



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA



SARA LOPES DE MORAES

O impacto das ondas de frio e de calor na mortalidade em São Paulo: uma análise  
espaço-temporal do excesso de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais de  
idade

Versão corrigida

São Paulo  
2023

SARA LOPES DE MORAES

O impacto das ondas de frio e de calor na mortalidade em São Paulo: uma análise espaço-temporal do excesso de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais de idade

Versão corrigida

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geografia Física

Orientadora: Profa. Dra. Ligia Vizeu Barrozo  
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Almendra

São Paulo  
2023

**ENTREGA DO EXEMPLAR CORRIGIDO DA DISSERTAÇÃO/TESE****Termo de Anuência do (a) orientador (a)**

**Nome do (a) aluno (a): Sara Lopes de Moraes**

**Data da defesa: 02/10 /2023**

**Nome do Prof. (a) orientador (a): Ligia Vizeu Barrozo**

Nos termos da legislação vigente, declaro **ESTAR CIENTE** do conteúdo deste **EXEMPLAR CORRIGIDO** elaborado em atenção às sugestões dos membros da comissão Julgadora na sessão de defesa do trabalho, manifestando-me **plenamente favorável** ao seu encaminhamento ao Sistema Janus e publicação no **Portal Digital de Teses da USP**.

São Paulo, 13/11/2023



---

*(Assinatura do (a) orientador (a))*

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação  
Serviço de Biblioteca e Documentação  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

M827 i Moraes, Sara Lopes de  
O impacto das ondas de frio e de calor na mortalidade em São Paulo: uma análise espaço-temporal do excesso de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais de idade / Sara Lopes de Moraes; orientadora Ligia Vizeu Barrozo; coorientador Ricardo Almendra São Paulo, 2023.  
171 f.

Tese (Doutorado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. TEMPERATURAS EXTREMAS. 2. MORTALIDADE. 3. IDOSOS. 4. SAÚDE URBANA. 5. ILHA DE CALOR URBANO. I. Barrozo, Ligia Vizeu, orient. II. Título.

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, gostaria de expressar minha gratidão à minha orientadora, Ligia Vizeu Barrozo, e ao meu coorientador, Ricardo Almendra, pelas contribuições valiosas, paciência e direcionamento que tornaram possível a conclusão desta tese e me ajudaram a amadurecer academicamente.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de doutorado (processo número: 2018/25462-0) e de estágio de pesquisa no exterior (processo número: 2020/01846-4) que possibilitaram a realização desta pesquisa.

I would to express my gratitude to Dr. Clare Heaviside for supervising me during my time at University College London. Thank you for your support throughout and after my internship. It was a great experience working with you and your team. I would also like to thank Oscar Brousse, Charles Simpson, Rebecca Cole, and the other members of the HEROIC project.

À professora Paula Santana por me receber na Universidade de Coimbra, e ao Grupo de Investigação em Geografia da Saúde.

Aos amigos do Laboratório de Cartografia e de Climatologia e Biogeografia.

Às minhas amigas de longa data da Geografia (Marina, Dri e Vicky), da pós-graduação (Giselle e Mari) e do time de vôlei feminino da FFLCH (Vivi, Carol, Paula, Lais, Julia, Natasha, Ariane, Fe, Ingrid e Mari).

Ao Grupo de Estudos Espaço Urbano e Saúde do Instituto de Estudos Avançados da USP.

Agradeço aos membros da banca de defesa desta tese de doutorado.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer meus pais (Sandra e Arnold), irmãos (Jéssica e Arnold), sobrinho (Pedro), avó (Liberata) e tia (Cristina) pelo constante apoio e encorajamento durante todo esse longo caminho de aprendizagem.

## RESUMO

Moraes, S. L., **O impacto das ondas de frio e de calor na mortalidade em São Paulo: uma análise espaço-temporal do excesso de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais de idade**. Tese (doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2023.

O impacto dos eventos extremos de temperatura do ar na saúde tornou-se uma das principais preocupações de saúde pública do século XXI. Estudos apontam que a ocorrência das ondas de frio e de calor representam um fator de risco importante, pois contribuem diretamente e indiretamente no aumento da mortalidade, especialmente entre pessoas com 65 anos ou mais de idade que vivem em megacidades. Em São Paulo, a população está envelhecendo cada vez mais e importantes desigualdades socioeconômicas e ambientais podem contribuir para o aumento da mortalidade relacionada aos eventos extremos de temperatura do ar. Portanto, o principal objetivo dessa tese é avaliar e estimar a relação entre os eventos extremos de temperatura do ar (ondas de calor e ondas de frio) e a mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais de idade que vivem em São Paulo, levando em consideração o contexto socioeconômico e a Ilha de Calor Urbano (ICU). Para alcançarmos o objetivo proposto utilizamos dados secundários de diversas fontes e em diferentes escalas de análise, incluindo: dados diários de temperatura média do ar, umidade relativa, poluição do ar, óbitos e variáveis demográficas e socioeconômicas. Utilizamos modelos epidemiológicos de séries temporais (*Distributed Lag Models*) e espaciais e calculamos a mortalidade atribuída por meio da avaliação de impacto à saúde. Para estimar a mortalidade atribuída ao calor e à ICU quantificamos a intensidade da ICU por meio modelo *Weather Research & Forecasting* (WRF) para simular a temperatura do ar de 2 m de altitude com uma resolução de 1 km x 1 km para os cenários 'Urbano' e 'Rural'. Ademais, consideramos o rendimento médio mensal das pessoas responsáveis em três classes de análise: baixa renda, classe média e alta renda. Os primeiros resultados dessa pesquisa mostram uma associação estatisticamente significativa entre a mortalidade por causas específicas (cardiovasculares e respiratórias) e a ocorrência dos eventos extremos de temperatura do ar tanto de frio quanto de calor. É importante destacar que quanto mais intensas e prolongadas são as ondas de calor, maior é o risco de mortalidade entre as pessoas com 65 anos ou mais. De acordo com a literatura, diferentes fatores de risco estão associados ao alto

risco de mortalidade durante ondas de frio e de calor. Nesse sentido, verificamos se o ambiente construído (ICU) e as condições de rendimento na escala intraurbana desempenham um papel importante nesse alto risco de mortalidade encontrado durante a ocorrência de ondas de frio e calor em São Paulo. Por conseguinte, nossas estimativas sugerem que óbitos associados ao calor durante uma onda de calor específica (ocorrida entre 26 de janeiro e 9 de fevereiro de 2014) podem ser atribuídos a intensidade da ICU, sendo que as áreas classificadas como baixa renda (1,09; IC: 1,07 – 1,11) apresentam um risco relativo maior de mortalidade se comparado com as áreas de alta renda (1,06; IC:1,02 – 1,10). Nossos resultados podem contribuir para a criação e desenvolvimento de medidas políticas públicas de saúde que possam ajudar a reduzir o impacto dos eventos extremos de temperatura do ar na saúde da população e a vulnerabilidade das pessoas que residem em São Paulo.

**Palavras-chave:** ondas de calor, ondas de frio, Ilha de Calor Urbano, saúde urbana, e mortalidade atribuída

## ABSTRACT

Moraes, S. L., **The impact of cold spells and heat waves on mortality in São Paulo: a space-time analysis of excess mortality among people aged 65 years and over.** Thesis (PhD). School of Philosophy, Literature, and Human Science, University of São Paulo, 2023.

The impact of extreme air temperature events on health has become one of the leading public health concerns of the 21st century. Studies indicate that heatwaves and cold spells represent significant risk factor as it contributes directly and indirectly to increased mortality, especially among people aged 65 or older living in megacities. São Paulo's ageing population is growing, presenting significant socioeconomic and environmental inequalities that may contribute to increased mortality related to extreme air temperature events. Therefore, this thesis aims to evaluate and estimate the relationship between extreme air temperature events (heatwaves and cold spells) and mortality among people aged 65 or over living in São Paulo, considering the socioeconomic context and Urban Heat Island (UHI) effects. In order to reach our goal, we used secondary data from multiple sources and scales of analysis, including daily average air temperature data, relative humidity, air pollution, deaths, and demographic and socioeconomic variables. We used epidemiological time-series (Distributed Lag Models) and spatial models and calculated the attributable mortality through a health impact assessment. To estimate the mortality attributed to heat and the UHI, we quantified the UHI intensity using the Weather Research & Forecasting (WRF) model to simulate air temperature at the height of 2 m with a resolution of 1 km x 1 km for 'Urban' and 'Rural' scenarios. Additionally, we considered the responsible persons' monthly average income in three analysis classes: low-income, middle-class, and high-income. The first findings of this thesis indicate a statistically significant association between cause-specific mortality (cardiovascular and respiratory) and extreme air temperature events (cold and heat). It is essential to highlight that the risk of mortality increases among individuals aged 65 and over during more intense and prolonged heatwaves. Studies show that different risk factors are associated with high mortality risk during cold spells and heatwaves. Therefore, we verified whether the built environment (UHI) and income levels at the intra-urban scale play an important role in this high risk of mortality found during the occurrence of cold spells and heatwaves in



São Paulo. Consequently, our estimates suggest that deaths associated with heat during a specific heatwave (occurring between January 26 and February 9, 2014) may be attributed to the intensity of the UHI. In addition, our estimates indicate low-income areas (1.09; CI: 1.07 - 1.11) had a higher mortality risk than high-income areas (1.06; CI: 1.02 - 1.10). Our findings could contribute to formulating and implementing public health policy measures to reduce the negative impacts of extreme air temperature events on the health of São Paulo's population and the susceptibility of its residents.

**Keywords:** heatwaves, cold spells, Urban Heat Island, urban health, and attributable mortality.

## Lista de figuras

Figura 1: Representação esquemática dos objetivos específicos com os capítulos 4, 5, 6, e 7.....	6
Figura 2: Distribuição do volume sanguíneo durante a exposição aos extremos de calor e frio.....	16
Figura 3: Determinantes sociais da saúde por Dahlgren e Whitehead (1991) .....	26
Figura 4: Determinantes da saúde .....	27
Figura 5: Estrutura Conceitual dos DSS da OMS.....	27
Figura 6: Mapa de localização da área de estudo .....	31
Figura 7: Variação da mortalidade e taxa de mortalidade padronizada (10.000 hab) anual de pessoas com 65 anos ou mais por doenças do aparelho circulatório e respiratório em São Paulo durante o período de 2006 a 2015. ....	42
Figura 8: Variação da mortalidade e taxa de mortalidade padronizada (10.000 hab) anual de pessoas com 65 anos ou mais por DCB, AVCi e AVCh em São Paulo durante o período de 2006 a 2015. ....	43
Figura 9: Variação da mortalidade e taxa de mortalidade padronizada (10.000 hab) anual de pessoas com 65 anos ou mais por DIC e DPOC em São Paulo durante o período de 2006 a 2015. ....	44
Figura 10: Variação da mortalidade e taxa padronizada (10.000 hab) mensal de pessoas com 65 anos ou mais por doenças do aparelho circulatório e respiratório em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.....	45
Figura 11: Variação da mortalidade e da taxa padronizada (10.000 hab) mensal de pessoas com 65 anos ou mais por DCB, AVCi e AVCh em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.....	46
Figura 12: Variação da mortalidade e da taxa padronizada (10.000 hab) mensal de pessoas com 65 anos ou mais por DIC, e DPOC em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.....	47
Figura 13: Boxplot da mortalidade e das variáveis meteorológicas e de poluição de acordo com as estações do ano, primavera (setembro, outubro e novembro), verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio) e inverno (junho, julho e agosto) durante o período de 2006 a 2015. ....	47
Figura 14: Variação diária da temperatura máxima, média e mínima do ar em São Paulo no período de 2006 a 2015. ....	49

Figura 15: Variação diária da umidade relativa do ar em São Paulo no período de 2006 a 2015.....	49
Figura 16: Variação diária do poluente MP <sub>10</sub> em São Paulo no período de 2006 a 2015. .....	50
Figura 17: Total de ondas de calor registradas em São Paulo durante os anos de 2006 a 2015. ....	51
Figura 18: Registro anual de ondas de calor em São Paulo de acordo com cada metodologia.....	52
Figura 19: Registro mensal de ondas de calor em São Paulo de acordo com cada metodologia.....	53
Figura 20: Número de ondas de calor por estação do ano no período de 2006 a 2015 de acordo com a metodologia de percentil (90, 92,5, 95 e 97,5) da TMED.....	54
Figura 21: Dias de ondas de calor para cada definição e para os anos de 2006 a 2011. .....	55
Figura 22: Dias de ondas de calor para cada definição e para os anos de 2012 a 2015. .....	56
Figura 23: Total de ondas de frio registradas em São Paulo durante os anos de 2006 a 2015. ....	57
Figura 24: Registro anual de ondas de frio em São Paulo de acordo com cada metodologia.....	58
Figura 25: Registro mensal de ondas de frio em São Paulo de acordo com cada metodologia.....	59
Figura 26: Número de ondas de frio por estação do ano no período de 2006 a 2015 de acordo com a metodologia de percentil (3, 5 e 10) da TMED e TMIN.....	60
Figura 27: Dias de ondas de frio para cada definição e para os anos de 2006 a 2011 .....	61
Figura 28: Dias de ondas de frio para cada definição e para os anos de 2012 a 2015 .....	62
Figura 29: Efeitos das ondas de calor na mortalidade por doença cardiovascular (DCV), doença cerebrovascular (DCB), acidente vascular cerebral isquêmico (AVCi), acidente vascular cerebral hemorrágico (AVCh), doença cardíaca isquêmica (DIC), doença respiratória (RESP) e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) em pessoas com idade ≥65 anos com defasagem de 0 a 10 dias em São Paulo. (A) Efeitos das ondas de calor sem o controle da média diária da temperatura do ar (B) Efeitos	

adicionados das ondas de calor após controlar pela média diária da temperatura do ar. ....63

Figura 30: Efeitos das ondas de frio sob na mortalidade por doença cardiovascular (DCV), doença cerebrovascular (CBD), acidente vascular cerebral isquêmico (AVCi), acidente vascular cerebral hemorrágico (AVCh), doença cardíaca isquêmica (DIC), doença respiratória (RESP) e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) em pessoas com idade  $\geq 65$  anos com intervalo de defasagem de 0 a 21 dias em São Paulo. (A) Efeitos das ondas de frio sem o controle da média diária da temperatura do ar (B) Efeitos adicionado das ondas de frio após controlar pela média diária da temperatura do ar. ....64

Figura 31: Efeitos das ondas de frio (A e B) e ondas de calor (C e D) na mortalidade por doenças cardiovasculares (DCV) e doenças respiratórias (RESP) estratificado por sexo (feminino e masculino). ....66

Figura 32: Padrão espacial de agrupamentos de alto risco de (A) DCV (CVD) e DIC 9 Ischemic Heart Diseases), e (B) DCB (Cerebrovascular Diseases) e AVCi (Ischemic stroke), em pessoas com 65 anos ou mais. Os dados foram coletados na cidade de São Paulo, Brasil, de 2006 a 2015. Os números no mapa indicam os agrupamentos de mortalidade de alto risco. ....72

Figura 33: Distribuição da duração dos agrupamentos espaço-temporais das ondas de frio e de calor. ....73

Figura 34: Domínio modelado (A) Área de estudo, pontos vermelhos referem-se a estações meteorológicas observacionais. (B) Mapa de Zonas Climáticas Locais. ....79

Figura 35: (A) Temperatura média do ar a 2m de altura para a simulação WRF 'Urbana' durante o evento de onda de calor (26 de janeiro a 9 de fevereiro de 2014) e (B) Intensidade ICU do período de onda de calor em São Paulo. ....82

Figura 36: Temperatura média do ar a 2m de altura para o período de onda de calor em São Paulo (A) simulação 'Urbana' WRF, (B) 'Urbana T2m LRtstep', e (C) 'Urbana T2m LRavg'. ....83

Figura 37: Risco relativo (IC 95%) por aumento de  $1^{\circ}\text{C}$  acima do percentil 95 ( $25,5^{\circ}\text{C}$ ) para a população geral (overall) e estratificada por idade (0 a 64 anos e  $\geq 65$  anos) 84

Figura 38: Mortalidade estimada atribuída ao calor para a população com 65 anos ou mais de idade nas simulações 'Urbana T2m LRtstep' e 'Urbana T2m LRavg' durante o período de ondas de calor (26 de janeiro – 9 de fevereiro de 2014) e para as projeções climáticas (entre  $+1$  e  $+4$   $^{\circ}\text{C}$ ). ....85

Figura 39: Classes de rendimento do município de São Paulo de acordo com a média de rendimento mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares

permanentes agregado por área de ponderação: a) baixa renda (Low-income), (b) classe média (Middle-income), e (c) alta renda (High-income).....88

Figura 40: Risco relativo por classe de rendimento: Baixa renda (Low-income), Classe média (Middle-income), e Alta renda (High-income), estratificado pelo total da população (overall), 0-64 anos e com 65 anos ou mais de idade.....90

Figura 41: Taxa de mortalidade atribuída ao calor (por 100 mil habitantes) de pessoas com 65 anos ou mais de idade. a) Taxa de mortalidade atribuída ao calor no município de São Paulo, b) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de baixa renda, c) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de classe média, d) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de alta renda.....92

## Lista de tabelas

Tabela 1: Índices de extremos de temperatura do ar recomendados pelo ETCCDMI 9	
Tabela 2: Heat Index .....	11
Tabela 3: Heat Index e classificação dos limiares .....	11
Tabela 4: Respostas fisiológicas e comportamentais à ativação de termorreceptores .....	17
Tabela 5: Tipos de Ilha de Calor Urbano segundo Oke (1995) .....	23
Tabela 6: Definição das ondas de frio .....	37
Tabela 7: Definição das ondas de calor .....	37
Tabela 8: Medidas descritivas da mortalidade diária de pessoas com 65 anos ou mais de idade por doenças do aparelho circulatório e respiratório durante o período de 2006 a 2015. ....	41
Tabela 9: Taxa de mortalidade padronizada por causa básica de pessoas com 65 anos ou mais de idade por 10 mil habitantes durante o período de 2006 a 2015. ....	45
Tabela 10: Medidas descritivas das variáveis meteorológicas e de poluição no período de 2006 a 2015.....	48
Tabela 11: Ondas de calor com maior duração para uma das classificações .....	54
Tabela 12: Ondas de frio com maior duração para uma das classificações.....	60
Tabela 13: Agrupamentos espaço-temporais DCV, DIC, DCB e AVCi em pessoas com 65 anos ou mais localizadas na cidade de São Paulo, Brasil, de 2006 a 2015. 71	
Tabela 14: Agrupamentos de alto risco espaço-temporais de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais na cidade de São Paulo, Brasil por causa do óbito, ondas de frio e de calor no período de 2006-2015.....	73
Tabela 15: Rede de estações meteorológicas.....	77
Tabela 16: Total da população, óbitos e a média da T2m por classe de rendimento .....	89
Tabela 17: Risco relativo por classe de rendimento estratificado por idade (total da população, 0-64 anos e $\geq$ 65 anos .....	90

Tabela 18: Mortalidade atribuída e taxa de mortalidade atribuída (por 100 mil habitantes) ao calor de pessoas com 65 anos ou mais de idade durante a onda de calor de 2014 por classe de rendimento.....93

## **Lista de abreviaturas e siglas**

AVC: Acidente vascular cerebral

AVCh: Acidente Vascular Cerebral Hemorrágico

AVCi: Acidente Vascular Cerebral Isquêmico

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CID-10: Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde

DATASUS: Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde

DCB: Doenças Cerebrovasculares

DCV: doenças cardiovasculares

DIC: Doenças Isquêmicas do Coração

DLM: Distributed Lag Model

DPOC: Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

DSS: Determinantes Sociais da Saúde

IAG: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

IC: Intervalo de confiança

ICU: Ilha de Calor Urbano

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MP10: Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor de 10  $\mu\text{m}$

OdC: ondas de calor

OdF: Ondas de frio

OMM: Organização Meteorológica Mundial –

OMS: Organização Mundial de Saúde

PROAIM: Programa de Aperfeiçoamento de Informações sobre Mortalidade do Município de São Paulo

RESP: Doenças respiratórias

RR: Risco Relativo

SIM: Sistema de Informações de Mortalidade

T2m: a temperatura do ar horária com 2m de altitude

WRF: Weather Research & Forecasting



## Sumário

Introdução.....	1
1. Objetivos .....	5
2. Eventos extremos de temperatura do ar, ambiente construído, condições socioeconômicas e saúde: embasamento teórico .....	7
2.1. Eventos extremos de temperatura do ar .....	7
2.2. Extremos de temperatura do ar e suas relações com a saúde humana ...	13
2.3. Doenças do aparelho circulatório .....	19
2.4. Doenças do aparelho respiratório .....	21
2.5. Ambiente construído - Ilha de Calor Urbano .....	23
2.6. O contexto socioeconômico .....	25
3. Área de estudo .....	31
4. O impacto das ondas de frio e de calor na mortalidade .....	33
Resumo do capítulo.....	33
4.1. Materiais e métodos .....	35
4.2. Resultados .....	40
5. Associação entre os efeitos das ondas de calor e das ondas de frio e os agrupamentos espaço-temporais de alto risco de mortalidade .....	67
Resumo do capítulo.....	67
5.1. Materiais e Métodos .....	69
5.2. Resultados .....	71
6. Mortalidade atribuída à Ilha De Calor Urbano .....	74
Resumo do capítulo.....	74
6.1. Materiais e Métodos .....	76
6.2. Resultados .....	82
7. Mortalidade atribuível ao calor associada às classes de rendimento .....	86
Resumo do capítulo.....	86
7.1. Materiais e Métodos .....	87
7.2. Resultados .....	89
8. Resultados principais .....	94
9. Discussão .....	97
10. Medidas e estratégias de minimização dos efeitos dos eventos extremos de temperatura do ar na saúde .....	105
11. Pontos fortes e limitações.....	108

12. Considerações finais.....	111
Referências .....	112
APÊNDICE .....	127

## Introdução

Nas últimas décadas, o mundo tem visto um rápido crescimento urbano e uma transformação substancial do meio ambiente. Atualmente, metade da população global vive em áreas urbanas, e a proporção de pessoas que residem em cidades deve aumentar de 56,2% em 2020 para 68,4% em 2050 (UN, 2022). O rápido processo de crescimento urbano pode ser associado, sobretudo, com a diminuição da mortalidade, queda da taxa de fecundidade, aumento da população com 65 anos ou mais de idade (aumento da expectativa de vida) e melhorias e desenvolvimento nas áreas sociais, econômicas e de infraestrutura urbana que podem proporcionar o aumento do bem-estar. No entanto, também se associa à segregação, pobreza e o aumento dos riscos à saúde humana.

A maneira que as cidades são planejadas, bem como a sua infraestrutura, têm um impacto significativo na propagação de doenças infecciosas e agravos de doenças crônicas, especialmente por aquelas que são associadas às transformações ambientais decorrentes do rápido crescimento urbano. Diversos estudos epidemiológicos (ÅSTRÖM; FORSBERG; ROCKLÖV, 2011; GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; XU et al., 2016; GUO et al., 2017; CHEN et al., 2019) apontam que aumento do risco de internações hospitalares e da mortalidade estão relacionados aos eventos extremos de temperatura de ar (ondas de frio e de calor) em cidades ao redor mundo. Em 2003, uma onda de calor intensa atingiu 12 países na Europa nas duas primeiras semanas de agosto e, como resultado, ocorreram mais de 70.000 mortes prematuras. Destes, Portugal e França foram os países que registraram o maior número de óbitos neste período (ROBINE et al., 2008). Países em outros continentes, como Estados Unidos (ANDERSON; BELL, 2011), China (MA et al., 2015) e Austrália (TONG; WANG; BARNETT, 2010), também apontam os efeitos dos episódios de extremos de calor que colaboraram para o aumento da mortalidade.

O excesso da mortalidade relacionada à ocorrência dos eventos extremos de temperatura do ar nas áreas urbanas, tornou-se uma grande preocupação ambiental e de saúde pública, uma vez que os impactos das mudanças climáticas, especialmente os extremos de calor, serão mais frequentes, longos e intensos no futuro próximo (MEEHL; TEBALDI, 2004; IPCC, 2022).

Um estudo recente mostra em projeções que risco de mortes relacionadas às ondas de calor tendem a aumentar mais no Brasil e em outras áreas tropicais e subtropicais do que nos EUA e países europeus, se nenhuma estratégia de mitigação e adaptação for aplicada para reduzir os efeitos das ondas de calor na saúde humana (GUO et al., 2018). Embora a maioria dos estudos abordem os efeitos das ondas de calor e eventos de calor na mortalidade nos últimos anos, o alto risco de morte relacionadas aos eventos de frio também permanece alto em algumas áreas (GASPARRINI et al., 2015, 2017).

A vulnerabilidade da população à mortalidade relacionada às ondas de frio e de calor pode ser determinada por meio de uma combinação de vários fatores, incluindo comportamento individual, fatores fisiológicos, genética, idade, comorbidades, gênero, isolamento social, status socioeconômico, capacidade adaptativa e o ambiente construído urbano (BENMARHIA et al., 2015; EBI et al., 2021; FOUILLET et al., 2006; SERA et al., 2019). As condições precárias de habitação e a capacidade térmica das construções podem interferir diretamente ou indiretamente no conforto térmico, bem como baixa renda, baixos níveis educacionais e a intensidade da Ilha de Calor Urbano, principalmente nos eventos de calor, também são fatores de risco que impactam os desfechos de saúde (TAN et al., 2010; TAYLOR et al., 2015; HEAVISIDE, VARDOULAKIS e CAI, 2016; ALMENDRA, SANTANA e VASCONCELOS, 2017; GAO et al., 2019; SERA et al., 2019; IUNGMAN et al., 2023).

Neste sentido, diversos estudos (SON et al., 2012; TONG et al., 2015; YIN et al., 2018; CHEN et al., 2019) destacam a idade como um dos fatores de risco de morte durante a ocorrência das ondas de frio e calor e relatam um aumento expressivo da mortalidade, principalmente entre a população mais velha com 65 anos ou mais de idade. A ocorrência dos extremos de temperatura do ar por vários dias consecutivos nos grandes centros urbanos é considerada um risco para a população com idade mais avançada, devido ao fato de possuírem frequentemente maiores vulnerabilidades sociais, limitações financeiras, uma baixa capacidade fisiológica e menor capacidade de regulação da temperatura corporal, além de apresentarem um maior risco de morte por doenças cardiovasculares e respiratórias tornando-as mais suscetíveis às mudanças de temperatura e aos seus extremos de frio e calor se comparado com as mais novas (DIAZ et al., 2002; BUNKER et al., 2016; CHENG et al., 2018, 2019; HOPP; DOMINICI; BOBB, 2018; SONG et al., 2018; CHEN et al.,

2019). Quando exposto a temperaturas extremas (altas e baixas), o organismo pode ficar sobrecarregado na tentativa de se resfriar ou se aquecer, causando, por exemplo, vasoconstrição, aumento da pressão sanguínea e da viscosidade do sangue e o aumento da probabilidade de complicações cardiovasculares e respiratórias (KEATINGE et al., 1986; KOSKELA et al., 1994; KOSKELA; KOSKELA; TUKIAINEN, 1996; AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997; KOSKELA, 2007; TANSEY; JOHNSON, 2015; LEPEULE et al., 2018)

Os estudos dessa temática são bem estabelecidos na literatura internacional, no entanto o conhecimento da relação entre os múltiplos fatores de risco que podem contribuir para o excesso da mortalidade durante as ondas de frio e de calor é limitado, principalmente em países da América Latina. A maioria dos estudos realizados nas cidades brasileiras não consideram a escala intraurbana, as características de cada lugar, como as condições socioeconômicas, o padrão espacial, tampouco outras variáveis do ambiente urbano construído, como o impacto da intensidade da Ilha de Calor Urbano para avaliar como os diferentes fatores de risco podem estar associados ao excesso de mortalidade à ocorrência dos eventos extremos de temperatura do ar.

A cidade de São Paulo é a maior da América Latina, com uma população estimada em mais de 12,3 milhões de habitantes em 2021 (IBGE, 2022). Tem uma população de pessoas com 65 anos ou mais que cresce significativamente a cada ano, altos níveis de desigualdades socioeconômicas e um número considerável de pessoas que vivem em favelas ou em condições precárias de moradia. A cidade também se destaca por sua estrutura urbana e sua diversidade na ocupação e uso do solo, que podem impactar o clima local. Desta maneira, essa pesquisa visa compreender e estimar a relação entre os eventos extremos de temperatura, tanto de frio quanto calor, e a mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais de idade que vivem em São Paulo, levando em consideração o contexto socioeconômico e do ambiente construído (Ilha de Calor Urbano). Ademais, exploraremos aqui a hipótese de que as ondas de frio e de calor contribuem para o aumento da mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais de idade em São Paulo e que as características socioeconômicas e do ambiente construído do lugar onde a população estudada reside podem estar associadas ao excesso de mortalidade relacionada ao calor e às ondas de calor.

Esta tese está organizada em doze capítulos, os três primeiros capítulos abordam os objetivos, o embasamento teórico e a área de estudo, sendo que os

capítulos 4 - O impacto das ondas de frio e de calor na mortalidade (referente ao artigo publicado “*Impact of heat waves and cold spells on cause-specific mortality in the city of São Paulo, Brazil*” no periódico *International Journal of Hygiene and Environmental Health* em 2022), 5 – Associação entre os efeitos das ondas de calor e das ondas de frio e os agrupamentos espaço-temporais de alto risco de mortalidade referente ao artigo publicado “*Space-time clusters of cardiovascular mortality and the role of heatwaves and cold spells in the city of São Paulo, Brazil*” no periódico *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* em 2023) 6 - Mortalidade atribuída a Ilha de Calor Urbano e 7 - Mortalidade atribuível ao calor associada às classes de rendimento, buscam responder as principais questões que norteiam esta pesquisa e alcançar os objetivos propostos. Nesses capítulos (5 ao 7) apresentamos a metodologia utilizada e descrevemos os resultados adquiridos. Por conseguinte, os demais capítulos representam, de maneira geral, a discussão e sistematização dos resultados principais obtidos nesta tese, além de apresentar os pontos fortes e limitações encontradas, possíveis medidas e estratégias que podem colaborar para a minimização dos impactos dos eventos extremos de temperatura do ar na saúde e as considerações finais.

Por fim, acreditamos que esta pesquisa possa colaborar no desenvolvimento e criação de políticas públicas essenciais que buscam minimizar os efeitos negativos causados pelos eventos extremos de temperatura do ar na saúde, principalmente nas populações mais vulneráveis que vivem em megacidades, como São Paulo.

## 1. Objetivos

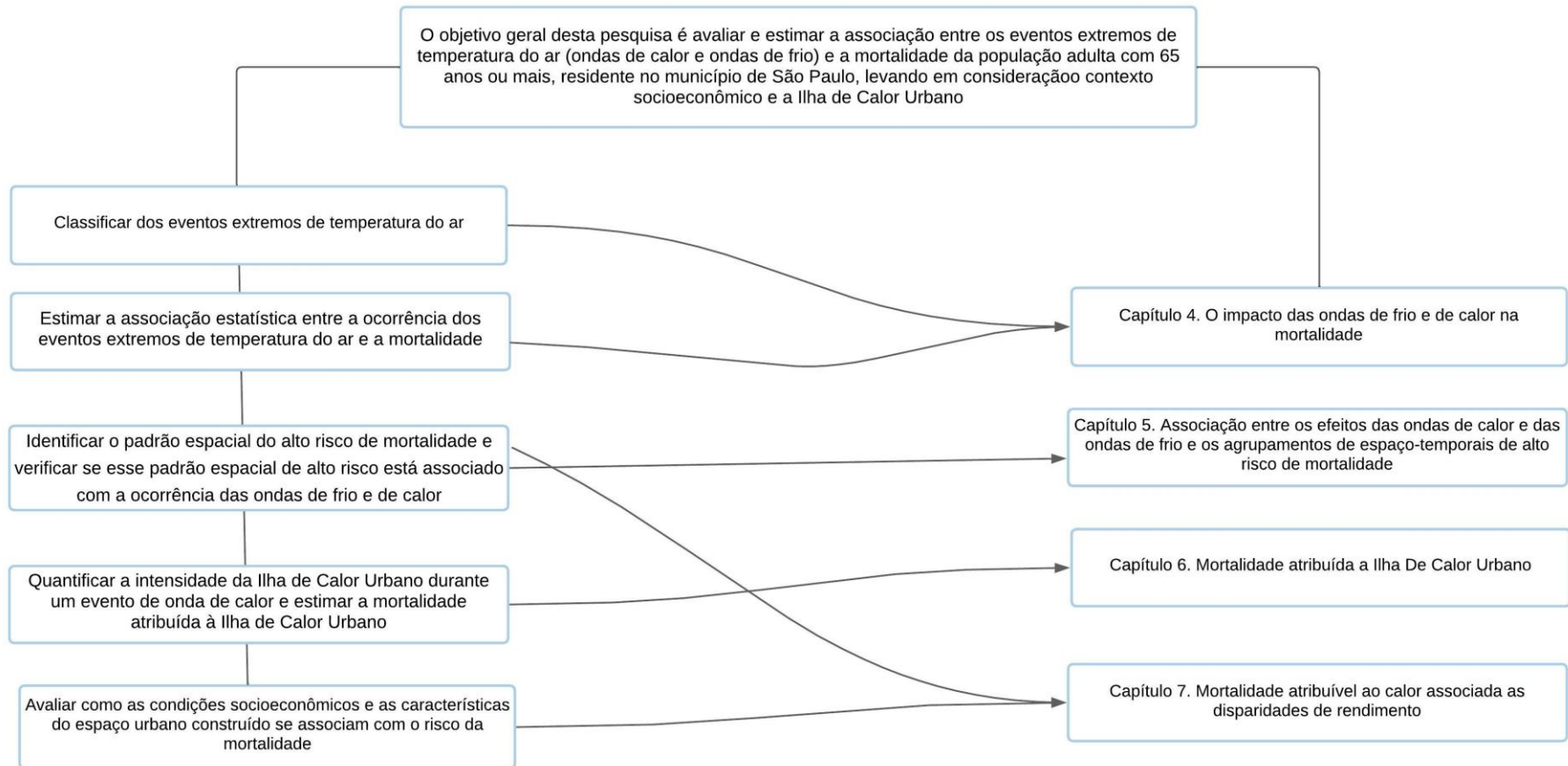
O excesso de mortalidade associada à ocorrência de eventos extremos de temperatura do ar é resultado de um complexo conjunto de fatores de risco, incluindo as características fisiológicas e comportamentais de cada indivíduo, idade, condições do ambiente construído, questões sociais e econômicas. Portanto, é de fundamental importância compreender a vulnerabilidade da população relacionada às ondas de frio e de calor de um ponto de vista dos fatores de risco envolvidos.

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar e estimar a associação entre os eventos extremos de temperatura do ar (ondas de calor e ondas de frio) e a mortalidade da população adulta com 65 anos ou mais, residente no município de São Paulo, levando em consideração o contexto socioeconômico e a Ilha de Calor Urbano. Em termos específicos pretende-se:

- Classificar eventos extremos de temperatura do ar;
- Estimar a associação estatística entre a ocorrência dos eventos extremos de temperatura do ar e a mortalidade;
- Identificar o padrão espacial do alto risco de mortalidade e verificar se esse padrão espacial de alto risco está associado com a ocorrência das ondas de frio e de calor
- Quantificar a intensidade da Ilha de Calor Urbano durante um evento de onda de calor e estimar a mortalidade atribuída à Ilha de Calor Urbano; e
- Avaliar como as condições socioeconômicas e as características do espaço urbano construído se associam com o alto risco da mortalidade durante ondas de calor;

Na figura 1 é possível visualizar a representação esquemática de cada objetivo específico em relação com os capítulos 4, 5, 6 e 7.

Figura 1: Representação esquemática dos objetivos específicos com os capítulos 4, 5, 6, e 7





## 2. Eventos extremos de temperatura do ar, ambiente construído, condições socioeconômicas e saúde: embasamento teórico

### 2.1. Eventos extremos de temperatura do ar

Os eventos extremos de temperatura do ar, como as ondas de frio e as ondas de calor, são considerados períodos de condições de calor ou frio intenso e prolongado, que podem se estender por alguns dias consecutivos e que ultrapassam os valores médios habituais ou limiares específicos pré-estabelecidos (limiares relativos e absolutos), ou seja, são excepcionalidades que fazem parte da variabilidade natural do clima e que acontecem de maneira diferente do padrão habitual (ROBINSON, 2001; MONTEIRO et al., 2013; FANTE; ARMOND, 2016; GUO et al., 2017).

**Onda de Calor:** Um período de tempo quente marcado como incomum (temperatura do ar média, máxima e mínima diária) em uma região que persista pelo menos três dias consecutivos durante o período quente do ano, com base nas condições climatológicas locais (com base na estação), com as condições térmicas registradas acima dos limites determinados (WMO, 2018, p. 4, tradução nossa).

**Onda de Frio:** Clima frio marcado como incomum e caracterizado por uma queda acentuada e significativa das temperaturas do ar próximas da superfície (temperatura do ar média, máxima e mínima diária) em uma grande área que persiste abaixo de certos limites por pelo menos dois dias consecutivos durante a estação fria. "*Cool Spell*" refere-se às condições de temperatura persistentemente abaixo da média que ocorrem durante a estação quente (WMO, 2018, p. 5, tradução nossa).

Além disso, a Organização Meteorológica Mundial – OMM (*World Meteorological Organization - WMO* em inglês) caracteriza os eventos climáticos e de tempo extremo a partir da intensidade/magnitude (medição dos valores fora do padrão normal, podendo ser calculado com base em um valor absoluto, percentis, em um índice ou um conjunto de índices), duração (tempo de permanência, começo e término do evento), extensão (área geográfica afetada pelo evento extremo) e gravidade (grau de severidade do evento, indicação dos possíveis danos e impactos que podem ser associados a um evento) como sendo uma medida opcional para a caracterização dos eventos extremos climáticos e de tempo (WMO, 2018). Para as ondas de calor e de frio a OMM estabelece:

**Onda de calor:**

- Magnitude: Descrita pela comparação do índice de temperatura registrado (valor medido ou calculado) e seu limite. Outra opção para calcular a magnitude seria usar um método mais complexo usando variáveis adicionais. [Dados necessários: valores diários históricos e em tempo real de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) do ar, umidade relativa (UR), velocidade e direção do vento]
- Duração: computado no nível da estação. É definido como o número de dias consecutivos de acordo com os critérios. [Requisito de dados: observações de vários dias]
- Extensão: determinada pela porcentagem de estações em que o índice ultrapassa seu limite. Também pode ser determinado usando uma técnica de grade aplicada na magnitude ou usando critérios objetivos aplicados em um ou vários elementos, incluindo a computação do índice.

**Onda de frio:**

- Magnitude: Descrita pela comparação do índice de temperatura registrado (valor medido ou calculado) e seu limite, que também pode ser definido por um método sintetizado que inclui a taxa de queda nas últimas 24 horas e a temperatura mais baixa durante o evento. [Dados necessários: valores diários históricos e em tempo real de Tmax, Tmin]
- Duração: computado no nível da estação. É definido como o número de dias consecutivos que satisfazem os critérios fornecidos na definição. [Requisito de dados: observações de vários dias]
- Extensão: determinado pela porcentagem de estações em que o índice de temperatura atende aos critérios fornecidos na definição. Também pode ser determinado usando uma técnica de grade aplicada na magnitude ou usando o objetivo (WMO, 2018, p. 11, tradução nossa).

Entretanto, não existe um consenso na literatura de qual critério seria o mais adequado para a classificação dos extremos de temperatura, dado que a ocorrência desses fenômenos pode variar de acordo a variabilidade climática de cada local, bem como com o estágio do processo da mudança do clima (ROBINSON, 2001). Contudo, diversos métodos de classificação de eventos extremos de temperatura do ar se baseiam, principalmente, na duração (quantidade de dias) e na intensidade da temperatura do ar (máxima, mínima ou média).

A Equipe de Especialistas de Detecção, Monitoramento das Mudanças Climáticas e Índices (*Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices – ETCCDMI*, em inglês), projeto elaborado pela OMM em conjunto com as comissões de Climatologia (*Commission for Climatology – CCI*, em inglês) e o Programa de Pesquisa Climática Global (*World Climate Research Program – WCRP*, em inglês) desenvolveu um conjunto de índices de extremos climáticos, sendo que dos 27 índices, dezesseis estão relacionados à temperatura e onze à precipitação (ALEXANDER *et al.*, 2006; KLEIN TANK; ZWIERS E ZHANG, 2009).

Os índices de temperatura do ar recomendados pela ETCCDMI podem ser divididos em cinco categorias: (1) índices que consideram o percentil; (2) índices absolutos que representem os valores de temperatura máxima ou mínima dentro de uma estação ou ano; (3) índices com limites definidos como o número de dias em que um valor de temperatura ultrapassa acima ou abaixo o limite fixo; (4) índices de duração e (5) outros tipos de índices que não se adequaram às classificações anteriores (ALEXANDER *et al.*, 2006). Desta forma, pode-se ter como base as recomendações feitas pelo ETCCDMI, conforme mostra a tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Índices de extremos de temperatura do ar recomendados pelo ETCCDMI

Índice	Definição
TX90P	% de dias quando TX > 90P, com 5 dias de janela para o período de referência (1961-1990)
TN90P	% de dias quando TN > 90P, com 5 dias de janela para o período de referência (1961-1990)
Warm Spell Duration Index (WSDI)	Pelo menos 6 dias consecutivos de TX > 90P com janela de 5 dias para o período de referência
Faixa de temperatura diurna (DTR)	Faixa de temperatura diária: diferença média mensal entre TX e TN
Dias de Verão (SU)	Número de dias de verão: contagem anual de dias em que TX (temperatura máxima diária) > 25°C
Noites tropicais (TR)	Número de noites tropicais: contagem anual de dias em que TN (temperatura mínima diária) > 20°C
Máximo da temperatura máxima do ar (TXx)	Valor máximo mensal da temperatura máxima diária
Máximo da temperatura mínima do ar (TNx)	Valor máximo mensal da temperatura mínima diária
TN10P	% de dias quando TN < 10P, com janela de 5 dias para o período de referência (1961-1990)
TX10P	% de dias quando TX < 10P, com 5 dias de janela para o período de referência (1961-1990)
Cold Spell Duration Index - CSDI	Pelo menos 6 dias consecutivos de TN < 10P com uma janela de 5 dias para o período de referência
Dias de geadas (FD)	Número de dias de geada: contagem anual de dias em que TN (temperatura mínima diária) < 0°C
Dias de gelo (ID)	Número de dias de gelo: contagem anual de dias em que TX (temperatura máxima diária) < 0°C
Mínimo da temperatura máxima do ar (TXn)	Valor mínimo mensal da temperatura máximo diária
Mínimo da temperatura mínima do ar (TNn)	Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária
Duração da estação de crescimento (GSL)	Duração da estação de crescimento: Anual (1° de janeiro a 31 de dezembro no Hemisfério Norte (HN), 1° de julho a 30 de junho no Hemisfério Sul (HS)) conta entre o primeiro período de pelo menos 6 dias, com temperatura média diária TG > 5°C e o primeiro período após 1° de julho (1° de janeiro no HS) de 6 dias com TG < 5°C

Fonte: Adaptado de Klein Tank; Zwiers; Zhang, (2009). Tradução nossa.

TX: temperatura máxima do ar; TN: temperatura mínima do ar; TG: temperatura média diária; P: percentil.

Já o *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, em português) define as ondas de calor por meio do *Heat Wave Duration Index – HWDI* (Índice de Duração das Ondas de Calor, em português), que utiliza como critério um período de temperatura máxima do ar diária maior ou igual a 5°C em relação à temperatura média diária da normal climatológica (1960-1990) com uma duração de cinco dias consecutivos. Já as ondas de frio (*Cold Wave Duration Index – CWDI*, Índice de Duração de Ondas de Frio, em português) adotam cinco dias consecutivos de temperatura mínima diária menor ou igual a 5°C em relação à temperatura média diária do período base.

Em contrapartida, o *National Weather Service – NWS* (Serviço Meteorológico Nacional, em português) dos Estados Unidos, classifica seus extremos de calor a partir do *Heat Index – HI* (Índice de calor, em português) ou temperatura aparente. O HI foi elaborado, inicialmente, a partir dos resultados de pesquisas biometeorológicas realizadas por Steadman (1979), que utilizou diversos parâmetros meteorológicos e fisiológicos e de conforto térmico do corpo humano. O índice foi derivado, portanto, de múltiplas análises de regressão (ROTHFUSZ, 1990).

O cálculo do HI se baseia na combinação de parâmetros preestabelecidos e dos valores de umidade relativa do ar e temperatura do ar. É possível observar na equação abaixo como é realizado o cálculo do índice.

$$HI = -42.379 + (2.04901523 * T) + (10.14333127 * R) - (0.22475541 * T * R) \\ - (6.83783 * 10^{-3} * T^2) - (5.481717 * 10^{-2} * R^2) + (1.22874 * 10^{-3} * T^2 \\ * R) + (8,5282 * 10^{-4} * T * R^2) - (1.99 * 10^{-6} * T^2 * R^2)$$

Onde:

HI: Heat Index

T = temperatura do ar do bulbo seco (°F ou °C)

R = umidade relativa do ar (%).

De acordo com o NWS, os extremos de calor são classificados quando a temperatura aparente excede os 40,5°C ou 43,3°C (dependendo do lugar) por pelo menos dois dias consecutivos ou mais. Uma tabela (tabela 2) foi elaborada para a verificação da classificação do índice, dos extremos e também dos limiares considerados mais críticos para a saúde da população (tabela 3).

Tabela 2: Heat Index

Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)																			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
26,7	25,0	25,6	25,6	26,1	26,1	26,1	26,7	26,7	26,7	27,2	27,2	27,8	27,8	28,3	28,9	28,9	29,4	30,0	30,0	30,6
27,2	25,6	26,1	26,1	26,1	26,1	26,7	26,7	27,2	27,2	27,8	27,8	28,3	28,9	29,4	30,0	30,0	30,6	31,1	32,2	32,8
27,8	27,8	26,1	26,1	26,7	26,7	26,7	26,7	27,2	27,2	27,8	28,3	28,9	28,9	29,4	30,0	31,1	32,2	32,8	32,7	33,8
28,3	26,1	26,7	26,7	27,2	27,2	27,2	27,8	27,8	28,3	28,9	29,4	30,0	30,6	31,1	32,2	32,8	33,9	35,0	36,1	37,2
29,4	27,2	27,2	27,2	27,2	27,8	27,8	28,3	28,3	28,9	29,4	30,0	31,1	31,7	32,2	33,3	34,4	35,6	36,7	37,8	39,5
32,2	28,9	29,4	30,0	30,0	30,6	31,1	31,7	32,8	33,3	35,0	36,1	37,8	39,4	41,1	42,8	45,0	47,2	50,0	52,8	
35,0	31,1	31,7	32,8	32,8	33,9	34,4	35,6	37,2	38,9	40,6	42,8	45,0	47,8	50,6	53,3	56,7	60,0			
37,8	33,9	34,4	35,6	36,1	37,8	38,9	41,1	42,8	45,6	47,8	51,1	53,9	57,8	61,7	65,6	70,0				
40,6	36,1	37,2	38,9	40,0	42,2	44,4	46,7	49,4	52,8	56,7	60,6	65,0	69,4	74,4						
43,3	38,3	40,0	42,2	44,4	47,2	50,0	53,9	57,8	61,7	66,7	71,7	77,2								
46,1	41,1	43,3	46,1	49,4	52,8	56,7	61,7	66,7	72,2	78,3	84,4									
48,9	43,3	46,7	50,0	54,4	58,9	64,4	70,0	76,7	83,3											
51,7	45,6	49,4	54,4	60,0	66,1	72,8	80,0													

Fonte: Adaptado do NWS (<https://www.weather.gov/ama/heatindex>). Tradução nossa.

Tabela 3: Heat Index e classificação dos limiares

Classificação	Heat Index	Efeito no corpo humano
Atenção	26,6 °C a 32,2°C	Possível fadiga com exposição prolongada e/ou atividade física
Atenção extrema	32,3°C a 39,4°C	Insolação, câimbras ou exaustão relacionadas ao calor são possíveis com exposição prolongada e/ou atividade física
Perigo	39,5°C a 51,1°C	Câimbras ou exaustão, provavelmente, relacionadas ao calor e insolação devido a possível com exposição prolongada e / ou atividade física
Perigo extremo	≥ 51,6°C	Provável alto risco de insolação

Fonte: Adaptado do NWS (<https://www.weather.gov/ama/heatindex>). Tradução nossa.

O *Excess Heat Index* – *EHI* (Índice de Excesso de Calor, em português) representa mais uma classificação de ondas de calor. Este índice foi criado com o intuito de quantificar os extremos de calor na Austrália, por meio da definição do evento a partir do cálculo de significância (intensidade do evento) – *EHFsig* e de aclimatização – *EHIacc*. De modo que, o *EHFsig* se baseia em uma medida de um período de três dias em relação a um limite anual (percentil 95 da temperatura média do ar), enquanto o *EHIacc* considera a temperatura média dos 30 dias anteriores. (NAIRN; FAWCETT, 2015).

Rey et al. (2007) e os autores Vaneckova, Beggs e Jacobson (2010) definem os dias como sendo excepcionais a partir do critério de dois desvios padrão acima da temperatura média habitual. Apesar destes esforços, frequentemente estudos (GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; GUO et al., 2017, 2018; SONG et al., 2018)

classificam os eventos extremos de calor e de frio de acordo com valores distintos de percentis das temperaturas médias (TMED), mínimas (TMIN) e máximas (TMAX) do ar (TMED ou TMAX para as ondas de calor acima dos percentis 90, 92,5, 95, 97.5 e 99, sendo TMED ou TMIN para as ondas de frio abaixo dos percentis 3, 5 e 10) e consideram um período de duração de dois, três, quatro ou cinco dias consecutivos ou mais, dependendo de cada local.

Assim sendo, os eventos extremos de temperatura do ar sempre fizeram parte da variabilidade natural do clima. No entanto, pesquisas recentes (MEEHL; TEBALDI, 2004; IPCC, 2022) apontam que a ocorrência e o impacto dos eventos extremos de temperatura do ar nas últimas décadas, se tornaram cada vez mais frequentes e intensos. No Brasil, é possível observar a mesma tendência do aumento da frequência e da intensidade, especialmente, das ondas de calor ao longo dos anos (MARENGO; CAMARGO, 2008; BITENCOURT *et al.*, 2016, 2019; GEIRINHAS *et al.*, 2017).

Bitencourt *et al.* (2019) avaliaram os extremos de temperatura do ar no Brasil no período de 1961 a 2016. Os resultados mostram que as ondas de calor ocorrem em maior número se comparado com os eventos de frio, sendo possível observar que as ondas de calor se intensificaram, principalmente, nas regiões Nordeste, Norte e Sudeste enquanto as ondas de frio foram mais intensas nas latitudes mais altas (Sul e parte da região Sudeste) devido à ação das massas de ar frio.

A atuação dos sistemas atmosféricos como, por exemplo, as massas de ar, frentes frias, frentes quentes, ciclones, linhas de instabilidades, sistemas convectivos, Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS, além dos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, são muitas vezes fatores determinantes da intensidade e ocorrências dos eventos extremos de temperatura do ar. Segundo Mendonça e Romero (2012), as características do comportamento atmosférico durante as ondas de frio estão associados às pressões atmosféricas altas, baixa precipitação, céu claro, fase positiva da Oscilação Sul, *La Niña*, fase fria da Oscilação Decadal do Pacífico – ODP, Fase Negativa da Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e Fase Positiva da Oscilação Antártica.

Ao que se refere às ondas de calor, a ocorrência desses eventos é relacionada geralmente com circulações ciclônicas e anticiclônicas semi-estacionárias de altura positiva de 500hPa, em uma área específica, que produzem céu limpo, ventos fracos,

conduções e advecção de ar quente e condições quentes prolongadas na superfície (BLACK et al., 2004; MEEHL E TEBALDI, 2004).

As ondas de calor de Chicago em 1995 e de Paris em 2003 apresentaram um padrão de anomalias de altura geopotencial positiva de 500hPa (MEEHL; TEBALDI, 2004). Esse padrão também foi observado por Geirinhas *et al.* (2017) nas ondas de calor que ocorreram durante o período de 1961 a 2014 nas cidades de São Paulo, Porto Alegre, Brasília e Rio de Janeiro. Para os autores, essas anomalias estão associadas provavelmente com os anticiclones quase-estacionários devido aos deslocamentos anômalos para Oeste do Sistema Subtropical do Atlântico Sul e ao enfraquecimento da ZCIT e da ZCAS.

Ademais, as ondas de calor que acontecem em território brasileiro podem também estar relacionadas com a fase fria da Oscilação Decadal do Pacífico e com o fenômeno *El Niño* (MARENGO; CAMARGO, 2008; STRECK *et al.*, 2011; BITENCOURT *et al.*, 2016).

## **2.2. Extremos de temperatura do ar e suas relações com a saúde humana**

Atualmente, os eventos extremos de temperatura do ar estão entre as principais preocupações ambientais e de saúde. Diversos estudos epidemiológicos mostram que a ocorrência das ondas de frio e ondas de calor, por vários dias consecutivos, é considerada um risco significativo para a população dos grandes centros urbanos, pois se associa a elevadas taxas de mortalidade e de atendimentos emergenciais nos hospitais (MONTEIRO et al., 2013; XU et al., 2014; GUO et al., 2017; ORAY et al., 2018; SONG et al., 2018; CHEN et al., 2019).

Ainda que as ondas de calor aconteçam com maior periodicidade, os eventos extremos de frio também são expressivos e representam um fator de risco importante (MONTEIRO et al., 2013; RYTI; GUO; JAAKKOLA, 2016; HYRKÄS-PALMU et al., 2018; SONG et al., 2018; CHEN et al., 2019).

Ao avaliar os impactos dos eventos extremos de temperatura do ar associados à saúde, pesquisas apontam (CHENG et al., 2018, 2019; HOPP; DOMINICI; BOBB, 2018; SONG et al., 2018; CHEN et al., 2019) que o maior risco de internações e



mortalidade durante as ondas de frio e de calor foram encontrados nas populações mais frágeis, em particular, pessoas com 65 anos ou mais de idade.

Neste caso, as pessoas com idade mais avançada são consideradas mais suscetíveis às mudanças bruscas de temperatura em um curto período de tempo e seus extremos, porque possuem limitações fisiológicas quando submetidas ao estresse térmico, além de apresentarem outras doenças adquiridas ao longo da vida (comorbidades) e, muitas vezes, vulnerabilidades sociais e econômicas (STEPTOE; MARMOT, 2002; KENNEY; CRAIGHEAD; ALEXANDER, 2014; SERA et al., 2019; EBI et al., 2021).

Conforme envelhecemos, o equilíbrio das trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente por meio do sistema termorregulador se torna menos eficaz (SHIBASAKI, OKAZAKI E INOUE, 2013; BALMAIN *et al.*, 2018). O sistema termorregulador, por sua vez, é um mecanismo que procura manter a temperatura corporal estável, sendo uma das funções fisiológicas mais importantes para regular o funcionamento adequado do organismo (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997; BALMAIN et al., 2018). Portanto, a baixa eficiência do sistema termorregulador das pessoas idosas torna essa parcela da população mais vulnerável às mudanças de temperatura do ar e aos riscos de agravos relacionados às doenças cardiovasculares e respiratórias, quando expostas aos eventos extremos de temperatura (DIAZ et al., 2002; CHENG et al., 2018, 2019; SONG et al., 2018; CHEN et al., 2019).

Ao tratar as implicações das funções fisiológicas, deve-se levar em conta que os seres humanos são considerados homeotérmicos/endotérmicos, pois conseguem regular o próprio calor corporal, principalmente por meio da produção de calor como resultado do metabolismo (TANSEY E JOHNSON, 2015). O corpo humano em equilíbrio consegue manter uma temperatura estável aproximadamente entre 36°C e 37 °C, porém quando uma pessoa é incapaz de regular a temperatura corporal e entra em estresse térmico, por exposição aos extremos e/ou atividades físicas, o sistema termorregulador acessa vários mecanismos fisiológicos para manter o balanço térmico corporal (BALMAIN et al., 2018; TANSEY E JOHNSON, 2015).

O balanço térmico pode ser sustentado a partir da transferência de calor mediante aos processos de radiação, condução, convecção e evaporação. Tansey e Johnson (2015) expressam o equilíbrio térmico entre fatores internos e externos de acordo com a equação a seguir:



$$AC = M - T - E \pm R \pm C \pm CO$$

Onde:

AC: Armazenamento de calor.

M: Metabolismo (refere-se às reações químicas que ocorrem no corpo que produz calor)

T: Trabalho (trabalho externo realizado).

E: Evaporação (perda de calor para o ambiente à medida que a água é vaporizada das passagens respiratórias e da superfície da pele).

R: Radiação (é a radiação eletromagnética – calor - transferida para corpos sem contato, incluindo a luz ultravioleta radiação do sol e a radiação infravermelha do corpo.)

C: Condução (movimento do calor de / para o corpo diretamente a objetos em contato com o corpo).

CO: Convecção (transferência de calor para um gás ou líquido em movimento. A troca de calor por convecção é aumentada pelo movimento do corpo no ar ou na água ou movimento de ar ou água através da pele).

O centro de controle da termorregulação é realizado por uma hierarquia de estruturas neurais, principalmente pelo hipotálamo, sendo a região pré-óptica a mais importante no equilíbrio térmico (BOULANT, 2000; ROMANOVSKY, 2007). A região pré-óptica atua como um centro de coordenação a partir dos termorreceptores periféricos e centrais, os quais são divididos em dois subtipos: o primeiro responde aos estímulos do frio e está localizado majoritariamente na pele, sendo menos abundante se comparado com os receptores de calor; o segundo responde aos estímulos de calor e é encontrado no hipotálamo, medula espinhal, vísceras e grandes veias (TANSEY; JOHNSON, 2015).

O organismo humano responde às situações extremas de calor (com exercícios e/ou estresse térmico passivo) a partir do aumento da taxa de suor e do fluxo sanguíneo da pele (vasodilatação cutânea) com o intuito de resfriar o corpo. A vasodilatação auxilia na dissipação do calor, ou seja, os vasos sanguíneos subcutâneos se expandem e o sangue é levado para perto da superfície da pele, que por sua vez aumenta a dissipação de calor (figura 2) (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997; SHIBASAKI; OKAZAKI; INOUE, 2013; TANSEY; JOHNSON, 2015).

O mecanismo de resfriamento evaporativo por meio do suor é ativado após a vasodilatação, porém quando as condições de equilíbrio não forem restauradas por esses mecanismos o corpo se aquece ainda mais e ocorre a hipertermia

(AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997). À medida que a temperatura corporal profunda se eleva e atinge 40°C a insolação acontece, causando desmaios e falhas circulatórias, bem como fadiga, dor de cabeças, náusea, falta de ar, pulsação rápida entre outros sintomas que podem contribuir para o aumento do risco da mortalidade (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997).

Ao que se refere às pessoas adultas com 65 anos ou mais quando submetidas às altas temperaturas, estas apresentam alterações na transpiração durante o estresse térmico se comparado com grupos etários mais novos, devido a uma redução na quantidade de suor produzido pelas glândulas sudoríparas (BALMAIN et al., 2018).

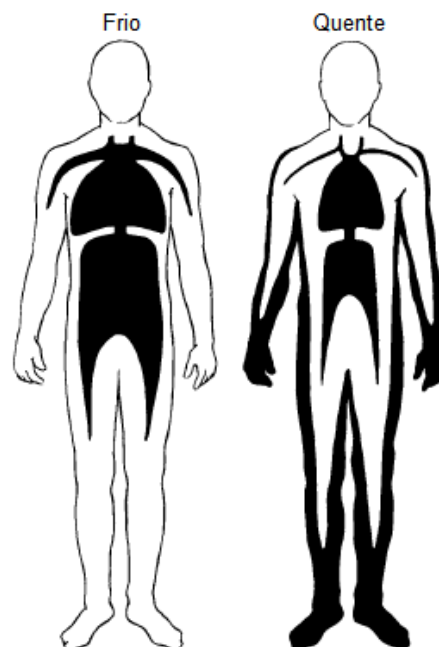


Figura 2: Distribuição do volume sanguíneo durante a exposição aos extremos de calor e frio  
Fonte: Adaptado de Rowell (2011).

Em contrapartida, as respostas corporais à exposição ao frio acontecem, inicialmente, por meio da vasoconstrição que reduz o fluxo sanguíneo cutâneo (o sangue passa da superfície da pele para as veias mais profundas), diminuindo assim a taxa de dissipação de calor e aumentando o gradiente entre a temperatura central e a periférica (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997; TANSEY; JOHNSON, 2015). A partir do momento em que esse mecanismo para de ser eficiente na tentativa de aquecer o corpo, ocorrerá a pilo ereção seguida por uma tensão muscular ou tremores, aumentando assim a produção de calor metabólico. Contudo, a população idade mais avançada possuem restrições fisiológicas que prejudicam o acionamento dos

tremores e o aumento da produção metabólica de calor (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997; SHIBASAKI; OKAZAKI; INOUE, 2013) e, em casos mais graves, o corpo entra em estado de hipotermia, podendo levar pessoas à morte quando a temperatura corporal atinge entre 25°C e 30°C, se não controlada medicamente (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997).

A gordura marrom (diferente da gordura comum) também é um mecanismo importante a ser considerado para a regulação da temperatura corporal. A gordura marrom são células gordurosas que possuem grande atividade metabólica que permite o aumento da taxa de calor metabólico mediante às ligações de adenosina com fosfato (termogenia), sua quantidade no corpo humano pode variar ao longo do ano e conforme o clima de cada localidade (TANSEY; JOHNSON, 2015; SALDIVA, 2018)

A quantidade de gordura marrom pode aumentar durante o inverno, entretanto, com o processo de adaptação às mudanças do clima o processo de funcionamento e do conteúdo de gordura marrom no corpo humano pode ficar comprometido, em particular nas pessoas com 65 anos ou mais de idade, pois perdem maiores quantidades de gordura marrom (SALDIVA, 2018).

Tansey e Johnson (2015) descrevem na tabela 4 de maneira resumida as principais reações e respostas fisiológicas aos estímulos de temperaturas elevadas e baixas no corpo humano.

Tabela 4: Respostas fisiológicas e comportamentais à ativação de termorreceptores

Temperatura corporal Estímulo	Sensores	Centro de controle	Efetores	Respostas
Aumento	Termorreceptores periféricos e centrais	Hipotálamo	1. Vasos sanguíneos da pele 2. Glândulas sudoríparas 3. Tecido endócrino 4. Comportamento	1. Vasodilatação arteriolar e anastomose arteriovenosa 2. Sudorese 3. Diminuição da taxa metabólica (adrenal e tireóideglândulas) 4. Atividade reduzida, posição corporal esticada e perda de apetite
Redução	Termorreceptores periféricos e centrais	Hipotálamo	1. Vasos sanguíneos da pele 2. Músculo eretor do pêlo 3. Músculos esqueléticos 4. Tecido endócrino 5. Comportamento 5. Tecido adiposo marrom	1. Anastomose arteriolar e vasoconstricção arteriovenosa 2. Piloereção e aprisionamento de ar 3. Termogênese trêmula 4. Aumento da taxa metabólica (glândulas supra-renais, tireóide e tecido adiposo marrom) 5. O aumento de atividade, posição do corpo encolhido e aumento do apetite 6. Termogênese sem tremores

Fonte: Adaptado de Tansey e Johnson (2015). Tradução nossa.

Para alguns autores, a exposição aos extremos de temperatura do ar pode colaborar, ainda, no aumento da pressão arterial, viscosidade sanguínea, quantidade de colesterol no sangue, redução da perfusão cerebral, batimentos cardíacos elevados, alternância do equilíbrio hídrico e eletrolítico, diminuição da capacidade de funcionamento do pulmão desencadeando assim, sintomas respiratórios e cardiovasculares (KEATINGE et al., 1986; RIBERA-CASADO, 1999; LEPEULE et al., 2018).

Os períodos de mais frio podem induzir alterações nas vias aéreas por meio do resfriamento da pele ou do resfriamento e secagem simultâneos da mucosa nasal, a secagem da mucosa nasal pode levar à broncoconstrição, piorando os quadros das pessoas com doença pulmonar obstrutiva crônica – DPOC e asma (KOSKELA; KOSKELA; TUKIAINEN, 1996; KOSKELA, 2007; SALDIVA, 2018).

Já o estresse térmico causado pelo calor, leva ao aumento da viscosidade do sangue e do débito cardíaco, o que pode resultar em desidratação e hipotensão, aumentando o risco de infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral em pessoas com a idade mais avançada (ROWELL, 2011; CHENG et al., 2019). Assim sendo, a habilidade fisiológica de manutenção constante da temperatura corporal durante períodos de estresse térmico de calor e de frio é um fator limitante em pessoas mais velhas, devido à combinação de fatores já citados anteriormente.

Levando isso em consideração, a literatura aponta que uma das principais associações do aumento do risco de mortalidade e de internações hospitalares de pessoas com 65 anos ou mais durante episódios de altas e baixas temperatura e durante eventos de ondas de calor e de onda de frio são por doenças do aparelho circulatório e respiratório (HAJAT; BIRD; HAINES, 2004; CHENG et al., 2018, 2019; SONG et al., 2018; CHEN et al., 2019).

As doenças cardiovasculares e respiratórias apresentam grandes taxas de mortalidade e internações hospitalares ao redor do mundo, estima-se que em 2017, 17,8 milhões de pessoas morrem por doenças cardiovasculares e 3,91 milhões por doenças respiratórias crônicas (GDB, 2018b). Essas doenças podem ser agravadas não somente pela exposição às temperaturas extremas, mas por fatores de risco como tabaco, poluição atmosférica, alimentação não saudável e falta de atividade física (STEPTOE; MARMOT, 2002; KENNY et al., 2010; SIMONI et al., 2015; BALMAIN et al., 2018).

Não obstante, os riscos de doenças relacionadas aos extremos de temperatura do ar podem ainda ser agravados nas pessoas com comorbidades, além de obesidade, desnutrição e diabetes mellitus, pois estes são fatores que diminuem a capacidade adaptativa do corpo às mudanças de temperatura (KENNY et al., 2010; SALDIVA, 2018).

Apesar das características biológicas e genéticas serem fatores determinantes para o aumento do risco da mortalidade nos períodos de ondas de calor e de frio, existem condições que vão além desses fatores e que influenciam na resiliência humana às mudanças do clima (SALDIVA, 2018).

### **2.3. Doenças do aparelho circulatório**

O sistema circulatório humano é constituído por artérias, capilares sanguíneos, veias e coração e se subdivide em sistema vascular do sangue e sistema vascular linfático. O sistema vascular do sangue é composto por pelo coração, artérias, capilares e as veias (ZHANG, 1999). O sistema circulatório é responsável pelo fluxo de sangue, nutrientes, oxigênio (e outros gases) e hormônios para as células, desenvolvendo, assim, diversos mecanismos importantes para o funcionamento do corpo humano (KEENER; SNEYD, 2009).

Atualmente, as doenças cardiovasculares – DCV são a principal causa de morte no mundo (GDB, 2018b). As DCV mais comuns são as doenças isquêmicas do coração que incluem o infarto agudo do miocárdio (ou ataque cardíaco), as doenças cardíacas pulmonares, doenças cerebrovasculares, como o acidente vascular cerebral – AVC, de acordo com a Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde – CID-10 encontrada no capítulo IX – doenças do sistema circulatório.

Dentre as doenças cardiovasculares, as doenças isquêmicas do coração são as que mais acometem os brasileiros (OLIVEIRA et al., 2022). As doenças isquêmicas do coração, também conhecidas como doenças arteriais coronarianas, ocorrem devido ao estreitamento das artérias cardíacas, esse estreitamento ou entupimento pode ser causado por um coágulo ou por acúmulo de placa gordurosas na artéria do coração (IOM, 2010). Segundo a publicação da Carga Global de Doenças (*Global Burden of Diseases – GDB*, em inglês), os anos de vida perdidos por doenças isquêmicas do coração aumentaram 27,5% em 2016 se comparado com o ano de

1990, enquanto a ocorrência de acidente vascular cerebral ocupa a segunda posição dos anos de vidas perdidos (GDB, 2018a).

Como citado anteriormente, diversos fatores de risco estão associados com as doenças cardiovasculares, como por exemplo, tabagismo, obesidade, sedentarismo, condições socioeconômicas e as variações de temperatura e seus extremos (STEPTOE; MARMOT, 2002; KENNY et al., 2010; SIMONI et al., 2015; BALMAIN et al., 2018).

Um estudo realizado no município de São Paulo (SON et al., 2016) mostra uma associação entre risco de mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias durante as ondas de calor e nos períodos em que a temperatura média é mais baixa. Os autores relatam os efeitos do frio na mortalidade é mais expressivo se comparado com o calor. Ikefuti; Barrozo e Braga (2018), ao analisarem a mortalidade por doenças cardiovasculares específicas, como o AVC (isquêmico e hemorrágico), observaram associações entre a temperatura média do ar e o alto risco de mortalidade no mesmo município. Os resultados apontam que as temperaturas mais baixas apresentaram maior risco relativo de mortalidade por AVC, especialmente por AVC hemorrágico em mulheres com 65 anos ou mais de idade. O AVC pode ser definido como um episódio agudo que causa a perda da função neurológica focal, resultante de um infarto ou hemorragia em uma parte relevante do cérebro, retina ou medula espinhal (HANKEY, 2017). O AVC se subdivide em dois subtipos: o AVC isquêmico e o AVC hemorrágico (HANKEY, 2017).

O AVC isquêmico ocorre por infarto cerebral, espinhal ou retinal focal, ou seja, é causado pela oclusão de um vaso cerebral que fornece uma área específica do cérebro (SACCO et al., 2013; PHIPPS; CRONIN, 2020). As pessoas adultas mais velhas são as mais afetadas por este tipo de AVC, porque apresentam fatores de risco como embolia, trombose e infarto lacunar (SPENCE; BARNETT, 2013). Já o AVC hemorrágico acontece quando um vaso sanguíneo se rompe e provoca sangramento no interior do cérebro (SACCO et al., 2013; HANKEY, 2017).

Existe uma vasta literatura que apresenta essas associações entre as ondas de frio, ondas de calor, limiares de temperatura do ar e a mortalidade por doenças cardiovasculares. Apesar disso, ainda é necessário aumentar o conhecimento sobre as causas de morte cardiovasculares em grupos etários específicos, fatores de risco

associados a eventos meteorológicos extremos e ao seu impacto não linear e defasado no tempo.

#### **2.4. Doenças do aparelho respiratório**

O sistema respiratório do corpo humano possui como função principal a troca gasosa (entrada de oxigênio que é importante para o funcionamento celular e saída do dióxido de carbono) entre o ambiente e o organismo, por meio das cavidades nasais e orais, nasofaringe, faringe, laringe, traqueia, brônquios, bronquíolos e pulmões (ZHANG, 1999; TU; INTHAVONG; AHMADI, 2013).

Funcionalmente, os órgãos do aparelho respiratório se dividem em duas zonas: a zona condutora e a zona respiratória. A parte condutora, do nariz aos brônquios, é responsável pelo transporte de ar (inspirado e expirado), sendo que o ar é filtrado, umedecido e aquecido, à medida que o ar é inspirado pela zona condutora (ZHANG, 1999). No que diz respeito à parte da zona respiratória, esta inclui a parte dos bronquíolos até os alvéolos, onde acontecem as trocas gasosas por meio do processo de difusão (TU; INTHAVONG; AHMADI, 2013).

Do ponto de vista da anatomia, o sistema respiratório é classificado como de trato superior e trato inferior. O trato superior é composto pelos órgãos que se localizam fora da cavidade torácica, incluindo, portanto, o nariz, faringe e laringe. As doenças que se associam ao trato superior são a faringite, rinite (alérgica ou não), amigdalite e sinusite. O trato inferior inclui traqueia, brônquios, bronquíolos, ductos alveolares e alvéolos e está relacionado com doenças crônicas como a asma e doença pulmonar obstrutiva crônica – DPOC (TU; INTHAVONG; AHMADI, 2013).

O sistema respiratório, por estar em contato com o ar por meio da inspiração e expiração, possui uma relação direta com o ambiente. Dessa maneira, os poluentes atmosféricos (monóxido de carbono – CO, ozônio – O<sub>3</sub>, óxido nítrico – NO<sub>2</sub> e material particulado – MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>) e a variação dos atributos climáticos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação e vento), além das limitações e características fisiológicas e comportamentais de cada indivíduo, se tornam fatores determinantes que podem contribuir para o aumento do risco de mortalidade e morbidade por doenças do aparelho respiratório, especialmente por doenças respiratórias crônicas que atingem as pessoas mais vulneráveis e é responsável por milhares de mortes



todos os anos (KOSKELA; KOSKELA; TUKIAINEN, 1996; MONTEIRO et al., 2013; SIMONI et al., 2015; HYRKÄS-PALMU et al., 2018; CHEN et al., 2019).

De acordo com a publicação da Carga Global de Doenças, em 2017, as doenças respiratórias crônicas são a terceira maior causa de morte no mundo dentre as doenças não comunicáveis, seguida pelas doenças cardiovasculares e neoplasias. Estima-se que mais de 3,2 milhões de pessoas morreram de DPOC no ano de 2015, representando um aumento de 11,6% se comparado com o ano de 1990 (GDB, 2017). No Brasil, a prevalência e a taxa de mortalidade por DPOC estão diminuindo ao longo dos anos (GONÇALVES-MACEDO et al., 2019).

A DPOC é uma doença comum evitável, que se caracteriza pela limitação do fluxo aéreo (obstrução da passagem do ar) pelos pulmões. O tabagismo e a poluição atmosférica são os principais fatores de risco para a DPOC, seguidos pelo fumo passivo e pela poluição do ar doméstica (VESTBO et al., 2013; GDB, 2017). Apesar disso, diversos estudos mostram que as comorbidades, a idade (pessoas com idade mais avançada são mais vulneráveis), os determinantes sociais e, também, as condições climáticas e de tempo podem colaborar para o agravamento da doença e para o aumento da mortalidade e morbidade (YIN et al., 2018; CHEN et al., 2019; ZHAO et al., 2019a, 2019b).

Considerando as condições de tempo e clima, a exposição ao frio é um importante fator de risco associado ao aumento do risco da mortalidade e morbidade por DPOC. Monteiro *et al.* (2013) observaram que as internações hospitalares por DPOC em Porto (Portugal) apresentam um excesso de 59% no inverno se comparado com os meses das outras estações. Neste estudo ainda, foram encontrados resultados que mostram que as ondas de frio são significativas no aumento da morbidade por DPOC.

Chen *et al.* (2019) avaliaram os efeitos das ondas de frio em 31 cidades chinesas. Suas análises apontam que o risco de mortalidade durante as ondas de frio foi maior entre as doenças respiratórias, em especial por DPOC, sendo as pessoas com 65 anos ou mais com menor escolaridade o grupo etário mais vulnerável.

Embora os mecanismos fisiopatológicos, que podem estar associados à exposição ao calor e às ondas de calor e os agravos dos sintomas da DPOC, serem incertos, várias publicações encontraram resultados estatisticamente significativos (SEMENZA et al., 1996; CHEN et al., 2015; YIN et al., 2018; ZHAO et al., 2019a).



Os resultados dos autores Zhao et al. (2019) mostram que o aumento do risco às internações hospitalares por DPOC no Brasil (aumento de aproximadamente 7%) podem estar associadas ao calor, principalmente na estação mais quente, e que a população idosa residente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste são mais sensíveis à exposição ao calor.

## 2.5. Ambiente construído - Ilha de Calor Urbano

A Ilha de Calor Urbano (ICU) é um fenômeno em que as temperaturas são geralmente mais altas nas áreas urbanas do que nas áreas rurais ou suburbanas e se explica, principalmente, pela diferença entre os tipos de materiais e superfícies que compõe as áreas urbanas (ambiente construído) e rurais que influenciam no balanço de energia (OKE, 1973; HEAVISIDE, et al., 2017). A intensidade da ICU é medida, portanto, a partir da diferença entre a temperatura entre as áreas urbanas e rurais (OKE, 1973). Para Oke (1995), a ICU pode ser classificada como: (I) Ilha de calor urbana de Subsuperfície, (II) Ilha de calor urbana superficial, (III) Ilha de calor urbana da camada de dossel e (IV) Ilha de calor urbana da camada limite, a tabela 5 mostra os quatro tipos de ICU a definição de cada uma, bem como a escala e os processos térmicos causais.

Tabela 5: Tipos de Ilha de Calor Urbano segundo Oke (1995)

Tipo de Ilha de Calor Urbano	Definição	Escala	Processos térmicos causais
Subsuperfície	diferenças entre os padrões de temperatura no solo sob a cidade, incluindo solos urbanos e o tecido construído da subsuperfície e o solo rural circundante.	Local	Balanço de energia subsuperficial
Superficial	diferenças de temperatura na interface da atmosfera externa com os materiais sólidos da cidade e interface ar-solo da área rural equivalente. Idealmente, essas interfaces compreendem suas respectivas superfícies completas.	Micro	Balanço de energia de superfície
Camada de dossel	diferença entre a temperatura do ar contido na camada de dossel urbano, a camada entre a superfície urbana e o nível do telhado e a altura correspondente na camada próxima à superfície da área rural	Local	Balanço de energia de superfície e balanço energético do volume de ar da camada do dossel urbano
Camada limite	diferença entre a temperatura do ar na camada entre o topo da camada de dossel urbano e o topo da camada limite urbana e da temperatura das altitudes semelhantes na camada limite atmosférica da região rural circundante	Local e meso	Balanço de energia no topo da subcamada de rugosidade e camada de limite balanço de energia

Fonte: Adaptado Oke, et al., (2017). Tradução nossa.

O primeiro estudo sobre a ICU foi realizado por Luke Howard em 1818, sendo uma temática muito estudada no mundo a partir de então, uma vez que o fenômeno é observado em diversas cidades e representa um dos exemplos da modificação do clima local pelas atividades humanas (OKE et al., 2017). De maneira geral, as principais causas do efeito da ICU são a falta de umidade superficial no ambiente urbano, calor antropogênico, características morfológicas urbanas e propriedades de materiais como concreto e asfalto que podem absorver e reter o calor (OKE, 1982, 1973).

O efeito da ICU pode ser potencializado durante a ocorrência das ondas de calor. Pesquisas mostram que as temperaturas urbanas durante eventos de ondas de calor são frequentemente associadas a diferenças entre áreas urbanas e rurais (FOUNDA e SANTAMOURIS, 2017; LI e BOU-ZEID, 2013). Founda e Santamouris (2017) demonstram que o efeito da ICU é maior durante uma onda de calor em comparação com os dias anteriores e posteriores ao evento. Os autores enfatizam que a baixa velocidade do vento e a falta de umidade nas áreas urbanas durante um período de onda de calor também podem contribuir para um aumento na intensidade de ICU em Baltimore, EUA. Além disso, na Grécia, a intensidade ICU pode ser em média 3,5°C maior em dias de ondas de calor do que em dias sem ondas de calor no verão (LI e BOU-ZEID, 2013).

Os efeitos da ICU, portanto, podem ser intensificados pela ocorrência de ondas de calor em diversas áreas da cidade e, conseqüentemente, pode representar um problema à população mais vulnerável, uma vez que infraestruturas urbanas com poucas áreas verdes e materiais que absorvem menor quantidade de calor contribuem para um maior desconforto térmico e podem aumentar os impactos negativos do calor extremo na saúde. Dessa maneira, o excesso de calor associado ao efeito da ICU é um aspecto considerado crucial para a saúde humana, pois pode contribuir para o aumento da mortalidade nas cidades (GOGGINS et al., 2012; HEAVISIDE et al., 2017, 2016; TAN et al., 2010; TAYLOR et al., 2015). Um estudo recente mostra que cerca de 4,33% (3,37% a 5,28%) de todas as mortes prematuras no verão podem ser atribuídas ao efeito da ICU em 93 cidades europeias em 2015 (IUNGMAN et al., 2023).

## 2.6. O contexto socioeconômico

Diversos pesquisadores buscam entender as relações e os mecanismos que geram as desigualdades e iniquidades em saúde em nossa sociedade. Para isso, consideram que o processo saúde-doença precisa ser avaliado a partir de várias dimensões e de fatores tanto do ponto de vista do indivíduo, quanto de um grupo de pessoas ou comunidades (SANTANA, 2014).

A relação entre saúde e doença de um indivíduo não se baseia apenas na idade, nas condições termorreguladoras, fisiológicas, genéticas e nas comorbidades (doenças adquiridas ao longo da vida), mas sim em um conjunto de interações e relações complexas de fatores, como os sociais, econômicos, de habitação, das estruturas urbanas, estilo de vida e do ambiente (SANTANA, 2014; SALDIVA, 2018).

Atualmente, existem diversas definições e abordagens que expressam essas interações e fatores que se associam com a ocorrência de problemas de saúde e os fatores de risco à população. Para a Organização Mundial de Saúde – OMS (2011) os Determinantes Sociais da Saúde – DSS são as condições em que as pessoas nascem, crescem, vivem, trabalham e envelhecem e, também, os sistemas que moldam as condições da vida cotidiana. Ou seja, o conceito de DSS resume o conjunto de fatores determinantes sociais, econômicos, políticos, culturais e ambientais.

Para a melhor descrição e compreensão desse conjunto de fatores que se relacionam com a saúde humana, foram desenvolvidos vários modelos. Dahlgren e Whitehead (1991) propuseram um modelo dos Determinantes Sociais da Saúde em camadas que envolvem desde os determinantes individuais até os macros determinantes (figura 3), o qual foi posteriormente adaptado por Barton e Grant (2006).

O modelo de Barton e Grant (2006) é composto por oito esferas essenciais que se associam e exercem influência sobre a saúde e o bem-estar das pessoas (figura 4). Essas esferas representam as características de cada indivíduo, bem como o estilo de vida, as relações de comunidade, capital social, condições e atividades econômicas e sociais, o ambiente físico (natural) e construído e o ecossistema global que envolve a biodiversidade e o clima. Segundo Barton e Grant (2006), o modelo pode colaborar para representar a interação de variáveis sociais, econômicas e ambientais na obtenção de condições mais saudáveis e sustentáveis.

Em contrapartida, o modelo de Diderichsen e Hallqvist (1998) foi adaptado por Diderichsen, Evans e Whitehead (2001) mostra como os contextos sociais criam a estratificação social que geram vulnerabilidades que prejudicam a saúde, por meio de determinados fatores econômicos e sociais e da disponibilidade de recursos materiais.

Além disso, o modelo apresenta que a posição social do indivíduo também colabora com a exposição aos riscos que causam danos à saúde (BUSS; FILHO, 2006).

A OMS, por sua vez, possui um modelo de DSS que se divide em três elementos fundamentais, que se conectam a partir do capital social (coesão social): o contexto sócio-político, os determinantes estruturais e os determinantes intermediários (figura 5).



Figura 3: Determinantes sociais da saúde por Dahlgren e Whitehead (1991)  
Fonte: Santana (2014) p. 78



Figura 4: Determinantes da saúde  
 Fonte: Barton e Grant (2006) p.23 adaptado de Dahlgren e Whitehead (1991)

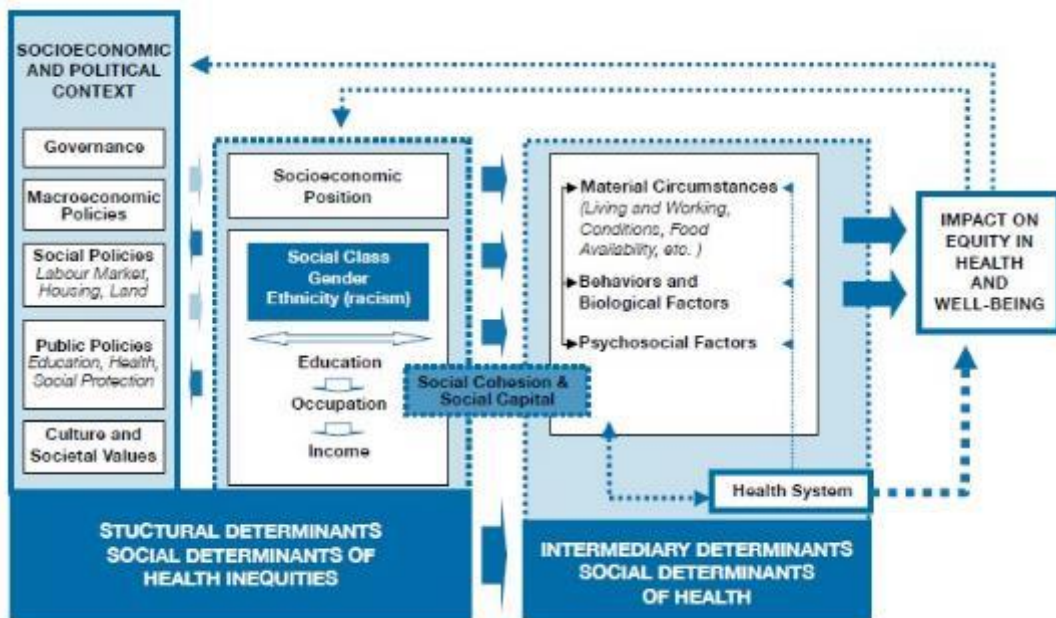


Figura 5: Estrutura Conceitual dos DSS da OMS.  
 Fonte: Solar; Irwin (2010)

O contexto sócio-político se refere aos fatores que não podem ser medidos no nível individual. Esses fatores são um conjunto de mecanismos políticos e sociais que geram e mantêm os padrões de estratificação da sociedade (hierarquias sociais),

levando em consideração o mercado de trabalho, as instituições políticas do sistema educacional e outros valores culturais e sociais, sendo que os fatores que mais afetam a saúde estão relacionados com o estado de bem-estar social e suas políticas ou a falta delas (SOLAR; IRWIN, 2010).

Já os determinantes estruturais são definidos, a partir da interação entre os fatores de contexto socioeconômico e político, os mecanismos estruturais que reforçam a divisão de classes e hierarquias (classe social, gênero, etnia, educação, distribuição de renda, ocupação entre outros) e a posição socioeconômica resultante dos indivíduos (SOLAR; IRWIN, 2010).

Os determinantes intermediários da saúde, por sua vez, estão relacionados com as condições de saúde dos indivíduos (fatores comportamentais, psicossociais e biológicos) e circunstâncias materiais (CDSS, 2010; SOLAR; IRWIN, 2010; OMS, 2011).

Deste modo, vários estudos procuram investigar e tentam explicar as causas das desigualdades em saúde, relacionando as variáveis sociais, econômicas, culturais, demográficas e os fatores de contexto, bem como a interligação entre eles. Para que assim seja possível identificar os grupos vulneráveis, além de como e o porquê essas variações em saúde ocorrem no tempo e espaço (SANTANA, 2014).

Nas últimas décadas, o uso de indicadores socioeconômicos, índices de privação social e a consideração das variáveis ambientais (sobretudo associadas às questões climáticas), tornaram-se mais frequente nas pesquisas, uma vez que demonstram relação significativa com o aumento do risco da mortalidade (STEPTOE; MARMOT, 2002; HAWKER et al., 2003; REY et al., 2007; OU et al., 2013; YANG et al., 2015; CHEN et al., 2019; CHENG et al., 2019). A exposição aos fatores de risco ligado as variáveis ambientais também se distribuem de forma desigual, sendo relacionada a renda, desemprego, educação, acesso à saúde, gênero, idade, entre outros, podendo o risco ambiental variar dependendo das vulnerabilidades da população (WHO, 2010).

Cutter *et al.* (2003), com o intuito de avaliar e identificar as vulnerabilidades sociais da população aos riscos ambientais e aos eventos extremos (temperatura do ar, precipitação, ciclones, entre outros), desenvolveram um índice (*The Social Vulnerability Index – SoVI*, Índice de Vulnerabilidade Social, em português) a partir de uma abordagem quantitativa integradora entre os fatores socioeconômicos, éticos,



habitacionais, estruturais e de acesso à saúde, das características do ambiente construído por meio da avaliação do padrão espacial (seja na escala de distrito ou de setores censitários). Este estudo serviu de base para outras pesquisas sobre as vulnerabilidades sociais e de saúde relacionadas com a ocorrência de eventos extremos, particularmente às ondas de calor. Além disso, o espaço (o lugar onde as pessoas vivem) é um fator importante a ser considerado, pois pode contribuir para a identificação dos diferentes níveis do risco e pode auxiliar no planejamento de políticas públicas.

Reid *et al.* (2009) foram os primeiros a elaborar um índice para verificar o padrão espacial da vulnerabilidade da população aos extremos de calor com uma escalada de agregação por setor censitário para os Estados Unidos, o *Heat Vulnerability Index* – HVI (Índice de Vulnerabilidade ao Calor, em português).

Os autores consideraram dez variáveis (% da população abaixo da linha de pobreza, % da população com menos de um diploma, % da população que não seja considerada branca, % da população vivendo sozinha, % da população  $\geq 65$  anos de idade, % da população  $\geq 65$  anos de idade vivendo sozinha, % da área censitária não coberta de vegetação, % da população diagnosticada com diabetes, % de famílias sem ar condicionado central e % de famílias sem qualquer ar condicionado) que, de acordo com a literatura, são significativas quando se trata da relação entre as elevadas temperaturas do ar e os desfechos de mortalidade e morbidade. O método utilizado se baseou inicialmente na análise de componentes principais – PCA, para limitar o número de variáveis e criar fatores independentes e, por conseguinte, foram calculados *scores* com seis categorias, sendo a categoria 1 a menor vulnerabilidade e a categoria 6 a maior vulnerabilidade.

Posteriormente, outros estudos (JOHNSON *et al.*, 2012; WOLF; MCGREGOR, 2013; BAI; WOODWARD; LIU, 2016; MÉNDEZ-LÁZARO *et al.*, 2018) desenvolveram o *Heat Vulnerability Index* com base na metodologia de Reid *et al.* (2009) para localidades distintas ao redor do mundo. Com o passar do tempo, outras variáveis foram consideradas, como o efeito das ilhas de calor, as características do ambiente construído e as variáveis socioeconômicas (demográficas e culturais) que melhor representassem as condições e vulnerabilidades de cada lugar. No entanto, a maioria desses índices de vulnerabilidade se limitam a encontrar as variáveis que representam maior risco relacionado a temperaturas extremas, não levando em consideração

variáveis de saúde (mortalidade ou internações), poucos estudos apresentam um padrão espacial do risco relacionado com as variáveis socioeconômicas.

O método mais amplamente utilizado para verificar a associação entre variáveis compreende a aplicação de modelos de regressão. Em geral, a análise estatística tem início com um modelo linear para explorar as relações entre a variável dependente (resposta de interesse) e as variáveis independentes (ou preditoras). Outros métodos, como os de autocorrelação e regressão espacial também podem permitir avaliar a associação entre os desfechos de saúde e as demais variáveis que possam estar associadas aos riscos de mortalidade, levando em consideração o espaço como um fator que também é significativo, permitindo assim, identificar os locais com as maiores e menores vulnerabilidades. A literatura recente mostra que poucas pesquisas abordam métodos espaciais de autocorrelação (INOSTROZA; PALME; BARRERA, 2016; BENMARHIA et al., 2017; VOELKEL et al., 2018) e regressões (BUSCAIL; UPEGUI; VIEL, 2012; ROSENTHAL; KINNEY; METZGER, 2014; URBAN et al., 2016) para relacionar as variáveis socioeconômicas, demográficas, culturais e do ambiente construído com os casos de mortalidade que ocorrem durante os eventos extremos de temperatura do ar ou, até mesmo, durante apenas um evento específico. Mesmo que a maioria desses estudos seja realizada em países europeus, asiáticos e norte-americanos.

Não obstante, nota-se que as ondas de calor apresentam um maior enfoque nas pesquisas na atualidade, devido ao fato do aumento da sua frequência e intensidade. No entanto, os eventos de ondas de frio continuam a acontecer e também apresentam riscos significativos à saúde e não devem ser ignorados.



### 3. Área de estudo

São Paulo se localiza na região Sudeste do Brasil (figura 6), possui uma população de aproximadamente 12,3 milhões habitantes (IBGE, 2022) e uma densidade populacional média de 7,398.26 hab/km<sup>2</sup>. A cidade cresceu de maneira rápida e se transformou substancialmente devido ao rápido processo de urbanização, passando por um processo de desconcentração (diminuição) do setor industrial para o crescimento do setor de serviços e financeiro, aprofundando ainda mais as suas contradições (CARLOS, 2007).

As diferentes paisagens que compõem São Paulo mostram uma hierarquia social, revelando segregação socioespacial (CARLOS, 2007). O Censo demográfico de 2010 aponta que 31,6% da população residente no município tinha uma renda per capita de meio salário mínimo, sendo que mais de 2 milhões de pessoas vivem em favelas ou em condições inadequadas de moradia (IBGE, 2022).

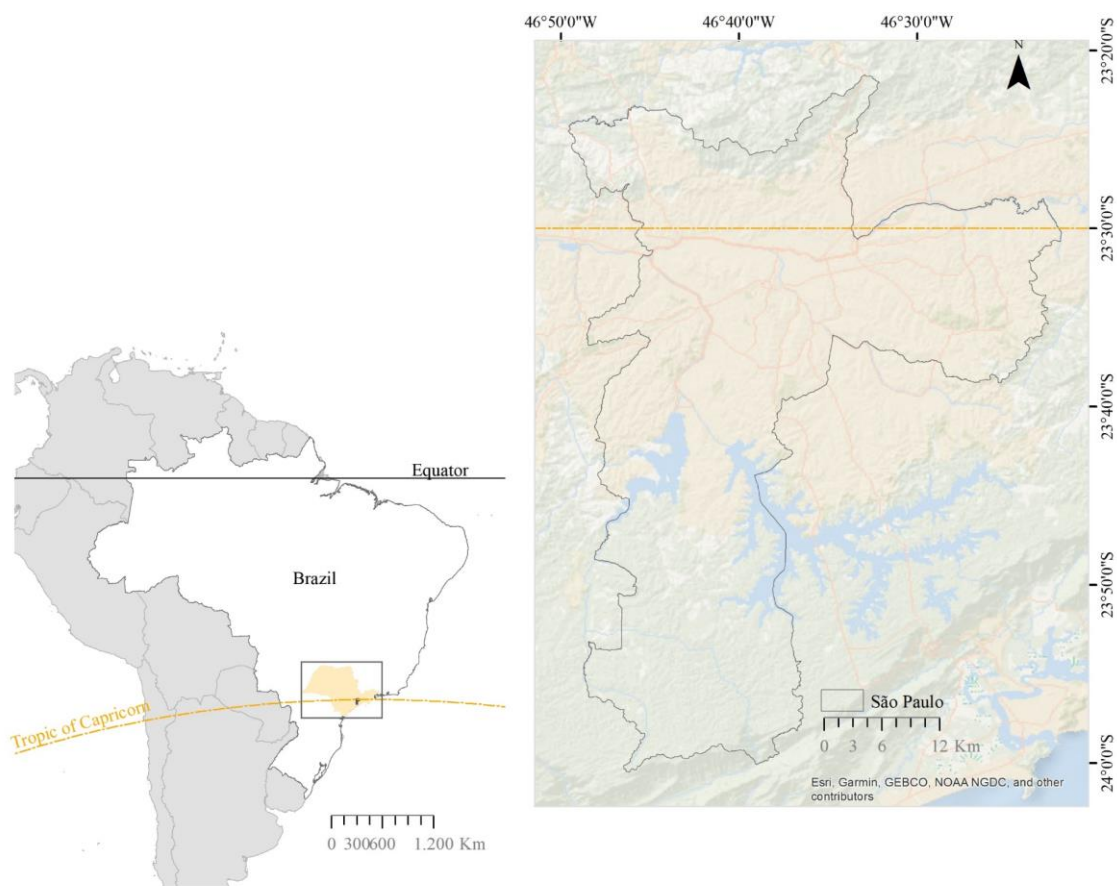


Figura 6: Mapa de localização da área de estudo  
Fonte: Moraes et al., (2022)

No que diz respeito ao clima do município de São Paulo, este é caracterizado por faixas zonais e regiões climáticas entre o Clima Tropical Úmido de Altitude (com período seco) e subtropical (úmido ao sul da faixa pela atividade frontal), tendo como principal aspecto a alternância das estações (MONTEIRO, 1969), sendo influenciado por vários controles de circulação e de sistemas atmosféricos como Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), das massas de ar Tropical atlântica - mTa, massa Tropical continental - mTc, e a massa Polar atlântica – mPa (NIMER, 1989). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, a cidade de São Paulo possui clima subtropical úmido.

De acordo com os dados da normal climatológica (1981 a 2010) a temperatura mínima do ar apresenta seus menores valores médios nos meses de junho, julho e agosto com 13,0°C, 12,3°C e 13,1°C respectivamente; fevereiro é considerado o mês mais quente, uma máxima média mensal de 28,8°C (INMET, 2021). A precipitação média mensal varia entre 288,2 mm em janeiro e 36,0 em agosto; a média anual da precipitação considerando a média climatológica é de 1616,0 mm (INMET, 2021).

Entre os anos de 2014 e 2015 o município passou por uma crise hídrica histórica. As características específicas de um anticiclone anômalo de alta pressão (*blocking high*) causou calor excessivo (dias quentes acima da média), agravado pela falta de chuvas e baixa mistura atmosférica devido à velocidade reduzida do vento entre janeiro e fevereiro de 2014 (MARENGO et al., 2015; NOBRE et al., 2016; SILVA et al., 2015). O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022) indicou que mais de sete dias no início de fevereiro marcaram a temperatura máxima média do mês (acima de 34,7°C) desde 1984. Toda a região Sudeste do Brasil foi afetada por 30 dias secos consecutivos (SILVA et al., 2015). Esta seca severa, que durou até 2015, combinada com um sistema de gestão de água ineficiente gerou escassez de água e crises hídricas que impactaram a demanda de água, a economia local e potencialmente aumentaram as vulnerabilidades da população (MARENGO et al., 2015). Nesta tese, além de analisar eventos de ondas de calor ao longo dos anos de 2006 a 2015, escolhemos um período específico de onda de calor para estimar a mortalidade atribuída, a onda de calor escolhida foi a que ocorreu em 2014 (26 de janeiro a 9 de fevereiro de 2014), por representar um evento de calor extremo que ocorreu durante um dos verões mais quentes e secos das últimas décadas e se estendeu por vários dias (NOBRE et al., 2016).

## 4. O impacto das ondas de frio e de calor na mortalidade

Este capítulo se refere ao artigo publicado “*Impact of heat waves and cold spells on cause-specific mortality in the city of São Paulo, Brazil*” no periódico *International Journal of Hygiene and Environmental Health* em 2022. (<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113861>)

### Resumo do capítulo

Diversos estudos epidemiológicos (Chen et al., 2020; Wang et al., 2016; Yang et al., 2019) relataram que a intensidade e a duração dos eventos extremos de temperatura do ar influenciam no aumento das taxas de mortalidade e morbidade pelo mundo. No entanto, ainda é preciso aumentar o conhecimento sobre os excessos de mortalidades relacionados às ondas de frio e de calor, particularmente nas cidades latino-americanas. Portanto, neste capítulo o objetivo principal é investigar a associação entre a mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais e as ondas de calor e de frio a partir de diferentes definições e causas de mortalidade no município de São Paulo no período de 2006 a 2015. A estimação da associação entre mortalidade por causa específica e eventos extremos de temperatura foi realizada a partir do modelo linear generalizado com uma distribuição de *quasi-Poisson* em conjunto com o modelo *Distributed Lag Model* que considera a defasagem. Classificamos os eventos extremos de temperatura do ar a partir de valores de percentis e duração, sendo analisadas 12 definições de ondas de calor e 9 de ondas de frio. Estudos como os de Son et al., (2016), Guo et al., (2017), Cheng et al., (2019) e Zhao et al., (2019a) usaram as mesmas definições de ondas de frio e de calor abordadas nesta pesquisa com dados de mortalidade e internações ao redor do mundo, e verificaram que esta classificação é representativa e apresentaram resultados significativos. Nossos resultados mostram um alto risco de mortalidade por causas específicas relacionadas a ondas de calor e de frio em várias definições estudadas. O maior risco de morte relacionado às ondas de calor foi identificado principalmente nos limiares de temperatura mais altos e com uma maior duração. Além disso, verificamos que os homens apresentam um risco maior de morte se comparado com as mulheres, principalmente nos desfechos relacionados com as doenças cerebrovasculares e com o acidente vascular cerebral isquêmico em dias de frio e ondas de calor, enquanto as mulheres apresentavam maior risco de morrer de doenças isquêmicas do coração

durante os períodos de frio e tendem a ter maior risco de morte devido a DPOC do que os homens durante as ondas de calor.

## **4.1. Materiais e métodos**

### **4.1.1. Aquisição de dados**

#### *Dados meteorológicos*

Foram obtidos dados meteorológicos diários de umidade relativa do ar e de temperatura máxima, média e mínima do ar da estação meteorológica do Parque de Ciência e Tecnologia, pertencente ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG da Universidade de São Paulo, para os anos de 2006 a 2015.

#### *Dados de poluição do ar*

Como a poluição do ar também contribui para agravar os quadros dos desfechos em saúde estudados, uma análise climática deve considerar também este componente, já que apresenta interações importantes com as variáveis meteorológicas. Para esta pesquisa, o material particulado com diâmetro aerodinâmico menor de 10  $\mu\text{m}$  (MP<sub>10</sub>) foi o poluente atmosférico escolhido para análise, por apresentar maior consistência dos dados para a série histórica e por ser um poluente que pode contribuir para o agravamento de doenças, especialmente, as respiratórias (ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012; NEWELL et al., 2017). Os dados diários do MP<sub>10</sub> foram obtidos na plataforma de base de dados Qualar (<http://ar.cetesb.sp.gov.br/qualar/>) da Companhia Ambiental de São Paulo – CETESB, sendo consideradas onze estações automáticas (Cerqueira César, Congonhas, Grajaú, Interlagos, Itaim Paulista, Marginal Tietê, Mooca, Nossa Senhora do Ó, Parque Dom Pedro II, Pinheiros e Santo Amaro) para o cálculo da média diária.

#### *Dados de mortalidade*

Os dados de mortalidade diária da população ( $\geq 65$  anos de idade), com residência e ocorrência no município de São Paulo durante o período de estudo (2006 a 2015), foram disponibilizados pelo Sistema de Informações de Mortalidade – SIM, do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde – DATASUS. Os anos de 2006 a 2015 foram escolhidos para esta pesquisa, pois estão mais próximos do Censo de 2010.

Os registros dos óbitos contêm informações sobre o sexo, idade, código do município de residência, data, código do município de ocorrência e diagnóstico principal da causa do óbito de acordo com a Classificação Estatística Internacional de

Doenças e Problemas Relacionados à Saúde – CID-10. Para esta pesquisa foram consideradas as mortes por doenças cardiovasculares – DCV (CID-10: I00–I99) e respiratórias – RESP (CID-10: J00–J99), capítulos IX e X, respectivamente. Causas específicas como, Doenças Isquêmicas do Coração – DIC (I20 – I25), Doenças Cerebrovasculares – DCB (CID-10: I60 – I69), Acidente Vascular Cerebral Isquêmico – AVCi (CID-10: I63, I65 e I66) Acidente Vascular Cerebral Hemorrágico – AVCh (CID-10: I60, I61 e I62), e Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica – DPOC (CID-10: J40 – J44 e J47) também foram consideradas para as análises.

#### *Dados populacionais*

Para calcular a taxa de mortalidade nos anos de 2006 a 2015, utilizamos os dados referentes à população residente para o ano de 2010 do Censo Demográfico de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – IBGE, publicamente disponíveis em sua plataforma na internet (<https://www.ibge.gov.br/>). Já os dados para os demais anos de estudo utilizamos as projeções populacionais da Fundação SEADE (<https://www.seade.gov.br/>).

#### **5.1.2. Classificação dos eventos extremos de temperatura do ar**

Os eventos extremos de temperatura do ar foram classificados a partir do método do percentil de acordo com (GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; GUO et al., 2017; CHEN et al., 2019), para todo o período de análise (2006 a 2015). Para as ondas de calor (OdC) foram considerados os valores que excedem os percentis 90, 92.5, 95 e 97.5, da temperatura média do ar com duração de  $\geq 2$ ,  $\geq 3$  e  $\geq 4$  dias. Quanto às ondas de frio (OdF) classificamos a partir dos valores de temperatura média do ar abaixo dos percentis 3, 5 e 10 com duração de  $\geq 2$ ,  $\geq 3$  e  $\geq 4$  dias. Nas tabelas 6 e 7 é possível observar a intensidade e a duração de cada evento extremo de temperatura do ar analisados.

Tabela 6: Definição das ondas de frio

Definição das ondas de calor			
Nome da onda de calor	Temperatura do ar	Percentil	Definição da onda de calor
OdC_90_2d	TMED	90	Temperatura média do ar no percentil 90 com $\geq 2$ dias de duração
OdC_90_3d	TMED	90	Temperatura média do ar no percentil 90 com $\geq 3$ dias de duração
OdC_90_4d	TMED	90	Temperatura média do ar no percentil 90 com $\geq 4$ dias de duração
OdC_92_2d	TMED	92,5	Temperatura média do ar no percentil 92.5 com $\geq 2$ dias de duração
OdC_92_3d	TMED	92,5	Temperatura média do ar no percentil 92.5 com $\geq 3$ dias de duração
OdC_92_4d	TMED	92,5	Temperatura média do ar no percentil 92.5 com $\geq 4$ dias de duração
OdC_95_2d	TMED	95	Temperatura média do ar no percentil 95 com $\geq 2$ dias de duração
OdC_95_3d	TMED	95	Temperatura média do ar no percentil 95 com $\geq 3$ dias de duração
OdC_95_4d	TMED	95	Temperatura média do ar no percentil 95 com $\geq 4$ dias de duração
OdC_97_2d	TMED	97,5	Temperatura média do ar no percentil 97.5 com $\geq 2$ dias de duração
OdC_97_3d	TMED	97,5	Temperatura média do ar no percentil 97.5 com $\geq 3$ dias de duração
OdC_97_4d	TMED	97,5	Temperatura média do ar no percentil 97.5 com $\geq 4$ dias de duração

TMED: temperatura média do ar; P: percentil; d: duração em dias

Tabela 7: Definição das ondas de calor

Definição das ondas de frio			
Nome da onda de frio	Temperatura do ar	Percentil	Definição da onda de calor
OdF_3P_2d	TMED	3	Temperatura média do ar no percentil 3 com $\geq 2$ dias de duração
OdF_3P_3d	TMED	3	Temperatura média do ar no percentil 3 com $\geq 3$ dias de duração
OdF_3P_4d	TMED	3	Temperatura média do ar no percentil 3 com $\geq 4$ dias de duração
OdF_5P_2d	TMED	5	Temperatura média do ar no percentil 5 com $\geq 2$ dias de duração
OdF_5P_3d	TMED	5	Temperatura média do ar no percentil 5 com $\geq 3$ dias de duração
OdF_5P_4d	TMED	5	Temperatura média do ar no percentil 5 com $\geq 4$ dias de duração
OdF_10P_2d	TMED	10	Temperatura média do ar no percentil 10 com $\geq 2$ dias de duração
OdF_10P_3d	TMED	10	Temperatura média do ar no percentil 10 com $\geq 3$ dias de duração
OdF_10P_4d	TMED	10	Temperatura média do ar no percentil 10 com $\geq 4$ dias de duração

TMED: temperatura média do ar; P: percentil; d: duração em dias

### 5.1.3. Análise estatística

Inicialmente realizamos uma análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas, de poluição, de mortalidade e a definição dos eventos extremos de temperatura do ar por meio de análises de estatística básica como média, mediana, desvio padrão, distribuição de frequência das variáveis, entre outras medidas de resumo, bem como, cálculos de coeficiente de correlação de Pearson. A taxa de mortalidade padronizada por 10 mil habitantes foi calculada a partir do método direto, foram utilizados os dados de mortalidade referentes às pessoas com 65 anos ou mais que residiam e foram a óbito (considerando a estratificação etária de 65 a 69 anos, 70 a 74 anos e 75 anos ou mais) no município de São Paulo para os anos de 2006 a 2015 e causas específicas, considerando a população da OMS como referência padrão. A análise dos dados, bem como as representações gráficas foram realizadas nos softwares R e Excel.



### *Modelagem epidemiológica temporal*

Para verificar a associação entre a mortalidade e as diferentes definições dos eventos extremos de temperatura do ar utilizamos um modelo linear generalizado com uma distribuição de *quasi-Poisson* juntamente com um modelo de defasagem linear distribuído (*Distributed Lag Model – DLM*) para capturar os efeitos de defasagem, conforme mostrado em estudos anteriores (YIN et al., 2018; CHEN et al., 2019; ZHAO et al., 2019b) que avaliaram a relação entre a mortalidade e as ondas de frio e calor. Esta modelagem estatística é amplamente utilizada em estudos epidemiológicos, uma vez que permite verificar associações entre os efeitos das variáveis climáticas e ambientais, como a poluição do ar nos desfechos de saúde (mortalidade e internações). Esses modelos de defasagem (*lag*) utilizam as funções como a *cross-basis* que permite descrever as relações ao longo do espaço do preditor e dos efeitos da defasagem (GASPARRINI; ARMSTRONG; KENWARD, 2010). Além disso, os modelos de defasagem permitem incluir variáveis que podem auxiliar no desempenho e entendimento do modelo (diminuir os fatores de confusão entre a exposição e o seu desfecho), a partir do controle da sazonalidade, tendências de longo período, feriado, entre outros.

Conduzimos a análise dos modelos entre ondas de calor e de frio de maneira separada, para avaliar o efeito das ondas de calor na mortalidade foram considerados os meses que registraram as ondas de calor ao longo da séries de estudo (setembro a março) já para as ondas de frio consideramos os meses de abril a agosto, este recorte é muito comum na literatura (GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; GUO et al., 2017; ZHAO et al., 2019b), pois avalia apenas os meses mais quentes ou mais frios do ano com maior probabilidade de ocorrência dos eventos extremos de temperatura do ar. O modelo é representado pela equação abaixo:

$$\begin{aligned} \text{Log}(\mu_t) = & \alpha \text{cb}(ET_t \text{ lag}) + \text{ns}(UR_t \text{ df}) + \text{ns}(MP_{10t} \text{ df}) + \text{ns}(\text{dos}_t \text{ df}) \\ & + \text{ns}(\text{time}_t \text{ df}) + \text{feriado} + \text{dow} \end{aligned}$$

Onde:

$\mu_t$ : se refere ao número de mortes no dia t

$\alpha$ : intercepto

cb: *cross-basis*

lag: defasagem

ns: natural cubic splines



df: graus de liberdade (*degrees of freedom*)

ET: variável binária que representa as ondas de calor e de frio no dia  $t$  (1 = dia com OdC/OdF, e 0 = dia sem- OdC/OdF);

UR: média diária da umidade relativa do ar

MP<sub>10</sub>: Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor de 10  $\mu\text{m}$

dos: dia da estação (dias dos meses de estudo)

feriado: dias de feriados

dow: variável categórica para os dias da semana

time: tempo para avaliar as tendências de longo período (*long-time trend*)

O  $cb$  foi modelado a partir de uma função linear para a variável preditora e para os efeitos do *lag* na mortalidade consideramos o *ns* (WANG et al., 2016; LEE et al., 2018; GAO et al., 2019; SERA et al., 2019) com 2 *df* para as OdC e 3 *df* OdF, colocados em valores igualmente espaçados na escala logarítmica. Levando em consideração diversos estudos (GUO et al., 2017; CHEN et al., 2019; YANG et al., 2019), usamos 10 dias de *lag* para as OdC e 27 dias de *lag* para as OdF.

Potenciais fatores de confusão, como UR e MP<sub>10</sub>, foram controlados no modelo, a UR e MP<sub>10</sub> com *ns* e 2 *df*. Os modelos também foram ajustados para tendências de longo prazo (*time*) com 2 *df* por ano. A sazonalidade foi controlada usando a função *ns* com 2 *df* para o dia da estação (Dos). Feriados (Holiday) e dia da semana (Dow) foram adicionados ao modelo como variáveis categóricas segundo investigações recentes (GUO ET AL., 2017; YIN ET AL., 2018). Além disso, na segunda etapa, incluímos a temperatura média diária no modelo anterior para verificar os efeitos adicionados na mortalidade. A temperatura média diária foi controlada usando a função *ns* e 2 *df*.

Os efeitos adicionados foram estimados a partir da inserção da TMED no modelo representado na equação 1, a TMED foi controlada pela função *ns* com 2 *df*. Apesar dos efeitos adicionados sobre a mortalidade se apresentam como inconclusivos e controversos, muitos estudos (GASPARRINI E ARMSTRONG, 2011; GUO et al., 2017; LEE et al., 2018) encontraram resultados significativos decompondo os efeitos principais (efeitos independentes da alta temperatura diária) e adicionados em ondas de calor ou ondas de frio.

Estimamos o risco relativo (RR) acumulado (sem o controle da temperatura do ar) e adicionado (controlado pela temperatura do ar) com um intervalo de confiança (IC) de 95% para os dias de OdC/OdF comparando com os dias sem OdC/OdF. Calculamos o RR para cada definição de ET, por causa específica de morte e por

sexo. O RR representa a probabilidade de maior ou menor risco de um determinado desfecho, sendo que o  $RR > 1$  representa o alto risco,  $RR < 1$  baixo risco e  $RR = 0$  ausência de associação.

Realizamos uma análise de sensibilidade para estimar os melhores parâmetros do modelo, sendo que a seleção dos parâmetros levou em consideração o melhor ajuste com base nos critérios de Akaike (QAIC – Akaike para modelos com uma distribuição de *quasi-Poisson*). Calibramos os parâmetros do modelo alterando os *df* para: UR (2–4);  $MP_{10}$  (2–4); TMED (2–4); sazonalidade e tendências de longo prazo (1–4). Também testamos diferentes efeitos defasados para ET (OdC: 0–7 e 0–10 dias, *df* 2-4; OdF: 0–21 e 0–27 dias, *df* 2-4). Os parâmetros do modelo que foram selecionados a partir dos resultados do qAIC, com preferência aos valores mais baixos.

Além disso, calculamos a razão de risco relativo (RRR) de acordo com Altman e Bland (2003) para avaliar as diferenças entre os riscos relativos de mortalidade por causa específica estratificada por sexo. As diferenças de RR entre homens e mulheres já foram estimadas em estudos semelhantes (CHEN et al., 2019; YANG et al., 2019).

Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software R versão 4.0.2 (R CORE TEAM, 2022) com o pacote *dlnm* (GASPARRINI, 2011).

## **4.2. Resultados**

### **5.2.1 Análise descritiva dos dados**

Durante o período de 2006 a 2015 foram registrados 151.001 óbitos de pessoas com 65 anos ou mais de idade por doenças do aparelho circulatório e 64.778 mortes por doenças do aparelho respiratório. A tabela 8 mostra a quantidade de óbitos por doenças do sistema circulatório e respiratórias, DCB, AVCi, AVCh, DIC e DPOC, além disso, nota-se as medidas descritivas da mortalidade.

Dentre as doenças do sistema circulatório, as DIC possuem o maior número de óbitos diários (35), seguido pela DCB (26), das quais 14 óbitos diários são relacionados ao AVCi e 9 óbitos por AVCh. As menores médias de óbitos diários são por AVCh.

Tabela 8: Medidas descritivas da mortalidade diária de pessoas com 65 anos ou mais de idade por doenças do aparelho circulatório e respiratório durante o período de 2006 a 2015.

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1ºQ	Mediana	3ºQ	Máximo	Soma
Doenças do aparelho circulatório	41,3	8,3	18	35	41	47	77	151001
Doenças do aparelho respiratório	17,7	5,3	3	14	17	21	44	64778
DCB	10,4	3,4	1	8	10	13	26	38084
AVCi	3,1	2,0	0	2	3	4	14	11427
AVCh	2,1	1,5	0	1	2	3	9	7718
DIC	15,6	4,6	3	12	15	19	35	56885
DPOC	5,2	2,4	0	3	5	7	17	19148

Os anos de 2006 e 2009 apresentaram as maiores taxas de mortalidade por doenças do aparelho circulatório 176,0 e 171,7 respectivamente, com um total de óbitos de 14.245 em 2006 e 15.232 em 2009. Já as doenças do aparelho respiratório apresentaram as maiores taxas de mortalidade em 2014 (taxa de 71,8 e 7.361 óbitos) e 2006 (taxa de 71,6 e 5.792 óbitos).

A figura 7 ilustra a quantidade de casos e a taxa de mortalidade anual por doenças do aparelho circulatório e respiratório. Observa-se uma queda na taxa de mortalidade por doenças do aparelho circulatório durante o período de análise, sendo que as menores taxas de mortalidade ocorreram nos anos de 2014 e 2015 com valores de 151,1 e 150,8. Em contrapartida o ano de 2011 registrou a menor taxa (70,6) entre as doenças respiratórias.

Como observado na figura 8 a taxa de mortalidade por DCB varia entre 44,9 (3.636 óbitos em 2006) e 36,1 (3.805 óbitos em 2015), representando assim, uma queda da taxa no período. Nos subtipos de AVC, nota-se que os casos de AVCi apresentam maiores taxas de mortalidade anuais se comparado com AVCh.

A partir do ano de 2011 a 2014 a taxa de AVCi apresentou um crescimento, passou de 11,5 a 14,1 em 2014, sendo que em 2015 a taxa de óbitos por 10 mil habitantes foi de 13,8. As taxas e o número de casos por AVCh, no entanto, mostram uma variação menor durante os anos de estudos, as taxas anuais ficaram entre 7,8 em 2011 a 9,0 em 2008.

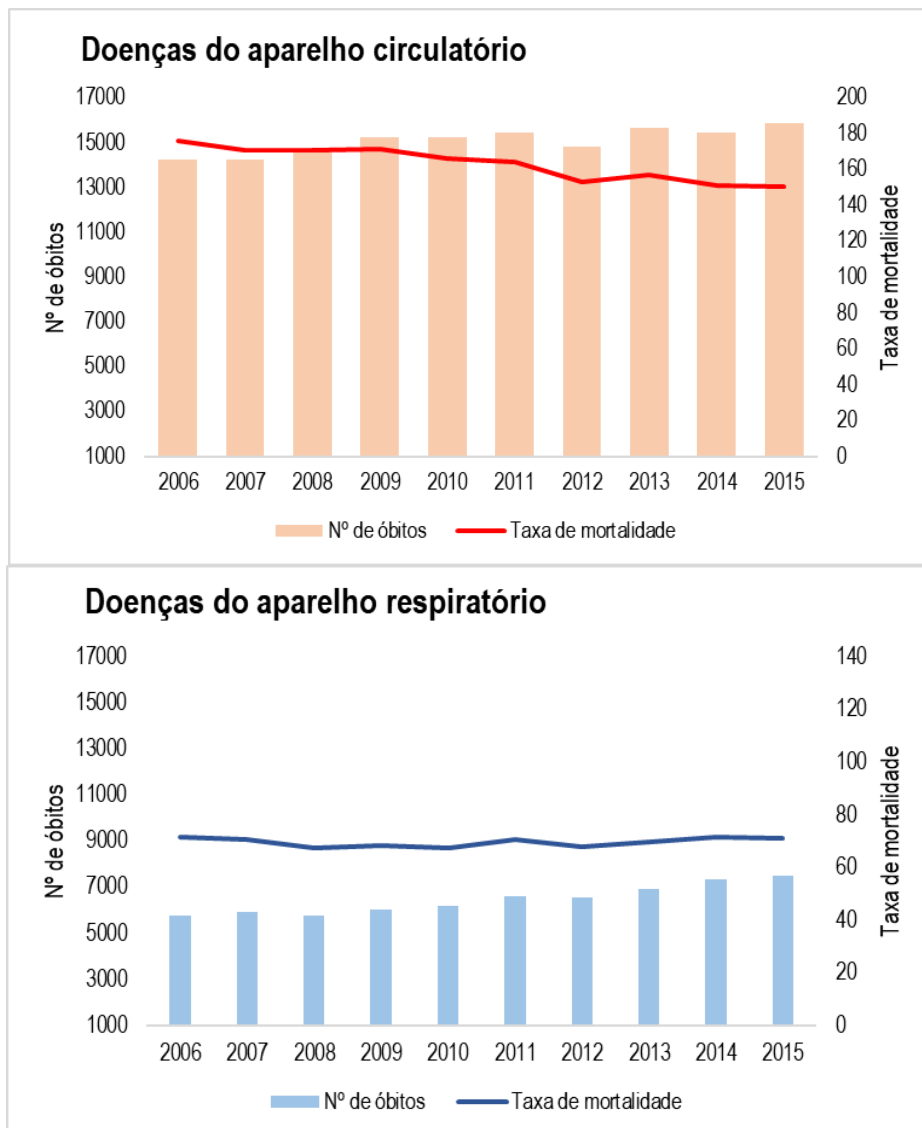


Figura 7: Variação da mortalidade e taxa de mortalidade padronizada (10.000 hab) anual de pessoas com 65 anos ou mais por doenças do aparelho circulatório e respiratório em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.

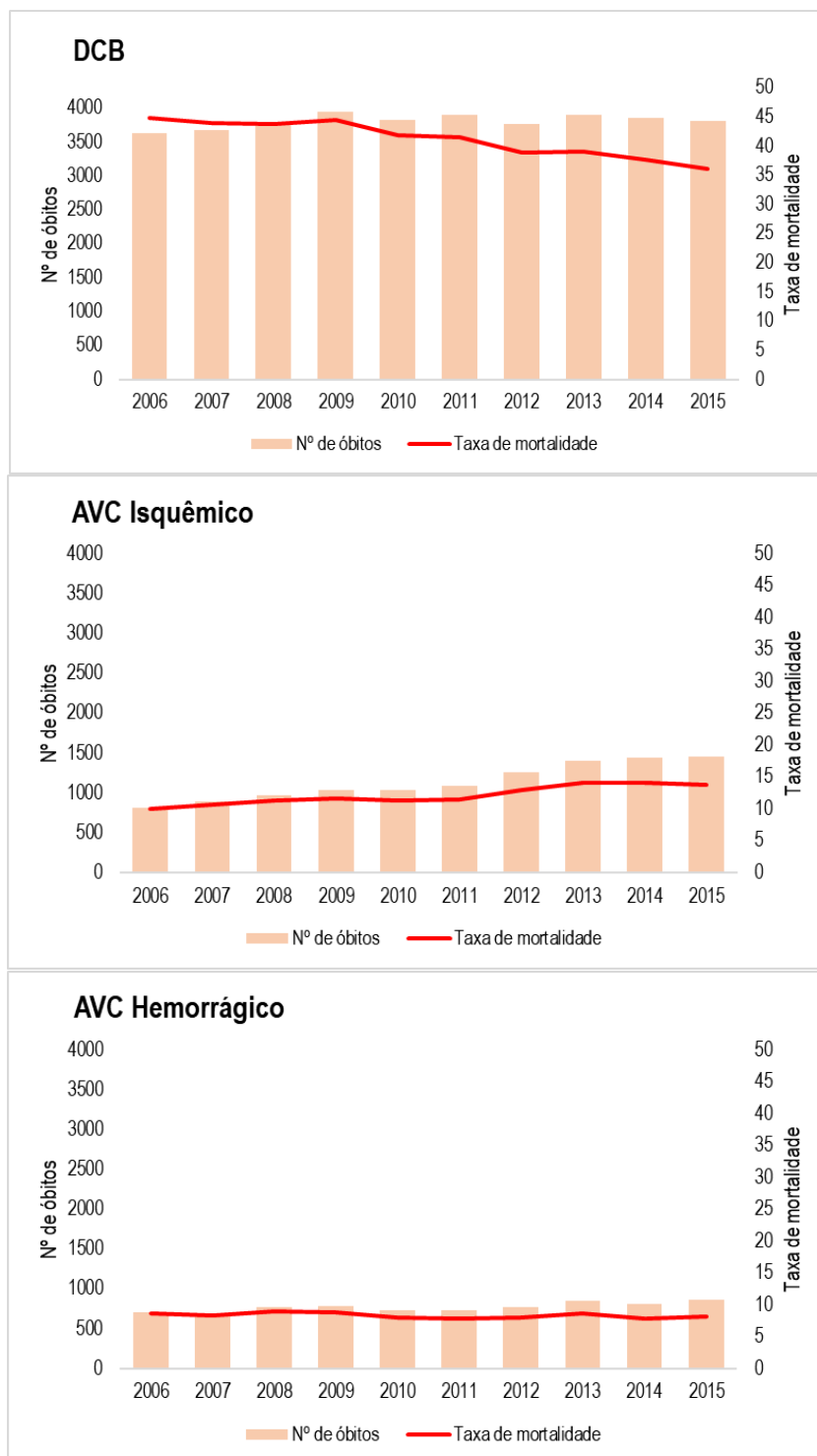


Figura 8: Variação da mortalidade e taxa de mortalidade padronizada (10.000 hab) anual de pessoas com 65 anos ou mais por DCB, AVCi e AVCh em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.

Dentre as outras doenças do sistema circulatório as doenças isquêmicas do coração mostram uma queda na taxa de mortalidade, esses resultados podem ser verificados na figura 9.

No ano de 2013 a mortalidade por DPOC teve o maior número de óbitos (2.085, taxa de 20,9), apesar disso, a maior taxa ocorreu no ano de 2006 com o valor de 23,0, com 1.860 casos notificados. As menores taxas encontradas foram nos anos de 2014 e 2015 (19,5 e 19,6 respectivamente).

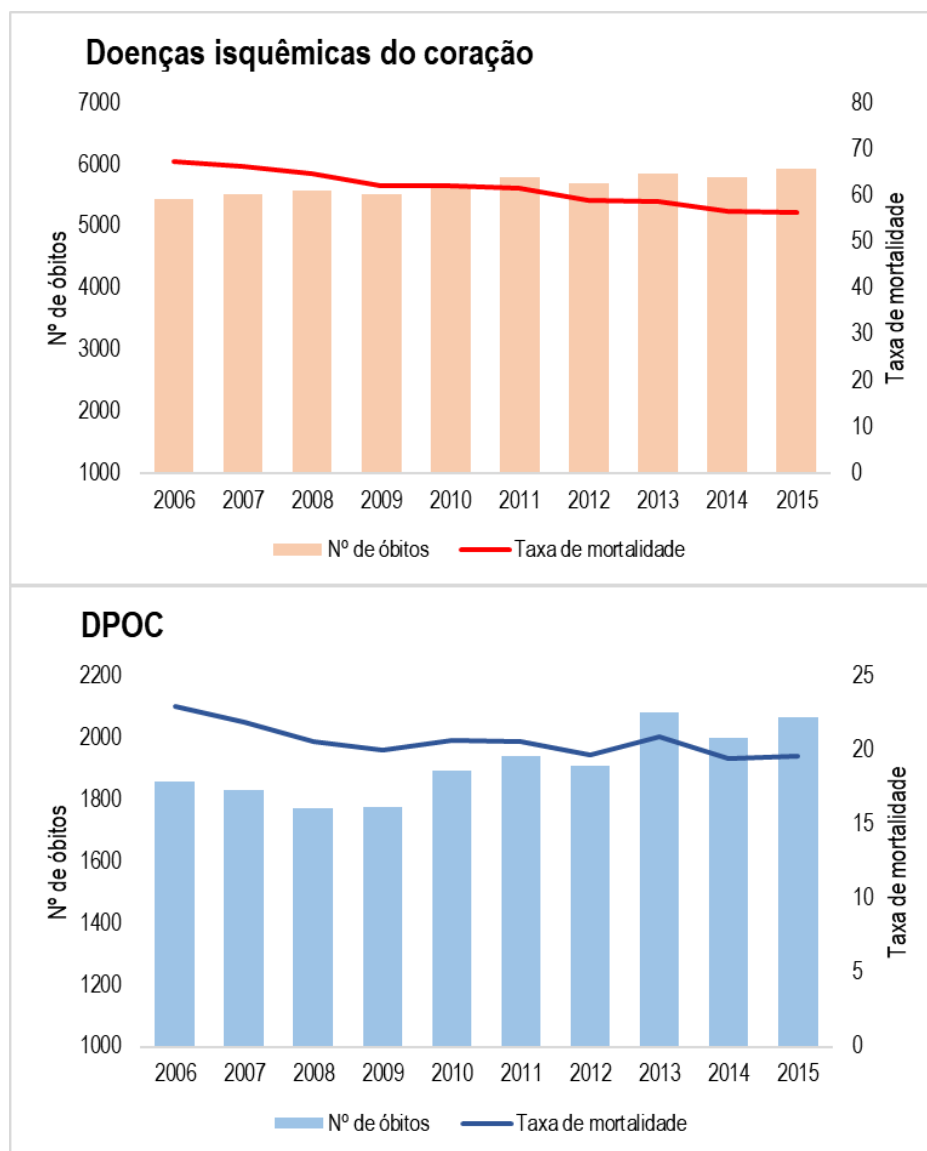


Figura 9: Variação da mortalidade e taxa de mortalidade padronizada (10.000 hab) anual de pessoas com 65 anos ou mais por DIC e DPOC em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.

Em resumo, o capítulo IX da CID – 10 apresentou a maior taxa de mortalidade entre a população idosa de São Paulo durante o período de estudo (tabela 9). As doenças do aparelho respiratório apresentam uma taxa de mortalidade de 69,7, sendo que a taxa da DPOC foi de 20,6 e as menores taxas registradas relacionadas às doenças do sistema circulatório foram de AVCh. pulmonar com um valor de 8,3.

Tabela 9: Taxa de mortalidade padronizada por causa básica de pessoas com 65 anos ou mais de idade por 10 mil habitantes durante o período de 2006 a 2015.

Capítulo CID -10	Causa básica	Total de óbitos	Taxa de mortalidade padronizada por 10 mil hab
IX. Doenças do aparelho circulatório		151001	162,5
	AVC (I60 - I69)	38084	41,0
	AVCI (I63, I65 e I66)	11427	12,3
	AVCH (I60, I61 e I62)	7718	8,3
	DIC (I20 - I25)	56885	61,2
X. Doenças do aparelho respiratório		64778	69,7
	DPOC (J40 - J44 e J47)	19148	20,6

A mortalidade mensal por doenças do aparelho circulatório e respiratório apresentam um padrão semelhante nos dois desfechos (figura 10). A maior quantidade do número de óbitos acontece nos meses de maio, junho, julho e agosto, e os menores nos meses de fevereiro e março, percebe-se, portanto, uma sazonalidade na distribuição e na taxa dos óbitos.

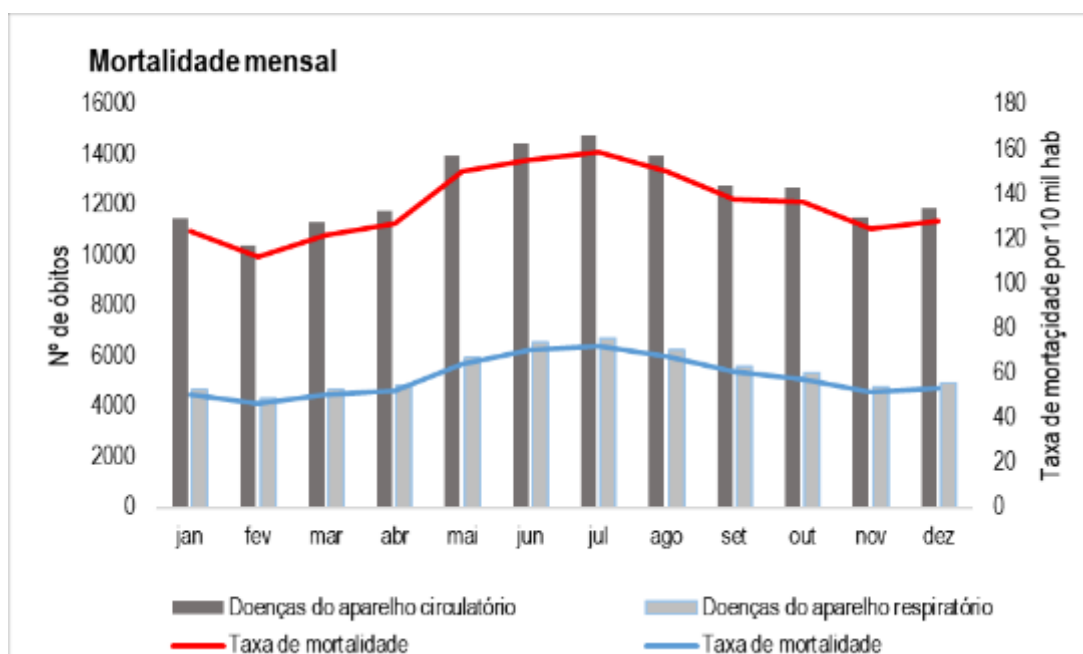


Figura 10: Variação da mortalidade e taxa padronizada (10.000 hab) mensal de pessoas com 65 anos ou mais por doenças do aparelho circulatório e respiratório em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.

A variação da mortalidade por DCB apresenta picos nos meses de maio, junho, julho e agosto, porém, janeiro e dezembro também são meses com altos valores (figura 11). Julho é o mês com a maior quantidade de mortes (3.516) e fevereiro, o

menor (2.775). Nota-se ainda, que essa diferença na variação mensal da mortalidade baixa, principalmente, para o AVCh. Apesar disso, o AVCi apresenta altos valores entre os meses de maio a agosto, é preciso ressaltar que os dados mensais aqui apresentados não foram normalizados de acordo com a quantidade de dias em cada mês.

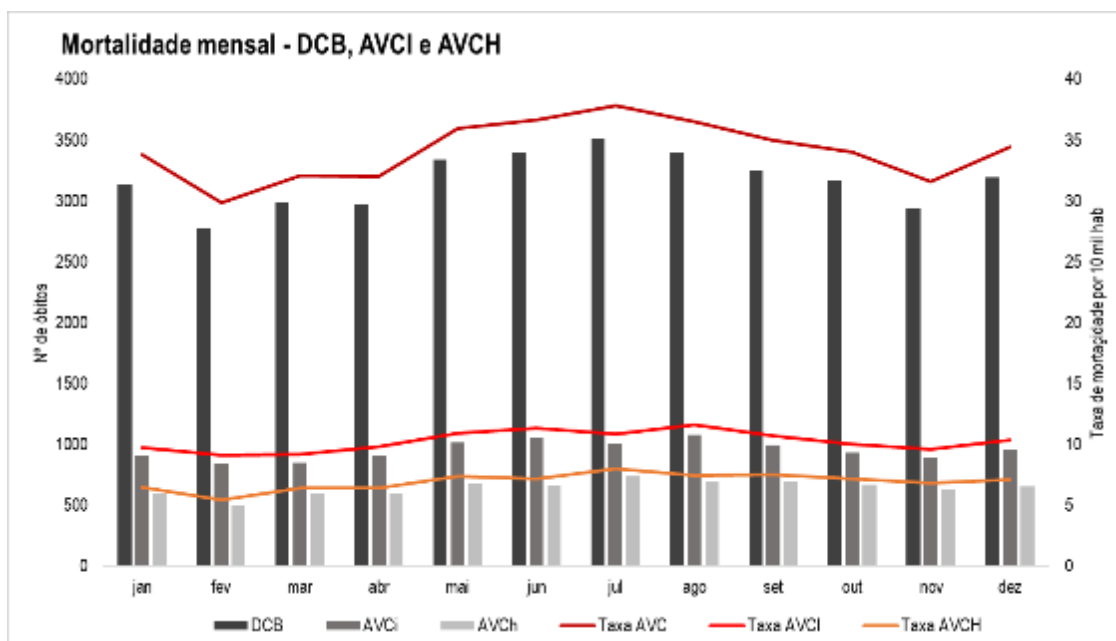


Figura 11: Variação da mortalidade e da taxa padronizada (10.000 hab) mensal de pessoas com 65 anos ou mais por DCB, AVCi e AVCh em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.

Nota-se na figura 12 uma sazonalidade definida para os casos relacionados às doenças isquêmicas do coração e DPOC, principalmente nos meses de outono (maio) e inverno (junho, julho e agosto).

Considerando as estações do ano, a figura 13 foi elaborada para ilustrar a sazonalidade das variáveis de mortalidade, dos atributos climático e da poluição do ar. É observado um padrão sazonal, sobretudo, no total da mortalidade das doenças do aparelho circulatório e respiratório, bem como para o DCB, AVCi, DIC e DPOC, sendo o período de inverno a estação que apresenta os maiores registros de óbitos.



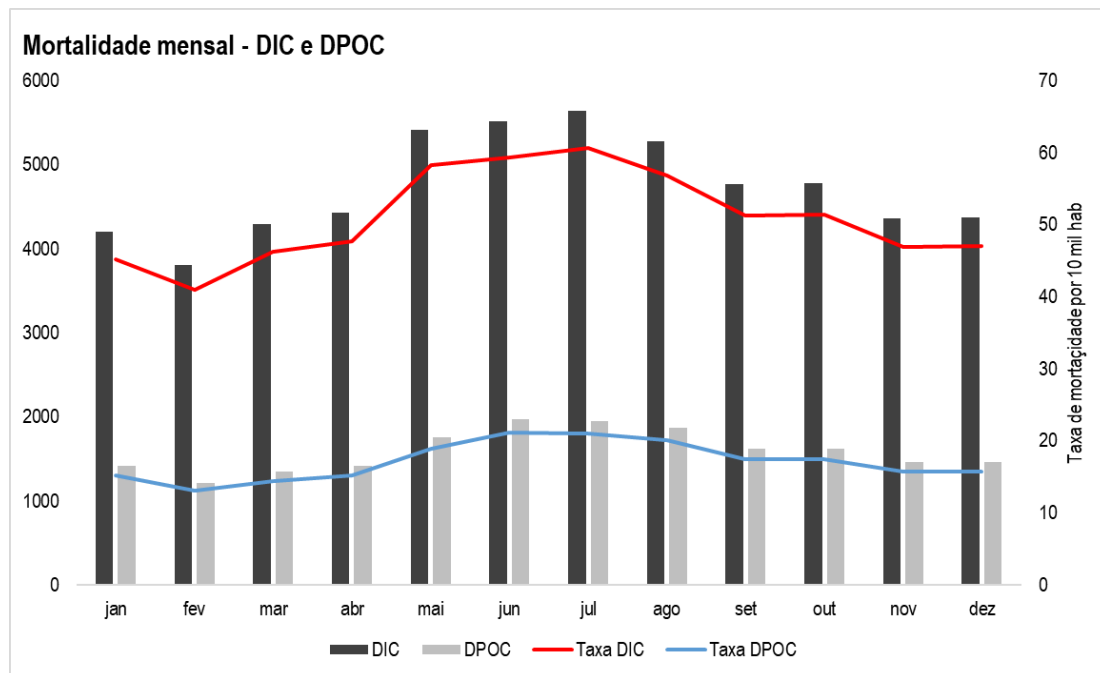


Figura 12: Variação da mortalidade e da taxa padronizada (10.000 hab) mensal de pessoas com 65 anos ou mais por DIC, e DPOC em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.

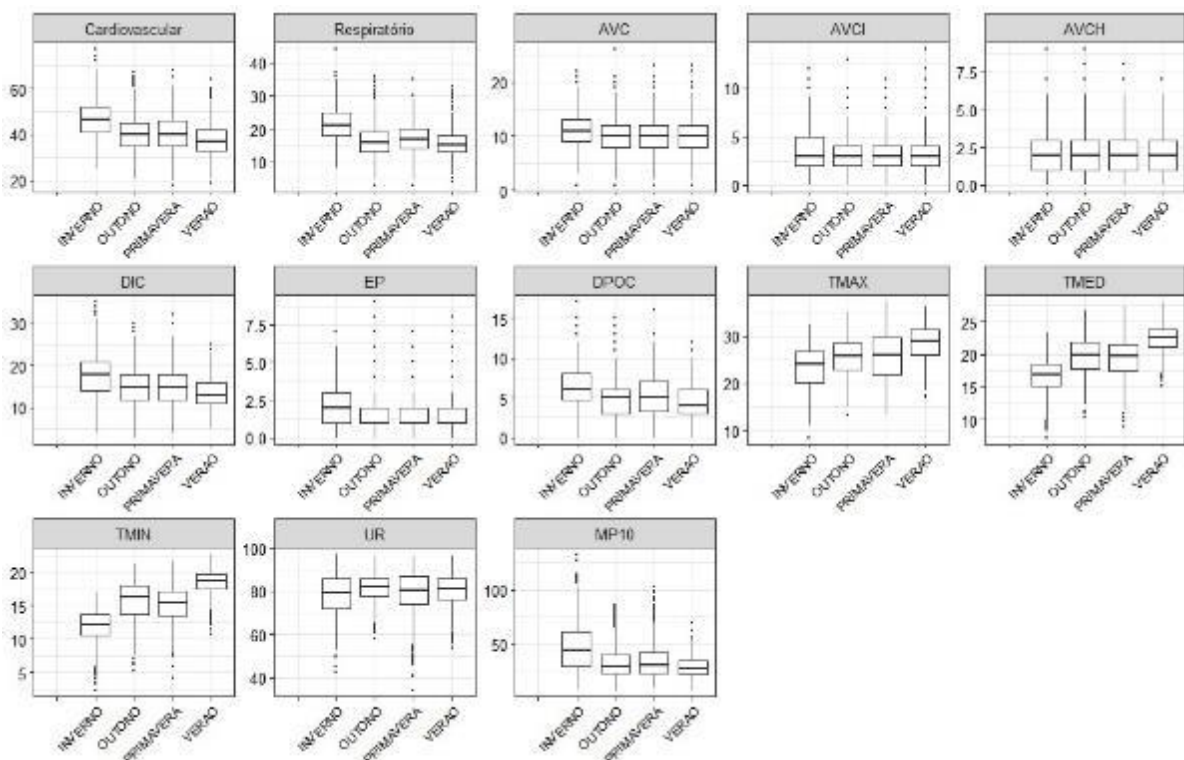


Figura 13: Boxplot da mortalidade e das variáveis meteorológicas e de poluição de acordo com as estações do ano, primavera (setembro, outubro e novembro), verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio) e inverno (junho, julho e agosto) durante o período de 2006 a 2015.

A tabela 10 apresenta os valores descritivos dos atributos climáticos e do poluente MP<sub>10</sub>. A temperatura média do ar registrou uma média de 19,6°C, sendo a máxima 25,8°C e a mínima 15,3°C, os valores máximos durante o período foram de 28°C TMED, 37,2°C TMAX e 22,6°C TMIN. É importante destacar que o maior valor do poluente MP<sub>10</sub> foi de 132,4 µg/m<sup>3</sup> e a sua média no período foi de 35,5 µg/m<sup>3</sup>. Os padrões de qualidade do ar estabelecidos no Decreto Estadual nº 59.113/2013 (baseado na classificação da OMS) do Estado de São Paulo, apresenta que os valores médios (média de 24h) entre 81 µg/m<sup>3</sup> e 120 µg/m<sup>3</sup> de MP<sub>10</sub> representam uma qualidade do ar ruim e os valores entre 121 e 200 são classificados como muito ruins e podem contribuir para os agravos das doenças respiratórias e do sistema circulatório, sobretudo, nos grupos mais sensíveis, crianças e adultos com 65 anos ou mais de idade.

Tabela 10: Medidas descritivas das variáveis meteorológicas e de poluição no período de 2006 a 2015.

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1ºQ	Mediana	3ºQ	Máximo
Temperatura Máxima do ar (°C)	25,8	4,6	8,6	22,6	26,2	29,1	37,2
Temperatura Média do ar (°C)	19,6	3,3	7,3	17,3	19,7	22,1	28,0
Temperatura Mínima do ar (°C)	15,3	3,4	2,4	12,9	15,6	18,1	22,6
Umidade Relativa do ar (%)	80,0	8,8	34,3	75,2	80,9	86,1	97,0
MP <sub>10</sub>	35,5	17,1	7,4	23,2	31,6	43,4	132,4

As figuras 14, 15 e 16 representam a variação da temperatura do ar (máxima, mínima e média), umidade relativa do ar e do MP<sub>10</sub> respectivamente, ficando evidente a sazonalidade dos atributos climáticos e da variável de poluição atmosférica ao longo dos anos de estudo.

A correlação de *Pearson* entre as variáveis meteorológicas, de poluição e de mortalidade podem ser observadas no apêndice 1. Foram encontrados resultados significativos. As doenças cardiovasculares apresentam correlações mais significativas entre a temperatura mínima (-0,38) e a poluição do ar 0,24, a mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais por doenças respiratórias também apresenta valores melhores de correlação a TMIN (-0,27) e com o MP<sub>10</sub> (0,22). Outras representações gráficas da análise descritiva dos dados podem ser conferidas nos apêndices 2 e 3.

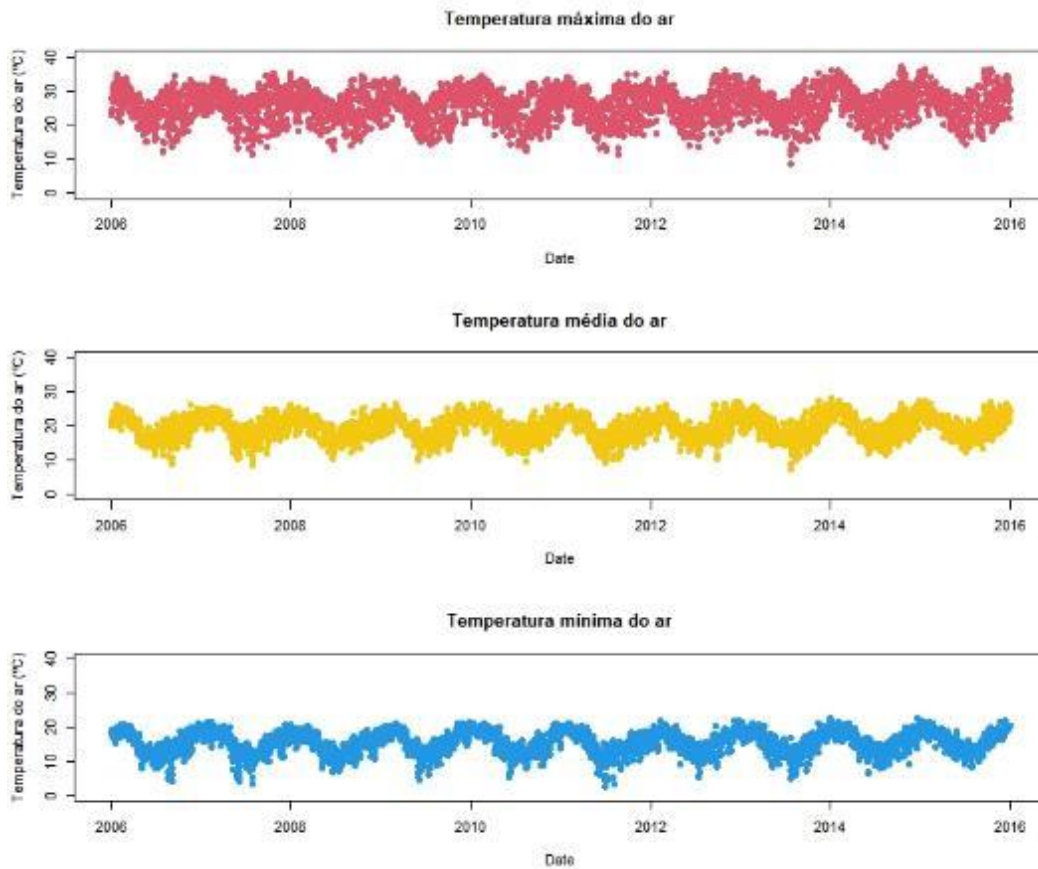


Figura 14: Variação diária da temperatura máxima, média e mínima do ar em São Paulo no período de 2006 a 2015.

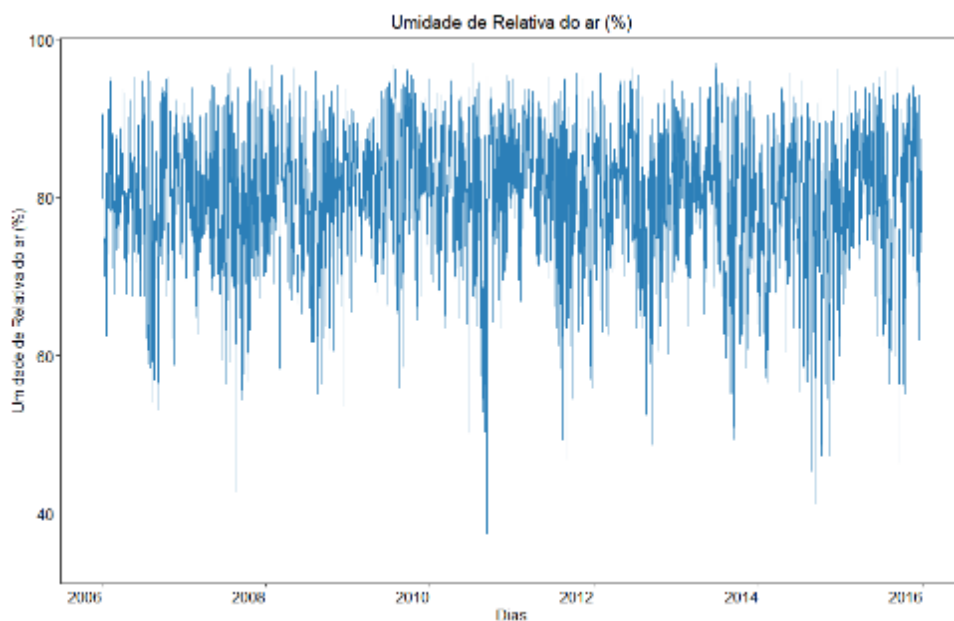


Figura 15: Variação diária da umidade relativa do ar em São Paulo no período de 2006 a 2015.

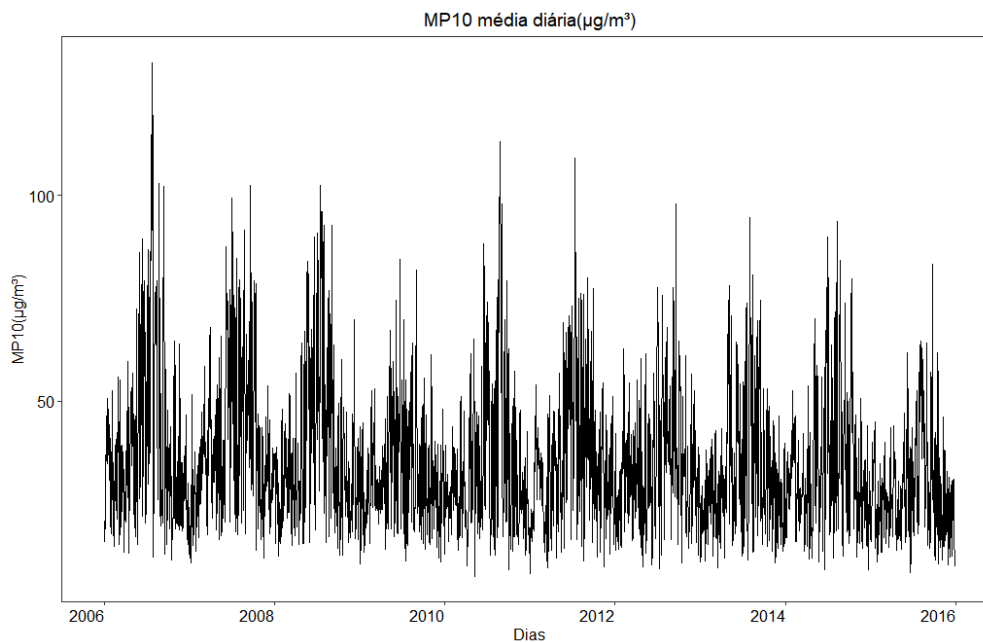


Figura 16: Variação diária do poluente MP<sub>10</sub> em São Paulo no período de 2006 a 2015.

### 5.2.2 Ondas de calor

A partir das classificações de ondas de calor definidas na metodologia foi possível calcular a frequência e ocorrência dos extremos de calor para cada ano, estação e mês. A figura 17 apresenta o total de ondas de calor que aconteceram em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.

A duração de dois dias consecutivos ou mais, independentemente do valor do percentil, apresentam as maiores ocorrências de ondas de calor se comparado com as demais classificações (3 ou 4 dias ou mais de duração). Desse modo, quanto mais intensa e maior a duração, menos se registram os eventos extremos relacionados às altas temperaturas. O maior número de ondas de calor foi observado na classificação da TMED\_90P\_2d com total de 81 ondas e 276 dias, já os menores números encontrados foram de 4 (TMED\_97,5P\_4d)

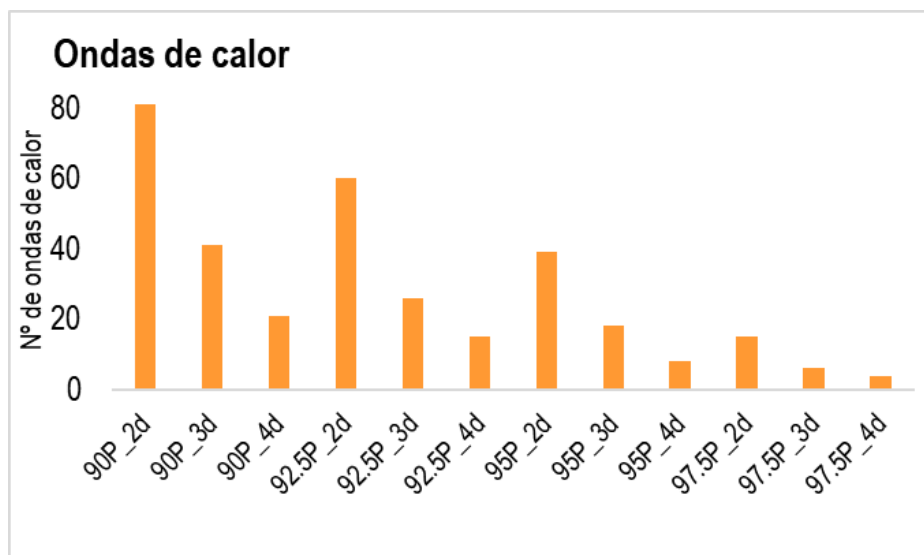


Figura 17: Total de ondas de calor registradas em São Paulo durante os anos de 2006 a 2015.

Os gráficos da figura 18 mostram o número de ondas de calor registradas anualmente de acordo com cada classificação. Dentre as metodologias escolhidas, o ano que teve menor número de eventos foi o de 2008. A quantidade no número de eventos variou de 12 (2014) a 4 (2008) ondas de calor por ano no percentil 90\_2d da TMED, no percentil 95\_2d da TMED a variação foi de 0 (2008) a 8 (2014).

Na figura 19 verifica-se que a distribuição dos eventos extremos de calor acontece com maior frequência nos meses de janeiro e fevereiro para todas as classificações. Os meses de outubro e março também apresentam registros de ondas de calor, apesar disso, nos meses de maio a agosto não há ocorrência de eventos de calor.

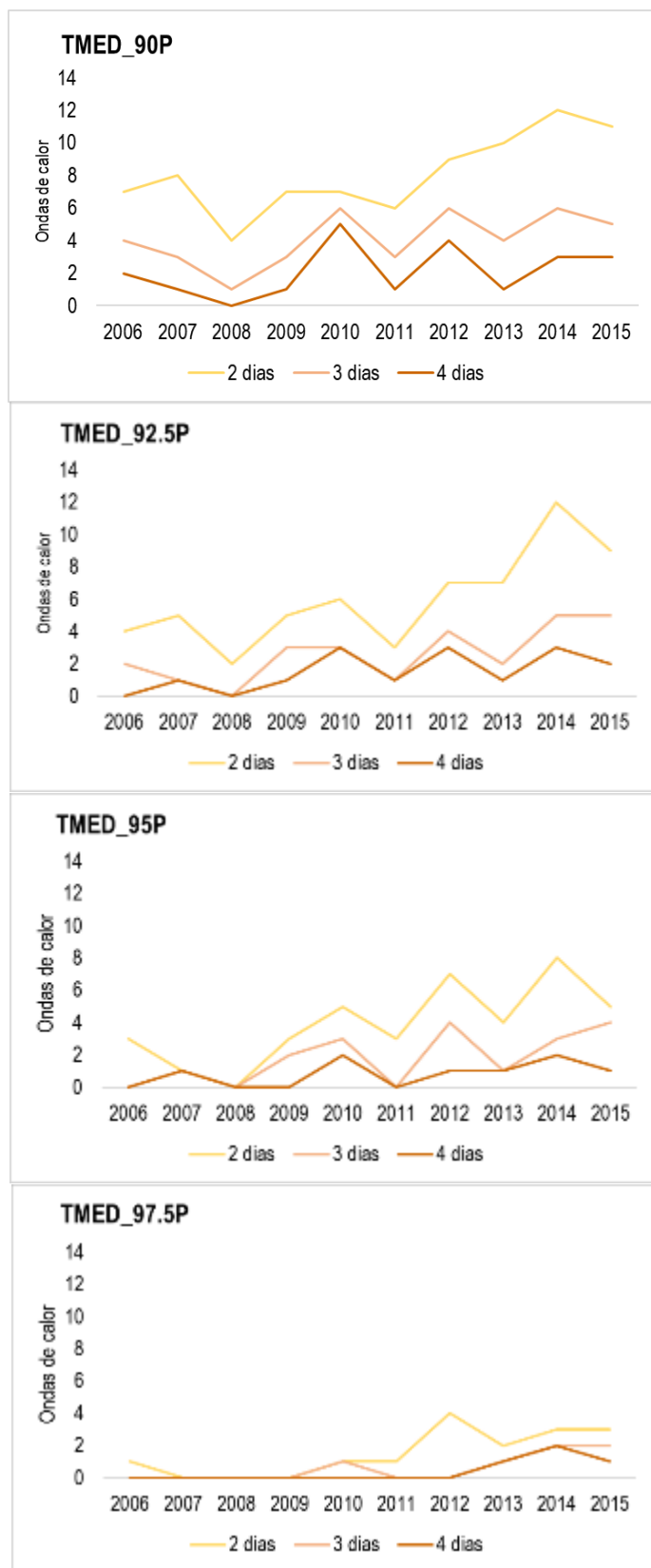


Figura 18: Registro anual de ondas de calor em São Paulo de acordo com cada metodologia

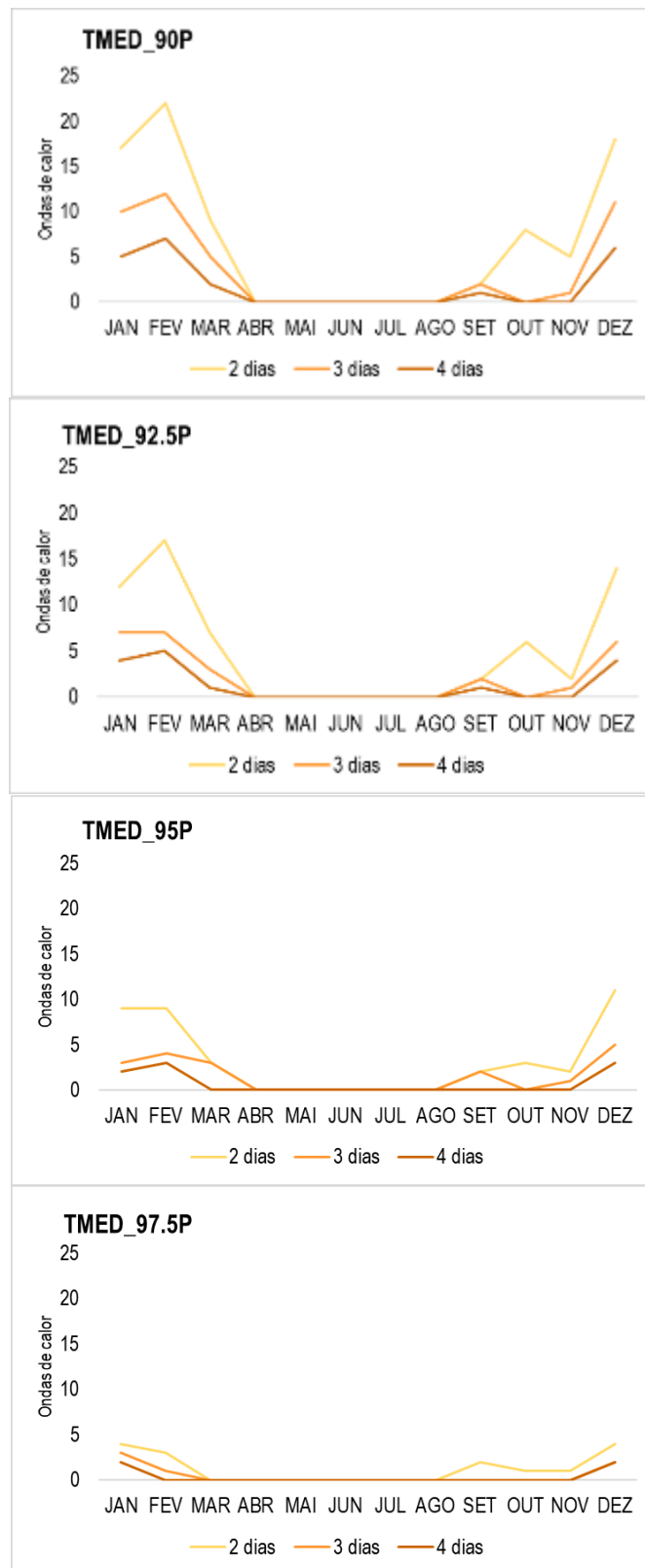


Figura 19: Registro mensal de ondas de calor em São Paulo de acordo com cada metodologia.

Observa-se que no período de inverno não ocorreu nenhuma onda de calor nas classificações escolhidas, sendo o verão a estação do ano com maior quantidade de registros de eventos extremos de calor, seguida pela primavera e outono (figura 20).

As figuras 21 e 22 mostram a distribuição temporal dos dias de ondas de calor para cada definição e ano.

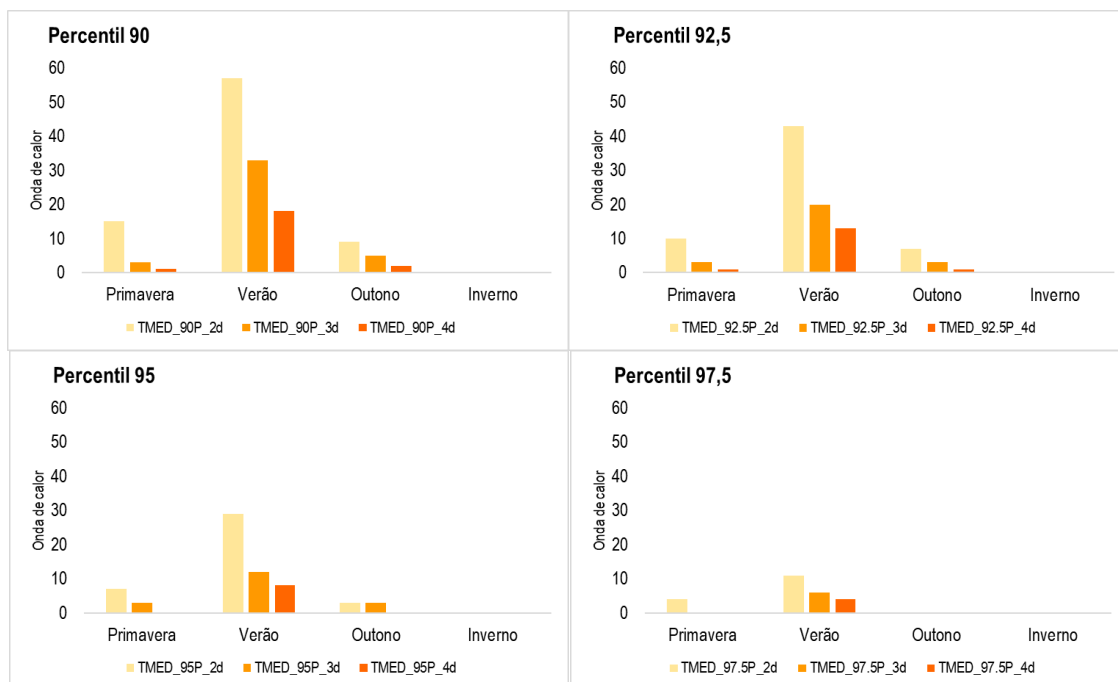


Figura 20: Número de ondas de calor por estação do ano no período de 2006 a 2015 de acordo com a metodologia de percentil (90, 92,5, 95 e 97,5) da TMED

Ao analisar as ondas de calor, foi possível identificar que o evento de maior permanência, maior número de dias consecutivos para cada metodologia (tabela 11). Dessa forma, o período de maior duração ocorreu na definição TMED\_90P\_2,3 e 4d entre os dias 25/01/2014 e 13/02/2014 (20 dias de calor extremo com TMED acima do percentil 90).

Tabela 11: Ondas de calor com maior duração para uma das classificações

Metodologia	Data início	Data término	Estação	Duração
TMED_90P_2, 3 e 4d	25/01/2014	13/02/2014	Verão	20 dias
TMED_92.5P_2, 3 e 4d	26/01/2014	13/02/2014	Verão	19 dias
TMED_95P_2, 3 e 4d	26/01/2014	10/02/2014	Verão	16 dias
TMED_97.5P_2, 3 e 4d	31/01/2014	10/02/2014	Verão	11 dias



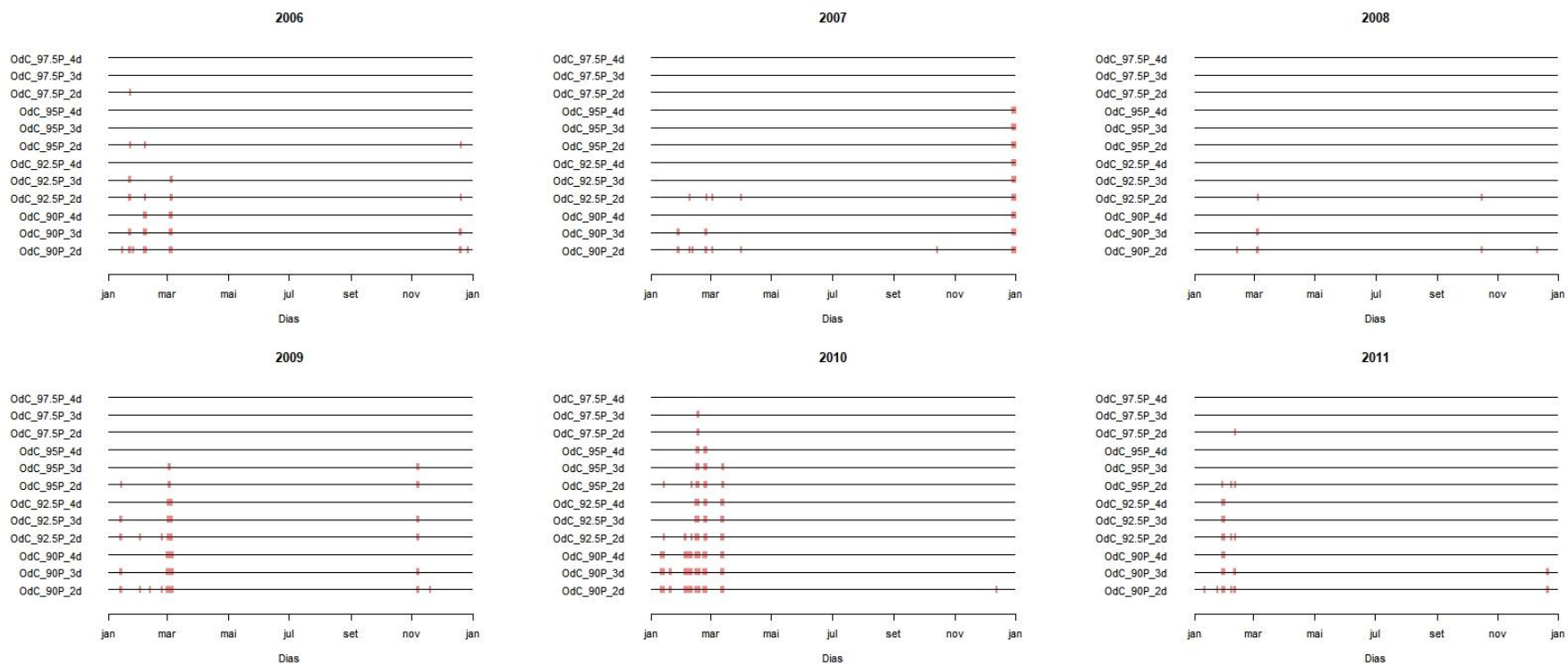


Figura 21: Dias de ondas de calor para cada definição e para os anos de 2006 a 2011.

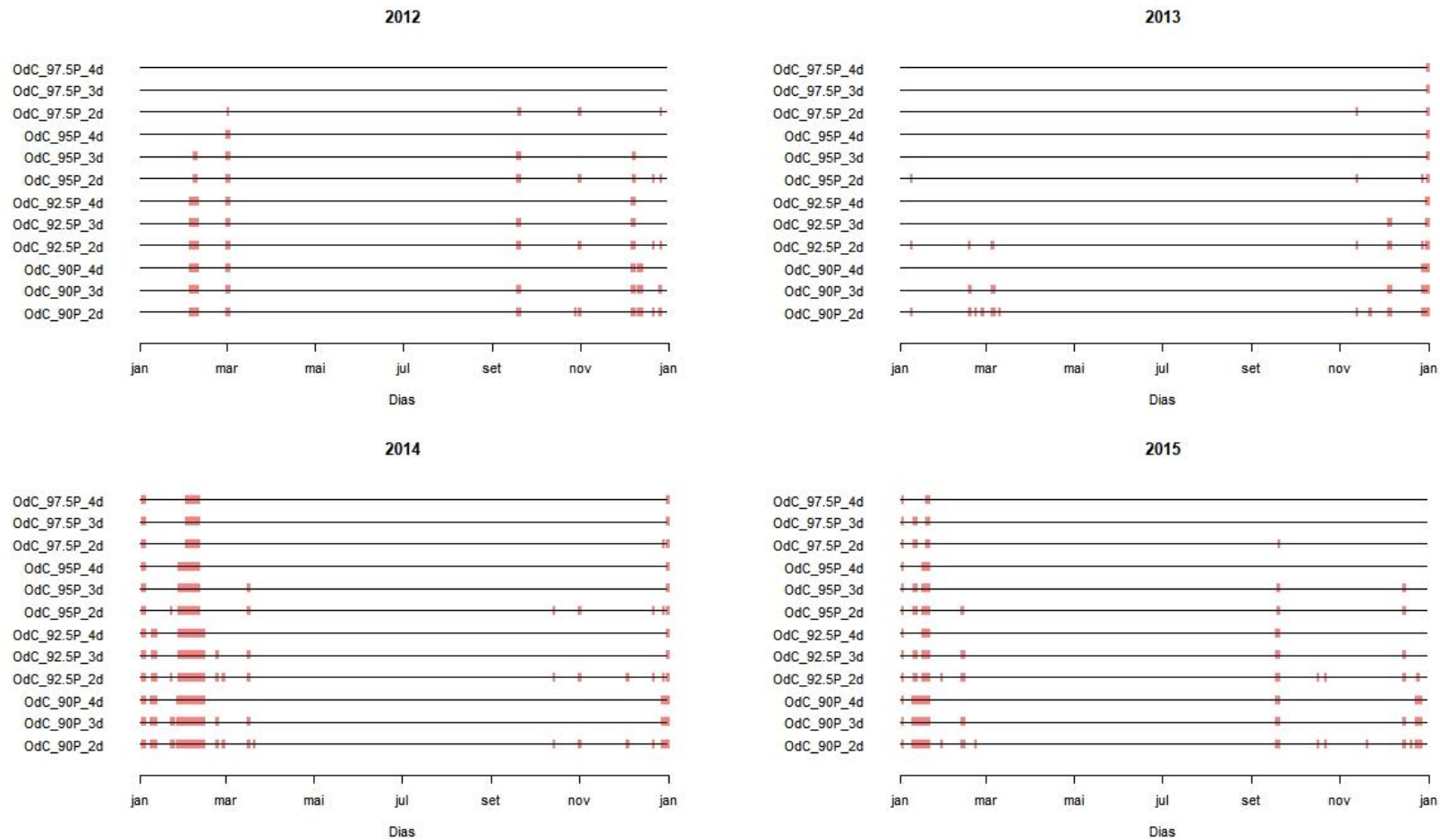


Figura 22: Dias de ondas de calor para cada definição e para os anos de 2012 a 2015.

### 5.2.3. Ondas de frio

As ondas de frio foram classificadas a partir dos percentis 10, 5 e 3 TMED. Na figura 23 os resultados mostram que a classificação pelo percentil 10, principalmente, considerando 2 dias consecutivos ou mais apresentam os maiores números de ocorrências de ondas de frio. A TMED\_10P\_2d teve um total de 101 ondas de frio (318 dias com onda de frio e 3334 sem onda de frio). A menor ocorrência de eventos extremos de frio foi verificada no percentil 3 com 4 dias consecutivos ou mais (TMED = 3 ondas de frio).

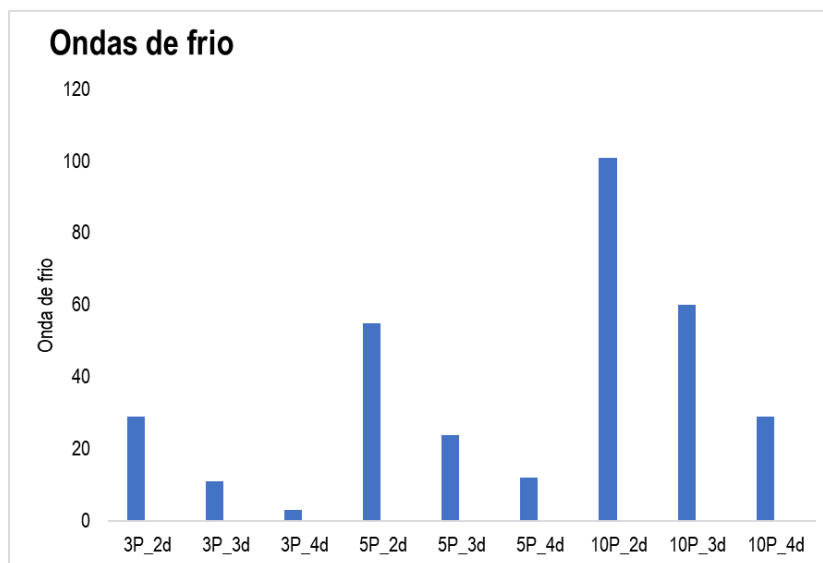


Figura 23: Total de ondas de frio registradas em São Paulo durante os anos de 2006 a 2015.

Os gráficos da figura 24 apresentam o total anual de ondas de frio. Comparando a variação da quantidade de eventos de frio identifica-se que no ano de 2011 aconteceu um maior número de ondas de frio nas metodologias que consideram os percentis 3, 5 e 10 com duração de 2 dias consecutivos ou mais. O ano de 2015 registrou o menor número de ondas de frio para todas as classificações estudadas.

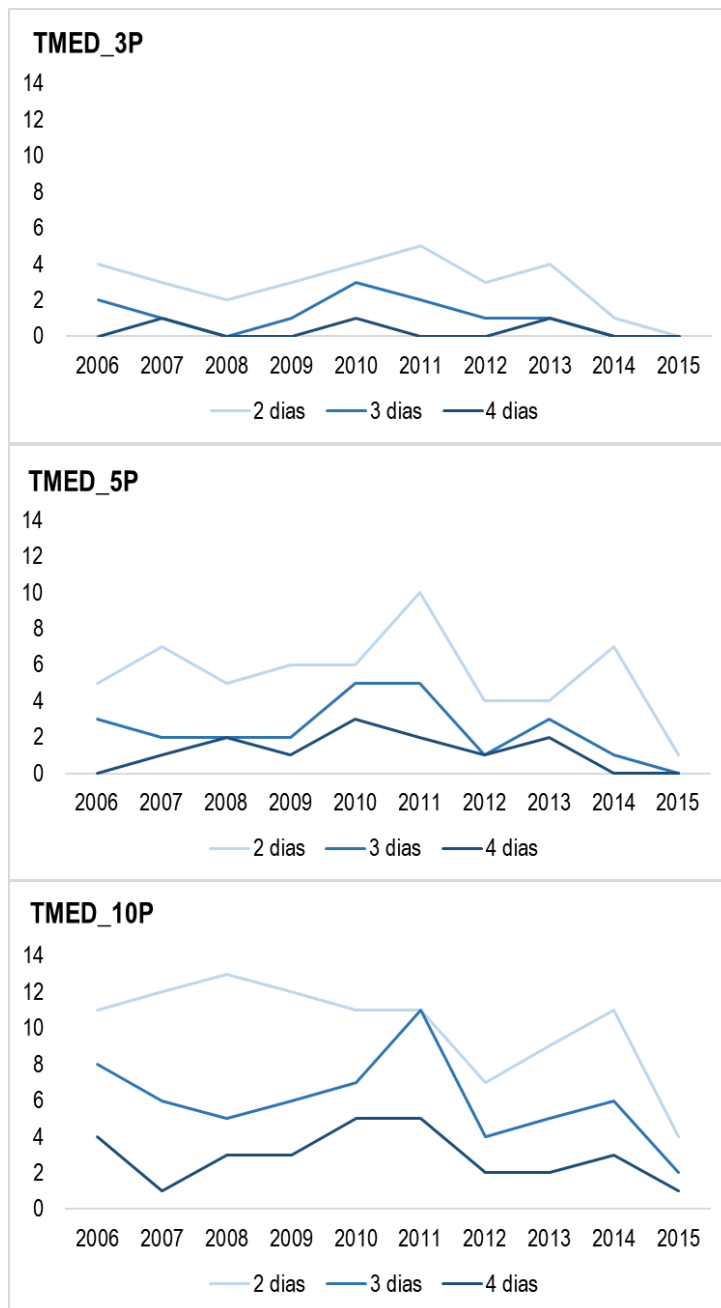


Figura 24: Registro anual de ondas de frio em São Paulo de acordo com cada metodologia

Na figura 25 fica evidente a concentração do número de ondas de frio a partir do mês de maio até outubro. Os meses de junho, julho e agosto são os meses com maior ocorrência de eventos de frio extremos, em contrapartida, os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro não registraram nenhum evento extremo de frio em todas as classificações.

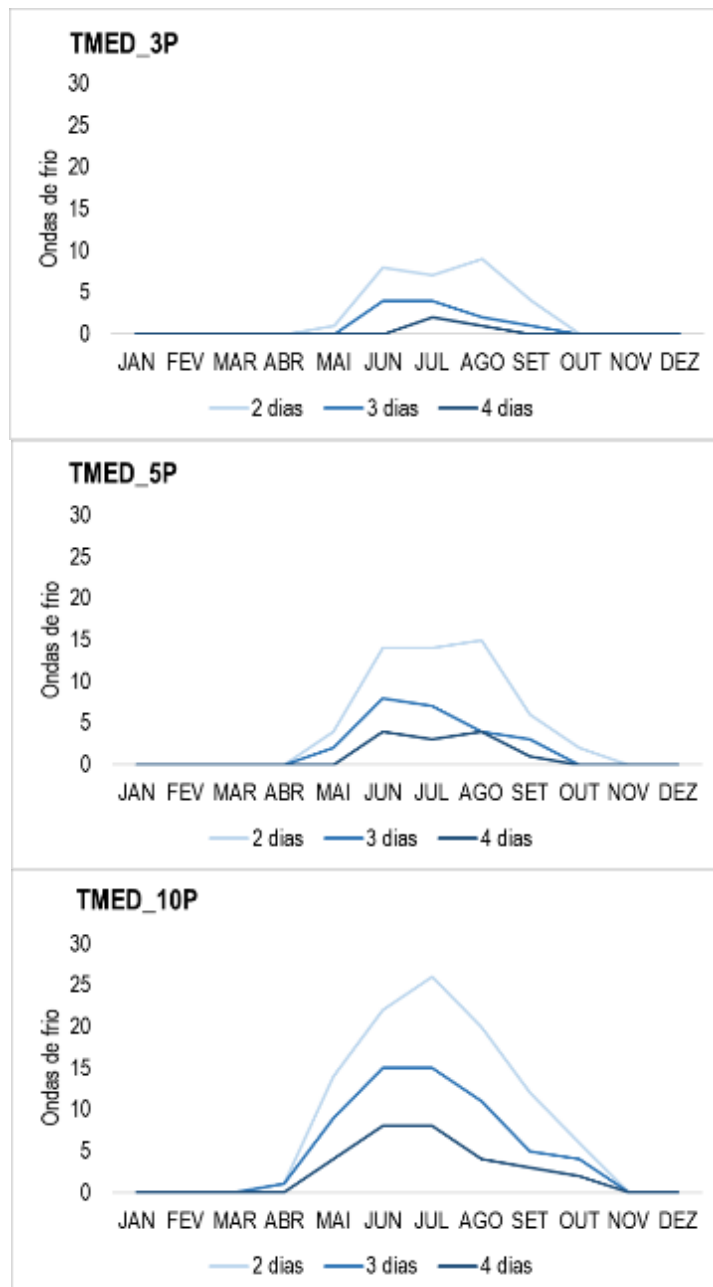


Figura 25: Registro mensal de ondas de frio em São Paulo de acordo com cada metodologia.

Conforme a análise da distribuição mensal da ocorrência das ondas de frio, percebe-se que nos meses de inverno (junho, julho e agosto) os eventos ocorrem com maior frequência. Na figura 26 nota-se que a estação da primavera (setembro, outubro e novembro) apresenta mais eventos extremos de frio em algumas classificações se comparada com o outono (março, abril e maio), sendo inexistente a presença de ondas de frio no verão. Podemos observar nas figuras 27 e 28 a distribuição temporal dos dias de ondas de frio para cada definição e ano de estudo.

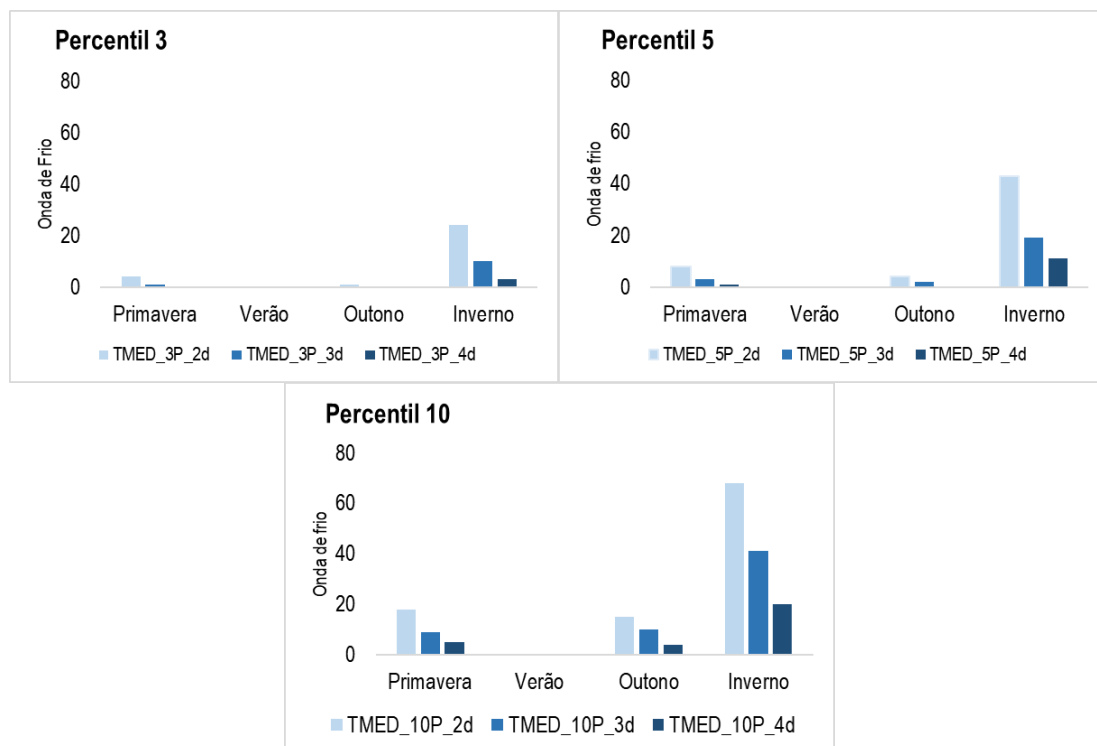


Figura 26: Número de ondas de frio por estação do ano no período de 2006 a 2015 de acordo com a metodologia de percentil (3, 5 e 10) da TMED e TMIN.

O maior período de permanência (duração em dias) de uma onda de frio ao longo dos anos de estudo variou de 6 a 15 dias consecutivos (tabela 12). Para a classificação que considera a TMED nota-se que a onda de frio de maior permanência começa no dia 23 de julho de 2013 e dependendo do percentil e da duração termina no dia 30 do mesmo mês. A classificação pela TMIN, entretanto, apresenta datas distintas de início e término do evento entre os percentis, sendo que as ondas de frio definidas como TMIN\_10P\_2, 3 e 4d tiveram uma duração de 15 dias consecutivos.

Tabela 12: Ondas de frio com maior duração para uma das classificações

Metodologia	Data início	Data término	Estação	Duração
TMED_3P_2, 3 e 4d	23/07/2013	29/07/2013	Inverno	7 dias
TMED_5P_2, 3 e 4d	23/07/2013	30/07/2013	Inverno	8 dias
TMED_10P_2, 3 e 4d	13/07/2012	20/07/2012	Inverno	8 dias
	23/07/2013	30/07/2013	Inverno	8 dias

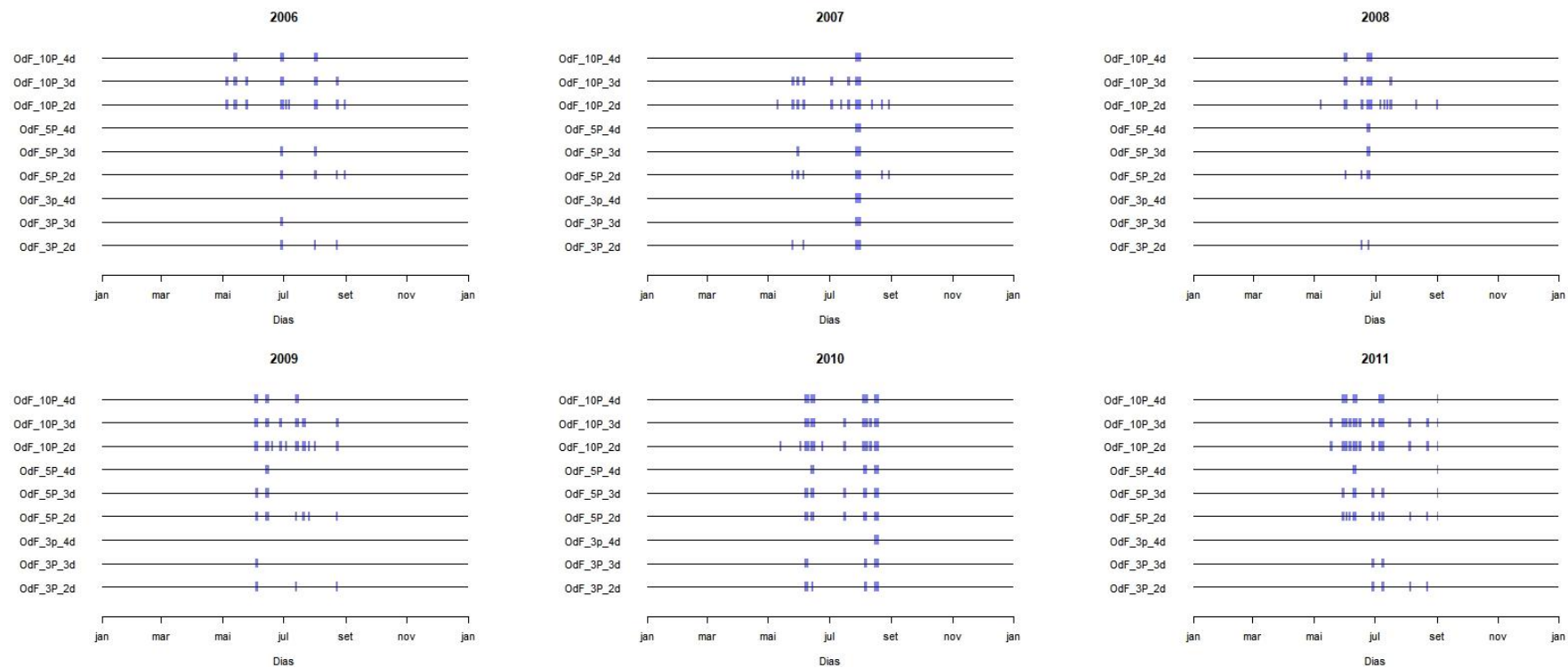


Figura 27: Dias de ondas de frio para cada definição e para os anos de 2006 a 2011

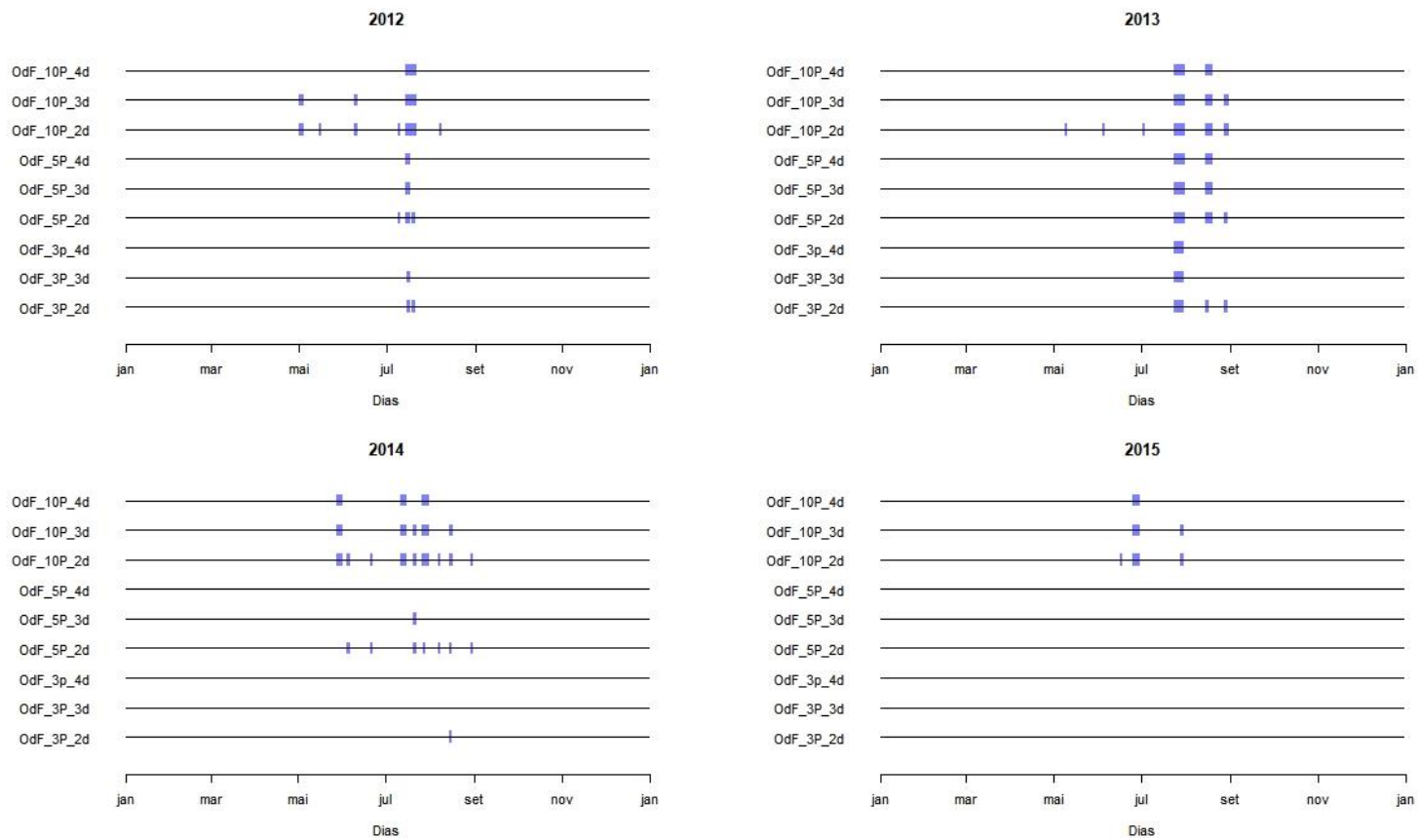


Figura 28: Dias de ondas de frio para cada definição e para os anos de 2012 a 2015



### 5.2.4. Modelagem temporal

A figura 29 e os apêndices 4 e 5 mostram os RRs cumulativos da associação entre OdC e a mortalidade nas 12 definições da OdC, por causa específica com lag de 0 a 10 dias. É possível perceber de maneira geral que o RR é mais alta conforme as ondas de calor ficam mais intensas e com maior duração (OdC\_95P\_3d, OdC\_95P\_4d, OdC\_97.5P\_3d e OdC\_97.5P\_4d), exceto para os desfechos de AVCh e DPOC. Os maiores valores do RR (sem o controle da TMED) foram registrados na causa de morte por AVCi, especialmente nas definições OdC\_97.5P\_3d e OdC\_97.5P\_4d com RR = 1,535 (95% CI: 1,103–2,135) e RR = 1,578 (95% CI: 1,088–2,289), respectivamente.

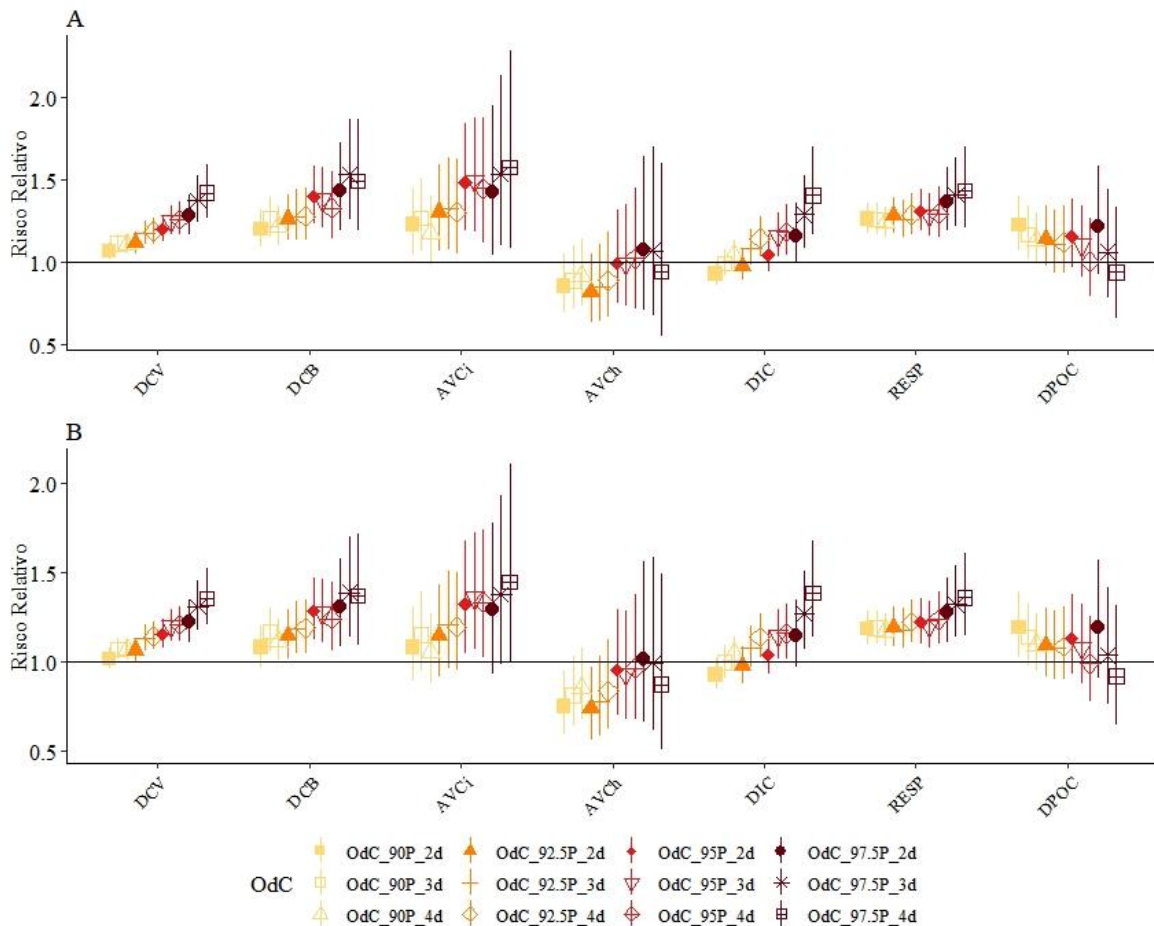


Figura 29: Efeitos das ondas de calor na mortalidade por doença cardiovascular (DCV), doença cerebrovascular (DCB), acidente vascular cerebral isquêmico (AVCi), acidente vascular cerebral hemorrágico (AVCh), doença cardíaca isquêmica (DIC), doença respiratória (RESP) e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) em pessoas com idade  $\geq 65$  anos com defasagem de 0 a 10 dias em São Paulo. (A) Efeitos das ondas de calor sem o controle da média diária da temperatura do ar (B) Efeitos adicionados das ondas de calor após controlar pela média diária da temperatura do ar.

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

A Figura 30 ilustra os RR cumulativos do impacto das OdF na mortalidade, encontramos resultados estatisticamente significativos em várias definições de OdF. Os RR das DCV, por exemplo, variaram de 1,216 (95% CI: 1,026–1,442) na definição OdF\_10P\_2d a 2,484 (95% IC: 1,456–4,239) na definição OdF\_3P\_4d. Além disso, os valores significativos de RR para mortalidade por causa específica DCB, AVCi e DIC foram mais pronunciados em alguns períodos de frio do que durante de calor.

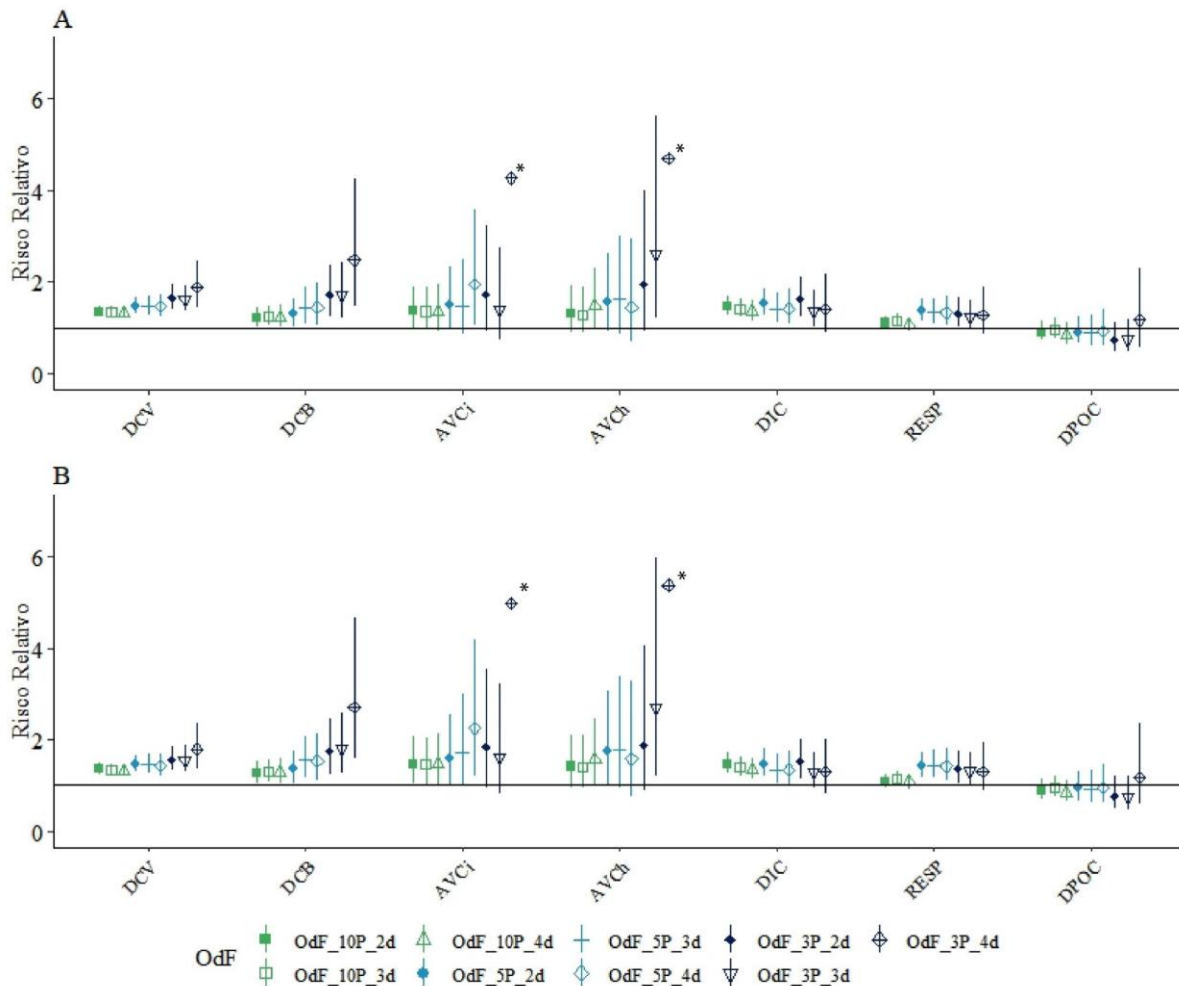


Figura 30: Efeitos das ondas de frio sob na mortalidade por doença cardiovascular (DCV), doença cerebrovascular (CBD), acidente vascular cerebral isquêmico (AVCi), acidente vascular cerebral hemorrágico (AVCh), doença cardíaca isquêmica (DIC), doença respiratória (RESP) e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) em pessoas com idade  $\geq 65$  anos com intervalo de defasagem de 0 a 21 dias em São Paulo. (A) Efeitos das ondas de frio sem o controle da média diária da temperatura do ar (B) Efeitos adicionado das ondas de frio após controlar pela média diária da temperatura do ar.

\* O intervalo de confiança não está representado no gráfico para melhor visualização dos demais RR. Os intervalos de confiança são apresentados no apêndice 6 e 7.

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Os impactos das OdC e OdF dos modelos que consideraram a TMED como controle também mostraram resultados significativos para várias definições dos eventos extremos. Os efeitos adicionados dos modelos de OdC mostraram RR mais baixos em comparação com o modelo sem o controle da temperatura em todas as causas específicas de mortalidade. Além disso, observamos um maior risco de morte nos efeitos adicionados em comparação com o modelo sem controle da TMED nos modelos de OdF, especialmente para DCV (OdF\_10P\_2d), doenças respiratórias (exceto o limiar de temperatura do percentil 10 com  $\geq 2$  e  $\geq 3$  dias), AVCh (OdF\_10P\_4d, OdF\_5P\_2d, OdF\_3P\_3d e OdF\_3P\_4d) e para todos os RR estatisticamente significativos de DCB e desfechos de AVCi.

A figura 31 e os apêndices 8, 9, 10 e 11 apresentam os valores do RR da associação entre os ET e a mortalidade por causa específica estratificada por sexo. O alto risco de morte durante as OdC foi estatisticamente em mulheres para todos os desfechos RESP e DCV. Além disso, os resultados estratificados por mortalidade por causa específica indicaram que os homens apresentam um alto risco estatisticamente significativo para DCB e AVCi em várias definições de OdC e OdF. Em contraste, o RR de mortalidade entre as mulheres foi mais alto nos desfechos das DIC nas OdF, sendo significativo apenas alguns casos de DIC e DPOC durante as OdC. Não encontramos resultados estatisticamente significativos para AVCi em mulheres nas OdC e OdF.

Durante eventos de OdC, não identificamos RR mais altos nos modelos que controlam pela TMED em comparação com os modelos sem este controle para os homens. Observamos apenas um pequeno aumento no RR nos modelos com controle da TMED por DPOC em mulheres para todos os as definições de OdC com  $\geq 2$  dias consecutivos. Além disso, os resultados mostraram apenas alguns efeitos adicionais mais elevados em mulheres (DCV, RESP, AVCh e DIC) e homens (RESP, DCB e AVCi) em algumas definições de OdF.

Os apêndices 12, 13, 14 e 15 mostram os resultados do RRR das diferenças entre homens e mulheres. Identificamos que os homens são mais vulneráveis se considerarmos algumas causas de morte como as DCB e AVCi durante algumas definições de ET em comparação com as mulheres. Os maiores valores de RRR no desfecho por AVCi foram encontrados em duas definições de OdC: OdC\_92.5P\_3d

(RRR: 1,510; 95% IC: 1,004–2,272) e OdC\_92,5P\_4d (RRR: 1,531 95% IC: 1.003–2.337).

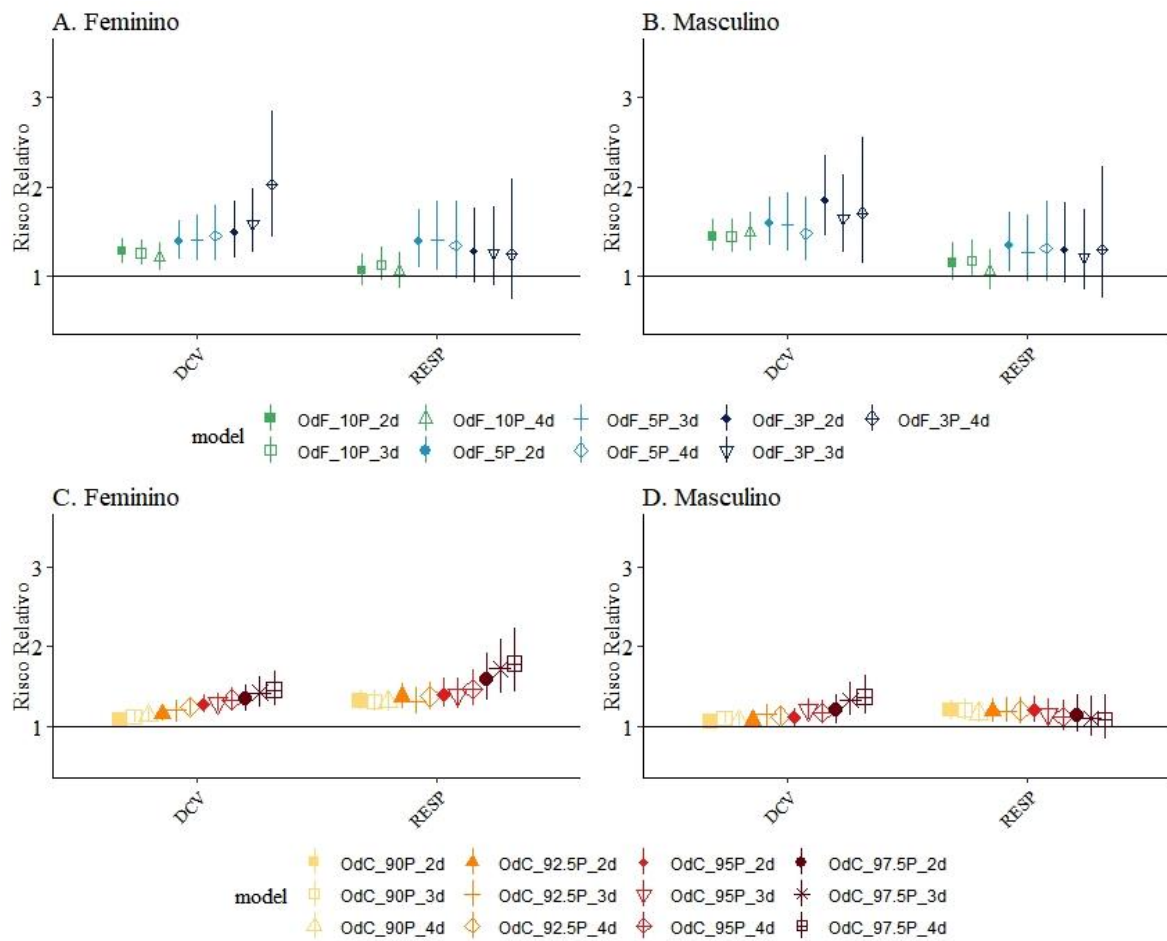


Figura 31: Efeitos das ondas de frio (A e B) e ondas de calor (C e D) na mortalidade por doenças cardiovasculares (DCV) e doenças respiratórias (RESP) estratificado por sexo (feminino e masculino).  
 Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

## 5. Associação entre os efeitos das ondas de calor e das ondas de frio e os agrupamentos espaço-temporais de alto risco de mortalidade

Este capítulo se refere ao artigo publicado “*Space-time clusters of cardiovascular mortality and the role of heatwaves and cold spells in the city of São Paulo, Brazil*” no periódico *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* em 2023. (<https://doi.org/10.1016/j.sste.2023.100620>)

### Resumo do capítulo

Embora existam evidências que o alto risco de mortalidade relacionado aos eventos extremos de temperatura se distribui de maneira desigual na cidade, essa associação na escala intraurbana é pouco explorada (VANECKOVA; BEGGS; JACOBSON, 2010; HONDULA et al., 2012; MADRIGANO et al., 2015; BENMARHIA et al., 2017). A maioria das pesquisas espaço-temporais limita-se a agregar o número de óbitos no nível de cidades, regiões ou países. Os padrões espaciais observados de mortalidade relacionados às ondas de frio são ainda mais limitados e estudados apenas em grandes unidades geográficas (WU et al., 2010; CARMONA et al., 2016; CHEN et al., 2017). Estudos em ambientes em escala intraurbana podem melhorar nossa compreensão de como o clima pode afetar diferentes grupos e também como eventos climáticos extremos podem estar associados ao excesso de mortalidade por DCV. Deste modo, neste capítulo, temos os objetivos: I) identificar aglomerados espaço-temporais de mortalidade associados a doenças do aparelho cardiovascular em pessoas  $\geq 65$  anos em São Paulo, de 2006 a 2015, e II) investigar se os aglomerados espaço-temporais de mortalidade de alto risco ocorreram durante ou após eventos extremos de temperatura do ar (ondas de frio e de calor). Utilizamos dados diários de mortalidade e por meio de uma análise retrospectiva de varredura espaço-temporal com um modelo discreto de *Poisson foi possível* detectar os agrupamentos espaço-temporais de alto risco. Os eventos extremos de temperatura do ar foram definidos a partir das temperaturas médias diárias, escolhemos o limiar abaixo do percentil 10 para as ondas de frio e acima do percentil 90 para ondas de calor, com dois ou mais dias consecutivos. Foram encontrados diversos aglomerados espaço-temporais de mortalidade de alto risco estatisticamente significativos localizados nas áreas periféricas do município. Os resultados mostram que os

agrupamentos espaço-temporais de risco associados às doenças cardiovasculares e isquêmicas do coração ocorreram durante ou após eventos de períodos de frio, enquanto que os aglomerados de alto risco relacionados com as mortes por acidente vascular cerebral e acidente vascular cerebral isquêmico foram relacionados a ondas de calor.

## 5.1. Materiais e Métodos

### 5.1.1. Aquisição de dados

#### *Dados meteorológicos*

Para a realização desta etapa da pesquisa utilizamos os dados diários de temperatura média do ar da estação meteorológica do Parque de Ciência e Tecnologia, pertencente ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG da Universidade de São Paulo, para os anos de 2006 a 2015.

#### *Dados de mortalidade*

Os dados de mortalidade geocodificados e agregados por setor censitário foram disponibilizados pela Fundação SEADE e SMS/SP. Os registros dos óbitos dos anos de 2006 a 2009, fornecidos pela Fundação SEADE, foram geocodificados e disponibilizados por setor censitário com base no Censo 2000. Portanto, para a representação da mortalidade nas áreas de ponderação do Censo de 2010, foi necessário a extração de centroides do setor censitário de 2000 para se obter uma equivalência com a área de ponderação de 2010.

Os dados dos óbitos a partir do de 2010 foram disponibilizados por setor censitário e geocodificados na SMS/SP levando em consideração os dados de residência e ocorrência, logradouro, número, distrito e do Código de Endereçamento Postal – CEP. Inicialmente os registros foram geocodificados a partir do Padronizador de Endereços da Prefeitura Municipal de São Paulo – PMSP que utiliza o Cadastro de Endereços da Cidade – CADEC, da Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento – SMUL, na qual permite encontrar os endereços considerados oficiais ligados ao centroide dos respectivos lotes fiscais, e também pelos endereços “não oficiais”, localizados pelos hidrômetros da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Os endereços não encontrados pelo padronizador foram geocodificados no *software* Maptitude e no Google Earth, sendo agregados por setor censitário.

Para esta etapa da pesquisa consideramos os indivíduos com 65 anos ou mais que foram a óbito por DCV (CID-10: I00–I99), RESP (CID-10: J00–J99), DIC (I20 – I25), DCB (CID-10: I60 – I69), AVCi (CID-10: I63, I65 e I66), AVCh (CID-10: I60, I61 e I62), e DPOC (CID-10: J40 – J44 e J47).

A utilização dos dados geocodificados foi aprovada pelo Conselho de Ética da Universidade de São Paulo - Escola de Artes, Ciências e Humanidades - EACH (CAAE: 13076619.2.0000.5390) e pelo Conselho Institucional de Ética da Secretaria de Saúde de São Paulo (SMS-SP) - SMS/SP (CAAE: 13076619.2.3001.0086), o estudo foi conduzido de acordo com a política da Lei Brasileira 13.709/2019.

#### *Dados populacionais e bases cartográficas*

Utilizamos os dados populacionais e as bases cartográficas de setores censitários e áreas de ponderação (310 áreas ponderação) do Censo de 2010 do IBGE. Agregamos os dados de mortalidade por setor censitário para área de ponderação para realizar a análise espaço-temporal. Para mapear os resultados, também utilizamos a base cartográfica dos Distritos Administrativos fornecida pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, (SMDU), cidade de São Paulo.

#### **5.1.2. Definição das ondas de frio e calor**

Definimos as ondas de frio como eventos em que a temperatura média diária permaneceu abaixo do percentil 10 durante dois dias consecutivos ou mais; ondas de calor por sua vez, foram definidas como eventos em que a temperatura média diária permaneceu acima do percentil 90 por dois dias consecutivos ou mais, levando em consideração o período de estudo (2006 a 2015). A análise descritiva dos eventos de mortalidade e temperatura extrema do ar foi realizada usando o software R (R Core Team, 2022).

#### **5.1.3. Análise espaço-temporal**

Para detectar aglomerados de mortalidade de alto risco no espaço e no tempo, realizamos uma análise estatística retrospectiva de varredura espaço-temporal a partir um modelo discreto de Poisson, o qual leva em consideração o sexo (feminino e masculino) e a idade (dois grupos etários: 65-84 e  $\geq 85$  anos) como covariáveis. Utilizamos o software *SaTScan* 9.6 (KULLDORFF, 2020) para a identificação dos aglomerados espaço-temporais.

Consideramos uma janela espacial de 5% da população em risco na forma cilíndrica, sendo que a janela temporal máxima foi limitada a 27 dias e o tamanho



mínimo do cluster temporal foi de 2 dias. A hipótese nula foi testada a partir da simulação de Monte Carlo com distribuição aleatória para calcular a significância estatística dos clusters espaço-temporais. A hipótese nula foi rejeitada com valores de  $p < 0,05$ . A análise espaço-temporal foi realizada separadamente para cada desfecho de mortalidade, e a representação cartográfica dos resultados foi elaborada no *ArcGIS* 10.5.

## 5.2. Resultados

### 5.2.1. Agrupamentos espaço-temporais

Os resultados a serem abordados aqui representa apenas os dos desfechos em saúde que apresentaram clusters espaço-temporais de alto risco. A Tabela 13 mostra os resultados das análises retrospectivas de agrupamentos espaço-temporais. Encontramos cinco agrupamentos espaço-temporais estatisticamente significativos para a mortalidade por DCV. No agrupamento número 1, 46 mortes eram esperadas, no entanto encontramos um valor de 105 mortes de acordo com a população em risco. O RR do agrupamento que registrou 46 óbitos por DIC (agrupamento número 6) foi de 3,46. Nota-se que os agrupamentos de DCV e DIC ocorreram durante o período de inverno, com exceção de um que ocorreu no início da primavera.

Tabela 13: Agrupamentos espaço-temporais DCV, DIC, DCB e AVCi em pessoas com 65 anos ou mais localizadas na cidade de São Paulo, Brasil, de 2006 a 2015.

	<b>Agrupamento</b>	<b>Duração (dias)</b>	<b>Observado</b>	<b>Esperado</b>	<b>RR</b>	<b>p-Value</b>
<b>DCV</b>	1	3 a 27 Jul de 2012	105	46	2,278	< 0.001
	2	22 Set a 12 Out de 2014	86	36	2,413	< 0.001
	3	2 a 28 de Set de 2013	62	23	2,640	0.001
	4	23 Mai a 3 Jun de 2006	62	24	2,561	0.003
	5	8 a 28 de Ago de 2015	58	23	2,489	0.033
<b>DIC</b>	6	5 a 27 de Jul de 2012	46	13	3,461	<0.001
<b>DCB</b>	7	27 Nov a 18 Dez de 2012	35	10	3,556	0.013
<b>AVCi</b>	8	28 Jan a 21 Fev de 2014	24	4	6,739	0.001
	9	28 Out a 8 Nov de 2012	10	0	20,576	0.005

O período do agrupamento espaço-temporal número 9 relacionado ao AVCi ocorreu entre 28 de outubro a 8 de novembro de 2012, 10 óbitos observados durante

o período e um valor de  $RR = 20,576$ . A partir do final de novembro a 18 de dezembro de 2012, 35 mortes foram observadas (DCB) e um  $RR$  de 3,556. Os agrupamentos de alto risco nos desfechos das DCB e AVCi foram detectados durante as estações primavera/verão. A Figura 32 mostra a distribuição espacial dos clusters espaço-temporais identificados.

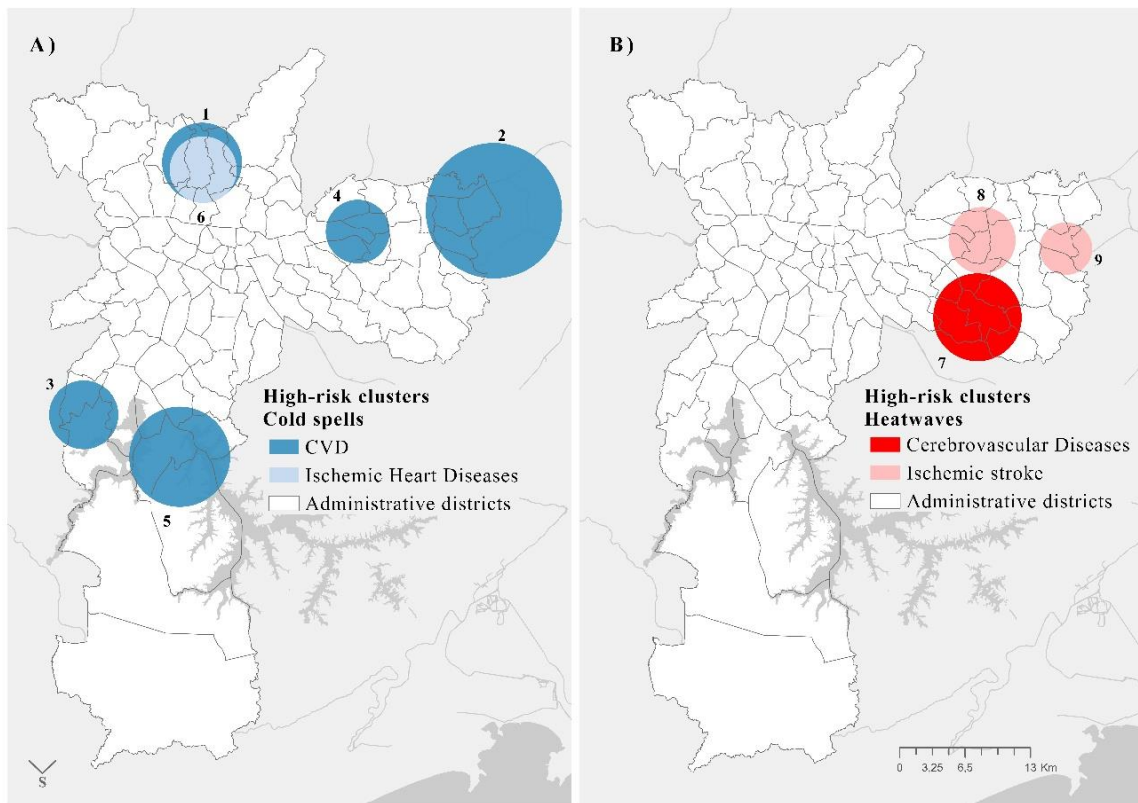


Figura 32: Padrão espacial de agrupamentos de alto risco de (A) DCV (CVD) e DIC 9 Ischemic Heart Diseases), e (B) DCB (Cerebrovascular Diseases) e AVCi (Ischemic stroke), em pessoas com 65 anos ou mais. Os dados foram coletados na cidade de São Paulo, Brasil, de 2006 a 2015. Os números no mapa indicam os agrupamentos de mortalidade de alto risco.

### 5.2.2. Eventos extremos de temperatura do ar e os agrupamentos espaço-temporais

Nosso estudo mostra que os agrupamentos espaço-temporais de alto risco ocorreram durante ou após eventos extremos de frio e calor. Identificamos 16 eventos extremos (10 períodos de ondas de frio e 6 ondas de calor) associados aos aglomerados espaço-temporais detectados. A Tabela 14 e a Figura 33 ilustram as datas de início e término dos agrupamentos detectados e a ocorrência de eventos registrados antes ou durante o período do agrupamento espaço-temporal. Cinco clusters de alto risco (DCV: 2, 3, 4 e 5; AVCi: 8) foram detectados alguns dias após a

ocorrência de um evento extremo. De maneira geral, os agrupamentos espaço-temporais de DCV e DIC ocorreram após ou durante eventos de ondas de frio, enquanto os clusters espaço-temporais devido a DCB e AVCi coincidiram com ondas de calor.

Tabela 14: Agrupamentos de alto risco espaço-temporais de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais na cidade de São Paulo, Brasil por causa do óbito, ondas de frio e de calor no período de 2006-2015.

	Agrupamentos	Duração dos agrupamentos (dias)	Ondas de frio	Ondas de calor
<b>CVD</b>	1	3 a 27 Jul de 2012	8 a 9 Jul de 2012 13 a 20 Jul de 2012	-
	2	22 Set a 12 Out de 2014	4 a 5 Set de 2014* 3 a 5 Out de 2014	-
	3	2 a 28 de Set de 2013	Aug 27th - Aug 29th, 2013* Sep 4th - Sep 5th, 2013 Sep 25th - Sep 27th, 2013	-
	4	23 Mai a 3 Jun de 2006	11 a 14 Mai de 2006* 23 a 25 Mai de 2006	-
<b>DIC</b>	5	8 a 28 de Ago de 2015	27 a 29 Jul de 2015*	-
	6	5 a 27 de Jul de 2012	8 a 9 Jul de 2012 13 a 20 Jul de 2012	-
<b>DCB</b>	7	27 Nov a 18 Dez de 2012	-	5 a 8 Dez de 2012 10 a 13 Dez de 2012
<b>AVCi</b>	8	28 Jan a 21 Fev de 2014	-	21 a 23 Jan de 2014* 25 a 13 Jan de 2014
	9	28 Out a 8 Nov de 2012	-	27th a 28 Out de 2012 30 a 31 Out de 2012

\* Evento extremo de temperatura do ar que ocorreu antes do de alto risco agrupamento espaço-temporal

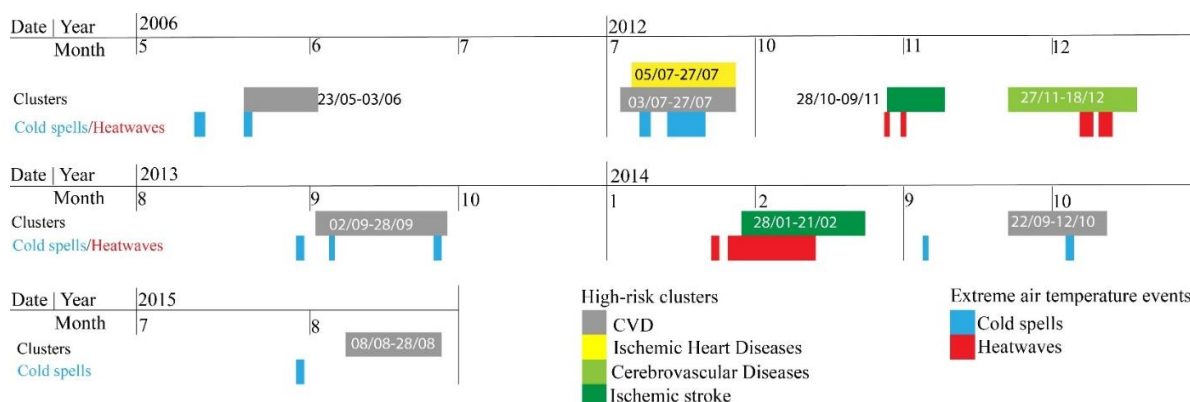


Figura 33: Distribuição da duração dos agrupamentos espaço-temporais das ondas de frio e de calor.

## 6. Mortalidade atribuída à Ilha De Calor Urbano

### Resumo do capítulo

Diversas pesquisas mostram os impactos da Ilha de Calor Urbano (ICU) na mortalidade durante eventos de ondas de calor ou calor extremo em cidades ao redor do mundo (HEAVISIDE et al., 2016; HO et al., 2023; LAAIDI et al., 2012; TAN et al., 2010). No entanto, o conhecimento sobre a mortalidade atribuída à ICU é limitado, principalmente em cidades da América Latina. A maioria dos estudos latino-americanos, em particular os realizados no Brasil apenas quantificam a intensidade da ICU ou estimam a associação entre os extremos de temperatura do ar na mortalidade e internações hospitalares, por meio de modelagens temporais sem levar em consideração os efeitos da ICU (MORAES et al., 2022, 2019; SILVEIRA et al., 2019; SON et al., 2016; ZHAO et al., 2019). Portanto, neste capítulo, quantificamos a intensidade da ICU e a mortalidade atribuída (todas as causas de morte) ao calor e a ICU durante um evento específico de onda de calor (26 de janeiro a 9 de fevereiro de 2014) no município de São Paulo. Para estimar e calcular os impactos relacionados à saúde é necessário inicialmente a quantificação da intensidade da ICU, sendo assim, utilizamos o modelo Weather Research & Forecasting (WRF) para simular a temperatura do ar de 2 m de altitude com uma resolução de 1 km x 1 km para os cenários 'Urbano' e 'Rural'. Além disso, a classificação das Zonas Climáticas Locais foi utilizada para obter parâmetros de uso e ocupação da terra, como entrada no modelo meteorológico. Com o intuito de lidar com a possível incerteza do modelo, validamos o modelo a partir de 31 estações meteorológicas e corrigimos o viés de incerteza do cenário 'Urbano' por meio de uma regressão linear para então calcular a mortalidade atribuída. A correção de viés da saída do modelo diminuiu a temperatura modelada e a quantidade total de óbitos atribuíveis ao calor, mas podemos observar que as mortes ainda eram atribuíveis ao efeito da ICU. Nossos resultados mostram que todas os óbitos relacionados ao calor (100%) podem ser atribuídos à intensidade da ICU modelada em ambas as simulações 'Urbana' não-viesada (não corrigida). Por fim, adicionamos incrementos constantes às temperaturas modeladas de acordo com as potenciais mudanças na temperatura no clima futuro. Foi possível identificar um aumento na mortalidade da população com 65 anos ou mais de idade com base no pior cenário de emissões de aumento de temperatura (+4°C). Assumindo que não

ocorreu nenhuma alteração nas condições demográficas e sociais, estimamos que até 2100 as mortes atribuídas ao calor podem chegar a valores entre 883 – 887 óbitos.

## **6.1. Materiais e Métodos**

### **6.1.1. Aquisição de dados**

Os dados diários de mortalidade foram fornecidos pelo Programa de Aperfeiçoamento de Informações sobre Mortalidade do Município de São Paulo (PROAIM). Para este estudo, consideramos todas as causas de morte, incluindo causas externas (Classificação Internacional de Doenças 10ª edição [CID-10]: A00-Z99).

Obtivemos dados meteorológicos de temperatura horária do ar da CETESB, INMET, Centro de Gestão de Emergências Climáticas de São Paulo (CGE), Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo (DG/USP) e Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - Universidade de São Paulo (IAG/USP). No total, 31 estações meteorológicas tiveram cobertura adequada durante o período de ondas de calor (26 de janeiro a 9 de fevereiro de 2014). A Tabela 15 mostra fornece informações detalhadas sobre cada estação meteorológica utilizada na análise.

Para realizarmos a modelagem epidemiológica, usamos a mortalidade diária por todas as causas, além da temperatura média diária do ar e umidade relativa da estação do INMET de 2007 a 2015. Escolhemos a estação meteorológica do INMET porque é classificada como urbana e possui a maior e mais completa série temporal. As concentrações diárias de material particulado com diâmetro aerodinâmico  $<10 \mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) foram fornecidas pela CETESB para ajustarmos o modelo epidemiológico. Os dados demográficos por nível de setor censitário foram obtidos do último censo (2010) do IBGE.

Finalmente, usamos as ZCL, uma classificação de uso e cobertura da terra, para inserirmos na etapa de modelagem de temperatura. O sistema de categorização ZCL representa a tipologia do solo e da tipologia das construções urbanas, que inclui 10 classes urbanas e 7 naturais (STEWART and OKE, 2012). Aplicamos a metodologia de mapeamento de Demuzere et al. (2021) para criar nosso mapa de ZCLs para São Paulo, que segue o protocolo padrão do World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT) (BECHTEL et al., 2015). As áreas de treinamento (polígonos) foram selecionadas por meio do Google Earth e submetidas no LCZ Generator (DEMUZERE et al., 2021). Nosso mapeamento das ZCL é uma melhoria

em relação aos mapas anteriores, particularmente o mapeamento da ZCL 7, que distinguiu as favelas e alcançou uma medida de precisão geral satisfatória de 0,65 (BECHTEL et al., 2019).

Tabela 15: Rede de estações meteorológicas

Estações meteorológicas	ID_nome	Operador da estação	Longitude	Latitude	LCZ
Anhemi	Anhemi	CGE	-46.64	-23.52	8
Aricanduva - Vila Formosa	Aricanduva	CGE	-46.51	-23.56	8
Butantã	Butanta	CGE	-46.73	-23.55	6
Campo Limpo	Campo_limpo	CGE	-46.77	-23.66	3
Capão Redondo	Capao_redondo	CETESB	-46.78	-23.67	6
Capela do Socorro	Capela_socorro	CGE	-46.73	-23.78	6
DG/USP	DG	DG/USP	-46.72	-23.56	6
Freguesia do Ó	Freguesia_do_o	CGE	-46.67	-23.48	3
Guarulhos-Paço Municipal	Guarulhos_paco	CETESB	-46.52	-23.46	3
IAG/USP	IAG	IAG/USP	-46.62	-23.65	6
Interlagos	Interlagos	CETESB	-46.67	-23.68	8
Ipiranga	Ipiranga	CGE	-46.58	-23.63	3
Itaquera	Itaquera	CGE	-46.45	-23.55	3
Jacareí	Jacarei	CETESB	-45.97	-23.30	3
Lapa	Lapa	CGE	-46.75	-23.53	1
M'Boi Mirim	M_boi_mirim	CGE	-46.73	-23.67	6
Móoca	Mooca	CGE	-46.59	-23.53	8
Parelheiros	Parelheiros	CGE	-46.65	-23.87	6
Perus	Perus	CGE	-46.75	-23.41	3
Pirituba	Pirituba	CGE	-46.73	-23.49	3
Riacho Grande	Riacho_grande	CGE	-46.53	-23.75	9
Santana - Tucuruvi	Santana	CGE	-46.62	-23.51	8
Santo Amaro	Santo_amaro	CGE	-46.67	-23.63	3
São Mateus	Sao_mateus	CGE	-46.47	-23.59	6
São Miguel Paulista	Sao_miguel	CGE	-46.45	-23.49	8
São Paulo - Mirante Santana	INMET	INMET	-46.62	-23.50	3
Sé	Se	CGE	-46.66	-23.55	1
Taboão da Serra	Taboao	CETESB	-46.76	-23.61	3
Vila Maria - Vila Guilherme	Vila_maria	CGE	-46.59	-23.50	3
Vila Mariana	Vila_mariana	CGE	-46.64	-23.58	3
Vila Prudente	Vila_prudente	CGE	-46.56	-23.58	3

### 6.1.2. Modelagem da temperatura do ar

O modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF; Chen et al., 2011) foi usado para simular a temperatura do ar horária com 2m de altitude (T2m) no domínio com grid horizontal de 1 x 1 km de resolução (Figura 34). O modelo usa uma estratégia de aninhamento bidirecional para obter uma simulação de alta resolução a partir da reanálise global dos dados meteorológicos – ERA 5 (MUÑOZ SABATER, 2019).

Nosso aninhamento de domínio consiste em 3 domínios incorporados de 12 km (200\*160 células de grade), 3 km (201\*161 células de grade) e 1 km (190\*180 células de grade). Para quantificar a intensidade da ICU, realizamos duas simulações ('Urbana' e 'Rural') para o período da onda de calor com um dia adicional considerado como tempo de rotação. A diferença de temperatura entre as simulações 'Urbana' e 'Rural' pode ser usada como uma aproximação espacialmente explícita da intensidade da ICU.

Para a simulação 'Urbana', utilizamos a *Building Effect Parameterization e Building Energy Model* (BEP-BEM; MARTILLI et al., 2002; SALAMANCA et al., 2010; SALAMANCA E MARTILLI, 2010), considerando os parâmetros padrão derivados da classificação ZCLs desenvolvida por Stewart e Oke (2012) e implementado com sucesso por Brousse et al. (2016) no WRF. Os parâmetros morfológicos são interpolados espacialmente usando a ferramenta Python WUDAPT-TO-WRF desenvolvida por Demuzere et al. (2022). Também derivamos uma configuração de uso/cobertura do solo 'rural' sem a presença da cidade, alocando em cada pixel urbano uma classe natural com base nas classes naturais mais próximas e comuns.

Com relação a física do modelo, usamos o esquema de camada limite de Mellor-Yamada-Janjic (JANJIC, 1994; MESINGER, 1993), o esquema de microfísica de Thompson (THOMPSON et al., 2008), os esquemas RRTMG de ondas curtas e ondas longas (IACONO et al., 2008) e o esquema de camadas superficiais de Similaridade Eta (JANJIC, 2002, 1996, 1994; MONIN E OBUKHOV, 1954). No primeiro domínio ativamos a base de umidade-advectação do esquema Kain-Fritsch Cumulus (MA E TAN, 2009), enquanto o segundo e o terceiro domínios estão em escalas que permitem a convecção (convection-permitting scales). Definimos o topo do modelo em 50 hPa com uma camada de amortecimento adicional de 5000 m e subdividimos a atmosfera em 56 camadas verticais. Usamos o Unified Noah Land Surface Model como o esquema de superfície terrestre (TEWARI et al., 2004) em sua parametrização padrão em 4 camadas de solo. Por fim, a temperatura da superfície do mar foi atualizada a cada 6 horas usando dados de reanálise ERA 5.

A simulação 'Urbana' foi validada a partir dos dados de 31 estações meteorológicas (Apêndice 16 e 17). Para validar o modelo, analisamos: a correlação de Pearson ( $r$ ), a correlação de Spearman ( $r_s$ ), a raiz do erro quadrático médio (RMSE), o erro absoluto médio (MAE) e o mean bias error (MB). Corrigimos o viés do



cenário 'Urbano' aplicando uma regressão linear com dois métodos diferentes: o primeiro, considerando uma correção de temperatura média de tempo de onda de calor que é então aplicada a cada temperatura diária derivada da simulação - nós o chamamos de 'Urbana T2m LRavg'; e a segunda, uma regressão linear sobre cada temperatura diária que é o timestep necessário para o modelo epidemiológico – chamamos de 'Urbana T2m LRtstep'. A correção do viés 'Urbano' foi aplicada para fornecer uma estimativa do grau de incerteza relacionado ao uso das temperaturas modeladas e também para estimar de maneira mais confiável a mortalidade relacionada à ICU (BROUSSE et al., 2022).

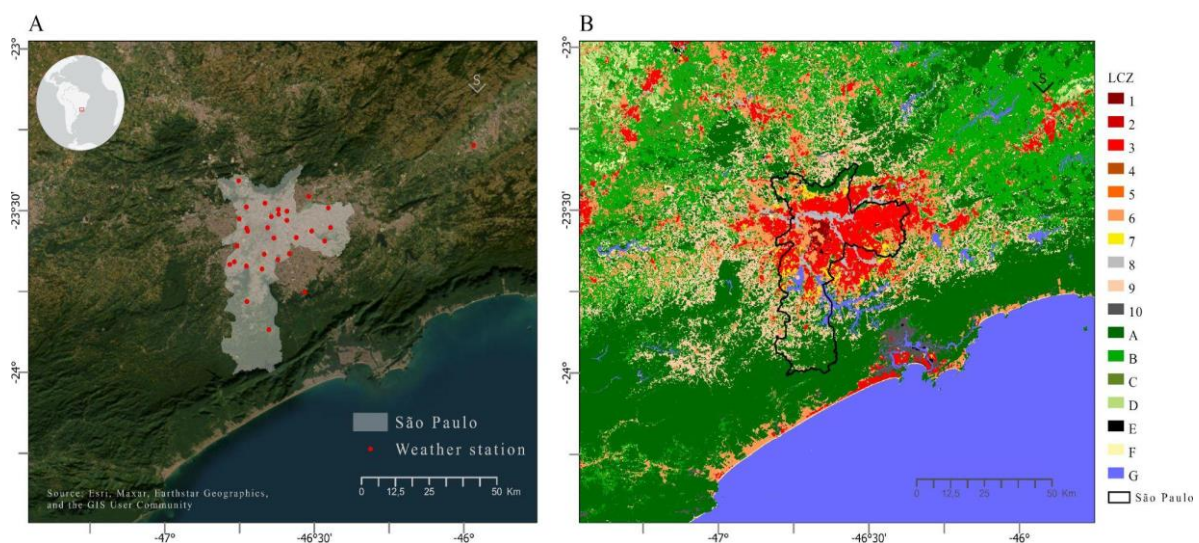


Figura 34: Domínio modelado (A) Área de estudo, pontos vermelhos referem-se a estações meteorológicas observacionais. (B) Mapa de Zonas Climáticas Locais.

### 6.1.3. Modelo epidemiológico

A partir de uma análise de série temporal derivamos o coeficiente de resposta à exposição para o calcular os impactos da temperatura do ar na saúde. Usamos a regressão de *quasi-Poisson* combinada com o modelo *Distributed Lag Model* (DLM) para estimar a associação entre a temperatura média do ar e a mortalidade por todas as causas. Para avaliar os efeitos das altas temperaturas na mortalidade, restringimos a análise ao período quente (setembro a março) e aplicamos a parametrização do limiar de temperatura (temperatura média do ar com efeito linear acima de 25,5°C [95<sup>o</sup> percentil]) com até 0-1 dias de atraso (*lag*). Estudos recentes também têm considerado o percentil 95 como limiar para o cálculo da resposta-exposição ao calor extremo na área de estudo (DINIZ et al., 2020; MORAES et al., 2022). A escolha dos dias de

atraso foi baseada na análise de sensibilidade e em pesquisas anteriores (GASPARRINI et al., 2011; HAJAT et al., 2014; SON et al., 2016). O modelo foi controlado para tendências de longo prazo usando *natural cubic splines* (ns) com três graus de liberdade (df) por ano e para sazonalidade (dia da estação) com ns e quatro df; MP<sub>10</sub> como termo linear; o dia da semana como uma variável categórica e umidade relativa através de ns com três df. Realizamos uma análise de sensibilidade para calibrar os parâmetros do modelo alterando os dias de atraso (0-1, 0-2 e 0-10) e o df de sazonalidade, tendências de longo prazo e umidade relativa. Os parâmetros do modelo foram definidos usando os critérios de Akaike para regressão *quasi-Poisson* (qAIC), tendo como preferência os menores valores.

O risco relativo acumulado (RR) para um aumento de 1°C acima do percentil 95 foi estimado com intervalos de confiança de 95% para todas as causas de morte e estratificado por idade (população total e ≥ 65 anos).

O pacote *dlnm* (GASPARRINI, 2011) foi utilizado para realizar a modelagem epidemiológica no software R versão 4.1.3. (R Core Team, 2022).

#### 7.1.4. Cálculo dos impactos na saúde – Mortalidade atribuída

Para avaliar os impactos na saúde durante o período de onda de calor, calculamos a mortalidade atribuível a partir da Avaliação de Impacto à Saúde, conforme mostrado em estudos anteriores (HAJAT et al., 2014; HEAVISIDE et al., 2016; MACINTYRE et al., 2021):

$$M = D * AF$$

$$AF = \frac{RR^{\Delta T} - 1}{RR^{\Delta T}}$$

$$RR = e^{(b\Delta T)}$$

Onde: M é o número total estimado de mortes relacionadas à temperatura por dia da onda de calor; D é a mortalidade diária por todas as causas; AF é a fração atribuível, que é definida pelo RR (o coeficiente, calculado no modelo epidemiológico, seção 7.1.3.);  $\Delta T$  é a diferença entre a média diária ponderada da população de 2m de temperatura do ar e o limite de 25,5°C (95º percentil). Calculamos a temperatura diária ponderada pela população usando os dados de quantidade de moradores por setor censitário combinado com a temperatura média modelada pelo WRF. Inicialmente, calculamos a média da temperatura média diária modelada para cada setor censitário; depois multiplicamos esses valores de temperatura pela população residente em cada setor, para então somar os resultados de todos os setores censitários e dividir pela população total de São Paulo. Além disso, a avaliação do impacto na saúde também considerou os efeitos de atraso (atraso 0-1 dia) da temperatura diária ponderada pela população.

Investigamos a mortalidade relacionada à temperatura para cada cenário ('Urbano', 'Rural' e ambos 'Urbano com viés corrigido'). Ao calcular a diferença entre a mortalidade atribuível das simulações 'Urbana' e 'Rural', quantificamos os impactos da intensidade da ICU na mortalidade. Para avaliar a atribuição de mortalidade à ICU entre as simulações urbanas corrigidas por viés sem uma simulação 'viés Rural corrigida', definimos o cenário 'viés Rural corrigido' como a diferença entre a temperatura ponderada pela população (viés corrigido urbano) e os valores da ICU ('Urbano' e 'Rural'). Isso se deve ao fato assumimos que o viés do modelo é aproximadamente o mesmo para as simulações 'Urbana' e 'Rural', mas como a simulação rural não pode ser corrigida com viés da mesma forma que a simulação urbana, simplesmente removemos a partir da diferença entre simulações 'Urbana' e 'Rural' (sem ser corrigida) com as simulações urbanas com viés corrigido. A análise foi estratificada por idade (população total e  $\geq 65$  anos).

Para simular os efeitos potenciais das mudanças climáticas na mortalidade em São Paulo, consideramos as projeções de temperatura média do ar do projeto CMIP6 para o cenário SSP5-8.5 (linha de base 1995-2014). As mudanças de temperatura para a região sudeste da América do Sul são projetadas a partir do percentil 50, relativo da estação quente (setembro a março), a projeção indica um aumento de 0,8°C (período próximo: 2021-2040) a 4°C (longo prazo 2081-2100). Neste estudo, olhamos para dois cenários (médio e longo prazo) e quatro valores diferentes de

temperatura média do ar: um aumento de 1°C e 2°C até 2050 como representativo do cenário de médio prazo (2041-2060) e um aumento de 3°C e 4°C em 2100 (cenário de longo prazo). Adicionamos os incrementos uniformes de temperatura à temperatura de linha de base para o período estudado (OdC de 2014) e realizamos a avaliação do impacto na saúde usando os mesmos parâmetros, assumindo que não há mudanças na estrutura da população ou adaptação futura da população ao calor extremo.

## 6.2. Resultados

A Figura 35A apresenta a temperatura média do ar modelada a 2m de altura para o 'Urbano' nos dias de 26 de janeiro a 9 de fevereiro de 2014, antes da correção do bias. A média diária da temperatura do ar modelada em São Paulo foi de 28,9°C atingindo um valor de 30,1°C em 9 de fevereiro; no cenário 'Rural', a temperatura média diária foi de 25,5°C durante o período da onda de calor na área de estudo. O apêndice 18 resume estatísticas mais gerais.

A diferença entre as simulações 'Urbana' e 'Rural' é mostrada na Figura 35B. Em São Paulo, a intensidade da ICU varia de 4,7 °C a 0,1 °C, sendo que os maiores valores foram encontrados principalmente no centro da cidade do que nas áreas rurais, enquanto no domínio da modelagem (apêndice 19) a T2, varia de 4,7 °C a -0,2°C. O apêndice 20 ilustra que os valores calculados da temperatura ponderada pela população foram muito semelhantes à média da temperatura modelada.

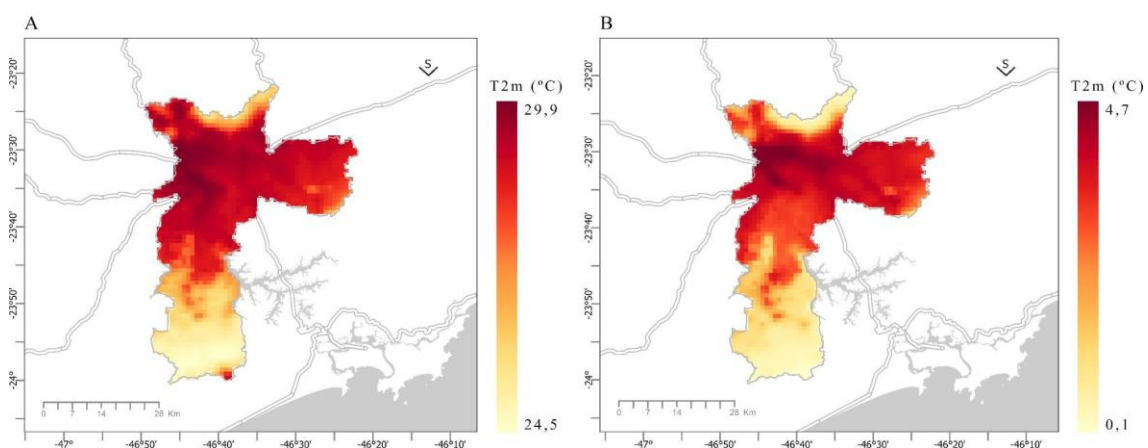


Figura 35: (A) Temperatura média do ar a 2m de altura para a simulação WRF 'Urbana' durante o evento de onda de calor (26 de janeiro a 9 de fevereiro de 2014) e (B) Intensidade ICU do período de onda de calor em São Paulo.

A Figura 36 e o apêndice 21 destacam as diferenças na modelagem da temperatura do ar da simulação 'Urbana' e as duas simulações urbanas com a correção de viés em São Paulo e em todo o domínio, respectivamente. A validação do modelo mostra que a maioria das estações meteorológicas apresentam bons resultados de correlação de *Pearson* e *Spearman* ( $> 0,9$ ). No entanto, percebemos que o modelo apresenta um efeito mais quente quando avaliamos os resultados dos outros indicadores estatísticos como o RMSE e MB, esses indicadores contribuem para verificar se há uma estimativa/viés de frio ou calor entre os valores de temperatura das estações meteorológicas e a temperatura modelada. Por exemplo, na avaliação da estação do INMET (São Paulo – Mirante Santana) contra o T2m 'Urbano', os resultados para ambas as correlações são 0,93, enquanto os valores de RMSE e MB são 2,21°C e 1,65°C respectivamente. Na avaliação das estações meteorológicas DG/USP e Capela do Socorro e a T2m 'Urbano', os valores de RSME e MB são ainda maiores. Esses valores demonstram um viés positivo sugerindo uma superestimação sistemática das temperaturas urbanas pelo modelo. Cabe ressaltar que os resultados da correção de viés também são importantes para estimar os impactos na saúde de maneira mais precisa, pois o cálculo da avaliação de impacto na saúde depende dos valores da temperatura modelada. Portanto, uma estimativa de mortes atribuíveis que não considera o viés pode superestimar o número de mortes atribuídas ao calor.

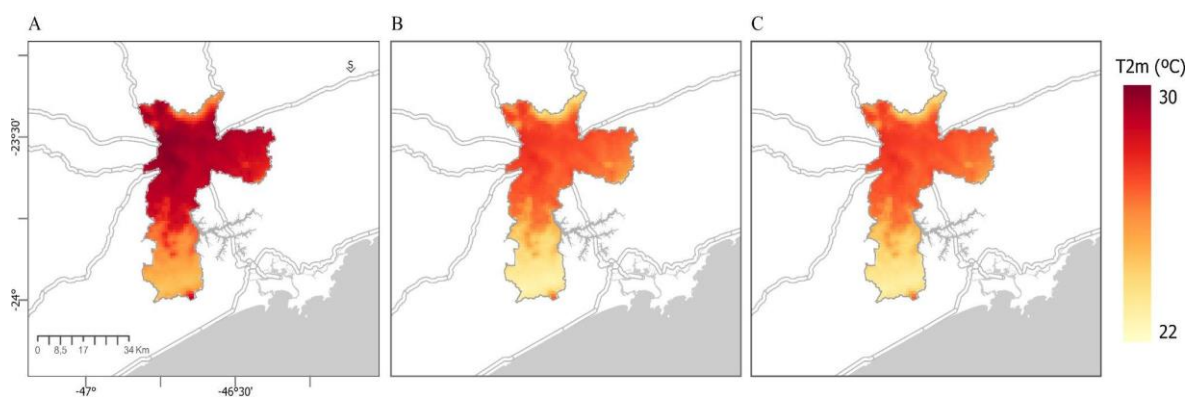


Figura 36: Temperatura média do ar a 2m de altura para o período de onda de calor em São Paulo (A) simulação 'Urbana' WRF, (B) 'Urbana T2m LRtstep', e (C) 'Urbana T2m LRavg'.

De 2007 a 2015, foram registradas 608.204 mortes totais em São Paulo, sendo que 3.191 mortes ocorreram durante o evento de onda de calor, uma média de 212 óbitos por dia. Destas, 1.980 mortes ocorreram entre a população idosa ( $\geq 65$  anos) no período de 26 de janeiro a 9 de fevereiro de 2014.

Com base nos resultados do modelo epidemiológico (figura 37), estima-se um RR de 1,07 (IC 95%: 1,05-1,08) para todas as causas de mortalidade e todas as idades em São Paulo a cada 1°C de aumento na temperatura média diária acima do percentil 95 (25,5°C). Os resultados estratificados por idade mostram um RR maior para a população ≥65 anos (1,09 [IC 95%: 1,08-1,11]) do que entre pessoas de 0-64 anos (1,03 [IC 95%: 1,01-1,05]), sem sobreposição do IC.

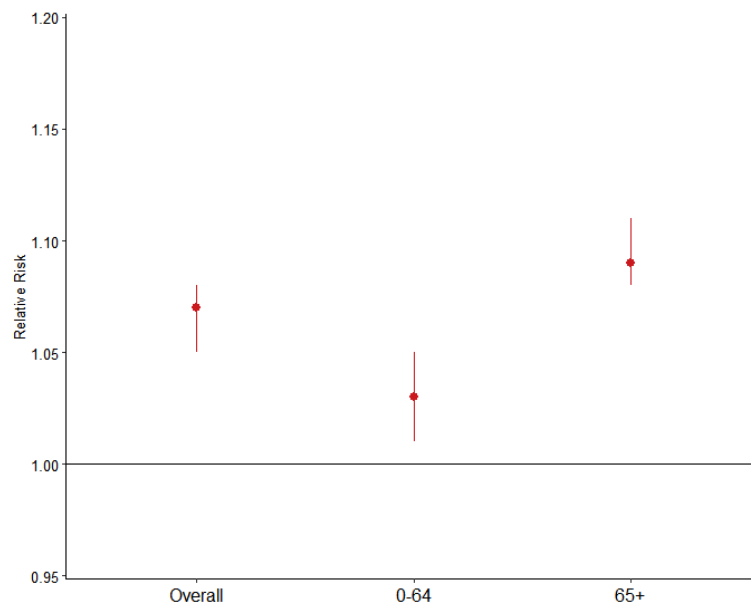


Figura 37: Risco relativo (IC 95%) por aumento de 1°C acima do percentil 95 (25,5°C) para a população geral (overall) e estratificada por idade (0 a 64 anos e ≥65 anos)

A Figura 38 mostra o número estimado de mortes para a população com 65 anos ou mais de idade nas simulações 'Urbana T2m LRTstep' e 'Urbana T2m LRavg' durante o período de onda de calor e para os incrementos de temperatura acima da temperatura de linha de base para o período (OdC 2014). Estimamos que todas as mortes relacionadas ao calor (100%) são atribuídas à intensidade da ICU para a população geral e estratificadas por idade nas simulações 'Urbana T2m LRTstep' e 'Urbana T2m LRavg'. O apêndice 22 fornece a mortalidade atribuível estimada para todas as simulações do WRF e estratificada por idade.

Nossos resultados sugerem um aumento substancial no número de mortes quando consideramos um aumento de 1°C, 2°C, 3°C e 4°C nos valores das temperaturas das simulações corrigidas pelo viés (Figura 38 e o apêndice 23). As futuras mudanças de temperatura indicam que, para um aumento de 1°C até 2050 no



cenário 'Urbano T2m LRtstep', a mortalidade atribuível seria 68% maior em comparação com o período de referência para o geral da população, 71% para 0-64 anos e 67% para pessoas com  $\geq 65$  anos. Até 2100, no pior cenário ( $+4^{\circ}\text{C}$ ), o número de mortes estimado é maior que o dobro, sendo de 236 para 883 na população com  $\geq 65$  anos. Para a simulação 'Urbana T2m LRavg', os resultados podem ser consultados no apêndice 23.

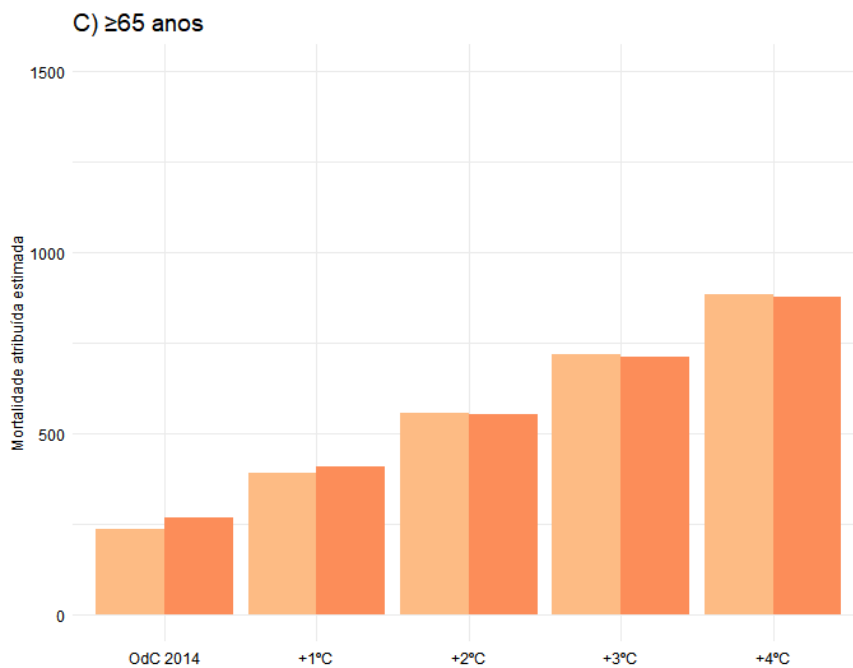


Figura 38: Mortalidade estimada atribuída ao calor para a população com 65 anos ou mais de idade nas simulações 'Urbana T2m LRtstep' e 'Urbana T2m LRavg' durante o período de ondas de calor (26 de janeiro – 9 de fevereiro de 2014) e para as projeções climáticas (entre  $+1$  e  $+4^{\circ}\text{C}$ ).

## 7. Mortalidade atribuível ao calor associada às classes de rendimento

### Resumo do capítulo

A grande maioria das mortes relacionadas ao calor são evitáveis. A prevenção é possível mediante a identificação das áreas e indivíduos mais vulneráveis para a adoção de medidas de adaptação, políticas públicas de saúde e melhorias na infraestrutura urbana e habitacional. Estudos indicam (HONDULA et al., 2015; AHRENFELDT et al., 2020; MIN et al., 2021; VISSER; KUNST; FLEISCHMANN, 2022; BAKHTSIYARAVA et al., 2023) que o excesso de mortalidade acontece principalmente entre pessoas com 65 anos ou mais de idade e também em áreas com grandes desigualdades sociais e econômicas. As disparidades entre classes de rendimento exercem impactos tanto diretos quanto indiretos sobre a saúde da população. Dessa maneira, o objetivo deste capítulo é estimar o risco de mortalidade por todas as causas associado ao calor levando em consideração o rendimento médio dos residentes de São Paulo e calcular a mortalidade atribuída ao calor durante a onda de calor de 2014 de acordo com diferentes níveis de rendimento. Por conseguinte, para calcularmos mortalidade atribuída ao calor a partir de uma perspectiva do contexto socioeconômico, escolhemos o rendimento médio mensal das pessoas responsáveis como variável. Estratificamos a análise em três classes de rendimento: baixa renda (até aproximadamente 3 salários mínimos – percentil 60), classe média (entre 3,1 a 9 salários mínimos), e alta renda (acima de 9,1 salários mínimos – percentil 90). Inicialmente, utilizamos um modelo epidemiológico de série temporal (2007-2015) para a estimativa do risco para cada classe de rendimento, para então calcularmos a mortalidade atribuída ao calor e à taxa de mortalidade atribuída ao calor durante a onda de calor que ocorreu entre janeiro e fevereiro de 2014. Nossos resultados mostram que as áreas classificadas como baixa renda (1,09; IC: 1,07 – 1,11) apresentam um risco relativo maior de mortalidade se comparado com as áreas de alta renda (1,06; IC:1,02 – 1,10) para a população com 65 anos ou mais de idade. Verificamos ainda que a classe de baixa renda apresenta uma taxa de mortalidade atribuída à onda de calor de 2014 de 22,8 (65 anos ou mais de idade), sendo superior à da alta renda (16,1) e inferior à taxa para a classe média (34,1).



## **7.1. Materiais e Métodos**

### **7.1.1. Aquisição de dados**

Os dados diários de mortalidade geocodificados e agregados por setor censitário foram disponibilizados pela Fundação SEADE (2007 a 2009) e SMS/SP (2010 a 2015), consideramos todas as causas de morte (CID-10: A00-Z99) nesta etapa da pesquisa. Além dos dados diários de mortalidade utilizamos os dados de temperatura média do ar e de umidade relativa da estação meteorológica do INMET e de poluição atmosférica (MP<sub>10</sub>) da CETESB para estimar o risco RR por meio do modelo epidemiológico. Para o cálculo da mortalidade atribuída ao calor usamos a média dos valores da temperatura do ar do modelo 'Urbano T2m LRtstep' por área de ponderação, mais detalhes da modelagem da temperatura do ar durante uma onda de calor específica que aconteceu em São Paulo podem ser verificados no Capítulo 6 desta tese.

Os dados populacionais, de renda e as bases cartográficas de setores censitários e áreas de ponderação utilizadas foram do Censo de 2010 do IBGE.

### **7.1.2. Indicador do status socioeconômico**

Para verificarmos a associação entre a mortalidade e o contexto socioeconômico durante dias de calor extremos e de uma onda de calor específica escolhemos a variável renda (variável do Censo 2010 do IBGE: Valor do rendimento mensal médio das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes; o valor do salário-mínimo em 2010 era de R\$510, 00). A renda já foi utilizada anteriormente na associação entre temperatura do ar e a mortalidade (HONDULA et al., 2015; AHRENFELDT et al., 2020; VISSER; KUNST; FLEISCHMANN, 2022; BAKHTSIYARAVA et al., 2023). Neste capítulo, agregamos e classificamos a variável renda em três grupos por área de ponderação: (a) baixa renda (até aproximadamente 3 salários-mínimos – percentil 60), (b) classe média (entre 3,1 a 9 salários mínimos), e (c) alta renda (acima de 9,1 salários mínimos – percentil 90). A figura 39 ilustra e identifica a distribuição espacial de cada grupo por área de ponderação. Uma análise de sensibilidade foi realizada com outras variáveis de rendimento do Censo 2010 e do GeoSES (BARROZO et al., 2020), um índice socioeconômico que aborda diversas dimensões como pobreza, segregação, privação material, entre outras.

### 7.1.3. Modelo epidemiológico

Utilizamos os mesmos parâmetros do modelo epidemiológico que estimou a associação entre temperatura média do ar e a mortalidade por todas as causas no Capítulo 6. Portanto, o modelo foi restrito à estação mais quente do período de 2007 a 2015, com 0-1 dia de *lag* e um limiar de temperatura no percentil 95. Controlamos as tendências de longo prazo, a sazonalidade e consideramos o MP<sub>10</sub>, o dia da semana e umidade relativa. Neste capítulo, no entanto, cada óbito diário foi atribuído a uma classe de rendimento, sendo que em cada classe estimamos RR para o total da população e por idade (0-64 anos e 65 anos ou mais de idade).

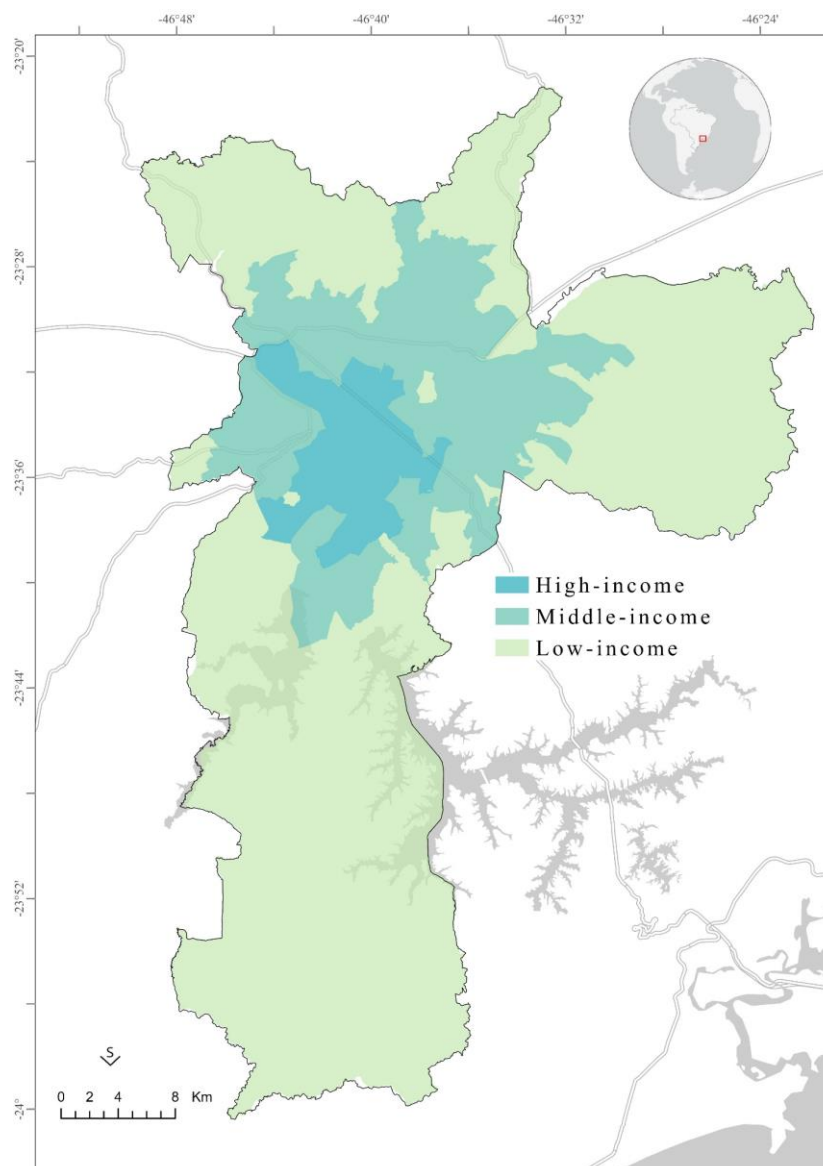


Figura 39: Classes de rendimento do município de São Paulo de acordo com a média de rendimento mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes agregado por área de ponderação: a) baixa renda (Low-income), (b) classe média (Middle-income), e (c) alta renda (High-income).

#### 7.1.4. Mortalidade atribuída ao calor e taxa de mortalidade

Inicialmente calculamos a mortalidade atribuída para classe de rendimento levando em consideração o número total de óbitos ocorridos durante a onda de calor de 2014, os resultados do modelo epidemiológico (RR) e o limiar da temperatura no percentil 95 (25,5°C), os valores da temperatura do ar modelada ponderada pela população em cada área de ponderação com um dia de *lag* para estimar a fração atribuível e conseqüentemente a mortalidade atribuível ao calor, maiores detalhes do cálculo dos impactos na saúde podem ser conferidos no Capítulo 6. Posteriormente calculamos a taxa da mortalidade (por 100 mil habitantes) para cada classe de rendimento e estratificada por idade (população total, 0-64 anos e 65 anos ou mais de idade).

#### 7.2. Resultados

Entre o período de 2007 a 2015 um total de 608,204 óbitos por todas as causas foram registrados sendo que 589,756 óbitos foram geocodificados (97%) e agregados por área de ponderação. A tabela 16 mostra as informações sobre a população, a quantidade de óbitos e a média da temperatura do ar modelada (T2m) para uma onda de calor específica, em cada classe de rendimento. O valor médio da T2m é bem semelhante entre a classe média e a alta renda, sendo que na classe de baixa renda a diferença da T2m entre a alta renda é de 0,5°C. Quando observamos os valores mínimos da T2m (apêndice 24) percebemos que a baixa renda apresenta áreas com valores menores de T2m se comparado com a alta renda, uma diferença de 3,1°C. O apêndice 24 apresenta distribuição espacial da temperatura do ar modelada média em cada área de ponderação e por classe de rendimento

Tabela 16: Total da população, óbitos e a média da T2m por classe de rendimento

	<b>População (todas as idades)</b>	<b>População (≥ 65 anos)</b>	<b>Óbitos (total)</b>	<b>Óbitos (≥ 65 anos)</b>	<b>T2m</b>
Baixa renda	7137532	412762	322475	162296	26,6
Classe Média	3170418	370995	208419	147109	27,0
Alta Renda	945553	130889	58862	47095	27,1

A figura 40 e a tabela 17 mostram os resultados do modelo epidemiológico por classe de rendimento, nota-se que a classe média e a baixa renda apresentam os maiores RR se comparados com a alta renda. As pessoas com mais de 65 anos de idade que moram em áreas de ponderação consideradas de baixa renda apresentaram um RR de 1,09 (IC: 1,07 – 1,11), já a de alta renda o valor do RR foi menor, 1,06 (IC:1,02 – 1,10). Os resultados foram estatisticamente significativos com exceção para o desfecho de 0-64 anos de idade na classe de alto rendimento.

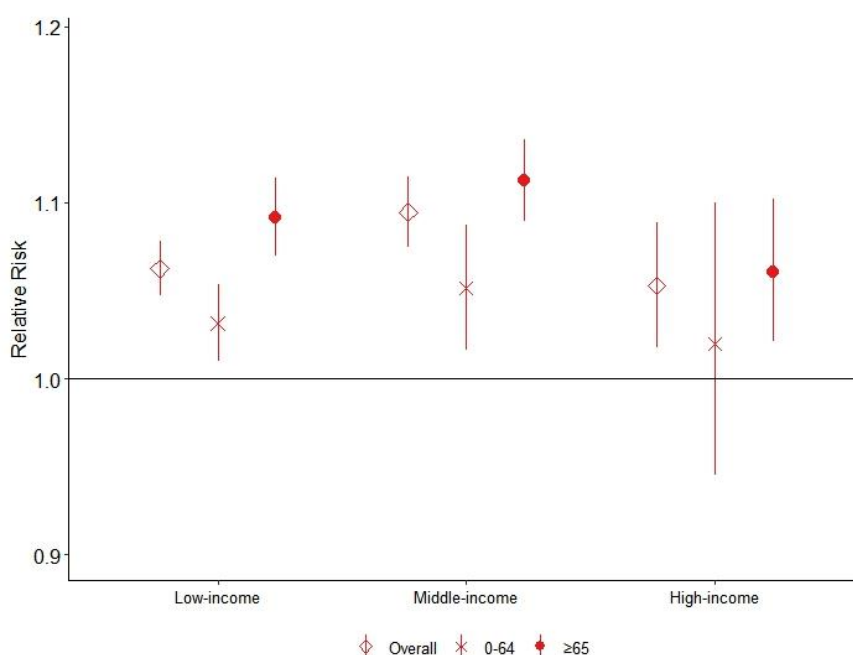


Figura 40: Risco relativo por classe de rendimento: Baixa renda (Low-income), Classe média (Middle-income), e Alta renda (High-income), estratificado pelo total da população (overall), 0-64 anos e com 65 anos ou mais de idade.

Tabela 17: Risco relativo por classe de rendimento estratificado por idade (total da população, 0-64 anos e ≥ 65 anos)

	<b>Todas as idades</b>	<b>0-64</b>	<b>≥ 65</b>
<b>Baixa renda</b>	1.06 (1,05 - 1,08)	1.03 (1.01 - 1.05)	1.09 (1.07 - 1.11)
<b>Classe média</b>	1.09 (1.07 - 1.11)	1.05 (1.02 - 1.09)	1.11 (1.09 - 1.14)
<b>Alta renda</b>	1.05 (1.02 - 1.09)	1.02 (0.94 - 1.10)	1.06 (1.02 - 1.10)

Quando avaliamos a mortalidade atribuída ao calor para cada classe de rendimento durante uma onda de calor específico em São Paulo é possível perceber que as maiores taxas de mortalidade do período estão localizadas nas áreas de ponderação que foram classificadas como baixa renda e classe média, especialmente na faixa etária de 65 anos ou mais de idade (figura 41). Os valores encontrados da

taxa de mortalidade atribuída ao calor durante a onda de calor de 2014 entre as pessoas com  $\geq 65$  anos é bem distinto entre as três classes de rendimento (tabela 18), sendo 21,8 para a baixa renda, 34,1 para a classe média e 16,1 na alta renda. Os demais valores de taxas, bem como o número de óbitos atribuídos ao calor podem ser consultados no apêndice 25. Os apêndices 26 e 27 apresentam a distribuição espacial das taxas de mortalidade para o total da população e para as pessoas entre 0 a 64 anos de idade.

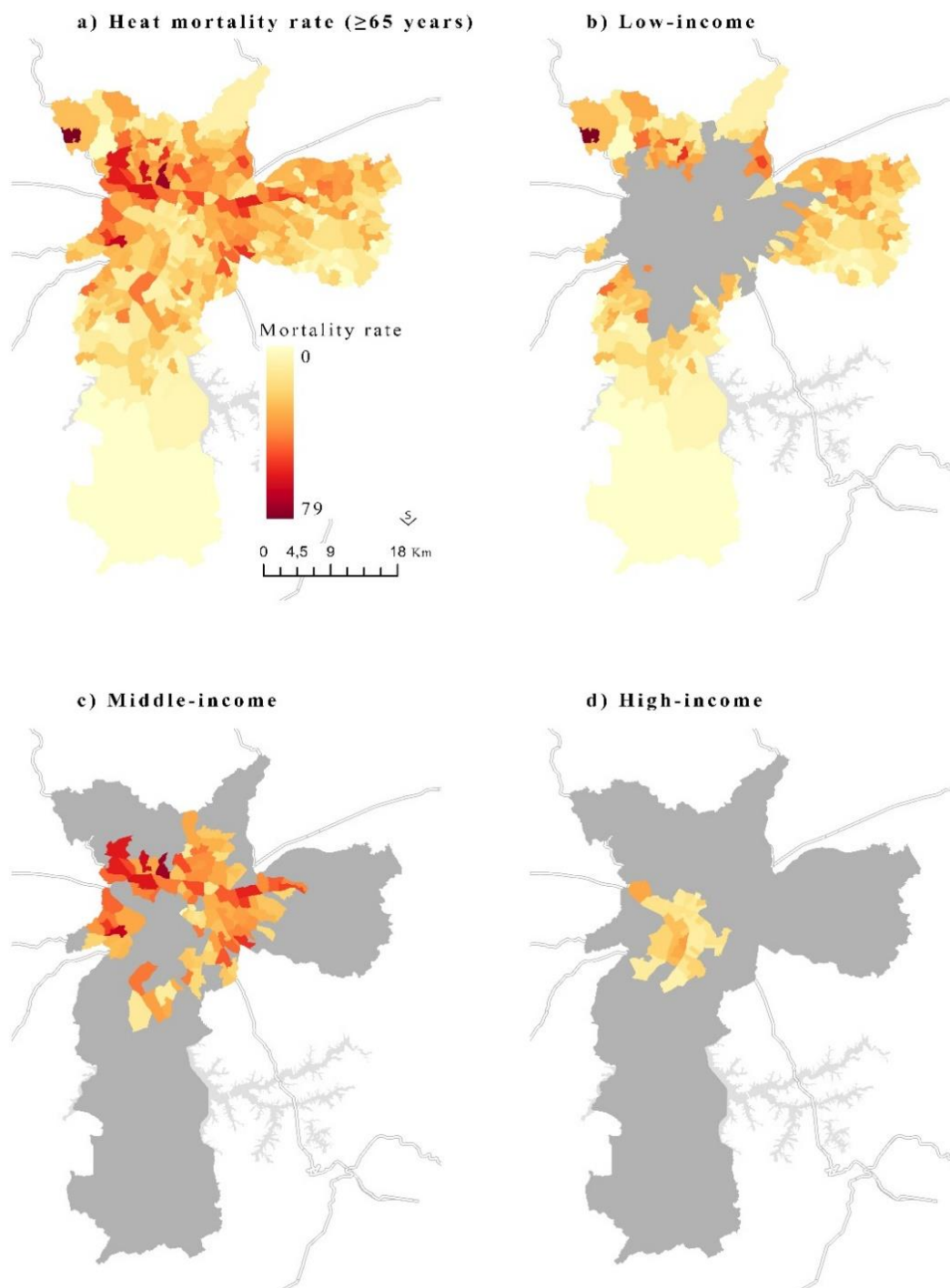


Figura 41: Taxa de mortalidade atribuída ao calor (por 100 mil habitantes) de pessoas com 65 anos ou mais de idade. a) Taxa de mortalidade atribuída ao calor no município de São Paulo, b) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de baixa renda, c) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de classe média, d) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de alta renda

Tabela 17: Mortalidade atribuída e taxa de mortalidade atribuída (por 100 mil habitantes) ao calor de pessoas com 65 anos ou mais de idade durante a onda de calor de 2014 por classe de rendimento.

	<b>Mortalidade atribuída</b>	<b>Taxa de mortalidade atribuída</b>
Baixa renda	90	21,8
Classe média	127	34,1
Alta renda	21	16,1

## 8. Resultados principais

Os capítulos que compõem esta tese verificaram e quantificaram os impactos das ondas de frio e de calor na mortalidade a partir de análises temporais e espaço-temporais, além de abordar os diversos fatores risco que podem contribuir para o aumento da vulnerabilidade e do risco de mortalidade, especialmente, das pessoas com 65 anos ou mais de idade que moram em São Paulo.

O capítulo 4 – *O impacto das ondas de frio e de calor na mortalidade em São Paulo*, estabelece a associação entre a mortalidade por causas específicas em distintas definições de ondas de frio e de calor. Os resultados apontam que há um alto risco de mortalidade de pessoas  $\geq 65$  anos quando ocorrem os eventos extremos de temperatura do ar tanto de frio quanto de calor em São Paulo. Percebemos ainda, que os eventos mais intensos e longos possuem valores de RR maiores se comparados com os de menor intensidade e duração em determinadas definições. Nota-se que os valores dos riscos associados ao total das DCV são maiores do que as respiratórias, principalmente nas ondas de frio, as causas específicas de mortalidade como as DCB, DIC e AVCi também possuem alto risco em diversas definições de ondas de frio e de calor. Quando avaliamos o risco estratificado por sexo, é possível observar que no total das DCV e RESP as mulheres são mais vulneráveis se comparado aos homens durante as ondas de frio e de calor. O mesmo não ocorre quando avaliamos o risco para causas-específicas e determinadas definições dos eventos.

Após a verificação que as pessoas com 65 ou mais anos de idade que residem na cidade de São Paulo são vulneráveis à ocorrência das OdC e OdF e a quantificação desta vulnerabilidade, partimos para o questionamento se o alto risco apresenta uma geografia, ou seja, varia no espaço. Quando pensamos nas possíveis desigualdades espaciais do risco da mortalidade por causa específica relacionado aos eventos extremos de temperatura do ar, o *Capítulo 5 – Associação entre os efeitos das ondas de calor e das ondas de frio e os agrupamentos de espaço-temporais de alto risco de mortalidade* nos ajuda a responder a esse questionamento de maneira geral, uma vez que os resultados principais revelam que agrupamentos espaço-temporais de alto risco encontrados acontecem após ou durante a ocorrência de um evento de frio ou calor. Observamos que os agrupamentos de alto risco se localizam na periferia do município e que os agrupamentos alto risco mortalidade por DCB e AVCi encontrados



ocorreram em momentos de ondas de calor, enquanto os associados ao total das DCV aconteceram durante ou após ondas de frio, evidenciando assim, uma vulnerabilidade espaço-temporal que pode estar relacionada com a ocorrência eventos extremos de temperatura do ar, mas que não podem ser apenas explicadas por essa relação. Esses resultados, portanto, não respondem se as desigualdades socioeconômicas e o padrão da distribuição da temperatura no município são fatores que contribuem para a ocorrência deste padrão espaço-temporal dos agrupamentos de alto risco, uma vez que não relacionamos os agrupamentos de alto risco com as variáveis socioeconômicas e do ambiente construído.

A ocupação e uso do solo (ambiente construído urbano), pode colaborar para o aumento da temperatura do ar em determinadas áreas da cidade e conseqüentemente podem contribuir para o aumento do risco de mortalidade associado aos eventos extremos de temperatura do ar, especialmente os de calor. Por conseguinte, no *Capítulo 6 – Mortalidade atribuída a Ilha de Calor Urbano* avaliamos a distribuição espacial da temperatura do ar durante a ocorrência de uma onda de calor específica, e destacamos associações entre a intensidade da ICU e a mortalidade por todas as causas atribuída ao calor e a ICU. Neste capítulo, portanto, buscamos explorar mais um fator de risco que pode estar relacionado com o excesso de mortalidade durante uma onda de calor. Nossos resultados mostram um padrão espacial distinto da temperatura do ar modelada entre o centro do município e a periferia, sendo que as áreas mais quentes se encontram mais próximas da área central do município. Sem a correção de viés a intensidade da ICU em São Paulo chega a 4,7°C e que as mortes relacionadas ao calor podem ser totalmente (100%) atribuídas a intensidade da ICU. Potenciais mudanças na temperatura no clima futuro podem agravar ainda mais as vulnerabilidades da população ao calor. Nossa estimativa aponta que no pior cenário de emissões (+4°C) um aumento na mortalidade relacionada ao calor aumentará ainda mais. Por conseguinte, nossos resultados permitem identificar que a intensidade da ICU é substancial na área de estudo. É necessário questionar se os moradores de São Paulo vivenciam a ocorrência de uma onda de calor da mesma maneira (mesma exposição) e se diferentes grupos socioeconômicos possuem respostas distintas à exposição. Ademais, será que risco de mortalidade varia de acordo com as condições do contexto socioeconômico e não apenas com as altas temperaturas e a intensidade da ICU durante um evento de onda de calor? *O capítulo 7 – Mortalidade atribuível ao*

*calor associada às classes de rendimento*, nos permite responder esses questionamentos.

As disparidades de rendimento e a segregação espacial em São Paulo é enorme e isso se reflete no risco de mortalidade relacionada ao calor. No capítulo 7, verificamos que a média da temperatura modelada é bem similar entre as três classes de rendimento, no entanto, observamos que o maior risco de mortalidade entre as pessoas com 65 anos ou mais acontece nas áreas classificadas como baixa renda (1,09; IC: 1,07 – 1,11) se comparado com as de alta renda (1,06; IC:1,02 – 1,10). Além disso, o padrão espacial da mortalidade atribuída a onda de calor 2014 é distinto entre as três classes de renda, sendo maior entre a baixa renda e a classe média.

## 9. Discussão

Os resultados principais desta tese de doutorado nos mostram: (I) o alto risco de mortalidade por causas CVD e RESP durante a ocorrência das ondas de frio e de calor (II) disparidades no padrão espaço-temporal do alto risco de mortalidade por DCV associados as ondas de frio e de calor, (III) o substancial impacto da intensidade da ICU na mortalidade durante uma onda de calor específica e (IV) o alto risco de mortalidade associado as disparidades das classes de rendimento médio.

O alto risco de mortalidade por DCV e RESP associado as ondas de calor e de frio encontrados na nossa área de estudo e recorte populacional é consistente com estudos anteriores (FOUILLET et al., 2006; ANDERSON; BELL, 2009; CHENG et al., 2019; YANG et al., 2019). Em São Paulo as doenças cardiovasculares e respiratória representam aproximadamente 50% de todos os óbitos de pessoas com 65 anos ou mais de idade por ano (SIM; PRO-AIM/CEInfo – SMS/SP, 2021).

Ao que se refere a ocorrência das ondas de calor, nossos resultados mostraram um risco significativamente alto de mortalidade, sendo que o maior risco de morte foi identificado nos limiares de temperatura mais altas e com duração  $\geq 3$  e  $\geq 4$  dias consecutivos. Esses resultados, são semelhantes a um estudo realizado em 400 cidades ao redor do mundo. Segundo os autores (GUO et al., 2017), os limites de temperatura mais altos das definições de ondas de calor (temperatura média diária, 95<sup>o</sup> e 97,5<sup>o</sup> percentil) apresentaram um risco maior de mortalidade por todas as causas de morte não acidentais na maioria dos lugares analisados, incluindo São Paulo e outras cidades no Brasil.

Zhao et al. (2019) observaram que o risco de internações hospitalares por DCV durante os dias de onda de calor em cidades brasileiras, por sua vez, apresentam um menor risco. As diferenças no risco de mortalidade e internações por DCV podem estar associadas aos efeitos do calor nos indivíduos mais vulneráveis. Deste modo, pessoas com comorbidades têm maior probabilidade de morrer antes de receber assistência médica ou de serem internadas em um hospital durante a ocorrência dos eventos de ondas de calor (ZHAO et al., 2019).

Observamos também um aumento nas mortes durante as ondas de frio, principalmente nos eventos de frio mais intenso (percentil 3) e encontramos um alto RR significativo nas causas de morte por DCV, DCB e AVCi e AVCh. Um estudo

recente realizado na China aponta que o maior risco de mortalidade durante as ondas de frio foi mais significativo entre os desfechos das doenças respiratórias em geral e DPOC, sendo os indivíduos com idade mais avançada os mais vulneráveis (CHEN et al., 2019). Apesar deste estudo investigar causas específicas de mortalidade durante as ondas de frio, análises como esta são limitadas, poucas pesquisas associam os eventos extremos de temperatura do ar com causas específicas de mortalidade, particularmente os subtipos de AVC, DIC e DPOC.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021), aproximadamente 3,17 milhões de pessoas morrem de DPOC a cada ano, e mais de 15,2 milhões mortes por AVC e ataque cardíaco ocorrem globalmente. A primeira causa de morte de anos potenciais de vida perdidos entre os brasileiros é por DIC, seguida pelo AVC na quarta posição e da DPOC na oitava posição (MARINHO et al., 2018). Portanto, é de extrema importância compreender a relação entre a mortalidade por causa-específica e os eventos extremos de temperatura do ar.

Identificamos altos RR estatisticamente significativos de mortalidade entre as DCB e AVCi em quase todas as definições de ondas de calor (exceto a classificação OdC\_90P\_4d de AVCi). Apenas em duas definições de ondas de frio para mortalidade por AVCh (OdF\_3P\_3d e OdF\_3P\_4d) apresentaram alto RR significativos, no entanto, nenhum RR significativo foi observado durante a ocorrência de eventos de ondas de calor. Além disso, verificamos um maior risco de mortalidade por AVCi do que por AVCh em dias de ondas de calor. Já os resultados do RR para DIC e DPOC mostraram aumento da mortalidade apenas em algumas definições de eventos de ondas de calor. Yin et al. (2018) observaram resultados semelhantes em um estudo de ondas de calor realizado na China. Em contrapartida com descobertas recentes, nenhum RR significativo foi encontrado para DPOC durante as ondas de frio (HAN et al., 2017; CHEN et al., 2019). A intensidade e a duração dos efeitos das ondas de calor e períodos de frio na mortalidade também variaram consideravelmente em outros estudos (CHEN et al., 2019; YANG et al., 2019).

Embora nossos resultados indiquem um alto risco de mortalidade por causa específica associados aos eventos extremos de temperatura do ar em diferentes formas de classificação, o foco principal desta pesquisa não é determinar qual seria a melhor definição de uma onda de calor ou de frio. Ao avaliar o risco da mortalidade em relação ao total das DCV, por exemplo, observamos que classificação de onda de

calor de menor intensidade (pencentil 90) já apresenta um alto risco de mortalidade, aumentando ainda mais conforme a intensidade e duração da onda de calor. Portanto, nossos resultados mostram que mesmo em ondas de calor menos intensas, medidas que contribuem para a redução da mortalidade devem ser adotadas independente do seu grau de severidade, sendo importante considerar o período de defasagem os tipos de causas específicas de mortalidade que são mais prováveis e os grupos mais vulneráveis.

Como poucos estudos investigaram a mortalidade por causa específica relacionada a ondas de calor e as ondas de frio, especialmente estratificada por sexo, nosso estudo pode fornecer dados que contribuam substancialmente sobre esse assunto. Identificamos um risco de mortalidade significativamente maior em mulheres do que em homens em algumas definições de ondas de calor para doenças cardiovasculares e respiratórias em geral. O mesmo é observado em alguns estudos internacionais (FOUILLET et al., 2006; VAN STEEN et al., 2019; YANG et al., 2019) e também na Região Metropolitana de São Paulo (DINIZ et al., 2020). Verificamos ainda, que os resultados relacionados as causas específicas que os homens são mais propensos a ir a óbito por DCB e AVCi durante períodos de frio e ondas de calor, enquanto as mulheres apresentaram maior risco de morrer de DIC durante o período de frio e DPOC em dias de calor.

As mulheres podem ser mais vulneráveis às altas temperaturas devido às mudanças nos hormônios reprodutivos, maior expectativa média de vida e outras respostas fisiológicas e termorreguladoras ao estresse térmico (van Steen et al., 2019). Entretanto os homens também são vulneráveis à exposição aos eventos de frio e calor, pois de maneira geral possuem doenças crônicas como as doenças cardiovasculares, comportamentos pouco saudáveis, e são menos propensos a fazer check-ups regulares e procurar cuidados de saúde para problemas de saúde pré-existentes do que as mulheres (ROGERS et al., 2010; CRIMMINS et al., 2019). As respostas à exposição a eventos extremos de calor e frio em mulheres e homens são inconsistentes na literatura e requerem mais investigação.

Por conseguinte, observamos que em São Paulo há um impacto significativo das ondas de frio e de calor na mortalidade das pessoas com 65 anos ou mais. O alto risco de mortalidade durante a ocorrência dos eventos extremos de temperatura do ar pode estar associado a uma combinação fatores que podem potencializar o risco de

mortalidade (TAN et al., 2010; HEAVISIDE; VARDOULAKIS; CAI, 2016; ALMENDRA; SANTANA; VASCONCELOS, 2017; GAO et al., 2019; SERA et al., 2019). Portanto, para uma melhor compreensão dos diversos fatores que contribuem para o aumento da mortalidade é necessário desenvolver análises espaço-temporais que auxiliam no entendimento da relação entre o lugar, que possui suas particularidades, e o excesso de óbitos que ocorrem durante as ondas de frio e de calor.

Assim sendo, nossos resultados mostram que além da associação temporal de alto risco entre a mortalidade e as ondas de frio e de calor, há um padrão espaço-temporal de alto risco desigual em São Paulo. Identificamos diversos agrupamentos espaços-temporais de alto risco de óbitos por DCV, sendo possível verificar que os agrupamentos encontrados foram detectados durante ou depois da ocorrência dos eventos extremos de temperatura do ar, mostrando assim uma relação do padrão do alto risco espaço-temporal com as ondas de frio e de calor.

Os efeitos da defasagem (*lag*) da exposição aos eventos extremos podem ajudar a explicar os agrupamentos de alto risco de mortalidade que ocorreram depois dos períodos de ondas de calor e ondas de frio encontrados nesta pesquisa. Como demonstrado anteriormente, encontramos resultados de alto RR nos períodos de defasagem. A literatura internacional aponta que o período de defasagem associado ao calor ocorre nos primeiros dias de alta temperatura, até aproximadamente 10 dias, enquanto os eventos de frio têm um efeito mais longo de dias a semanas (entre 7-27 dias) na mortalidade (GASPARRINI E ARMSTRONG, 2011; MONTEIRO et al., 2013; MORAES et al., 2022; MUGGEO E HAJAT, 2009; WANG et al., 2016).

Nossos resultados sugerem uma clara distinção entre as causas específicas de mortalidade e os eventos extremos de temperatura do ar. Enquanto os óbitos por DIC ocorrem após períodos de ondas de frio, as CBD e o AVCi causam aumento da mortalidade durante as ondas de calor. Além disso, verificamos que os agrupamentos espaço-temporais de alto risco se localizam nos bairros periféricos da cidade, ou seja, não se distribuem de maneira homogênea pela cidade, sendo as áreas mais periféricas as que apresentam maior mortalidade, sugerindo uma maior vulnerabilidade. Os agrupamentos foram predominantemente localizados nas zonas leste (DCV: 2 e 4; DCB: 6; AVCi: 7 e 8), sul (DCV: 3 e 5) e norte (DCV: 1; DIC: 6) áreas da cidade. Essas áreas estão localizadas nas áreas periféricas de São Paulo e podem estar relacionadas com as características socioeconômicas e com a intensidade da

ICU. Com base na classificação da intensidade da ICU em São Paulo definidos por Barros e Lombardo (2016), os agrupamentos espaço-temporais de CBD e AVCi se localizam nas classes forte e moderada. Apesar disso, essa possível associação deve ser melhor investigada, uma vez que os autores utilizam a temperatura de superfície para medir a intensidade da ICU, o que representa uma limitação importante nos estudos de saúde e não estima a intensidade da ICU em eventos de ondas de calor.

Para verificar possíveis associações entre o alto risco de mortalidade e a intensidade da ICU em períodos de eventos extremos de calor, usamos uma modelagem climática de alta resolução da temperatura do ar para estimar a intensidade da ICU e a mortalidade atribuída ao calor e aos efeitos da ICU durante a onda de calor específica de 2014 (26 de janeiro a 9 de fevereiro de 2014).

De acordo com os nossos resultados, a intensidade da ICU atingiu um máximo de 4,7°C na região mais quente de São Paulo durante a onda de calor de 2014. Intensidades similares da intensidade da ICU já foram observadas em estudos anteriores como, por exemplo, o valor a intensidade de 5,6°C no centro da cidade de Birmingham no Reino Unido durante a onda de calor de 2003 (HEAVISIDE et al., 2015). Na região metropolitana de São Paulo (MASP), a intensidade da ICU já foi estimada em torno de 2,5°C a 3,5°C em média em determinadas horas do dia durante o mês de janeiro, um estudo de 10 anos de análises (UMEZAKI et al., 2020). No entanto, os autores relatam que a intensidade ICU também pode atingir valores mais altos em dias de brisa marítima ( $>4^{\circ}\text{C}$ ) na MASP (UMEZAKI et al., 2020). Além disso, um estudo estimou que algumas cidades da América do Sul com climas temperados quentes poderiam registrar uma intensidade da ICU de 4,06 °C durante o verão (WU et al., 2019).

Os resultados apresentados nesta tese se alinham com estudos anteriores de mortalidade relacionados à ICU, na medida em que encontramos um impacto substancial da intensidade da ICU na mortalidade em São Paulo durante um evento de onda de calor. Nossos resultados mostram que todos os óbitos por todas as causas relacionados ao calor (100%) podem ser atribuídos ao efeito da ICU. Isso ocorre porque a temperatura do ar considerada como rural não excede o limiar de temperatura do ar estabelecido neste estudo (percentil 95; 25.5°C). Para West Midlands no Reino Unido, Heaviside et al. (2016) estimam que mais de 50% das mortes relacionadas ao calor podem ser atribuídas ao efeito da ICU durante a onda



de calor de 2003. Além disso, nossos resultados ainda revelam uma necessidade de adaptar os métodos de correção ao contexto das grandes cidades latino-americanas.

Um estudo de caso recente (BARBOZA et al., 2022) estimou a mortalidade atribuída às exposições ambientais (temperatura do ar/ excesso de calor) em São Paulo a partir da temperatura da superfície terrestre (TST). O uso de imagens de satélite para medir a distribuição da TST em escala intraurbana é uma ferramenta muito útil. No entanto, ressalvas devem ser feitas quando valores de TST são usados para avaliar os impactos na mortalidade relacionada ao calor em áreas urbanas, pois não representam uma estimativa adequada, a TST se refere a temperatura da superfície do objeto capturado pelo sensor (por exemplo, telhados e calçadas) e não representa, portanto, a temperatura do ar que é mais significativa e afeta a saúde da população de maneira direta e indireta (STEWART et al., 2021; VENTER et al., 2021).

Apesar disso, os autores identificaram que aproximadamente 370 mortes podem ser atribuídas à exposição ao calor e que a variação espacial da mortalidade atribuída ao calor teve uma baixa variação entre os níveis socioeconômicos do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS).

Em contrapartida, nosso estudo identificou que as disparidades de rendimento médio possuem um papel importante na vulnerabilidade ao calor em São Paulo. Encontramos uma variação substancial na taxa mortalidade atribuível ao calor durante a onda de calor de 2014, sendo maior nas áreas que foram classificadas como baixa renda (21,1) do que as de alta renda (16,1). Além disso, mostramos uma associação estatisticamente significativa entre as três classes de renda estudada com a mortalidade, entre as pessoas com 65 anos ou mais de idade, o RR de mortalidade relacionado ao calor é mais elevado na classe da baixa renda (1,09; IC: 1,07 – 1,11) se comparado com a alta renda (1,06; IC:1,02 – 1,10).

Sociedades com altos níveis de desigualdades tendem a ter um número maior de indivíduos em situação de pobreza e com acesso restrito a recursos básicos o que pode tornar a situação ainda mais preocupante com o atual cenário das mudanças climática. Níveis mais baixos de renda estão associados com os piores desfechos em saúde, pois pessoas com baixa renda apresentam maiores riscos de desenvolver doenças crônicas, sofrem com estresse e enfrentam dificuldades para acessar serviços de saúde adequados (MARMOT, 2002). Além disso, essas pessoas sofrem com um maior desconforto térmico, por possuem menor capacidade adaptativa aos



extremos de temperatura do ar, principalmente por contarem com condições precárias de moradia e acesso limitado a recursos capazes de melhorar a temperatura interna de suas casas.

Os impactos das condições de habitações na exposição associada aos eventos de calor extremo têm sido explorados por diversos autores (WHITE-NEWSOME et al., 2012; QUINN et al., 2014; STONE et al., 2021). No entanto, no Brasil, pesquisas sobre esse assunto são limitadas. A precariedade das condições de habitação, a falta de ventilação, inexistência de um sistema de refrigeração que ajude deixar a moradia mais confortável em extremos de calor (ar condicionado), além de habitações com dimensões insuficientes para abrigar famílias numerosas, resultam no desconforto térmico que pode contribuir para o aumento do risco de mortalidade durante eventos extremos de calor, principalmente entre os adultos com 65 anos ou mais de idade que passam a maior parte do tempo em suas habitações ou em ambientes internos. Ademais, o investimento necessário para manter uma habitação termicamente mais confortável durante ondas de calor é significativo, uma vez que a aquisição, manutenção e utilização de ar-condicionado são custosos, o que limita o seu uso pela classe de baixa renda e também da classe média, principalmente da classe média cujos rendimentos tendem a estar mais próximos dos valores da baixa renda do que da alta renda.

Apesar disso, pesquisas (HONDULA et al., 2015; AHRENFELDT et al., 2020; MIN et al., 2021; VISSER; KUNST; FLEISCHMANN, 2022; BAKHTSIYARAVA et al., 2023) realizadas em várias cidades do mundo apontam resultados diversos entre a associação entre a vulnerabilidade aos efeitos negativos da temperatura do ar e o baixo rendimento, sendo necessário mais investigações que abordem o tema, principalmente da relação entre desigualdade socioeconômicas e a mortalidade relacionada aos eventos extremos de calor.

Nossos resultados mostram que as áreas classificadas como classe média apresentam um maior RR (1,11; IC: 1,09 - 1,14;  $\geq 65$  anos) e taxa de mortalidade atribuída ao calor durante a onda de calor de 2014 (34,1;  $\geq 65$  anos) se comparado com as de baixa renda. Embora algumas áreas sejam classificadas como classe média, percebemos que a variação de renda é muito ampla, fazendo com que os estratos próximos à baixa renda estejam expostos a condições semelhantes durante a onda de calor. Além disso, a cidade de São Paulo é marcada por grandes

disparidades sociais, o que nos faz questionar se a renda média é capaz de explicar o maior risco encontrado na classe média. Acreditamos que essas áreas apresentam uma maior heterogeneidade em termos de condições socioeconômicas dos domicílios, em contrapartida às áreas classificadas como baixa e alta renda que podem certa forma serem mais homogêneas. Futuros estudos podem continuar a explorar estes aspectos.

## 10. Medidas e estratégias de minimização dos efeitos dos eventos extremos de temperatura do ar na saúde

Os resultados encontrados nesta pesquisa podem contribuir significativamente para a criação de medidas e estratégias que auxiliam na minimização dos impactos dos eventos extremos de temperatura do ar da população, principalmente dos mais vulneráveis. Atualmente, há um vasto conjunto de medidas e estratégias de mitigação e adaptação que abrangem diversas dimensões, incluindo a institucional, ambiental, social e econômica e que permitem diferentes escalas de ação (desde o nível individual até o global).

A previsão antecipada da ocorrência dos eventos extremos de calor e de frio intenso, em sua maioria, possibilita a adoção de medidas preventivas, como avisos de alerta à população e o preparo do sistema de saúde. Após uma intensa onda de calor que afetou diversos países europeus em 2003, o sistema de alerta *Heat-health warning system* (HHWS) foi criado para minimizar os impactos do estresse térmico na saúde humana (CASANUEVA et al., 2019). Esse sistema de alerta de extremo calor europeu é composto pelo serviço meteorológico, pela defesa civil e por autoridades de saúde pública e é ativado a partir do momento quando a temperatura do ar ou o índice de calor excede os limites especificados estabelecidos para cada localidade. Segundo Fouillet et al (2008), se o plano sistema de alerta de ondas de calor não tivesse sido implementado na França a onda de calor ocorreu em 2006 poderia ter causado 4.388 mortes a mais do que as que foram registradas.

O Brasil apresenta um bom sistema de previsões climáticas, no entanto, esse sistema não é integrado com a defesa civil que poderia alertar a população sobre os impactos da temperatura do ar na saúde e preparar o sistema de saúde para receber possíveis casos emergenciais devido aos agravamentos de doenças cardiovasculares ou respiratórios. No município de São Paulo a grande mídia informa sobre a ocorrência dos eventos extremos de frio e calor, mas pouco é debatido quais são os cuidados necessários durante tais situações e como se prevenir contra o estresse térmico, bem como os principais fatores de risco, sintomas e como buscar atendimento/tratamento quando necessário. Com a criação de um sistema de alerta para eventos extremos de temperatura do ar em São Paulo o sistema de saúde poderia estar melhor preparado, uma vez que nossos resultados permitem identificar que existe um alto risco de

mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais durante as ondas de frio e que esse alto risco pode ser observado até 10 dias após uma onda de calor ou 27 dias após uma onda de frio.

Para além do sistema de alerta, é importante que estejam disponíveis centros de resfriamentos urbanos de emergência, como aqueles desenvolvidos pelos canadenses, para ajudar a população vulnerável que possui condições inadequadas de habitação no enfrentamento de uma onda de calor, e também a ampliação de abrigos durante as ondas de frio. É necessário destacar que apesar das estimativas apontarem que as ondas de calor serão mais intensas, frequentes os eventos de frio também continuarão ocorrendo, nossos resultados apontam um alto risco significativo de mortalidade e medidas e estratégias relacionadas ao frio também devem ser consideradas. O município de São Paulo, possui um programa de Operação as Baixas Temperaturas, voltado para a população em situação de rua, havendo necessidade de incluir outros grupos de vulneráveis.

A prefeitura de São Paulo também elaborou um plano de mitigação e adaptação em 2020 para limitar os impactos das mudanças climáticas no município até 2050 (Plano de Ação Climática do Município de São Paulo 2020-2050; PlanClimaSP; [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio\\_ambiente/comite\\_do\\_clima/index.php?p=284394](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/comite_do_clima/index.php?p=284394)). Este plano tem como objetivo a redução de 50% das emissões de gases do efeito estufa (GEE) até 2030 em comparação com os níveis registrados em 2017, e se propõe a chegar ao carbono zero em 2050, além de aumentar a capacidade de adaptação da população paulistana por meio da redução das vulnerabilidades econômicas, ambientais e sociais. O plano ainda está em seus estágios iniciais, mas reconhece os riscos das mudanças climáticas, especialmente dos efeitos da ICU, das ondas de calor, tempestades e inundações. Entretanto, até o momento não foram implementadas medidas ou intervenções práticas para proteger os grupos mais vulneráveis durante um evento de onda de calor.

Os governos locais poderiam adotar medidas capazes de minimizar os impactos dos eventos extremos de temperatura do ar a partir da identificação e áreas que apresentam maiores desigualdades socioespaciais e direcionando estratégias e medidas mais eficazes com base nas localidades de maior risco. A promoção de campanhas locais/regionais e a capacitação de profissionais da saúde são outras

estratégias que poderiam colaborar para a redução dos riscos de mortalidade relacionada ao frio e ao calor extremo.

Com base nos resultados que mostram o impacto que intensidade da ICU aumenta a mortalidade relacionada ao calor, torna-se imprescindível implementar ações e soluções que promovam a adaptação para diminuir os efeitos das altas temperaturas na área urbana de São Paulo. Para isso, é fundamental realizar transformações na infraestrutura e no planejamento tais como a ampliação de áreas verdes, utilização de pavimentos brancos ou que absorvam menos calor e a adoção de telhados e terraços verdes ou brancos. Estudos prévios apontam os benefícios e potencialidades da implementação dessas medidas de infraestrutura urbana (SANTAMOURIS et al., 2017; MACINTYRE; HEAVISIDE, 2019; KRAYENHOFF et al., 2021; MACINTYRE et al., 2021b).

Ademais, uma outra medida que poderia ser considerada para garantir maior conforto térmico e diminuir a suscetibilidade ao frio e ao calor é o controle da temperatura nos ambientes internos. As pessoas com 65 anos ou mais de idade passam a maior parte do tempo dentro de ambientes fechados e poderiam se beneficiar com a melhoria das condições de habitações, especialmente em São Paulo, uma cidade com elevadas disparidades de rendimento e muitos residentes sem condições adequadas de moradia, tornando a vulnerabilidade aos eventos extremos de temperatura do ar ainda mais impactantes.

Por fim, a criação, o desenvolvimento e a implementação de medidas e estratégias de mitigação e adaptação para a minimização dos impactos do frio e do calor na saúde de ser realizada de maneira integrada e embasada em estudos que avaliam a associação entre a ocorrência dos eventos extremos de temperatura do ar e os desfechos de saúde para garantir medidas mais eficazes e com ganhos potenciais.

## 11. Pontos fortes e limitações

Esta pesquisa trata-se de um estudo ecológico, portanto, os resultados encontrados e conclusões apresentadas devem ser basear apenas nos objetivos que esse tipo de estudo adota e não podem ser extrapolados para diferentes condições climáticas, ambientais, ou até mesmo em outras unidades de agregação. Os resultados aqui encontrados se trata de associações estatísticas e, portanto, não podemos assumir relações de causalidade. Utilizamos métodos inovadores, robustos e em diferentes escalas para estimar a associação entre a mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais e os eventos extremos de temperatura do ar em São Paulo. Além disso, utilizamos dados de mortalidade de indivíduos residentes e cujo óbito foi registrado em São Paulo, no entanto, não podemos afirmar que todos os indivíduos permaneceram, por exemplo, no município durante o período inteiro da onda de calor de 2014. É necessário ressaltar, ainda, que ao melhor do nosso conhecimento, é a primeira pesquisa a investigar a associação entre a mortalidade por causa específica durante a ocorrências das ondas de frio e de calor, além de estimar a mortalidade atribuída à ICU e ao calor na escala intraurbana e por classe de rendimento. A seguir, destacamos os pontos fortes e limitações dos capítulos 4, 5, 6, e 7.

### *Capítulo 4 - O impacto das ondas de frio e de calor na mortalidade em São Paulo*

Os resultados encontrados neste capítulo nos permitem avançar no entendimento da relação entre clima e saúde na cidade de São Paulo. Apesar de não identificarmos o melhor preditor para quantificar o impacto dos eventos extremos de temperatura do ar na saúde humana, nossos resultados podem apoiar importantes medidas futuras de saúde pública. Por exemplo, descobrimos que todas as definições de ondas de calor (desde as menos intensas com menor duração até as mais intensas com maior duração) representam um alto risco de mortalidade por causa específica para pessoas com idade  $\geq 65$  anos. Medidas e alertas de saúde pública devem ser considerados a partir da abordagem mais conservadora com base nas definições de ondas de calor mais baixas, embora menos impactantes, para evitar o maior número possível de mortes relacionadas ao evento.

Por fim, algumas limitações precisam ser apontadas, obtivemos apenas os dados de temperatura e umidade de uma estação meteorológica para representar toda a cidade. Além disso, não abordamos a associação entre a carga de mortalidade durante ondas de calor e períodos de frio com outros fatores de risco, como ambiente construído e nível socioeconômico.

#### *Capítulo 5 - Associação entre os efeitos das ondas de calor e das ondas de frio e os agrupamentos de espaço-temporais de alto risco de mortalidade*

Neste capítulo, podemos notar potencialidades nos resultados encontrados, uma vez que mostramos evidências empíricas de que os agrupamentos espaço-temporais de alto risco de mortalidade que foram identificados se sobrepõem à ocorrência das ondas de frio e de calor e existe um padrão espaço-temporal de alto risco de mortalidade para as causas relacionadas ao sistema cardiovascular, especialmente em pessoas com 65 anos ou mais de idade.

Este capítulo apresenta algumas limitações, não consideramos a relação entre eventos extremos de temperatura e poluição do ar e seus efeitos na mortalidade. Além disso, não medimos as temperaturas em toda a cidade, apenas uma estação foi usada para classificar os eventos extremos de temperatura do ar e os nossos achados não consideraram outras variáveis para explicar os aglomerados de mortalidade espaço-temporal de alto risco.

#### *Capítulo 6 – Mortalidade atribuída a Ilha de Calor Urbano em São Paulo*

A modelagem da T2m em alta resolução, os resultados da intensidade da ICU e a aplicação das técnicas de correção de viés na modelagem da T2m representam os pontos fortes deste estudo. As áreas com maior de intensidade da ICU podem ser facilmente identificadas e podem contribuir para pesquisas futuras que abordem outros fatores de risco, principalmente em uma escala com maiores detalhes. Os resultados dos modelos de correção de viés também representam um avanço nas pesquisas que abordam a relação entre a ICU e a saúde, uma vez que muitos estudos semelhantes não consideram essa técnica que permite estimar de maneira mais precisa a mortalidade atribuída à ICU.

Além disso, nossos resultados estimam os possíveis impactos da ICU na saúde no futuro por meio de incrementos de temperatura nos cenários das mudanças

climáticas. No entanto, cabe destacar que nosso estudo não tenta prever temperaturas futuras ou condições de ondas de calor, pois apenas adicionamos incrementos à temperatura modelada (linha de base) de acordo com os valores de temperatura projetadas de um cenário de altas emissões do IPCC. Ademais, para calcular os impactos futuros na saúde, não consideramos a adaptação da população ao calor extremo ou mudanças na estrutura populacional.

Algumas limitações adicionais neste estudo precisam ser destacadas: (a) a estimativa da mortalidade relacionada ao calor é baseada em um limiar fixo da temperatura média do ar (95º percentil) e no coeficiente de resposta à exposição. Portanto, é importante reconhecer que diferentes limiares podem fornecer resultados e coeficientes diferentes na avaliação do impacto na saúde; (b) como em estudos anteriores, usamos os dados meteorológicos mais longos de uma única estação meteorológica (a mais urbanizada) para definir o limiar e representar toda a cidade no modelo epidemiológico; (c) avaliamos a modelagem WRF considerando 31 estações meteorológicas, mas nenhuma delas era representativa das favelas (LCZ 7); (d) apesar do fato de que os efeitos da ICU ocorrem todos os dias do ano, nossa estimativa leva em consideração apenas a mortalidade relacionada ao calor de um único evento de onda de calor; e (e) não consideramos outros fatores de risco (como temperatura interna, condições de moradia e contexto socioeconômico) e seu papel potencial no aumento da mortalidade nas cidades.

### *Capítulo 7 - Mortalidade atribuível ao calor associada às classes de rendimento*

A utilização da escala intraurbana para calcular a mortalidade atribuída ao calor durante a onda de calor de 2014 e relacioná-la com o contexto de classes de rendimento representa um dos pontos fortes deste capítulo. No entanto, destacamos algumas limitações dos resultados encontrados: (a) para calcularmos a mortalidade atribuída ao calor dependemos do resultado do modelo epidemiológico, portanto, uma diferente classificação das áreas de rendimento resultaria em diferentes resultados do RR e conseqüentemente da mortalidade atribuída (b) para estimarmos o RR utilizamos apenas dados de uma estação meteorológica, (c) não avaliamos outras variáveis socioeconômicas que poderiam estar relacionadas com a vulnerabilidade ao calor.



## 12. Considerações finais

A presente tese de doutorado permitiu verificar que o alto risco de mortalidade durante eventos extremos de temperatura do ar se associa com um conjunto de fatores de risco, bem como avançar no entendimento da relação entre clima e saúde na cidade de São Paulo. Destacamos a importância do ambiente construído e das características de cada lugar na contribuição do aumento da vulnerabilidade da população aos eventos extremos de temperatura do ar, especialmente daqueles com mais de 65 anos de idade.

Identificamos que quanto mais intenso e duradouro é o evento extremo de frio ou calor o risco de mortalidade por doenças cardiovasculares é maior e que o padrão espacial associado a essas causas de morte é desigual em São Paulo. Estimamos ainda, que a mortalidade atribuída (todas as causas) ao calor e a Ilha de Calor Urbano é substancial e que a classe de rendimento é determinante na vulnerabilidade ao calor

Nossos resultados, portanto, fornecem evidências robustas e informações úteis para gestores de saúde pública e de planejamento urbano para a promoção de medidas preventivas que possam reduzir os efeitos de eventos extremos de temperatura do ar na mortalidade em São Paulo.

## Referências

- AHRENFELDT, L. J. et al. Sex differences in health and mortality by income and income changes. **J Epidemiol Community Health**, v. 73, p. 225–231, 2020. Disponível em: <<http://europepmc.org/backend/ptpmcrender.fcgi?accid=PMC5604322&blobtype=pdf>>.
- ALEXANDER, L. V et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, p. 1–22, 2006.
- ALMENDRA, R.; SANTANA, P.; VASCONCELOS, J. Evidence of social deprivation on the spatial patterns of excess winter mortality. **International Journal of Public Health**, v. 62, n. 8, p. 849–856, 2017.
- ALTMAN, D. G.; BLAND, J. M. Interaction revisited: the difference between two estimates. v. 326, n. January, 2003.
- ANDERSON, B. G.; BELL, M. L. Weather-Related Mortality: How Heat, Cold, and Heat Waves Affect Mortality in the United States. **Epidemiology**, v. 20, n. 2, p. 205–213, 2009.
- ANDERSON, G. B.; BELL, M. L. Heat waves in the United States: Mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U.S. communities. **Environmental Health Perspectives**, v. 119, n. 2, p. 210–218, 2011.
- ANDERSON, J. O.; THUNDIYIL, J. G.; STOLBACH, A. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. **Journal of Medical Toxicology**, v. 8, n. 2, p. 166–175, 2012.
- ÅSTRÖM, D. O.; FORSBERG, B.; ROCKLÖV, J. Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. **Maturitas**, v. 69, p. 99–105, 2011.
- AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. **Thermal comfort**. [s.l: s.n.]
- BAI, L.; WOODWARD, A.; LIU, Q. County-level heat vulnerability of urban and rural residents in Tibet, China. **Environmental Health**, v. 15, n. 3, p. 1–10, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s12940-015-0081-0>>.
- BAKHTSIYARAVA, M. et al. Modification of temperature-related human mortality by area-level socioeconomic and demographic characteristics in Latin American cities. **Social Science and Medicine**, v. 317, 2023.
- BALMAIN, B. N. et al. Aging and Thermoregulatory Control: The Clinical Implications of Exercising under Heat Stress in Older Individuals. **BioMed Research International**, v. 2018, p. 12, 2018.
- BARBOZA, E. P. et al. The impact of urban environmental exposures on health: An assessment of the attributable mortality burden in Sao Paulo city, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 831, p. 154836, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154836>>.

BARROS, H. R. de; LOMBARDO, M. A. **Heat Island in the City of São Paulo . The Thermal Field of Parks**. Saarbrücken, Germany: Lambert Academic Publishing, 2016.

BARROZO, L. V. et al. GEOSeS: A socioeconomic index for health and social research in Brazil. **PLoS ONE**, v. 15, n. 4, p. 1–17, 2020.

BARTON, H.; GRANT, M. A health map for the local human habitat Healthy places , healthy people. **The Journal of The Royal Society for the Promotion of Health**, v. 126, n. 6, p. 252–253, 2006.

BECHTEL, B. et al. Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 4, p. 199–219, 2015.

BECHTEL, B. et al. Generating WUDAPT Level 0 data – Current status of production and evaluation. **Urban Climate**, v. 27, p. 24–45, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.10.001>>.

BENMARHIA, T. et al. Vulnerability to Heat-related Mortality. A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression Analysis. **Epidemiology**, v. 26, n. 6, p. 781–793, 2015.

BENMARHIA, T. et al. Small-area spatiotemporal analysis of heatwave impacts on elderly mortality in Paris: A cluster analysis approach. **Science of the Total Environment**, v. 592, p. 288–294, 2017.

BITENCOURT, D. P. et al. Frequência , Duração , Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil Frequency , Duration , Spatial Coverage , and Intensity of Heat Waves in Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 506–517, 2016.

BITENCOURT, D. P. et al. The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. **International Journal of Climatology**, n. August 2018, p. 1–15, 2019.

BLACK, E. et al. Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. **Weather**, v. 59, n. 8, p. 217–223, 2004.

BOULANT, J. A. Role of the Preoptic-Anterior Hypothalamus in Thermoregulation and Fever. **Clinical Infectious Diseases**, v. 31, p. 157–161, 2000.

BROUSSE, O. et al. WUDAPT , an efficient land use producing data tool for mesoscale models ? Integration of urban LCZ in WRF over Madrid. **Urban Climate**, v. 17, p. 116–134, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2016.04.001>>.

BROUSSE, O. et al. Bias correction of modelled urban temperatures with crowd-sourced weather data. **Authorea Preprints**, 2022.

BUNKER, A. et al. Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly ; a Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiological Evidence. **EBioMedicine**, v. 6, p. 258–268, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.02.034>>.

BUSCAIL, C.; UPEGUI, E.; VIEL, J. Mapping heatwave health risk at the community

level for public health action. **INTERNATIONAL JOURNAL OF HEALTH GEOGRAPHICS**, v. 11, n. 38, p. 1–9, 2012.

BUSS, P. M.; FILHO, A. P. A Saúde e seus Determinantes Sociais. **Revista Saúde Coletiva**, v. 17, n. 1, p. 77–93, 2006.

CARLOS, A. F. A. **O Espaço Urbano: Novos Escritos sobre a Cidade**. 1. ed. São Paulo: FFLCH, 2007.

CARMONA, R. et al. Geographical variation in relative risks associated with cold waves in Spain: The need for a cold wave prevention plan. **Environment International**, v. 88, p. 103–111, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.027>>.

CASANUEVA, A. et al. Overview of existing heat-health warning systems in Europe. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 15, 2019.

CDSS, C. para os D. S. da S. **Redução das desigualdades no período de uma geração. Igualdade na saúde através da acção sobre os seus determinantes sociais**. [s.l: s.n.].

CHEN, F. et al. The integrated WRF / urban modelling system: development , evaluation , and applications to urban environmental problems. **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 273–288, 2011.

CHEN, J. et al. Cold spell and mortality in 31 Chinese capital cities: Definitions, vulnerability and implications. **Environment International**, v. 128, n. January, p. 271–278, 2019.

CHEN, K. et al. Influence of heat wave definitions to the added effect of heat waves on daily mortality in Nanjing , China. **Science of the Total Environment**, v. 506–507, p. 18–25, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.092>>.

CHEN, T. H. et al. Impacts of cold weather on all-cause and cause-specific mortality in Texas, 1990–2011. **Environmental Pollution**, v. 225, p. 244–251, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.022>>.

CHENG, J. et al. Heatwave and elderly mortality : An evaluation of death burden and health costs considering short-term mortality displacement. **Environment International**, v. 115, n. April, p. 334–342, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.041>>.

CHENG, J. et al. Cardiorespiratory effects of heatwaves : A systematic review and meta- analysis of global epidemiological evidence. **Environmental Research Journal**, v. 177, n. July, p. 1–10, 2019.

CRIMMINS, E. M. et al. Differences between men and women in mortality and the health dimensions of the morbidity process. **Clinical Chemistry**, v. 65, n. 1, p. 135–145, 2019.

CUTTER, S. L. et al. Social Vulnerability to Environmental Hazards. **Social Science**

**Quarterly**, v. 84, n. 2, 2003.

DAHLGREN, G.; WHITEHEAD, M. **Policies and strategies to promote social equity in health Background document to WHO – Strategy paper for Europe**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 1991.

DEMUZERE, M. et al. W2W : A Python package that injects WUDAPT ' s Local Climate Zone information in WRF. **The Journal of Open Source Software**, v. 7, p. 1–8, 2022.

DEMUZERE, M.; KITTNER, J.; BECHTEL, B. LCZ Generator : A Web Application to Create Local Climate Zone Maps. **Front. Environ. Sci.**, v. 9:637455, 2021.

DIAZ, J. et al. Heat waves in Madrid 1986 – 1997 : effects on the health of the elderly. **Int Arch Occup Environ Health (2002)**, v. 75, p. 163–170, 2002.

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

EBI, K. L. et al. Hot weather and heat extremes : health risks. **The Lancet**, v. 398, n. 10301, p. 698–708, 2021. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)>.

FANTE, K. P.; ARMOND, N. B. Ondas De Frio E Enfermidades Respiratórias: Análise Na Perspectiva Da Vulnerabilidade Climática. **Geography Department University of Sao Paulo**, n. spe, p. 145, 2016.

FOUILLET, A. et al. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 80, n. 1, p. 16–24, 2006.

FOUILLET, A. et al. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. **International Journal of Epidemiology**, v. 37, p. 309–317, 2008.

FOUNDA, D.; SANTAMOURIS, M. Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012). **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-11407-6>>.

GAO, J. et al. The association between cold spells and admissions of ischemic stroke in Hefei, China: Modified by gender and age. **Science of the Total Environment**, v. 669, p. 140–147, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.452>>.

GASPARRINI, A. Statistical methods in studies on temperature-health associations. p. 175, 2011.

GASPARRINI, A. et al. The effect of high temperatures on cause-specific mortality in England and Wales. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 69, n. 1, p. 56–61, 2011.

GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B. The impact of heat waves on mortality. **Epidemiology**, v. 22, n. 1, p. 68–73, 2011.

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

GASPARRINI, A.; GUO, Y.; HASHIZUME, M. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. **Lancet**, p. 369–75, 2015.

GASPARRINI, A., GUO, Y., SERA, F., VICEDO-CABRERA, A.M., HUBER, V., TONG, S., DE SOUSA ZANOTTI STAGLIORIO COELHO, M., NASCIMENTO SALDIVA, P.H., LAVIGNE, E., MATUS CORREA, P., VALDES ORTEGA, N., KAN, H., OSORIO, S., KYSELY, J., URBAN, A., JAAKKOLA, J.J. K., RYTI, N.R.I., PASCAL, M., GOODMAN, P.G., ZEKA, A., MICHELOZZI, P., SCORTICHINI, M., HASHIZUME, M., HONDA, Y., HURTADO-DIAZ, M., CESAR CRUZ, J., SEPOSO, X., KIM, H., TOBIAS, A., IÑIGUEZ, C., FORSBERG, B., ÅSTRÖM, D.O., RAGETTLI, M.S., GUO, Y.L., WU, C. FU, ZANOBBETTI, A., SCHWARTZ, J., BELL, M.L., DANG, T.N., VAN, D. DO, HEAVISIDE, C., VARDOULAKIS, S., HAJAT, S., HAINES, A., ARMSTRONG, B., 2017. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *Lancet Planet. Heal.* 1, e360–e367. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0).

GDB, B. C. Articles Burden of disease in Brazil , 1990 – 2016 : a systematic subnational analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. **The Lancet**, v. 6736, n. 18, p. 1–16, 2018a.

GDB, C. of D. C. Global , regional , and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories , 1980 – 2017 : a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. **The Lancet**, v. 392, p. 1980–2017, 2018b.

GDB, C. R. D. C. Articles Global , regional , and national deaths , prevalence , disability-adjusted life years , and years lived with disability for chronic obstructive pulmonary disease and asthma , 1990 – 2015 : a systematic analysis for the Global Burden of Disease St. **Lancet Respir Med**, p. 691–706, 2017.

GEIRINHAS, J. L. et al. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. **International Journal of Climatology**, 2017.

GOGGINS, W. B. et al. Effect modification of the association between short-term meteorological factors and mortality by urban heat islands in Hong Kong. **PLoS ONE**, v. 7, n. 6, p. 9–14, 2012.

GONÇALVES-MACEDO, L. et al. Trends in morbidity and mortality from COPD in Brazil , 2000 to 2016. **J Bras Pneumol**, v. 45, n. 6, p. 1–8, 2019.

GUO, Y. et al. Heat Wave and Mortality : A Multicountry , Multicommunity Study. **Environmental Health Perspectives**, p. 1–11, 2017.

GUO, Y. et al. Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios : A multicountry time series modelling study. **PLoS Medicine**, v. 15(7): e10, p. 1–17, 2018.

HAJAT, S. et al. Climate change effects on human health : projections of temperature-



related mortality for the UK during the 2020s , 2050s and 2080s. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 68, p. 641–648, 2014.

HAJAT, S.; BIRD, W.; HAINES, A. Cold weather and GP consultations for respiratory conditions by elderly people in 16 locations in the UK. **European Journal of Epidemiology**, n. 19, p. 959–968, 2004.

HAN, J. et al. The impact of temperature extremes on mortality: A time-series study in Jinan, China. **BMJ Open**, v. 7, n. 4, p. 1–8, 2017.

HANKEY, G. J. Stroke. **The Lancet**, v. 389, n. 389, p. 641–654, 2017.

HAWKER, J. I. et al. Social deprivation and hospital admission for respiratory infection: Ecological study. **Respiratory Medicine**, v. 97, n. 11, p. 1219–1224, 2003.

HEAVISIDE, C.; CAI, X. M.; VARDOULAKIS, S. The effects of horizontal advection on the urban heat island in Birmingham and the West Midlands, United Kingdom during a heatwave. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 141, n. 689, p. 1429–1441, 2015.

HEAVISIDE, C.; MACINTYRE, H.; VARDOULAKIS, S. The Urban Heat Island : Implications for Health in a Changing Environment. **Curr Envir Health Rpt**, p. 296–305, 2017.

HEAVISIDE, C.; VARDOULAKIS, S.; CAI, X. M. Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK. **Environmental Health**, v. 15, n. Suppl 1, 2016.

HO, J. Y. et al. Urban heat island effect-related mortality under extreme heat and non-extreme heat scenarios : A 2010 – 2019 case study in Hong Kong. **Science of the Total Environment**, v. 858, p. 159791, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159791>>.

HONDULA, D. M. et al. Fine-scale spatial variability of heat-related mortality in Philadelphia County, USA, from 1983-2008: A case-series analysis. **Environmental Health**, v. 11, n. 1, p. 1–11, 2012.

HONDULA, D. M. et al. Geographic dimensions of heat-related mortality in seven U.S. cities. **Environmental Research**, v. 138, p. 439–452, 2015.

HOPP, S.; DOMINICI, F.; BOBB, J. F. Medical diagnoses of heat wave-related hospital admissions in older adults. v. 110, n. September 2017, p. 81–85, 2018.

HYRKÄS-PALMU, H. et al. Cold weather increases respiratory symptoms and functional disability especially among patients with asthma and allergic rhinitis. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 10131, 2018. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/s41598-018-28466-y>>.

IACONO, M. J. et al. Radiative forcing by long-lived greenhouse gases : Calculations with the AER radiative transfer models. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. 1–8, 2008.

IBGE, I. B. de G. e E. **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>>.

IKEFUTI, P. V.; BARROZO, L. V.; BRAGA, A. L. F. Mean air temperature as a risk factor for stroke mortality in São Paulo, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 8, p. 1535–1542, 2018.

INMET, I. N. de M. **Normais climatológicas do Brasil**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 14 fev. 2021.

INMET, I. N. de M. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

INOSTROZA, L.; PALME, M.; BARRERA, F. De. A Heat Vulnerability Index : Spatial Patterns of Exposure , Sensitivity and Adaptive Capacity for Santiago de Chile. **Plos One**, p. 1–26, 2016.

IOM, I. of M. **Cardiovascular Disability. Updating the Social Security Listings**. Washington, DC: The National Academies Press. Cop, 2010.

IPCC, I. P. on C. C. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l: s.n.].

IUNGMAN, T. et al. Articles Cooling cities through urban green infrastructure : a health impact assessment of European cities. **The Lancet**, v. 6736, n. 22, p. 1–13, 2023.

JANJIC, Z. I. The Step–Mountain Eta Coordinate Model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. **American Meteorological Society**, p. 927–945, 1994. Disponível em: <[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1994\)122%3C0927:TSMECM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1994)122%3C0927:TSMECM%3E2.0.CO;2)>.

JANJIC, Z. I. The surface layer in the NCEP Eta Model. In: Eleventh conference on numerical weather prediction, Norfolk, VA. **Anais...** Norfolk, VA: Amer Meteor Soc, Boston, MA, 1996.

JANJIC, Z. I. Nonsingular implementation of the Mellor-Yamada level 2.5 scheme in the NCEP Meso model. **NCEP Office Note**, v. 437, p. 61 pp, 2002.

JOHNSON, D. P. et al. Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data. **Applied Geography**, v. 35, n. 1–2, p. 23–31, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.04.006>>.

KEENER, J.; SNEYD, J. **Mathematical Physiology II : Systems Physiology**. 2. ed. New York: Springer Science Business Media, LLC, 2009.

KENNEY, W. L.; CRAIGHEAD, D. H.; ALEXANDER, L. M. Heat waves aging and human cardiovascular health. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 46, n. 10, p. 1891–1899, 2014.

KENNY, G. P. et al. Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. **CMAJ**, v. 182, n. 10, p. 1053–1060, 2010.

KLEIN TANK, A. M. G.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X. **Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation**. WCDMP-72, WMO-TD/No. 1500. Disponível em: <[http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMP\\_72\\_TD\\_1500\\_en\\_](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_)



1.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2017.

KOSKELA, H. et al. Effect of whole-body exposure to cold and wind on lung function in asthmatic patients. **Chest**, v. 105, n. 6, p. 1728–1731, 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1378/chest.105.6.1728>>.

KOSKELA, H. O. Cold air-provoked respiratory symptoms: the mechanisms and management. **Int J Circumpolar Health**, v. 66, p. 91–100, 2007.

KOSKELA, H. O.; KOSKELA, A. K.; TUKIAINEN, H. O. Bronchoconstriction due to Cold Weather in COPD \* The Roles of Direct Airway Effects and Cutaneous Reflex Mechanisms. **Chest**, v. 110, n. 3, p. 632–636, 1996.

KRAYENHOFF, E. S. et al. Cooling hot cities: a systematic and critical review of the numerical modelling literature. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 5, 2021.

KULLDORFF, M. **Information Management Services Inc. SaTScan™ v9.6.1: Software for the spatial and space-time scan statistics**, 2020. . Disponível em: <<http://www.satscan.org/>>.

LAAIDI, K. et al. The impact of heat islands on mortality in Paris during the August 2003 heat wave. **Environmental Health Perspectives**, v. 120, n. 2, p. 254–259, 2012.

LEE, W. et al. Temporal changes in mortality impacts of heat wave and cold spell in Korea and Japan. **Environment International**, v. 116, n. December 2017, p. 136–146, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.017>>.

LEPEULE, J. et al. Lung function association with outdoor temperature and relative humidity and its interaction with air pollution in the elderly. **Environmental Research**, v. 165, n. November 2017, p. 110–117, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.039>>.

LI, D.; BOU-ZEID, E. Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts \*. **American Meteorological Society**, p. 2051–2064, 2013.

MA, L.; TAN, Z. Improving the behavior of the cumulus parameterization for tropical cyclone prediction : Convection trigger. **Atmospheric Research**, v. 92, n. 2, p. 190–211, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.09.022>>.

MA, W. et al. The short-term effect of heat waves on mortality and its modifiers in China: An analysis from 66 communities. **Environment International**, v. 75, p. 103–109, 2015.

MACINTYRE, H. L. et al. The winter urban heat island : Impacts on cold-related mortality in a highly urbanized European region for present and future climate. **Environment International**, v. 154, n. March, p. 106530, 2021a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106530>>.

MACINTYRE, H. L. et al. Comparing temperature-related mortality impacts of cool roofs in winter and summer in a highly urbanized European region for present and future climate. **Environment International**, v. 154, n. May, p. 106606, 2021b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106606>>.

- MACINTYRE, H. L.; HEAVISIDE, C. Potential benefits of cool roofs in reducing heat-related mortality during heatwaves in a European city. **Environment International**, v. 127, n. August 2018, p. 430–441, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.065>>.
- MADRIGANO, J. et al. A case-only study of vulnerability to heat wave–related mortality in New York City (2000–2011). **Environmental Health Perspectives**, v. 123, n. 7, p. 672–678, 2015.
- MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, v. 106, p. 31–44, 2015.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960 – 2002. **International Journal of cl**, v. 28, n. 2007, p. 893–904, 2008.
- MARINHO, F. et al. Burden of disease in Brazil, 1990–2016: a systematic subnational analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. **The Lancet**, v. 392, n. 10149, p. 760–775, 2018.
- MARMOT, M. The influence of income on health: Views of an epidemiologist. **Health Affairs**, v. 21, n. 2, p. 31–46, 2002.
- MARTILLI, A.; CLAPPIER, A.; ROTACH, M. W. An urban surface exchange parameterisation for mesoscale models. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 104, p. 261–304, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1016099921195>>.
- MEEHL, G. A.; TEBALDI, C. More Intense , More Frequent , and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. **Science**, v. 305, n. 5686, p. 994–998, 2004.
- MÉNDEZ-LÁZARO, P. et al. A heat vulnerability index to improve urban public health management in San Juan , Puerto Rico. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, p. 709–722, 2018.
- MENDONÇA, M.; ROMERO, H. ONDAS DE FRIO , ÍNDICES DE OSCILAÇÃO E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DAS VARIABILIDADES CLIMÁTICAS DE BAIXA FREQUÊNCIA NA AMÉRICA DO SUL i. **ACTA Geográfica**, v. Edição esp, p. 185–203, 2012.
- MESINGER, F. Forecasting upper tropospheric turbulence within the framework of the Mellor-Yamada 2.5 closure. **Res. Activ. in Atmos. and Ocean**, v. 18, p. 4.28-4.29., 1993.
- MIN, J. young et al. Association between income levels and prevalence of heat- and cold-related illnesses in Korean adults. **BMC Public Health**, v. 21, p. 1–10, 2021.
- MONIN, A. S.; OBUKHOV, A. M. Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere. **Contrib Geophys Inst Acad Sci USSR**, v. 24, n. 151, p. 163–187, 1954.
- MONTEIRO, A. et al. Use of “ Cold Spell ” indices to quantify excess chronic obstructive pulmonary disease ( COPD ) morbidity during winter ( November to March 2000 – 2007 ): case study in Porto. **International Journal of Biometeorology**, n. 57, p. 857–870, 2013.

MONTEIRO, C. A. de F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil**. 1. ed. [s.l.: s.n.]

MORAES, S. L. de et al. Variáveis meteorológicas e poluição do ar e sua associação com interações respiratórias em crianças: estudo de caso em São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 7, 2019.

MORAES, S. L. de; ALMENDRA, R.; BARROZO, L. V. Impact of heat waves and cold spells on cause-specific mortality in the city São Paulo, Brazil. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 239, n. 113861, 2022.

MUGGEO, V. M.; HAJAT, S. Modelling the non-linear multiple-lag effects of ambient temperature on mortality in Santiago and Palermo: A constrained segmented distributed lag approach. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 66, n. 9, p. 584–591, 2009.

MUÑOZ SABATER, J. **ERA5-Land hourly data from 1981 to present**.

NAIRN, J. R.; FAWCETT, R. 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**, v. 12, p. 227–253, 2015.

NEWELL, K. et al. Articles Cardiorespiratory health effects of particulate ambient air pollution exposure in low-income and middle-income countries : a systematic review and meta-analysis. **The Lancet Planetary Health**, v. 1, n. 9, p. e368–e380, 2017. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30166-3](http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30166-3)>.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

NOBRE, C. A. et al. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, p. 252–262, 2016.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 7, n. 8, p. 769–779, 1973.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, n. 455, p. 1–24, 1982.

OKE, T. R. The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. In: CERMAK, J. E.; DAVENPORT, A.G., PLATE, E.J. AND VIEGAS, D. X. (Ed.). **Wind Climate in Cities**. [s.l.] Kluwer Academic, 1995. p. 81–102.

OKE, T. R. et al. **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

OLIVEIRA, G. M. M. de et al. Estatística Cardiovascular – Brasil 2021. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 118, n. 1, p. 115–373, 2022.

OMS, O. M. da S. **Diminuindo diferenças: A prática das políticas sobre determinantes sociais da saúde** Rio de Janeiro, 2011. .

ORAY, N. C. et al. The impact of a heat wave on mortality in the emergency department. v. 0, n. July 2017, 2018.

OU, C. et al. Excess Winter Mortality and Cold Temperatures in a Subtropical City , Guangzhou , China. **Plos One**, v. 8, n. 10, p. 1–10, 2013.

PHIPPS, M. S.; CRONIN, C. A. Management of acute ischemic stroke. **BMJ**, v. 368, p. 10–15, 2020.

QUINN, A. et al. Predicting indoor heat exposure risk during extreme heat events. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 686–693, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.039>>.

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2022. . Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>.

REID, C. E. et al. Mapping community determinants of heat vulnerability. **Environmental Health Perspectives**, v. 117, n. 11, p. 1730–1736, 2009.

REY, G. et al. The impact of major heat waves on all-cause and cause-specific mortality in France from 1971 to 2003. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 80, n. 7, p. 615–626, 2007.

RIBERA-CASADO, J. M. Ageing and the cardiovascular system. **Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie**, v. 32, p. 412–419, 1999.

ROBINE, J. M. et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. **Comptes Rendus - Biologies**, v. 331, n. 2, p. 171–178, 2008.

ROBINSON, P. J. On the definition of a heat wave. **Journal of Applied Meteorology**, v. 40, n. 4, p. 762–775, 2001.

ROGERS, R. G. et al. Social, behavioral, and biological factors, and sex differences in mortality. **Demography**, v. 47, n. 3, p. 555–578, 2010.

ROMANOVSKY, A. A. Physiology and Pharmacology of Temperature Regulation Thermoregulation: some concepts have changed . Functional architecture of the thermoregulatory system. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 292, p. 37–46, 2007.

ROSENTHAL, J. K.; KINNEY, P. L.; METZGER, K. B. Health & Place Intra-urban vulnerability to heat-related mortality in New York City , 1997 – 2006. **Health & Place**, v. 30, p. 45–60, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.07.014>>.

ROTHFUSZ, L. P. The Heat Index " Equation " ( or , More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index ). **Tech. Attachment**, n. SR/SSD 90-23, p. 1–2, 1990. Disponível em: <[http://www.srh.noaa.gov/images/ffc/pdf/ta\\_htindx.PDF](http://www.srh.noaa.gov/images/ffc/pdf/ta_htindx.PDF)>.

ROWELL, L. B. Cardiovascular adjustments to thermal stress. In: **Comprehensive Physiology**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011. p. 57.

RYTI, N. R. I.; GUO, Y.; JAAKKOLA, J. J. K. Global Association of Cold Spells and Adverse Health Effects : A Systematic. **Environmental Health Perspectives**, v. 124, n. 1, p. 12–22, 2016.

SACCO, R. L. et al. An Updated Definition of Stroke for the 21st Century. A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. **AHA Journals**, p. 2064–2089, 2013.

SALAMANCA, F. et al. A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations — part I . formulation , verification , and sensitivity analysis of the model. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, p. 331–344, 2010.

SALAMANCA, F.; MARTILLI, A. A new Building Energy Model coupled with an Urban Canopy Parameterization for urban climate simulations — part II . Validation with one dimension off-line simulations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, p. 345–356, 2010.

SALDIVA, P. H. N. **Vida urbana e saúde. Os desafios dos habitantes das metrópoles**. São Paulo: Contexto, 2018.

SANTAMOURIS, M. et al. Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. **Solar Energy**, v. 154, p. 14–33, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.006>>.

SANTANA, P. **Introdução à Geografia da Saúde: Território, Saúde e Bem-Estar**. 1. ed. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2014.

SEMENZA, J. et al. HEAT-RELATED DEATHS DURING THE JULY 1995 HEAT WAVE IN CHICAGO. **The New England Journal of Medicine HEAT-RELATED**, n. July 1995, 1996.

SERA, F. et al. How urban characteristics affect vulnerability to heat and cold: A multi-country analysis. **International Journal of Epidemiology**, v. 48, n. 4, p. 1101–1112, 2019.

SHIBASAKI, M.; OKAZAKI, K.; INOUE, Y. Aging and thermoregulation. **The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine**, v. 2, n. 1, p. 37–47, 2013.

SILVA, W. L.; NASCIMENTO, M. X.; MENEZES, W. F. Atmospheric Blocking in the South Atlantic during the Summer 2014 : A Synoptic Analysis of the Phenomenon. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 5, p. 386–393, 2015.

SILVEIRA, I. H. et al. The effect of ambient temperature on cardiovascular mortality in 27 Brazilian cities. **Science of the Total Environment**, v. 691, p. 996–1004, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.493>>.

SIMONI, M. et al. Adverse effects of outdoor pollution in the elderly. **Journal of Thoracic Disease**, v. 7, n. 1, p. 34–45, 2015.

SOLAR, O.; IRWIN, A. **A conceptual framework for action on the social determinants of health. Social Determinants of Health Discussion Paper 2 (Policy and Practice)** Geneva 2010, 2010. .

SON, J.-Y. et al. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: Effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. **Int J Biometeorol.**, v. 60, n. 1, p.



113–121, 2016.

SONG, X. et al. The impact of heat waves and cold spells on respiratory emergency department visits in Beijing, China. **Science of the Total Environment**, v. 615, n. 222, p. 1499–1505, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.108>>.

SPENCE, J. D.; BARNETT, H. J. **Acidente vascular cerebral: prevenção, tratamento e reabilitação**. [s.l.] AMGH, 2013.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **J. Appl. Meteor.**, v. 18, p. 11, 1979.

STEPTOE, A.; MARMOT, M. The role of psychobiological pathways in socio-economic inequalities in cardiovascular disease risk. **European Heart Journal**, v. 23, p. 13–25, 2002.

STEWART, I. D. et al. Time Evolution of the Surface Urban Heat Island Earth 's Future. **Earth's Future**, v. 9, n. e2021EF002178, 2021.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bull. Amer. Meteor. Soc**, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012.

STONE, B. et al. Climate change and infrastructure risk: Indoor heat exposure during a concurrent heat wave and blackout event in Phoenix, Arizona. **Urban Climate**, v. 36, n. October 2020, p. 100787, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100787>>.

STRECK, N. A. et al. Variabilidade interdecadal na série secular de temperatura do ar em Santa Maria , RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 8, p. 781–790, 2011.

TAN, J. et al. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 1, p. 75–84, 2010.

TANSEY, E. A.; JOHNSON, C. D. Recent advances in thermoregulation. **Advances in Physiology Education**, v. 39, n. 3, p. 139–148, 2015.

TAYLOR, J. et al. Mapping the effects of urban heat island, housing, and age on excess heat-related mortality in London. **Urban Climate**, v. 14, p. 517–528, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2015.08.001>>.

TEWARI, M. F. et al. Implementation and verification of the unified NOAA land surface model in the WRF model. **20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction**, p. 11–15, 2004.

THOMPSON, E. T. et al. Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme . Part II : Implementation of a New Snow Parameterization. **Monthly Weather Review**, v. 134, n. 12, p. 5095–5115, 2008.

TONG, S.; WANG, X. Y.; BARNETT, A. G. Assessment of Heat-Related Health Impacts in Brisbane , Australia : Comparison of Different Heatwave Definitions. v. 5, n. 8, 2010.

TU, J.; INTHAVONG, K.; AHMADI, G. The Human Respiratory System. In: TU, J.; INTHAVONG, K.; AHMADI, G. (Ed.). **Computational Fluid and Particle Dynamics in the Human Respiratory System**. Dordrecht: Springer, 2013. p. 19–44.

UMEZAKI, A. S. et al. Urban Climate Numerical characterization of spatial and temporal evolution of summer urban heat island intensity in São Paulo , Brazil. **Urban Climate**, v. 32, n. 100615, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100615>>.

UN, U. N. H. S. P. **World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities**. [s.l: s.n.]

URBAN, A. et al. Spatial Patterns of Heat-Related Cardiovascular Mortality in the Czech Republic. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, p. 1–19, 2016.

VAN STEEN, Y. et al. Sex differences in mortality after heat waves: are elderly women at higher risk? **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 92, n. 1, p. 37–48, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00420-018-1360-1>>.

VANECKOVA, P.; BEGGS, P. J.; JACOBSON, C. R. Spatial analysis of heat-related mortality among the elderly between 1993 and 2004 in Sydney, Australia. **Social Science and Medicine**, v. 70, n. 2, p. 293–304, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.socscimed.2009.09.058>>.

VENTER, Z. S.; CHAKRABORTY, T.; LEE, X. Crowdsourced air temperatures contrast satellite measures of the urban heat island and its mechanisms. **Science Advances**, v. 7, n. eabb9569, p. 1–10, 2021.

VESTBO, J. et al. Pulmonary Perspective Global Strategy for the Diagnosis , Management , and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease GOLD Executive Summary. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 187, p. 347–364, 2013.

VISSER, M. de; KUNST, A. E.; FLEISCHMANN, M. Geographic and socioeconomic differences in heat-related mortality among the Dutch population: a time series analysis. **BMJ Open**, v. 12, p. 1–10, 2022.

VOELKEL, J. et al. Assessing Vulnerability to Urban Heat : A Study of Disproportionate Heat Exposure and Access to Refuge by Socio-Demographic Status in Portland , Oregon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 640, p. 1–14, 2018.

WANG, L. et al. The impact of cold spells on mortality and effect modification by cold spell characteristics. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1–10, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep38380>>.

WHITE-NEWSOME, J. L. et al. Climate change and health: Indoor heat exposure in vulnerable populations. **Environmental Research**, v. 112, p. 20–27, 2012.

WHO, W. H. O. **Environment and health risks: a review of the influence and effects of social inequalities**. [s.l: s.n.].

WHO, W. H. O. **Fact sheets**. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

WMO, W. M. O. **GUIDELINES ON THE DEFINITION AND MONITORING OF EXTREME WEATHER AND CLIMATE EVENTS**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/documents/GUIDELINESONTHEDEFINTIONNANDMONITORINGOFEXTREMEWEATHERANDCLIMATEEVENTS\\_09032018.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/documents/GUIDELINESONTHEDEFINTIONNANDMONITORINGOFEXTREMEWEATHERANDCLIMATEEVENTS_09032018.pdf)>.

WOLF, T.; MCGREGOR, G. The development of a heat wave vulnerability index for London , United Kingdom. **Weather and Climate Extremes**, v. 1, n. August 2003, p. 59–68, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2013.07.004>>.

WU, P. C. et al. Cardiovascular mortality during heat and cold events: Determinants of regional vulnerability in Taiwan. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 68, n. 7, p. 525–530, 2010.

WU, X. et al. Investigating Surface Urban Heat Islands in South America Based on MODIS Data from 2003 – 2016. **Remote Sensing**, v. 11, n. 1212, 2019.

XU, Z. et al. The impact of heat waves on children’s health: A systematic review. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 2, p. 239–247, 2014.

XU, Z. et al. Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. **Environment International**, v. 89–90, p. 193–203, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.007>>.

YANG, J. et al. Heatwave and mortality in 31 major Chinese cities: Definition, vulnerability and implications. **Science of the Total Environment**, v. 649, p. 695–702, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.332>>.

YANG, X. et al. Cardiovascular Mortality Associated with Low and High Temperatures : Determinants of Inter-Region Vulnerability in China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, p. 5918–5933, 2015.

YIN, P. et al. The added effects of heatwaves on cause-specific mortality: A nationwide analysis in 272 Chinese cities. **Environment International**, v. 121, n. October, p. 898–905, 2018.

ZHANG, S.-X. **An atlas of histology**. New York: Springer Science Business Media, LLC, 1999.

ZHAO, Q. et al. Ambient heat and hospitalisation for COPD in Brazil : a nationwide case-crossover study. **Thorax**, v. 74, p. 1031–1036, 2019a.

ZHAO, Q. et al. The association between heatwaves and risk of hospitalization in Brazil: A nationwide time series study between 2000 and 2015. **PLoS Medicine**, v. 16, n. 2, p. 1–16, 2019b.



## APÊNDICE

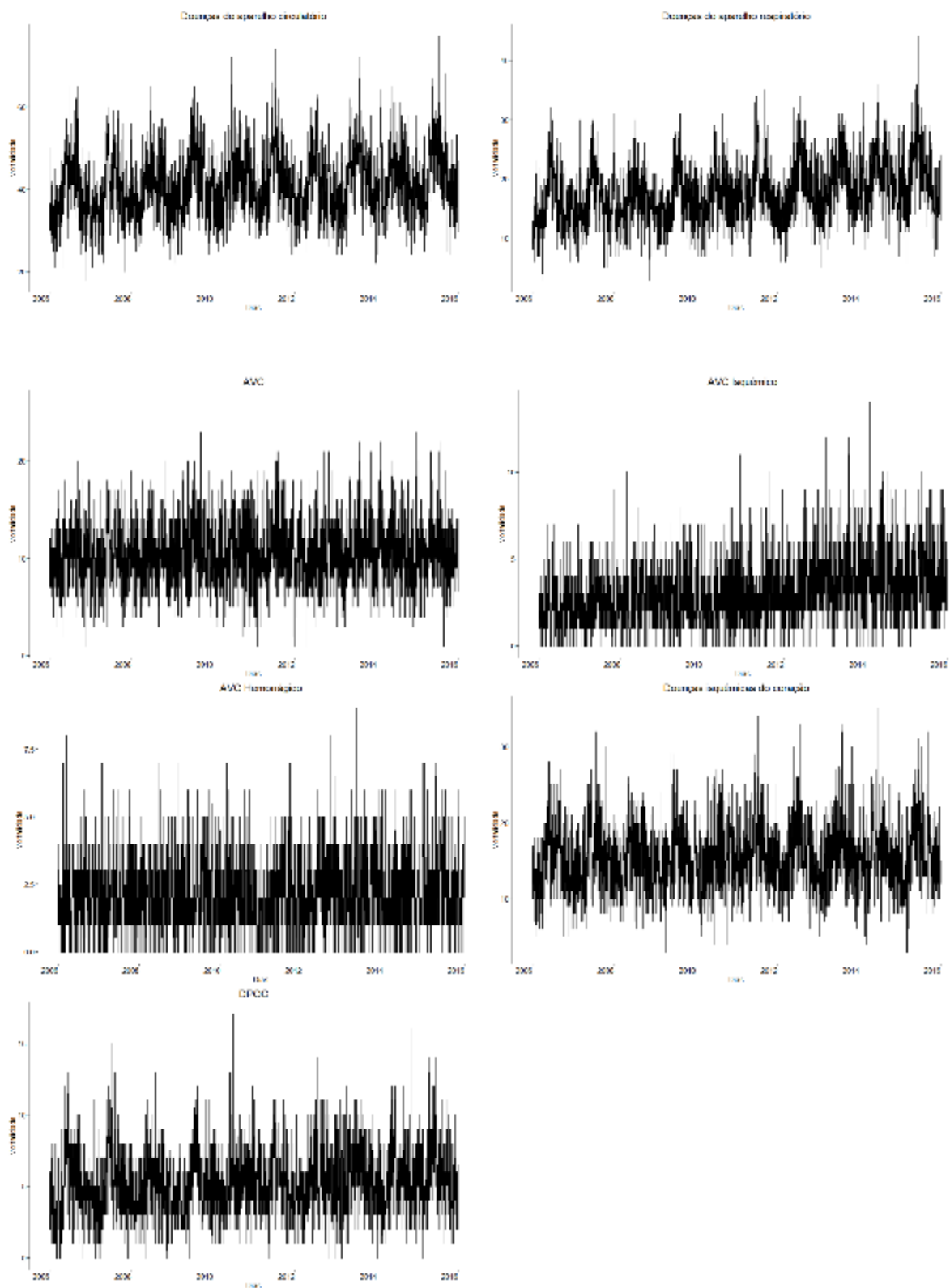
Apêndice 1: Correlação de *Pearson* entre as variáveis meteorológicas, de poluição e mortalidade

	CVD	RESP	DCB	AVCi	AVCh	DIC	DPOC	TMED	TMAX	TMIN	UR	MP10
<b>CVD</b>	1											
<b>RESP</b>	0,36**	1										
<b>DCB</b>	0,53**	0,14**	1									
<b>AVCi</b>	0,34**	0,18**	0,57**	1								
<b>AVCh</b>	0,27**	0,08**	0,45**	0,04*	1							
<b>DIC</b>	0,7**	0,27**	0,09**	0,08**	0,06**	1						
<b>DPOC</b>	0,21**	0,6**	0,09**	0,1**	0,04*	0,14**	1					
<b>TMED</b>	-0,3**	-0,2**	-0,03*	0,02	-	-0,26	-	1				
<b>TMAX</b>	-	-	0,01	0,05**	-0,04*	-0,15	-	0,88**	1			
<b>TMIN</b>	-	-	-	-0,01	-	-0,33	-	0,86**	0,57**	1		
<b>UR</b>	-	-	-	-	-0,03	-0,08	-	-	-	0,09**	1	
<b>MP10</b>	0,24**	0,22**	0,12**	0,04**	0,02	0,18**	0,14**	0,05**	0,34**	-0,3**	-	1
											0,59**	

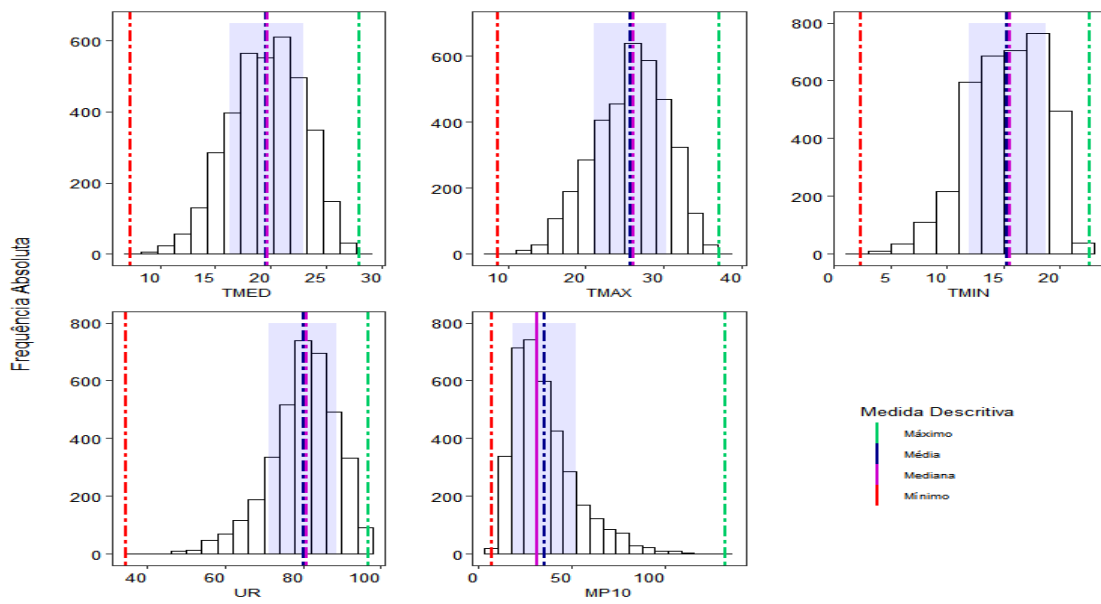
\*correlação significativa no nível 0,05

\*\*correlação significativa no nível 0,01

APÊNDICE 2: Variação diária dos dados de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais de idade por doenças do aparelho circulatório, respiratório, AVC, AVCI, AVCH, DIC, e DPOC em São Paulo durante o período de 2006 a 2015.



APÊNDICE 3: Histogramas com medidas descritivas das variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar) e de poluição atmosférica (MP<sub>10</sub>).



Apêndice 4: Risco relativo (RR) de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 12 definições de ondas de calor, estratificado por causa específica (DCV, RESP e DCB) com lag de 10 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Efeito sem o controle da TMED		Efeito adicionado	
		RR (95% IC)	QAIC	RR (95% IC)	QAIC
DCV	OdC_90P_2d	1.067 (1.017 - 1.119)	12359.9	1.020 (0.967 - 1.077)	12415.1
	OdC_90P_3d	1.113 (1.058 - 1.169)	12366.6	1.071 (1.015 - 1.131)	12420.3
	OdC_90P_4d	1.110 (1.055 - 1.168)	12322.7	1.069 (1.013 - 1.127)	12405.2
	OdC_92.5P_2d	1.116 (1.054 - 1.182)	12370.1	1.068 (1.003 - 1.137)	12420.2
	OdC_92.5P_3d	1.180 (1.110 - 1.254)	12384.5	1.133 (1.063 - 1.208)	12455.2
	OdC_92.5P_4d	1.187 (1.113 - 1.265)	12365.9	1.144 (1.071 - 1.222)	12449.5
	OdC_95P_2d	1.202 (1.126 - 1.282)	12420.8	1.155 (1.078 - 1.238)	12459.7
	OdC_95P_3d	1.254 (1.170 - 1.344)	12391.6	1.202 (1.118 - 1.291)	12464.0
	OdC_95P_4d	1.261 (1.165 - 1.365)	12311.5	1.211 (1.118 - 1.312)	12431.9
	OdC_97.5P_2d	1.283 (1.166 - 1.411)	12354.6	1.224 (1.110 - 1.349)	12432.0
	OdC_97.5P_3d	1.378 (1.243 - 1.528)	12338.6	1.310 (1.180 - 1.454)	12448.5
	OdC_97.5P_4d	1.422 (1.266 - 1.597)	12364.6	1.358 (1.208 - 1.526)	12487.5
RESP	OdC_90P_2d	1.265 (1.179 - 1.357)	11218.3	1.189 (1.098 - 1.288)	11310.5
	OdC_90P_3d	1.262 (1.172 - 1.358)	11182.6	1.191 (1.099 - 1.290)	11306.2
	OdC_90P_4d	1.241 (1.152 - 1.337)	11155.6	1.176 (1.087 - 1.271)	11308.3
	OdC_92.5P_2d	1.282 (1.178 - 1.395)	11189.2	1.195 (1.089 - 1.311)	11305.3
	OdC_92.5P_3d	1.260 (1.151 - 1.379)	11131.2	1.183 (1.077 - 1.300)	11296.1
	OdC_92.5P_4d	1.288 (1.173 - 1.415)	11153.5	1.225 (1.113 - 1.348)	11327.5
	OdC_95P_2d	1.310 (1.191 - 1.441)	11183.8	1.222 (1.104 - 1.353)	11311.7
	OdC_95P_3d	1.283 (1.158 - 1.420)	11116.5	1.203 (1.082 - 1.337)	11293.4
	OdC_95P_4d	1.297 (1.155 - 1.457)	11110.6	1.239 (1.102 - 1.393)	11312.0
	OdC_97.5P_2d	1.370 (1.194 - 1.573)	11088.5	1.280 (1.112 - 1.473)	11278.3
	OdC_97.5P_3d	1.412 (1.216 - 1.639)	11082.9	1.323 (1.138 - 1.539)	11294.4
	OdC_97.5P_4d	1.437 (1.214 - 1.701)	11053.1	1.360 (1.148 - 1.610)	11276.3
DCB	OdC_90P_2d	1.204 (1.097 - 1.320)	9714.1	1.082 (0.975 - 1.202)	9779.1
	OdC_90P_3d	1.266 (1.150 - 1.394)	9747.1	1.173 (1.057 - 1.302)	9805.7
	OdC_90P_4d	1.218 (1.104 - 1.343)	9692.0	1.121 (1.012 - 1.242)	9794.0
	OdC_92.5P_2d	1.265 (1.132 - 1.413)	9746.3	1.149 (1.018 - 1.297)	9804.9
	OdC_92.5P_3d	1.280 (1.137 - 1.440)	9728.8	1.184 (1.046 - 1.339)	9810.9
	OdC_92.5P_4d	1.280 (1.132 - 1.448)	9709.6	1.191 (1.049 - 1.351)	9807.8
	OdC_95P_2d	1.398 (1.235 - 1.583)	9790.6	1.288 (1.128 - 1.471)	9838.8
	OdC_95P_3d	1.381 (1.208 - 1.577)	9721.0	1.276 (1.112 - 1.465)	9802.7
	OdC_95P_4d	1.331 (1.143 - 1.550)	9640.0	1.243 (1.066 - 1.449)	9764.8
	OdC_97.5P_2d	1.436 (1.196 - 1.725)	9688.4	1.310 (1.086 - 1.579)	9790.7
	OdC_97.5P_3d	1.532 (1.258 - 1.866)	9637.0	1.390 (1.139 - 1.698)	9774.3
	OdC_97.5P_4d	1.492 (1.192 - 1.868)	9625.1	1.373 (1.096 - 1.720)	9772.0

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 5: Risco relativo (RR) de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 12 definições de ondas de calor, estratificado por causa específica (AVCi, AVCh, DIC e DPOC) com lag de 10 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Efeito sem o controle da TMED		Efeito adicionado	
		RR (95% IC)	QAIC	RR (95% IC)	QAIC
AVCi	OdC_90P_2d	1.231 (1.041 - 1.456)	7054.5	1.083 (0.893 - 1.313)	7071.4
	OdC_90P_3d	1.271 (1.068 - 1.514)	7051.6	1.151 (0.951 - 1.393)	7069.7
	OdC_90P_4d	1.178 (0.988 - 1.405)	7032.0	1.057 (0.878 - 1.272)	7063.2
	OdC_92.5P_2d	1.306 (1.069 - 1.595)	7056.1	1.147 (0.919 - 1.431)	7073.5
	OdC_92.5P_3d	1.327 (1.076 - 1.638)	7046.0	1.207 (0.968 - 1.506)	7069.5
	OdC_92.5P_4d	1.306 (1.050 - 1.624)	7042.0	1.197 (0.956 - 1.499)	7070.3
	OdC_95P_2d	1.482 (1.192 - 1.843)	7073.9	1.326 (1.047 - 1.680)	7088.4
	OdC_95P_3d	1.495 (1.189 - 1.880)	7052.6	1.360 (1.070 - 1.728)	7077.2
	OdC_95P_4d	1.450 (1.118 - 1.880)	7033.5	1.336 (1.026 - 1.741)	7071.1
	OdC_97.5P_2d	1.429 (1.046 - 1.951)	7063.6	1.291 (0.936 - 1.779)	7090.1
	OdC_97.5P_3d	1.535 (1.103 - 2.135)	7046.1	1.381 (0.986 - 1.935)	7084.1
	OdC_97.5P_4d	1.578 (1.088 - 2.289)	7056.8	1.449 (0.995 - 2.111)	7095.3
AVCh	OdC_90P_2d	0.856 (0.697 - 1.051)	6858.5	0.752 (0.597 - 0.947)	6871.0
	OdC_90P_3d	0.890 (0.716 - 1.105)	6878.7	0.815 (0.645 - 1.030)	6891.2
	OdC_90P_4d	0.916 (0.734 - 1.144)	6859.8	0.857 (0.680 - 1.081)	6871.7
	OdC_92.5P_2d	0.817 (0.635 - 1.049)	6869.7	0.740 (0.563 - 0.973)	6880.8
	OdC_92.5P_3d	0.849 (0.648 - 1.112)	6876.0	0.783 (0.591 - 1.037)	6889.6
	OdC_92.5P_4d	0.891 (0.669 - 1.185)	6859.7	0.839 (0.626 - 1.126)	6868.7
	OdC_95P_2d	0.995 (0.750 - 1.320)	6863.0	0.955 (0.706 - 1.292)	6864.2
	OdC_95P_3d	0.995 (0.733 - 1.350)	6861.7	0.937 (0.682 - 1.286)	6868.1
	OdC_95P_4d	1.024 (0.722 - 1.452)	6851.3	0.968 (0.679 - 1.381)	6858.3
	OdC_97.5P_2d	1.080 (0.711 - 1.643)	6853.7	1.017 (0.662 - 1.562)	6856.6
	OdC_97.5P_3d	1.073 (0.675 - 1.704)	6865.0	0.993 (0.620 - 1.590)	6871.7
	OdC_97.5P_4d	0.942 (0.553 - 1.605)	6858.2	0.875 (0.511 - 1.498)	6867.6
DIC	OdC_90P_2d	0.931 (0.861 - 1.006)	10809.1	0.931 (0.853 - 1.017)	10827.1
	OdC_90P_3d	0.995 (0.917 - 1.080)	10784.8	0.999 (0.914 - 1.093)	10803.2
	OdC_90P_4d	1.044 (0.960 - 1.135)	10776.5	1.045 (0.957 - 1.141)	10791.7
	OdC_92.5P_2d	0.980 (0.892 - 1.077)	10761.5	0.979 (0.883 - 1.085)	10778.4
	OdC_92.5P_3d	1.087 (0.983 - 1.202)	10753.1	1.083 (0.975 - 1.204)	10768.8
	OdC_92.5P_4d	1.148 (1.034 - 1.274)	10763.1	1.141 (1.024 - 1.271)	10777.1
	OdC_95P_2d	1.048 (0.941 - 1.166)	10742.3	1.043 (0.930 - 1.170)	10759.4
	OdC_95P_3d	1.161 (1.035 - 1.301)	10753.7	1.149 (1.020 - 1.294)	10768.1
	OdC_95P_4d	1.185 (1.041 - 1.349)	10770.2	1.163 (1.019 - 1.327)	10786.0
	OdC_97.5P_2d	1.162 (0.993 - 1.360)	10734.0	1.145 (0.975 - 1.346)	10749.5
	OdC_97.5P_3d	1.291 (1.089 - 1.530)	10757.4	1.271 (1.069 - 1.511)	10771.4
	OdC_97.5P_4d	1.407 (1.165 - 1.699)	10781.6	1.385 (1.144 - 1.677)	10794.8
DPOC	OdC_90P_2d	1.229 (1.079 - 1.399)	8963.6	1.195 (1.031 - 1.386)	8978.8
	OdC_90P_3d	1.167 (1.017 - 1.340)	8949.8	1.140 (0.982 - 1.325)	8967.8
	OdC_90P_4d	1.132 (0.983 - 1.303)	8943.7	1.098 (0.947 - 1.274)	8964.5
	OdC_92.5P_2d	1.147 (0.979 - 1.344)	8957.1	1.093 (0.920 - 1.300)	8977.1
	OdC_92.5P_3d	1.111 (0.936 - 1.318)	8945.2	1.076 (0.900 - 1.287)	8965.9
	OdC_92.5P_4d	1.121 (0.937 - 1.341)	8954.9	1.088 (0.905 - 1.309)	8978.2
	OdC_95P_2d	1.158 (0.966 - 1.387)	8963.8	1.134 (0.934 - 1.377)	8980.3
	OdC_95P_3d	1.106 (0.908 - 1.347)	8950.6	1.080 (0.880 - 1.326)	8968.9
	OdC_95P_4d	1.005 (0.796 - 1.268)	8987.8	0.992 (0.783 - 1.257)	9008.2
	OdC_97.5P_2d	1.215 (0.930 - 1.589)	8959.7	1.196 (0.909 - 1.574)	8978.7
	OdC_97.5P_3d	1.064 (0.785 - 1.443)	8956.2	1.038 (0.761 - 1.415)	8978.5
	OdC_97.5P_4d	0.941 (0.662 - 1.338)	8952.2	0.921 (0.646 - 1.314)	8975.5

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 6: Risco relativo (RR) de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 9 definições de ondas de frio, estratificado por causa específica (DCV, RESP e DCB) com lag de 27 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Efeito sem o controle da TMED		Efeito adicionado	
		RR (95% IC)	QAIC	RR (95% IC)	QAIC
DCV	OdF_10P_2d	1.353 (1.243 - 1.472)	7963.5	1.359 (1.241 - 1.488)	7957.4
	OdF_10P_3d	1.341 (1.231 - 1.460)	7920.9	1.341 (1.224 - 1.469)	7912.1
	OdF_10P_4d	1.328 (1.203 - 1.467)	7850.7	1.315 (1.186 - 1.457)	7844.0
	OdF_5P_2d	1.480 (1.317 - 1.662)	8082.1	1.458 (1.287 - 1.651)	8074.5
	OdF_5P_3d	1.482 (1.290 - 1.703)	7950.9	1.462 (1.265 - 1.690)	7943.6
	OdF_5P_4d	1.469 (1.251 - 1.725)	7870.4	1.427 (1.210 - 1.683)	7873.3
	OdF_3P_2d	1.646 (1.400 - 1.934)	8052.8	1.563 (1.318 - 1.853)	8064.0
	OdF_3P_3d	1.617 (1.358 - 1.924)	7891.6	1.555 (1.299 - 1.861)	7897.6
	OdF_3P_4d	1.886 (1.444 - 2.462)	7771.6	1.787 (1.363 - 2.344)	7787.9
RESP	OdF_10P_2d	1.103 (0.972 - 1.251)	7095.0	1.073 (0.923 - 1.248)	7154.3
	OdF_10P_3d	1.152 (1.014 - 1.308)	7118.6	1.086 (0.949 - 1.242)	7189.3
	OdF_10P_4d	1.053 (0.909 - 1.219)	7061.8	1.128 (0.985 - 1.291)	7106.4
	OdF_5P_2d	1.365 (1.147 - 1.624)	7117.2	1.422 (1.182 - 1.711)	7167.8
	OdF_5P_3d	1.336 (1.086 - 1.643)	7118.3	1.431 (1.155 - 1.773)	7175.3
	OdF_5P_4d	1.330 (1.049 - 1.688)	7094.1	1.417 (1.111 - 1.807)	7140.2
	OdF_3P_2d	1.293 (1.017 - 1.645)	7120.7	1.353 (1.050 - 1.742)	7173.3
	OdF_3P_3d	1.243 (0.961 - 1.608)	7159.5	1.305 (1.001 - 1.700)	7214.8
	OdF_3P_4d	1.274 (0.864 - 1.877)	7089.1	1.295 (0.873 - 1.922)	7130.2
DCB	OdF_10P_2d	1.216 (1.026 - 1.442)	6455.4	1.263 (1.052 - 1.516)	6452.3
	OdF_10P_3d	1.237 (1.043 - 1.467)	6461.8	1.298 (1.081 - 1.558)	6459.8
	OdF_10P_4d	1.236 (1.014 - 1.506)	6446.4	1.291 (1.051 - 1.585)	6447.7
	OdF_5P_2d	1.297 (1.026 - 1.641)	6472.7	1.349 (1.048 - 1.737)	6469.8
	OdF_5P_3d	1.434 (1.086 - 1.893)	6464.7	1.549 (1.159 - 2.070)	6472.9
	OdF_5P_4d	1.447 (1.050 - 1.996)	6438.1	1.536 (1.104 - 2.137)	6438.1
	OdF_3P_2d	1.710 (1.237 - 2.364)	6541.6	1.746 (1.240 - 2.460)	6538.2
	OdF_3P_3d	1.716 (1.214 - 2.427)	6503.3	1.805 (1.262 - 2.581)	6502.2
	OdF_3P_4d	2.484 (1.456 - 4.239)	6472.6	2.707 (1.571 - 4.665)	6475.9

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 7: Risco relativo (RR) de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 9 definições de ondas de frio, estratificado por causa específica (AVCi, AVCh, DIC e DPOC) com lag de 27 dias em São Paulo.

AVCi	OdF_10P_2d	1.364 (0.987 - 1.885)	4680.4	1.464 (1.035 - 2.072)	4674.7
	OdF_10P_3d	1.357 (0.981 - 1.876)	4683.8	1.446 (1.022 - 2.045)	4679.2
	OdF_10P_4d	1.350 (0.935 - 1.948)	4696.7	1.461 (1.000 - 2.136)	4697.0
	OdF_5P_2d	1.498 (0.957 - 2.346)	4687.0	1.575 (0.974 - 2.547)	4682.9
	OdF_5P_3d	1.472 (0.866 - 2.502)	4689.4	1.716 (0.987 - 2.984)	4687.2
	OdF_5P_4d	1.945 (1.061 - 3.567)	4723.3	2.245 (1.204 - 4.184)	4723.7
	OdF_3P_2d	1.731 (0.929 - 3.224)	4702.9	1.826 (0.945 - 3.530)	4698.9
	OdF_3P_3d	1.404 (0.720 - 2.739)	4710.6	1.605 (0.804 - 3.204)	4708.0
	OdF_3P_4d	4.277 (1.585 - 11.539)	4740.4	4.98 (1.806 - 13.734)	4740.3
AVCh	OdF_10P_2d	1.319 (0.908 - 1.915)	4506.2	1.412 (0.945 - 2.109)	4506.5
	OdF_10P_3d	1.285 (0.884 - 1.869)	4502.8	1.405 (0.940 - 2.098)	4503.5
	OdF_10P_4d	1.490 (0.968 - 2.293)	4508.4	1.567 (1.002 - 2.451)	4507.1
	OdF_5P_2d	1.565 (0.930 - 2.633)	4516.2	1.757 (1.006 - 3.070)	4517.5
	OdF_5P_3d	1.621 (0.876 - 2.998)	4513.7	1.784 (0.938 - 3.392)	4513.1
	OdF_5P_4d	1.444 (0.709 - 2.943)	4512.4	1.576 (0.758 - 3.280)	4512.2
	OdF_3P_2d	1.940 (0.941 - 3.999)	4538.5	1.886 (0.878 - 4.053)	4536.0
	OdF_3P_3d	2.602 (1.203 - 5.625)	4536.5	2.694 (1.214 - 5.980)	4531.9
	OdF_3P_4d	4.701 (1.429 - 15.464)	4520.8	5.372 (1.594 - 18.103)	4516.0
DIC	OdF_10P_2d	1.467 (1.277 - 1.686)	6669.7	1.463 (1.260 - 1.699)	6665.6
	OdF_10P_3d	1.418 (1.233 - 1.630)	6640.4	1.401 (1.206 - 1.628)	6633.7
	OdF_10P_4d	1.367 (1.161 - 1.609)	6568.2	1.329 (1.122 - 1.573)	6564.0
	OdF_5P_2d	1.542 (1.274 - 1.867)	6693.4	1.471 (1.198 - 1.806)	6692.8
	OdF_5P_3d	1.394 (1.108 - 1.755)	6589.8	1.325 (1.043 - 1.684)	6589.0
	OdF_5P_4d	1.413 (1.085 - 1.840)	6585.0	1.338 (1.020 - 1.755)	6587.1
	OdF_3P_2d	1.625 (1.246 - 2.119)	6678.7	1.510 (1.140 - 1.999)	6680.3
	OdF_3P_3d	1.368 (1.027 - 1.823)	6568.5	1.278 (0.950 - 1.718)	6570.2
	OdF_3P_4d	1.401 (0.907 - 2.166)	6526.9	1.295 (0.832 - 2.016)	6531.6
DPOC	OdF_10P_2d	0.906 (0.724 - 1.133)	5940.8	0.898 (0.706 - 1.141)	5936.4
	OdF_10P_3d	0.966 (0.770 - 1.212)	5927.9	0.945 (0.741 - 1.204)	5926.3
	OdF_10P_4d	0.848 (0.653 - 1.101)	5931.1	0.843 (0.643 - 1.104)	5929.0
	OdF_5P_2d	0.906 (0.665 - 1.234)	5937.8	0.935 (0.672 - 1.301)	5934.5
	OdF_5P_3d	0.888 (0.615 - 1.281)	5931.1	0.907 (0.619 - 1.328)	5928.6
	OdF_5P_4d	0.927 (0.608 - 1.413)	5927.9	0.943 (0.612 - 1.453)	5925.6
	OdF_3P_2d	0.734 (0.480 - 1.123)	5957.3	0.769 (0.491 - 1.206)	5955.7
	OdF_3P_3d	0.737 (0.466 - 1.167)	5951.8	0.749 (0.466 - 1.203)	5949.9
	OdF_3P_4d	1.167 (0.589 - 2.311)	5926.1	1.172 (0.584 - 2.352)	5923.7

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 8: Risco relativo (RR) de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 12 definições de ondas de calor, estratificado por causa específica (DCV, RESP e DCB) e por sexo, com lag de 10 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Feminino				Masculino			
		Efeito sem o controle da TMED RR (95% CI)	QAIC	Efeito adicionado RR (95% CI)	QAIC	Overall effect RR (95% CI)	QAIC	Efeito sem o controle da TMED RR (95% CI)	QAIC
DCV	OdC_90P_2d	1.077 (1.013 - 1.145)	11956.7	1.025 (0.956 - 1.099)	11983.9	1.055 (0.982 - 1.134)	10678.4	1.016 (0.936 - 1.102)	10706.0
	OdC_90P_3d	1.117 (1.048 - 1.192)	11946.8	1.071 (0.999 - 1.149)	11982.2	1.106 (1.025 - 1.193)	10701.4	1.071 (0.987 - 1.163)	10725.4
	OdC_90P_4d	1.139 (1.067 - 1.216)	11935.5	1.096 (1.023 - 1.174)	11984.0	1.072 (0.992 - 1.158)	10696.5	1.034 (0.953 - 1.121)	10733.7
	OdC_92.5P_2d	1.150 (1.069 - 1.238)	11983.2	1.108 (1.022 - 1.202)	11997.5	1.074 (0.984 - 1.172)	10674.4	1.018 (0.926 - 1.120)	10711.1
	OdC_92.5P_3d	1.203 (1.112 - 1.301)	11986.1	1.156 (1.065 - 1.256)	12029.3	1.150 (1.048 - 1.262)	10683.0	1.104 (1.002 - 1.217)	10715.9
	OdC_92.5P_4d	1.239 (1.141 - 1.344)	12000.2	1.196 (1.099 - 1.302)	12047.7	1.123 (1.018 - 1.238)	10664.7	1.080 (0.977 - 1.194)	10703.9
	OdC_95P_2d	1.278 (1.176 - 1.388)	12064.1	1.238 (1.132 - 1.353)	12074.0	1.111 (1.006 - 1.227)	10655.5	1.058 (0.952 - 1.177)	10688.9
	OdC_95P_3d	1.294 (1.184 - 1.415)	12020.3	1.245 (1.135 - 1.365)	12062.5	1.203 (1.082 - 1.337)	10660.8	1.149 (1.029 - 1.282)	10696.4
	OdC_95P_4d	1.335 (1.207 - 1.476)	12013.4	1.289 (1.164 - 1.428)	12078.7	1.169 (1.036 - 1.321)	10614.8	1.116 (0.987 - 1.263)	10672.7
	OdC_97.5P_2d	1.350 (1.196 - 1.525)	12036.5	1.301 (1.149 - 1.474)	12065.6	1.200 (1.036 - 1.389)	10621.2	1.130 (0.973 - 1.313)	10670.0
	OdC_97.5P_3d	1.421 (1.246 - 1.622)	11989.0	1.362 (1.190 - 1.558)	12043.1	1.324 (1.131 - 1.550)	10624.6	1.246 (1.062 - 1.463)	10681.0
	OdC_97.5P_4d	1.457 (1.256 - 1.691)	12009.3	1.403 (1.207 - 1.630)	12071.7	1.370 (1.147 - 1.636)	10655.7	1.297 (1.085 - 1.551)	10715.8
RESP	OdC_90P_2d	1.320 (1.200 - 1.452)	9991.0	1.204 (1.080 - 1.343)	10060.7	1.203 (1.086 - 1.332)	9838.6	1.172 (1.043 - 1.317)	9852.0
	OdC_90P_3d	1.314 (1.189 - 1.452)	9980.7	1.211 (1.087 - 1.350)	10072.6	1.202 (1.080 - 1.338)	9827.1	1.166 (1.037 - 1.311)	9847.1
	OdC_90P_4d	1.309 (1.184 - 1.448)	9971.3	1.222 (1.099 - 1.358)	10082.2	1.163 (1.043 - 1.297)	9804.1	1.122 (1.000 - 1.259)	9830.7
	OdC_92.5P_2d	1.371 (1.223 - 1.537)	10004.1	1.252 (1.105 - 1.420)	10085.4	1.183 (1.046 - 1.339)	9807.3	1.130 (0.987 - 1.294)	9828.2
	OdC_92.5P_3d	1.313 (1.162 - 1.484)	9957.1	1.206 (1.061 - 1.370)	10084.6	1.196 (1.049 - 1.365)	9814.4	1.154 (1.005 - 1.325)	9840.8
	OdC_92.5P_4d	1.372 (1.209 - 1.557)	9974.0	1.285 (1.129 - 1.464)	10101.8	1.193 (1.039 - 1.368)	9808.5	1.154 (1.001 - 1.329)	9837.1
	OdC_95P_2d	1.404 (1.235 - 1.597)	9979.7	1.276 (1.112 - 1.465)	10074.7	1.206 (1.049 - 1.386)	9818.7	1.160 (0.999 - 1.347)	9839.6
	OdC_95P_3d	1.395 (1.217 - 1.600)	9943.1	1.285 (1.115 - 1.480)	10069.2	1.158 (0.996 - 1.346)	9807.0	1.110 (0.949 - 1.297)	9838.3
	OdC_95P_4d	1.465 (1.256 - 1.710)	9948.8	1.383 (1.183 - 1.616)	10090.8	1.117 (0.939 - 1.328)	9797.1	1.082 (0.907 - 1.291)	9833.3
	OdC_97.5P_2d	1.594 (1.328 - 1.913)	9951.6	1.469 (1.218 - 1.770)	10080.6	1.136 (0.925 - 1.396)	9787.4	1.079 (0.874 - 1.332)	9824.7
	OdC_97.5P_3d	1.719 (1.415 - 2.088)	9957.7	1.592 (1.306 - 1.940)	10099.9	1.097 (0.874 - 1.376)	9793.3	1.044 (0.828 - 1.315)	9835.2
	OdC_97.5P_4d	1.786 (1.434 - 2.225)	9932.9	1.671 (1.340 - 2.083)	10086.5	1.087 (0.841 - 1.405)	9783.3	1.044 (0.805 - 1.353)	9825.9
DCB	OdC_90P_2d	1.185 (1.051 - 1.337)	9009.1	1.054 (0.919 - 1.207)	9053.9	1.227 (1.071 - 1.405)	8387.0	1.120 (0.960 - 1.307)	8388.2
	OdC_90P_3d	1.228 (1.082 - 1.392)	9007.3	1.127 (0.983 - 1.292)	9050.6	1.316 (1.143 - 1.515)	8422.7	1.234 (1.059 - 1.439)	8420.6
	OdC_90P_4d	1.199 (1.055 - 1.362)	8958.0	1.089 (0.953 - 1.244)	9036.2	1.240 (1.075 - 1.431)	8424.7	1.161 (0.998 - 1.350)	8429.1
	OdC_92.5P_2d	1.261 (1.091 - 1.457)	9025.4	1.144 (0.977 - 1.341)	9059.8	1.268 (1.078 - 1.492)	8417.7	1.154 (0.965 - 1.379)	8416.2
	OdC_92.5P_3d	1.227 (1.051 - 1.433)	9009.8	1.131 (0.962 - 1.330)	9063.1	1.345 (1.133 - 1.596)	8419.4	1.249 (1.043 - 1.495)	8424.1
	OdC_92.5P_4d	1.232 (1.048 - 1.449)	8975.0	1.136 (0.962 - 1.342)	9045.4	1.339 (1.120 - 1.600)	8426.7	1.259 (1.047 - 1.513)	8432.1
	OdC_95P_2d	1.455 (1.238 - 1.710)	9068.9	1.341 (1.128 - 1.595)	9098.2	1.326 (1.104 - 1.593)	8428.7	1.222 (1.004 - 1.488)	8425.0
	OdC_95P_3d	1.376 (1.156 - 1.638)	9006.3	1.269 (1.059 - 1.520)	9063.0	1.380 (1.135 - 1.676)	8415.4	1.281 (1.045 - 1.569)	8419.5
	OdC_95P_4d	1.380 (1.132 - 1.681)	8974.6	1.290 (1.056 - 1.576)	9053.5	1.261 (1.008 - 1.577)	8377.5	1.175 (0.936 - 1.475)	8395.7
	OdC_97.5P_2d	1.370 (1.076 - 1.743)	9034.4	1.254 (0.980 - 1.604)	9092.8	1.484 (1.137 - 1.937)	8389.7	1.346 (1.024 - 1.770)	8402.3
	OdC_97.5P_3d	1.409 (1.085 - 1.830)	8966.3	1.277 (0.979 - 1.664)	9055.2	1.660 (1.249 - 2.204)	8385.3	1.509 (1.129 - 2.016)	8403.1
	OdC_97.5P_4d	1.284 (0.950 - 1.736)	8969.9	1.180 (0.871 - 1.597)	9064.3	1.715 (1.244 - 2.364)	8388.8	1.582 (1.144 - 2.187)	8409.0

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).



Apêndice 9: Risco relativo (RR) de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 12 definições de ondas de calor, estratificado por causa específica (AVCi, AVCh, DIC e DPOC) e por sexo, com lag de 10 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Feminino				Masculino			
		Efeito sem o controle da TMED RR (95% CI)	QAIC	Efeito adicionado RR (95% CI)	QAIC	Overall effect RR (95% CI)	QAIC	Efeito sem o controle da TMED RR (95% CI)	QAIC
AVCi	OdC_90P_2d	1.123 (0.904 - 1.396)	6174.8	0.947 (0.739 - 1.214)	6204.8	1.384 (1.084 - 1.768)	5624.1	1.286 (0.970 - 1.705)	5617.3
	OdC_90P_3d	1.128 (0.898 - 1.415)	6152.5	0.988 (0.771 - 1.265)	6180.5	1.482 (1.150 - 1.909)	5630.8	1.400 (1.059 - 1.851)	5626.1
	OdC_90P_4d	1.037 (0.824 - 1.305)	6140.5	0.903 (0.710 - 1.148)	6180.7	1.370 (1.061 - 1.768)	5637.4	1.281 (0.977 - 1.679)	5634.5
	OdC_92.5P_2d	1.162 (0.895 - 1.509)	6160.0	0.989 (0.742 - 1.320)	6188.6	1.515 (1.135 - 2.022)	5628.9	1.383 (1.003 - 1.907)	5622.6
	OdC_92.5P_3d	1.104 (0.837 - 1.456)	6151.1	0.985 (0.737 - 1.316)	6181.3	1.667 (1.235 - 2.252)	5617.5	1.556 (1.132 - 2.138)	5616.9
	OdC_92.5P_4d	1.074 (0.804 - 1.435)	6140.0	0.969 (0.720 - 1.305)	6174.0	1.644 (1.208 - 2.239)	5627.8	1.542 (1.119 - 2.125)	5626.7
	OdC_95P_2d	1.353 (1.019 - 1.798)	6172.0	1.190 (0.874 - 1.618)	6192.4	1.664 (1.213 - 2.282)	5630.2	1.523 (1.080 - 2.148)	5626.1
	OdC_95P_3d	1.227 (0.904 - 1.664)	6154.0	1.103 (0.802 - 1.516)	6181.8	1.894 (1.370 - 2.619)	5625.1	1.749 (1.243 - 2.461)	5624.9
	OdC_95P_4d	1.215 (0.858 - 1.719)	6142.4	1.115 (0.783 - 1.588)	6180.4	1.789 (1.242 - 2.578)	5609.8	1.656 (1.139 - 2.408)	5612.6
	OdC_97.5P_2d	1.201 (0.793 - 1.819)	6163.0	1.075 (0.701 - 1.648)	6192.2	1.751 (1.127 - 2.720)	5614.8	1.599 (1.015 - 2.520)	5615.0
	OdC_97.5P_3d	1.246 (0.799 - 1.943)	6145.1	1.111 (0.706 - 1.748)	6182.2	1.950 (1.229 - 3.094)	5617.9	1.775 (1.106 - 2.850)	5620.0
	OdC_97.5P_4d	1.281 (0.776 - 2.114)	6149.8	1.170 (0.706 - 1.941)	6187.1	2.001 (1.189 - 3.368)	5626.6	1.850 (1.091 - 3.137)	5628.3
AVCh	OdC_90P_2d	0.869 (0.665 - 1.135)	5784.5	0.761 (0.563 - 1.027)	5780.6	0.844 (0.617 - 1.153)	4932.0	0.744 (0.523 - 1.058)	4939.4
	OdC_90P_3d	0.824 (0.619 - 1.097)	5788.8	0.744 (0.547 - 1.014)	5787.8	0.985 (0.711 - 1.363)	4933.8	0.917 (0.644 - 1.304)	4938.6
	OdC_90P_4d	0.866 (0.646 - 1.160)	5778.5	0.791 (0.583 - 1.072)	5780.9	0.987 (0.708 - 1.377)	4930.0	0.953 (0.671 - 1.352)	4932.8
	OdC_92.5P_2d	0.781 (0.563 - 1.084)	5785.1	0.697 (0.488 - 0.996)	5783.6	0.865 (0.591 - 1.265)	4936.1	0.799 (0.527 - 1.212)	4940.2
	OdC_92.5P_3d	0.815 (0.572 - 1.163)	5779.6	0.739 (0.511 - 1.069)	5781.2	0.896 (0.596 - 1.347)	4929.7	0.845 (0.552 - 1.295)	4931.1
	OdC_92.5P_4d	0.857 (0.590 - 1.245)	5781.8	0.788 (0.538 - 1.156)	5784.2	0.923 (0.597 - 1.426)	4934.2	0.897 (0.574 - 1.404)	4935.3
	OdC_95P_2d	1.058 (0.733 - 1.526)	5782.4	1.008 (0.681 - 1.491)	5781.0	0.914 (0.593 - 1.410)	4927.6	0.884 (0.556 - 1.406)	4928.2
	OdC_95P_3d	1.056 (0.713 - 1.564)	5779.6	0.973 (0.647 - 1.462)	5781.3	0.895 (0.556 - 1.441)	4934.4	0.868 (0.529 - 1.424)	4934.9
	OdC_95P_4d	1.132 (0.726 - 1.765)	5786.1	1.055 (0.671 - 1.658)	5787.9	0.817 (0.463 - 1.440)	4930.6	0.786 (0.443 - 1.397)	4931.6
	OdC_97.5P_2d	1.138 (0.661 - 1.961)	5792.4	1.088 (0.623 - 1.899)	5790.7	0.871 (0.450 - 1.688)	4935.8	0.801 (0.406 - 1.578)	4936.5
	OdC_97.5P_3d	1.072 (0.590 - 1.950)	5777.7	0.983 (0.535 - 1.807)	5779.0	0.941 (0.446 - 1.985)	4928.9	0.879 (0.411 - 1.879)	4929.1
	OdC_97.5P_4d	0.852 (0.424 - 1.712)	5779.9	0.783 (0.387 - 1.583)	5782.3	0.867 (0.363 - 2.071)	4927.1	0.816 (0.339 - 1.963)	4927.4
DIC	OdC_90P_2d	0.927 (0.833 - 1.032)	9650.8	0.908 (0.804 - 1.025)	9646.1	0.934 (0.836 - 1.044)	9468.0	0.958 (0.845 - 1.087)	9497.0
	OdC_90P_3d	0.988 (0.883 - 1.106)	9642.1	0.978 (0.865 - 1.105)	9637.5	1.001 (0.891 - 1.126)	9460.5	1.022 (0.900 - 1.161)	9489.7
	OdC_90P_4d	1.044 (0.931 - 1.171)	9632.0	1.039 (0.921 - 1.173)	9626.7	1.042 (0.925 - 1.174)	9450.7	1.051 (0.927 - 1.191)	9477.8
	OdC_92.5P_2d	0.987 (0.868 - 1.123)	9633.1	0.977 (0.849 - 1.125)	9628.7	0.972 (0.849 - 1.112)	9441.8	0.980 (0.846 - 1.136)	9469.2
	OdC_92.5P_3d	1.094 (0.954 - 1.255)	9629.5	1.082 (0.937 - 1.250)	9625.7	1.076 (0.932 - 1.242)	9440.5	1.082 (0.931 - 1.258)	9468.9
	OdC_92.5P_4d	1.179 (1.022 - 1.359)	9638.6	1.169 (1.009 - 1.354)	9634.2	1.111 (0.956 - 1.291)	9435.4	1.109 (0.950 - 1.294)	9461.5
	OdC_95P_2d	1.092 (0.943 - 1.264)	9628.9	1.083 (0.926 - 1.267)	9623.8	1.001 (0.858 - 1.167)	9429.7	1.001 (0.850 - 1.180)	9458.4
	OdC_95P_3d	1.149 (0.982 - 1.345)	9634.9	1.129 (0.959 - 1.330)	9631.6	1.167 (0.992 - 1.374)	9430.6	1.166 (0.984 - 1.381)	9458.4
	OdC_95P_4d	1.147 (0.959 - 1.372)	9643.0	1.125 (0.937 - 1.350)	9642.4	1.220 (1.014 - 1.467)	9429.0	1.199 (0.993 - 1.446)	9454.0
	OdC_97.5P_2d	1.155 (0.931 - 1.432)	9624.8	1.137 (0.912 - 1.419)	9621.6	1.169 (0.933 - 1.465)	9416.9	1.154 (0.917 - 1.453)	9443.6
	OdC_97.5P_3d	1.217 (0.961 - 1.540)	9630.6	1.198 (0.942 - 1.524)	9627.2	1.369 (1.076 - 1.740)	9431.8	1.348 (1.055 - 1.720)	9457.0
	OdC_97.5P_4d	1.317 (1.014 - 1.710)	9641.8	1.301 (0.998 - 1.695)	9638.2	1.502 (1.148 - 1.964)	9442.4	1.475 (1.125 - 1.935)	9467.6
DPOC	OdC_90P_2d	1.332 (1.096 - 1.618)	7127.7	1.341 (1.074 - 1.676)	7128.2	1.153 (0.969 - 1.372)	7714.5	1.093 (0.897 - 1.331)	7722.6
	OdC_90P_3d	1.255 (1.021 - 1.542)	7118.4	1.252 (0.999 - 1.569)	7119.9	1.104 (0.918 - 1.328)	7705.8	1.061 (0.869 - 1.297)	7714.6
	OdC_90P_4d	1.247 (1.012 - 1.537)	7129.6	1.223 (0.980 - 1.525)	7132.6	1.048 (0.867 - 1.267)	7705.2	1.009 (0.827 - 1.232)	7713.5
	OdC_92.5P_2d	1.344 (1.062 - 1.701)	7125.7	1.344 (1.037 - 1.741)	7126.7	1.011 (0.817 - 1.251)	7716.6	0.929 (0.736 - 1.172)	7730.9
	OdC_92.5P_3d	1.230 (0.953 - 1.588)	7125.9	1.213 (0.928 - 1.586)	7127.9	1.025 (0.814 - 1.291)	7706.1	0.980 (0.771 - 1.246)	7717.8
	OdC_92.5P_4d	1.254 (0.961 - 1.636)	7139.3	1.236 (0.939 - 1.627)	7142.3	1.023 (0.802 - 1.304)	7704.7	0.981 (0.764 - 1.259)	7716.0
	OdC_95P_2d	1.314 (1.005 - 1.718)	7134.0	1.347 (1.010 - 1.797)	7136.2	1.046 (0.819 - 1.336)	7716.0	0.989 (0.762 - 1.285)	7726.2
	OdC_95P_3d	1.225 (0.916 - 1.640)	7128.0	1.214 (0.896 - 1.645)	7129.4	1.018 (0.779 - 1.331)	7706.1	0.983 (0.745 - 1.297)	7716.2
	OdC_95P_4d	1.264 (0.905 - 1.765)	7147.6	1.259 (0.896 - 1.769)	7150.1	0.819 (0.591 - 1.136)	7724.4	0.804 (0.577 - 1.119)	7733.1
	OdC_97.5P_2d	1.551 (1.053 - 2.284)	7143.5	1.579 (1.060 - 2.350)	7145.7	0.982 (0.678 - 1.423)	7706.8	0.941 (0.643 - 1.375)	7717.1
	OdC_97.5P_3d	1.407 (0.914 - 2.165)	7140.8	1.395 (0.898 - 2.166)	7143.3	0.825 (0.537 - 1.267)	7716.8	0.794 (0.513 - 1.228)	7726.9
	OdC_97.5P_4d	1.299 (0.788 - 2.141)	7150.2	1.292 (0.780 - 2.142)	7152.9	0.678 (0.411 - 1.118)	7723.7	0.655 (0.396 - 1.086)	7735.1

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 10: Risco relativo (RR) de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 9 definições de ondas de frio, estratificado por causa específica (DCV, RESP e DCB) e por sexo, com lag de 27 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Feminino			Masculino				
		Efeito sem o controle da TMED RR (95% CI)	QAIC	Efeito adicionado RR (95% CI)	QAIC	Overall effect RR (95% CI)	QAIC	Efeito sem o controle da TMED RR (95% CI)	QAIC
DCV	OdF_10P_2d	1.280 (1.146 - 1.430)	7609.2	1.295 (1.150 - 1.459)	7616.2	1,446 (1,277 - 1,637)	7263.1	1,439 (1,259 - 1,644)	7258.6
	OdF_10P_3d	1.260 (1.127 - 1.408)	7587.9	1.282 (1.138 - 1.445)	7591.9	1,446 (1,276 - 1,638)	7217.6	1,415 (1,238 - 1,618)	7219.7
	OdF_10P_4d	1.213 (1.066 - 1.379)	7573.2	1.230 (1.076 - 1.406)	7573.3	1,485 (1,283 - 1,718)	7122.3	1,427 (1,227 - 1,659)	7138.6
	OdF_5P_2d	1.390 (1.194 - 1.618)	7689.9	1.428 (1.213 - 1.680)	7696.7	1,595 (1,343 - 1,895)	7236.9	1,493 (1,242 - 1,794)	7252.7
	OdF_5P_3d	1.404 (1.172 - 1.682)	7609.9	1.450 (1.201 - 1.751)	7614.2	1,579 (1,286 - 1,939)	7188.9	1,473 (1,190 - 1,823)	7209.0
	OdF_5P_4d	1.455 (1.183 - 1.790)	7626.0	1.479 (1.195 - 1.830)	7627.5	1,482 (1,168 - 1,882)	7080.0	1,363 (1,067 - 1,740)	7114.0
	OdF_3P_2d	1.494 (1.210 - 1.844)	7692.7	1.468 (1.175 - 1.833)	7704.3	1,849 (1,455 - 2,351)	7200.4	1,684 (1,308 - 2,169)	7221.8
	OdF_3P_3d	1.585 (1.266 - 1.984)	7642.3	1.593 (1.263 - 2.008)	7645.4	1,649 (1,272 - 2,136)	7077.5	1,502 (1,151 - 1,961)	7110.8
	OdF_3P_4d	2.025 (1.440 - 2.846)	7611.0	2.018 (1.426 - 2.855)	7607.9	1,708 (1,145 - 2,546)	6980.3	1,525 (1,019 - 2,282)	7038.2
RESP	OdF_10P_2d	1.061 (0.899 - 1.253)	6810.9	1.052 (0.881 - 1.257)	6865.0	1,152 (0,964 - 1,375)	6514.3	1,124 (0,930 - 1,360)	6521.9
	OdF_10P_3d	1.126 (0.952 - 1.332)	6812.9	1.129 (0.944 - 1.350)	6866.1	1,180 (0,988 - 1,410)	6552.0	1,127 (0,931 - 1,363)	6573.5
	OdF_10P_4d	1.051 (0.866 - 1.274)	6782.0	1.089 (0.893 - 1.329)	6825.1	1,053 (0,858 - 1,293)	6528.3	1,054 (0,853 - 1,304)	6532.6
	OdF_5P_2d	1.387 (1.103 - 1.745)	6815.7	1.453 (1.139 - 1.853)	6866.7	1,342 (1,051 - 1,713)	6527.2	1,391 (1,071 - 1,807)	6531.9
	OdF_5P_3d	1.405 (1.069 - 1.847)	6809.3	1.542 (1.162 - 2.047)	6867.4	1,264 (0,945 - 1,690)	6521.7	1,318 (0,974 - 1,784)	6526.2
	OdF_5P_4d	1.344 (0.982 - 1.841)	6793.7	1.452 (1.053 - 2.002)	6841.2	1,316 (0,944 - 1,837)	6519.3	1,381 (0,981 - 1,943)	6523.0
	OdF_3P_2d	1.280 (0.931 - 1.760)	6815.6	1.334 (0.955 - 1.864)	6867.8	1,306 (0,932 - 1,829)	6538.6	1,372 (0,961 - 1,960)	6544.2
	OdF_3P_3d	1.262 (0.897 - 1.775)	6851.4	1.309 (0.922 - 1.859)	6920.4	1,223 (0,853 - 1,754)	6543.9	1,300 (0,896 - 1,886)	6550.0
	OdF_3P_4d	1.250 (0.747 - 2.092)	6792.1	1.235 (0.732 - 2.085)	6844.1	1,299 (0,757 - 2,230)	6521.3	1,363 (0,786 - 2,363)	6522.9
DCB	OdF_10P_2d	1.058 (0.844 - 1.326)	5787.5	1.116 (0.875 - 1.423)	5791.6	1,443 (1,121 - 1,857)	5560.6	1,468 (1,119 - 1,924)	5558.4
	OdF_10P_3d	1.100 (0.876 - 1.380)	5791.6	1.180 (0.924 - 1.505)	5795.5	1,425 (1,107 - 1,835)	5550.9	1,455 (1,110 - 1,907)	5547.5
	OdF_10P_4d	1.000 (0.768 - 1.300)	5780.3	1.068 (0.813 - 1.403)	5788.3	1,604 (1,196 - 2,152)	5568.3	1,632 (1,204 - 2,212)	5566.7
	OdF_5P_2d	1.002 (0.733 - 1.369)	5798.4	1.082 (0.774 - 1.513)	5802.8	1,791 (1,262 - 2,541)	5564.2	1,781 (1,224 - 2,592)	5562.3
	OdF_5P_3d	1.036 (0.717 - 1.497)	5776.3	1.147 (0.781 - 1.683)	5793.2	2,150 (1,421 - 3,252)	5598.2	2,256 (1,465 - 3,474)	5597.0
	OdF_5P_4d	1.151 (0.754 - 1.757)	5781.4	1.266 (0.820 - 1.956)	5789.0	1,908 (1,179 - 3,088)	5556.1	1,939 (1,182 - 3,179)	5554.7
	OdF_3P_2d	1.240 (0.807 - 1.904)	5824.1	1.324 (0.840 - 2.087)	5821.2	2,575 (1,581 - 4,193)	5587.0	2,498 (1,495 - 4,175)	5590.6
	OdF_3P_3d	1.245 (0.786 - 1.974)	5794.8	1.383 (0.860 - 2.224)	5804.4	2,536 (1,512 - 4,255)	5591.5	2,504 (1,469 - 4,269)	5593.0
	OdF_3P_4d	1.728 (0.858 - 3.478)	5796.3	2.049 (1.005 - 4.176)	5813.2	3,872 (1,719 - 8,722)	5552.4	3,806 (1,666 - 8,697)	5550.3

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 11: Risco relativo (RR) de mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 9 definições de ondas de frio, estratificado por causa específica (AVCi, AVCh, DIC e DPOC) e por sexo, com lag de 27 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Feminino			Masculino				
		Efeito sem o controle da TMED RR (95% CI)	QAIC	Efeito adicionado RR (95% CI)	QAIC	Overall effect RR (95% CI)	QAIC	Efeito sem o controle da TMED RR (95% CI)	QAIC
AVCi	OdF_10P_2d	1.202 (0.782 - 1.846)	3927.5	1.405 (0.886 - 2.226)	3929.2	1,592 (0,993 - 2,551)	3849.4	1,531 (0,923 - 2,539)	3851.1
	OdF_10P_3d	1.169 (0.759 - 1.800)	3929.1	1.320 (0.831 - 2.098)	3927.5	1,613 (1,006 - 2,584)	3840.2	1,597 (0,966 - 2,642)	3839.5
	OdF_10P_4d	1.152 (0.707 - 1.878)	3938.5	1.331 (0.802 - 2.207)	3941.0	1,627 (0,955 - 2,772)	3847.2	1,627 (0,937 - 2,825)	3848.7
	OdF_5P_2d	1.058 (0.586 - 1.908)	3938.3	1.160 (0.616 - 2.186)	3931.8	2,311 (1,194 - 4,474)	3849.6	2,292 (1,129 - 4,651)	3848.9
	OdF_5P_3d	1.084 (0.540 - 2.176)	3933.8	1.318 (0.638 - 2.726)	3931.4	2,121 (0,968 - 4,648)	3854.6	2,335 (1,030 - 5,292)	3855.8
	OdF_5P_4d	1.410 (0.637 - 3.120)	3954.8	1.732 (0.765 - 3.919)	3952.8	2,791 (1,127 - 6,916)	3862.4	2,967 (1,169 - 7,532)	3864.0
	OdF_3P_2d	1.030 (0.457 - 2.323)	3943.3	1.107 (0.466 - 2.630)	3935.8	3,331 (1,312 - 8,457)	3848.4	3,433 (1,288 - 9,152)	3848.1
	OdF_3P_3d	1.129 (0.475 - 2.686)	3940.4	1.445 (0.590 - 3.541)	3941.4	1,814 (0,658 - 5,003)	3853.7	1,799 (0,631 - 5,133)	3853.5
	OdF_3P_4d	1.249 (0.752 - 9.331)	3957.2	3.537 (0.975 - 12.833)	3960.7	8,402 (1,756 - 40,197)	3853.4	8,106 (1,643 - 39,99)	3855.4
AVCh	OdF_10P_2d	1.448 (0.877 - 2.392)	3603.3	1.515 (0.883 - 2.598)	3600.1	1,177 (0,668 - 2,074)	3302.5	1,298 (0,706 - 2,385)	3310.0
	OdF_10P_3d	1.459 (0.882 - 2.414)	3600.2	1.549 (0.902 - 2.660)	3595.8	1,075 (0,611 - 1,894)	3317.7	1,217 (0,663 - 2,233)	3327.1
	OdF_10P_4d	1.392 (0.781 - 2.481)	3604.7	1.439 (0.789 - 2.624)	3600.8	1,607 (0,833 - 3,101)	3310.7	1,728 (0,835 - 3,411)	3317.5
	OdF_5P_2d	1.755 (0.875 - 3.517)	3605.4	1.811 (0.858 - 3.821)	3603.1	1,309 (0,589 - 2,906)	3316.6	1,644 (0,701 - 3,859)	3326.1
	OdF_5P_3d	1.675 (0.737 - 3.810)	3603.3	1.750 (0.741 - 4.131)	3600.5	1,456 (0,566 - 3,745)	3322	1,720 (0,642 - 4,605)	3328.8
	OdF_5P_4d	1.707 (0.665 - 4.382)	3610.0	1.876 (0.711 - 4.953)	3605.2	1,069 (0,354 - 3,230)	3328.3	1,160 (0,372 - 3,616)	3333.0
	OdF_3P_2d	2.241 (0.857 - 5.860)	3608.7	2.274 (0.820 - 6.308)	3607.0	1,523 (0,496 - 4,681)	3337.5	1,417 (0,435 - 4,614)	3337.6
	OdF_3P_3d	2.450 (0.874 - 6.868)	3613.4	2.597 (0.891 - 7.567)	3610.7	2,684 (0,820 - 8,788)	3335.3	2,711 (0,799 - 9,192)	3334.0
	OdF_3P_4d	4.703 (0.961 - 23.015)	3624.0	5.561 (1.098 - 28.169)	3620.1	4,052 (0,64 - 25,657)	3308.7	4,466 (0,682 - 29,245)	3308.8
DIC	OdF_10P_2d	1.437 (1.194 - 1.730)	6343.5	1.452 (1.189 - 1.773)	6342.9	1,496 (1,232 - 1,817)	6027	1,472 (1,194 - 1,814)	6020.8
	OdF_10P_3d	1.315 (1.091 - 1.585)	6309.6	1.318 (1.078 - 1.611)	6306.0	1,530 (1,259 - 1,859)	6041.9	1,490 (1,208 - 1,837)	6035.0
	OdF_10P_4d	1.279 (1.030 - 1.588)	6308.7	1.267 (1.012 - 1.586)	6304.3	1,461 (1,163 - 1,834)	5954.4	1,392 (1,099 - 1,763)	5952.1
	OdF_5P_2d	1.509 (1.168 - 1.948)	6339.9	1.521 (1.156 - 2.000)	6336.3	1,572 (1,203 - 2,055)	6052.9	1,415 (1,061 - 1,886)	6057.4
	OdF_5P_3d	1.430 (1.054 - 1.940)	6308.3	1.414 (1.028 - 1.943)	6303.9	1,352 (0,980 - 1,864)	5978.8	1,233 (0,881 - 1,724)	5980.8
	OdF_5P_4d	1.556 (1.097 - 2.205)	6351.6	1.528 (1.067 - 2.187)	6350.7	1,272 (0,878 - 1,842)	5939.7	1,158 (0,791 - 1,695)	5943.4
	OdF_3P_2d	1.883 (1.323 - 2.681)	6386.2	1.727 (1.189 - 2.507)	6391.2	1,377 (0,948 - 2,001)	6013.7	1,295 (0,873 - 1,922)	6012.3
	OdF_3P_3d	1.609 (1.103 - 2.349)	6347.9	1.536 (1.039 - 2.270)	6345.5	1,138 (0,760 - 1,704)	5929.8	1,038 (0,684 - 1,575)	5935.9
	OdF_3P_4d	2.170 (1.226 - 3.839)	6354.0	2.110 (1.180 - 3.772)	6349.4	0,866 (0,468 - 1,602)	5892.2	0,760 (0,408 - 1,418)	5908.1
DPOC	OdF_10P_2d	0.775 (0.546 - 1.099)	4613.5	0.804 (0.553 - 1.168)	4608.8	1,023 (0,758 - 1,380)	5140.7	0,978 (0,710 - 1,348)	5134.2
	OdF_10P_3d	0.807 (0.567 - 1.149)	4614.4	0.852 (0.584 - 1.243)	4607.5	1,108 (0,819 - 1,498)	5136.9	1,022 (0,740 - 1,412)	5132.3
	OdF_10P_4d	0.784 (0.522 - 1.178)	4614.8	0.831 (0.546 - 1.267)	4609.9	0,902 (0,636 - 1,278)	5136.6	0,855 (0,596 - 1,227)	5127.3
	OdF_5P_2d	0.916 (0.564 - 1.486)	4612.1	0.964 (0.575 - 1.618)	4607.8	0,897 (0,595 - 1,352)	5136.7	0,912 (0,589 - 1,414)	5129.6
	OdF_5P_3d	0.876 (0.492 - 1.560)	4613.9	0.973 (0.533 - 1.774)	4608.4	0,896 (0,552 - 1,457)	5129.5	0,861 (0,520 - 1,427)	5119.7
	OdF_5P_4d	0.886 (0.455 - 1.725)	4615.1	0.987 (0.498 - 1.956)	4611.5	0,957 (0,549 - 1,668)	5128.9	0,910 (0,514 - 1,611)	5118.3
	OdF_3P_2d	0.632 (0.322 - 1.240)	4625.6	0.750 (0.369 - 1.525)	4624.4	0,813 (0,464 - 1,426)	5139.8	0,774 (0,427 - 1,403)	5130.0
	OdF_3P_3d	0.738 (0.356 - 1.532)	4622.1	0.837 (0.394 - 1.776)	4619.0	0,736 (0,402 - 1,348)	5133.8	0,690 (0,369 - 1,289)	5122.2
	OdF_3P_4d	1.198 (0.401 - 3.576)	4608.5	1.321 (0.433 - 4.034)	4606.0	1,138 (0,465 - 2,783)	5129.9	1,071 (0,431 - 2,663)	5119.2

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 12: Razão de risco relativo (RRR) da diferença entre homens e mulheres na mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 12 definições de ondas de calor, estratificado por causa específica (DCV, RESP e DCB) com lag de 10 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Efeito sem o controle da TMED RRR (95% CI)	Efeito adicionado RRR (95% CI)
DCV	OdC_90P_2d	0.980 (0.891 - 1.077)	0.991 (0.890 - 1.104)
	OdC_90P_3d	0.990 (0.896 - 1.094)	1.000 (0.898 - 1.114)
	OdC_90P_4d	0.941 (0.851 - 1.041)	0.943 (0.848 - 1.049)
	OdC_92.5P_2d	0.934 (0.833 - 1.047)	0.919 (0.811 - 1.041)
	OdC_92.5P_3d	0.956 (0.846 - 1.080)	0.955 (0.841 - 1.085)
	OdC_92.5P_4d	0.906 (0.798 - 1.030)	0.903 (0.792 - 1.030)
	OdC_95P_2d	0.869 (0.764 - 0.989)	0.855 (0.744 - 0.982)
	OdC_95P_3d	0.930 (0.810 - 1.068)	0.923 (0.800 - 1.065)
	OdC_95P_4d	0.876 (0.748 - 1.025)	0.866 (0.738 - 1.016)
	OdC_97.5P_2d	0.889 (0.735 - 1.075)	0.869 (0.715 - 1.055)
	OdC_97.5P_3d	0.932 (0.759 - 1.144)	0.915 (0.742 - 1.128)
	OdC_97.5P_4d	0.940 (0.746 - 1.185)	0.924 (0.732 - 1.167)
RESP	OdC_90P_2d	0.911 (0.793 - 1.048)	0.973 (0.830 - 1.142)
	OdC_90P_3d	0.915 (0.790 - 1.059)	0.963 (0.821 - 1.129)
	OdC_90P_4d	0.888 (0.766 - 1.031)	0.918 (0.785 - 1.074)
	OdC_92.5P_2d	0.863 (0.729 - 1.021)	0.903 (0.750 - 1.085)
	OdC_92.5P_3d	0.911 (0.761 - 1.090)	0.957 (0.793 - 1.155)
	OdC_92.5P_4d	0.870 (0.721 - 1.048)	0.898 (0.741 - 1.088)
	OdC_95P_2d	0.859 (0.711 - 1.038)	0.909 (0.742 - 1.114)
	OdC_95P_3d	0.830 (0.677 - 1.017)	0.864 (0.700 - 1.067)
	OdC_95P_4d	0.762 (0.605 - 0.962)	0.782 (0.618 - 0.990)
	OdC_97.5P_2d	0.713 (0.541 - 0.938)	0.735 (0.554 - 0.973)
	OdC_97.5P_3d	0.638 (0.473 - 0.860)	0.656 (0.484 - 0.889)
	OdC_97.5P_4d	0.609 (0.434 - 0.853)	0.625 (0.444 - 0.878)
DCB	OdC_90P_2d	1.035 (0.864 - 1.241)	1.063 (0.865 - 1.306)
	OdC_90P_3d	1.072 (0.887 - 1.295)	1.095 (0.892 - 1.345)
	OdC_90P_4d	1.034 (0.854 - 1.253)	1.066 (0.872 - 1.304)
	OdC_92.5P_2d	1.006 (0.809 - 1.250)	1.009 (0.795 - 1.281)
	OdC_92.5P_3d	1.096 (0.870 - 1.381)	1.104 (0.867 - 1.407)
	OdC_92.5P_4d	1.087 (0.854 - 1.383)	1.108 (0.865 - 1.420)
	OdC_95P_2d	0.911 (0.714 - 1.164)	0.911 (0.701 - 1.184)
	OdC_95P_3d	1.003 (0.772 - 1.303)	1.009 (0.769 - 1.325)
	OdC_95P_4d	0.914 (0.678 - 1.232)	0.911 (0.673 - 1.233)
	OdC_97.5P_2d	1.083 (0.756 - 1.552)	1.073 (0.743 - 1.551)
	OdC_97.5P_3d	1.178 (0.801 - 1.733)	1.182 (0.798 - 1.750)
	OdC_97.5P_4d	1.336 (0.860 - 2.075)	1.341 (0.860 - 2.089)

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 13: Razão de risco relativo (RRR) da diferença entre homens e mulheres na mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 12 definições de ondas de calor, estratificado por causa específica (AVCi, AVCh, DIC e DPOC) com lag de 10 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Efeito sem o controle	Efeito adicionado
		da TMED RRR (95% CI)	RRR (95% CI)
AVCi	OdC_90P_2d	1.232 (0.889 - 1.709)	1.358 (0.933 - 1.977)
	OdC_90P_3d	1.314 (0.935 - 1.847)	1.417 (0.976 - 2.058)
	OdC_90P_4d	1.321 (0.937 - 1.863)	1.419 (0.988 - 2.037)
	OdC_92.5P_2d	1.304 (0.883 - 1.924)	1.398 (0.908 - 2.153)
	OdC_92.5P_3d	1.510 (1.004 - 2.272)	1.580 (1.027 - 2.429)
	OdC_92.5P_4d	1.531 (1.003 - 2.337)	1.591 (1.028 - 2.464)
	OdC_95P_2d	1.230 (0.804 - 1.881)	1.280 (0.807 - 2.030)
	OdC_95P_3d	1.544 (0.989 - 2.409)	1.586 (0.994 - 2.529)
	OdC_95P_4d	1.472 (0.889 - 2.437)	1.485 (0.888 - 2.485)
	OdC_97.5P_2d	1.458 (0.796 - 2.671)	1.487 (0.797 - 2.776)
	OdC_97.5P_3d	1.565 (0.825 - 2.970)	1.598 (0.830 - 3.077)
	OdC_97.5P_4d	1.562 (0.758 - 3.217)	1.581 (0.761 - 3.285)
AVCh	OdC_90P_2d	0.971 (0.644 - 1.465)	0.978 (0.615 - 1.553)
	OdC_90P_3d	1.195 (0.775 - 1.844)	1.233 (0.771 - 1.969)
	OdC_90P_4d	1.140 (0.732 - 1.775)	1.205 (0.757 - 1.916)
	OdC_92.5P_2d	1.108 (0.670 - 1.830)	1.146 (0.662 - 1.984)
	OdC_92.5P_3d	1.099 (0.640 - 1.887)	1.143 (0.651 - 2.010)
	OdC_92.5P_4d	1.077 (0.607 - 1.911)	1.138 (0.632 - 2.050)
	OdC_95P_2d	0.864 (0.490 - 1.524)	0.877 (0.478 - 1.610)
	OdC_95P_3d	0.848 (0.457 - 1.571)	0.892 (0.470 - 1.694)
	OdC_95P_4d	0.722 (0.351 - 1.484)	0.745 (0.359 - 1.548)
	OdC_97.5P_2d	0.765 (0.325 - 1.801)	0.736 (0.306 - 1.772)
	OdC_97.5P_3d	0.878 (0.337 - 2.284)	0.894 (0.338 - 2.367)
	OdC_97.5P_4d	1.018 (0.333 - 3.106)	1.042 (0.338 - 3.212)
DIC	OdC_90P_2d	1.008 (0.863 - 1.176)	1.055 (0.886 - 1.257)
	OdC_90P_3d	1.013 (0.861 - 1.192)	1.045 (0.876 - 1.247)
	OdC_90P_4d	0.998 (0.846 - 1.178)	1.012 (0.850 - 1.204)
	OdC_92.5P_2d	0.985 (0.817 - 1.187)	1.003 (0.818 - 1.230)
	OdC_92.5P_3d	0.984 (0.806 - 1.200)	1.000 (0.812 - 1.232)
	OdC_92.5P_4d	0.942 (0.766 - 1.159)	0.949 (0.766 - 1.174)
	OdC_95P_2d	0.917 (0.741 - 1.134)	0.924 (0.737 - 1.160)
	OdC_95P_3d	1.016 (0.810 - 1.274)	1.033 (0.816 - 1.307)
	OdC_95P_4d	1.064 (0.822 - 1.376)	1.066 (0.820 - 1.385)
	OdC_97.5P_2d	1.012 (0.741 - 1.382)	1.015 (0.738 - 1.396)
	OdC_97.5P_3d	1.125 (0.803 - 1.575)	1.125 (0.799 - 1.585)
	OdC_97.5P_4d	1.140 (0.784 - 1.659)	1.134 (0.776 - 1.656)
DPOC	OdC_90P_2d	0.866 (0.667 - 1.124)	0.815 (0.605 - 1.097)
	OdC_90P_3d	0.880 (0.667 - 1.160)	0.847 (0.627 - 1.146)
	OdC_90P_4d	0.840 (0.634 - 1.114)	0.825 (0.613 - 1.111)
	OdC_92.5P_2d	0.752 (0.548 - 1.033)	0.691 (0.488 - 0.979)
	OdC_92.5P_3d	0.833 (0.591 - 1.176)	0.808 (0.564 - 1.158)
	OdC_92.5P_4d	0.816 (0.569 - 1.170)	0.794 (0.547 - 1.151)
	OdC_95P_2d	0.796 (0.554 - 1.144)	0.734 (0.498 - 1.083)
	OdC_95P_3d	0.831 (0.559 - 1.234)	0.810 (0.537 - 1.222)
	OdC_95P_4d	0.648 (0.406 - 1.034)	0.639 (0.397 - 1.027)
	OdC_97.5P_2d	0.633 (0.370 - 1.082)	0.596 (0.344 - 1.033)
	OdC_97.5P_3d	0.586 (0.319 - 1.077)	0.569 (0.306 - 1.058)
	OdC_97.5P_4d	0.522 (0.257 - 1.059)	0.507 (0.248 - 1.035)

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 14: Razão de risco relativo (RRR) da diferença entre homens e mulheres na mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 12 definições de ondas de frio, estratificado por causa específica (DCV, RESP e DCB) com lag de 27 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Efeito sem o controle da TMED RRR (95% CI)	Efeito adicionado RRR (95% CI)
DCV	OdF_10P_2d	1.130 (0.957 - 1.334)	1.111 (0.929 - 1.329)
	OdF_10P_3d	1.148 (0.971 - 1.357)	1.104 (0.923 - 1.321)
	OdF_10P_4d	1.224 (1.008 - 1.487)	1.160 (0.948 - 1.419)
	OdF_5P_2d	1.147 (0.912 - 1.444)	1.046 (0.818 - 1.337)
	OdF_5P_3d	1.125 (0.856 - 1.478)	1.016 (0.764 - 1.350)
	OdF_5P_4d	1.019 (0.743 - 1.397)	0.922 (0.666 - 1.275)
	OdF_3P_2d	1.238 (0.899 - 1.703)	1.147 (0.819 - 1.606)
	OdF_3P_3d	1.040 (0.738 - 1.466)	0.943 (0.662 - 1.342)
	OdF_3P_4d	0.843 (0.499 - 1.426)	0.756 (0.444 - 1.286)
RESP	OdF_10P_2d	1.086 (0.851 - 1.385)	1.068 (0.824 - 1.386)
	OdF_10P_3d	1.048 (0.821 - 1.338)	0.998 (0.769 - 1.296)
	OdF_10P_4d	1.002 (0.756 - 1.328)	0.968 (0.724 - 1.294)
	OdF_5P_2d	0.968 (0.692 - 1.353)	0.957 (0.670 - 1.368)
	OdF_5P_3d	0.900 (0.604 - 1.341)	0.855 (0.565 - 1.294)
	OdF_5P_4d	0.979 (0.620 - 1.548)	0.951 (0.595 - 1.520)
	OdF_3P_2d	1.020 (0.642 - 1.622)	1.028 (0.631 - 1.677)
	OdF_3P_3d	0.969 (0.590 - 1.592)	0.993 (0.596 - 1.656)
	OdF_3P_4d	1.039 (0.493 - 2.192)	1.104 (0.516 - 2.359)
DCB	OdF_10P_2d	1.364 (0.972 - 1.914)	1.315 (0.914 - 1.893)
	OdF_10P_3d	1.295 (0.922 - 1.820)	1.233 (0.857 - 1.775)
	OdF_10P_4d	1.604 (1.081 - 2.379)	1.528 (1.016 - 2.299)
	OdF_5P_2d	1.787 (1.118 - 2.857)	1.646 (0.995 - 2.722)
	OdF_5P_3d	2.075 (1.193 - 3.611)	1.967 (1.104 - 3.505)
	OdF_5P_4d	1.658 (0.873 - 3.146)	1.532 (0.793 - 2.959)
	OdF_3P_2d	2.077 (1.084 - 3.976)	1.887 (0.950 - 3.747)
	OdF_3P_3d	2.037 (1.019 - 4.071)	1.811 (0.886 - 3.698)
	OdF_3P_4d	2.241 (0.767 - 6.546)	1.857 (0.624 - 5.529)

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 15: Razão de risco relativo (RRR) da diferença entre homens e mulheres na mortalidade de pessoas com 65 anos ou mais nas 12 definições de ondas de frio, estratificado por causa específica (AVCi, AVCh, DIC e DPOC) com lag de 27 dias em São Paulo.

Causa de morte	Modelo	Efeito sem o controle da TMED RRR (95% CI)	Efeito adicionado RRR (95% CI)
AVCi	OdF_10P_2d	1.324 (0.700 - 2.507)	1.090 (0.550 - 2.160)
	OdF_10P_3d	1.380 (0.728 - 2.615)	1.210 (0.611 - 2.397)
	OdF_10P_4d	1.412 (0.686 - 2.910)	1.222 (0.578 - 2.585)
	OdF_5P_2d	2.184 (0.901 - 5.297)	1.976 (0.764 - 5.108)
	OdF_5P_3d	1.957 (0.685 - 5.587)	1.772 (0.593 - 5.291)
	OdF_5P_4d	1.979 (0.593 - 6.610)	1.713 (0.496 - 5.913)
	OdF_3P_2d	3.234 (0.939 - 11.137)	3.101 (0.839 - 11.467)
	OdF_3P_3d	1.607 (0.423 - 6.099)	1.245 (0.314 - 4.943)
	OdF_3P_4d	3.172 (0.425 - 23.647)	2.292 (0.295 - 17.826)
AVCh	OdF_10P_2d	0.813 (0.381 - 1.732)	0.857 (0.380 - 1.933)
	OdF_10P_3d	0.737 (0.346 - 1.571)	0.786 (0.348 - 1.771)
	OdF_10P_4d	1.154 (0.481 - 2.770)	1.201 (0.485 - 2.976)
	OdF_5P_2d	0.746 (0.259 - 2.150)	0.908 (0.292 - 2.820)
	OdF_5P_3d	0.869 (0.249 - 3.040)	0.983 (0.266 - 3.632)
	OdF_5P_4d	0.626 (0.146 - 2.677)	0.618 (0.139 - 2.757)
	OdF_3P_2d	0.680 (0.155 - 2.979)	0.623 (0.131 - 2.967)
	OdF_3P_3d	1.096 (0.228 - 5.272)	1.044 (0.206 - 5.293)
	OdF_3P_4d	0.862 (0.075 - 9.833)	0.803 (0.067 - 9.615)
DIC	OdF_10P_2d	1.041 (0.796 - 1.362)	1.014 (0.759 - 1.354)
	OdF_10P_3d	1.163 (0.888 - 1.524)	1.131 (0.846 - 1.511)
	OdF_10P_4d	1.142 (0.834 - 1.564)	1.099 (0.793 - 1.522)
	OdF_5P_2d	1.042 (0.719 - 1.509)	0.930 (0.625 - 1.384)
	OdF_5P_3d	0.945 (0.607 - 1.473)	0.872 (0.549 - 1.385)
	OdF_5P_4d	0.817 (0.491 - 1.360)	0.758 (0.449 - 1.279)
	OdF_3P_2d	0.731 (0.437 - 1.223)	0.750 (0.436 - 1.291)
	OdF_3P_3d	0.707 (0.407 - 1.230)	0.676 (0.382 - 1.197)
	OdF_3P_4d	0.399 (0.172 - 0.924)	0.360 (0.154 - 0.844)
DPOC	OdF_10P_2d	1.320 (0.833 - 2.092)	1.216 (0.743 - 1.990)
	OdF_10P_3d	1.373 (0.863 - 2.185)	1.200 (0.730 - 1.972)
	OdF_10P_4d	1.151 (0.673 - 1.967)	1.029 (0.591 - 1.791)
	OdF_5P_2d	0.979 (0.519 - 1.848)	0.946 (0.480 - 1.863)
	OdF_5P_3d	1.023 (0.481 - 2.174)	0.885 (0.404 - 1.940)
	OdF_5P_4d	1.080 (0.454 - 2.572)	0.922 (0.378 - 2.248)
	OdF_3P_2d	1.286 (0.535 - 3.093)	1.032 (0.409 - 2.605)
	OdF_3P_3d	0.997 (0.387 - 2.573)	0.824 (0.310 - 2.194)
	OdF_3P_4d	0.950 (0.231 - 3.903)	0.811 (0.192 - 3.423)

Fonte: Adaptado de Moraes, et al (2022).

Apêndice 16: Validação do modelo (simulação urbana) com base nas observações das estações meteorológicas e a T2m do WRF para o período da onda de calor de 2014

<b>WRF/estações meteorológicas</b>	<b>Correlação de Pearson</b>	<b>Correlação de Spearman</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MB</b>
Anhembi	0.94	0.94	2.13	1.82	1.66
Aricanduva - Vila Formosa	0.92	0.91	2.73	2.36	2.26
Butantã	0.87	0.87	3.58	2.82	2.60
Campo Limpo	0.92	0.92	2.38	2.07	1.89
Capão Redondo	0.90	0.91	3.18	2.76	2.56
Capela do Socorro	0.86	0.83	4.67	3.64	3.35
DG/USP	0.87	0.86	4.36	3.83	3.78
Freguesia do Ó	0.91	0.91	2.82	2.36	2.21
Guarulhos-Paço Municipal	0.95	0.95	2.10	1.78	1.63
IAG/USP	0.88	0.88	3.40	2.83	2.69
INMET	0.93	0.93	2.21	1.87	1.65
Interlagos	0.92	0.93	2.65	2.33	2.22
Ipiranga	0.89	0.89	2.75	2.29	2.11
Itaquera	0.90	0.89	2.65	2.16	1.89
Jacareí	0.89	0.88	2.69	2.12	1.18
Lapa	0.92	0.91	2.83	2.46	2.35
M'Boi Mirim	0.90	0.90	3.15	2.80	2.72
Móoca	0.94	0.95	2.17	1.93	1.74
Parelheiros	0.94	0.91	2.24	1.85	1.61
Perus	0.93	0.93	3.01	2.51	2.40
Pirituba	0.89	0.90	3.22	2.67	2.53
Riacho Grande	0.92	0.91	2.87	2.55	2.47
Santana - Tucuruvi	0.93	0.93	1.98	1.64	1.35
Santo Amaro	0.91	0.92	2.65	2.31	2.19
São Mateus	0.91	0.90	3.50	2.93	2.81
São Miguel Paulista	0.95	0.95	2.78	2.52	2.47
Sé	0.93	0.93	2.27	1.93	1.83
Taboão da Serra	0.93	0.94	2.34	2.04	1.85
Vila Maria - Vila Guilherme	0.92	0.91	2.42	2.08	1.82
Vila Mariana	0.92	0.92	2.11	1.78	1.46
Vila Prudente	0.93	0.93	2.35	2.02	1.91

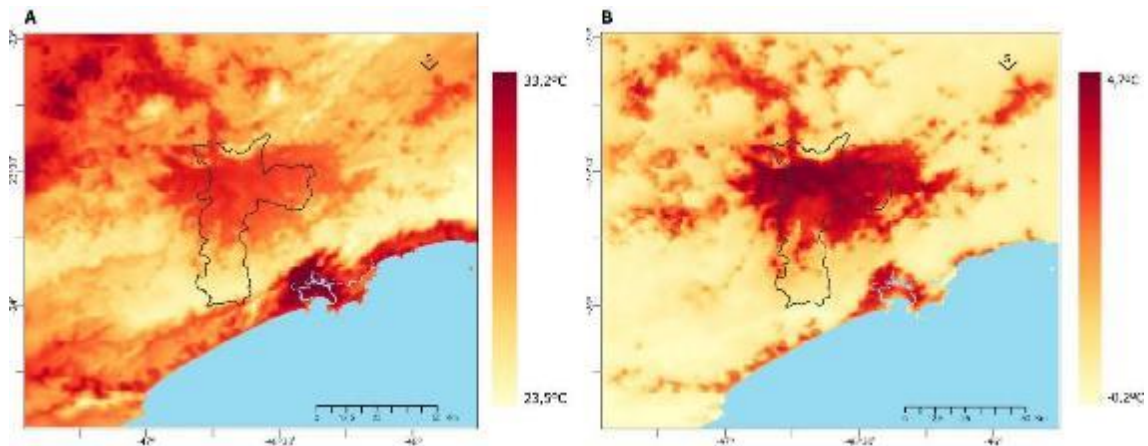




Apêndice 17: Gráficos de dispersão da correlação entre as observações horárias da temperatura do ar das estações meteorológicas e da T2m do modelo WRF no domínio durante o período da onda de calor de 2014.

Apêndice 18: Estatísticas descritivas da T2m modelada para cada simulação durante o período de onda de calor em São Paulo

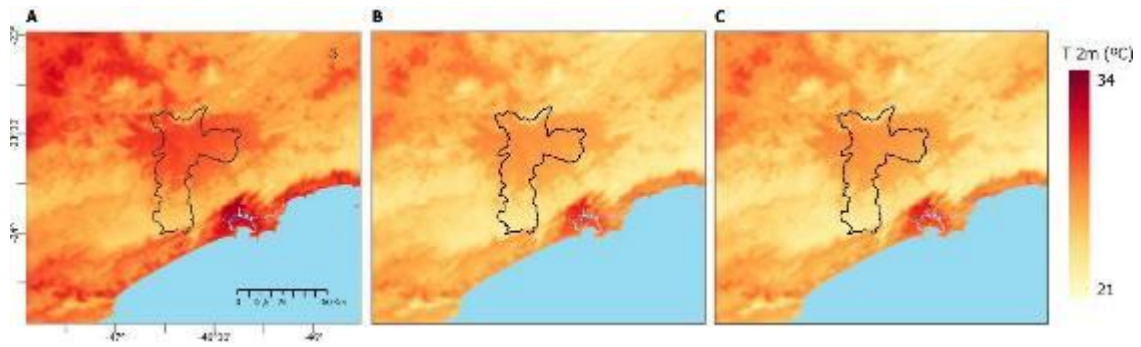
<b>Simulação WRF</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Máxima</b>
Urbana	28.9	1.42	25.0	29.3	30.1
Rural	25.5	0.86	23.7	25.5	26.6
Urbana T2m					
LRtstep	26.8	0.80	25.0	27.0	27.8
Urbana T2m LRavg	26.8	1.42	22.8	27.2	27.9



Apêndice 19: Domínio modelado (A) T2m do WRF da simulação 'urbana' durante o evento de onda de calor (26 de janeiro - 9 de fevereiro de 2014) e (B) Intensidade da ICU no período de onda de calor.

Apêndice 20: Média da T2m e T2m ponderada pela população e estratificada por idade durante o período de onda de calor em São Paulo

<b>Simulação WRF</b>	<b>T2m</b>	<b>T2m com população ponderada (todas as idades)</b>	<b>T2m com população ponderada (0-64 anos)</b>	<b>T2m com população ponderada (≥65 anos)</b>
Urban	28.92	28.95	28.94	29.02
Rural	25.53	25.53	25.53	25.52
Urban T2m LRTstep	26.77	26.80	26.79	26.87
Urban T2m LRavg	26.77	26.80	26.79	26.87



Apêndice 21: Temperatura média do ar a 2m de altura para o período de onda de calor no domínio modelado (A) simulação 'Urbana' WRF, (B) 'Urbana T2m LRtstep', e (C) 'Urbana T2m LRavg'.

Apêndice 22: Óbitos atribuíveis ao calor nos cenários urbano, rural e ICU estratificados por idade durante o período de calor em São Paulo

	<b>Óbitos atribuíveis</b>		
	<b>Todas as idades</b>	<b>0-64 anos</b>	<b>≥65 anos</b>
<b>T2m Lrtstep</b>			
Urban	286	46	236
Rural	0	0	0
UHI	286	46	236
<b>T2m LRavg</b>			
Urban	321	51	268
Rural	0	0	0
UHI	321	51	268

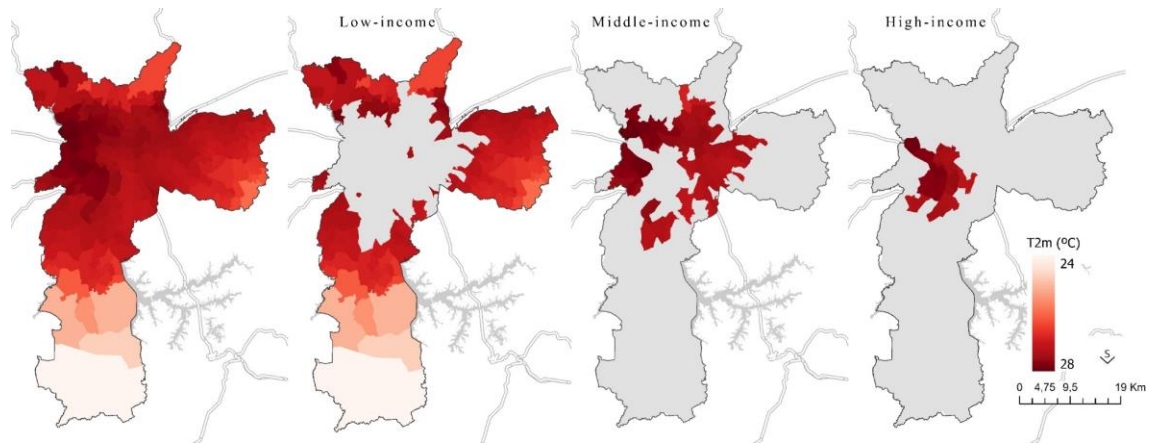
Apêndice 23: Óbitos atribuíveis ao calor e % de aumento para simulações urbanas com correção de viés estratificadas por idade durante o período da onda de calor e para os incrementos de temperatura da das projeções climáticas para São Paulo

	<b>Simulação WRF</b>	<b>OdC 2014</b>	<b>+1°C (% aumento)</b>	<b>+2°C (% aumento)</b>	<b>+3°C (% aumento)</b>	<b>+4°C (% aumento)</b>
<b>População total</b>	Urbana T2m LRtstep	286	480 (68%)	687 (140%)	896 (213%)	1105 (286%)
	Urbana T2m LRavg	321	500 (56%)	681 (112%)	882 (175%)	1090 (240%)
<b>0-64 anos</b>	Urbana T2m LRtstep	46	79 (71%)	112 (143%)	146 (217%)	181 (293%)
	Urbana T2m LRavg	51	80 (57%)	109 (114%)	142 (178%)	177 (247%)
<b>≥65 anos</b>	Urbana T2m LRtstep	236	395 (67%)	556 (136%)	719 (205%)	883 (274%)
	Urbana T2m LRavg	268	411 (53%)	554 (107%)	713 (166%)	876 (227%)

Apêndice 23: Estatística descritiva da T2m para cada classe de rendimento durante a onda de calor de 2014

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Baixa renda	26,6	0,5	23,6	27,4
Classe média	27,0	0,2	26,4	27,5
Alta renda	27,1	0,2	26,7	27,5

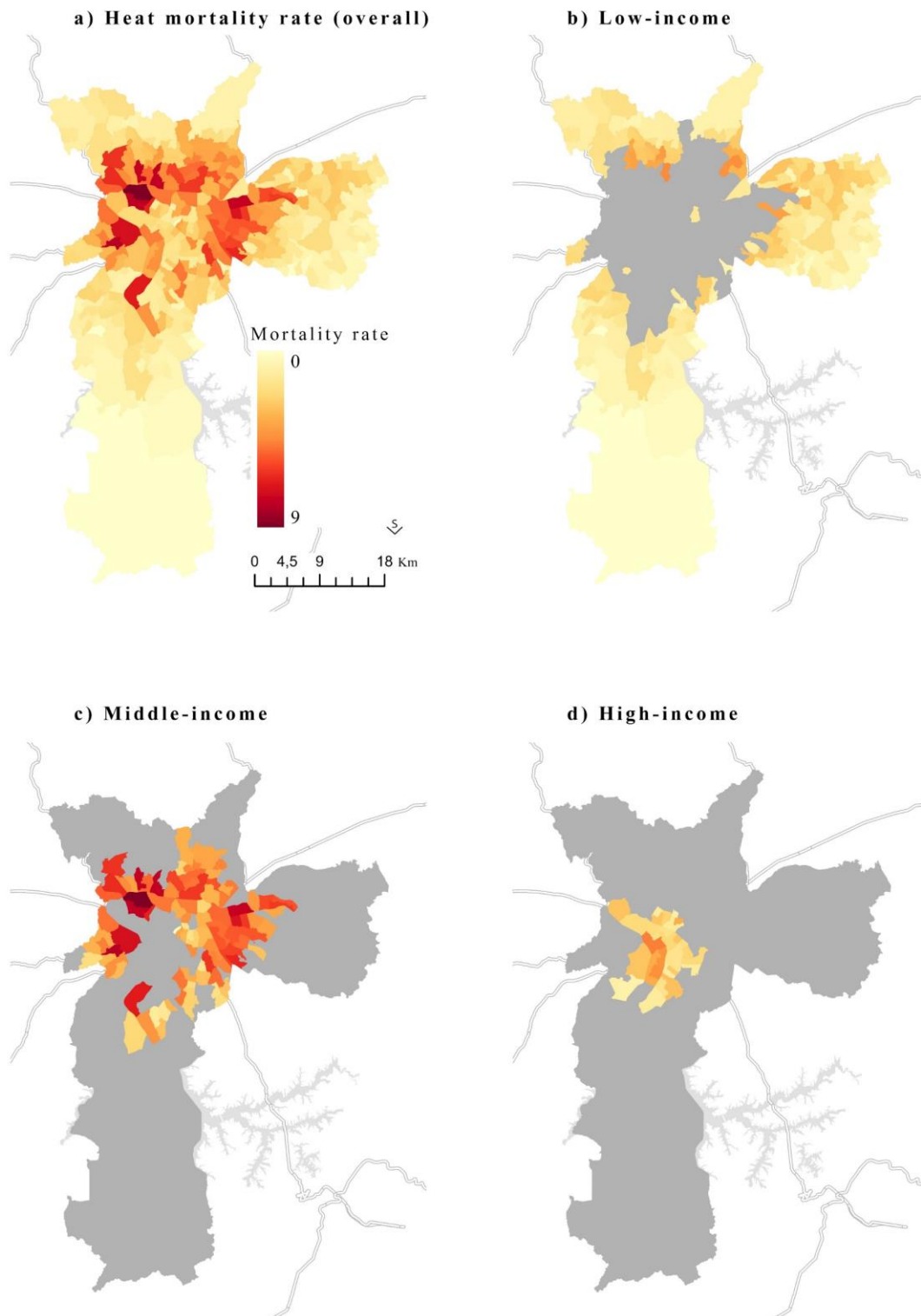




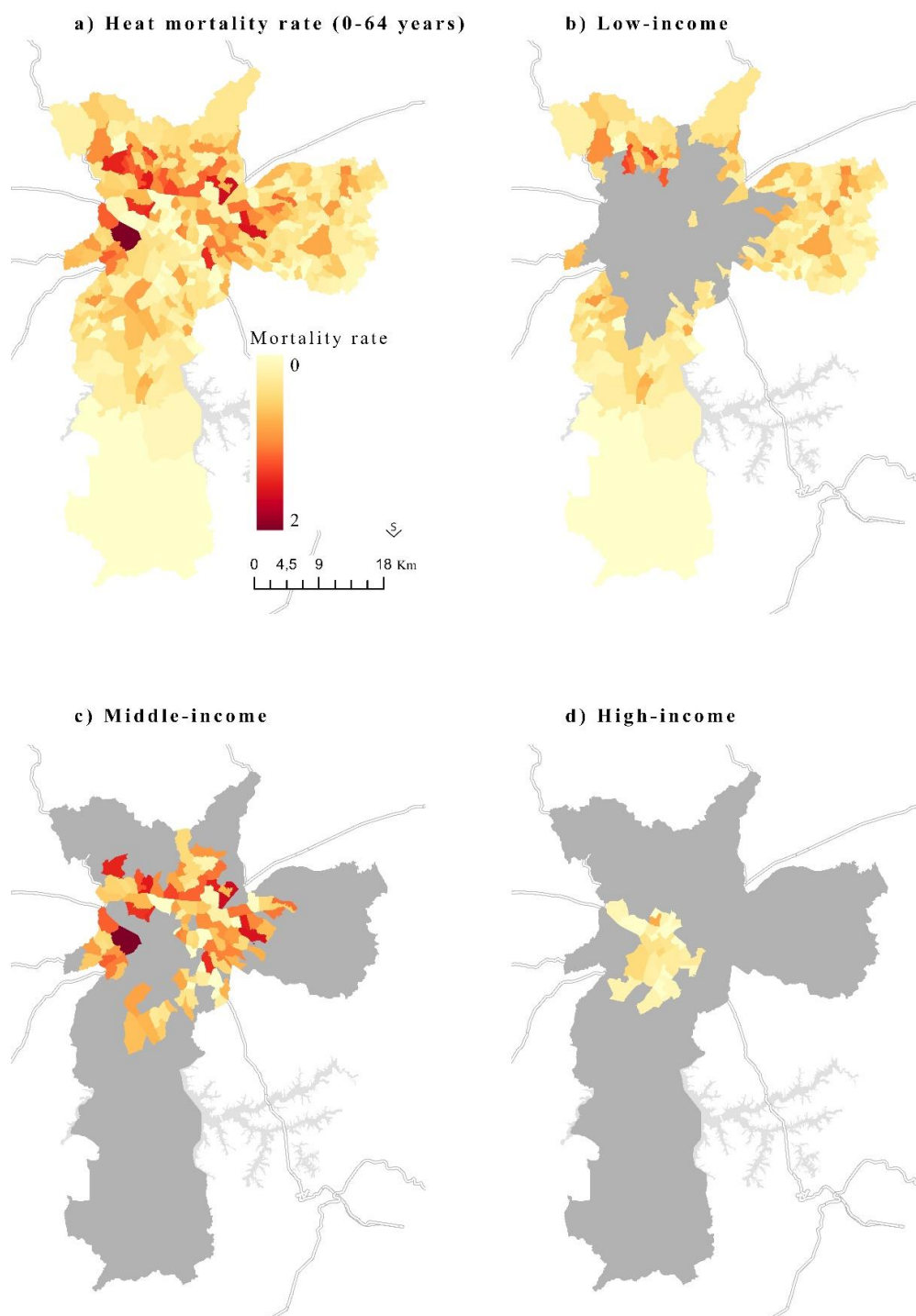
Apêndice 24: Distribuição espacial da média da T2m por classe de rendimento durante a onda de calor de 2014

Apêndice 25: Mortalidade atribuída e taxa de mortalidade atribuída (por 100 mil habitantes) ao calor para o total da população e estratificada por idade (0-64 anos e ≥ 65 anos) durante a onda de calor de 2014 por classe de rendimento.

<b>População</b>	<b>Classe de rendimento</b>	<b>Mortalidade atribuída</b>	<b>Taxa de mortalidade atribuída</b>
Total	Baixa renda	112	1,6
	Classe média	140	4,4
	Alta renda	21	2,2
0-64 anos	Baixa renda	26	0,4
	Classe média	20	0,7
	Alta renda	1	0,2
≥ 65 anos	Baixa renda	90	21,8
	Classe média	127	34,1
	Alta renda	21	16,1



Apêndice 26: Taxa de mortalidade atribuída ao calor (por 100 mil habitantes) para o total da população. a) Taxa de mortalidade atribuída ao calor no município de São Paulo, b) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de baixa renda, c) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de classe média, d) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de alta renda



Apêndice 27: Taxa de mortalidade atribuída ao calor (por 100 mil habitantes) para a população de 0 a 64 anos. a) Taxa de mortalidade atribuída ao calor no município de São Paulo, b) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de baixa renda, c) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de classe média, d) Taxa de mortalidade atribuída ao calor das áreas de ponderação de alta renda