



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA



Thiago Santos da Silva

Mudanças na Intensidade e Quantidade das Ondas de Calor no Estado de São Paulo sob Aquecimento Recente

Campinas
03/07/2026

Thiago Santos da Silva

Monografia apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção de créditos na disciplina Projeto de Extensão Supervisionado, sob a orientação da Prof^a. Dr^a. Ana H. Avila.

Resumo

Este estudo analisou a frequência e a intensidade das ondas de calor no estado de São Paulo entre 1961 e 2024, utilizando dados diários de temperatura máxima e mínima da reanálise ERA5, processados com a ferramenta CDO. A definição de onda de calor seguiu: três dias consecutivos com temperaturas máxima e mínima acima do percentil 95 da climatologia de referência (1961–1990). A intensidade foi quantificada pelo índice *Excess Heat Factor* (EHF), que combina a superação do limiar climatológico extremo com o efeito de aclimação térmica recente. Para reduzir vieses espaciais, o estado foi segmentado em três regiões climaticamente homogêneas (Oeste, Centro e Leste) pelo método SKATER, e as tendências temporais foram avaliadas pelo teste de Mann-Kendall. Os resultados indicam aumento significativo na frequência de ondas de calor nas regiões Oeste ($\tau = 0,354$; $p < 0,01$) e Centro ($\tau = 0,379$; $p < 0,01$), sem tendência significativa no Leste ($p = 0,447$), atribuída à influência da maritimidade e da Serra do Mar. Em intensidade, as três regiões apresentaram tendência crescente significativa, com destaque para Oeste e Centro ($\tau = 0,413$; $p < 0,001$). Os resultados evidenciam agravamento do estresse térmico no estado, com implicações relevantes para a saúde pública e populações vulneráveis.

Abstract

This study analyzed the frequency and intensity of heat waves in the state of São Paulo between 1961 and 2024, using daily maximum and minimum temperature data from the ERA5 reanalysis, processed with the CDO tool. The definition of a heat wave followed the criterion: three consecutive days with maximum and minimum temperatures above the 95th percentile of the reference climatology (1961–1990). Intensity was quantified using the Excess Heat Factor (EHF) index, which combines the exceedance of the extreme climatological threshold with the effect of recent thermal acclimatization. To reduce spatial biases, the state was segmented into three climatically homogeneous regions (West, Central, and East) using the SKATER method, and temporal trends were assessed using the Mann-Kendall test. The results indicate a significant increase in heat wave frequency in the West ($\tau = 0.354$; $p < 0.01$) and Central ($\tau = 0.379$; $p < 0.01$) regions, with no significant trend in the East ($p = 0.447$), attributed to the influence of maritime effects and the Serra do Mar mountain range. In terms of intensity, all three regions showed a significant increasing trend, most notably in the West and Central regions ($\tau = 0.413$; $p < 0.001$). These results highlight a worsening of thermal stress in the state, with relevant implications for public health and vulnerable populations.

Conteúdo

1	Introdução	6
2	Desenvolvimento	7
2.1	Coleta e tratamento de dados	7
2.2	Cálculo das ondas de calor	8
2.3	Cálculo da intensidade das ondas de calor	9
2.4	Regionalização	11
3	Resultados	12
3.1	Ondas de calor	12
3.2	Intensidade das ondas de calor	13
4	Conclusão	14

1 Introdução

Mesmo incrementos relativamente pequenos na temperatura média global podem produzir mudanças substanciais no sistema climático. De acordo com o relatório especial do Intergovernmental Panel on Climate Change sobre aquecimento global de 1,5 °C, o aumento da temperatura média em relação aos níveis pré-industriais já é suficiente para intensificar a ocorrência de eventos climáticos extremos, modificar padrões regionais de precipitação e aumentar a frequência, duração e intensidade de ondas de calor em diversas regiões do planeta IPCC [2018]. Essas alterações não se restringem apenas às médias climáticas, mas afetam também a variabilidade, que possui impacto mais direto sobre sistemas naturais e sociais.

Os impactos do aquecimento global sobre a sociedade manifestam-se principalmente por meio de eventos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas e episódios de precipitação intensa, que afetam a saúde física e mental, além de estarem associados ao aumento de óbitos Weirhammer et al. [2021]. Especialmente na América do Sul, esses eventos são potencializados pela proximidade da região ao equador, o que resulta em ondas de calor mais intensas, embora o tema ainda enfrente escassez de pesquisas na área Campbell et al. [2018]. Revisões sobre riscos climáticos no Brasil indicam que essas condições ampliam desigualdades regionais e aumentam a exposição de grupos sensíveis aos efeitos adversos das mudanças climáticas, reforçando a necessidade de monitoramento e adaptação às novas condições ambientais Nobre et al. [2018].

Entre os extremos climáticos associados ao aquecimento global, as ondas de calor têm recebido atenção especial devido à sua crescente frequência e aos impactos significativos sobre a saúde pública. Um exemplo marcante ocorreu durante o verão de 2010 na região euro-russa, quando um evento extremo de calor esteve associado a condições persistentes de bloqueio atmosférico, demonstrando que tais fenômenos podem apresentar certo grau de previsibilidade em escalas sazonais e subsazonais Matsueda [2011]. Esse tipo de configuração atmosférica favorece a manutenção de condições de calor intenso por vários dias consecutivos, aumentando a probabilidade de impactos severos sobre a população e os ecossistemas.

Com o aumento gradativo das emissões globais, os efeitos sobre a saúde humana

começam a ser sentidos mais severamente pela população idosa e por jovens adultos Matthews et al. [2025]. Observou-se que a ocorrência de ondas de calor pode resultar em aumentos substanciais nas taxas de mortalidade nos dias subsequentes ao evento, podendo alcançar valores próximos a 28% em determinadas populações, com efeitos mais pronunciados quando as ondas de calor apresentam maior intensidade ou duração Cheng et al. [2018]. Esses resultados reforçam a importância de compreender a dinâmica e a evolução desses eventos extremos em diferentes regiões, a fim de aprimorar estratégias de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas.

Em especial, a região de Campinas, no centro do estado, apresenta tendências positivas na quantidade, frequência e duração das ondas de calor Oliveira et al. [2021], o que reforça a relevância de expandir essa análise para uma área mais abrangente, de modo a avaliar o comportamento desse fenômeno em diferentes contextos climáticos e geográficos do estado de São Paulo.

Diante disso, o objetivo principal deste estudo é analisar a ocorrência e a intensidade das ondas de calor no estado de São Paulo. Como objetivos específicos, este trabalho busca complementar as pesquisas preexistentes sobre a temática na região e implementar um protocolo de avaliação da intensidade desses eventos extremos no território paulista entre 1961 e 2024.

2 Desenvolvimento

2.1 Coleta e tratamento de dados

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos do serviço Copernicus Climate Change Service (C3S). O conjunto de dados *ERA5* consiste em uma reanálise atmosférica que cobre aproximadamente as últimas oito décadas, combinando observações históricas com modelos numéricos de previsão do tempo baseados em princípios físicos. Esse processo produz campos atmosféricos consistentes em uma grade regular, com resolução espacial de aproximadamente $0,25^\circ$ sobre o continente e cerca de $0,50^\circ$ sobre os oceanos Hersbach et al. [2023].

Diante disso, foram selecionadas as variáveis de temperatura máxima e temperatura mínima diárias, para o período de 1961 até 2024, incluindo este último ano,

com suporte da ferramenta *Climate Data Operators* (CDO). Para cada variável, foi realizado o recorte correspondente à região do estado de São Paulo, utilizando as delimitações territoriais disponibilizadas pelo IBGE.

2.2 Cálculo das ondas de calor

Existem diversas formas de definir uma onda de calor, dependendo da região analisada e dos parâmetros disponíveis. A Organização Meteorológica Mundial define uma onda de calor como a persistência de dois a três dias consecutivos com temperatura média acima dos percentis 90 ou 95 da climatologia local World Meteorological Organization and World Health Organization [2015]. Neste trabalho, essa definição foi utilizada como referência inicial; contudo, adotou-se a definição proposta por Oliveira et al. [2021], com o percentil 95 para temperatura máxima e mínima, por se ajustar melhor à análise de eventos de calor com efeitos prolongados sobre a saúde humana, por sobrecarregar o corpo humano por longos períodos de desconforto térmico.

Para este trabalho, foi desenvolvida uma rotina computacional em *Python*, com apoio da ferramenta CDO, a fim de garantir reprodutibilidade e escalabilidade das análises. Os códigos utilizados encontram-se disponíveis em GitHub.

Como período de referência climatológica, adotou-se o intervalo de 1961 a 1990, seguindo a recomendação de pelo menos trinta anos da World Meteorological Organization [2017]. A partir desse período, foi calculado o percentil 95 para cada dia do ano das variáveis de temperatura máxima e mínima. Considerou-se a ocorrência de uma onda de calor quando três dias consecutivos apresentaram simultaneamente temperaturas máxima e mínima acima de seus respectivos percentis.

Para o cálculo dos percentis, utilizou-se a climatologia diária baseada no mesmo período de referência, considerando uma janela móvel de 15 dias centrada no dia analisado. Essa abordagem permite suavizar a variabilidade diária e representar de forma mais robusta a climatologia local.

Foi elaborado um mapa contendo o acumulado de ondas de calor. Após a segmentação em três regiões, calculou-se, para cada dia, o acumulado considerando todos os pontos pertencentes a cada região. Esse procedimento permitiu avaliar o número de registros ao longo do tempo dentro de cada área segmentada, usando o teste de Mann-

Kendall.

O teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall Mann [1945], Kendall [1975] foi aplicado para detectar a presença de tendências monotônicas significativas nas séries temporais de intensidade. Por se tratar de um método não paramétrico, sua principal vantagem reside na independência de uma distribuição de probabilidade específica dos dados, além de apresentar alta robustez frente a valores discrepantes (outliers) e séries históricas com dados faltantes Helsel and Hirsch [2002]. Essa abordagem é amplamente respaldada na literatura para a identificação de trajetórias climáticas extremas, permitindo determinar se as variações observadas na intensidade das ondas de calor configuram um aumento estatisticamente significativo ao longo das décadas Nunes et al. [2019].

2.3 Cálculo da intensidade das ondas de calor

Para medir a intensidade de cada onda de calor, foi considerado o índice *Excess Heat Factor* (EHF), proposto por Nairn and Fawcett [2013], que combina um limiar climatológico extremo, como definido para onda de calor, e considera o efeito de aclimação recente. Essa abordagem metodológica amplifica a detecção de eventos extremos locais, evidenciando que, além de superarem o percentil histórico, tais picos de temperatura são atingidos rapidamente, o que compromete a capacidade de adaptação imediata.

Inicialmente, considerou-se a temperatura média simples entre a temperatura máxima e mínima, sendo avaliada a média de três dias consecutivos:

$$\bar{T}_{3d} = \frac{T_i + T_{i+1} + T_{i+2}}{3} \quad (1)$$

A partir dessa média, são definidos dois componentes.

Índice de Significância (EHI_{sig})

O índice de significância compara a média de três dias consecutivos com o percentil 95 da climatologia diária (T_{95}):

$$EHI_{sig} = \bar{T}_{3d} - T_{95} \quad (2)$$

Valores positivos indicam que a temperatura média do período excede o limiar

extremo histórico, caracterizando condição potencial de onda de calor. Valores nulos ou negativos indicam ausência de extremo climatológico.

Índice de Aclimação (EHI_{accl})

O índice de aclimação avalia a anomalia térmica em relação às condições recentes, sendo definido como:

$$EHI_{accl} = \bar{T}_{3d} - \frac{1}{30} \sum_{k=1}^{30} T_{i-k} \quad (3)$$

Esse termo representa a diferença entre a temperatura média dos três dias consecutivos e a média dos 30 dias anteriores. Valores positivos indicam que o evento ocorre após um período relativamente mais ameno, potencializando seus impactos.

Excess Heat Factor (EHF)

O índice final de intensidade da onda de calor é dado por:

$$EHF = EHI_{sig} \times \max(1, EHI_{accl}) \quad (4)$$

O EHF assume valores positivos apenas quando $EHI_{sig} > 0$. O termo $\max(1, EHI_{accl})$ assegura que o fator de aclimação amplifique a intensidade do evento quando $EHI_{accl} > 1$, mantendo valor unitário caso contrário. Dessa forma, o EHF integra a superação do limiar extremo climatológico ao efeito de aclimação recente, fornecendo uma medida robusta da severidade das ondas de calor e um indicador relevante para os serviços de saúde humana Scalley et al. [2015].

Foi elaborado um mapa contendo a intensidade máxima registrada das ondas de calor. Posteriormente, após a segmentação em três regiões, calculou-se, para cada dia, a intensidade média considerando todas as latitudes pertencentes a cada região. Esse procedimento permitiu avaliar o agravamento da intensidade das ondas de calor ao longo do tempo dentro de cada área segmentada, por meio do teste de Mann-Kendall.

2.4 Regionalização

De acordo com Alvares et al. [2014], o estado de São Paulo pode ser dividido em pelo menos duas regiões climáticas distintas, segundo a classificação climática de Köppen.

Com o objetivo de reduzir possíveis vieses decorrentes da influência de uma região sobre outra, aplicou-se o método *Skater* (Spatial ‘K’luster Analysis by Tree Edge Removal). Essa técnica de regionalização espacial agrupa unidades geográficas contínuas com base na similaridade de seus atributos, garantindo conectividade espacial entre os elementos de cada grupo. O algoritmo foi originalmente proposto por Assunção et al. [2006].

Cada unidade espacial é representada como um nó em um grafo, cujas conexões são definidas por uma matriz de vizinhança. A dissimilaridade entre unidades vizinhas é geralmente calculada pela distância euclidiana entre as características consideradas; neste estudo, foram utilizadas a temperatura máxima e a temperatura mínima da normal climatológica de 1961 a 1990:

$$d_{ij} = \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| \quad (5)$$

Com base nesses pesos, constrói-se uma árvore geradora mínima (*Minimum Spanning Tree* – MST), que minimiza a soma total das distâncias:

$$\sum_{(i,j) \in E} d_{ij} \quad (6)$$

A segmentação ocorre pela remoção das arestas de maior peso na árvore, formando regiões homogêneas e espacialmente contíguas. O número de regiões k pode ser previamente definido, mantendo coerência espacial e reduzindo a variabilidade interna dos grupos.

Assim, a aplicação do método resultou em três regiões: a região em verde escuro, nomeada Região Oeste, com 107 pontos espaciais; a região em verde claro, nomeada Região Centro, com 88 pontos espaciais; e a região em cinza, nomeada Região Leste, com 182 pontos espaciais.

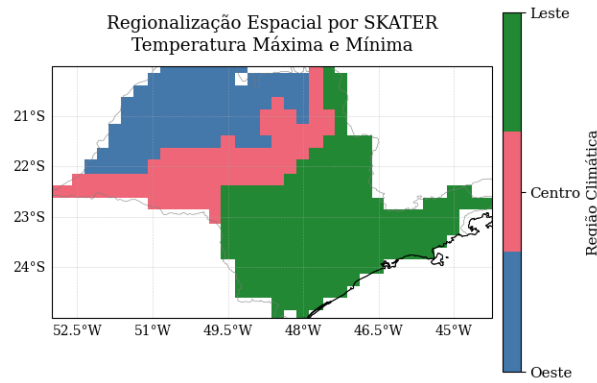


Figura 1: Regiões do Estado de São Paulo com base nos pontos do ERA5

3 Resultados

3.1 Ondas de calor

Para cada ponto espacial foi criada uma série temporal com a ocorrência das ondas de calor e, para identificar as regiões de maior ocorrência, calculou-se em cada ponto a soma das ondas de calor registradas, conforme apresentado na Figura 2a. Em seguida, foi aplicada a segmentação SKATER sobre a área de estudo, permitindo delimitar regiões e avaliar o acumulado de ondas de calor em cada uma delas, conforme apresentado na Figura 2b.

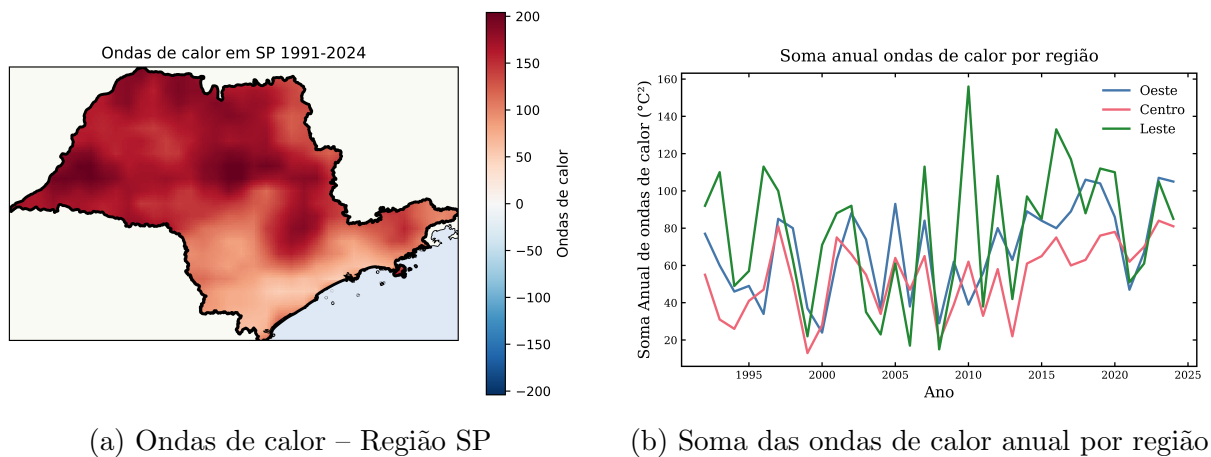


Figura 2: (a) Acumulado das ondas de calor. (b) Regionalização espacial obtida pelo método SKATER.

Com base nas três séries anuais apresentadas na Figura 2b, foi aplicado o teste

de Mann-Kendall, e os parâmetros obtidos foram registrados na tabela abaixo.

Tabela 1: Resultados do teste de tendência para as regiões analisadas.

Região	Tendência	Significativo ($\alpha = 0,05$)	p-valor	Z	Tau
Oeste	Aumento	Verdadeiro	3.919×10^{-3}	2.884	0.354
Centro	Aumento	Verdadeiro	2.031×10^{-3}	3.085	0.379
Leste	Sem tendência	Falso	4.474×10^{-1}	0.759	0.095

3.2 Intensidade das ondas de calor

Como cada ponto de latitude e longitude possui uma série temporal associada, considerou-se o maior valor registrado como representativo da intensidade máxima, permitindo a identificação das áreas com maior ocorrência de eventos intensos, conforme apresentado na Figura 3a. Em seguida, a região foi segmentada em três áreas utilizando o método SKATER, conforme apresentado na Figura 3b. Para cada uma dessas regiões, calculou-se a intensidade média das ondas de calor, resultando em três séries temporais anuais, também mostradas na Figura 3b.

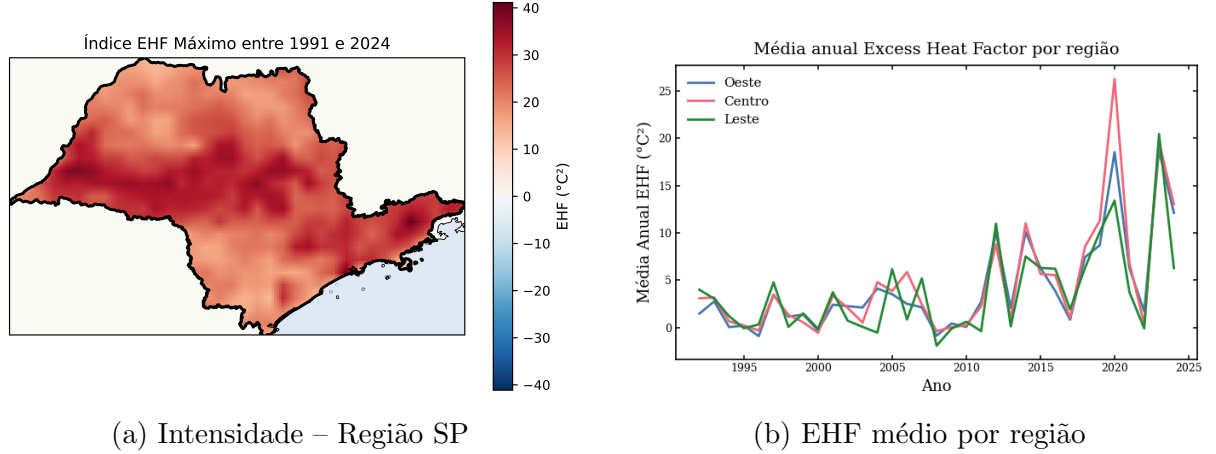


Figura 3: (a) Intensidade das ondas de calor. (b) Regionalização espacial obtida pelo método SKATER.

Com base nas séries temporais apresentadas na Figura 3b, aplicou-se o teste estatístico de Mann-Kendall para avaliar a presença de tendência em cada região. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados do teste de tendência para as regiões analisadas.

Região	Tendência	Significativo ($\alpha = 0,05$)	p-valor	Z	Tau
Oeste	Aumento	Verdadeiro	7.730×10^{-4}	3.362	0.413
Centro	Aumento	Verdadeiro	7.730×10^{-4}	3.362	0.413
Leste	Aumento	Verdadeiro	8.830×10^{-3}	2.619	0.322

4 Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam um agravamento consistente das ondas de calor nas três regiões do estado de São Paulo ao longo do período analisado (1961–2024), tanto em termos de frequência quanto de intensidade, com padrões espaciais distintos.

O aumento significativo na soma anual de ondas de calor nas regiões Oeste e Centro, verificado pelo teste de Mann-Kendall com p-valores inferiores a 0,05, está em consonância com projeções climáticas globais que apontam para o incremento da frequência de eventos extremos de calor em regiões tropicais e subtropicais sob aquecimento contínuo IPCC [2018]. A ausência de tendência estatisticamente significativa na região Leste ($p = 0,447$) pode ser atribuída, em parte, à influência da maritimidade sobre os pontos da costa e do relevo da Serra do Mar, o que é observável na Figura 2a, na qual a região Leste apresenta um menor acumulado de ondas de calor em relação ao interior.

Quanto à intensidade, medida pelo índice EHF, as três regiões apresentaram tendência de aumento significativa, com os coeficientes tau de Kendall mais elevados observados nas regiões Oeste e Centro ($\tau = 0,413$), indicando uma aceleração mais pronunciada da severidade dos eventos nessas áreas. Esse padrão é consistente com a literatura que aponta o interior do estado de São Paulo como uma das regiões mais vulneráveis ao agravamento do estresse térmico Nobre et al. [2018].

A adoção do índice EHF como métrica de intensidade mostrou-se adequada para capturar tanto a magnitude do evento em relação à climatologia local quanto o efeito de aclimação, aspecto especialmente relevante do ponto de vista da saúde pública. Ondas de calor que ocorrem após períodos relativamente amenos tendem a impactar mais severamente a população, pois o organismo humano não teve tempo de se adaptar às condições de estresse térmico Scalley et al. [2015]. Nesse sentido, os aumentos observados no EHF ao longo das décadas sugerem um cenário de risco crescente para a saúde da

população paulista, em especial para grupos vulneráveis como idosos e crianças.

É importante reconhecer as limitações associadas ao uso dos dados ERA5 neste estudo. Conforme apontado por Silva et al. [2025], a reanálise tende a subestimar eventos extremos de calor nas regiões central e norte do país quando comparada a dados de estações meteorológicas nacionais. Isso implica que as tendências observadas, particularmente nas regiões Oeste e Centro, podem ser conservadoras em relação à real magnitude dos eventos registrados. Estudos futuros que integrem dados de estações de superfície poderão oferecer estimativas mais precisas da ocorrência e intensidade das ondas de calor nessas áreas.

A regionalização pelo método SKATER demonstrou ser uma ferramenta eficaz para a identificação de sub-regiões climáticas homogêneas dentro do estado, reduzindo vieses decorrentes da heterogeneidade espacial das temperaturas e permitindo análises de tendência mais robustas e interpretáveis. Essa abordagem pode ser replicada e aprimorada em estudos futuros com maior resolução espacial ou incorporando variáveis adicionais, como umidade relativa e índices de urbanização, para mensurar os impactos sazonais na saúde e nos ecossistemas. Adicionalmente, recomenda-se a integração de modelos climáticos globais e regionais para a previsão e o acompanhamento desses impactos a longo prazo.

Referências

- Clayton Alcarde Alvares, José Luiz Stape, Paulo Cesar Sentelhas, José Leonardo de Moraes Gonçalves, and Gerd Sparovek. Köppen’s climate classification map for brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6):711–728, 2014. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- Renato M. Assunção, Mário C. Neves, Gilberto Câmara, and Carlos da C. Freitas. Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7):797–811, 2006. doi: 10.1080/13658810600665111.
- Sharon Campbell, Tomas A. Remenyi, Christopher J. White, and Fay H. Johnston. Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place*, 53:210–218, 2018. doi: 10.1016/j.healthplace.2018.08.017. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353829218301205>.
- Jian Cheng, Zhiwei Xu, Hilary Bambrick, Hong Su, Shilu Tong, and Wenbiao Hu. Heatwave and elderly mortality: An evaluation of death burden and health costs considering short-term mortality displacement. *Environment International*, 115:334–342, 2018. doi: 10.1016/j.envint.2018.03.041.
- Dennis R Helsel and Robert M Hirsch. *Statistical methods in water resources*. US Geological Survey, Reston, VA, 2002.
- H. Hersbach, B. Bell, P. Berrisford, G. Biavati, A. Horányi, J. Muñoz-Sabater, J. Nicolas, C. Peubey, R. Radu, I. Rozum, D. Schepers, A. Simmons, C. Soci, D. Dee, and J.-N. Thépaut. Era5 monthly averaged data on single levels from 1940 to present, 2023. URL <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means>.
- IPCC. Global warming of 1.5°C. an ipcc special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels, 2018.
- Maurice George Kendall. *Rank correlation methods*. Charles Griffin, 1975.

- Henry B Mann. Anisotropy and trend in chronological series. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 245–259, 1945.
- Mio Matsueda. Predictability of euro-russian blocking in summer of 2010. *Geophysical Research Letters*, 38(6):L06801, 2011. doi: 10.1029/2010GL046557.
- Tom Matthews, Colin Raymond, Josh Foster, Jane W. Baldwin, Catherine Ivanovich, Qinqin Kong, Patrick Kinney, and Radley M. Horton. Mortality impacts of the most extreme heat events. *Nature Reviews Earth Environment*, 6:193–210, 2025. doi: 10.1038/s43017-024-00635-w. URL <https://www.nature.com/articles/s43017-024-00635-w>. Accepted: 17 December 2024; Published: 04 February 2025.
- John R. Nairn and Robert J. B. Fawcett. The excess heat factor: A metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12):232–234, 2013. doi: 10.3390/ijerph10124950.
- Carlos A. Nobre, Jose A. Marengo, and Wagner R. Soares, editors. *Climate Change Risks in Brazil*. Springer, Cham, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-92881-4.
- Alisson Beloti Nunes, Maricéia de Oliveira, Fernanda Sampaio, and Vanderlei de Almeida Silveira. Ondas de calor nas capitais do sul do brasil e montevidéu - uruguai. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(1):196–211, 2019. doi: 10.26848/rbgf.v12.1.p196-211.
- Daniela Souza de Oliveira, Paula Dornhofer Paro Costa, Luiza Marchezan Bezerra, Ana Maria Heuminski de Avila, and Eliana Cotta de Faria. Hotter, longer and more frequent heatwaves: An observational study for the brazilian city of campinas, sp. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(2):305–316, 2021. doi: 10.1590/0102-77863620119.
- Benjamin D. Scalley, Tony Spicer, Le Jian, Jianguo Xiao, John R. Nairn, Andrew Robertson, and Tarun Weeramanthri. Responding to heatwave intensity: Excess heat factor is a superior predictor of health service utilisation and a trigger for heatwave plans. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 39(6):582–587, 2015. doi: 10.1111/1753-6405.12421.
- Alindomar Lacerda Silva, Scott Sheridan, Chibuike Ibebuchi, and Cameron Lee. Comparing observed and reanalysis data for trends in extreme temperature events in

brazil (1996–2022). *Theoretical and Applied Climatology*, 156, 2025. doi: 10.1007/s00704-025-05777-5.

Veronika Weirhammer, Jonas Schmid, Isabella Mittermeier, Fabian Schreiber, Linmiao Jiang, Vedran Pastuhovic, Caroline Herr, and Stefanie Heinze. Extreme weather events in europe and their health consequences – a systematic review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233:113688, 2021. doi: 10.1016/j.ijheh.2021.113688. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463921000018>.

World Meteorological Organization. *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals*. WMO-No. 1203. WMO, Geneva, 2017.

World Meteorological Organization and World Health Organization. Heatwaves and health: Guidance on warning-system development, 2015.