

Ministério da Saúde

**FIOCRUZ**

**Fundação Oswaldo Cruz**



ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
SERGIO AROUCA  
ENSP

Luise Maria Martins dos Santos

**Bases metodológicas para sistema de alerta de redução de óbitos por ondas de calor nas capitais brasileiras**

Rio de Janeiro

2023

Luise Maria Martins dos Santos

**Bases metodológicas para sistema de alerta de redução de óbitos por ondas de calor nas capitais brasileiras**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Beatriz Fátima Alves de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Ismael Henrique Silveira.

Rio de Janeiro

2023

Título do trabalho em inglês: Methodological bases for an alert system to reduce deaths due to heat waves in Brazilian capitals.

S237b Santos, Luise Maria Martins dos.  
Bases metodológicas para sistema de alerta de redução de óbitos por ondas de calor nas capitais brasileiras / Luise Maria Martins dos Santos. -- 2023.  
74 f. : il.color, fotos, mapas.  
  
Orientadora: Beatriz Fátima Alves de Oliveira.  
Coorientador: Ismael Henrique Silveira.  
Dissertação (Mestrado Acadêmico em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2023.  
Bibliografia: f. 68-74.  
  
1. Mudança Climática. 2. Exposição Ambiental. 3. Mortalidade. 4. Estudos Cross-Over. 5. Saúde Pública. I. Título.

CDD 616.988

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Rede de Bibliotecas da Fiocruz com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bibliotecário responsável pela elaboração da ficha catalográfica: Cláudia Menezes Freitas - CRB-7-5348  
Biblioteca de Saúde Pública

Luise Maria Martins dos Santos

**Bases metodológicas para sistema de alerta de redução de óbitos por ondas de calor nas capitais brasileiras**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 05 de setembro de 2023.

Banca Examinadora

Prof.<sup>a</sup> Dra. Eliane Ignotti  
Universidade do Estado do Mato Grosso

Prof. Dr. Paulo Rubens Guimarães Barrocas  
Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Prof. Dr. Ismael Henrique Silveira (Coorientador)  
Universidade Federal da Bahia

Prof.<sup>a</sup> Dra. Beatriz Fátima Alves de Oliveira (Orientadora)  
Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

Rio de Janeiro

2023

Dedico este trabalho ao meu esposo e a minha família. Obrigada por todo esforço, amor e dedicação ao longo desses anos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me sustentou até aqui e não permitiu que eu desistisse. Certamente, sem o seu amor incondicional não seria possível conquistar esse sonho. A Ele toda honra e glória!

Ao meu amado esposo, Caio, que me deu todo amor e suporte nas horas mais difíceis. Você não imagina o quanto foi importante cada palavra de incentivo. Obrigada por me fazer acreditar em mim mesma em cada etapa até aqui. Te amo muito!

Aos meus pais, Henrique e Fátima, que me apoiaram e me orientaram durante toda essa caminhada. Ao meu irmão, Luis, pelo seu carinho e implicância de todos os dias.

A Dra. Beatriz Oliveira e ao Dr. Ismael Silveira, meus orientadores. Aprendi muito com vocês ao longo desse período. Obrigada por confiarem no meu potencial, por acreditarem na construção desse trabalho e pela paciência em todos os momentos.

A Fiocruz e a ENSP, instituições que foram fundamentais para minha evolução acadêmica e profissional e por permitir o acesso a essa oportunidade única do Mestrado que salvou minha vida em meio pandemia. A todo corpo docente e de funcionários, que sempre fizeram tudo com excelência e pela dedicação para o “fazer acontecer” no dia a dia.

Ao todos do Grupo de Pesquisa do Programa Inova Fiocruz que ajudaram durante todo o trabalho e contribuíram para a realização desse projeto. Mais uma vez, muito obrigada.

Aos meus amigos Alessandra, Rafael e Sonia pela parceria durante as disciplinas do Mestrado e por estudarem comigo no remoto. Vocês tornaram meus dias melhores!

**“Tudo** coopera para o **bem** daqueles que **amam a Deus.**”

(Bíblia, Romanos, 8:28)

## RESUMO

Os efeitos das ondas de calor na saúde humana são uma grande preocupação de saúde pública e o excesso de mortalidade um dos impactos diretos mais comuns das mudanças climáticas antropogênicas. Objetiva-se, com este trabalho, avaliar os critérios estabelecidos para definição de ondas de calor e os desfechos de saúde sensíveis às ondas de calor a fim de aplicá-los no desenvolvimento de sistemas de alerta no Brasil. A abordagem do estudo baseou-se na revisão dos principais sistemas de alerta para ondas de calor no mundo com a identificação dos principais indicadores de exposição, desfecho e os critérios estabelecidos para definição de ondas de calor, bem como na identificação dos agravos e os grupos mais sensíveis em termos de mortalidade aos eventos de ondas de calor. As definições de ondas de calor selecionadas foram analisadas variando a intensidade da temperatura média diária e duração de ondas de calor em dias, na qual foram avaliados os efeitos sobre os desfechos de mortalidade geral, em idosos com idade acima de 65 anos e em indivíduos com condições cardiopulmonares nas capitais do Brasil entre 2000 e 2019. A análise estatística foi realizada para cada cidade utilizando um desenho de estudo epidemiológico do tipo *case-crossover*, e posteriormente, o modelo de regressão de Poisson condicional foi aplicado para estimar o efeito das ondas de calor na mortalidade. De acordo com os resultados encontrados, recomenda-se que esses planos sejam direcionados aos grupos mais sensíveis e vulneráveis da sociedade, como idosos e pessoas com condições médicas pré-existentes, sejam condições cardiopulmonar ou respiratória. Por fim, esses resultados possuem implicações importantes para a saúde pública, pois destaca a necessidade de elaborar e implementar planos de ação específicos para lidar com a combinação dos efeitos de calor e saúde em todas as regiões do Brasil. Isso inclui a implementação de sistemas de alerta e estratégias de resposta, visando mitigar os efeitos das ondas de calor na saúde.

Palavras-chave: Mudança Climática; Exposição Ambiental; Mortalidade; Estudos *Cross-over*; Saúde Pública.



## ABSTRACT

The effects of heat waves on human health are a major public health concern, and excess mortality is one of the most common direct impacts of anthropogenic climate change. The aim of this work is to evaluate the criteria established for defining heat waves and the health outcomes sensitive to heat waves in order to apply them in the development of warning systems in Brazil. The study approach was based on the review of the main warning systems for heat waves in the world with the identification of the main indicators of exposure, outcome and the criteria established for defining heat waves, as well as the identification of diseases and groups more sensitive in terms of mortality to heat wave events. The selected heat wave definitions were analyzed by varying the intensity of the average daily temperature and duration of heat waves in days, in which the effects on general mortality outcomes were evaluated in elderly people over 65 years of age and in individuals with cardiopulmonary conditions in Brazilian capitals between 2000 and 2019. Statistical analysis was performed for each city using a case-crossover epidemiological study design, and subsequently, the conditional Poisson regression model was applied to estimate the effect of waves of heat in mortality. According to the results found, it is recommended that these plans be targeted at the most sensitive and vulnerable groups in society, such as the elderly and people with pre-existing medical conditions, whether cardiopulmonary or respiratory conditions. Finally, these results have important implications for public health, as they highlight the need to develop and implement specific action plans to deal with the combination of heat and health effects in all regions of Brazil. This includes implementing warning systems and response strategies to mitigate the health effects of heatwaves.

Keywords: Climate Change; Environmental Exposure; Mortality; Cross-over Studies; Public Health.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diferença da temperatura média atmosférica superficial global ao longo dos anos em relação à média das temperaturas entre 1961 e 1990. Série histórica: 1850 a 2008.....	18
Figura 2 - Descrição das projeções esperadas para ocorrência de eventos extremos de calor em escala global, de acordo com os níveis de aquecimento .....	19
Figura 3 - Oito elementos principais para que seja alcançado uma implementação bem-sucedida do plano de ação de saúde para o calor .....	26
Figura 4 - O esquema de uma estratégia de sistema de alerta de saúde de calor com base nas medidas meteorológicas e de saúde pública .....	28
Figura 5 - Diagrama dos impactos do calor nas hospitalizações e mortes, frente aos alertas de calor .....	30
Figura 6 - Níveis do sistema de alerta baseado no tempo e magnitude até a ocorrência da onda de calor .....	31
Figura 7 - Demonstração visual do formato dos dados climáticos .....	38
Figura 8 - Percentis 90th, 95th e 99th usados para definições da intensidade de ondas de calor da temperatura média e máxima do período climatológico de 2000 a 2019 para o todo território brasileiro .....	39
Figura 9 - Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Norte do Brasil entre 2000 e 2019 .....	51
Figura 10 - Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Centro-Oeste do Brasil entre 2000 e 2019 .....	52
Figura 11 - Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Centro-Oeste do Brasil entre 2000 e 2019 .....	53
Figura 12 - Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Sudeste do Brasil entre 2000 e 2019 .....	54
Figura 13 - Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Sul do Brasil entre 2000 e 2019 .....	54
Figura 14 - Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar no Brasil usando como indicador de exposição a temperatura média e a temperatura máxima diária (2000-2019) .....	55

Figura 15 - Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul usando como indicador de exposição a temperatura média diária (2000-2019).....	57
Figura 16 - Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar nas regiões Norte e Nordeste, usando como indicador de exposição a temperatura média diária (2000-2019).....	58
Figura 17 - Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar no Brasil e nas regiões (combinando os efeitos das capitais), usando como indicador de exposição a temperatura média diária (2000-2019).....	59
Figura 18 - Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar no Brasil e nas regiões (combinando os efeitos das capitais), usando como indicador de exposição a temperatura máxima diária (2000-2019) .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores usados para definição de ondas de calor nos principais sistemas de vigilância no mundo .....	43
Tabela 2 - Resumo dos indicadores usados para definição de ondas de calor nos principais sistemas de alerta no mundo, segundo sua disponibilidade, operacionalização (coleta e processamento de dados) e aplicação em saúde pública no Brasil .....	45
Tabela 3 - Estatísticas descritivas resumidas dos resultados diários de mortalidade e das variáveis meteorológicas das 27 capitais brasileiras, durante o período de 2000 a 2019 .....	46
Tabela 4 - Dados diários de mortalidade e variáveis meteorológicas (temperatura média e temperatura máxima) para as 27 capitais do Brasil durante o período de 2000 a 2019 .....	48
Tabela 5 - Número médio de dias de ondas de calor, segundo quinze definições, por região e por variáveis meteorológicas das 27 capitais do Brasil durante o período de 2000 a 2019 .....	50
Tabela 6 - Risco relativo (IC 95%) das ondas de calor na mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar no Brasil e nas regiões (combinando os efeitos das capitais), usando como indicador de exposição a temperatura média e máxima diária e intensidade do percentil 90°, 95° e 99° e duração acima de 2 dias (2000-2019)..	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
CIB	Comissão Internacional de Biometeorologia
CID	Classificação Internacional de Doenças
CPTEC/INPE	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
EHF	Índice de Excesso de Calor
HHAP	<i>Heat-Health Action Plan</i>
HHWS	<i>Heat-Health Warning Systems</i>
IC	Índice de Calor
IC 95%	Intervalo de Confiança de 95%
ICU	Ilhas de Calor Urbanas
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
NetCDF	<i>Network Common Data Form</i>
RR	Risco Relativo
SIM	Sistema de Informações sobre Mortalidade
SIS	Sistemas de Informações de Saúde
TEP	Temperatura Efetiva Padrão
UTCI	Índice Universal do Clima Térmico
WBGT	Temperatura Bulbo Úmido
WHO	<i>World Health Organization</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
2.1	IMPACTOS DAS ONDAS DE CALOR .....	16
2.1.1	Ondas de calor .....	16
2.1.2	Mudanças climáticas .....	17
2.1.3	O papel das ilhas de calor urbanas .....	19
2.2	EFEITOS NA SAÚDE .....	20
2.2.1	Aspectos fisiológicos .....	20
2.2.2	Fatores que aumentam a vulnerabilidade.....	21
2.3	MENSURAÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO CALOR .....	22
2.4	ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO .....	24
2.4.1	Comunicação entre as partes interessadas e o público .....	24
2.4.2	Plano de ação saúde-calor .....	25
2.5	SISTEMAS DE ALERTA .....	27
2.5.1	Métricas do sistema de alerta .....	27
2.5.2	Determinação dos limites de alerta .....	29
2.5.3	Avaliação do sistema de alerta .....	31
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	33
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	35
4.1	OBJETIVO GERAL.....	35
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	35
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	36
5.1	ABORDAGENS DO ESTUDO .....	36
5.2	ÁREA DE ESTUDO .....	36

<b>5.2.1</b>	<b>Dados de mortalidade.....</b>	<b>37</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Dados meteorológicos .....</b>	<b>37</b>
5.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	40
5.4	ASPECTOS ÉTICOS .....	41
<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
6.1	REVISÃO DOS PRINCIPAIS INDICADORES DE EXPOSIÇÃO E OS CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PARA DEFINIÇÃO DAS ONDAS DE CALOR .....	42
6.2	ANÁLISE DOS INDICADORES, INTENSIDADE E DURAÇÃO DE ONDAS DE CALOR .....	46
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É incontestável que a ação humana resultou no aquecimento global alterando o sistema climático do planeta. Nesse contexto, o aumento da temperatura média global tornou-se uma grande preocupação para a sociedade. Nos últimos 50 anos, a temperatura global apresentou um crescimento alarmante, mais do que em qualquer outro período anterior. Estima-se que nesse ritmo, a temperatura média do mundo aumentará em mais 1,5°C antes da metade do século (IPCC, 2021).

As ondas de calor, comumente caracterizadas por longos períodos de calor extremo, tornaram-se um desafio significativo para a saúde pública, uma vez que impactam saúde humana, causando aumento na mortalidade e morbidade por diversas causas (McGregor, G. R; Bessemoulin; WMO, 2015). Esses eventos extremos podem causar a morte de milhares de pessoas, sendo mais evidentes em grupos considerados vulneráveis como idosos (Anderson, Bell, 2009; Son *et al.*, 2016) tornando-se uma ameaça significativa ao meio ambiente e à sociedade (McGregor, G. R; Bessemoulin; WMO, 2015).

No decorrer das últimas décadas, houve um aumento na frequência, magnitude, duração e intensidade das ondas de calor em todo o mundo devido às mudanças climáticas. Embora os efeitos das ondas de calor não sejam tão evidentes quanto os de outros desastres naturais, como incêndios florestais ou seca, raramente os eventos de calor recebem a atenção adequada. Apesar disso, as ondas de calor estão entre os perigos naturais mais graves, podendo causar danos no abastecimento de água e alimentos, nos meios de subsistência atuais e futuros, além de perturbar o funcionamento da sociedade (PAHO, 2021).

A gravidade dos efeitos das ondas de calor pode ser evidenciada pela ocorrência de ondas de calor históricas que afetaram o mundo. Na Europa, em julho e agosto de 2003 sobreveio uma onda de calor que causou 14.802 mortes em excesso na França, 2.045 mortes em excesso no Reino Unido e 2.099 em Portugal (Koppe *et al.*, 2004a). Outra onda de calor catastrófica foi observada na Rússia em 2010, onde o número de mortes foi de longe o pior evento dos últimos 33 anos (Hoag, 2014). O impacto dessa onda de calor resultou em aproximadamente 14.500 mortes em excesso em julho e 41.300 mortes em agosto (Barriopedro *et al.*, 2011). Na finalidade de atribuir uma indicação da mortalidade que esteja relacionada ao nível de temperatura, é calculado o excesso de mortalidade, a qual é estimado subtraindo a mortalidade esperada pela mortalidade observada. (Gosling *et al.*, 2009).



De um modo geral, a ocorrência de ondas de calor pode levar a óbito e agravar as condições de saúde pré-existentes. Os efeitos na saúde podem aparecer em qualquer faixa etária, mas vale ressaltar que certas pessoas apresentam um risco maior aos efeitos relacionados ao calor do que outras. Dessa forma, as variações do risco estão relacionadas às condições individuais, ao nível de exposição ao clima quente e a capacidade de adaptação às condições climáticas quentes (Matthies, 2008).

A ocorrência de desfechos associados ao calor pode ser agravada por condições crônicas de cada indivíduo, especialmente no que diz respeito as doenças pulmonares, cardíacas e distúrbios renais e, inclusive, pelo uso de alguns medicamentos. Aliado a isso, a vulnerabilidade a doenças relacionadas ao calor forma um grupo de risco composto por pessoas idosas e com excesso de peso, além de pessoas que trabalham e/ou praticam atividades ao ar livre sem as devidas medidas protetoras e a população mais carente e de rua (PAHO, 2021).

Em relação ao enfrentamento das ondas de calor, uma maneira de gerenciar o risco dos efeitos à saúde é através do desenvolvimento de um sistema de alerta de calor para a saúde. De um modo geral, um sistema de alerta tem por objetivo fornecer informações fundamentadas em previsões meteorológicas e climáticas, na qual leva em consideração a probabilidade de ocorrer um clima quente e com alta temperatura a ponto de estar acima do limite esperado e que possa afetar a saúde humana (McGregor, G. R; Bessemoulin; WMO, 2015).

A redução dos desfechos adversos à saúde durante eventos de calor é obtida através de um sistema de alerta eficiente, ressaltando o quão importante é o seu funcionamento (Nicholls, 2019). É por meio dele que se determinam os limites de estresse térmico para a tomada de ação e a partir disso são emitidos os avisos e comunicados para a população em geral e os grupos de risco. Também são enviados alertas para agências governamentais e para todos os setores da saúde informando sobre a real gravidade de um período iminente de calor e seus possíveis impactos na saúde humana.

Entende-se que as mudanças climáticas, em particular o aumento da temperatura global, gera um risco eminente à sociedade, devido ao número crescente de eventos extremos como as ondas de calor com maior potencial de impacto negativo à saúde humana e ao meio ambiente. Nesse sentido, o presente estudo propõe-se em estudar os critérios utilizados para definição de ondas de calor e os desfechos de saúde sensíveis às ondas de calor a fim de aplicá-los no desenvolvimento de sistemas de alerta no Brasil.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 IMPACTOS DAS ONDAS DE CALOR

#### 2.1.1 Ondas de Calor

Apesar de não existir uma única definição para as ondas de calor, em termos de saúde pública, em diversos países considera-se como onda de calor, eventos caracterizados como um prolongado intervalo de extremo calor ou por um período de clima quente e seco ou quente e úmido, na qual tem seu início e término bem sutis, com período de duração mínima de pelo menos 2 dias consecutivos e cujos valores de temperatura ou outro indicador térmico estejam acima do limite a qual podem acarretar em um impacto considerável na humanidade. Sendo assim, tanto as temperaturas diurnas, quanto as temperaturas noturnas, devem necessariamente atingir uma medida acima da média esperada, a ponto de ser capaz de formar uma onda de calor (Koppe *et al.*, 2004b; Stefanon; D'Andrea; Drobinsky, 2012).

As ondas de calor podem apresentar condições meteorológicas distintas, e por esse motivo são estabelecidas de acordo com as características climáticas locais. Além disso, a extensão espacial, duração e intensidade destes eventos podem variar consideravelmente entre as localidades (Stefanon; D'Andrea; Drobinsky, 2012). Outro aspecto importante desses eventos é que estes tendem a ser mais exacerbados em áreas urbanas e em megacidades devido à formação de ilhas de calor. No decorrer desse fenômeno, o calor do sol retido no ambiente urbano durante o dia é liberado lentamente durante a noite, resultando em temperaturas noturnas mais elevadas.

No Brasil, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foi estabelecido que uma onda de calor deve ser composta por um período desconfortável e de calor extremo, que pode se estender por vários dias ou até mesmo semanas. Para definir uma onda de calor, o *The Weather Channel* utiliza os seguintes critérios: a temperatura deve exceder os 32°C em pelo menos 10 estados e permanecer pelo menos cinco graus acima da média naquela região por um período mínimo de dois dias ou mais, cujas consequências se refletem nos impactos negativos à saúde, economia e agricultura (INMET, 2022).

Uma alternativa para estimar o efeito das ondas de calor na mortalidade é por meio do modelo de regressão condicional de Poisson, uma vez que analisa associações entre séries

temporais de exposições ambientais e contagens de desfechos de saúde (Armstrong; Gasparini; Tobias, 2014a). Além dessa abordagem, também pode ser o excesso de mortalidade, a qual é estimado subtraindo a mortalidade esperada pela mortalidade observada. (Gosling *et al.*, 2009). Enquanto para o desfecho de morbidade, uma ampla evidência é contemplada por alguns estudos, a qual sinalizam através dos dados sobre o manejo de serviços de emergência e internações hospitalares, durante o intervalo de ondas de calor que foram identificadas, como relacionadas ao calor (Villamil Cajoto *et al.*, 2005).

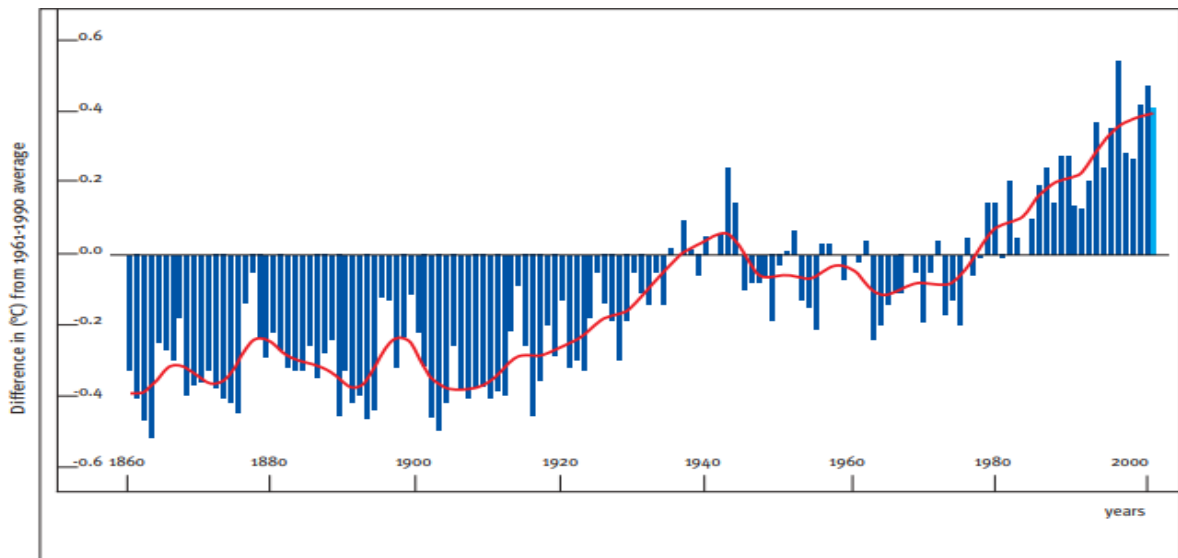
### **2.1.2 Mudanças climáticas**

As atividades antropogênicas têm causado mudanças significativas no sistema climático da Terra tanto em escala local quanto em escala global. Tais atitudes resultaram no aumento da concentração de gases de efeito estufa e aerossóis na atmosfera, com a intensificação aquecimento global e suas consequências. As concentrações atmosféricas têm atingido níveis cada vez mais elevados devido à queima de combustíveis fósseis, agricultura extensiva e mudanças no uso da terra (WHO, 2009).

Em geral, as projeções dos modelos climáticos mostram que conforme o aquecimento global aumenta, maior será a frequência em que ocorrem os eventos extremos de calor. Um exemplo disso pode ser facilmente percebido por meio de temperaturas e umidade relativa do ar elevadas. Ainda assim, o aumento da carga de calor não afeta somente os setores mais importantes da economia, mas também pode levar a uma série de impactos graves à saúde humana, inclusive a desfechos de óbito (Bitencourt *et al.*, 2016).

No penúltimo relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*), foi destacado que os extremos de calor têm se tornado cada vez mais frequentes e intensos, assim como a duração das ondas de calor aumentaram em todo o globo desde a década de 50 (IPCC, 2021). Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), em 2022, a temperatura média anual global, que combina medições de temperatura próximas à superfície sobre terra e oceano, aumentou cerca de 1,15°C acima da média pré-industrial de 1850–1900 (WMO, 2023).

**Figura 1:** Diferença da temperatura média atmosférica superficial global ao longo dos anos em relação à média das temperaturas entre 1961 e 1990. Série histórica: 1850 a 2008.

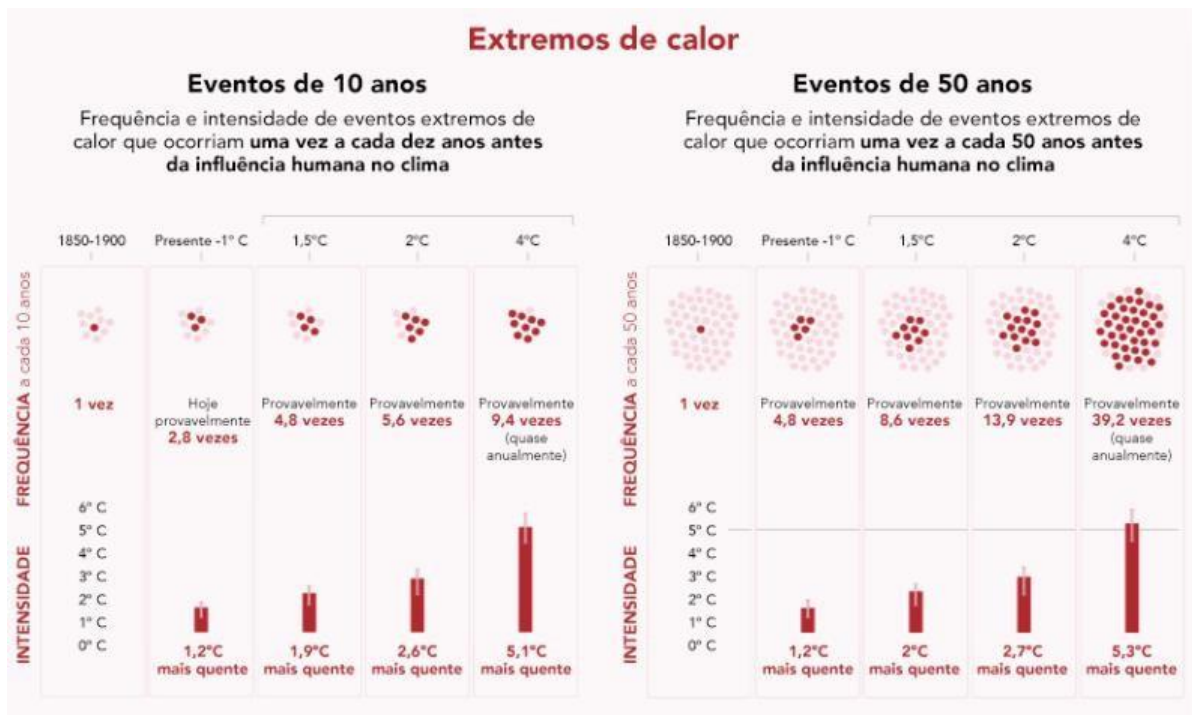


**Fonte:** Adaptado de OMS – Saúde e Mudanças Climáticas, 2005.

Com o aquecimento global e as mudanças climáticas, as projeções realizadas indicam uma tendência de aumento contínuo, principalmente em relação ao aumento na frequência e intensidade de eventos de calor. Isso poderá ser observado a partir das temperaturas maiores que as condições médias da temperatura atmosférica, chegando a valores bem acima do esperado (Fisher; Schar, 2010).

Nesse ritmo, estima-se que nos próximos 30 anos, haverá mudanças climáticas em todas as regiões do planeta, na qual incluiu temperaturas elevadas, estações quentes com longa duração, mais ondas de calor e menos extremos de frio, sobretudo se o limite de 2°C for atingido. À medida que cada grau extra de aquecimento global for atingido, maior será a tendência de aumentar a frequência de extremos de calor e sua intensidade. Nesse sentido, os limites críticos prejudiciais para a saúde humana serão ultrapassados constantemente (Figura 2) (IPCC, 2021).

**Figura 2:** Descrição das projeções esperadas para ocorrência de eventos extremos de calor em escala global, de acordo com os níveis de aquecimento.



Fonte: Adaptado de IPCC, 2021.

As mudanças climáticas não somente causam mudanças na intensidade, frequência e duração das ondas de calor, mas também acarretam alterações na disposição geográfica dos desastres de ondas de calor, sobretudo, porque as ondas de calor podem ocorrer em quaisquer locais, ou seja, mesmo em locais em que não eram comuns. Isso pode acontecer por causa do deslocamento das altas temperaturas do verão em direção aos polos e ao desequilíbrio da umidade da superfície terrestre devido as mudanças nas movimentações do ar (IPCC, 2021).

### 2.1.3 O papel das ilhas de calor urbanas

Não obstante, uma das mudanças mais impactantes geradas pelas atividades humanas no que diz respeito ao uso da terra é a urbanização, e que conseqüentemente resulta em fenômenos das Ilhas de Calor Urbanas (ICU). A elevação de temperatura nos centros urbanos em relação as áreas rurais são características desse fenômeno, sobretudo com permanência de altas temperaturas durante o período noturno em locais em que sua dissipação foi prejudicada. Seus efeitos incidem na qualidade do ar, no consumo de energia e nos ecossistemas urbanos,

ademais, pode impulsionar as ondas de calor e aumentar os riscos de morbidade e mortalidade (Li *et al.*, 2019). Assim a urbanização acelerada impulsiona tanto a frequência quanto a intensidade das ondas de calor e das ilhas de calor urbanas (Chen *et al.*, 2022).

Em vista disso, em decorrência dos efeitos das ICU, as temperaturas atingem níveis ainda mais elevados nas grandes cidades, onde a dissipação do calor é menor e a exposição ao calor é maior, especialmente quando combinado a menor velocidade dos ventos e maior umidade absoluta (Pyrgou; Hadjinicolaou; Santamouris, 2020). Dado esse contexto, é necessário que os processos para combater as causas da ICU e temperaturas noturnas estressantes nas áreas urbanas, estejam direcionados para o controle da absorção e liberação/escape de calor, e o equilíbrio entre a distribuição da energia natural disponível entre o aquecimento e o resfriamento da atmosfera urbana (McGregor, G. R; Bessemoulin; WMO, 2015).

## 2.2 EFEITOS NA SAÚDE

Embora o fato de a exposição ao calor ser inevitável para todos os indivíduos, algumas pessoas apresentam o nível de risco aumentado significativamente por meio de uma série de fatores. Dentre eles se destacam a sensibilidade, a vulnerabilidade e aclimatação de certos indivíduos ao calor. Relacionado a isso está a definição de “grupos vulneráveis”, na qual se concentram aqueles que possuem um agravamento dos sintomas e apresentam maior risco de efeitos adversos do calor devido a intensas exposições ao calor. (Bassil; Cole, 2010).

Somado a esse evento, podem ser percebidos impactos das ondas de calor na sociedade, sendo esses tanto diretos quanto indiretos. O impacto direto é a alta mortalidade, enquanto os impactos sociais indiretos podem ser observados na saturação da infraestrutura da região e do aumento de consumo de energia, água e transporte. Ocasionalmente, também são encontrados em serviços de saúde, como o aumento de internações hospitalares e emergência (Mcgregor, Glenn R; Great Britain; Environment Agency, 2007).

### 2.2.1 Aspectos fisiológicos

Os eventos de ondas de calor podem desencadear diversos tipos de respostas fisiológicas do corpo humano em razão da sobrecarga ao sistema de termorregulação e, seu desequilíbrio

pode provocar o aumento da temperatura central do corpo. Assim, na exposição ao calor, são gerados os estímulos da vasodilatação e da sudorese, na qual tem por objetivo reduzir a carga de calor e realizar a manutenção da temperatura corporal. Se porventura tais mecanismos fisiológicos não forem suficientes para combater a alta temperatura corporal, ela tenderá a continuar a aumentar, ocasionando em uma série de efeitos na saúde que variam de dores de cabeça, exaustão física mental até a morte (McGregor, G. R; Bessemoulin; WMO, 2015).

Aliado a isso, o status de minoria e o baixo nível socioeconômico são importantes preditores de alto risco de mortalidade por calor, pois imprimem condições deficientes de aclimatação e acesso limitado aos serviços de emergência. Essas evidências corroboram para possíveis influências destes fatores nos resultados encontrados em estudos de ondas de calor (Basu; Samet, 2002).

### **2.2.2 Fatores que aumentam a vulnerabilidade**

Os grupos de risco que incluem pessoas com idade superior a 60 anos, excesso de gordura corporal, doenças cardiovasculares, doenças pulmonares ou diabetes de longa duração (Paterson; Goldsmark, 2020). Esses grupos possuem deficiências fisiológicas na regulação da temperatura central do corpo em condições quentes, conseqüentemente elas apresentam um risco aumentado de doenças relacionadas ao calor durante as ondas (Kenny *et al.*, 2010). Os aspectos comportamentais dos indivíduos, como habitar em locais confinados, escassez de contato e interatividade com outras pessoas e a diminuição da mobilidade também podem contribuir para um aumento risco de doenças relacionadas ao calor. Por outro lado, o uso de ar-condicionado nas residências, ventiladores, acesso a transporte e acesso a ambientes refrigerados durante eventos de calor prolongados apresentam um efeito protetor contra doenças e mortes relacionadas ao calor. Os profissionais da área da saúde devem estar esclarecidos tanto dos fatores de risco, quanto dos fatores de proteção contra as doenças provocadas pelo calor, e devem instruir os pacientes em risco sobre ele (Kenny *et al.*, 2010).

Sendo assim, determinadas situações específicas contribuem para o alto risco de mortalidade por ondas de calor, como a ausência de ar-condicionado, dificuldade no acesso aos meios de transporte, residir em local desacompanhado, usar medicamentos que afetam o resfriamento e a termorregulação corporal, ter doença mental e morar em andares mais altos de prédios de vários andares (Basu, 2002). Além do mais, o comportamento dos poluentes do ar

modifica os efeitos das ondas de calor na mortalidade, principalmente relacionado aos poluentes ozônio (O<sub>3</sub>) e material particulado (PM<sub>10</sub>). Em dias com altos níveis de O<sub>3</sub> e PM<sub>10</sub>, há um aumento do número de mortes diárias entre idosos acima de 75 anos em comparação com os dias de baixo nível (Analitis *et al.*, 2014).

Em síntese, os fatores que elevam o risco de morbidade e mortalidade estão relacionados às pessoas portadoras de doenças cardiovasculares e respiratórias pré-existentes. Pessoas que compõe os vários “grupos vulneráveis” possuem esse risco em maior nível, são eles: idosos, bebês e crianças que dependem de adultos para fornecer a ingestão adequada de líquidos, lactentes e pessoas de baixo nível socioeconômico (Hall; Guyton, 2011).

### 2.3 MENSURAÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO CALOR

O calor pode ser compreendido como um fenômeno decorrente da combinação da radiação solar, temperatura atmosférica, umidade do ar e velocidade dos ventos. Nesse sentido, o estresse por calor pode ser mensurado por meio de índices biometeorológicos simplificados, ou podem ser constituídos por uma, duas ou múltiplas variáveis meteorológicas. Todavia, a disponibilidade de dados e a acessibilidade dos recursos são extremamente importantes para identificar a finalidade e o uso do índice ideal (Casanueva *et al.*, 2019).

Em geral, os índices usados para avaliar a tensão de calor sobre o corpo humano são baseados no estabelecimento de um limite absoluto sobre a transferência de calor metabólico combinando, além da temperatura do ar, diferentes variáveis como umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar (Havenith; Fiala, 2015). Esses índices são preferíveis, porque são mais amigáveis e de simples aplicação, não necessitam de uma extensa quantidade de variáveis e não fazem uso de métodos invasivos.

Embora, muitos países tenham apresentado alguns indicadores combinando temperatura e umidade, não há nenhum método universal usado para quantificar o conforto térmico. Mais de 160 diferentes índices de estresse térmico foram desenvolvidos e, entre estes, o *Wet-Bulb Globe Temperature* (WBGT) é o mais popular e o mais amplamente usado em treinamentos militares, medicina esportiva e ambiente de trabalho (Budd, 2008); (Havenith; Fiala, 2015). O Índice de Calor (IC), relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa, a fim de determinar uma temperatura aparente, ou seja, seu objetivo é medir o quão quente realmente é percebido ou sentido o calor (Blazejczyk *et al.*, 2012).



A fórmula do IC pode ser aplicada sobre um determinado valor limite de temperatura, na qual depende da temperatura máxima e da umidade relativa. Sendo assim, o IC é um método importante pela sua usabilidade, uma vez que determinam o risco em potencial que as ondas de calor podem atingir. Entretanto, as condições ambientais de cada localidade no mundo são específicas para cada região. Desse modo, diferentes países tendem a usar diversas combinações para estabelecer uma definição para as ondas de calor, em que são baseados em diferentes intervalos de parâmetros meteorológicos (Awasthi; Vishwakarma; Pattnayak, 2022).

O mais recente índice, é o Índice Universal Climático Térmico (UTCI), originalmente concebido pela Comissão Internacional de Biometeorologia (CIB), representa um índice de conforto térmico humano cuja configuração é a de um modelo termofisiológico multiforme. Tal índice de conforto térmico humano pode ser aplicado não somente para cálculos de corpo inteiro, mas também para resfriamento local da pele (McGregor, 2012b).

O UTCI pode ser empregado em quaisquer localidades, estações climáticas e escalas de macro e microclimas e na análise de uma variedade de aplicações em biometeorologia humana. Frequentemente, o índice é mensurado a partir de previsões e alertas diários de calor extremos, do mapeamento bioclimático, da epidemiologia ambiental e da pesquisa de impacto climático por meio do planejamento urbano e regional (Pappenberger *et al.*, 2015).

As trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente térmico são denominadas balanço de energia ou orçamento de calor. O mecanismo de transferência de energia interna para o meio externo e vice-versa são importantíssimos para garantir o conforto térmico de um indivíduo. Entretanto, somente quando há um equilíbrio entre ganhos e perdas de calor do corpo esse bem-estar é alcançado (Koppe *et al.*, 2004b). Ao contrário de alguns índices de calor que fornecem um valor de temperatura específico, os índices de balanço de calor do corpo humano levam em consideração todos os mecanismos de troca de calor e fornecem conjuntos de índices de saída. Esses índices são usados como padrões fisiológicos para avaliar o ambiente ocupacional no frio ou no calor. Sendo assim, a Temperatura Efetiva Padrão (TEP) representa um dos vários índices derivados dos modelos de orçamento de calor. Sua definição é comumente conhecida como a temperatura correspondente do ar de um ambiente isotérmico a 50% da umidade relativa no qual um sujeito, vestindo roupas padronizadas para a atividade em questão, tem o mesmo estresse térmico (temperatura da pele) e tensão termoregulatória (umectação da pele) como no ambiente real. A TEP usa a temperatura da pele e a umidade da pele como restrições (Blazejczyk *et al.*, 2012).

Além de uma avaliação termofisiologicamente relevante do ambiente, também deve ser levado em consideração todos os processos de adaptação de curto prazo do indivíduo ao ambiente térmico. Ademais, a capacidade de aclimatação dos seres humanos tornou-se altamente perceptível no decorrer dos últimos anos (Koppe; Jendritzky, 2005). Nesse sentido, com a finalidade de fornecer uma medida mais abrangente, foi desenvolvido o Índice de Excesso de Calor (EHF), na qual combina o excesso de calor e estresse térmico a fim de fornecer uma medida de intensidade, volume e duração de uma onda de calor. Sendo assim, a medida permite incluir diretamente o aspecto da intensidade, assim como o processo de adaptação do corpo humano (Royé *et al.*, 2020).

## 2.4 ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO

### 2.4.1 Comunicação entre as partes interessadas e o público

Para que seja obtido o sucesso de um sistema de alerta é necessária a inclusão de uma estratégia de comunicação e educação pública. Como elemento-chave de um sistema de alerta, as notificações de saúde pública devem ser divulgadas para a população em geral. Somente assim, será ampliada a conscientização sobre os sintomas e as doenças relacionadas ao calor. Além disso, em um sistema de alerta de ondas de calor também devem ser incluídas notificações personalizadas para cada grupo alvo sobre um próximo evento de calor extremo (Bernard; McGeehin, 2004).

A divulgação de alertas de ondas de calor por meio de estratégias organizadas de comunicação, trazem mais sentido e até mesmo agregam um valor maior aos sistemas de alerta. O papel da comunicação se torna fundamental, não somente para aumentar a conscientização sobre a realidade dos perigos inerentes de uma onda de calor, mas também para que a população possa se preparar para quando de fato ocorrer algum evento de calor extremo (Casanueva *et al.*, 2019). O envio das informações e o esclarecimento a respeito dos perigos e danos reais ou potenciais nos sistemas de alerta é fundamental, principalmente os grupos de risco específicos e aos órgãos locais de saúde pública. Além disso, é útil para aconselhar as agências governamentais antecipadamente, sobre a gravidade dos impactos na saúde (Lass *et al.*, 2011).

A mensagem enviada ao público deve conter o risco associado ao calor extremo, que por sua vez deve ser comunicada com alta acurácia. De modo que os avisos e as previsões dos

alertas precisam ser compreensíveis, compostos por uma mensagem clara e seu conteúdo não deve abrir margem para dúvidas. Recomenda-se que sejam atraentes a ponto de despertar o interesse do público-alvo e a motivação das pessoas, a fim de que haja o consumo das informações e a adoção de atitudes e medidas adequadas (WHO, 2008).

Dado o atual conhecimento dos grupos de alto risco, o sistema de alerta deve estar vinculado a propagação ativa e recorrente de informações e cuidados desses indivíduos, principalmente em idosos com idade superior aos 65 anos. A partir disso, os sistemas devem incluir os demais órgãos responsáveis pela operação, como o serviço meteorológico, as agências de saúde local e a assistência social para serem capazes de tomar ações de prevenção.

Notoriamente, a disseminação passiva de informações e inatividade de anúncios para evitar o calor é insuficiente para evitar mortes em excesso e provavelmente não terá eficiência (Kovats; Kristie, 2006). Dessa forma, um plano de comunicação bem elaborado é essencial para o sucesso de um sistema de alerta, especialmente em relação a tomada de ação em função dos alertas. As ações a serem adotadas contribuem para a redução do risco à saúde, porém ainda estarão sob influência do contexto local, dos recursos humanos e financeiros e das práticas culturais. O desempenho dos sistemas de alerta se torna mais eficiente a partir da realização de treinamentos, na qual são desenvolvidos exercícios de simulação, como se uma onda de calor realmente fosse ocorrer. Essa boa prática permite entender os papéis e responsabilidades de cada indivíduo (MCGREGOR, G. R; BESSEMOULIN; WMO, 2015).

#### **2.4.2 Plano de ação saúde-calor**

A Organização Mundial da Saúde (OMS) e algumas instituições com foco na saúde pública e no controle e prevenção de doenças desenvolveram em conjunto, medidas que devem ser tomadas durante períodos de eventos de calor extremo, chamado de planos de ação de calor-saúde (no inglês, Heat-Health Action Plan – HHAP) (WHO, 2011). O HHAP não somente compõe o sistema de alerta, ele também engloba a conscientização, a educação, a preparação para eventos de calor extremo, a orientação sobre medidas de prevenção de calor e a instrução sobre os riscos atrelados a ondas de calor (Bittner *et al.*, 2014).

Os planos de ação apresentam diferenças entre si, pois eles variam a partir da ação coletiva das mudanças climáticas, demográficas e socioeconômicas, na qual estabelecem os limites que são baseados na relação de temperatura-mortalidade. Dentre as diferenças

existentes, destaca-se o momento em que seria atingido o limite do alarme, o sistema de alerta acionaria e o plano de ação entraria em execução. Além disso, pode variar o tempo em que as organizações e os grupos de risco receberiam as informações para se prepararem. Geralmente, os órgãos de meteorologia nacionais antecipam ou acompanham o parâmetro que desencadeia o alarme. Uma vez que o limite for atingido, o órgão de gestão apropriado é devidamente notificado, assim como o Ministério da Saúde, Ministério do Meio Ambiente e/ou centros médicos, além da Defesa Civil da localidade e do Corpo de Bombeiros (Lowe; Ebi; Forsberg, 2011).

Recomenda-se que todos os países desenvolvam e implementem suas diretrizes do HHAP a fim de que se realize a devida prevenção e contenção dos riscos à saúde, relacionados aos extremos de calor. Conforme descrito pela OMS, a orientação sobre o planejamento de ações de saúde para o calor é baseada em 8 elementos principais (Figura 3). Apesar disso as soluções e ações propostas são genéricas, e, portanto, há a necessidade de adaptação frente ao contexto econômico e político particular de cada região. Assim como, deve-se levar em consideração as condições climáticas do local para que seja alcançado uma implementação bem-sucedida do plano (WHO, 2008).

**Figura 3:** Oito elementos principais para que seja alcançado uma implementação bem-sucedida do plano de ação de saúde para o calor.

- 
1. Acordo sobre um órgão principal
  2. Sistemas de alerta acurados, precisos e oportunos
  3. Plano de informações de saúde relacionado ao calor
  4. Redução na exposição ao calor interno
  5. Atenção especial para grupos populacionais vulneráveis
  6. Preparação do sistema de saúde e assistência social
  7. Planejamento urbano de longo prazo
  8. Vigilância e avaliação em tempo real
- 

**Fonte:** Adaptado da OMS, 2008.

Segundo o Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos (2017), algumas orientações para a prevenção de doenças relacionadas ao calor são igualmente importantes, como beber mais líquidos, ficar em locais com ar-condicionado, usar roupas leves e protetor solar, limitar as atividades ao ar livre durante período de altas temperaturas, reduzir exercícios durante o calor, nunca deixar crianças em um veículo fechado e estacionado, verificar

as notícias locais sobre alertas de calor e monitorar continuamente os grupos de alto risco. Sendo uma parte de um plano maior de ação, os sistemas de alerta compõem uma importante estratégia no monitoramento para gerenciar os riscos à saúde, associados a eventos de calor extremo. Dessa forma, a evolução das pesquisas, da ciência e da tecnologia contribuirão para o gerenciamento dos riscos à saúde, relacionados ao calor. Não obstante, os avanços de tecnologia, o capital humano e financeiro ainda serão peças-chave dos sistemas de alerta. Finalmente, para obter um sistema eficaz, a confiabilidade dos serviços meteorológicos é importante para a definição dos limites e acionamento dos alertas (McGregor, G. R; Bessemoulin; WMO, 2015).

## 2.5 SISTEMAS DE ALERTA

### 2.5.1 Métricas do sistema de alerta

Atualmente, existem diversas técnicas que podem ser utilizadas para determinar possíveis situações que prejudicam a saúde humana. Esses métodos costumam estar agrupados e devem levar em consideração não somente a localidade, mas também o fato de que diferentes populações respondem de maneiras diferentes às mesmas condições climáticas (Koppe *et al.*, 2004a).

Os sistemas de alerta de ondas de calor (no inglês, *Heat–Health Warning Systems - HHWS*) são projetados com o intuito de minimizar as consequências das ondas de calor para a saúde humana por meio de notificações em tempo hábil a fim de evitar possíveis danos irreversíveis. Os sistemas também possuem a função de alertar aos tomadores de decisão e o público em geral para que se adote medidas de prevenção e mitigação para as populações em geral, principalmente as vulneráveis (Lowe; Ebi; Forsberg, 2011).

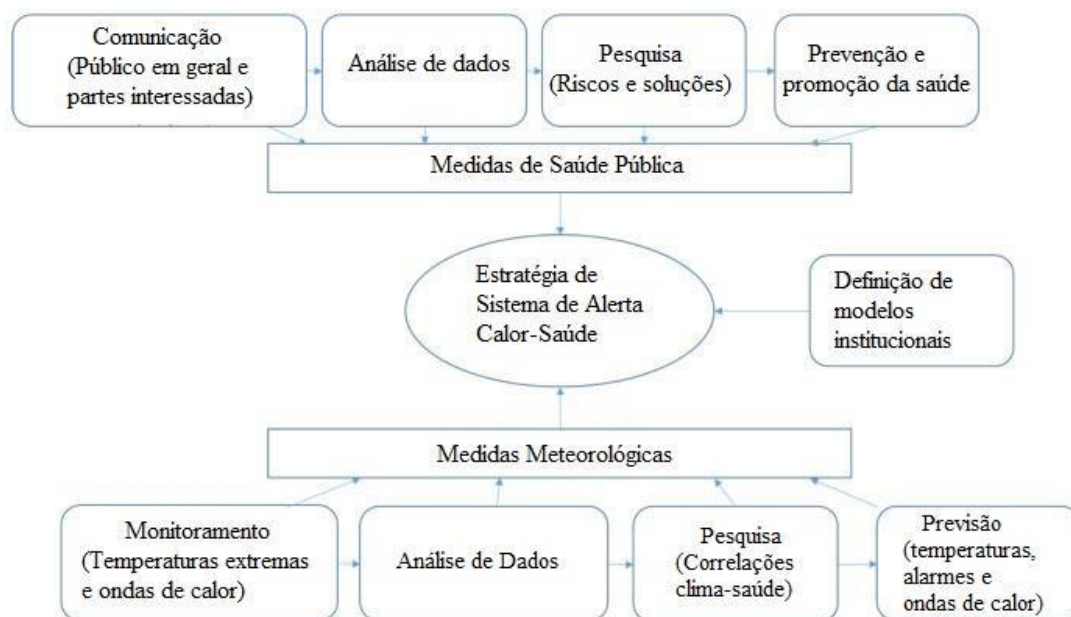
Em cada país existe uma forma de administrar como são construídos e emitidos os avisos dos sistemas de alerta de ondas de calor, pois em cada local existem diferentes variáveis e limites que movimentam e acionam os sistemas de alerta. A grande maioria dos sistemas são baseados na temperatura média ou máxima diária, mas alguns sistemas consideram outras variáveis relevantes, como temperatura mínima ou umidade (Casanueva *et al.*, 2019).

Nesse sentido, eles são projetados para serem acionados assim que a temperatura e outros fatores climáticos ultrapassarem os valores pré-definidos que estão associados a níveis

inaceitáveis, para que ele não resulte em efeitos adversos à saúde. Esses valores são comumente caracterizados como indicadores para o acionamento do alerta. Sua organização tem por finalidade facilitar nas respostas às emergências com maior prontidão, na comunicação assertiva entre as autoridades de saúde pública e de proteção civil e na redução da mortalidade e morbidade relacionadas ao calor (Hajat *et al.*, 2010).

Sendo assim, a construção de um sistema de alerta normalmente abrange tanto as medidas meteorológicas quanto de saúde pública (Figura 4). Dentre as medidas necessárias, a análise meteorológica é importante pois é por meio dela que se obtém as informações climáticas que vão ser utilizadas no desenvolvimento dos sistemas de alerta. Além disso possuem facilidade de acesso, manuseio e permite uma ligação direta com as políticas públicas. Tais informações sobre medidas de saúde pública e estresse térmico devem ser incluídas no fluxograma de diretrizes do sistema de alerta geral (Pogacar *et al.*, 2020).

**Figura 4:** O esquema de uma estratégia de sistema de alerta de saúde de calor com base nas medidas meteorológicas e de saúde pública.



**Fonte:** Adaptado de Pogacar *et al.*, 2020.

O desenvolvimento de um sistema de alerta possui critérios bastante amplos no que diz respeito a construção das métricas adotadas. Essa característica está atrelada ao fato de que as cidades ou regiões por si só já possuem suas peculiaridades, e que por sua vez possuem suas

próprias definições de ondas de calor. Nesse sentido, os parâmetros são estabelecidos baseados em uma temperatura limite identificada e na duração da onda de calor (Xu *et al.*, 2016).

Frequentemente, na determinação de alertas são adotados um limite de ultrapassagem de temperatura máxima e mínima ou de temperatura média diária em um determinado dia ou período de dias. Por outro lado, os limites também podem ser baseados nos efeitos adversos à saúde quando relacionados a um marco histórico com alto volume de mortes em excesso. Em alguns sistemas de alerta, o limite deve ser excedido durante alguns dias antes que qualquer aviso seja emitido (WHO, 2009).

Partindo do pressuposto que uma única variável pode não ser suficiente para representar na totalidade as variações dos componentes meteorológicos, deve-se adotar uma métrica mais consistente como a umidade relativa do ar. A umidade do ar é importante, pois descreve com maior propriedade os limites regionais, principalmente os locais em que umidade atmosférica apresenta níveis oscilatórios (McGregor, G. R; Bessemoulin; WMO, 2015).

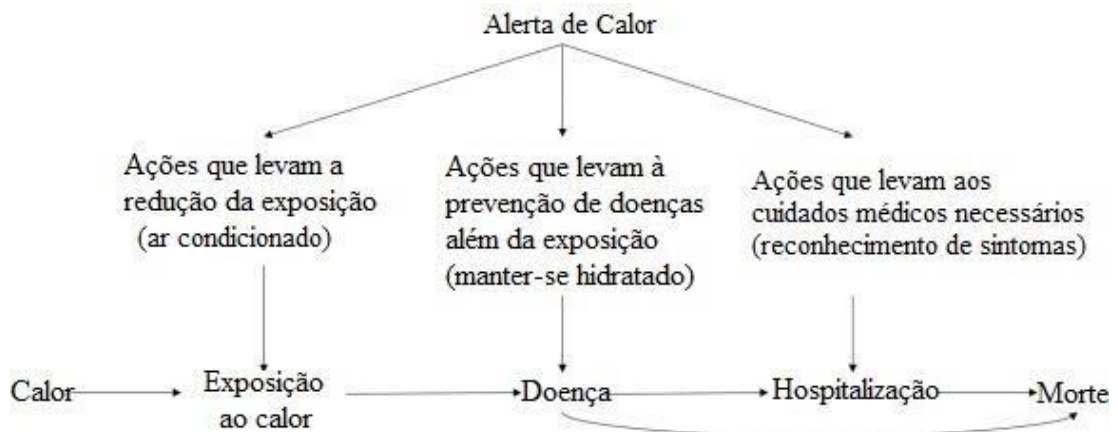
Além desses métodos, a determinação dos sistemas de alerta pode ser construída com base em um modelo de orçamento de calor, cuja temperatura percebida permite avaliar alguns níveis diferentes de estresse térmico por calor. Nesse sentido, os níveis de classificação, determinam um valor limite de conforto térmico do indivíduo, na qual depende da localidade em que ele se encontra, e depende da adaptação do corpo humano a altas temperaturas durante um determinado período (Koppe; Jendritzky, 2005; Augustin, 2009).

### **2.5.2 Determinação dos limites de alerta**

A determinação de limites de alerta é baseada no efeito das ondas na saúde, estimado a partir de dados em sua maioria de mortalidade. Dentre as vantagens de utilizar os dados de mortalidade, destacam-se a facilidade na disponibilidade de informações e a natureza binária do resultado (“vivo” ou “morto”). Além disso, a coleta de dados de mortalidade é mais regulamentada e seguem padrões com uma taxonomia que permite um acompanhamento histórico, ao contrário de outros resultados de saúde que podem variar e depender do sistema de saúde (Sheridan; Kalkstein, 2004). Levando-se em consideração que os idosos costumam ser identificados como o grupo mais vulnerável da população, alguns sistemas de alerta são baseados especificamente nos dados de mortalidade de idosos com 65 anos ou mais. Dessa forma, os alertas se tornam mais eficientes para ajudar os idosos a reconhecerem uma onda de

calor, e principalmente permite com que eles tomem atitudes com maior prontidão e agilidade. A partir do reconhecimento dos sintomas associados ao calor extremo, os indivíduos podem procurar um atendimento ou tratamento médico adequado em tempo hábil (Weinberger *et al.*, 2021).

**Figura 5:** Diagrama dos impactos do calor nas hospitalizações e mortes, frente aos alertas de calor.



Fonte: Adaptado de Weinberger *et al.*, 2021.

Para a determinação dos limites de sistemas de alerta, a sazonalidade e as estações do ano devem ser consideradas. Dado que durante o verão, a estação mais quente do ano, a vulnerabilidade e exposição ao calor aumenta exponencialmente (Kysel, 2004).

A classificação dos níveis de alerta é determinada pela intensidade e pela duração de uma onda de calor, ou seja, a combinação desses fatores acerca da onda de calor influencia na sua classificação. Nesse sentido, a maneira como os alertas são comunicados e a terminologia devem ser considerados para os diferentes os níveis de pré-alerta e alerta (Figura 6) (McGregor; Bessemoulin, 2015a).



**Figura 6:** Níveis do sistema de alerta baseado no tempo e magnitude até a ocorrência da onda de calor.

<b>Níveis do Sistema de Alerta</b>	<b>Exemplos de Terminologia</b>	<b>Descrição</b>
<b>Níveis de pré-alerta</b>	Vigilância da estação do ano	Ativado durante todo o verão
	Panorama geral	Evento de calor esperado durante os próximos 3 a 5 dias.
	Aviso de calor	Evento de calor esperado durante os próximos 24 a 48 horas.
<b>Níveis de alerta grave</b>	Alerta de calor severo	Onda de calor leve ou moderada ocorrendo ou eminente.
	Alerta de calor extremo	Onda de calor severa ou extrema ocorrendo ou eminente.

**Fonte:** Adaptado de (McGregor, G. R; Bessemoulin; WMO, 2015).

A emissão de um alerta é justificada a partir do momento na qual é identificado um evento extremo de calor, capaz de ser suficientemente perigoso e prejudicial para a saúde humana. A partir disso é que se define a periodicidade em que os alertas são emitidos. Nesse sentido, a fim de melhorar a prevenção e mitigação dos impactos de um número maior de ondas de calor no futuro e evitar picos de mortalidade, torna-se fundamental programar exatamente em quais condições um alerta deve ser enviado. Sendo assim, deve-se definir o intervalo para o sistema de alerta, a fim de que não se torne cansativo o alto número de alertas emitidos e tampouco se torne caro, e conseqüentemente inviável de ser mantido financeiramente (Koppe *et al.*, 2004a).

Apesar de todo progresso frente ao desenvolvimento e construção de sistemas de alerta, é necessária a adoção de melhorias contínuas de algumas funcionalidades, como o grau de precisão de resultados negativos para a saúde, assim como deve-se acompanhar os avanços tecnológicos. Em conjunto é possível conciliar a otimização e acurácia dos resultados de disparos de alerta, o que conseqüentemente resulta na redução dos gastos com disparos desnecessários. (McGregor, 2012a).

### **2.5.3 Avaliação do sistema de alerta**

A avaliação de um sistema de alerta se faz importante para garantir o cumprimento dos objetivos estratégicos propostos, assim como a qualidade e a eficácia no desenvolvimento do

programa (Wimbush; Watson, 2000). Em vista disso, as avaliações podem ser focadas no processo ou no resultado e ambas apresentam o mesmo grau de importância. Durante o processo é avaliado o que acontece durante uma onda de calor, enquanto as avaliações do resultado se baseiam no impacto do que está sendo analisado, por exemplo, se vidas foram salvas ou se internações hospitalares foram impedidas (Kovats; Bickler, 2012).

Entretanto, algumas barreiras ainda podem ser encontradas frente a implementação da avaliação de um sistema de alerta de ondas de calor. Entre elas se destacam a falta de recursos e subsídios para atividades específicas, a comunicação e troca de informações entre as unidades organizacionais, o acesso limitado aos dados de mortalidade e morbidade, e a inconsistência com a qual ocorrem os eventos de ondas de calor (Matthies; Menne, 2009).

Porém, ainda é dificultosa a avaliação dos desfechos clínicos e de mortalidade, dado que a medida de desfecho da mortalidade relacionada ao calor é um grande problema, onde é estimada retrospectivamente, e não observada diretamente (Kovats; Bickler, 2012). Todavia, alguns países europeus avaliam se o sistema de alerta funcionou de acordo com os critérios já definidos e apresentam em um relatório com os resultados. A inclusão de critérios de avaliação no projeto de sistemas de alerta de ondas de calor é importante, pois ajuda a garantir uma operação eficaz e eficiente do sistema. (Kovats; Kristie, 2006).

Ademais, do mesmo modo que são utilizados diversos métodos estatísticos que facilitam e testam os modelos preditivos de saúde ao longo do tempo, também existem as previsões meteorológicas. Outros pontos que podem ser avaliados, como simplicidade na estrutura e operação do sistema, sensibilidade na correção de falsos alarmes, participação dos órgãos de saúde e partes interessadas, pontualidade com avisos e respostas oportunas, eficácia das medidas de resposta e especificidade das previsões a fim de não diminuir a credibilidade dos sistemas de alerta (Toloo *et al.*, 2013; Casanueva *et al.*, 2019b).

### 3 JUSTIFICATIVA

As ações dos seres humanos têm resultado em mudanças climáticas alarmantes ao longo dos anos. Resultado disso são os efeitos causados tanto no tempo quanto no clima em diversas regiões do planeta. As evidências dessas mudanças podem ser observadas em eventos extremos como as ondas de calor. Desde a década de 50, os extremos de calor aumentaram em frequência e intensidade e tornaram-se uma questão de grande preocupação para a saúde pública (IPCC, 2021).

As exposições excessivas ao calor ambiente e as altas temperaturas podem afetar a saúde e o bem-estar humano, assim como podem resultar na mortalidade em excesso para as populações mais vulneráveis, principalmente em idosos, pessoas com doenças pulmonares ou cardiovasculares crônicas. Tais indivíduos podem ser mais suscetíveis aos efeitos das altas temperaturas do ambiente, pois suas habilidades de aclimação fisiológica ao calor tendem a estar comprometidas e o uso abusivo de medicamentos pode diminuir as respostas adaptativas (Basu; Dominici; Samet, 2005a).

Diante disso, o aumento crescente do número e da magnitude dos eventos de ondas de calor conduziram vários países a elaborar sistemas de alerta e vigilância da saúde (Issa *et al.*, 2021). O desenvolvimento de sistemas de alerta é necessário para a prevenção e proteção à sociedade dos efeitos das ondas de calor, e para a redução substancial do total de mortes em excesso (Sun *et al.*, 2021).

Entretanto, os obstáculos no desenvolvimento de estratégias amplas e assertivas a fim de minimizar eventos adversos de calor à saúde humana, trazem a necessidade de estudos relacionando a associação do calor com morbidade e mortalidade, em conjunto a identificação dos limites de temperaturas para graves impactos (Petititi *et al.*, 2016). Para isso as pesquisas científicas, a comunicação e a preparação da população local, as intervenções e ações dos setores de saúde pública podem diminuir significativamente o risco de mortalidade durante as ondas de calor (Can *et al.*, 2019).

Nesse sentido, pretende-se avaliar os critérios utilizados para definição de ondas de calor e os desfechos de saúde sensíveis às ondas de calor a fim de aplicá-los no desenvolvimento de sistemas de alerta no Brasil por meio da identificação de áreas e populações mais vulneráveis a esses eventos. Isso permitirá uma atualização das informações referentes às definições de ondas

de calor no cenário brasileiro. Portanto, pretende-se contribuir com recomendações de medidas de saúde frente a esses eventos extremos de temperatura.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os critérios estabelecidos para definição de ondas de calor e os desfechos de saúde sensíveis às ondas de calor a fim de aplicá-los no desenvolvimento de sistemas de alerta no Brasil.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar os principais sistemas de alerta para ondas de calor no mundo com a identificação dos principais indicadores de exposição, desfecho e os critérios estabelecidos para definição de ondas de calor.
- Identificar os agravos e os grupos mais sensíveis em termos de mortalidade aos eventos de ondas de calor.
- Analisar os indicadores, a intensidade e duração de ondas de calor mais sensíveis a saúde para avaliar os efeitos sobre os desfechos de mortalidade geral, em idosos com idade acima de 65 anos e em indivíduos com condições cardiopulmonares, nas capitais do Brasil.
- Analisar dos impactos das ondas de calor e estimar os Riscos Relativos dos desfechos de mortalidade em decorrência da exposição às ondas de calor nas capitais do Brasil.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 ABORDAGENS DO ESTUDO

O presente estudo foi conduzido em duas diferentes abordagens: a) revisão dos principais critérios e definições de ondas de calor usados nos principais sistemas de alerta no mundo; e b) análise dos indicadores, intensidade e duração de ondas de calor mais sensíveis a saúde a fim de avaliar os impactos sobre os desfechos de mortalidade geral, em idosos com idade acima de 65 anos e em indivíduos com condições cardiopulmonares nas capitais do Brasil.

a) Revisão dos critérios e definições de ondas de calor: correspondeu na revisão das métricas e dos critérios utilizados para definição de calor, utilizando como base o guia *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development* desenvolvido em conjunto pela *World Meteorological Organization* e *World Health Organization* (WMO; WHO, 2015). Este guia foi desenvolvido com foco em uma orientação global para a implementação de um sistema de alerta, envolvendo a identificação de áreas e grupos vulneráveis, modelos de previsões de extremos de temperaturas e de como esses extremos poderão ser mais frequentes e letais para saúde com as mudanças no clima. Os critérios serão avaliados, de acordo com os seguintes componentes: 1) Fonte e disponibilidade de dados; 2) viabilidade quanto à coleta e processamento; 3) aplicação para saúde pública, seja em sistemas de alerta ou com estudos associando a desfechos em saúde.

b) Análise dos indicadores, intensidade e duração de ondas de calor mais sensíveis a saúde a fim de avaliar os impactos sobre os desfechos de mortalidade geral: esta etapa consistirá em analisar os principais indicadores e critérios usados para definição de ondas de calor na mortalidade geral, em idosos (mortes em indivíduos acima de 65 anos ou mais) e cardiopulmonar.

### 5.2 ÁREA DO ESTUDO

Os critérios usados para definição de ondas de calor usados nos principais sistemas de alerta e aplicáveis no Brasil foram avaliados nas 26 capitais das unidades federativas e no Distrito Federal. As capitais são distintas entre si quanto às características geográficas, climáticas e sociodemográficas, e correspondem aos principais centros urbanos das cinco

regiões brasileiras (Região Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul). De acordo com os dados do último censo demográfico, a população do país atingiu a marca de 203,1 milhões, apresentando um aumento de 6,5% em relação ao último censo realizado em 2010. A região Sudeste se destaca, abrigando uma população de 84,8 milhões de pessoas, o que corresponde a aproximadamente 41,8% do total, na qual os três estados mais populosos da região - São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro - concentram quase 40% da população brasileira. (IBGE, 2022).

### 5.2.1 Dados de mortalidade

Os registros diários de óbitos foram obtidos a partir do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Foram incluídos os óbitos por todas as causas, segundo a 10ª Revisão da Classificação Internacional de Doenças (CID – 10) (CID10: A00-R99), para indivíduos com idade acima de 65 anos e com condições cardiopulmonares, exceto àquelas por causas externas para todas as idades. Nas análises, foram selecionados apenas os óbitos de pessoas residentes e ocorridos nas cidades incluídas no estudo, durante o período de 2000 a 2019.

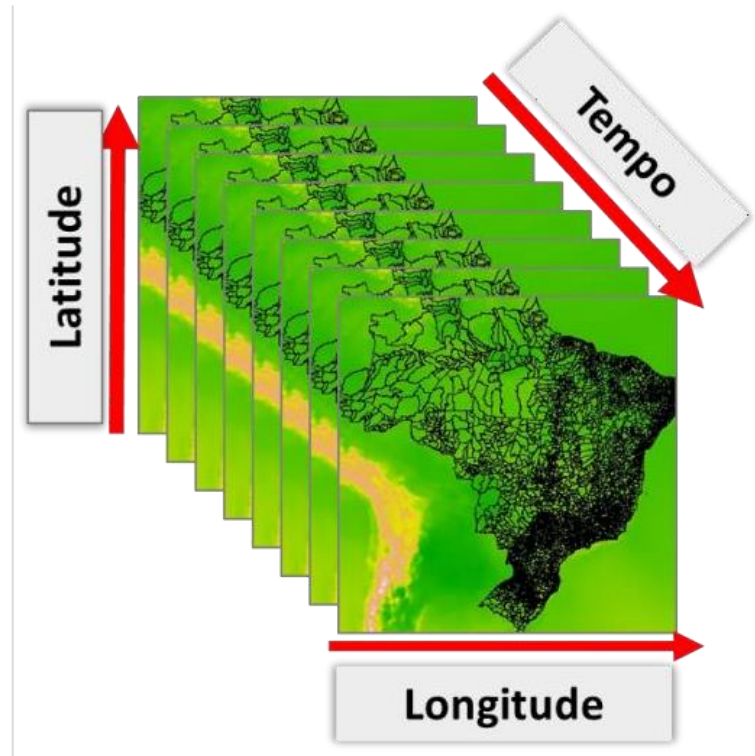
### 5.2.2 Dados meteorológicos

Em relação aos dados climáticos, os dados históricos coletados pertencem ao modelo climático ERA5-Land desenvolvido pelo *European Center Medium-Range Weather Forecast* e disponível via API (*Application Programming Interface*) no site do grupo. Esses dados são disponibilizados no formato NetCDF (*Network Common Data Form*). Os arquivos nesse formato são *arrays* (vetores) que armazenam metadados em um mesmo arquivo contendo as variáveis na dimensão tempo, latitude e longitude (em pontos de grade). Assim, um arquivo NetCDF que contém informações diárias de temperatura ou outra variável climática, por durante o mês contém 30 grids. Cada célula ou pixel da imagem remete um valor da variável, e equivale a um quadrado com lado correspondente a resolução de ~9 km (Figura 7). Para visualização, os percentis 90°, 95° e 99° foram apresentados como resultado dessa primeira visualização dos dados climáticos (Figura 8).

As séries dos indicadores de exposição foram obtidas por meio da municipalização dos dados. Esse processo baseia-se no cálculo da média dos valores dos pixels, referentes à variável

de exposição, ponderada pela proporção da área do município coberta pelo pixel. A área foi definida como a menor unidade de análise, com um buffer de 40 km de diâmetro sob área urbana das capitais brasileiras.

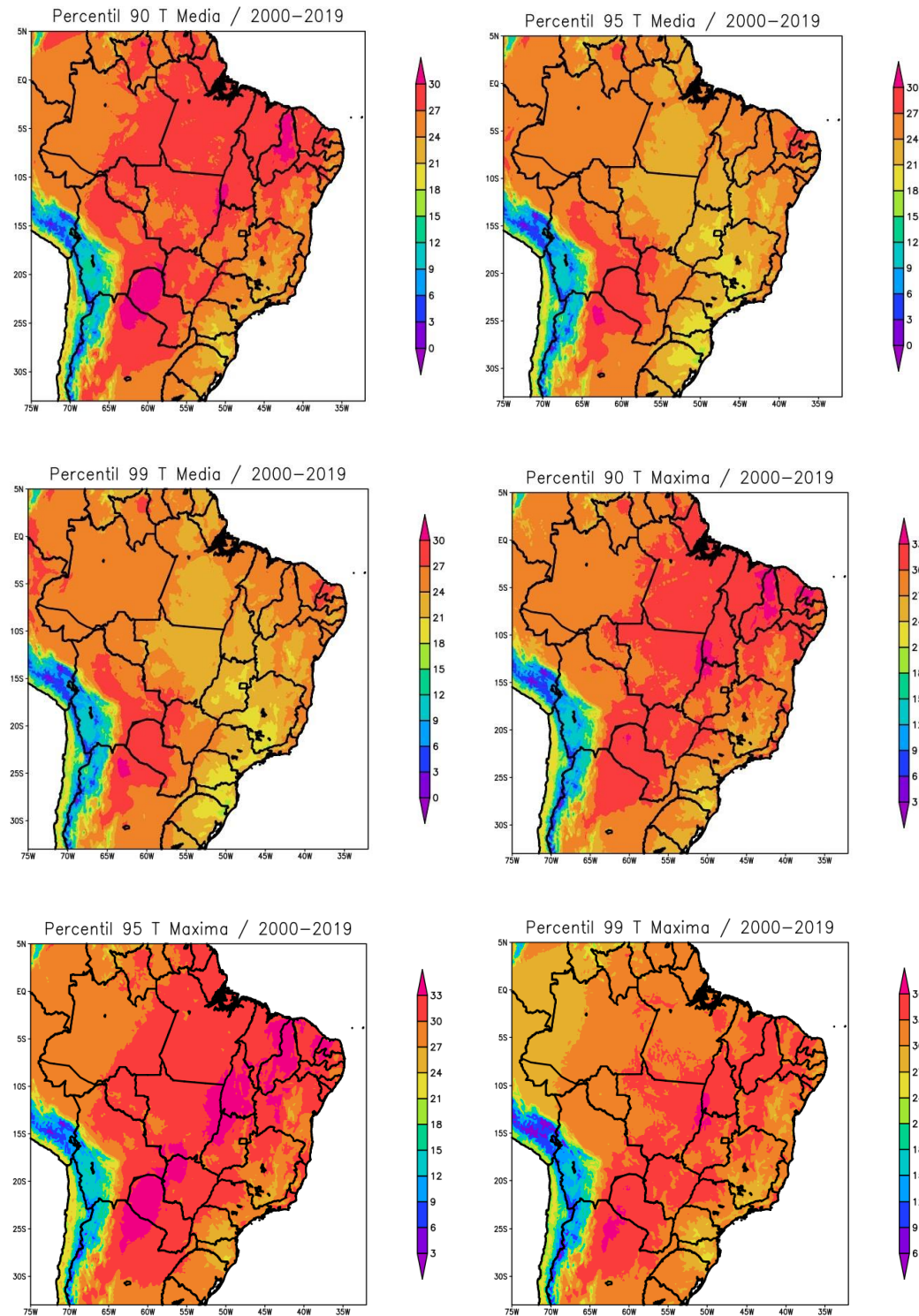
**Figura 7:** Demonstração visual do formato dos dados climáticos.



**Fonte:** Elaborada pelos autores.



**Figura 8:** Percentis 90th, 95th e 99th usados para definições da intensidade de ondas de calor da temperatura média e máxima do período climatológico de 2000 a 2019 para o todo território brasileiro.



**Fonte:** Elaborada pelos autores.

### 5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise foi realizada para cada cidade utilizando um desenho de estudo epidemiológico do tipo *case-crossover*, geralmente utilizado para analisar os efeitos de exposições de curto prazo, incorporando os modelos não lineares de distribuição defasada (DLNM) para representar as associações. O objetivo é estimar os efeitos das ondas de calor na mortalidade geral, segundo diferentes definições de ondas de calor, e entre diferentes grupos populacionais, sobre os desfechos de mortalidade geral, em idosos com idade acima de 65 anos e em indivíduos com condições cardiopulmonares.

Nos estudos *case-crossover* os indivíduos que experimentaram o evento de interesse são utilizados como seus próprios controles. Isso significa que a exposição no dia do evento (período caso) é comparada com a exposição em diferentes períodos (períodos controle), ou seja, cada caso é seu próprio controle (Janes; Sheppard; Lumley, 2005; Maclure, 1991). Foi adotada uma estratégia de seleção de controles estratificada no tempo. Essa estratégia consiste em selecionar os controles no mesmo dia da semana, mês e ano em que ocorre o evento (caso) (Janes; Sheppard; Lumley, 2005). Dessa forma, busca-se eliminar os possíveis efeitos de confundimento relacionados ao dia da semana, tendência de longo prazo e sazonalidade (Janes; Sheppard; Lumley, 2005). Ao selecionar controles que correspondem temporalmente aos casos, é possível comparar as exposições de forma mais adequada e obter resultados mais confiáveis sobre os efeitos da exposição de curto prazo no evento de interesse.

Posteriormente, o modelo de regressão de Poisson condicional (Armstrong; Gasparrini; Tobias, 2014b) foi aplicado para estimar o efeito das ondas de calor na mortalidade. As ondas de calor foram representadas por uma variável binária (1 para dias de ondas de calor, 0 para dias sem ondas de calor), e incorporadas por meio dos *distributed lag non-linear models* (Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010) para capturar o efeito defasado da exposição. Foi utilizada uma função linear para representar o efeito da exposição, com uma *spline* cúbica natural para 5 dias de defasagem, com 4 graus de liberdade. A escolha desse período de 5 dias é adequada para capturar tanto o efeito defasado da exposição, como também ajustar possíveis efeitos de colheita (quando eventos que poderiam ocorrer mais tarde são antecipados devido à exposição). Essa abordagem permite uma modelagem mais precisa dos efeitos das ondas de calor nos desfechos estudados, levando em consideração tanto a temporalidade dos efeitos como possíveis nuances nas respostas relacionadas ao tempo.

Os modelos ainda foram ajustados por umidade específica e feriados. A umidade específica foi incluída no modelo utilizando uma *spline* cúbica natural com três graus de liberdade. Os feriados nacionais foram controlados por meio de uma variável binária, indicando a presença ou ausência de feriado. As análises foram estratificadas com base em grupos de causas, especificamente para a mortalidade por todas as causas não externas, por doenças cardiovasculares e respiratórias e para o grupo de idosos ( $\geq 65$  anos).

Foram realizadas análises de sensibilidade para testar os parâmetros das análises. Foram testadas diferentes configurações de *splines* cúbicas naturais, com três e cinco graus de liberdade, a fim de avaliar seu impacto nos resultados. Foram considerados diferentes períodos de defasagem, como 10 e 21 dias. Essas análises adicionais visam fornecer informações relevantes para orientar as decisões relacionadas ao modelo e garantir a robustez dos resultados obtidos.

#### 5.4 ASPECTOS ÉTICOS

Os dados de óbitos foram obtidos dos bancos de dados informatizados dos Sistemas de Informações de Saúde (SIS), disponibilizados para amplo acesso no site do DATASUS. Trata-se de um estudo com dados e informações de acesso público, nos termos da Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011 sem possibilidade de identificação individual, dispensado de apreciação ética pelo Sistema CEP-CONEP, conforme disposto no Art. 1º, parágrafo único, item II da Resolução CNS/MS nº 510/2016.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 REVISÃO DOS PRINCIPAIS INDICADORES DE EXPOSIÇÃO E OS CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PARA DEFINIÇÃO DE ONDAS DE CALOR

A operacionalização e o desenvolvimento do sistema de alerta envolvem os seguintes componentes: disponibilidade de dados históricos; seleção e definição de ondas de calor; previsão desses eventos e alerta de risco em caso de ocorrência. Os principais sistemas de alerta no mundo foram descritos na tabela 1. Na tabela 2, contém um resumo dos principais indicadores usados para definição de ondas de calor nos principais sistemas de alerta no mundo foram classificados, de acordo com sua disponibilidade, operacionalização (coleta e processamento de dados) e aplicação em saúde pública no Brasil. Entre os indicadores mais factíveis de serem implementados destacam-se aqueles com no máximo duas combinações de parâmetros climáticos, como temperatura do ar e umidade relativa do ar. Esses dados estão disponíveis por estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e pelas medidas de previsão geradas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE.

Na ausência de dados para todos os municípios do Brasil, uma alternativa são os dados de reanálise, como o conjunto do ERA5 Land, disponíveis para todo território brasileiro, em grids com aproximadamente 9 km, com dados históricos desde 1970 até os dias atuais (atualizados com 2 meses de atraso). Esses dados podem ser usados para levantar padrões de ocorrência de eventos de ondas de calor. Alguns indicadores como temperatura efetiva e percebida (PT) e *Airmass* apresentam limitações quanto a disponibilidade de dados e operacionalização, pois incluem a combinação de vários parâmetros climáticos, o que pode tornar a sua implantação inviável a nível nacional. Em relação ao índice universal do clima térmico (UTCI) e a temperatura global do bulbo úmido (WBGT), são indicadores empíricos que podem ser estimados por variáveis meteorológicas, mas o processamento é mais complexo e sua implementação mais limitada, sendo o WBGT um indicador mais usual para avaliar a capacidade laboral.

Os critérios estabelecidos para ondas de calor indicaram efeitos sobre a mortalidade, independente do indicador utilizado, mostrando que nenhum deles se sobressaíram entre aqueles avaliados (Xu *et al.*, 2016) e que sua escolha pode ser pela facilidade de implantação.

**Tabela 1:** Indicadores usados para definição de ondas de calor nos principais sistemas de vigilância no Mundo.

Indicador	Países/Cidades	Parâmetros	Coleta, processamento e aplicação
Temperatura (T)	Belarus	Temperatura	<p><b>Fonte de dados:</b> dados horários diários disponíveis em estações de monitoramento e com dois meses de atraso pelo Centro Europeu por meio do modelo climático ERA5 e ERA5 Land, com resolução de ~ 20 km e 9 km, respectivamente.</p> <p><b>Processamento:</b> envolve apenas 1 parâmetro climático para adaptação em escala local</p> <p><b>Aplicação em saúde:</b> a temperatura média, a mínima e a máxima já foram associadas com desfechos em saúde e são usados em diversos sistemas de alerta</p>
Temperatura média (Tmed)	Budapeste	Temperatura	
Temperatura máxima (Tmax)	Bélgica / França Grécia / Letônia Holanda / Espanha Inglaterra / Polônia Canadá (Montreal)	Temperatura	
Temperatura mínima (Tmin)	Bélgica / França Espanha / Inglaterra Canadá (Montreal) Polônia	Temperatura	
Temperatura aparente (AT)	Austrália (Queensland) Itália	Temperatura Umidade	<p><b>Fonte de dados:</b> idem ao item 1.</p> <p><b>Processamento:</b> envolve a combinação de 2 parâmetros climáticos, mas os algoritmos são considerados fáceis de implementar. No caso do ITU, não foram encontrados métodos de cálculo, tornando difícil sua implementação.</p> <p>Aplicação em saúde: índices associados com desfechos em saúde e usados em diversos sistemas de alerta</p> <p><b>Fonte de dados:</b> idem ao item da temperatura.</p> <p><b>Processamento:</b> envolve a combinação de 3 parâmetros climáticos, mas os algoritmos são considerados fáceis de implementar</p> <p><b>Aplicação em saúde:</b> usado para alertas de frio e calor extremo para valores abaixo do percentil 2,5 e acima do percentil 97,2</p>
Heat Index (HI)	USA	Temperatura Umidade	
Humidex	Canadá (outras regiões)	Temperatura Umidade (UR)	
Índice temperatura umidade (ITU)	Romênia	Temperatura Umidade (UR)	
Temperatura efetiva (NET)	China (Hong Kong)	Temperatura Umidade (UR) Vel. Vento	
Temperatura percebida (PMV/PT)	Alemanha	Temperatura Vapor d'água Vel. Vento Radiação solar	

Airmass	Canadá (Toronto) China (Shangai) Itália / Coréia USA**	Temperatura Umidade Vento Cobertura de nuvens Pressão	<p><b>Fonte de dados:</b> algumas variáveis podem ser difíceis de serem coletas, com pressão e cobertura de nuvens. Uma combinação de fontes de dados pode ser necessária, tornando uma limitação para aplicação no Brasil</p> <p><b>Processamento:</b> além das variáveis climáticas, incorpora um complexo modelo de troca de calor, com fluxos de calor latente e certo grau de adaptação, incluindo vestimentas</p> <p>Aplicação em saúde: embora seja usado no sistema de alerta da Alemanha, sua complexidade pode ser uma limitação para o Brasil</p>
Índice Universal do Clima Térmico (UTCI)	Europa	Temperatura Umidade (UR) Vel. Vento Radiação solar	<p><b>Fonte de dados:</b> disponível com atraso pelo Centro Europeu por meio do modelo climático ERA5, com resolução de ~ 20 km.</p> <p><b>Processamento:</b> além das variáveis climáticas, considera a troca de fluxos de calor, a termorregulação do indivíduo e a modelação do balanço energético e os efeitos térmicos locais em todo corpo para um indivíduo. É um indicador complexo, com diversos parâmetros e difícil de ser calculado.</p> <p><b>Aplicação em saúde:</b> é aplicável a todos os tipos de clima e vem sendo calculado e disponibilizado pelo Centro Europeu e usado em algumas regiões de Portugal</p>
Temperatura bulbo úmido (WBGT)	USA (Oklahoma) Nova Zelândia	Temperatura Umidade (UR) Vel. Vento Radiação solar	<p><b>Fonte de dados:</b> idem ao item da temperatura</p> <p><b>Processamento:</b> envolve a combinação de 4 variáveis e pode ser calculado para ambientes com e sem radiação solar. O processamento envolve iterações matemáticas que podem limitar o uso em sistema de alertas.</p> <p><b>Aplicação em saúde:</b> é o indicador comumente utilizado para grupos específicos como atletas e na saúde ocupacional. Regulamentado pela ISO 7243.</p>

**Fonte:** WHO, 201\* Seattle (Washington), Portland (Oregon), San Francisco and San Jose (California), Phoenix and Yuma (Arizona), Dallas and Houston (Texas), Minneapolis (Minnesota), Chicago (Illinois), St. Louis (Missouri), Dayton, Columbus, and Cincinnati (Ohio), Philadelphia (Pennsylvania), Washington (DC), Baltimore (Maryland), New Orleans, Monroe, Shreveport, and Lake Charles (Louisiana), Little Rock and Fort Smith (Arkansas), Memphis (Tennessee), Jackson and Meridian (Mississippi).

**Tabela 2:** Resumo dos indicadores usados para definição de ondas de calor nos principais sistemas de alerta no mundo, segundo sua disponibilidade, operacionalização (coleta e processamento de dados) e aplicação em saúde pública no Brasil.

Indicador	Disponibilidade	Operacionalização	Aplicação
Temperatura (T)	+	+	+
Temperatura média (Tmed)	+	+	+
Temperatura máxima (Tmax)	+	+	+
Temperatura mínima (Tmin)	+	+	±
Temperatura aparente (AT)	+	+	+
Heat Index (HI)	+	+	+
Humidex	+	+	+
Índice temperatura umidade (ITU)	+	-	±
Temperatura efetiva (NET)	+	±	±
Temperatura percebida (PMV/PT)	±	-	±
Airmass	-	-	±
Índice Universal do Clima Térmico (UTCI)	±	±	±
Temperatura bulbo úmido (WBGT)	±	±	±

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Os critérios usados para definição de ondas calor precisam expressar de fato uma condição que seja perigosa para saúde humana e justificar o alerta emitido. Nesta perspectiva, se o objetivo de um sistema é evitar o máximo de mortalidade relacionado ao calor, um limite baixo deve ser definido (ver intensidade no percentil 90° com duração de 2 dias ou mais), mas em contraste a frequência elevada de alertas emitido pode demandar uma fadiga aos serviços de saúde. Em contratempo, os sistemas podem definir apenas situações muito extremas, por exemplo, usando percentil 99 com mais de 4 dias consecutivos de exposição, evitando assim picos de mortalidade em condições extremas.

Em situações extremas, que ocorrem apenas ocasionalmente ao longo de vários anos, o número total de vidas salvas por um sistema de alerta é menor. Por isso, muitos sistemas atualmente funcionam com base no princípio de identificar aumentos significativos na mortalidade como justificativa para emitir alertas. No entanto, no Brasil, um modelo que depende exclusivamente desse aumento na mortalidade pode ser limitado devido aos atrasos na disponibilização dos dados de mortalidade, mesmo quando dados preliminares são periodicamente divulgados.

## 6.2 ANÁLISE DOS INDICADORES, INTENSIDADE E DURAÇÃO DE ONDAS DE CALOR

No período de 2000 a 2019, ocorreram um total de 9.946.817 óbitos por todas as causas não externas. Destes óbitos, 2.903.518 (29%) correspondem a mortalidade em idosos (indivíduos com 65 anos ou mais) e 2.094.639 (21%) foram atribuídos a doenças cardiopulmonares (Tabela 3). Considerando todas as capitais, a média diária de óbitos foi de 25,1 (DP 38) para todas as causas, 14,7 (DP 24,5) em idosos e 10,6 (DP 18,2) óbitos por causas cardiopulmonares (Tabela 3).

Em relação às variáveis climáticas, as capitais do Brasil apresentaram temperatura média diária de 24,4 °C (DP 3,5) e umidade relativa do ar de 77,4% (DP 14,5). Na série histórica das capitais, em 50% dos dias os valores de temperatura média foram superiores a 25,3 °C e com valores de umidade relativa acima de 82% (Tabela 3).

**Tabela 3:** Estatísticas descritivas resumidas dos resultados diários de mortalidade e das variáveis meteorológicas das 27 capitais brasileiras, durante o período de 2000 a 2019.

Análise Descritiva	Total	Média	D.P.	Mínimo	Mediana	Máximo
<b>Dados de Mortalidade</b>						
Geral	4948660	25,1	38,6	0,0	13,0	282,0
Idosos	2903518	14,7	24,5	0,0	7,0	186,0
Cardiopulmonar	2094639	10,6	18,2	0,0	5,0	156,0
<b>Dados Climáticos</b>						
Temperatura Média (°C)	-	24,4	3,5	2,9	25,3	33,6
Temperatura Máxima (°C)	-	26,5	3,7	3,2	27,1	37,1
Umidade (%)	-	77,4	14,5	7,0	82,0	100,0

Tabela 3: D.P.= Desvio Padrão

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A Tabela 4 apresenta estatísticas resumidas dos resultados e variáveis meteorológicas para 26 capitais brasileiras e Distrito Federal, agrupados por região. As capitais mais populosas registraram número de óbitos mais elevados, com destaque para São Paulo a qual teve o maior número de óbitos gerais (1.266.389), seguido pelo Rio de Janeiro (963.186) e Salvador (259.283). Em relação aos óbitos em idosos, além de São Paulo e Rio de Janeiro, Belo Horizonte apresentou os maiores números registrados com 149.912. Quanto aos óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias (DAC+DAR), Fortaleza apresentou o maior número de óbitos, seguida por São Paulo e Rio de Janeiro.



Em relação as variáveis climáticas, as capitais apresentaram variações nas temperaturas médias e máximas entre as regiões, com Curitiba apresentando a menor média de temperatura média diária (17,3 °C), enquanto Teresina registrou a maior média de temperatura média diária (27,9 °C). Ao analisar a variabilidade em torno da média, as capitais da região Sul apresentaram as maiores dispersões em torno da média da temperatura média diária, com destaque para Porto Alegre (Tabela 4).

A tabela 5 apresenta o número médio de dias de ondas de calor para cada definição estudada e para as regiões durante o período de 2000 a 2019. Em geral, conforme a duração das ondas de calor aumenta de 2 para 3 e 4 dias, o número médio de dias de ondas de calor tende a diminuir em todas as regiões. Em relação à intensidade das ondas de calor, foi observado que à medida que os limiares de calor aumentam (90°, 92,5°, 95°, 97,5° e 99°), o número médio de dias de ondas de calor tende a diminuir em todas as regiões. Assim, quando são utilizados critérios mais restritivos com maior intensidade e maior duração, as ondas de calor se tornam menos frequentes.

Em termos de comparação entre as regiões, pode-se observar uma variação significativa no número médio de dias de ondas de calor. As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentam, em geral, um maior número médio de dias de ondas de calor em todas as definições em comparação com as regiões Sudeste e Sul. Além disso, a região Sul apresentou as menores médias diárias de ondas de calor na maioria das definições.

**Tabela 4:** Dados diários de mortalidade e variáveis meteorológicas (temperatura média e temperatura máxima) para as 27 capitais do Brasil durante o período de 2000 a 2019.

Capitais	Dados de Mortalidade			Temperatura Média			Temperatura Máxima						
	Geral	Idosos	Cardiopulmonar	Média	D.P.	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	D.P.	Mínimo	Mediana	Máximo
<b>Norte</b>													
Belém	142558	77681	58108	26,6	1,1	23,5	26,5	29,5	28,7	1,6	23,4	28,7	32,9
Boa Vista	18197	8245	6532	26,9	1,8	22,7	26,7	31,9	27,9	2,0	22,2	28,0	33,8
Macapá	25571	11241	8371	26,3	1,3	22,6	26,1	29,3	28,0	1,9	22,3	27,9	32,6
Manaus	153375	70882	43052	26,5	1,3	22,2	26,3	33,0	27,5	1,8	21,0	27,4	36,1
Palmas	10795	5031	4169	26,7	1,8	22,1	26,5	33,4	29,4	2,4	21,9	29,4	37,0
Porto Velho	35228	15130	11938	26,1	1,3	18,3	25,9	30,7	27,3	2,0	18,1	27,3	33,4
Rio Branco	28373	14279	10292	25,4	1,5	14,6	25,4	30,9	26,6	2,2	14,3	26,7	33,5
<b>Nordeste</b>													
Aracaju	53914	30208	19919	25,4	1,3	21,7	25,5	29,6	27,1	1,8	22,0	27,1	32,8
Fortaleza	246592	139931	88649	26,6	0,7	23,8	26,7	29,0	28,9	1,4	22,9	29,1	32,5
João Pessoa	78475	45781	32211	25,7	1,1	22,5	25,8	28,5	27,8	1,4	22,7	28,0	31,2
Maceió	102371	50803	41675	25,1	1,2	21,6	25,2	29,0	27,1	1,7	22,3	27,2	32,5
Natal	80092	47982	32263	25,9	1,0	22,4	26,0	28,4	27,9	1,3	22,4	28,1	31,2
Recife	182173	104874	80590	25,5	1,2	22,2	25,6	28,6	27,8	1,6	22,4	28,0	32,4
Salvador	259283	133500	99618	25,4	1,4	20,8	25,5	29,1	26,8	1,8	21,4	26,7	32,3

São Luís	88702	45528	33712	26,8	0,9	23,4	27,0	29,0	28,6	1,4	22,9	28,7	32,3
Teresina	76540	42157	34893	27,9	2,1	22,8	27,7	33,6	30,5	2,6	22,2	30,5	37,1
<b>Centro-Oeste</b>													
Brasília	187874	97989	74349	21,7	1,9	14,9	21,6	29,4	24,6	2,4	16,1	24,5	33,8
Campo Grande	79881	46557	37331	23,7	3,1	8,5	24,2	31,7	25,9	3,8	7,9	26,5	36,6
Cuiabá	52848	26613	20989	26,3	2,4	12,9	26,5	32,9	28,4	3,2	12,9	28,8	36,5
Goiânia	126606	71679	53311	23,5	1,9	16,0	23,2	31,6	26,4	2,5	17,1	26,3	36,6
<b>Sudeste</b>													
Belo Horizonte	249061	149912	97777	20,5	2,5	11,4	20,7	28,1	23,6	2,7	14,1	23,7	33,4
Rio de Janeiro	963186	619099	417430	23,2	3,0	14,5	23,1	31,8	25,9	3,7	15,1	25,9	37,0
São Paulo	126638	776570	610069	19,4	3,2	7,3	19,6	27,6	22,5	3,9	7,9	22,8	33,2
	9												
Vitória	26448	15001	10317	23,4	2,2	17,1	23,5	29,7	25,8	2,7	16,9	25,8	33,5
<b>Sul</b>													
Curitiba	171764	104670	70790	17,3	3,6	2,9	17,6	25,7	19,5	4,2	3,2	20,0	30,2
Florianópolis	34835	20937	14898	20,6	3,6	9,0	20,7	30,1	22,3	4,0	10,1	22,5	33,5
Porto Alegre	207529	131238	81386	26,1	4,7	18,3	25,9	30,7	21,6	5,2	6,3	22,1	35,1

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Tabela 5:** Número médio de dias de ondas de calor, segundo quinze definições, por região e por variáveis meteorológicas das 27 capitais do Brasil durante o período de 2000 a 2019.

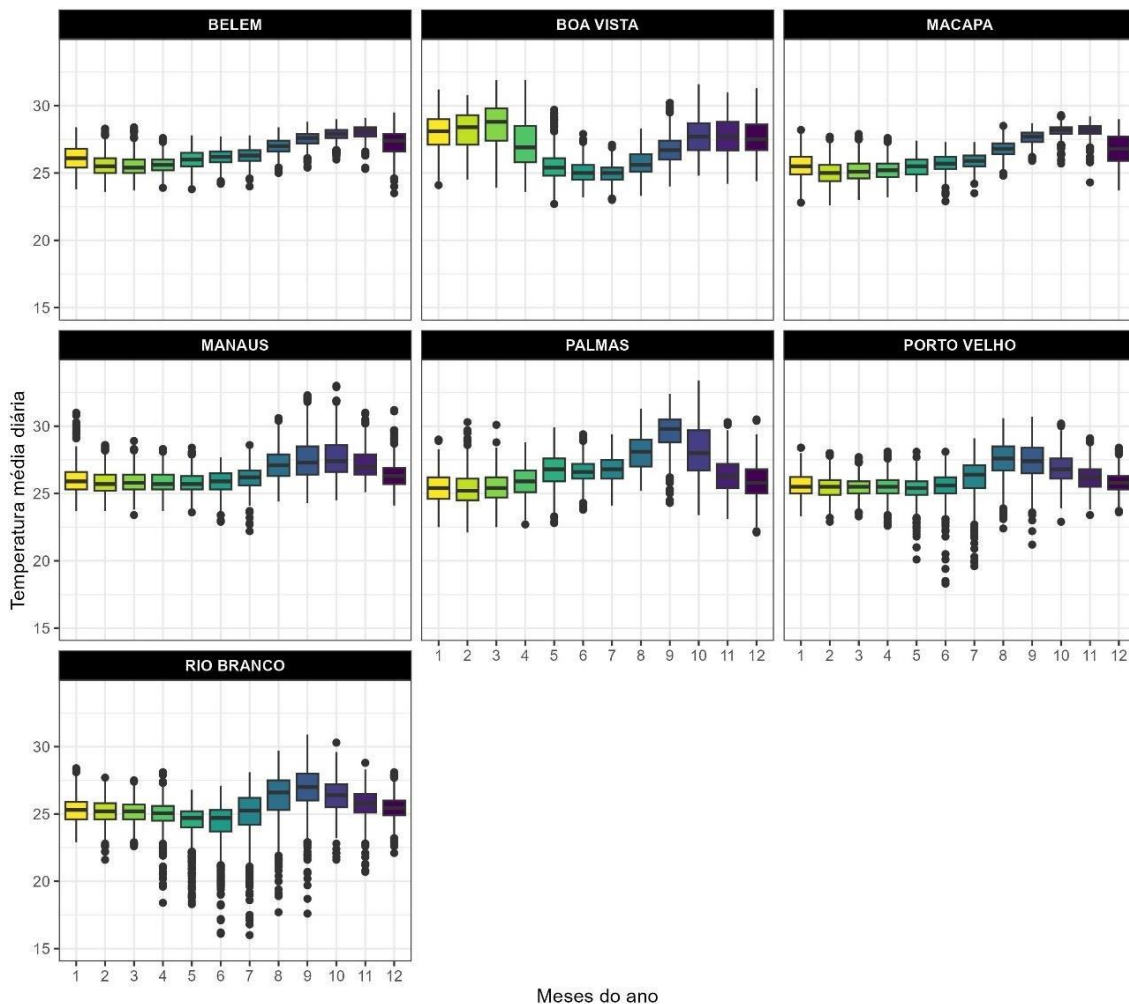
Abreviação	Dias, Limite de Percentil	Temperatura Média					Temperatura Máxima				
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
hw2_90	2 dias, 90°	571,6	557,1	559,0	526,8	506,3	2432,3	4084,1	2938,5	2626,3	1543,7
hw2_925	2 dias, 92,5°	431,3	408,2	414,0	379,3	354,0	2142,1	3900,9	2463,5	2380,3	1330,0
hw2_95	2 dias, 95°	266,6	276,2	272,8	238,3	232,7	1813,9	3714,4	1885,0	2091,8	1099,7
hw2_975	2 dias, 97,5°	128,9	119,3	126,5	111,3	106,0	1473,3	3320,7	1263,8	1638,3	753,3
hw2_99	2 dias, 99°	48,3	42,0	46,5	41,5	39,7	1196,4	2961,9	783,5	1172,0	468,0
hw3_90	3 dias, 90°	449,9	410,4	428,3	373,3	347,3	2027,9	3731,8	2409,0	2148,0	1169,7
hw3_925	3 dias, 92,5°	329,1	289,7	311,8	258,8	228,3	1778,0	3547,1	1984,3	1916,5	977,3
hw3_95	3 dias, 95°	193,4	188,3	201,8	152,5	142,3	1509,4	3357,0	1490,8	1655,8	774,0
hw3_975	3 dias, 97,5°	86,7	75,8	87,0	67,0	64,7	1239,9	2962,0	972,8	1235,3	492,7
hw3_99	3 dias, 99°	28,0	23,4	29,8	21,8	25,3	1013,9	2610,6	585,5	847,3	276,3
hw4_90	4 dias, 90°	366,7	316,9	332,5	282,3	246,3	1759,0	3471,1	2004,0	1813,5	912,0
hw4_925	4 dias, 92,5°	259,6	216,8	236,5	187,0	154,0	1538,4	3285,8	1628,3	1602,0	737,3
hw4_95	4 dias, 95°	145,7	134,1	150,5	104,0	97,7	1310,9	3095,0	1201,3	1364,5	565,7
hw4_975	4 dias, 97,5°	61,3	50,6	61,5	46,0	43,7	1090,3	2702,0	770,8	981,3	338,0
hw4_99	4 dias, 99°	17,7	15,2	19,5	13,0	18,3	900,9	2354,8	452,5	646,5	179,3

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nas Figuras de 9, 10, 11, 12 e 13, foram apresentadas as médias diárias de temperatura ao longo dos meses do ano, abrangendo o período de 2000 a 2019, para as capitais brasileiras. Essas capitais foram agrupadas por suas respectivas regiões, permitindo uma visualização da variação sazonal.

Na região Norte, todas as capitais apresentaram duas estações marcadas, com maiores valores de temperatura nos meses de agosto, setembro e outubro exceto para Boa Vista. Em Boa Vista, os meses com temperaturas mais elevadas foram janeiro, fevereiro e março e com período de temperaturas menores em junho e julho (Figura 9).

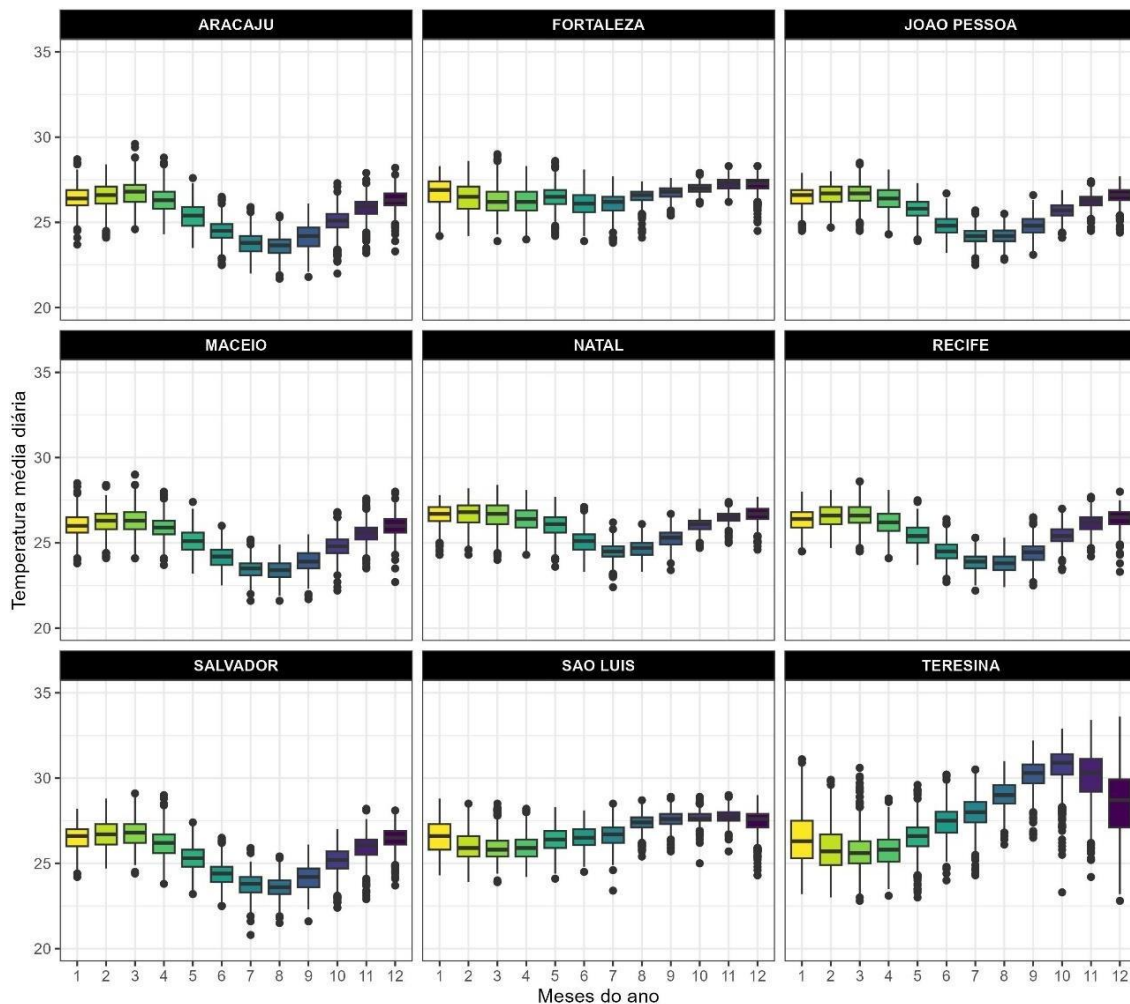
**Figura 9:** Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Norte do Brasil entre 2000 e 2019.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A Figura 10, que corresponde à região Nordeste, apresentou uma distribuição da temperatura com menor variabilidade entre os meses do ano em Fortaleza e São Luís. Nessas localidades, as temperaturas se mostram amenas e com uma variabilidade moderada. Enquanto nas capitais de Aracaju, Natal, Maceió, Salvador, João Pessoa e Recife, os valores de temperatura média diária nos meses foram mais elevadas nos 4 primeiros meses do ano e os menores valores durante os meses de junho, julho e agosto. Entre as capitais, destaca-se a capital Teresina, cujas temperaturas médias diárias atingiram valores medianos superiores a 30 °C no mês de outubro.

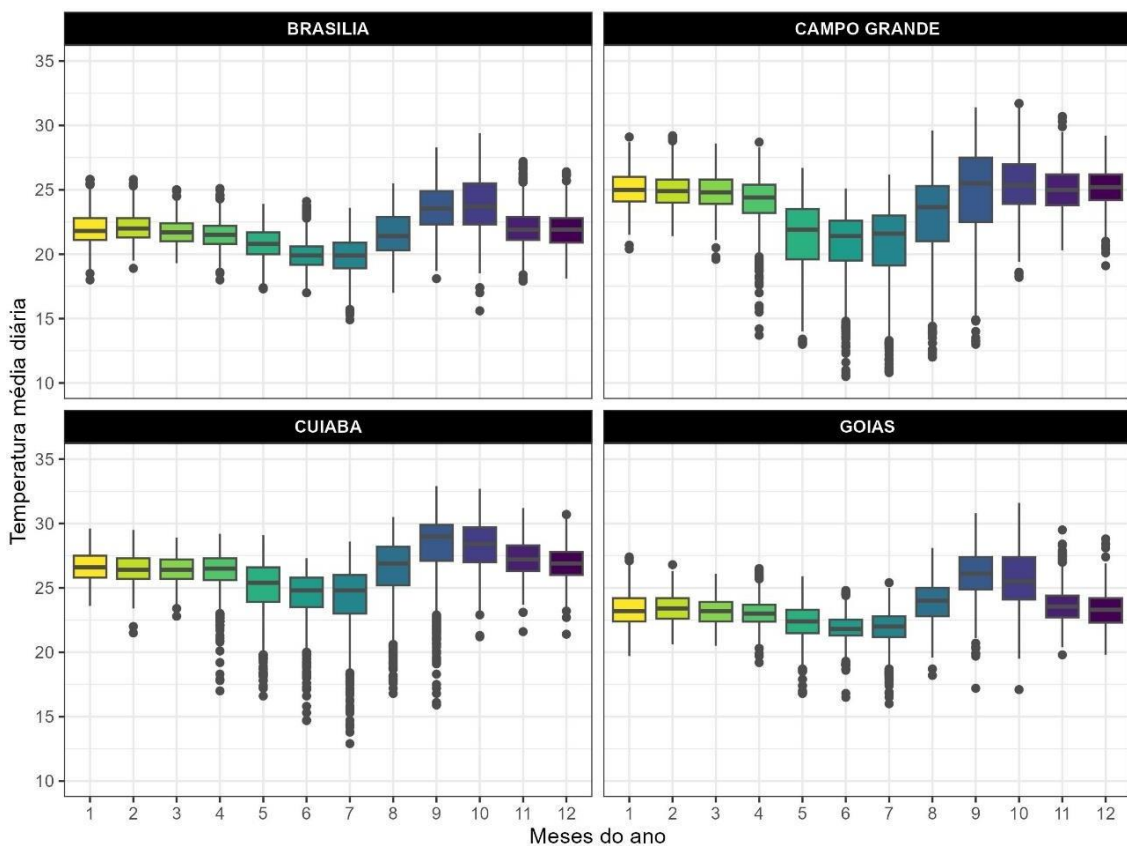
**Figura 10:** Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Nordeste do Brasil entre 2000 e 2019.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Na região Centro-Oeste (Figura 11), as temperaturas se mantiveram majoritariamente elevadas nas capitais de Cuiabá, com médias que frequentemente atingiram ou superaram os 25°C ao longo do ano. Em todas as capitais, as médias diárias mensais foram maiores em setembro, outubro e novembro, com valores menores em junho e julho. Os valores de temperatura média diária em junho e julho foram mais dispersos em Campo Grande e Cuiabá atingindo temperaturas inferiores a 15°C.

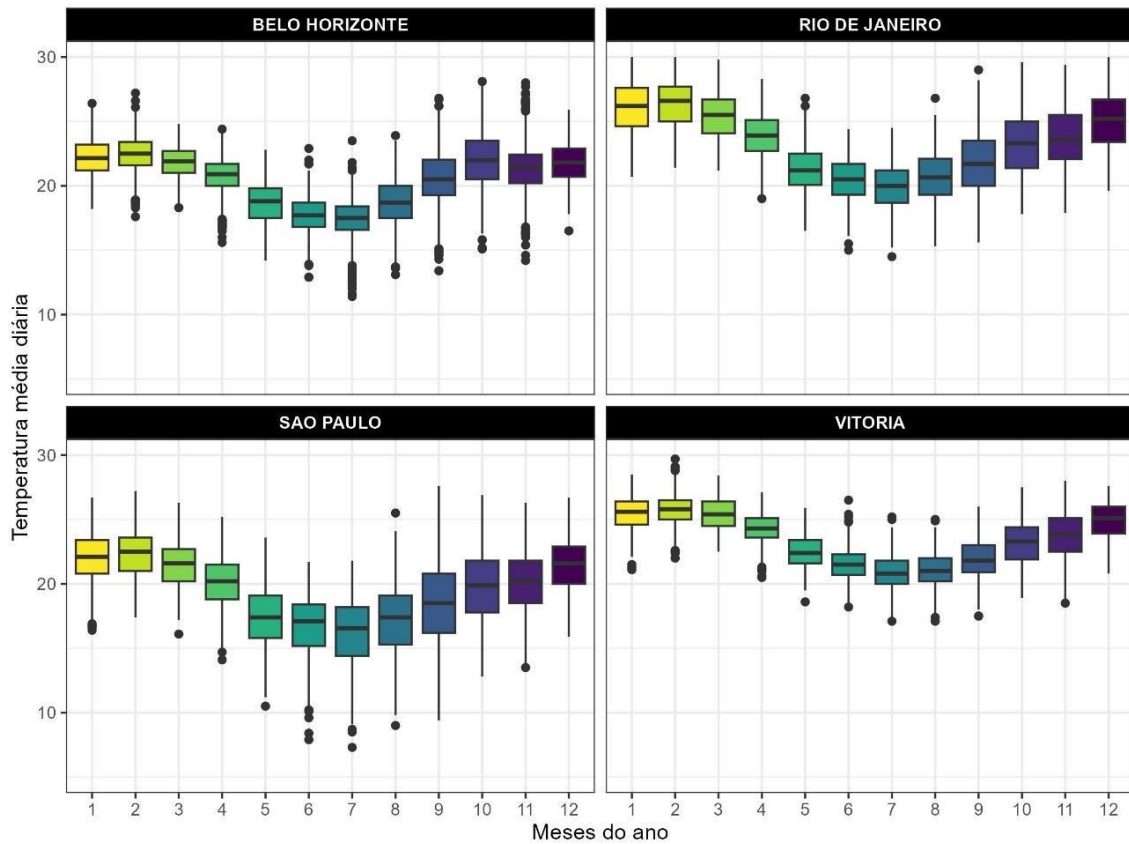
**Figura 11:** Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Centro-Oeste do Brasil entre 2000 e 2019.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

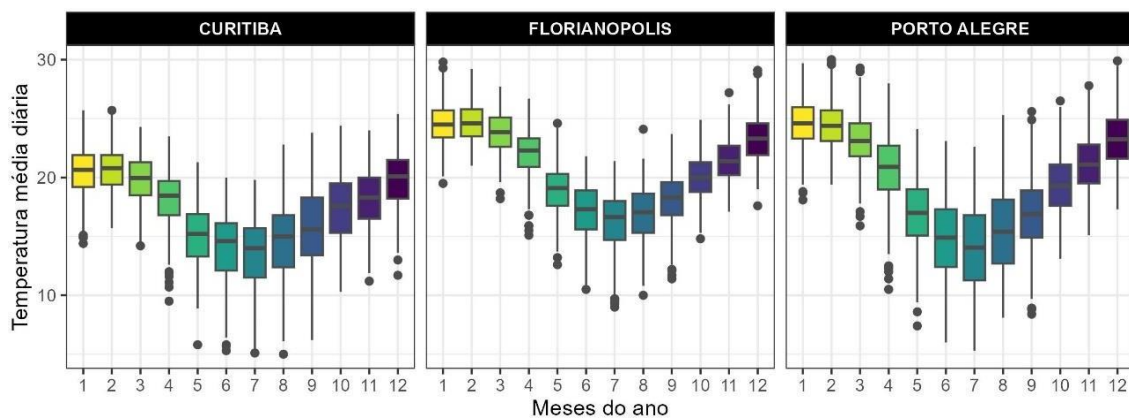
As regiões Sudeste (Figura 12) e Sul (Figura 13) mostraram um padrão sazonal semelhante. O inverno nestas regiões foi marcado por temperaturas médias diárias menores, sendo junho e julho os meses com menores valores. Os meses de verão - dezembro, janeiro e fevereiro - são notáveis por valores mais elevados de temperatura média diária, caracterizando um clima mais quente.

**Figura 12:** Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Sudeste do Brasil entre 2000 e 2019.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Figura 13:** Distribuição da temperatura média diária, segundo os meses do ano nas capitais da região Sul do Brasil entre 2000 e 2019.

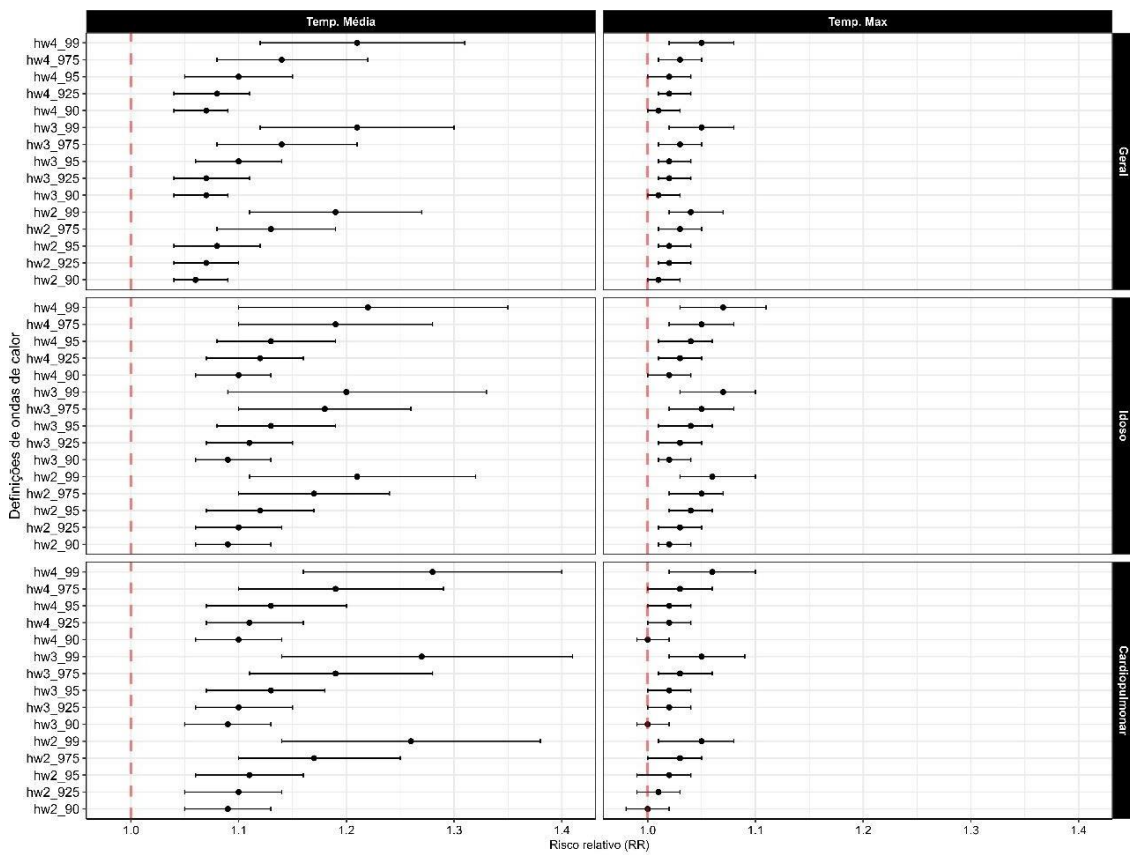


**Fonte:** Elaborado pelos autores.



As Figuras 14, 15 e 16 apresentam o impacto das ondas de calor no Brasil e suas regiões, usando diferentes critérios baseados na temperatura média e máxima como indicadores de exposição. No Brasil, observou-se para os três desfechos estudados que os efeitos das ondas de calor aumentam conforme a intensidade se eleva, com maiores riscos relativos para intensidade marcada no percentil 99 (Figura 14). Esse mesmo padrão foi observado para a temperatura máxima. Os idosos foi um grupo sensível aos efeitos das ondas de calor, com um risco 1,21 (IC 95%: 1,10-1,33) e 1,07 (IC 95%: 1,03 - 1,10) para as maiores intensidades.

**Figura 14:** Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar no Brasil usando como indicador de exposição a temperatura média e a temperatura máxima diária (2000-2019).



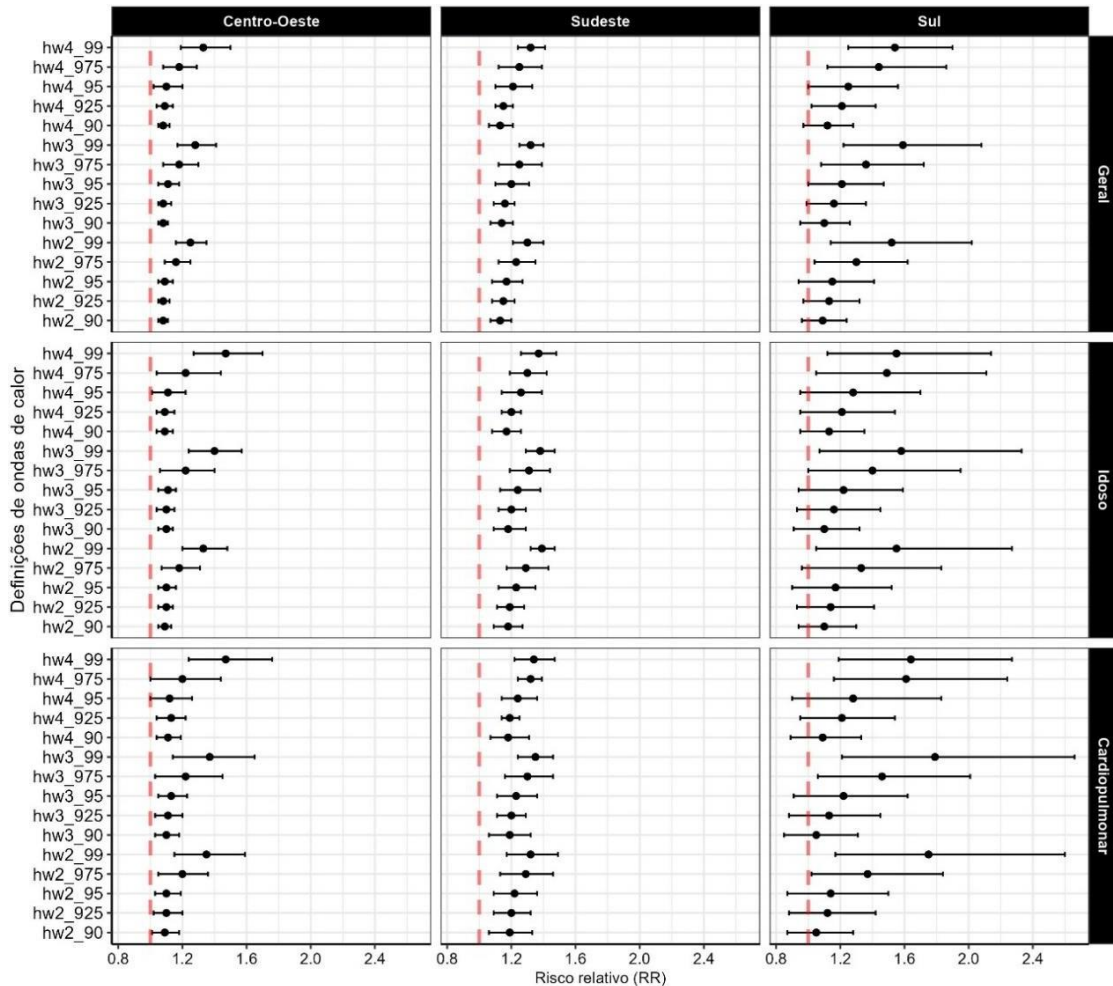
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A temperatura média diária foi, em geral, mais sensível para captar os efeitos das ondas de calor independente do desfecho avaliado (Figura 14). Para esse indicador, as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul apresentaram estimativa de aumento de mais de 20% na mortalidade por

todas as causas, em idosos e por causas cardiopulmonares durante os eventos de ondas de calor com intensidade superior ao percentil 97,5, independente da duração (Figura 15).

Em relação as diferenças regionais, as regiões Sudeste e Sul, apresentaram riscos de mortalidade mais elevados em comparação com o Brasil, sobretudo durante ondas de calor de maior intensidade (percentil 99º). A mortalidade geral, em idosos e doenças cardiopulmonares foram maiores comparadas as demais regiões, com destaque para região Sul com aumento de mais de 60% da mortalidade por doenças cardiopulmonares durante períodos de ondas de calor. Considerando o percentil 99 como limite da intensidade, independente da duração dos eventos, observou-se um aumento de aproximadamente 40% das mortes em idosos e por causas cardiopulmonares no efeito combinado das capitais do Centro-Oeste e de mais de 30% na região Sudeste (Figura 15).

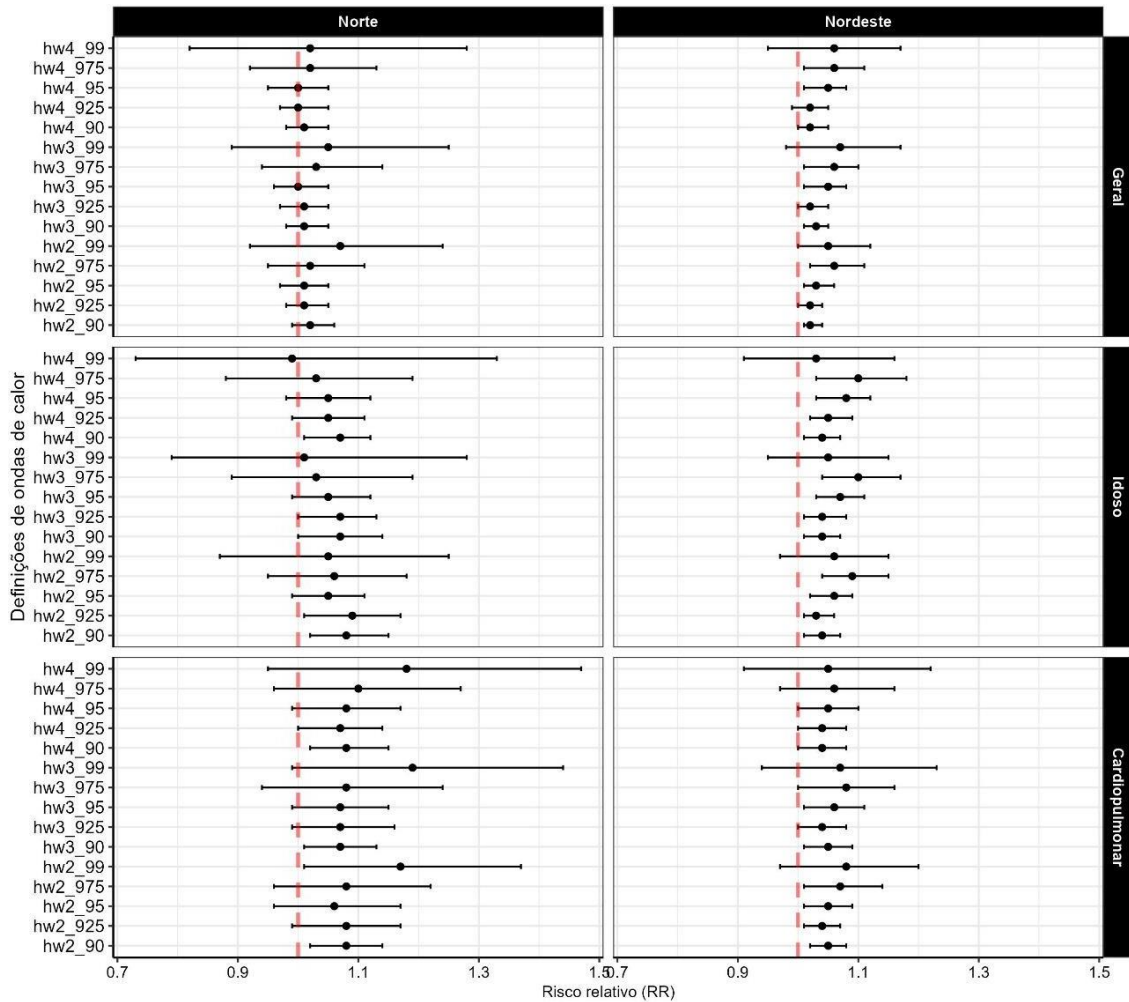
**Figura 15:** Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul usando como indicador de exposição a temperatura média diária (2000-2019).



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, as ondas de calor aumentaram a mortalidade geral, em idosos e por causas cardiopulmonares para todos os limites de intensidade estabelecidos, na qual as estimativas de risco foram aumentando conforme a intensidade (Figura 15). Na região Norte, observou-se efeitos das ondas de calor na mortalidade em idosos e por causas cardiopulmonares para a menor intensidade (percentil 90°), enquanto na região Nordeste o efeito foi observado para todos os desfechos na intensidade baixa (percentil 90°) e moderada (percentil 95°) (Figura 16).

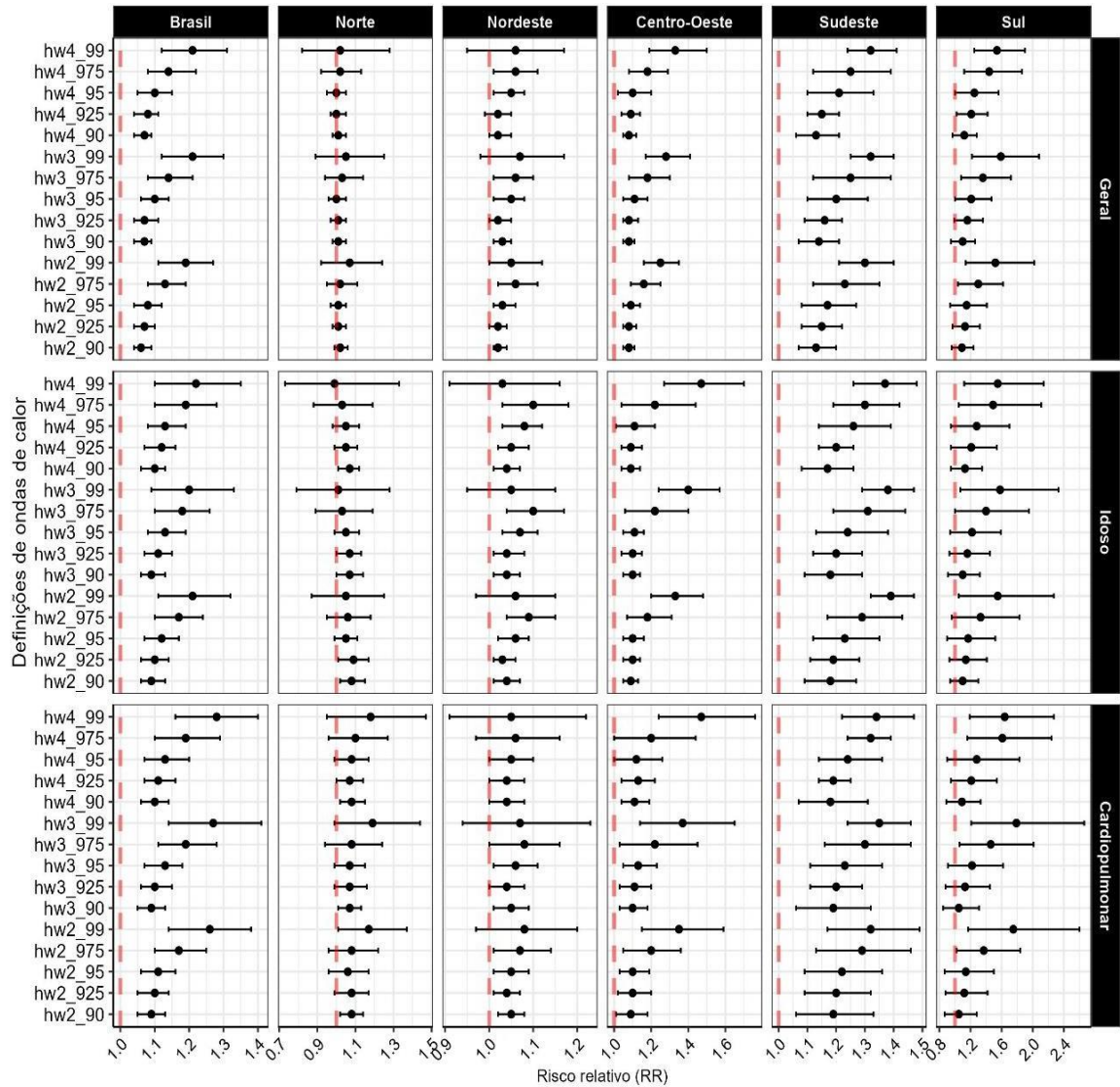
**Figura 16:** Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar nas regiões Norte e Nordeste, usando como indicador de exposição a temperatura média diária (2000-2019).



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

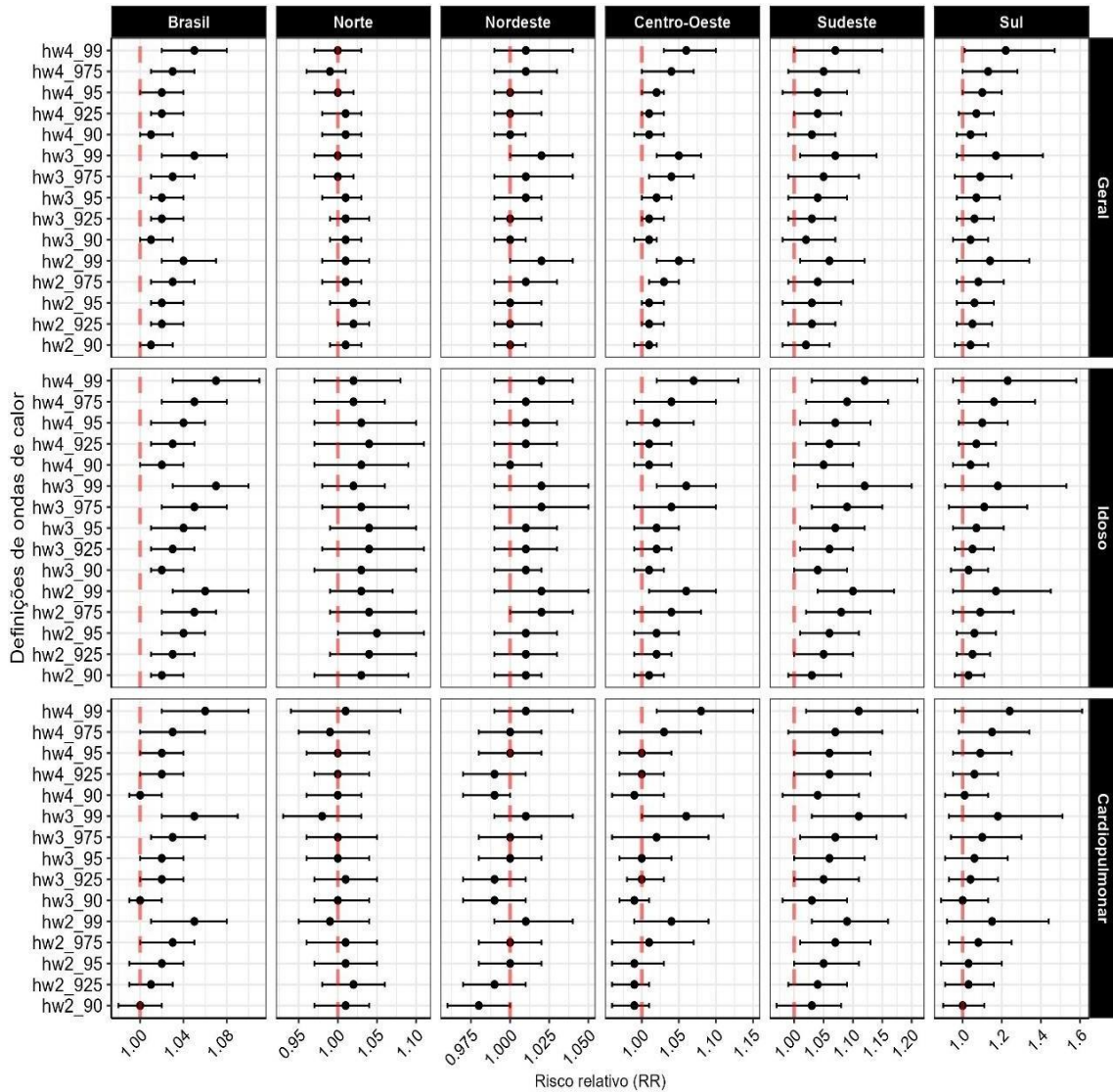
Além disso, as figuras 16 e 17 mostram o efeito combinado das diferentes ondas de calor no Brasil e nas regiões do Brasil, segundo as diferentes critérios e definições de eventos (2 dias, 90°; 2 dias, 92,5°; 2 dias, 95°; 2 dias, 97,5°; 2 dias, 99°; 3 dias, 90°; 3 dias, 92,5°; 3 dias, 95°; 3 dias, 97,5°; 3 dias, 99°; 4 dias, 90°; 4 dias, 92,5°; 4 dias, 95°; 4 dias, 97,5°; e 4 dias, 99°), usando a temperatura média e a temperatura máxima como indicador de exposição, respectivamente. Esses resultados foram obtidos considerando diferentes definições de ondas de calor e observando o período de defasagem de até 5 dias.

**Figura 17:** Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar no Brasil e nas regiões (combinando os efeitos das capitais), usando como indicador de exposição a temperatura média diária (2000-2019).



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Figura 18:** Risco relativo (IC 95%) entre as diferentes definições de ondas de calor e a mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar no Brasil e nas regiões (combinando os efeitos das capitais), usando como indicador de exposição a temperatura máxima diária (2000-2019).



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A Tabela 6 mostra as estimativas do risco relativo (RR) de mortalidade para diferentes critérios usados na definição de ondas de calor no Brasil e suas regiões de acordo com percentil 90°, 95° e 99° com duração mínima de 2 dias. Para o Brasil, os maiores efeitos foram com a temperatura média e para os desfechos de mortalidade em idosos e cardiopulmonares.

**Tabela 6:** Risco relativo (IC 95%) das ondas de calor na mortalidade geral, em idosos e cardiopulmonar no Brasil e nas regiões (combinando os efeitos das capitais), usando como indicador de exposição a temperatura média e máxima diária e intensidade do percentil 90°, 95° e 99° e duração acima de 2 dias (2000-2019).

Local	Risco Relativo (Intervalo de Confiança 95%)					
	Temperatura Média			Temperatura Máxima		
	Baixa (P90)	Moderada (P95)	Alta (P99)	Baixa (P90)	Moderada (P95)	Alta (P99)
<b>Brasil</b>						
Geral	1,07 (1,04 - 1,09)	1,09 (1,05 - 1,14)	1,20 (1,12 - 1,29)	1,01 (1,00 - 1,03)	1,02 (1,01 - 1,04)	1,05 (1,02 - 1,08)
Idoso	1,09 (1,06 - 1,13)	1,13 (1,08 - 1,18)	1,21 (1,10 - 1,33)	1,02 (1,01 - 1,04)	1,04 (1,01 - 1,06)	1,07 (1,03 - 1,10)
Cardiopulmonar	1,09 (1,05 - 1,13)	1,12 (1,07 - 1,18)	1,27 (1,15 - 1,40)	1,00 (0,99 - 1,02)	1,02 (1,00 - 1,04)	1,05 (1,02 - 1,09)
<b>Norte</b>						
Geral	1,01 (0,98 - 1,05)	1,00 (0,96 - 1,05)	1,05 (0,88 - 1,26)	1,01 (0,99 - 1,03)	1,01 (0,98 - 1,03)	1,00 (0,97 - 1,03)
Idoso	1,07 (1,01 - 1,14)	1,05 (0,99 - 1,12)	1,02 (0,80 - 1,29)	1,03 (0,97 - 1,09)	1,04 (0,99 - 1,10)	1,02 (0,98 - 1,07)
Cardiopulmonar	1,08 (1,02 - 1,14)	1,07 (0,98 - 1,16)	1,18 (0,98 - 1,43)	1,00 (0,97 - 1,04)	1,00 (0,96 - 1,04)	0,99 (0,94 - 1,05)
<b>Nordeste</b>						
Geral	1,02 (1,01 - 1,05)	1,04 (1,01 - 1,07)	1,06 (0,98 - 1,15)	1,00 (0,99 - 1,01)	1,00 (0,99 - 1,02)	1,02 (1,00 - 1,04)
Idoso	1,04 (1,01 - 1,07)	1,07 (1,03 - 1,11)	1,05 (0,94 - 1,15)	1,01 (0,99 - 1,02)	1,01 (0,99 - 1,03)	1,02 (0,99 - 1,05)
Cardiopulmonar	1,05 (1,01 - 1,08)	1,05 (1,01 - 1,10)	1,07 (0,94 - 1,22)	0,99 (0,97 - 1,00)	1,00 (0,98 - 1,02)	1,01 (0,99 - 1,04)
<b>Centro-Oeste</b>						
Geral	1,08 (1,05 - 1,11)	1,10 (1,04 - 1,17)	1,29 (1,17 - 1,42)	1,01 (0,99 - 1,02)	1,02 (1,00 - 1,03)	1,05 (1,02 - 1,08)
Idoso	1,09 (1,05 - 1,14)	1,11 (1,04 - 1,18)	1,40 (1,24 - 1,58)	1,01 (0,99 - 1,03)	1,02 (0,99 - 1,06)	1,06 (1,02 - 1,11)
Cardiopulmonar	1,10 (1,03 - 1,18)	1,12 (1,03 - 1,23)	1,40 (1,18 - 1,67)	0,99 (0,96 - 1,02)	1,00 (0,97 - 1,04)	1,06 (1,00 - 1,12)

**Sudeste**

Geral	1,13 (1,07 - 1,21)	1,19 (1,09 - 1,30)	1,31 (1,23 - 1,40)	1,02 (0,98 - 1,07)	1,04 (0,98 - 1,09)	1,07 (1,01 - 1,14)
Idoso	1,18 (1,09 - 1,27)	1,24 (1,13 - 1,37)	1,38 (1,29 - 1,47)	1,04 (1,00 - 1,09)	1,07 (1,01 - 1,12)	1,11 (1,04 - 1,19)
Cardiopulmonar	1,19 (1,06 - 1,32)	1,23 (1,11 - 1,36)	1,34 (1,21 - 1,47)	1,03 (0,98 - 1,09)	1,06 (1,00 - 1,12)	1,10 (1,03 - 1,19)

**Sul**

Geral	1,10 (0,96 - 1,26)	1,20 (0,98 - 1,48)	1,55 (1,20 - 2,00)	1,04 (0,96 - 1,13)	1,08 (0,98 - 1,18)	1,18 (0,98 - 1,41)
Idoso	1,11 (0,93 - 1,32)	1,22 (0,93 - 1,60)	1,56 (1,08 - 2,25)	1,03 (0,95 - 1,12)	1,08 (0,97 - 1,20)	1,19 (0,94 - 1,52)
Cardiopulmonar	1,06 (0,87 - 1,31)	1,21 (0,89 - 1,65)	1,73 (1,19 - 2,51)	1,00 (0,90 - 1,12)	1,06 (0,92 - 1,23)	1,19 (0,94 - 1,52)

**Fonte:** Elaborado pelos autores.



## 7 DISCUSSÃO

Foi realizado um estudo combinando a análise dos indicadores (temperatura média e temperatura máxima), intensidade (90°, 92,5°, 95°, 97,5° e 99°) e duração ( $\geq 2$ ,  $\geq 3$ , e  $\geq 4$  dias) para compreender melhor o efeito das ondas de calor mais sensíveis a saúde a fim de avaliar os impactos sobre os desfechos de mortalidade geral, em idosos e de agravos cardiopulmonar no contexto das capitais dos estados do Brasil.

Os resultados mostraram que quanto mais intensas eram as ondas de calor, maiores eram as estimativas de risco, considerando o efeito combinado de todas as capitais. Em geral, os efeitos das ondas de calor nos desfechos de mortalidade foram maiores à medida que se aumentava a intensidade desses eventos, mas não em relação à duração. Esses resultados foram mais acentuados nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país e estão em consonância com estudos anteriores que mostraram a intensidade das ondas de calor desempenhando um papel mais preponderante em desfechos na saúde, enquanto a duração teve uma influência menos acentuada (Diniz; Gonçalves; Sheridan, 2020; Guo *et al.*, 2017; Moraes; Almendra; Barrozo, 2022; Xu *et al.*, 2016).

Do ponto de vista da plausibilidade biológica, quando as ondas de calor são mais intensas ou de maior duração, o sistema cardiovascular enfrenta uma sobrecarga maior para realizar a termorregulação (Song *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2020). Essa regulação térmica causa o aumento do fluxo sanguíneo para a pele que permite a perda de calor para o ambiente, tornando o processo de dissipação de calor ainda mais ofensivo para o corpo humano, a qual pode levar a um aumento do esforço cardíaco e da pressão arterial (Kenney; Craighead; Alexander, 2014; Deng *et al.*, 2018).

Em relação ao índice térmico, os efeitos das ondas de calor definida com base no indicador temperatura média diária foi mais sensível para estabelecer relação com os desfechos de mortalidade para todos os grupos populacionais e regiões estudadas. Em uma recente revisão, a temperatura média diária foi apontada como uma variável com melhor preditor dos efeitos na mortalidade em comparação com as temperaturas máxima e mínima. Além disso, ao utilizar a temperatura média como variável de estudo foi possível obter uma melhor comparabilidade com outros estudos, além de permitir a maior identificação de padrões e tendências (Dimitrova *et al.*, 2021).

Ainda assim, outros estudos analisaram o efeito das ondas de calor usando diferentes indicadores térmicos que combinam outras variáveis significativas na troca de calor interno e externo, tais como, umidade, velocidade dos ventos, índice de calor (*heat index*) máximo, temperatura do ponto de orvalho e outros potenciais variáveis (Weinberger *et al.*, 2021), (Basu; Dominici; Samet, 2005b). Embora alguns desses indicadores tenham sido avaliados no Brasil para avaliar o estresse por calor na mortalidade (Oliveira *et al.*, 2020) ou no risco de exposição ocupacional (Roscani *et al.*, 2017), os efeitos de eventos extremos como ondas de calor sobre a mortalidade ainda foram pouco explorados usando esses índices térmicos.

Os efeitos das ondas de calor podem ser complexos e diversos atingindo grupos distintos, ainda mais quando ocorre a combinação de alta temperatura e umidade. Essa combinação pode resultar em uma sensação de calor mais intensa porque dificulta a dissipação do calor interno para o ambiente externo, o que sobrecarrega o sistema cardiopulmonar. Neste estudo, na região Norte, as ondas de calor apresentaram maior risco de morte por doenças cardiopulmonares e, as capitais desta região são tradicionalmente conhecidas por apresentar em sua climatologia temperaturas elevadas associadas a alta umidade relativa indicando uma maior sensibilidade de populações vulneráveis a essas condições. Em idosos, mesmo aqueles saudáveis, possuem uma resposta cardiovascular alterada ao estresse por calor em comparação com os adultos, pois o processo de envelhecimento é acompanhado por alterações na função cardiovascular (Kenney; Craighead; Alexander, 2014).

Em relação à causa da morte, o risco de mortalidade foi maior especialmente em grupos mais vulneráveis como idosos e indivíduos com problemas cardiopulmonares comparado com a mortalidade geral. Em geral, os eventos extremos como as ondas de calor são mais propensos a afetar os idosos que são um grupo mais vulnerável em razão da carga de doenças cardiovasculares e respiratória preexistentes, incluindo mortes por doença isquêmica do coração, acidente vascular cerebral, insuficiência cardíaca e DPOC (Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica). Assim, a grande maioria dos efeitos relacionados ao calor são associados a doenças cardiorrespiratórias, seja pela plausibilidade biológica ou por serem mais frequentes em idosos (Cheng *et al.*, 2019; Marto, 2005).

O estudo sobre as definições e os critérios para identificação de ondas de calor representa uma preocupação central no desenvolvimento de um sistema de alerta e de enfrentamento das mudanças do clima. Assim, os critérios adotados para caracterizar uma onda de calor devem refletir uma condição de risco para a saúde humana e embasar a formulação de

estratégias e ações para minimizar potenciais impactos. Nesta perspectiva, se o objetivo de um sistema é minimizar ao máximo a mortalidade relacionada ao calor, o estabelecimento de limites mais baixos de intensidade, como o percentil 90º, com duração de 2 dias ou mais pode ser mais apropriado. No entanto, é importante considerar que o alto número de alertas emitidos pode sobrecarregar os serviços de saúde. Por outro lado, os sistemas também podem optar por identificar apenas situações extremamente críticas, usando percentis e duração mais elevados, aumentando a especificidade do sistema evitando mortes não associadas aos eventos de calor. No entanto, essas são condições extremamente raras e podem ocorrer apenas uma vez em vários anos. Como consequência, muitos sistemas atuais operam com o princípio integrado de aumentos significativos na mortalidade para justificar a emissão de alertas.

No Brasil, o uso de sistemas de alerta para adoção de ações mais oportunas ainda precisa ser mais bem desenhado e a sua implementação ainda é limitada em razão da integração de informações quanto a exposição e desfecho. No caso dos desfechos de saúde, a mortalidade é considerada o desfecho mais grave e os dados são disponibilizados com atraso, reduzindo seu uso em momento oportuno. Outra consideração ao estabelecer critérios para definir ondas de calor em escala nacional é a diversidade dos efeitos em nível regional, onde as disparidades regionais são marcantes, principalmente em relação ao desenvolvimento social e ambiental. Nas análises realizadas, optamos por utilizar os dados das capitais dos estados como forma de minimizar limitações relacionadas ao fluxo e disponibilidade de dados de saúde (Moraes; Almendra; Barrozo, 2022).

Dentre as limitações do estudo se encontram os dados de saúde provenientes do Sistema de Informação de Mortalidade (SIM), pois as informações podem conter falhas nos registros de óbitos ao serem preenchidas, especialmente na definição da causa básica de óbito. A falta de estrutura e recursos humanos para promover diagnósticos mais precisos podem levar a uma superestimação dos desfechos cardiopulmonares como principais causas de morte. Como mencionado anteriormente, para minimizar essa limitação, optou-se por realizar o estudo com os dados das capitais que apresentam maior completude do preenchimento dos dados para essas áreas.

Em relação à exposição, foram utilizados os dados do modelo climático ERA5-Land, pois apesar de ser baseado em estimativas, oferece cobertura para todo o território brasileiro com dados históricos desde 1970 até os dias atuais. Apesar das capitais terem estações meteorológicas, a proposta deste estudo era viabilizar estimativas que pudessem ser aplicadas

no maior número de municípios do Brasil. Além disso, outra limitação quanto à exposição seria potenciais erros de classificação de exposição, pois a medida foi agregada ao nível de município e não ao nível de indivíduo. Para tanto, optou-se por utilizar os dados modelados usando um *buffer* em torno do centroide da cidade, considerando assim o local com maior número de pessoas exposta.

Por fim, esses resultados possuem implicações importantes para a saúde pública, pois destaca a necessidade de elaborar e implementar planos de ação específicos para lidar com a combinação dos efeitos de calor e saúde em todas as regiões do Brasil. Isso inclui a implementação de sistemas de alerta e estratégias de resposta, visando mitigar os efeitos das ondas de calor na saúde. De acordo com os resultados encontrados, recomenda-se que esses planos sejam direcionados aos grupos mais sensíveis e vulneráveis da sociedade, como idosos e pessoas com condições médicas pré-existentes, sejam condições cardiopulmonar ou respiratória.

## **8 CONCLUSÃO**

Os resultados indicaram que as ondas de calor baseadas na temperatura média foram mais sensíveis para estimar os efeitos na mortalidade, em comparação com a temperatura máxima. Os efeitos destes eventos extremos foram mais significativos na mortalidade, conforme o aumento da intensidade das ondas de calor, sobretudo nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país. Além disso, as ondas de calor representaram um risco de mortalidade para todos os grupos populacionais, principalmente para os grupos vulneráveis, como os idosos e mortes por causas cardiopulmonares.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, B. G., BELL, M. L. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. **Epidemiology**, v.20, n.2, p.205-13, 2009 Mar. DOI: 10.1097/EDE.0b013e318190ee08. PMID: 19194300; PMCID: PMC3366558.
- ANALITIS, A. *et al.* Effects of Heat Waves on Mortality: Effect Modification and Confounding by Air Pollutants. **Epidemiology**, v. 25, n. 1, p. 15–22, jan. 2014.
- ARMSTRONG, B. G.; GASPARRINI, A.; TOBIAS, A. Conditional Poisson models: a flexible alternative to conditional logistic case cross-over analysis. **BMC Medical Research Methodology**, v. 14, n. 1, p. 122, dez. 2014a.
- ARMSTRONG, B. G.; GASPARRINI, A.; TOBIAS, A. Conditional Poisson models: a flexible alternative to conditional logistic case cross-over analysis. **BMC Medical Research Methodology**, v. 14, n. 1, p. 122, dez. 2014b.
- AUGUSTIN, J. Activities on the subject "Climate Change and Health" by Federal Institutions in Germany. CLIMATE CHANGE AND HEALTH. **Journal UMID UMWELTMEDIZINISCHER INFORMATIONSDIENST**, v.3, p. 56, 2009. Disponível em: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/publikationen/umid0309-e.pdf>
- AWASTHI, A.; VISHWAKARMA, K.; PATTNAYAK, K. C. Retrospection of heatwave and heat index. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 147, n. 1–2, p. 589–604, 2022.
- BARRIOPEDRO, D. *et al.* The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. **Science**, v. 332, n. 6026, p. 220–224, 8 abr. 2011.
- BASSIL, K. L.; COLE, D. C. Effectiveness of public health interventions in reducing morbidity and mortality during heat episodes: a structured review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 7, n. 3, p. 991–1001, mar. 2010.
- BASU, R.; SAMET, J. M. Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. **Epidemiologic Reviews**, v. 24, n. 2, p. 190–202, 1 dez. 2002.
- BASU, R. Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. **Epidemiologic Reviews**, v. 24, n. 2, p. 190–202, 1 dez. 2002.
- BASU, R.; DOMINICI, F.; SAMET, J. M. Temperature and Mortality Among the Elderly in the United States: A Comparison of Epidemiologic Methods. **Epidemiology**, v. 16, n. 1, p. 58–66, jan. 2005a.
- BASU, R.; DOMINICI, F.; SAMET, J. M. Temperature and Mortality Among the Elderly in the United States: A Comparison of Epidemiologic Methods. **Epidemiology**, v. 16, n. 1, p. 58–66, jan. 2005b.

BERNARD, S. M.; MCGEEHIN, M. A. Municipal Heat Wave Response Plans. **American Journal of Public Health**, v. 94, n. 9, p. 1520–1522, set. 2004.

BITENCOURT, D. P. *et al.* Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.31, n.4, p. 506–517, dez. 2016.  
BITTNER, M. I. *et al.* Are European countries prepared for the next big heat-wave? **The European Journal of Public Health**, v. 24, n. 4, p. 615–619, 1 ago. 2014.

BLAZEJCZYK, K. *et al.* Comparison of UTCI to selected thermal indices. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 515–535, 1 maio 2012.

BUDD, G. M. Wet-bulb globe temperature (WBGT)—its history and its limitations. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 11, n. 1, p. 20–32, jan. 2008.

CAN, G. *et al.* Excess Mortality in Istanbul during Extreme Heat Waves between 2013 and 2017. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 22, p. 4348, 7 nov. 2019.

CASANUEVA, A. *et al.* Overview of Existing Heat-Health Warning Systems in Europe. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 15, p. 2657, 25 jul. 2019.

CHEN, J. *et al.* The modifying effects of heat and cold wave characteristics on cardiovascular mortality in 31 major Chinese cities. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 10, p.105009, 1 out. 2020.

CHEN, K. *et al.* Estimating Heat-Related Exposures and Urban Heat Island Impacts: A Case Study for the 2012 Chicago Heatwave. **GeoHealth**, v. 6, n. 1, 1 jan.2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2021GH000535>.

CHENG, J. *et al.* Cardiorespiratory effects of heatwaves: A systematic review and metaanalysis of global epidemiological evidence. **Environmental Research**, v. 177, out. 2019. DOI: 10.1016/j.envres.2019.108610, PMID: 31376629.

DENG, Q. *et al.* Heatstroke at home: Prediction by thermoregulation modeling. **Building and Environment**, v. 137, p. 147–156, jun. 2018.

DIMITROVA, A. *et al.* Association between ambient temperature and heat waves with mortality in South Asia: Systematic review and meta-analysis. **Environment International**, v. 146, jan. 2021. PMID: 106170.

DINIZ, F. R.; GONÇALVES, F. L. T.; SHERIDAN, S. Heat Wave and Elderly Mortality: Historical Analysis and Future Projection for Metropolitan Region of São Paulo, Brazil. **Atmosphere**, v. 11, n. 9, p. 933, 31 ago. 2020.

FISCHER, E. M.; SCHÄR, C. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 6, p. 398–403, jun. 2010.

GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. Distributed lag non-linear models. **Statistics in Medicine**, v. 29, n. 21, p. 2224–2234, 20 set. 2010.

GOSLING, S. N. *et al.* Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature. **Climatic Change**, v. 92, n. 3–4, p. 299–341, fev. 2009.

GUO, Y. *et al.* Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study. **Environmental Health Perspectives**, v. 125, n. 8, ago. 2017. PMID: 087006.

HAJAT, S. *et al.* Heat–Health Warning Systems: A Comparison of the Predictive Capacity of Different Approaches to Identifying Dangerously Hot Days. **American Journal of Public Health**, v. 100, n. 6, p. 1137–1144, jun. 2010.

HALL, J. E.; GUYTON, A. C. **Guyton and Hall textbook of medical physiology**. 12th ed. Philadelphia, Pa: Saunders/Elsevier, 2011.

HAVENITH, G.; FIALA, D. **Thermal Indices and Thermophysiological Modeling for Heat Stress**. In: TERJUNG, R. (org.). *Comprehensive Physiology*. 1. ed.: Wiley, 2015. p. 255–302. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cphy.c140051>. Acesso em: 02 set. 2022.

HOAG, H. Russian summer tops “universal” heatwave index. **Nature**, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature.2014.16250>.

ISSA M. A., *et al.* A heat-health watch and warning system with extended season and evolving thresholds. **BMC Public Health**. v. 21, n.1, p.1479, dez. 2021. DOI: 10.1186/s12889-021-10982-8. PMID: 34325687; PMCID: PMC8320165.

INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL. **Normais Climatológicas (1961/1990) - Glossário**. Brasília-DF, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/glossario/glossario>. Acesso em: 13 fev. 2022.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis**, p. 35-144, 2023. Cambridge University Press. DOI:10.1017/9781009157896.002.

JANES, H.; SHEPPARD, L.; LUMLEY, T. Case-Crossover Analyses of Air Pollution Exposure Data: Referent Selection Strategies and Their Implications for Bias. **Epidemiology**, v. 16, n. 6, p. 717–726, nov. 2005.

KENNEY, W. L.; CRAIGHEAD, D. H.; ALEXANDER, L. M. Heat Waves, Aging and Human Cardiovascular Health. **Medicine, Science in Sports & Exercise**, v. 46, n. 10, p. 1891–1899, out. 2014.

KENNY, G. P. *et al.* Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. **CMAJ Canadian Medical Association journal / Journal de l'Association Médicale Canadienne**, v. 182, n. 10, p. 1053–1060, 13 jul. 2010.



- KOPPE, C. *et al.* Heat waves: risks and responses. Copenhagen: Regional Office for Europe, **WHO World Health Organization**, 2004a. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289010948>.
- KOPPE, C. *et al.* Heat waves: risks and responses. Copenhagen: Regional Office for Europe. **WHO World Health Organization**, 2004b. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/252328774\\_Heat-Waves\\_Risks\\_and\\_Responses](https://www.researchgate.net/publication/252328774_Heat-Waves_Risks_and_Responses)
- KOPPE, C.; JENDRITZKY, G. Inclusion of short-term adaptation to thermal stresses in a heat load warning procedure. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 14, n. 2, p. 271–278, 10 maio 2005.
- KOVATS, R. S.; KRISTIE, L. E. Heatwaves and public health in Europe. **European Journal of Public Health**, v. 16, n. 6, p. 592–599, 1 dez. 2006.
- KYSEL, J. Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. **International Journal of Biometeorology**, v. 49, n. 2, p. 91–97, nov. 2004.
- LASS, W. *et al.* Avoiding the avoidable: Towards a European heat waves risk governance. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 2, n. 1, p. 1–14, mar. 2011.
- LI, D. *et al.* Urban heat island: Aerodynamics or imperviousness? **Science Advances**, v. 5, n. 4, 3 abr. 2019. Disponível em: DOI:10.1126/sciadv.aau4299, PMID: 30949572.
- LOWE, D.; EBI, K. L.; FORSBERG, B. Heatwave Early Warning Systems and Adaptation Advice to Reduce Human Health Consequences of Heatwaves. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 8, n. 12, p. 4623–4648, 12 dez. 2011.
- MACLURE, M. The Case-Crossover Design: A Method for Studying Transient Effects on the Risk of Acute Events. **American Journal of Epidemiology**, v. 133, n. 2, p. 144–153, 15 jan. 1991.
- MARTO, N. Ondas de calor Impacto sobre a saúde. **Acta Med Port [Internet]**, v. 18, n. 6, p. 467-74, 31 dec, 2005.
- MATTHIES, F. Heat-health action plans: guidance. Copenhagen, Denmark: **WHO World Health Organization**, Regional Office for Europe, 2008.
- MATTHIES, F.; MENNE, B. Prevention and management of health hazards related to heatwaves. **International Journal of Circumpolar Health**, v. 68, n. 1, p. 8–22, fev. 2009.
- MCGREGOR, G. R. **Using science to create a better place: the social impacts of heat waves**. Bristol: Environment Agency, 2007.
- MCGREGOR, G. R.; BESSEMOULIN, P. Heatwaves and health guidance on warning-system development. Genf: **WMO World Meteorological Organization**, 2015.

MCGREGOR, G. R. Progress in Physical Geography Earth and Environment. **Human biometeorology**, v. 36, n. 1, p. 93–109, fev. 2012a.

MCGREGOR, G. R. Special issue: Universal Thermal Comfort Index (UTCI). **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 419–419, 1 maio 2012b.

MORAES, S. L. D.; ALMENDRA, R.; BARROZO, L. V. Impact of heat waves and cold spells on cause-specific mortality in the city of São Paulo, Brazil. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 239, jan. 2022. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113861.

NICHOLLS, N. Do heat alerts save lives? **The Royal Society of Victoria**, v. 131, n. 1, p. 60, 2019.

OLIVEIRA, B. F. A. D. *et al.* Impacts of heat stress conditions on mortality from respiratory and cardiovascular diseases in Brazil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 3, p. 297–330, 31 dez. 2020.

PAHO PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. Heatwaves: A Guide for Health-based Actions. **Pan American Health Organization**, 2021. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/54979>. Acesso em: 16 jul. 2022.

PAPPENBERGER, F. *et al.* Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 3, p. 311–323, mar. 2015.

PATERSON, S. K., GODSMARK, C. N. Heat-health vulnerability in temperate climates: lessons and response options from Ireland. **Global Health**, v. 16, n.29, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12992-020-00554-7>

PETITTI, D. B. *et al.* Multiple Trigger Points for Quantifying Heat-Health Impacts: New Evidence from a Hot Climate. **Environmental Health Perspectives**, v. 124, n. 2, p. 176–183, fev. 2016.

POGAČAR, T. *et al.* Steps Towards Comprehensive Heat Communication in the Frame of a Heat Health Warning System in Slovenia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 16, p. 5829, 12 ago. 2020.

PYRGOU, A.; HADJINICOLAOU, P.; SANTAMOURIS, M. Urban-rural moisture contrast: Regulator of the urban heat island and heatwaves' synergy over a mediterranean city. **Environmental Research**, v. 182, mar. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935119308989>.

ROSCANI, R. C. *et al.* Risco de exposição à sobrecarga térmica para trabalhadores da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 33, n. 3, 20 abr. 2017. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2017000305019&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2017000305019&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 20 ago. 2023.

ROYÉ, D. *et al.* Heat wave intensity and daily mortality in four of the largest cities of Spain. **Environmental Research**, v. 182, mar. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935119308242>.

SHERIDAN, S. C.; KALKSTEIN, L. S. Progress in Heat Watch–Warning System Technology **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 85, n. 12, p. 1931–1942, 1 dez. 2004.  
SON, J. Y. *et al.* Vulnerability to temperature-related mortality in Seoul, Korea. **Environ Research Letters**, v. 6, n. 3, 2011. DOI: 10.1088/1748-9326/6/3/034027. PMID: 23335945; PMCID: PMC3546816.

SONG, X. *et al.* Impact of ambient temperature on morbidity and mortality: An overview of reviews. **Science of The Total Environment**, v. 586, p. 241–254, 2017.

STEFANON, M.; D'ANDREA, F.; DROBINSKI, P. Heatwave classification over Europe and the Mediterranean region. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 1, mar. 2012. DOI:10.1088/1748-9326/7/1/014023.

SUN, Z. *et al.* Heat wave characteristics, mortality and effect modification by temperature zones: a time-series study in 130 counties of China. **International Journal of Epidemiology**, v. 49, n. 6, p. 1813–1822, 23 jan. 2021.

TOLOO, G. *et al.* Evaluating the effectiveness of heat warning systems: systematic review of epidemiological evidence. **International Journal of Public Health**, v. 58, n. 5, p. 667–681, out. 2013.

VILLAMIL CAJOTO, I. *et al.* Impacto de la ola de calor de 2003 en el Hospital de Riveira (A Coruña). **Anales de Medicina Interna**, v. 22, n. 1, p. 15–20, jan. 2005.

WEINBERGER, K. R. *et al.* Heat warnings, mortality, and hospital admissions among older adults in the United States. **Environment International**, v. 157, dez. 2021. PMID:34461376 DOI:10.1016/j.envint.2021.106834.

WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION EURO. WHO-EURO-2011-2510-42266-58691-ENG.PDF. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/341580/WHO-EURO-2011-2510-42266-58691-eng.pdf>. Acesso em: 19 maio 2022.

WIMBUSH, E.; WATSON, J. An Evaluation Framework for Health Promotion: Theory, Quality and Effectiveness. **Evaluation**, v. 6, n. 3, p. 301–321, jul. 2000.

WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION. ENVIRONMENT AND HEALTH EURO. **WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION**, 2008. Disponível em: <https://www.who.int/europe/health-topics/environmental-health/planning-heat-health-action>. Acesso em: 11 jun. 2022.

WHO. Heat-Health Action Plans: GUIDANCE. Geneva: **WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION Regional Office for Europe**, 2008. Disponível em: <http://www.myilibrary.com?id=193786>. Acesso em: 04 maio 2022.

WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION. REGIONAL OFFICE FOR EUROPE; COMMISSION, E. Improving public health responses to extreme weather/heat-waves: Euro HEAT: technical summary, n. EUR/08/508650. Copenhagen: **WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION Regional Office for Europe**, 2009. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107935>. Acesso em: 27 abr. 2022.

XU, Z. *et al.* Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. **Environment International**, v. 89–90, p. 193–203, abr. 2016.