positiva entre ondas de calor e mortalidade, indicando aumento aproximado de 10,9% no risco relativo de mortes durante os episódios de calor extremo (RR = 1,11; IC95%: 0,99–1,24), embora a associação não tenha apresentado significância estatística (p = 0,064).

Posteriormente, foi ajustado um modelo mais robusto, incorporando controle para sazonalidade, tendência temporal de longo prazo e efeito dos dias da semana por meio de funções de spline naturais. Nesse modelo, observou-se o fortalecimento da associação entre ondas de calor e mortalidade por doenças circulatórias. Os episódios de calor extremo estiveram associados ao aumento de aproximadamente 15,1% no risco de mortalidade entre internados (RR = 1,15; IC95%: 1,02–1,30; p = 0,023). Esse resultado sugere que os

efeitos observados não são apenas reflexo das variações sazonais naturais, mas sim um impacto independente associado aos eventos extremos de temperatura em dias consecutivos.

Modelo	Variável	RR	IC95%	p-valor
Modelo 1	Onda de calor	1,11	0,99–1,24	0,064
Modelo 2	Onda de calor	**1,15**	**1,02–1,30**	**0,023**
Modelo 3.1	Onda de calor	1,06	0,89–1,27	0,519
Modelo 3.2	Lag 1	1,23	0,98–1,54	0,074
Modelo 3.3	Lag 2	0,86	0,72–1,03	0,108

Figura 2. Sistematiuzação dos modelos estatisticos. Organizado por: Autores (2026).

Também foi desenvolvido um terceiro modelo considerando possíveis efeitos defasados das ondas de calor sobre a mortalidade. Foram incluídas variáveis de lag para um e dois dias após os eventos de ondas de calor. Nesse modelo, o efeito imediato das ondas de calor perdeu significância estatística (RR = 1,06; IC95%: 0,89–1,27; p = 0,519), porém observou-se tendência de aumento do risco no primeiro dia após o evento extremo (lag1: RR = 1,23; IC95%: 0,98–1,54; p = 0,074). Esse resultado sugere que os impactos das ondas de calor podem ocorrer de forma acumulativa e distribuída ao longo dos dias subsequentes à exposição térmica.

5. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados reforçam evidências de que episódios prolongados de calor extremo podem representar importante fator de risco para doenças circulatórias mesmo em regiões tropicais úmidas, onde a população já convive historicamente com temperaturas elevadas.

O aumento da frequência e duração das ondas de calor, após 2014, acompanha tendências observadas em estudos globais relacionados às mudanças climáticas e ao aquecimento urbano. Em São Luís, fatores como urbanização acelerada, redução da ventilação urbana e expansão de áreas impermeabilizadas podem potencializar os efeitos térmicos sobre a saúde humana.

Embora a associação estatística encontrada tenha apresentado significância limítrofe, a magnitude positiva do efeito sugere relevância epidemiológica, especialmente considerando que populações tropicais frequentemente apresentam exposição contínua ao estresse térmico. Além disso, efeitos de calor extremo sobre doenças cardiovasculares podem ocorrer de maneira cumulativa e com defasagens temporais, indicando a necessidade de aplicação futura de modelos mais robustos, como Distributed Lag Non-Linear Models (DLNM).

Os achados deste estudo reforçam evidências científicas de que episódios de calor extremo representam importante fator de risco para doenças cardiovasculares mesmo em regiões tropicais úmidas (Gasparrini et al., 2015; Zhao et al., 2021). A persistência de temperaturas elevadas pode desencadear respostas fisiológicas relacionadas ao aumento da frequência cardíaca, desidratação, alterações da pressão arterial e sobrecarga do sistema cardiovascular, especialmente em populações vulneráveis, como idosos e indivíduos com doenças crônicas preexistentes (Bouchama & Knochel, 2002; Ye et al., 2012).

Os resultados dessa pesquisa evidenciam a importância do fortalecimento das ações de vigilância em saúde ambiental e climática, especialmente em cidades do Nordeste brasileiro, consideradas altamente vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas. A identificação dos períodos sazonais de maior risco pode auxiliar no planejamento de campanhas de vacinação, ampliação da capacidade hospitalar e fortalecimento das estratégias de vigilância epidemiológica. Além disso, considerando os cenários projetados de mudanças climáticas, espera-se alteração nos padrões sazonais de doenças cardiovasculares especialmente devido ao aumento da frequência de extremos térmicos, eventos de seca e mudanças no regime de precipitação (IPCC, 2023).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Basagaña, X. et al. Heat waves and cause-specific mortality at all ages. *Epidemiology*, v. 22, n. 6, p. 765–772, 2011.

Bouchama, A.; Knochel, J. P. Heat stroke. New England Journal of Medicine, v. 346, n. 25, p. 1978–1988, 2002.

Brasil. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS (DATASUS). Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). Brasília: Ministério da Saúde, 2026. Disponível em: http://tabnet.datasus.gov.br/. Acesso em: 21 maio 2026.

Gasparrini, A. (2011). Distributed lag linear and non-linear models in R: the package dlnm. Journal of Statistical Software, 43(8), 1–20. https://doi.org/10.18637/jss.v043.i08

Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., ... Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. The Lancet, 386(9991), 369–375. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0

Hajat, S.; O'Connor, M.; Kosatsky, T. Health effects of hot weather: from awareness of risk factors to effective health protection. *The Lancet*, v. 375, n. 9717, p. 856–863, 2010.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/. Acesso em: 21 maio 2026.

Ye, X. et al. Ambient temperature and morbidity: a review of epidemiological evidence. Environmental Health Perspectives, v. 120, n. 1, p. 19–28, 2012.

Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., Tong, S., Overcenco, A., ... Li, S. (2021). Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. The Lancet Planetary Health, 5(7), e415–e425. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00081-4

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo: 408964/2023-5).