



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

**BEATRIZ NUNES GARCIA**

CARACTERIZAÇÃO DE ONDAS DE CALOR NO BRASIL E SEUS IMPACTOS NA  
SAÚDE HUMANA NAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Rio de Janeiro

2021

BEATRIZ NUNES GARCIA

CARACTERIZAÇÃO DE ONDAS DE CALOR NO BRASIL E SEUS IMPACTOS NA  
SAÚDE HUMANA NAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Renata Libonati dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Faria Peres

Rio de Janeiro

2021

BEATRIZ NUNES GARCIA

CARACTERIZAÇÃO DE ONDAS DE CALOR NO BRASIL E SEUS IMPACTOS NA  
SAÚDE HUMANA NAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Meteorologia.

Avaliado por:

---

Dra. Renata Libonati dos Santos (Orientadora)

IGEO - UFRJ

---

Dr. Leonardo de Faria Peres (Orientador)

IGEO - UFRJ

---

Dr. José Ricardo de Almeida França

IGEO - UFRJ

---

Dra. Helen da Costa Gurgel

IH - UnB

---

Dra. Ana Cristina Machado Russo

IDL - ULisboa

Rio de Janeiro

2021

Dedico este trabalho ao meu avô Itamar (in memoriam),  
que, em toda sua simplicidade, foi capaz de me ensinar  
tudo de mais importante da vida.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus, que sempre esteve presente em todos os momentos da minha vida, sustentando-me, guiando-me e me confortando nos difíceis e alegrando-se comigo em todos de alegria.

À toda a minha família, que é o maior exemplo de caráter, amor, carinho, sabedoria e humildade. Aos meus pais, Ricardo e Elizabete, que são os responsáveis por me ensinarem e me ajudarem a me tornar o que sou hoje, sempre com muito amor, paciência e apoio. Ao meu irmão Matheus, por toda paciência, companhia, proteção, conselho e autoritarismo que fazem a minha vida ser mais leve e alegre. Às minhas avós por todo amor, carinho, ensinamento e infindáveis histórias e conversas.

À Gabriela e Nathalia, que são uma presença constante na minha vida desde a escola e que estiveram presentes, compartilharam e ainda compartilham diversas fases e que me aturam até hoje com meus gostos totalmente diferentes e desabafos. Talvez vocês sejam realmente o dream team que tanto falam.

Ao Pedro e à Silvana, minhas companhias de todo domingo e raramente de outros dias da semana, que nunca desistiram de me chamar para sair mesmo sabendo qual seria a resposta.

À Isabella e ao Iago, por serem a família real que faltava na minha vida, por todas as conversas, ensinamentos, hambúrgueres e músicas.

Aos meus orientadores, Renata Libonati e Leonardo Peres, e antiga orientadora, Ana Nunes, por todas as oportunidades, ensinamentos, paciência, apoio, cobrança e direcionamento durante todos estes anos.

Aos meus amigos de faculdade, que estiveram presente e compartilharam comigo muitos momentos alegres da vida durante a graduação, sejam eles nas aulas de computação, idas ao bandeirão e ceias (Maximilianos), durante e entre as aulas do departamento (Jamyle, Ana Beatriz e Victor), nas conversas e brincadeiras nos laboratórios e refeitório (Victor, Lucas e Renan) ou em congresso (Iago, Thais, Filipe, Vitor e Liz).

Aos meus amigos do LASA – Lucas, Luiza, Filipe, Julia, Liz, Vitor, Thais e Caio –, pelas risadas, companhia e conhecimento científico.

Ao João Geirinhas, por toda paciência, direcionamento e compartilhamento de conhecimento neste último ano. À Mônica Magalhães, por toda ajuda com os dados de mortalidade.

À Ana Russo, à professora Helen Gurgel e ao professor José Ricardo França por aceitarem o convite de fazer parte da banca.

Por fim, a todos que, mesmo de forma singela, participaram da minha vida, porque pequenos momentos nos formam e transformam.

*Apenas na escuridão você pode ver as estrelas.*

**Martin Luther King Jr.**

## RESUMO

GARCIA, Beatriz N.. **Caracterização de ondas de calor no Brasil e seus impactos na saúde humana nas últimas décadas.** Monografia (Graduação em Meteorologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

A intensificação do efeito estufa decorrente de atividades antrópicas altera o sistema climático, acarretando uma maior intensidade, duração e frequência de eventos climáticos extremos como inundações, secas e ondas de calor (OC), que causam grandes impactos não só na saúde humana, nos meios de subsistência e na infraestrutura, mas também nos sistemas naturais. As OCs são definidas, de forma geral, por um período de dias consecutivos em que a temperatura ultrapassa um determinado limiar extremo climatológico e são definidas em relação ao clima local, pois, diferentes impactos e níveis de estresse térmico podem ocorrer em distintas regiões a partir das mesmas condições meteorológicas. Neste contexto, este estudo relaciona episódios de OCs com alterações nas taxas e nos valores observados de mortalidade natural em algumas regiões metropolitanas (RMs) e uma região integrada de desenvolvimento (RIDE) mais populosas do Brasil, sendo elas: RM de Manaus, RM do Recife, RM de São Paulo, RM de Curitiba, RM de Florianópolis, RM de Porto Alegre e RIDE do Distrito Federal e Entorno. O estudo baseia-se na identificação de episódios de extremo calor definidos e identificados com base no índice de excesso de calor - EHF (Extreme Heat Factor). Foram utilizados dados diários de mortalidade do Sistema Único de Saúde (SUS) para população total a fim de analisar a vulnerabilidade de acordo com o sexo (feminino e masculino), faixa etária (crianças – 0 a 14 anos –, jovens – 15 a 29 anos –, adultos – 30 a 59 anos – e idosos – 60 anos ou mais) e causa de morte (diabetes, doenças do sistema nervoso, do sistema circulatório, do sistema respiratório e do sistema geniturinário) no período de 2000 a 2018. A partir dos dados absolutos de mortalidade, calculou-se a razão entre o número de óbitos observado e esperado (razão O/E) para analisar o comportamento da mortalidade nas regiões de estudo. Resultados obtidos indicam um excesso de óbito durante dias de OC e diferentes impactos provocados pelos eventos de calor na mortalidade, dependendo da região do país. Em todas as RMs, a faixa etária mais vulnerável foi a dos idosos, concordando com a literatura. O gênero mais suscetível e as causas de óbito variaram entre as RMs, sendo a população feminina mais vulnerável na RM do Recife, São Paulo e Porto Alegre e a masculina na RM de Manaus. Os aumentos mais significativos na mortalidade foram por doenças do sistema nervoso nas RMs de São Paulo, Curitiba e Porto Alegre, sendo observado, durante os eventos analisados, o aumento igual ou superior a 75% na taxa de mortalidade da população total e idosa, chegando a 100% na população idosa da RM de Porto Alegre. Este trabalho pode fornecer direcionamentos nas políticas de saúde pública relacionadas a eventos climáticos extremos em grandes áreas metropolitanas do Brasil.

Palavras-chave: Eventos extremos. Ondas de calor. Mortalidade. Mudanças climáticas.

## ABSTRACT

GARCIA, Beatriz N.. **Caracterização de ondas de calor no Brasil e seus impactos na saúde humana nas últimas décadas.** Monografia (Graduação em Meteorologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

The intensification of greenhouse effect due to anthropogenic activities alters the climate system, leading to an increase of intensity, duration and frequency of extreme weather events such as floods, droughts and heat waves (OC), that cause great impacts not only on human health, on the subsistence and infrastructure, but also in natural systems. OCs are defined, in general, as a period of consecutive days in which the temperature exceeds a certain extreme climatic threshold and are defined in relation to the local climate, therefore, different impacts and levels of thermal stress can occur in different regions from the same weather conditions. In this context, this study relates OCs' episodes with changes in the rates and observed values of natural mortality in some of the most populated Metropolitan Regions (RMs) and an Integrated Development Region (RIDE) in Brazil, namely: RM of Manaus, RM of Recife, RM of São Paulo, RM of Curitiba, RM of Florianópolis, RM of Porto Alegre and RIDE of Distrito Federal and Entorno. The study is based on the identification of extreme heat episodes defined and identified based on the excess heat index - EHF (Extreme Heat Factor). Daily mortality data from the Brazilian Health System (SUS) were used for the total population in order to analyze the vulnerability according to sex (female and male), age group (children - 0 to 14 years old -, youth - 15 to 29 years -, adults - 30 to 59 years - and elderly - 60 years or more) and cause of death (diabetes, diseases of the nervous system, circulatory system, respiratory system and genitourinary system) in the period from 2000 to 2018. From the absolute data of mortality, the ratio between the number of observed and expected deaths (O/E ratio) was calculated to analyze the behavior of mortality in the study regions. Results indicate an excess of death during OC days and different impacts caused by heat events on mortality, depending on the region studied. In all RMs, the elderly was the most vulnerable age group, in agreement with the literature. The most susceptible gender and the causes of death varied between the RMs, as the female population being more vulnerable in the RM of Recife, São Paulo and Porto Alegre and the male in the RM of Manaus. The most significant increase in mortality were due to nervous system diseases in the RMs of São Paulo, Curitiba and Porto Alegre, with an increase of 75% or higher in the mortality rate of the total and elderly population, reaching 100% in the elderly population of the RM of Porto Alegre. This work can provide guidance on public health policies related to extreme weather events in large metropolitan areas in Brazil.

Keywords: Extreme events. Heat waves. Mortality. Climate Change.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impactos na saúde causados pela exposição ao calor extremo (Adaptado de WHO, 2018).....	17
Figura 2 - Excesso de mortalidade atribuído ao calor e ao frio em relação ao aumento regional da temperatura em quatro cenários de RCP em 2010–2099 para cada país, com a regressão linear da mortalidade para ambos (Lee <i>et al.</i> , 2019) .....	19
Figura 3 - Distribuição geográfica das condições climáticas fatais em diferentes cenários de emissão: (a) histórico, (b) RCP 2.6, (c) RCP 4.5 e (d) RCP 8.5 (Mora <i>et al.</i> , 2017) .....	21
Figura 4. Área de estudo com as regiões metropolitanas (RMs) destacadas de acordo com a população total a partir de dados do IBGE de 2019 .....	24
Figura 5 - Ciclo sazonal de temperatura máxima (vermelho), média (tracejado) e mínima (azul) para as estações de: (a) Manaus, (b) Recife (Curado), (c) Brasília, (d) São Paulo (Mirante de Santana), (e) Curitiba, (f) Florianópolis e (g) Porto Alegre durante o período de 1970-2018.	29
Figura 6 – Boxplot da razão O/E para dias sem OC (cinza claro) e com OC (cinza escuro) para as RMs de: (a) Manaus, (b) Recife (Curado), (c) Distrito Federal e Entorno, (d) São Paulo (Mirante de Santana), (e) Curitiba, (f) Florianópolis e (g) Porto Alegre durante o período escolhido para cada região entre 2000-2018. ....	30
Figura 7 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de JASON de 2015 na RM de Manaus.....	32
Figura 8 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2015/2016 na RM do Recife.....	35
Figura 9 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de JASON de 2015 na RIDE do Distrito Federal e entorno.....	37
Figura 10 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2013/2014 na RM de São Paulo. ....	40

Figura 11 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2013/2014 na RM de Curitiba. ....	42
Figura 12 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2013/2014 na RM de Florianópolis. ....	45
Figura 13 – Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2013/2014 na RM de Porto Alegre. ....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Índices definidos pela ETCCDI para eventos de OCs .....	15
Tabela 2 – Período analisado, números de dias de OC durante o evento ou período quente e intensidade do evento escolhido para cada RM.....	31
Tabela 3 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 21 de agosto a 22 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	33
Tabela 4 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 21 de agosto a 22 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	33
Tabela 5 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 21 de agosto a 22 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)..	34
Tabela 6 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 8 a 15 de dezembro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	35
Tabela 7 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 8 a 15 de dezembro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	36
Tabela 8 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 8 a 12 de dezembro, destacando-se valores com significância estatística (negrito).....	36
Tabela 9 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 21 de setembro a 24 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	38
Tabela 10 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 21 de setembro a 24 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	38
Tabela 11 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 21 de setembro a 24 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	39

Tabela 12 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 26 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	40
Tabela 13 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 26 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	41
Tabela 14 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 26 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	41
Tabela 15 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	43
Tabela 16 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	43
Tabela 17 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	44
Tabela 18 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	45
Tabela 19 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	46
Tabela 20 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	46
Tabela 21 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 18 de janeiro a 13 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	48

Tabela 22 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 18 de janeiro a 13 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	48
Tabela 23 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 18 de janeiro a 13 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito) .....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CID10	Classificação Internacional de Doenças - 10
EHF	Excess Heat Factor
EHI	Excess Heat Indices
ENOS	El-Niño – Oscilação Sul
ETCCDI	Expert Team on Climate Change Detection and Indices
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
OC	Onda de Calor
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OMS	Organização Mundial da Saúde
RIDE	Região Integrada de Desenvolvimento
RM	Região Metropolitana
SIM	Sistema de Informações sobre Mortalidade
SUS	Sistema Único de Saúde
Tmax	Temperatura máxima
Tmin	Temperatura mínima
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1 ONDAS DE CALOR .....	14
2.1.1 Definições.....	14
2.1.2 Ondas de calor e a saúde humana.....	16
2.1.3 Ondas de calor no Brasil.....	20
2.1.3.1 Variabilidade climática e caracterização atmosférica das OCs no Brasil.....	22
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	24
3.2 DADOS METEOROLÓGICOS.....	25
3.3 DADOS DE MORTALIDADE.....	25
3.4 METODOLOGIA.....	26
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
4.1 VISÃO GERAL.....	28
4.2 ESTUDO DE CASOS .....	31
4.2.1 Região Metropolitana de Manaus .....	32
4.2.2 Região Metropolitana do Recife.....	34
4.2.3 Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno .....	37
4.2.4 Região Metropolitana de São Paulo.....	39
4.2.5 Região Metropolitana de Curitiba .....	42
4.2.6 Região Metropolitana de Florianópolis .....	44
4.2.7 Região Metropolitana de Porto Alegre.....	47
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades antropogênicas que provocam o aumento de concentração de gases do efeito estufa desde a revolução industrial são a principal causa do aumento em 0,87 °C da temperatura média global quando comparada a temperatura a níveis da era pré-industrial (IPCC, 2018). As mudanças climáticas devido aos efeitos humanos alteram o sistema climático, acarretando o aumento na duração, intensidade e frequência de eventos extremos, como enchentes, secas, ondas de calor e queimadas de modo distinto em diferentes regiões do planeta (IPCC, 2012, 2014, 2018; ZHAO, Qi *et al.*, 2019). Além dos efeitos no sistema climático, as mudanças climáticas têm sido consideradas como a maior ameaça à saúde da população global no século atual. Particularmente, o aumento de eventos extremos (duração, intensidade e frequência) que impactam diretamente a temperatura do ar, como ondas de calor, podem aumentar o risco de condições que excede a capacidade de termorregulação humana (BASU, 2009; MCMICHAEL *et al.*, 2008).

Não há uma definição exata para eventos de ondas de calor (OCs), porém são entendidos, de forma geral, como períodos excepcionalmente quentes que duram ao menos dois a três dias e causam grande impacto não só nas atividades humanas como também nos sistemas naturais (PERKINS; ALEXANDER, 2012). Estes eventos extremos de temperatura são relativos de acordo com o local, isto é, as mesmas condições meteorológicas podem caracterizar uma OC em um lugar e em outro não, e podem variar tanto em intensidade quanto na sua extensão espacial (STEFANON; DANDREA; DROBINSKI, 2012). Eventos severos de OCs têm sido observados e associados ao aumento de mortalidade e morbidade (GASPARRINI, GUO, *et al.*, 2017, GEIRINHAS *et al.*, 2020, GUO, GASPARRINI, *et al.*, 2018, MORA, DOUSSET, *et al.*, 2017, XU, FITZGERALD, *et al.*, 2016) e, em alguns países, eles são a principal causa natural de mortalidade (BORDEN; CUTTER, 2008; COATES *et al.*, 2014).

Diversos estudos mostraram evidências do impacto da temperatura na saúde, principalmente em hospitalizações e mortalidade (BASU, 2009; GUO *et al.*, 2018; ZHAO, Qi *et al.*, 2018, 2019), sendo a maioria das pesquisas feitas para casos no hemisfério norte, como Estados Unidos e Europa (MORA *et al.*, 2017). Devido a evidências insuficientes e falta de dados publicados na literatura, pouco se conhece sobre os eventos de OC e os efeitos da temperatura na mortalidade em outros países. Caso as taxas atuais de emissão de gases do efeito estufa continuem a crescer, é esperado que 74% da população global seja exposta a ondas de calor mortais e, mesmo que essa taxa diminua significativamente, é esperado que 48% da

população seja atingida (MORA *et al.*, 2017). Os efeitos na sociedade podem variar de acordo com a vulnerabilidade dos indivíduos ou grupos sociais por fatores como cenário social, econômico e político, além da idade, gênero e doenças pré-existentes (WMO; WHO, 2015).

A região da América Latina e do Caribe é a segunda mais suscetível a desastres naturais do mundo, com mais de 150 milhões de pessoas atingidas por desastres entre 2010 e 2019 (OCHA, 2020). Projeções de modelos para diferentes cenários de emissão de gases do efeito estufa para o século XXI apontam uma tendência de aquecimento de temperaturas extremas na América Latina. É esperado para maior parte da América do Sul, principalmente para a Amazônia e nordeste brasileiro, com confiança média a alta, um grande aumento de duração, frequência e/ou intensidade de eventos de onda de calor (MAGRIN *et al.*, 2008). É observado desde o século XX, um aumento das temperaturas mínima, média e máxima em diferentes regiões do Brasil (MARENGO; CAMARGO, 2008; SANSIGOLO; KAYANO, 2010) e, conseqüentemente, o aumento de ocorrência de eventos de onda de calor (BITENCOURT *et al.*, 2020; GEIRINHAS *et al.*, 2018).

Como a exposição e a vulnerabilidade da sociedade e os extremos climáticos determinam os riscos das mudanças climáticas, é de essencial a realização de um estudo que englobe esses tópicos de diferentes localidades geográficas e grupos vulneráveis, especialmente no Brasil em que há diferentes condições climáticas (ALVARES *et al.*, 2013) e regiões que sofrerão intensamente os efeitos das mudanças climáticas, como a Amazônia (IPCC, 2018). Como as projeções apontam um aumento na severidade e frequência das ondas de calor, é de fundamental compreender seus impactos na saúde.

O objetivo desse trabalho é analisar os efeitos de eventos de OCs na saúde da população nas regiões metropolitanas (RMs) mais povoadas em toda a extensão do Brasil. O desenvolvimento do trabalho foi dividido em duas etapas: 1) analisar e relacionar eventos de OCs com o aumento da mortalidade em diferentes RMs brasileiras de acordo com o gênero e o grupo etário mais vulnerável; e 2) analisar o efeito das OCs para cada RM de acordo com diferentes causas básicas de óbito por gênero e faixa etária, assim como para toda a população local.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ONDAS DE CALOR

#### 2.1.1 Definições

As OCs impactam diferentes setores, como saúde humana, agricultura e pecuária, podendo ser de forma direta através de danos físicos ou indiretos através da diminuição do potencial de produção ou aumento de gastos para produzir (GUSSO *et al.*, 2014; LOBELL; FIELD, 2007; THORNTON *et al.*, 2009), também em setores socioeconômicos e na infraestruturas públicas (KJELLSTROM, 2014; MCEVOY; AHMED; MULLETT, 2012; RÜBBELKE; VÖGELE, 2011) e ainda na frequência e intensidade de incêndios, em consequência da diminuição da umidade do solo e subsequente criação de combustível para a rápida propagação dos incêndios florestais (ROSSIELLO; SZEMA, 2019; WESTERLING *et al.*, 2006).

Muitos índices de calor são determinados de acordo com o setor impactado pelo evento, não sendo possível utilizá-los em diferentes setores ou até mesmo em diferentes regiões e, conseqüentemente, há diversas métricas que tentam fornecer informações quantitativas condensadas sobre os períodos de calor extremo. Portanto, não há um consenso sobre a definição de ondas de calor porque os índices usados para calculá-las são determinados de acordo com a área impactada (e.g., saúde humana, ecossistemas e economia). Entretanto, independentemente do setor, estes eventos extremos de temperatura são entendidos, de forma geral, como um período de dias consecutivos em que a temperatura atinge ou ultrapassa determinado limiar. Eles podem ser calculados através de dados de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e também em conjunto com dados de umidade relativa, fator associado ao estresse de calor no corpo humano.

Frich *et al.* (2002) propôs diversos indicadores climatológicos para serem calculados utilizando dados *in-situ*, sendo alguns desses índices aplicados à temperatura. O grupo *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) foi responsável por desenvolver 17 índices de temperatura (CCL/CLIVAR/JCOMM EXPERT TEAM (ET), [s. d.]), sendo 8 deles utilizados para OCs, porém esses índices representam apenas uma característica da OC (duração, frequência ou intensidade) e alguns deles não são recomendados para determinadas regiões do globo em razão de seus limiares absolutos (Tabela 1). Os índices mais usados na maioria dos estudos são os que levam em consideração a temperatura mínima e a temperatura máxima associados ao percentil climatológico da região, podendo haver diferentes limites a fim de definir alguns critérios para que o evento ocorra e ser capaz de observar mais de uma característica dele.

**Tabela 1- Índices definidos pela ETCCDI para eventos de OCs**

<b>Índice</b>	<b>Descrição do Índice</b>	<b>Característica da medição</b>
SU	Quantidade de dias no ano em que a temperatura máxima ultrapassa 25°C	Frequência
TR	Quantidade de dias no ano em que a temperatura mínima ultrapassa 20°C	Frequência
TNx	Valor máximo mensal/sazonal ou anual da temperatura mínima diária	Intensidade
TXx	Valor máximo mensal/sazonal ou anual da temperatura máxima diária	Intensidade
TN90p	Porcentagem de dias em que a temperatura mínima diária ultrapassa o percentil 90 diário	Frequência
TX90p	Porcentagem de dias em que a temperatura máxima diária ultrapassa o percentil 90 diário	Frequência
HWDI	Quantidade de dias em que a temperatura máxima diária excede a temperatura máxima média em 5°C por 6 dias consecutivos, sendo o período climatológico de 1961–1990	Duração
WSDI	Quantidade de dias no ano em que a temperatura máxima diária ultrapassa o percentil 90 por pelo menos 6 dias consecutivos	Duração

Perkins e Alexander (2012) analisaram diferentes índices capazes de observar diversas características dos eventos de OC, sendo eles CTX90pct, CTN90pct e EHF. De acordo com o

primeiro índice (CTX90pct), a OC ocorre quando a temperatura máxima diária é superior ao percentil 90 diário calculado em uma janela móvel de 15 dias e centrada no dia em questão por ao menos 3 dias consecutivos. O segundo índice (CTN90pct) é similar ao primeiro, porém utilizando os dados da temperatura mínima diária. Já o terceiro (EHF – Excess Heat Factor) é calculado através de dois índices de excesso de calor (EHIs), que consideram a anomalia da temperatura em longo e curto prazo (NAIRN, J.; FAWCETT; RAY, 2009). Estudos demonstram que o EHF é um melhor preditor de excesso de morbidade e mortalidade do que as definições alternativas de ondas de calor, além de apresentar melhor desempenho na estimativa da intensidade das ondas de calor (GEIRINHAS *et al.*, 2020; HATVANI-KOVACS *et al.*, 2016; SCALLEY *et al.*, 2015; URBAN *et al.*, 2019).

### **2.1.2 Ondas de calor e a saúde humana**

Diferentemente de alguns eventos climáticos extremos, como enchentes, secas e furacões, as ondas de calor foram reconhecidas como ameaças à sociedade e ao meio ambiente apenas recentemente em razão de não apresentarem uma resposta imediata em relação à saúde humana e aos efeitos ambientais (WMO; WHO, 2015). Diversos estudos apontam uma relação entre a temperatura ambiente e efeitos na morbidade e mortalidade humana (FERREIRA *et al.*, 2019; GASPARRINI *et al.*, 2015, 2017).

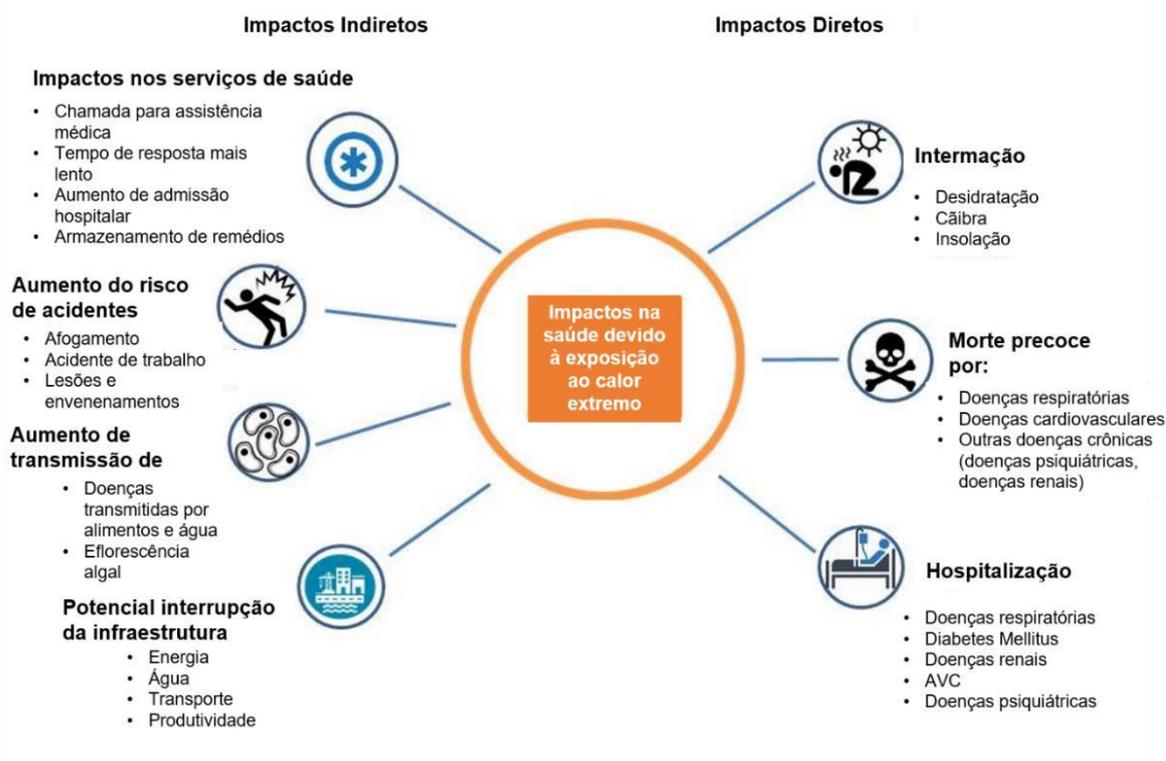
De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), entre 1998 e 2017, mais de 166 mil pessoas morreram em decorrência de eventos de OCs e houve um aumento da população exposta a esses eventos em 125 milhões durante 2000-2016 (WHO, [s. d.]), sendo a catástrofe natural mais fatal em países como Austrália e Estados Unidos (BORDEN; CUTTER, 2008; COATES *et al.*, 2014).

Períodos prolongados de altas temperaturas tanto diurnas quanto noturnas criam um acúmulo de estresse fisiológico no corpo humano através da combinação de calor do ambiente com o calor interno do corpo gerado por processos metabólicos, dificultando a regulação da temperatura e podendo agravar algumas das principais causas de morte e de hospitalizações em todo o mundo, como doenças respiratórias, cardiovasculares e renais e diabetes mellitus (WHO, 2018a).

De acordo com Kenny *et al.* (2016), o estresse térmico pode representar um desafio para a homeostase, sendo os ajustes cardiovasculares cruciais para a regulação da temperatura durante a exposição ao calor e ao frio, de modo que o sangue deve ser redistribuído para manter uma temperatura central estável e, portanto, equilíbrio térmico. Indivíduos vulneráveis com capacidade cardiovascular potencialmente comprometida podem ser incapazes de responder

adequadamente. O diabetes tende a ser fator de risco à saúde humana durante OCs devido à capacidade prejudicada de dissipar o calor, porque indivíduos com diabetes apresentam menor fluxo sanguíneo na pele e menores respostas termorregulação durante a exposição ao calor, o que pode ter consequências importantes na regulação cardiovascular e no controle glicêmico (KENNY; SIGAL; MCGINN, 2016).

Há, além de impactos diretos como os já citados, impactos indiretos na saúde como a maior procura de serviços de saúde como ambulâncias e hospitais, riscos de acidentes e problemas na infraestrutura do local (Figura 1) (VARGHESE *et al.*, 2019; WHO, 2018a).



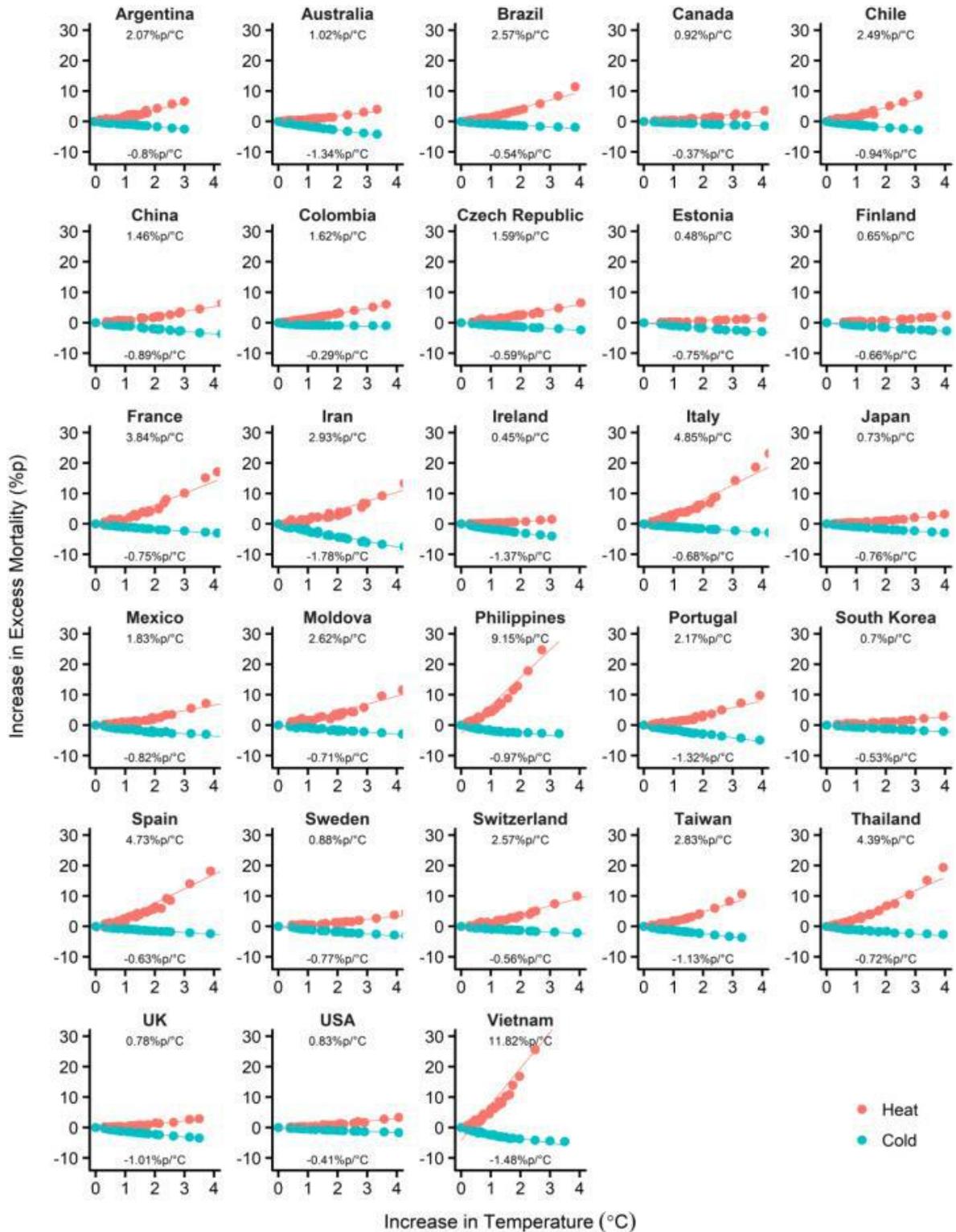
**Figura 1 - Impactos na saúde causados pela exposição ao calor extremo (Adaptado de WHO, 2018)**

Eventos extremos de temperatura afetam toda a população, porém alguns grupos são mais vulneráveis ou expostos a eles. Em relação à faixa etária, crianças e idosos são os mais suscetíveis fisiologicamente, assim como mulheres grávidas e pessoas com doenças pré-existentes (BASU, 2009; GOUVEIA; HAJAT; ARMSTRONG, 2003; XIAO *et al.*, 2017). Em relação à ocupação, profissionais manuais ou que trabalham ao ar livre são os mais afetados pelo calor extremo (BASU; SAMET, 2002). Outra causa importante à vulnerabilidade de determinada população à exposição a esses eventos dá-se em razão de fatores socioeconômicos,

havendo maior exposição da população em países pouco desenvolvidos ou em desenvolvimento em relação aos países desenvolvidos (RUSSO *et al.*, 2019). A consequência da exposição ao calor extremo na saúde humana ganhou destaque em razão de desastres recentes que resultaram em um grande número de mortes, como a onda de calor europeia de 2003, na qual o número de mortos ultrapassou 70.000 (ROBINE *et al.*, 2008; TRIGO *et al.*, 2009), o evento de 2010 na Índia, no qual houve um aumento de 43,10% de óbitos (AZHAR *et al.*, 2014) e também o evento na Rússia no mesmo ano, no qual houve um excesso de 11 mil óbitos por causas naturais (SHAPOSHNIKOV *et al.*, 2014).

A exposição das populações ao calor extremo durante o verão aumenta drasticamente, mesmo considerado níveis de aquecimento global relativamente baixos do Acordo de Paris. A probabilidade de 400 milhões de pessoas expostas a temperaturas máximas históricas durante o verão no clima atual é baixa, porém, considerando o aumento de 1,5 °C, é esperado que um evento ocorra a cada 18 anos e, considerando o cenário de 2 °C, um evento ocorra a cada 7 anos (KING *et al.*, 2018).

Lee *et al.* (2019) comparou as diferenças regionais nos riscos do aumento de temperatura em diferentes cenários de emissão e observou um aumento na mortalidade com o aumento da temperatura em todos os 28 países analisados, sendo mais notável um aumento do excesso de óbitos em países tropicais relacionados ao calor e uma diminuição do excesso de mortalidade relacionado ao frio (Figura 2).

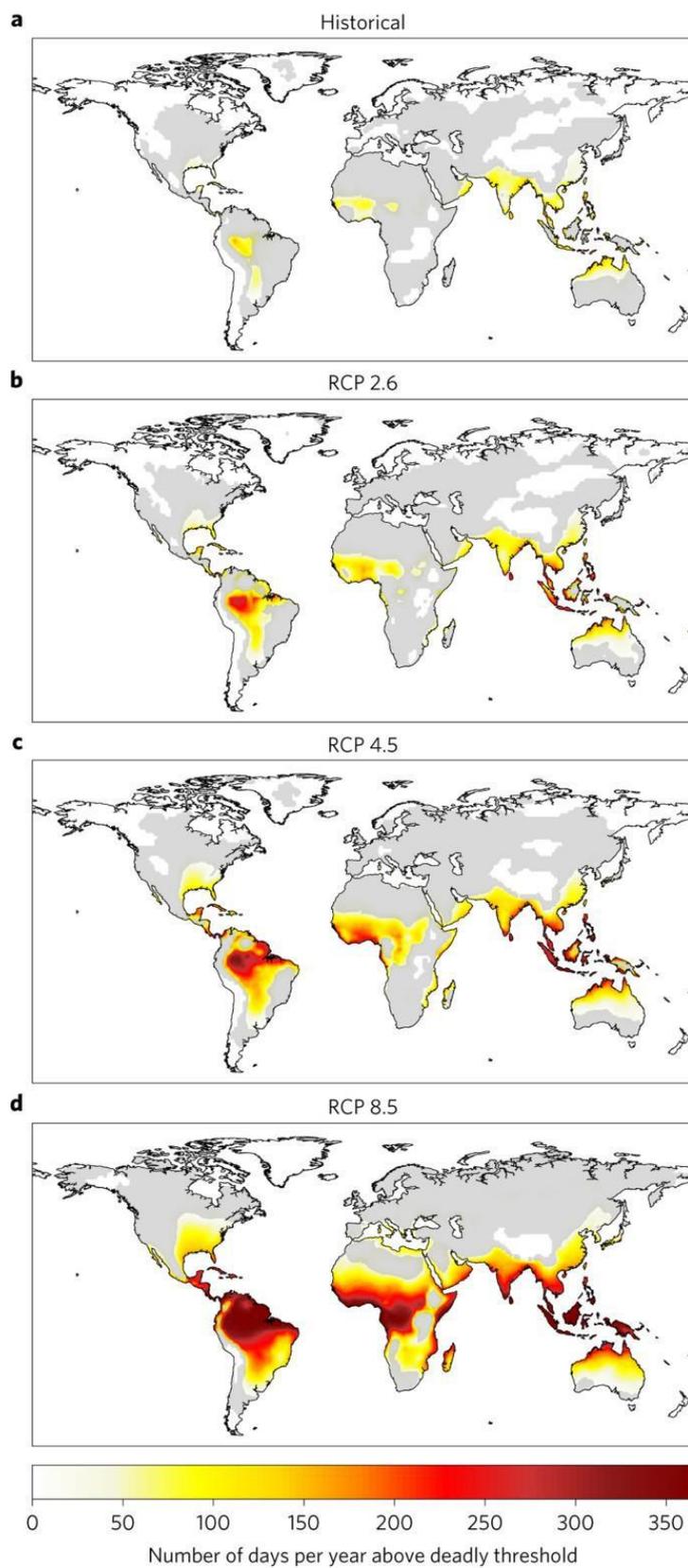


**Figura 2 - Excesso de mortalidade atribuído ao calor e ao frio em relação ao aumento regional da temperatura em quatro cenários de RCP em 2010–2099 para cada país, com a regressão linear da mortalidade para ambos (Lee *et al.*, 2019)**

### 2.1.3 Ondas de calor no Brasil

Grande parte da literatura sobre eventos de OC é direcionada à ocorrência deles nos países extratropicais, porém alguns estudos demonstram que o maior aumento de extremos de calor é registrado nos trópicos, demonstrando sua vulnerabilidade a tais eventos (Figura 3) (COUMOU; ROBINSON, 2013; DIFFENBAUGH; SCHERER, 2011; MORA *et al.*, 2017). Sob o cenário de aquecimento global de 1,5 °C, é esperado um aumento significativo e robusto na magnitude máxima das ondas de calor é projetado na maior parte do globo, sendo a América do Sul e, especialmente, o Brasil uma dessas regiões. Considerando, entretanto, um aquecimento de 2 °C, estima-se que a frequência de eventos extremos de OCs dobre em grande parte do globo (DOSIO *et al.*, 2018). Projeções para a América do Sul de métricas de OCs e da estimativa do percentil 95 de temperatura máxima exibiriam incrementos significativos em meados do século XXI, sendo esperado um aumento da frequência e duração das OCs, principalmente no norte e no Deserto do Atacama, onde estima-se que dias extremamente quentes entre dezembro e fevereiro aumentem entre 5 a 10 vezes, e menos acentuado no sul do continente (FERON *et al.*, 2019).

Estudos direcionados para analisar eventos de OCs no Brasil, comprovam um aumento na ocorrência desses eventos extremos em toda a extensão do país (BITENCOURT *et al.*, 2020; CORDERO SIMÕES DOS REIS; BOIASKI; FERRAZ, 2019; GEIRINHAS *et al.*, 2018). Foi observado, através de dados de temperatura máxima diária no período de 1980 a 2013, 88 eventos de OCs na região subtropical do país, sendo a maioria desses casos durante o inverno e primavera e a menor frequência durante o verão (CORDERO SIMÕES DOS REIS; BOIASKI; FERRAZ, 2019). Geirinhas *et al.* (2018) constatou um aumento tanto na frequência quanto na duração desses eventos a partir da década de 1980 em diferentes cidades do país, principalmente em Manaus, Recife e São Paulo, com maior ocorrência durante os meses de outono e inverno. De acordo com o índice de OC utilizado, número de dias de OC por ano, duração e a estação com maior ocorrência de eventos variaram em todas as cidades analisadas (GEIRINHAS *et al.*, 2018).



**Figura 3 - Distribuição geográfica das condições climáticas fatais em diferentes cenários de emissão: (a) histórico, (b) RCP 2.6, (c) RCP 4.5 e (d) RCP 8.5 (Mora *et al.*, 2017)**

### 2.1.3.1 Variabilidade climática e caracterização atmosférica das OCs no Brasil

Alguns estudos sugerem que os padrões de teleconexão, como El Niño – Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), influenciam o aquecimento e muitas vezes podem estar associados à formação de OCs (RUSTICUCCI, 2012). Nas regiões equatoriais, episódios quentes e secos podem estar associados à migração para o norte da ZCIT em associação com temperatura da superfície do mar (TSM) mais quente que o normal sobre o Oceano Atlântico Norte Tropical e também com a fase quente do ENOS (Zeng *et al.*, 2008; Coelho *et al.*, 2012). Dos Reis *et al.* (2019) analisou, para duas regiões do Brasil (região 1: Rio Grande do Sul, Santa Catarina e parte do Paraná e região 2: Rio de Janeiro, São Paulo, partes do Paraná, Mato Grosso do Sul e sul de Minas Gerais e do Espírito Santo), a influência desses dois padrões em eventos de OC e observou que, durante a fase quente da ODP, a maior frequência de OCs ocorreu na região 1 enquanto a fase fria influenciou na maior frequência, duração e intensidade dos eventos na região 2. Em relação às fases ENOS, a maioria das ondas de calor nas regiões 1 e 2 ocorreu em períodos de neutralidade, porém as OCs na região 1 foram mais intensas e duradouras durante períodos de La Niña.

A ocorrência de OCs na região subtropical da América do Sul tem sido geralmente relacionada à atividade de ondas em escala sinótica, observando-se ventos de norte provocados pelo deslocamento de sistemas frontais de latitudes altas para o equador em regiões da Argentina, Uruguai, Paraguai e sul do Brasil (RUSTICUCCI; VARGAS, 1995).

Estudos anteriores observaram que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) influencia na evolução de eventos de OC na Argentina (CERNE, S. Bibiana; VERA; LIEBMANN, 2007), em razão de processos adiabáticos e subsidência. A análise do desenvolvimento de ondas de calor persistentes e atividade ZCAS em regiões tropicais mostra que 73% das ondas de calor na América do Sul subtropical se desenvolveram durante eventos de ZCAS (CERNE, S. B.; VERA, 2011).

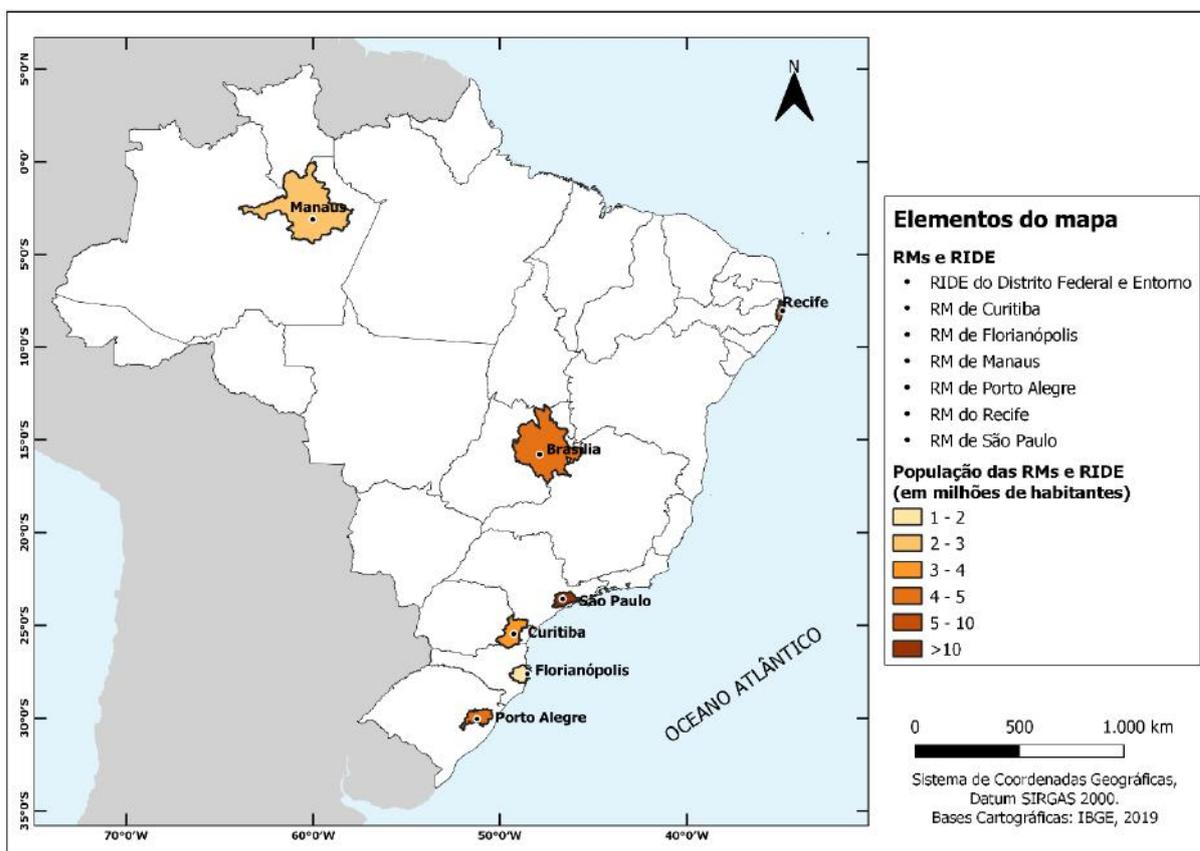
No Brasil, condições prolongadas de temperaturas elevadas com ventos de superfície enfraquecidos estão associadas à migração para o oeste da alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS) em associação com anomalias da TSM sobre o Oceano Atlântico Sul e eventos de El Niño (COELHO *et al.*, 2012; GARCIA; LIBONATI; NUNES, 2018; PANISSET *et al.*, 2018; ZENG *et al.*, 2008). Geirinhas *et al.* (2018) caracterizou a formação de OC durante o verão em algumas regiões do Brasil através de variáveis tanto em superfície quanto em altitude, observando anomalias positivas de altura geopotencial em 500 hPa e de temperatura em 850 hPa em Porto Alegre, São Paulo e Brasília, já em Manaus, foi analisado o enfraquecimento da ZCIT na região equatorial associado a anomalia positiva de altura geopotencial em 500 hPa. Em

superfície, são observadas anomalias positivas de temperatura máxima e mínima e radiação solar e anomalias negativas de radiação termal, umidade relativa e precipitação, com variação de intensidade e localização espacial entre as regiões. Durante um evento de OC na Região Metropolitana do Rio de Janeiro no verão de 2010, observou-se uma anomalia de alta pressão quase estacionária na costa sul do Brasil, com anomalias positivas de temperatura e radiação solar líquida na superfície e negativas de umidade do solo e fluxo de calor sensível (GEIRINHAS *et al.*, 2018).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado em diferentes regiões metropolitanas (RMs) e região integrada de desenvolvimento (RIDE – análoga a RM que inclui municípios de mais de uma unidade da federação) em todo o Brasil. As RMs e RIDE foram definidas a partir de dados da população disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2019 (IBGE, 2019) e da disponibilidade de dados meteorológicos. Foi escolhida ao menos uma RM ou RIDE mais populosa para cada uma das cinco regiões do Brasil, sendo elas a RM de Manaus representando a região Norte, a RM do Recife para o Nordeste, a RIDE do Distrito Federal e Entorno para o Centro-Oeste, a RM de São Paulo para o Sudeste e as RMs de Curitiba, de Florianópolis e de Porto Alegre para o Sul (Figura 1).



**Figura 4. Área de estudo com as regiões metropolitanas (RMs) destacadas de acordo com a população total a partir de dados do IBGE de 2019**

### 3.2 DADOS METEOROLÓGICOS

Foram utilizados dados de temperaturas máxima e mínima (Tmax e Tmin, respectivamente), no período de 1970-2018 das estações meteorológicas de Manaus (3,11° S, 59,95° W), Recife Curado (8,05° S, 34,95° W), Brasília (15,78° S, 47,92° W), São Paulo Mirante de Santana (23,5° S, 46,61° W), Curitiba (25,43° S, 49,26° W), Florianópolis (27,58° S, 48,56° W) e Porto Alegre (30,05° S, 51,16° W) que fazem parte da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o cálculo da ocorrência de OCs para as RMs de Manaus, Recife, São Paulo, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre e RIDE do Distrito Federal e Entorno.

A partir do procedimento de controle de qualidade ao conjunto de dados Tmax e Tmin, observou-se, respectivamente, o máximo de 14,42% e 15,14% de dados ausentes no período de estudo na estação de Florianópolis e o mínimo de 0,34% e 0,27% de dados ausentes no mesmo período na estação de Recife Curado.

### 3.3 DADOS DE MORTALIDADE

Dados diários de mortalidade foram obtidos a partir do banco de dados do Sistema de Informação para Mortalidade do Sistema Único de Saúde (SIM/SUS), disponibilizados pela Plataforma de Ciência de Dados aplicada à Saúde da Fundação Oswaldo Cruz (PCDaS – Fiocruz) no período de 2000-2018. Os dados são individuais, apresentando diversos parâmetros e informações, dos quais foram escolhidos sexo (masculino e feminino), idade - separada em quatro grupos etários diferentes: FX1 (0-14 anos), FX2 (15-29 anos), FX3 (30-59 anos) e FX4 (60 anos ou mais) -, e causas básicas de óbito, considerando todas as causas naturais (A00-R99), usando a décima versão da Classificação Internacional de Doenças (CID10) da Organização Mundial da Saúde (OMS).

O estudo deu enfoque ao grupo mais vulnerável ao efeito do calor na saúde, sendo escolhido o grupo dos idosos (FX4), assim como a população total para analisar o impacto em toda a população de cada região. Em relação às causas de óbito, além de considerar todas as causas naturais (A00-R99), foram analisadas também causas específicas como diabetes (E10-E14), doenças do sistema nervoso (G00-G99), doenças do aparelho circulatório (I00-I99), doenças do aparelho respiratório (J00-J99) e doenças do aparelho geniturinário (N00-N99), que representaram, de forma geral, mais de 60% dos óbitos por causas naturais nos períodos de OCs estudados, em razão da dificuldade de ajustes fisiológicos desses sistemas em condições de excesso de calor (WMO; WHO, 2015).

### 3.4 METODOLOGIA

A análise dos dados de óbito foi feita através de dados absolutos de mortalidade e pela adaptação da razão O/E, índice de taxa de mortalidade que avalia o excesso da incidência de mortalidade (TRIGO *et al.*, 2009), segundo a equação abaixo:

$$O/E(k, a) = \frac{M_{k,a}}{\left( \frac{M_{k,a-5} + M_{k,a-4} + \dots + M_{k,a+4} + M_{k,a+5}}{10} \right)} \quad (1)$$

onde  $M$  é a mortalidade absoluta observada durante um determinado período  $k$ , no ano  $a$ , do período de mortalidade (2000–2018).

A razão O/E é a razão entre a mortalidade observada para determinado dia juliano e a mortalidade esperada, calculada através de uma janela móvel de 10 anos centrada no ano definido para o mesmo período. A janela móvel foi utilizada para remover a tendência desta série de dados.

O cálculo do intervalo de confiança da razão O/E foi feito baseado no estudo de Hoshiko *et al.* (2010) para o excesso de mortalidade durante OCs, descrito pela equação (2):

$$I.C. 95\% = \exp \left[ \ln(O/E) \pm 1,96 \sqrt{\frac{1}{O} + \frac{1}{E}} \right] \quad (2)$$

Os dados diários de Tmax e Tmin foram utilizados para calcular a temperatura média diária no índice de estresse de calor (EHF – Excess Heat Factor), definido por dois índices de excesso de calor ( $EHI_{sig}$  e  $EHI_{accl}$ ) e que fornece a severidade de eventos de onda de calor (NAIRN, J. R.; FAWCETT, 2014). Este índice foi utilizado em detrimento a outros, como CTX90pct e CTN90pct, em razão de ter sido o melhor indicador de OCs em estudos anteriores (PERKINS; ALEXANDER, 2012; SCALLEY *et al.*, 2015).

O termo  $EHI_{sig}$  representa o índice de significância através da comparação entre a média da temperatura média diária ( $T_i$ ) durante três dias consecutivos e o percentil 95 da temperatura média diária ( $T_{95}$ ) calculado no período de 1970-2018, conforme indicado na equação (3). Caso  $EHI_{sig}$  seja positivo, é considerado que os três dias apresentaram condições de OC.

$$EHI_{sig} = \frac{T_i + T_{i+1} + T_{i+2}}{3} - T_{95} [^{\circ}C] \quad (3)$$

O termo  $EHI_{accl}$ , definido como o índice de aclimação, considera a adaptação da população a anomalia de temperatura a curto prazo. Ele é calculado através da diferença entre a

média da temperatura média diária de três dias consecutivos e a temperatura média diária dos 30 dias anteriores, segundo a equação (4). Caso o  $EHI_{accl}$  seja positivo, há potencial para efeitos na saúde, visto que as pessoas levam entre 2 a 6 semanas para se adaptarem fisiologicamente a altos valores de temperatura (GUYTON; HALL, 2006).

$$EHI_{accl} = \frac{T_i + T_{i+1} + T_{i+2}}{3} - \frac{T_{i-1} + \dots + T_{i-30}}{30} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

O índice EHF é calculado através do produto entre os índices de excesso de calor, conforme equação (5). Um evento de OC ocorrerá quando EHF for positivo.

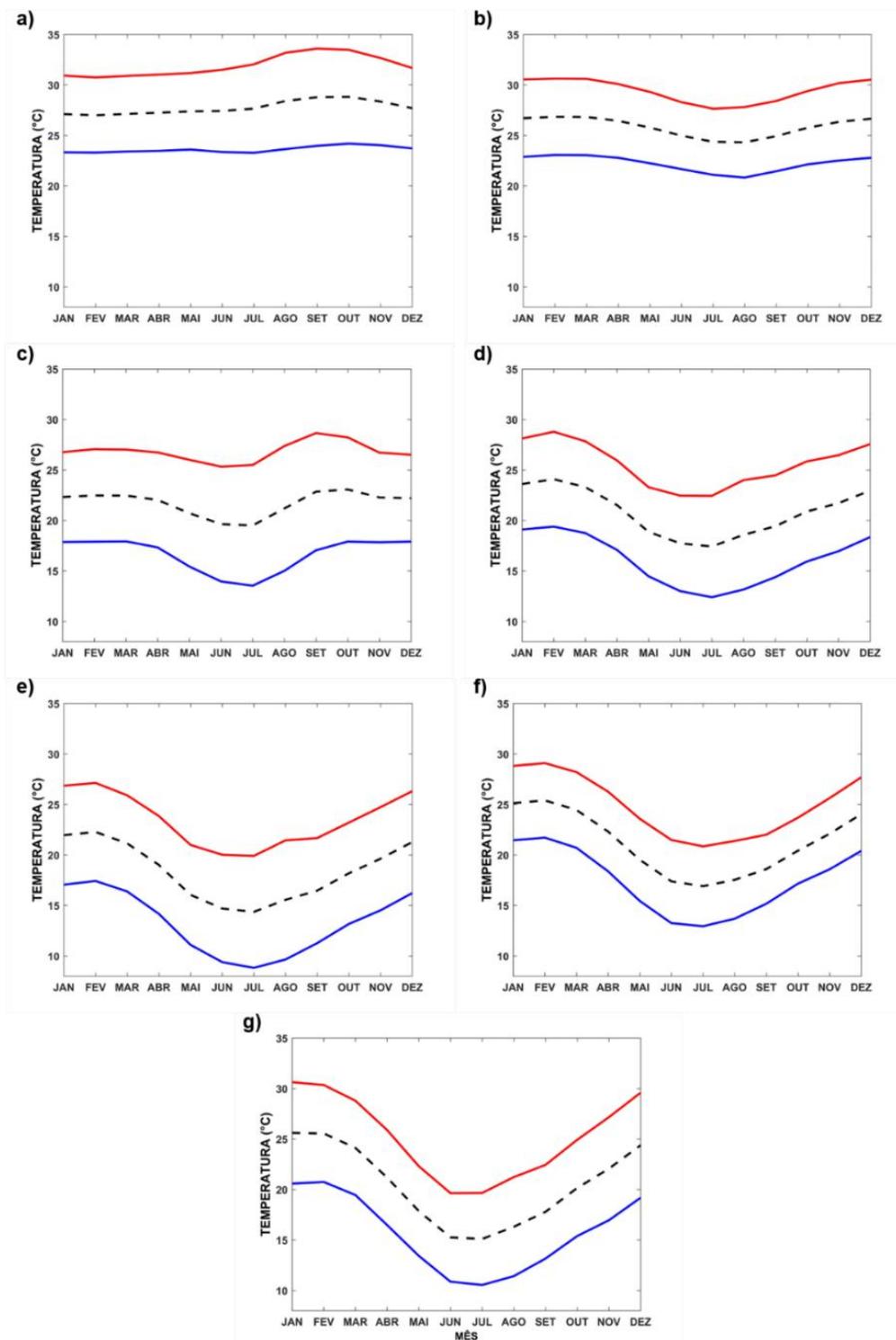
$$EHF = EHI_{sig} \times \max [1, EHI_{accl}] \text{ [}^\circ\text{C}^2] \quad (5)$$

O limiar para a determinação da severidade da OC é calculado através do percentil 85 de a partir dos valores positivos do EHF no período climatológico, denotado por  $EHF_{85}$ . A OC é considerada de baixa intensidade quando o EHF for inferior ao  $EHF_{85}$ , severa quando o EHF for superior ao  $EHF_{85}$  e considerada extrema quando o EHF for maior que  $3 \times EHF_{85}$  (NAIRN, J. R.; FAWCETT, 2014).

## 4 RESULTADOS

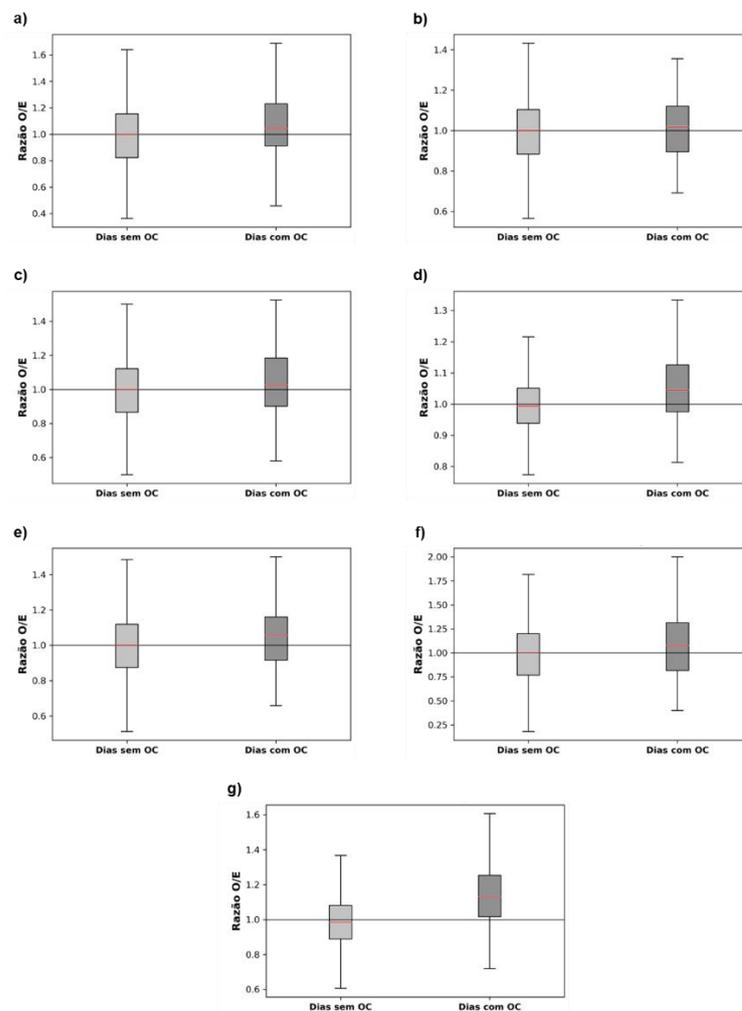
### 4.1 VISÃO GERAL

Para cada região, foi analisado o ciclo sazonal (Figura 5) da temperatura máxima (curva vermelha), média (curva tracejada) e mínima (curva azul) durante todo o período de estudo (1970-2018) e definido o período que apresenta maiores valores dela e, conseqüentemente, eventos de OC possivelmente mais intensos e duradouros. Manaus apresenta pouca variação de temperatura durante todo o ano, com o aumento da temperatura entre julho e novembro (Figura 5a). Assim como Manaus, não há grande variação de temperatura em Recife durante o ano, com os maiores valores entre novembro a março (Figura 5b). Diferentemente das duas estações anteriores, Brasília possui o ciclo sazonal de temperatura melhor definido com temperaturas mais elevadas durante os meses de julho a novembro (Figura 5c). São Paulo, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre apresentam ciclos sazonais de temperatura bem definidos com menores valores durante o inverno e maiores valores nos meses de novembro a março (Figuras 5d-g). A partir da análise dos gráficos do ciclo sazonal, os períodos definidos para análise de OCs e razão O/E foram julho-novembro (JASON) para a RM de Manaus e RIDE do Distrito Federal e Entorno e novembro-março (NDJFM) para as RMs do Recife, São Paulo, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre.



**Figura 5 - Ciclo sazonal de temperatura máxima (vermelho), média (tracejado) e mínima (azul) para as estações de: (a) Manaus, (b) Recife (Curado), (c) Brasília, (d) São Paulo (Mirante de Santana), (e) Curitiba, (f) Florianópolis e (g) Porto Alegre durante o período de 1970-2018.**

A partir da definição do período de análise, a razão O/E foi analisada para dias com e sem OC para todas as regiões (Figura 6). De forma geral, há grande dispersão nos dados tanto em dias com OC como dias sem OC, descrito pela amplitude do intervalo interquartílico. As menores dispersões de razão O/E são observadas em dias sem OC para as RMs de São Paulo e de Porto Alegre (Figuras 6d e 6g). A partir da posição da mediana, observa-se que, em dias com OC em todas as RMs, a razão O/E é superior a 1,00, isto é, há um excesso de mortalidade em mais de 50% dos dias, o que não é observado em dias sem OC. A diferença entre os valores de razão O/E em dias com e sem OC é melhor descrita nas RMs do sudeste e sul do país – RM de São Paulo, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre (Figuras 6d-g) – quando comparada às RMs de clima tropical – RM de Manaus, do Recife e RIDE do Distrito Federal e Entorno (Figuras 6a-c), podendo ser explicada pela maior variabilidade de temperatura.



**Figura 6 – Boxplot da razão O/E para dias sem OC (cinza claro) e com OC (cinza escuro) para as RMs de: (a) Manaus, (b) Recife (Curado), (c) Distrito Federal e Entorno, (d) São Paulo (Mirante de Santana), (e) Curitiba, (f) Florianópolis e (g) Porto Alegre durante o período escolhido para cada região entre 2000-2018.**

#### 4.2 ESTUDO DE CASOS

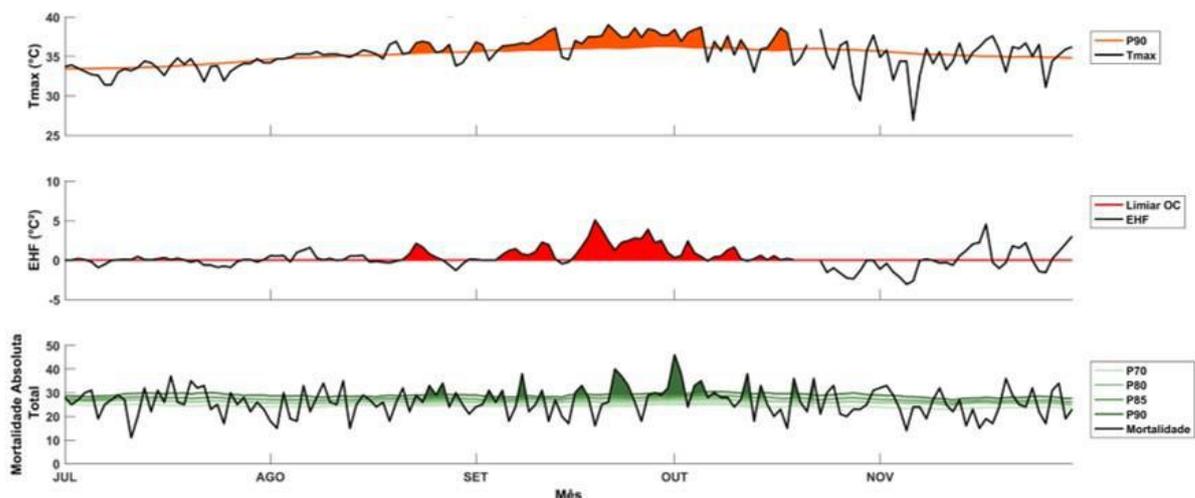
Foi escolhido um evento de OC no período definido para cada RM ou RIDE entre 2000-2018 a partir de sua duração e/ou intensidade (Tabela 2) para a análise do excesso de mortalidade de acordo com o gênero, faixa etária e causas básicas de óbito. Os eventos da RM de Manaus, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre foram escolhidos em razão da sua duração, o da RM do Recife foi escolhido em razão da sua intensidade, e os da RIDE do Distrito Federal e Entorno e da RM de São Paulo foram escolhidos em razão tanto da intensidade quanto duração. O limiar da severidade é definido a partir do  $EHF_{85}$ , sendo a OC de baixa intensidade quando o valor do EHF é inferior ao  $EHF_{85}$  e severa quando o EHF é superior ao  $EHF_{85}$ . Em nenhum dos eventos analisados a OC foi extrema, ou seja, o EHF foi menor que  $3 \times EHF_{85}$  em todos eles.

**Tabela 2 – Período analisado, números de dias de OC durante o evento ou período quente e intensidade do evento escolhido para cada RM.**

	Período analisado	Nº de dias de OC	Intensidade
<b>RM de Manaus</b>	Julho – Novembro (JASON) de 2015	50	Baixa
<b>RM do Recife</b>	Novembro – Março (NDJFM) de 2015/2016	4	Severa
<b>RIDE do Distrito Federal e Entorno</b>	Julho – Novembro (JASON) de 2015	25	Severa
<b>RM de São Paulo</b>	Novembro – Março (NDJFM) de 2013/2014	17	Severa
<b>RM de Curitiba</b>	Novembro – Março (NDJFM) de 2013/2014	21	Baixa
<b>RM de Florianópolis</b>	Novembro – Março (NDJFM) de 2013/2014	16	Baixa
<b>RM de Porto Alegre</b>	Novembro – Março (NDJFM) de 2013/2014	17	Baixa

#### 4.2.1 Região Metropolitana de Manaus

Durante o período JASON de 2015, houve um período quente a partir do final de agosto durando até meados de outubro com diversas OCs em curto intervalo de tempo entre elas. Nestes dois meses (21 de agosto – 22 de outubro), a temperatura máxima diária (curva preta – Figura 7 painel superior) foi superior (parte hachurada em laranja – Figura 7) ao limiar do percentil 90 climatológico (curva laranja – Figura 7 painel superior) em quase todo o intervalo, assim como o EHF (curva preta – Figura 7 painel intermediário) foi positivo (hachurado vermelho – Figura 7), caracterizando dias de OC. A mortalidade absoluta diária relativa à população total (curva preta – Figura 7 painel inferior) também foi analisada, observando picos de mortalidade superiores (hachurado verde escuro – Figura 7 painel inferior) ao percentil 90 (curva verde escura – Figura 7 painel inferior) durante o período definido com o máximo diário ocorrendo no final de setembro.



**Figura 7 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de JASON de 2015 na RM de Manaus.**

Utilizando os dados de mortalidade, calculou-se a razão O/E para os dois gêneros e para a população total (Tabela 3), observando-se um aumento, com significância estatística (negrito), de 17% de óbitos na população masculina e de 12% na população total. Em relação às faixas etárias, o único grupo com excesso de óbitos com intervalo de confiança a nível de 95% foi o dos idosos ( $\geq 60$  anos), com um aumento de 18% (Tabela 4). As diferentes causas de óbito foram analisadas tanto para a população total quanto para a população dos idosos (itálico – Tabela 5),

constatando um excesso de mortalidade causado por doenças do sistema circulatório – 19% para população total e 25% para população idosa –, do sistema respiratório – 33% para população total e 32% para população idosa –, e do sistema geniturinário – 56% para a população total.

**Tabela 3 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 21 de agosto a 22 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Feminino</b>	769	716	1,07
<b>Masculino</b>	978	837	<b>1,17</b>
<b>Total</b>	1747	1553	<b>1,12</b>

**Tabela 4 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 21 de agosto a 22 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

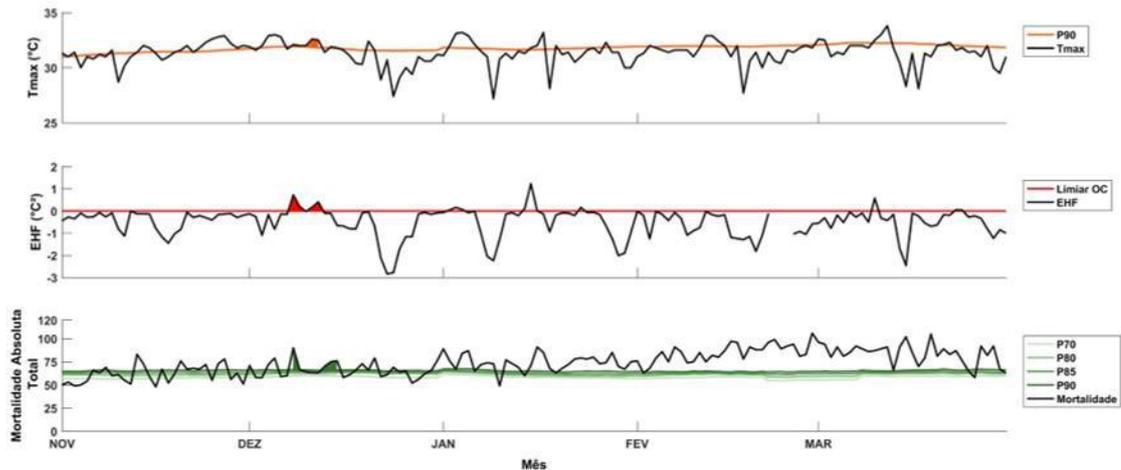
	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>0 – 14 anos</b>	142	133	1,07
<b>15 – 29 anos</b>	59	60	0,98
<b>30 – 59 anos</b>	432	420	1,03
<b>≥ a 60 anos</b>	1114	941	<b>1,18</b>

**Tabela 5 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 21 de agosto a 22 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Diabetes</b>	83	106	0,78
	<i>67</i>	<i>80</i>	<i>0,84</i>
<b>Doenças do sistema nervoso</b>	35	35	1,00
	<i>16</i>	<i>19</i>	<i>0,84</i>
<b>Doenças do sistema circulatório</b>	397	335	<b>1,19</b>
	<i>314</i>	<i>251</i>	<i>1,25</i>
<b>Doenças do sistema respiratório</b>	182	137	<b>1,33</b>
	<i>135</i>	<i>102</i>	<i>1,32</i>
<b>Doenças do sistema geniturinário</b>	53	34	<b>1,56</b>
	<i>41</i>	<i>26</i>	<i>1,58</i>

#### 4.2.2 Região Metropolitana do Recife

Durante os meses definidos para a análise na RM do Recife, NDJFM, houve um período com maior intensidade do EHF em dezembro de 2015 (Figura 8 – painel intermediário), que ocorreu entre os dias 8 e 15 de dezembro. Nesse período, a temperatura máxima foi superior ao percentil 90 tanto em dias anteriores à OC como durante este evento (parte hachurada em laranja – Figura 8). A mortalidade absoluta diária relativa à população total (curva preta – Figura 8 painel inferior) também foi analisada, observando picos de mortalidade superiores (hachurado verde escuro – Figura 7 painel inferior) ao percentil 90 (curva verde escura – Figura 7 painel inferior) seguindo um padrão semelhante ao do EHF e, sendo superior ao percentil 70 durante todo o período.



**Figura 8 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2015/2016 na RM do Recife.**

A razão O/E para os dois gêneros e para a população total (Tabela 6) apresentou um aumento, com significância estatística (**negrito**), de 23% de óbitos na população feminina e de 19% na população total. Observou-se um aumento na mortalidade nesse período nos grupos etários das crianças (0 – 14 anos), adultos (30 – 59 anos) e idosos ( $\geq 60$  anos), porém o único com significância estatística foi o dos idosos, com excesso de 23% (Tabela 7). Em relação às causas básicas específicas de óbito, a que apresentou um aumento de mortalidade foram as relacionadas às doenças do sistema respiratório, tanto para a população total quanto para os idosos (*itálico* – Tabela 7), sendo 49% e 50%, respectivamente (Tabela 8).

**Tabela 6 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 8 a 15 de dezembro, destacando-se valores com significância estatística (**negrito**)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Feminino</b>	299	244	<b>1,23</b>
<b>Masculino</b>	269	231	1,16
<b>Total</b>	568	476	<b>1,19</b>

**Tabela 7 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 8 a 15 de dezembro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

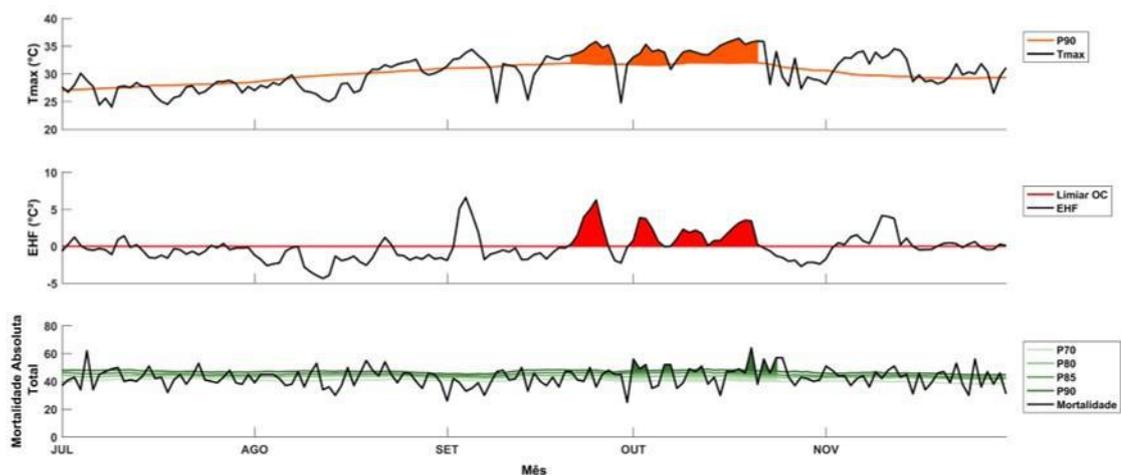
	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>0 – 14 anos</b>	21	19	1,11
<b>15 – 29 anos</b>	7	8	0,88
<b>30 – 59 anos</b>	124	109	1,14
<b>≥ a 60 anos</b>	416	339	<b>1,23</b>

**Tabela 8 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 8 a 12 de dezembro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Diabetes</b>	32	25	1,28
	<i>25</i>	<i>20</i>	<i>1,25</i>
<b>Doenças do sistema nervoso</b>	20	14	1,43
	<i>13</i>	<i>12</i>	<i>1,08</i>
<b>Doenças do sistema circulatório</b>	178	157	1,13
	<i>145</i>	<i>122</i>	<i>1,19</i>
<b>Doenças do sistema respiratório</b>	110	74	<b>1,49</b>
	<i>93</i>	<i>62</i>	<i>1,50</i>
<b>Doenças do sistema geniturinário</b>	22	16	1,38
	<i>19</i>	<i>13</i>	<i>1,46</i>

### 4.2.3 Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

Assim como na RM de Manaus, o evento escolhido para a RIDE do Distrito Federal e Entorno ocorreu em 2015, sendo este um período quente com algumas OCs entre os dias 21 de setembro e 24 de outubro. Com exceção de alguns dias, a temperatura máxima (parte hachurada em laranja – Figura 9) e o EHF (parte hachurada em vermelho – Figura 9) mantiveram-se acima do percentil 90. Diferentemente das duas variáveis já descritas, a mortalidade diária absoluta foi superior ao percentil em alguns dias do período, com o valor máximo sendo atingido no final do mesmo (parte hachurada em verde – Figura 9).



**Figura 9 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de JASON de 2015 na RIDE do Distrito Federal e entorno.**

Mesmo com o excesso de óbitos dado pela razão O/E maior que 1,00 nos diferentes gêneros (Tabela 9), faixas etárias (Tabela 10) e causas específicas de óbito (Tabela 11), o intervalo de confiança a nível de 95% contém o valor 1,00, fazendo com que não seja possível afirmar com 95% de confiança que a mortalidade observada é diferente da mortalidade esperada.

**Tabela 9 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 21 de setembro a 24 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Feminino</b>	699	678	1,03
<b>Masculino</b>	838	760	1,10
<b>Total</b>	1537	1438	1,07

**Tabela 10 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 21 de setembro a 24 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

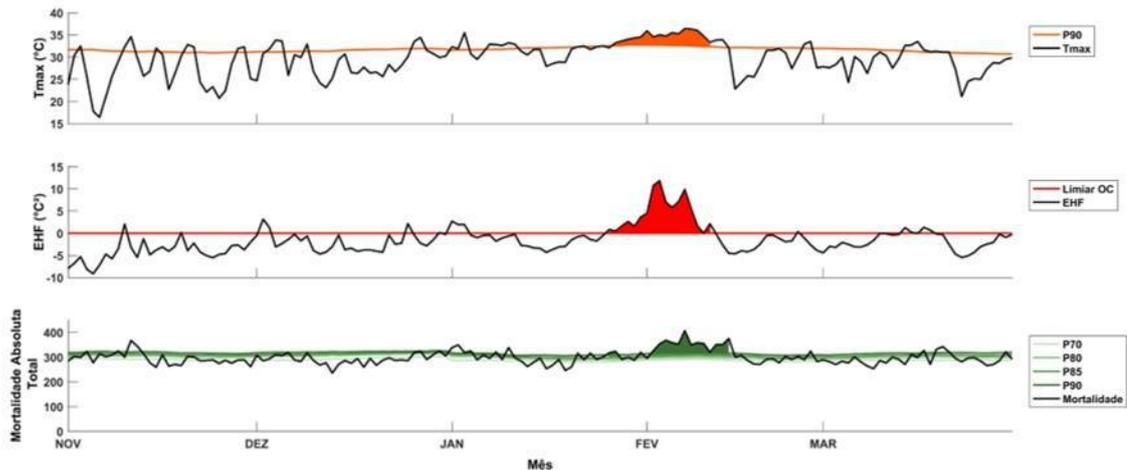
	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>0 – 14 anos</b>	91	86	1,06
<b>15 – 29 anos</b>	33	36	0,92
<b>30 – 59 anos</b>	406	385	1,05
<b>≥ a 60 anos</b>	1007	932	1,08

**Tabela 11 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 21 de setembro a 24 de outubro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Diabetes</b>	73	76	0,96
	<i>57</i>	<i>59</i>	<i>0,97</i>
<b>Doenças do sistema nervoso</b>	74	54	1,37
	<i>40</i>	<i>36</i>	<i>1,11</i>
<b>Doenças do sistema circulatório</b>	452	431	1,05
	<i>346</i>	<i>320</i>	<i>1,08</i>
<b>Doenças do sistema respiratório</b>	162	165	0,98
	<i>140</i>	<i>137</i>	<i>1,02</i>
<b>Doenças do sistema geniturinário</b>	36	35	1,03
	<i>31</i>	<i>27</i>	<i>1,15</i>

#### 4.2.4 Região Metropolitana de São Paulo

Do final de janeiro até meados de fevereiro de 2014 – 26 de janeiro a 14 de fevereiro – houve uma intensa OC na RM de São Paulo, com temperatura máxima diária acima do percentil 90 (parte hachurada em laranja – Figura 10), EHF positivo durante todo o período (parte hachurada em vermelho – Figura 10), sendo superior a 10 °C<sup>2</sup> em alguns dias de fevereiro (curva preta – Figura 10 painel intermediário) e mortalidade absoluta superior ao percentil 90 (parte hachurada em verde – Figura 10) também em todo o evento, atingindo um total de 407 óbitos no dia 7 de fevereiro.



**Figura 10 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2013/2014 na RM de São Paulo.**

Houve um excesso de mortalidade durante o evento de OC em ambos os gêneros e, conseqüentemente, na população total – sendo um aumento de 20% na população feminina, 13% na masculina e 17% na população total (Tabela 12) e também nas faixas etárias das crianças (0 – 14 anos), jovens (15 – 29 anos) e idosos ( $\geq 60$  anos), porém apenas a faixa etária das crianças e dos idosos apresentam significância estatística (**negrito**) (Tabela 13). A partir da Tabela 14, observa-se um excesso de mortalidade, no intervalo de confiança a nível de 95%, por doenças do sistema nervoso, circulatório, respiratório e geniturinário tanto para a população idosa (*itálico*), quanto para a população total, sendo a principal causa por doenças do sistema nervoso com aumento de 82% e 75%, respectivamente.

**Tabela 12 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 26 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (**negrito**)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Feminino</b>	3351	2788	<b>1,20</b>
<b>Masculino</b>	3401	3007	<b>1,13</b>
<b>Total</b>	6752	5794	<b>1,17</b>

**Tabela 13 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 26 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

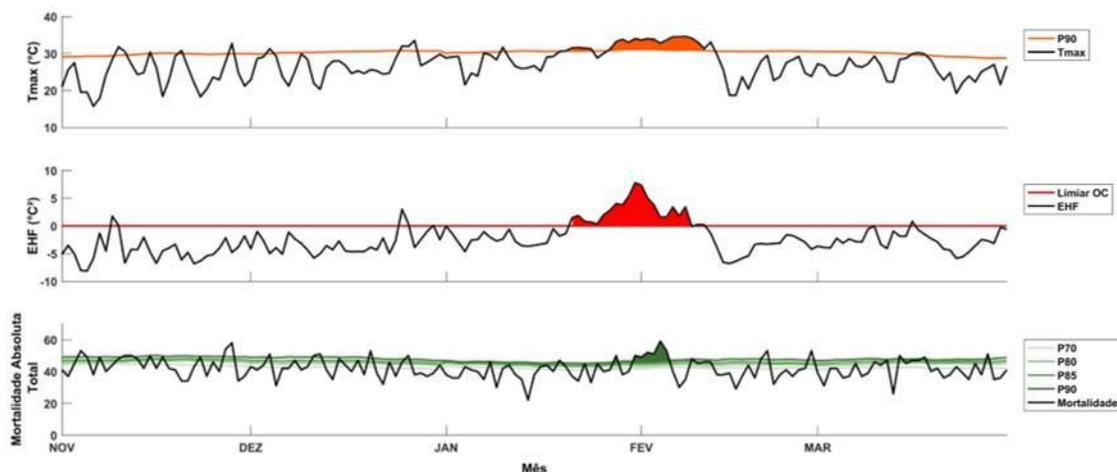
	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>0 – 14 anos</b>	270	225	<b>1,21</b>
<b>15 – 29 anos</b>	156	137	1,14
<b>30 – 59 anos</b>	1488	1484	1,00
<b>≥ a 60 anos</b>	4838	3947	<b>1,23</b>

**Tabela 14 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 26 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Diabetes</b>	227	205	1,11
	<i>191</i>	<i>164</i>	<i>1,16</i>
<b>Doenças do sistema nervoso</b>	317	181	<b>1,75</b>
	<i>253</i>	<i>139</i>	<i>1,82</i>
<b>Doenças do sistema circulatório</b>	2290	2018	<b>1,13</b>
	<i>1746</i>	<i>1490</i>	<i>1,17</i>
<b>Doenças do sistema respiratório</b>	975	762	<b>1,28</b>
	<i>796</i>	<i>601</i>	<i>1,32</i>
<b>Doenças do sistema geniturinário</b>	275	186	<b>1,48</b>
	<i>246</i>	<i>156</i>	<i>1,58</i>

#### 4.2.5 Região Metropolitana de Curitiba

O período escolhido foi próximo ao da RM de São Paulo, com início no dia 21 de janeiro e fim no dia 14 de fevereiro de 2014, com valores de temperatura máxima superior ao limiar definido em quase todo o evento (parte hachurada em laranja – Figura 11) e de EHF positivo (parte hachurada em vermelho – Figura 11) durante todo o período com o máximo sendo superior a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}^2$  no final de janeiro, no mesmo período em que a mortalidade absoluta total superou o percentil 90 (parte hachurada em verde – Figura 11), com o pico ocorrendo alguns dias depois do pico do EHF.



**Figura 11 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2013/2014 na RM de Curitiba.**

Mesmo com a razão O/E superior a 1,00 para ambos os gêneros (Tabela 15), nenhum dos dados apresentou significância estatística, ocorrendo o mesmo para a faixa etária dos idosos ( $\geq 60$  anos) (Tabela 16) e para a maioria das causas específicas de óbito, havendo apenas um excesso de óbito, no intervalo de confiança a nível de 95%, causado por doenças do sistema nervoso – 76% na população total e 87% nos idosos (Tabela 17).

**Tabela 15 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Feminino</b>	534	478	1,12
<b>Masculino</b>	549	543	1,01
<b>Total</b>	1083	1020	1,06

**Tabela 16 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

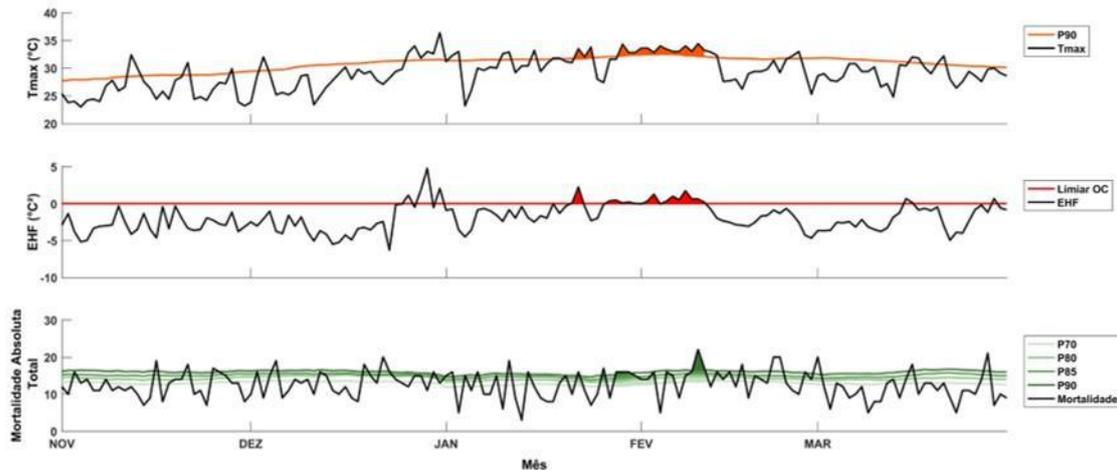
	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>0 – 14 anos</b>	38	41	0,93
<b>15 – 29 anos</b>	18	19	0,95
<b>30 – 59 anos</b>	257	266	0,97
<b>≥ a 60 anos</b>	770	695	1,11

**Tabela 17 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Diabetes</b>	62	62	1,00
	<i>50</i>	<i>48</i>	<i>1,04</i>
<b>Doenças do sistema nervoso</b>	67	38	<b>1,76</b>
	<i>56</i>	<i>30</i>	<i>1,87</i>
<b>Doenças do sistema circulatório</b>	354	314	1,13
	<i>277</i>	<i>243</i>	<i>1,14</i>
<b>Doenças do sistema respiratório</b>	121	98	1,23
	<i>106</i>	<i>83</i>	<i>1,28</i>
<b>Doenças do sistema geniturinário</b>	31	23	1,35
	<i>22</i>	<i>18</i>	<i>1,22</i>

#### 4.2.6 Região Metropolitana de Florianópolis

De forma semelhante à RM de Curitiba, o período definido para análise foi do dia 21 de janeiro a 14 de fevereiro de 2014 com alguns eventos de OC, com temperatura máxima diária superior a 30 °C e ao percentil 90 (parte hachurada em laranja – Figura 12) durante quase todo o período, sendo inferior a ambos nos dias 25 e 26 de janeiro. Assim como a temperatura máxima, o EHF também foi superior ao limiar definido em grande parte do período (parte hachurada em vermelho – Figura 12), com exceção dos dias 23 a 26 de janeiro. A mortalidade absoluta diária foi inferior ao percentil 90, apresentando um pico excedendo-o no final do período (parte hachurada em verde – Figura 12).



**Figura 12 - Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2013/2014 na RM de Florianópolis.**

Assim como observado no evento da RIDE do Distrito Federal e Entorno, na RM de Florianópolis, houve excesso de óbitos em ambos os gêneros (Tabela 18) e maioria das faixas etárias (Tabela 19) e causas específicas de óbito (Tabela 20), porém o intervalo de confiança a nível de 95% contém o valor 1,00, não sendo possível afirmar com 95% de confiança que a mortalidade observada (O) é diferente da mortalidade esperada (E).

**Tabela 18 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Feminino</b>	157	148	1,06
<b>Masculino</b>	187	168	1,11
<b>Total</b>	344	316	1,09

**Tabela 19 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

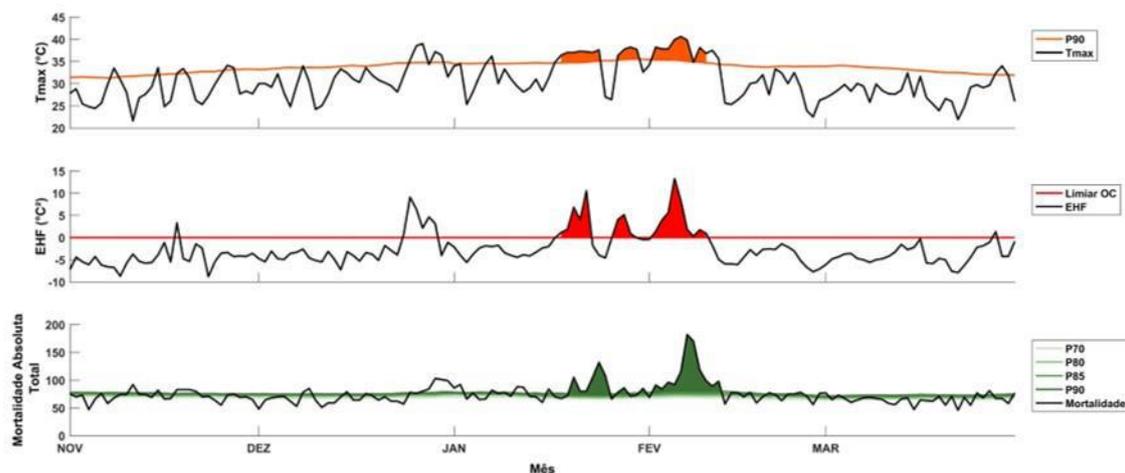
	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>0 – 14 anos</b>	9	10	0,90
<b>15 – 29 anos</b>	6	5	1,20
<b>30 – 59 anos</b>	94	78	1,21
<b>≥ a 60 anos</b>	235	223	1,05

**Tabela 20 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 21 de janeiro a 14 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Diabetes</b>	14	10	1,40
	<i>11</i>	<i>9</i>	<i>1,22</i>
<b>Doenças do sistema nervoso</b>	13	10	1,30
	<i>10</i>	<i>8</i>	<i>1,25</i>
<b>Doenças do sistema circulatório</b>	111	109	1,02
	<i>91</i>	<i>87</i>	<i>1,05</i>
<b>Doenças do sistema respiratório</b>	47	33	1,42
	<i>38</i>	<i>27</i>	<i>1,41</i>
<b>Doenças do sistema geniturinário</b>	7	8	0,88
	<i>5</i>	<i>7</i>	<i>0,71</i>

#### 4.2.7 Região Metropolitana de Porto Alegre

O período quente escolhido, no qual houve eventos de OC, ocorreu de meados de janeiro até meados de fevereiro de 2014 – 18 de janeiro a 13 de fevereiro. As três variáveis analisadas na Figura 13 apresentaram um padrão semelhante com picos ocorrendo nos mesmos dias ou em dias consecutivos para temperatura máxima e EHF e com alguns dias de atraso para a mortalidade absoluta. A temperatura máxima diária permaneceu acima do percentil 90 (parte hachurada em laranja – Figura 13) quando o EHF diário foi positivo, sendo superior a 35°C nesses dias e atingindo 40,6 °C no dia 6 de fevereiro, já o EHF foi superior a 10 °C<sup>2</sup> em 23 de janeiro e 5 de fevereiro (curva preta – Figura 13 painel intermediário) e mortalidade absoluta atingindo um total de 182 e 170 óbitos nos dias 7 e 8 de fevereiro, respectivamente (curva preta – Figura 13 painel inferior).



**Figura 13 – Valores diários de: temperatura máxima (preta) e o percentil 90 diário (laranja) (painel superior), EHF (preta) e o limiar de OC (vermelho) (painel intermediário) e mortalidade absoluta (preta) e o percentis 70, 80, 85 e 90 (variações do verde) (painel inferior) no período de NDJFM de 2013/2014 na RM de Porto Alegre.**

A razão O/E para ambos os gêneros e para a população total (Tabela 21) foi superior a 1, com significância estatística (**negrito**), com um aumento de 48% de óbitos na população feminina, 32% na masculina e de 40% na população total. O excesso de óbitos foi observado nos grupos etários dos adultos (30 – 59 anos) e idosos ( $\geq 60$  anos), com excedente de 19% e 49%, respectivamente (Tabela 22). Em relação às causas básicas específicas de óbito descritas na Tabela 23, a mortalidade observada foi superior à esperada em todas as causas analisadas, com o aumento próximo ou superior a 50%, chegando a 100% por óbitos causados por doenças do sistema nervoso na população idosa (*itálico*).

**Tabela 21 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por gênero para o período de 18 de janeiro a 13 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Feminino</b>	1352	914	<b>1,48</b>
<b>Masculino</b>	1216	924	<b>1,32</b>
<b>Total</b>	2568	1838	<b>1,40</b>

**Tabela 22 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por faixa etária para o período de 18 de janeiro a 13 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>0 – 14 anos</b>	43	53	0,81
<b>15 – 29 anos</b>	40	33	1,21
<b>30 – 59 anos</b>	518	436	<b>1,19</b>
<b>≥ a 60 anos</b>	1967	1316	<b>1,49</b>

**Tabela 23 - Mortalidade observada (O), esperada (E) e excesso de mortalidade (Razão O/E) por causas básicas de óbito considerando a população total e dos idosos (itálico) para o período de 18 de janeiro a 13 de fevereiro, destacando-se valores com significância estatística (negrito)**

	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>Razão O/E</b>
<b>Diabetes</b>	151	93	<b>1,62</b>
	<i>130</i>	<i>77</i>	<i>1,69</i>
<b>Doenças do sistema nervoso</b>	161	85	<b>1,89</b>
	<i>146</i>	<i>73</i>	<i>2,00</i>
<b>Doenças do sistema circulatório</b>	801	539	<b>1,49</b>
	<i>668</i>	<i>438</i>	<i>1,53</i>
<b>Doenças do sistema respiratório</b>	346	202	<b>1,71</b>
	<i>301</i>	<i>166</i>	<i>1,81</i>
<b>Doenças do sistema geniturinário</b>	71	44	<b>1,61</b>
	<i>57</i>	<i>37</i>	<i>1,54</i>

## 5 DISCUSSÃO

Estudos anteriores demonstraram que o índice de OC mais indicado para relacionar aumento da demanda do sistema de saúde e até mesmo o aumento de óbitos durante eventos extremos de temperatura, é o EHF (GEIRINHAS *et al.*, 2020; SCALLEY *et al.*, 2015; URBAN *et al.*, 2019). Analisando a procura por emergências hospitalares em períodos de OC na cidade de Perth, na Austrália, Scalley *et al.*, (2015) observou que o EHF apresentou a melhor relação dose-resposta com o departamento de emergência, isto é, ele previu períodos em que houve uma maior busca por serviços de saúde, que os outros índices. Para eventos ocorridos no verão de 2010 na região metropolitana do Rio de Janeiro, Geirinhas *et al.* (2020) relatou uma menor dispersão dos dados de mortalidade absoluta com valores do EHF quando comparado aos índices térmicos de temperatura máxima e de temperatura média. Os melhores resultados encontrados para o EHF podem ser explicados pelo fato de o índice considerar no seu cálculo o período de 30 dias de adaptação à exposição ao calor excessivo.

O aumento da ocorrência de eventos combinados de seca e OC têm sido observado em diversos países (ALIZADEH *et al.*, 2020; GEIRINHAS *et al.*, 2021; MUKHERJEE; MISHRA, 2021; YE *et al.*, 2019), resultando em danos socioeconômicos mais significativos do que os ocorridos em razão de um único evento. Secas extremas ocorreram entre 2013 e 2016 no Brasil, sendo o sudeste brasileiro a região atingida por secas durante verão de 2013/2014 e de 2014/2015, gerando uma crítica crise hídrica impactando diversos setores da sociedade (COELHO *et al.*, 2016). A bacia Amazônica sofreu, em 2015/2016, a maior seca deste século, sendo associada ao evento de El Niño, com anomalias negativas de precipitação e positivas de temperatura da superfície e de radiação solar em uma extensa área da região (PANISSET *et al.*, 2018). No presente trabalho, foram analisadas OCs que ocorreram em períodos similares às grandes secas, com sua intensidade obtida através do EHF, sendo eventos de baixa intensidade nas RMs de Manaus, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre e severos nas RMs do Recife, São Paulo e RIDE do Distrito Federal e Entorno.

A aclimação é o processo pelo qual o organismo adapta-se às mudanças climáticas do ambiente em que está inserido (GOSLING *et al.*, 2014). A aclimação ao calor pode ser exemplificada pela adaptação sazonal, de acordo com a estação do ano, e geográfica, como a classificação climática (SCHLADER; MÜNDEL, 2012). Em cidades com climas subtropicais, tropicais e temperados, a temperatura foi associada à mortalidade diária, com aumento do risco de mortalidade durante extremos de temperatura na maioria das cidades (MCMICHAEL *et al.*, 2008).

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger para o Brasil, as regiões analisadas neste estudo apresentam diferentes características climatológicas, sendo a RM de Manaus caracterizada pelo clima tropical úmido, a RM do Recife pelo clima de monção e clima tropical com estação seca de inverno, a RIDE do Distrito Federal e Entorno caracterizada principalmente pelo clima tropical com estação seca de inverno e em algumas partes isoladas pelo clima temperado úmido com inverno seco e verão quente e verão temperado, as RMs de São Paulo, Curitiba e Florianópolis apresentam clima temperado úmido com verão temperado e a RM de Porto Alegre pelo clima temperado úmido com verão quente (ALVARES *et al.*, 2013). As diferenças encontradas nos boxplots de razão O/E entre as regiões e entre dias com e sem OC na mesma área podem ser explicadas por essas diferenças locais, apresentando uma maior diferença nas RMs do sudeste e sul do Brasil em comparação às RMs do norte, nordeste e centro-oeste.

Os efeitos de eventos de OC na saúde humana ocorre em razão do tempo de adaptação fisiológica do corpo, que dura entre 2 a 6 semanas, período este incluído no cálculo do EHF. Apenas algumas mortes ou doenças são causadas diretamente pelo calor devido a elevações na temperatura central do corpo por um período prolongado – efeitos do calor e da luz (código T67 do CID-10), exposição ao calor prolongado excessivo (X30) e exposição à luz solar (X32) – enquanto muitas outras estão relacionadas ao agravamento das condições de saúde pré-existentes, como condições cardiovasculares, respiratórias, endócrinas e renais (WMO; WHO, 2015).

O diabetes é uma das principais causas de morbidade e mortalidade e está se tornando um problema de saúde pública mundial, com uma ocorrência global estimada de 9% entre os adultos em 2014 (WHO, 2018b). Pessoas com diabetes mellitus são consideradas vulneráveis durante eventos extremos de calor, pois esta doença é responsável por um grande número de hospitalizações e mortes, em razão da dificuldade em dissipar o calor (SCHWARTZ, 2005). Em contraste com diversos estudos feitos para diferentes regiões do globo que observaram o aumento do número de óbitos por diabetes durante eventos de OC (GEIRINHAS *et al.*, 2020; MOON, 2021; OUDIN ÅSTRÖM *et al.*, 2015), foi constatado neste estudo, no entanto, o aumento de mais de 60% nos óbitos apenas para a RM de Porto Alegre.

Observaram-se, neste trabalho, altos valores do excesso de mortalidade causada por doenças do sistema nervoso nas RMs de São Paulo e da região Sul principalmente entre os idosos ( $\geq 60$  anos), que podem ser explicados pelo uso generalizado de medicamentos que alteram a termorregulação (BASU; SAMET, 2002; HAVENITH, 2001; PANDOLF, 1997), sendo um deles utilizados para doença de Parkinson. Estudos anteriores analisaram o grande impacto

relacionado ao uso de remédios na mortalidade da OC de 2003 na Europa (CONTI *et al.*, 2007; STÖLLBERGER; LUTZ; FINSTERER, 2009). Os resultados do presente trabalho mostram que nas regiões com significância a nível de 95%, o aumento no número de óbitos causados por doenças do sistema nervoso foi superior a 80% na população idosa, atingindo 100% na população da RM de Porto Alegre, e superior a 70% na população total.

As doenças cardiovasculares e respiratórias são as principais causas de óbito durante eventos de OC em diversas regiões do globo (HAJAT *et al.*, 2006). Em eventos extremos de calor, o aumento da temperatura corporal central, aumento da frequência cardíaca, deslocamento do fluxo sanguíneo dos órgãos centrais para a pele e aumento da transpiração e desidratação acarretam a sobrecarga dos sistemas cardiovascular (COSTELLO *et al.*, 2009). Esse aumento de óbitos foi observado neste estudo na RM de Manaus – 19% na a população total e 25% nos idosos –, na RM de São Paulo – 13% na população total e 17% nos idosos -, e na RM de Porto Alegre – 49% na população total e 53% nos idosos.

Pessoas com doença respiratória pré-existente são um grupo vulnerável a eventos extremos de temperatura, já que o calor pode agravar sintomas como asma, rinosinusite, doença pulmonar obstrutiva crônica e infecções no trato respiratório (WMO; WHO, 2015). No presente estudo, assim como em estudos anteriores de mortalidade e hospitalização durante eventos de OC (SON *et al.*, 2016; ZHAO, Qi; *et al.*, 2019; ZHAO, Qi *et al.*, 2018), observou-se o aumento da mortalidade da população, tanto idosa quanto total, nas RMs de Manaus, Recife, São Paulo e, principalmente, Porto Alegre, esta última apresentando um aumento de 81% entre os idosos e de 71% na população total.

Diversos estudos anteriores reportaram um aumento no número de hospitalizações por disfunções renais durante períodos de temperaturas elevadas (DE LORENZO; LIAÑO, 2017; HANSEN *et al.*, 2008; KOVATS; HAJAT; WILKINSON, 2004; KOVATS; KRISTIE, 2006). Isso ocorre em razão da hipertermia que, associada à insolação, pode acarretar em falhas na termorregulação corporal, tornando o corpo mais vulnerável a bactérias e infecções, como septicemia e infecção no trato urinário, e até levar à insuficiência renal (HOPP; DOMINICI; BOBB, 2018). Observou-se através deste estudo que, além do aumento no número de hospitalizações descrito na literatura, há também o excesso de mortalidade causado por doenças do sistema geniturinário na população total de RM de Manaus (56%), São Paulo (48%) e Porto Alegre (61%) e população idosa na RM de São Paulo (58%) e Porto Alegre (54%).

Em relação à faixa etária, assim como observado na literatura, o grupo mais suscetível a OCs foi o dos idosos ( $\geq 60$  anos) em todas as regiões analisadas neste estudo, em razão da redução da capacidade termorregulatória e alterações fisiológicas (KENNEY; MUNCE, 2003;

KENNY *et al.*, 2010), que podem ser acentuadas por doenças pré-existentes (FLYNN; MCGREEVY; MULKERRIN, 2005).

Estudos prévios mostram uma maior vulnerabilidade ao excesso de calor entre as mulheres (D'IPPOLITI *et al.*, 2010; GEIRINHAS *et al.*, 2020), o que foi observado nas RMs do Recife, São Paulo e Porto Alegre, porém esta relação não foi observada na RM de Manaus, onde houve um aumento de mortalidade entre os homens, concordando com a indefinição do impacto do gênero na mortalidade por estresse térmico descrita pela Organização Meteorológica Mundial e Organização Mundial da Saúde (WMO; WHO, 2015). Os fatores que podem ser associados a esta diferença entre os gêneros são os fatores geográficos e socioeconômicos, como raça, nível de educação, ocupação e estado civil, da população em questão.

## 6 CONCLUSÃO

A presente pesquisa científica abordou os impactos de eventos de onda de calor na saúde da população brasileira, em diferentes regiões metropolitanas do Brasil com o propósito de contribuir para uma melhor e mais detalhada caracterização do comportamento das taxas de mortalidade relacionadas ao calor em diferentes localidades do país.

Analisou-se a taxa de mortalidade durante dias com e sem OCs nos meses com maiores valores de temperatura, mostrando um aumento na taxa de mortalidade em dias durante períodos de OC em todas as RMs estudadas. Com relação a caracterização de vulnerabilidade, a faixa etária mais vulnerável foi a dos idosos ( $\geq 60$  anos) e há uma indeterminação da suscetibilidade entre os gêneros e causas básicas de óbito, variando em cada RM. Essas variações entre as regiões podem ser explicadas por fatores não abordados no trabalho, como fatores socioeconômicos, tais como o nível de escolaridade, moradia, raça, ocupação e estado civil.

Além da limitação em relação aos fatores socioeconômicos, o atual estudo apresenta também limitações meteorológicas, como a falta de dados *in situ* e a utilização apenas da temperatura como variável meteorológica, sabendo que alguns índices de conforto térmico consideram, além da temperatura, a umidade relativa e velocidade do vento e dados de qualidade do ar.

Mesmo havendo alguns estudos sobre o risco de hospitalização durante OCs nas cidades brasileiras, este é o primeiro trabalho relacionando estes eventos com o aumento da mortalidade abrangendo algumas das RMs mais populosas do país. Tais informações podem ser úteis para autoridades da saúde pública para que haja um preparo e investimento em sistemas de alerta para os riscos e impactos que estes eventos de calor extremo, que serão cada vez mais frequentes e intensos, podem provocar.

## REFERÊNCIAS

- ALIZADEH, Mohammad Reza *et al.* A century of observations reveals increasing likelihood of continental-scale compound dry-hot extremes. **Science Advances**, [s. l.], v. 6, n. 39, p. 1–12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz4571>
- ALVARES, Clayton A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AZHAR, Gulrez Shah *et al.* Heat-related mortality in India: Excess all-cause mortality associated with the 2010 Ahmedabad heat wave. **PLoS ONE**, [s. l.], 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091831>
- BASU, Rupa. **High ambient temperature and mortality: A review of epidemiologic studies from 2001 to 2008**. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-40>
- BASU, Rupa; SAMET, Jonathan M. Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiologic evidence. **Epidemiologic Reviews**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 190–202, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/epirev/mxf007>
- BITENCOURT, Daniel P. *et al.* The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 40, n. 4, p. 2464–2478, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.6345>
- BORDEN, Kevin A.; CUTTER, Susan L. Spatial patterns of natural hazards mortality in the United States. **International Journal of Health Geographics**, [s. l.], v. 7, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1476-072X-7-64>
- CCL/CLIVAR/JCOMM EXPERT TEAM (ET). Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes Temperature indices : **Pacific Climate**, [s. l.],
- CERNE, S. B.; VERA, C. S. Influence of the intraseasonal variability on heat waves in subtropical South America. **Climate Dynamics**, [s. l.], v. 36, n. 11–12, p. 2265–2277, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0812-4>
- CERNE, S. Bibiana; VERA, Carolina S.; LIEBMANN, Brant. The Nature of a Heat Wave in Eastern Argentina Occurring during SALLJEX. **Monthly Weather Review**, [s. l.], v. 135, p. 1165–1174, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/MWR3306.1>
- COATES, Lucinda *et al.* Exploring 167 years of vulnerability: An examination of extreme heat events in Australia 1844–2010. **Environmental Science and Policy**, [s. l.], 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.05.003>
- COELHO, Caio A S *et al.* Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. **Meteorological Applications**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 237–255, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/met.1324>
- COELHO, Caio A.S. *et al.* The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, [s. l.], v. 46, n. 11–12, p. 3737–3752, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1>
- CONTI, Susanna *et al.* General and specific mortality among the elderly during the 2003 heat wave in Genoa (Italy). **Environmental Research**, [s. l.], v. 103, n. 2, p. 267–274, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2006.06.003>
- CORDERO SIMÕES DOS REIS, Nicolle; BOIASKI, Nathalie Tissot; FERRAZ, Simone Erotildes Teleginski. Characterization and spatial coverage of heatwaves in subtropical Brazil. **Atmosphere**, [s. l.], v. 10, n. 5, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos10050284>
- COSTELLO, Anthony *et al.* **Managing the health effects of climate change**. **Lancet and University College London Institute for Global Health Commission**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2009. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60935-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60935-1). Acesso em: 13 abr.

2021.

- COUMOU, Dim; ROBINSON, Alexander. Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 8, n. 3, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034018>
- D'IPPOLITI, Daniela *et al.* The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: Results from the EuroHEAT project. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1–9, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-37>
- DE LORENZO, Alberto; LIAÑO, Fernando. High temperatures and nephrology: The climate change problem. **Nefrologia**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 492–500, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nefro.2016.12.015>
- DIFFENBAUGH, Noah S.; SCHERER, Martin. Observational and model evidence of global emergence of permanent, unprecedented heat in the 20th and 21st centuries. **Climatic Change**, [s. l.], v. 107, n. 3, p. 615–624, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0112-y>
- DOSIO, Alessandro *et al.* Extreme heat waves under 1.5 °c and 2 °c global warming. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 13, n. 5, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab827>
- FERON, S. *et al.* Observations and Projections of Heat Waves in South America. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1–15, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44614-4>
- FERREIRA, Letícia de Castro Martins *et al.* Ambient temperature and mortality due to acute myocardial infarction in Brazil: an ecological study of time-series analyses. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50235-8>
- FLYNN, A.; MCGREEVY, C.; MULKERRIN, E.C. Why do older patients die in a heatwave? **QJM**, [s. l.], v. 98, n. 3, p. 227–229, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/qjmed/hci025>. Acesso em: 13 abr. 2021.
- FRICH, P. *et al.* Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 193–212, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/cr019193>
- GARCIA, Beatriz Nunes; LIBONATI, Renata; NUNES, Ana M.B. Extreme drought events over the Amazon Basin: The perspective from the reconstruction of South American Hydroclimate. **Water (Switzerland)**, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w10111594>
- GASPARRINI, Antonio *et al.* Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. **The Lancet**, [s. l.], 2015. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)
- GASPARRINI, Antonio *et al.* Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. **The Lancet Planetary Health**, [s. l.], v. 1, n. 9, p. e360–e367, 2017. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0)
- GEIRINHAS, João L. *et al.* Characterizing the atmospheric conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 650, p. 796–808, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.060>
- GEIRINHAS, João L. *et al.* Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 1760–1776, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5294>
- GEIRINHAS, João L. *et al.* Heat-related mortality at the beginning of the twenty-first century in Rio de Janeiro, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01908-x>

- GEIRINHAS *et al.* Recent increasing frequency of compound summer drought and heatwaves in Southeast Brazil. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 16, n. 3, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe0eb>
- GEIRINHAS, João L. *et al.* Caracterização Climática de Ondas de Calor no Brasil Climatic Characterization of Heat Waves in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [s. l.], v. 41, p. 333–350, 2018.
- GOSLING, Simon N. *et al.* **A glossary for biometeorology**. [S. l.: s. n.], 2014. ISSN 00207128.v. 58 Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0729-9>
- GOUVEIA, Nelson; HAJAT, Shakoor; ARMSTRONG, Ben. Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in São Paulo, Brazil. **International Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 390–397, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ije/dyg077>
- GUO, Yuming *et al.* Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. **PLoS Medicine**, [s. l.], v. 15, n. 7, p. 1–17, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002629>
- GUSSO, Anibal *et al.* Monitoring heat waves and their impacts on summer crop development in Southern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 353–364, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/as.2014.54037>
- GUYTON, Arthur C.; HALL, John E. **Textbook of Medical Physiology**. 11th. ed. [S. l.]: Elsevier Saunders, 2006.
- HAJAT, Shakoor *et al.* Impact of high temperatures on mortality: Is there an added heat wave effect? **Epidemiology**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 632–638, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000239688.70829.63>
- HANSEN, Alana L. *et al.* The effect of heat waves on hospital admissions for renal disease in a temperate city of Australia. **International Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 1359–1365, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ije/dyn165>
- HATVANI-KOVACS, Gertrud *et al.* Can the excess heat factor indicate heatwave-related morbidity? A case study in Adelaide, South Australia. **EcoHealth**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 100–110, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10393-015-1085-5>
- HAVENITH, G. Temperature regulation and technology. **Gerontechnology**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.4017/gt.2001.01.01.004.00>
- HOPP, Stephanie; DOMINICI, Francesca; BOBB, Jennifer F. Medical diagnoses of heat wave-related hospital admissions in older adults. **Preventive Medicine**, [s. l.], v. 110, n. February, p. 81–85, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2018.02.001>
- HOSHIKO, Sumi *et al.* A simple method for estimating excess mortality due to heat waves, as applied to the 2006 California heat wave. **International Journal of Public Health**, [s. l.], v. 55, n. 2, p. 133–137, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00038-009-0060-8>
- IBGE. **Agência - Detalhe de Mídia | Agência de Notícias | IBGE**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-detalhe-de-midia.html?view=mediaibge&catid=2103&id=3109>. Acesso em: 12 jan. 2021.
- IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [S. l.: s. n.], 2014.
- IPCC. **Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change**. [S. l.: s. n.], 2018.
- IPCC. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**. [S. l.: s. n.], 2012. v. 9781107025 Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.009>

- KENNEY, W. Larry; MUNCE, Thayne A. **Aging and human temperature regulation**. [S. l.]: American Physiological Society, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00202.2003>. Acesso em: 13 abr. 2021.
- KENNY, Glen P. *et al.* **Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases**. [S. l.]: Canadian Medical Association, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1503/cmaj.081050>. Acesso em: 13 abr. 2021.
- KENNY, Glen P; SIGAL, Ronald J; MCGINN, Ryan. Body temperature regulation in diabetes. **Temperature**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 119–145, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1131506>
- KING, Andrew D. *et al.* Reduced heat exposure by limiting global warming to 1.5 °C. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 8, n. 7, p. 549–551, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0191-0>
- KJELLSTROM, Tord. Impact of Climate Conditions on Occupational Health and Related Economic Losses: A New Feature of Global and Urban Health in the Context of Climate Change. **Asia-Pacific Journal of Public Health**, [s. l.], v. 28, p. 28S-37S, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1010539514568711>
- KOVATS, R. S.; HAJAT, S.; WILKINSON, P. Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK. **Occupational and Environmental Medicine**, [s. l.], v. 61, n. 11, p. 893–898, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/oem.2003.012047>
- KOVATS, R. Sari; KRISTIE, L. Ebi. Heatwaves and public health in Europe. **European Journal of Public Health**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 592–599, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckl049>
- LEE, Jae Young *et al.* Predicted temperature-increase-induced global health burden and its regional variability. **Environment International**, [s. l.], v. 131, n. July, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105027>
- LOBELL, David B.; FIELD, Christopher B. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 2, n. 1, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/1/014002>
- MAGRIN, G.O. *et al.* **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** AR5 **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5860/choice.45-5008>.
- MARENGO, Jose A.; CAMARGO, Claudia C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. **International Journal of Climatology**, [s. l.], 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.1584>
- MCEVOY, Darryn; AHMED, Iftekhar; MULLETT, Jane. The impact of the 2009 heat wave on Melbourne’s critical infrastructure. **Local Environment**, [s. l.], v. 17, n. 8, p. 783–796, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13549839.2012.678320>
- MCMICHAEL, Anthony J. *et al.* International study of temperature, heat and urban mortality: The “ISOTHURM” project. **International Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 1121–1131, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ije/dyn086>
- MOON, Jinyoung. The effect of the heatwave on the morbidity and mortality of diabetes patients; a meta-analysis for the era of the climate crisis. **Environmental Research**, [s. l.], v. 195, p. 110762, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110762>
- MORA, Camilo *et al.* Global risk of deadly heat. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 7, n. 7, p. 501–506, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
- MUKHERJEE, Sourav; MISHRA, Ashok Kumar. Increase in Compound Drought and Heatwaves in a Warming World. **Geophysical Research Letters**, [s. l.], v. 48, n. 1, 2021.

- Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2020GL090617>
- NAIRN, John; FAWCETT, Robert; RAY, Darren. Defining and predicting excessive heat events, a national system. **Understanding high impact weather, CAWCR modelling workshop**, [s. l.], p. 83–86, 2009.
- NAIRN, John R.; FAWCETT, Robert J.B. The excess heat factor: A metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 227–253, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph120100227>
- OCHA. Natural Disasters in Latin America and the Caribbean, 2000-2019. **United Nations**, [s. l.], n. March, p. 20, 2020. Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/natural-disasters-latin-america-and-caribbean-2000-2019>
- UDIN ÅSTRÖM, Daniel *et al.* The effect of heat waves on mortality in susceptible groups: A cohort study of a mediterranean and a northern European City. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 0–8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12940-015-0012-0>
- PANDOLF, Kent B. Aging and human heat tolerance. **Experimental Aging Research**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 69–105, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03610739708254027>
- PANISSET, Jéssica S. *et al.* Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 1096–1104, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5224>
- PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V. On the measurement of heat waves. **Journal of Climate**, [s. l.], v. 26, n. 13, p. 4500–4517, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>
- ROBINE, Jean Marie *et al.* Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. **Comptes Rendus - Biologies**, [s. l.], 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2007.12.001>
- ROSSIELLO, Michael R; SZEMA, Anthony. Health Effects of Climate Change-induced Wildfires and Heatwaves. **Cureus**, [s. l.], v. 11, n. 5, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7759/cureus.4771>
- RÜBBELKE, Dirk; VÖGELE, Stefan. Impacts of climate change on European critical infrastructures: The case of the power sector. **Environmental Science and Policy**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 53–63, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.10.007>
- RUSSO, Simone *et al.* Half a degree and rapid socioeconomic development matter for heatwave risk. **Nature Communications**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1–9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08070-4>
- RUSTICUCCI, Matilde. Observed and simulated variability of extreme temperature events over South America. **Atmospheric Research**, [s. l.], v. 106, p. 1–17, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.11.001>
- RUSTICUCCI, Matilde; VARGAS, Walter. Synoptic situations related to spells of extreme temperatures over Argentina. **Meteorological Applications**, [s. l.], 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/met.5060020401>
- SANSIGOLO, Clóvis Angeli; KAYANO, Mary Toshie. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0270-2>
- SCALLEY, Benjamin D. *et al.* Responding to heatwave intensity: Excess Heat Factor is a superior predictor of health service utilisation and a trigger for heatwave plans. **Australian and New Zealand Journal of Public Health**, [s. l.], v. 39, n. 6, p. 582–587, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1753-6405.12421>
- SCHLADER, Zachary J.; MÜNDEL, Toby. Heat Acclimatization. *In*: **ENCYCLOPEDIA OF**

- EXERCISE MEDICINE IN HEALTH AND DISEASE. [S. l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 391–393. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-29807-6\\_95](https://doi.org/10.1007/978-3-540-29807-6_95). Acesso em: 12 abr. 2021.
- SCHWARTZ, Joel. Who is sensitive to extremes of temperature? A case-only analysis. **Epidemiology**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 67–72, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000147114.25957.71>
- SHAPOSHNIKOV, Dmitry *et al.* Mortality Related to Air Pollution with the Moscow Heat Wave and Wildfire of 2010. [s. l.], v. 25, n. 3, p. 359–364, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000090>
- SON, Ji Young *et al.* The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, [s. l.], v. 60, n. 1, p. 113–121, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1009-7>
- STEFANON, Marc; DANDREA, Fabio; DROBINSKI, Philippe. Heatwave classification over Europe and the Mediterranean region. **Environmental Research Letters**, [s. l.], 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/1/014023>
- STÖLLBERGER, C.; LUTZ, W.; FINSTERER, J. Heat-related side-effects of neurological and non-neurological medication may increase heatwave fatalities. **European Journal of Neurology**, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 879–882, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2009.02581.x>
- THORNTON, P. K. *et al.* The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. **Agricultural Systems**, [s. l.], v. 101, n. 3, p. 113–127, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>
- TRIGO, Ricardo M. *et al.* Evaluating the impact of extreme temperature based indices in the 2003 heatwave excessive mortality in Portugal. **Environmental Science and Policy**, [s. l.], 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.07.007>
- URBAN, Aleš *et al.* The predictability of heat-related mortality in Prague, Czech Republic, during summer 2015—a comparison of selected thermal indices. **International Journal of Biometeorology**, [s. l.], v. 63, n. 4, p. 535–548, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01684-3>
- VARGHESE, Blesson M. *et al.* Heatwave and work-related injuries and illnesses in Adelaide, Australia: a case-crossover analysis using the Excess Heat Factor (EHF) as a universal heatwave index. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, [s. l.], v. 92, n. 2, p. 263–272, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1376-6>
- WESTERLING, A. L. *et al.* Warming and earlier spring increase Western U.S. forest wildfire activity. **Science**, [s. l.], v. 313, n. 5789, p. 940–943, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1128834>
- WHO. **Heat and Health**. [S. l.], 2018a. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>. Acesso em: 21 jan. 2021.
- WHO. **Heatwaves**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: [https://www.who.int/health-topics/heatwaves#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/heatwaves#tab=tab_1). Acesso em: 21 jan. 2021.
- WHO. **Noncommunicable diseases country profiles 2018**. [S. l.: s. n.], 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119097136.part5>
- WMO; WHO. **Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development**. [S. l.: s. n.], 2015. *E-book*.
- XIAO, Jianguo *et al.* Variation in population vulnerability to heat wave in Western Australia. **Frontiers in Public Health**, [s. l.], v. 5, n. APR, p. 1–10, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2017.00064>
- XU, Zhiwei *et al.* **Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis**. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.007>

YE, Lei *et al.* Compound droughts and heat waves in China. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10023270>

ZENG, Ning *et al.* Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 3, n. 1, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/1/014002>

ZHAO, Qi; *et al.* Geographic, demographic, and temporal variations in the association between heat exposure and hospitalization in Brazil: A nationwide study between 2000 and 2015. **Environmental Health Perspectives**, [s. l.], v. 127, n. 1, p. 1–9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/EHP3889>

ZHAO, Qi *et al.* Spatiotemporal and demographic variation in the association between temperature variability and hospitalizations in Brazil during 2000–2015: A nationwide time-series study. **Environment International**, [s. l.], v. 120, n. June, p. 345–353, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.021>

ZHAO, Qi *et al.* The association between heatwaves and risk of hospitalization in Brazil: A nationwide time series study between 2000 and 2015. **PLoS Medicine**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 1–16, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002753>