



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro Biomédico

Instituto de Medicina Social Hesio Cordeiro

Franciely Maria Carrijo Campos

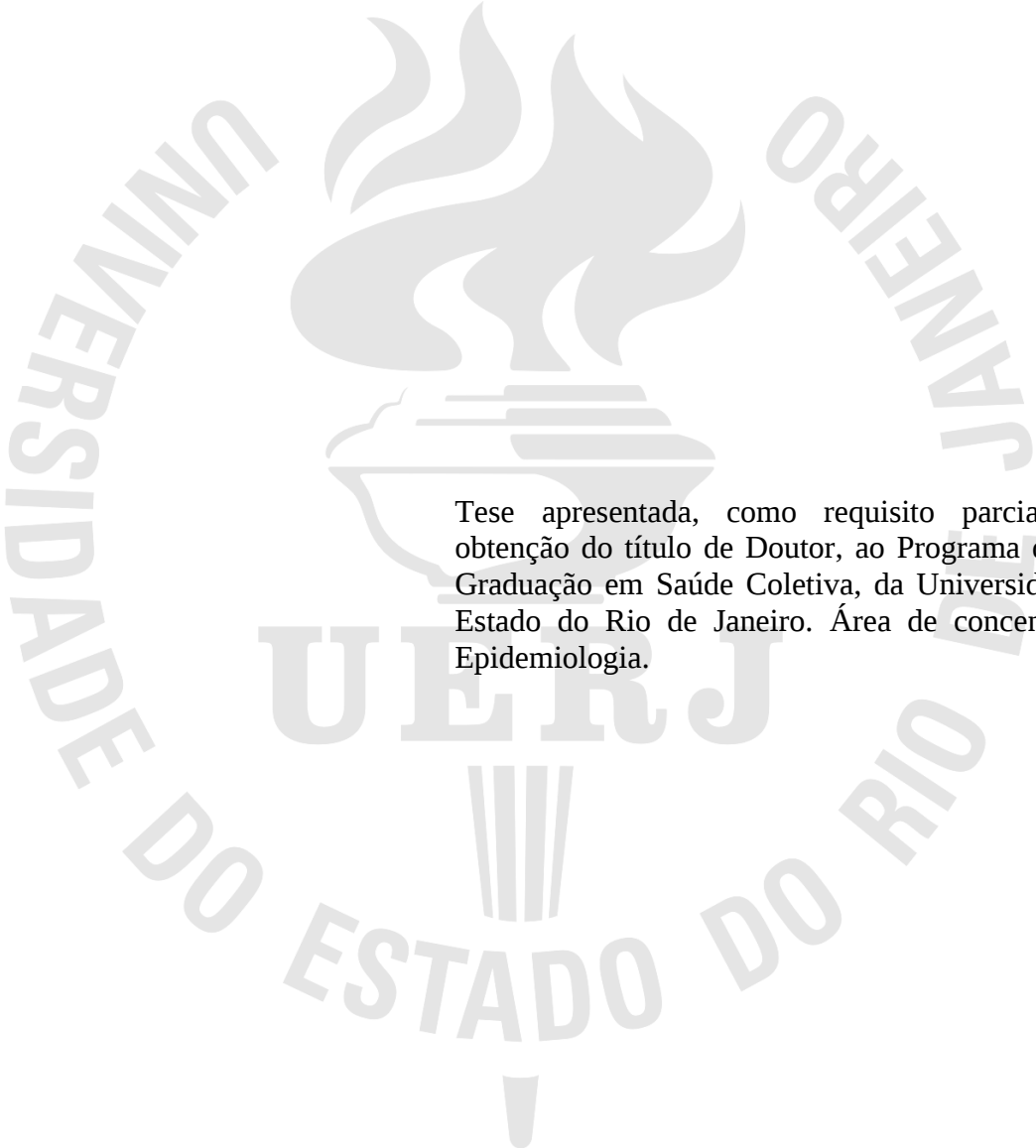
**Associação entre ondas de calor e mortalidade por doenças
cardiovasculares nas capitais brasileiras**

Rio de Janeiro

2022

Franciely Maria Carrijo Campos

**Associação entre ondas de calor e mortalidade por doenças cardiovasculares nas capitais
brasileiras**



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Epidemiologia.

Orientador: Prof. Dr. Washington Leite Junger

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CB/C

C198	Campos, Franciely Maria Carrijo Associação entre ondas de calor e mortalidade por doenças cardiovasculares nas capitais brasileiras / Franciely Maria Carrijo Campos. – 2022. 139 f. Orientador: Prof. Dr. Washington Leite Junger Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Medicina Social Hesio Cordeiro. 1. Doenças cardiovasculares - Mortalidade – Brasil - Teses. 2. Doenças cardiovasculares – Epidemiologia - Teses. 3. Temperatura alta – Teses. 4. Estudos de séries temporais – Teses. 5. Sistema cardiovascular - Doenças - Teses. I. Junger, Washington Leite. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Medicina Social Hesio Cordeiro. III. Título. CDU 616.12(81)
------	---

Bibliotecária: Marianna Lopes Bezerra – CRB 7 6386

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Franciely Maria Carrijo Campos

**Associação entre ondas de calor e mortalidade por doenças cardiovasculares nas capitais
brasileiras**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Epidemiologia.

Aprovada em 16 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora: _____

Prof. Dr. Washington Leite Junger (Orientador)
Instituto de Medicina Social Hesio Cordeiro - UERJ

Prof.^a Dra. Gulnar Azevedo e Silva
Instituto de Medicina Social Hesio Cordeiro - UERJ

Prof.^a Dra. Eliane Ignotti
Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Ismael Henrique da Silveira
Universidade Federal da Bahia

Prof.^a Dra. Karen dos Santos Gonçalves
Institute for Global Health

Rio de Janeiro

2022

DEDICATÓRIA

Ao meu amado filho Miguel Campos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, força e sabedoria que nos concede a cada amanhecer.

Ao Prof. Dr. Washington Leite Junger pelas orientações, disposição e compreensão.

A prof. Dra. Eliane Ignotti pelas injeções de ânimo e coragem.

Ao Prof. Dra. Beatriz Fátima Alves de Oliveira pela colaboração indispensável.

As professoras Eliane Ignotti, Gulnar Azevedo e Silva e Ludmilla da Silva Viana Jacobson que aceitaram participar da banca de qualificação e compartilharam conhecimentos valiosos.

A população que infelizmente foi a óbito, mas sem eles não haveria este trabalho.

Ao meu amado príncipe Miguel que amo profundamente.

A minha família (filho, mamãe, papai, maninha, esposo, Fátima e Lauanda) pela amizade, paciência, compreensão e lealdade nos momentos de dificuldades. Por muito me apoiarem, amarem e deixarem de lado momentos importantes para cuidar do meu príncipe durante o decorrer desses anos para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Aos meus psiquiatras Patrice Zattar, Alaor Filho e Railma pelo incentivo.

A instituição Faperj e Capes pela oportunidade de receber a bolsa.

Aos amigos do Núcleo de Pesquisas em Epidemiologia Ambiental (NPEA), Cinthya Bellido, Eliane Miranda, Ismael Silveira, Mayara Auler e Taisa Cortes, pela companhia e conhecimentos compartilhamos.

Aos amigos do doutorado que lembrarei com muito carinho.

Aos professores pelas experiências compartilhadas e conhecimentos que proporcionaram nessa trajetória.

A comunidade IMS/UERJ, principalmente a Aleksandra Santos e Silvia Regina.

Por fim, a todos que de alguma maneira enriqueceram meu conhecimento.

Muito obrigada a todos.

RESUMO

CAMPOS, Franciely Maria Carrijo. **Associação entre ondas de calor e mortalidade por doenças cardiovasculares nas capitais brasileiras**. 2022. 139f. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Instituto de Medicina Social Hesio Cordeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

As ondas de calor têm sido associadas a morbimortalidade por doenças do aparelho circulatório em diferentes locais, principalmente nos grupos considerados vulneráveis. Esta tese apresenta estudos sobre as características das ondas de calor e abordou seus efeitos nas doenças do aparelho circulatório nas capitais brasileiras no período de 2000 a 2016. O primeiro estudo teve como objetivo examinar a intensidade, a frequência e a duração dos eventos de ondas de calor nas capitais brasileiras, por meio das análises de séries temporais foi possível caracterizar a ocorrência das ondas de calor, os resultados mostraram que estão mais frequentes, duradouras e intensas e ocorrem durante todo o ano, inclusive no inverno em cidades das regiões Sudeste e Sul. O segundo estudo teve como objetivo identificar as capitais brasileiras que apresentaram desconforto térmico para população, por meio da caracterização do índice de calor. Os resultados mostraram que se utilizando as definições de temperatura aparente e conforto e desconforto térmico do diagrama do conforto humano, na maioria das capitais foram constatadas condições de desconforto para a saúde humana. Algumas capitais localizadas no Sudeste e no Sul apresentaram condições definidas por conforto térmico. O terceiro estudo teve como objetivo estimar os efeitos de ondas de calor na mortalidade do aparelho circulatório no município do Rio de Janeiro no ano de 2010. A análise de séries temporais foi utilizada para estimar o percentual do Risco Relativo (%RR) do efeito das ondas de calor na mortalidade de pessoas adultas a partir de ≥ 30 anos de idade. Os resultados deste estudo evidenciaram o aumento do %RR nas mortalidades por DAC associadas às ondas de calor no município do Rio de Janeiro. O quarto estudo teve como objetivo estimar os efeitos de ondas de calor na mortalidade por doenças do aparelho cardiovascular nas capitais brasileiras, a análise de séries temporais foi utilizada para estimar o percentual do Risco Relativo (%RR) do efeito das ondas de calor na mortalidade de pessoas adultas ≥ 30 anos de idade. Os resultados indicam uma associação entre ondas de calor e a mortalidade por doenças cerebrovasculares e doenças isquêmicas do coração na população adulta. Os achados deste conjunto de estudo permitem concluir que as ondas de calor estão mais frequentes, intensas e duradouras nas capitais brasileiras e, as doenças do aparelho circulatório estão associadas com este fenômeno.

Palavras chaves: Ondas de calor. Doenças do aparelho circulatório. Epidemiologia ambiental. Séries temporais.

ABSTRACT

CAMPOS, Franciely Maria Carrijo. **Association between heat waves and mortality from cardiovascular disease in Brazilian capitals**. 2022. 139f. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Instituto de Medicina Social Hesio Cordeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Heat waves have been associated with circulatory disease morbidity and mortality in different locations, especially in groups considered vulnerable. This thesis presents studies on the characteristics of heat waves and addressed its effects on circulatory diseases in Brazilian capitals from 2000 to 2016. The first study aimed to examine the intensity, frequency and duration of heat wave events in the Brazilian capitals, through temporal series analysis, it was possible to characterize the occurrence of heat waves, the results showed that they are more frequent, lasting and intense and occur throughout the year, including winter in cities in the Southeast and South regions. The second study aimed to identify the Brazilian capitals that presented thermal discomfort for the population, through the characterization of the heat index. The results showed that using the apparent temperature definitions and comfort and thermal discomfort of the human comfort diagram, most capitals were found conditions of discomfort for human health. Some capitals located in the Southeast and South had conditions defined by thermal comfort. The third study aimed to estimate the effects of heat waves on the mortality of the circulatory system in the municipality of Rio de Janeiro in 2010. Time series analysis was used to estimate the percentage of relative risk (%RR) of the effect of heat waves on adult mortality from ≥ 30 years of age. The results of this study showed the increase of %RR in DAC mortality associated with heat waves in the municipality of Rio de Janeiro. The fourth study aimed to estimate the effects of heat waves on mortality from cardiovascular disease in Brazilian capitals, time series analysis was used to estimate the percentage of relative risk (%RR) of the effect of heat waves on mortality of adults ≥ 30 years of age. The results indicate an association between heat waves and mortality from cerebrovascular diseases and ischemic heart disease in the adult population. The findings of this study set allow you to conclude that heat waves are more frequent, intense and lasting in Brazilian capitals and circulatory diseases are associated with this phenomenon.

Keywords: Heat waves. Circulatory diseases. Environmental epidemiology. Temporal series.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Diferenças da temperatura da superfície do ar em 2017, com relação à média de 1981-2010.....	17
Figura 2 -	Gráfico acíclico direcionado representando hipóteses sobre as relações entre ondas de calor e mortalidade por doenças cardiovasculares.....	35
Figura 3 -	5-1 Climates and temperatures in Brazilian capitals 2000 the 2016.....	45
Figura 4 -	5-2 Frequency of hot flashes in Brazilian capitals, 2 days or more (a), 3 days or more (b), 5 days or more (c) 90th percentile, 2 days or more (d), 3 days or more (e), 5 days or more (f) 95th percentile and 2 days.or more (g), 3 days or more (h), 5 days or more (i) 99th percentile, 2000 the 2016.....	46
Figura 5 -	5-3 Duration of hot flashes in Brazilian capitals, 2 days or more (a), 3 days or more (b), 5 days or more (c) 90th percentile, 2 days or more (d), 3 days or more (e), 5 days or more (f) 95th percentile and 2 days or more (g), 3 days or more (h), 5 days or more (i) 99th percentile, 2000 the 2016.....	49
Figura 6 -	5-4 Intensity of heat waves in Brazilian capitals, 90th percentile (a), 95th percentile (b) and 99th percentile (c), 2000 to 2016.....	52
Figura 7 -	6-1 Diagrama de conforto humano.....	71
Figura 8 -	6-2 Índice de calor nas capitais brasileiras, método temperatura aparente 2000 a 2016.....	72
Figura 9 -	6-3 Índice de calor nas capitais brasileiras, método do diagrama do conforto humano 2000 a 2016.....	72
Figura 10 -	7-1 Séries temporais diárias Temperatura (°C) e óbitos por Doenças do Aparelho Cardiovascular, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Influência relativa dos gases de efeito estufa natural da atmosfera na temperatura e crescimento das concentrações atmosféricas devido às emissões antropogênicas para CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O desde o início da Era Industrial.....	15
Tabela 2 -	Informações geográficas, demográficas, climáticas das 27 cidades brasileiras e período do estudo.....	34
Tabela 3 -	5-1 Percentage of missing data imputed in the daily temperature series in each city.....	45
Tabela 4 -	5-2 Frequency, duration and intensity of heat waves in Brazilian capitals, 2000 to 2016.....	45
Tabela 5 -	6-1 Classificação de risco para índice de calor.....	71
Tabela 6 -	7-1 Estatística descritiva dos óbitos por Doenças do Aparelho Cardiovascular adultos ≥ 30 anos, ondas de calor. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.....	87
Tabela 7 -	7-2 Matriz de correlação de Pearson dos óbitos por Doenças do Aparelho Cardiovascular adultos ≥ 30 anos, ondas de calor, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.....	87
Tabela 8 -	7-3 Percentual de Risco Relativo dos óbitos por Doenças cerebrovasculares e isquêmicas em adultos ≥ 30 anos, ondas de calor. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.....	88
Tabela 9 -	8-1 Estatística descritiva das populações e óbitos por capitais.....	100
Tabela 10 -	8-2 – Percentual de Risco Relativo dos óbitos por Doenças cerebrovasculares e isquêmicas em adultos ≥ 30 anos, ondas de calor.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATSMs	Acidente vascular cerebral
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DAC	Doenças do Aparelho Cardiovascular
DIC	Doenças Isquêmicas do Coração
GEE	Gases de Efeito Estufa
KNMI	Instituto Meteorológico Real da Holanda
N ₂ O	Óxido nitroso
NO ₂	Dióxido de Nitrogénio
NWS	Serviço Meteorológico Nacional dos Estados Unidos da América
O ₃	Ozônio
PA	Pressão arterial
PM	Material particulado
SO ₂	Dióxido de enxofre
Ta	Temperatura aparente
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	12
1	JUSTIFICATIVA.....	27
2	OBJETIVOS	28
2.1	Geral.....	28
2.2	Específicos	28
3	MÉTODOS	29
3.1	Desenho, População e Período de Estudo.....	29
3.2	Fontes de Dados.....	29
3.3	Definições de ondas de calor.....	30
3.4	Análise estatística.....	31
3.5	Análise de sensibilidade.....	32
3.6	Ajuste de covariáveis.....	32
4	RESULTADOS	36
4.1	Manuscrito 1 - Heatwaves characteristics in 27 Brazilian cities.....	36
4.2	Manuscrito 2 - Características de desconforto térmico em 27 capitais brasileira.....	59
4.3	Manuscrito 3 - Efeitos de ondas de calor na mortalidade por doenças cardiovascular no município do Rio de Janeiro.....	80
4.4	Manuscrito 4 - Efeitos das ondas de calor e mortalidade por doenças cardiovasculares nas capitais brasileiras.....	92
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117

Apresentação

Esta tese está inserida no Núcleo de Pesquisas em Epidemiologia Ambiental (NPEA) do Instituto de Medicina Social Hesio Cordeiro (IMS) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), em parceria com a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais, Rede CLIMA - Sub-rede Saúde. A tese está inserida no projeto de pesquisa Saúde em Ambientes Urbanos (fase 3): poluição atmosférica, fatores climáticos e áreas verdes. Os temas abordados neste trabalho estão relacionados com os efeitos das ondas de calor urbano na saúde humana. A motivação pelo trabalho ocorreu devido à extensa onda de calor que afetou o Rio de Janeiro no ano de 2010, a partir dessa ocorrência decidiu-se aprofundar sobre o tema e investigar todas as capitais brasileiras em um período maior.

Na seção introdução é realizada revisão ampla sobre os temas mudanças climáticas, efeitos da temperatura, ondas de calor e efeitos na saúde, especialmente nas doenças cardiovasculares. A tese foi desenvolvida no formato de quatro artigos. O objetivo do primeiro artigo foi examinar a intensidade, frequência e duração dos eventos de ondas de calor nas capitais brasileiras e no Distrito Federal, no período de 2000 a 2016. O objetivo do segundo artigo foi identificar o conforto e desconforto térmico para população nas capitais brasileiras e no Distrito Federal, no período de 2000 a 2016. O objetivo do terceiro artigo foi estimar o efeito das ondas de calor na mortalidade por todas as doenças cardiovasculares no município do Rio de Janeiro, no ano de 2010. O objetivo do quarto artigo foi estimar o efeito das ondas de calor na mortalidade por doenças cardiovasculares nas capitais brasileiras e no Distrito Federal, no período de 2000 a 2016.

INTRODUÇÃO

1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A terra passou por muitos períodos de mudanças ambientais e se manteve estável nos últimos 10.000 anos, as modificações ocorreram naturalmente e a capacidade reguladora manteve condições que permitiram o desenvolvimento humano, como temperaturas regulares, disponibilidade de água doce e fluxos biogeoquímicos dentro de uma faixa relativamente estreita (RIOUAL et al., 2001). Esse período é conhecido como holoceno (RIOUAL et al., 2001), e está sendo ameaçado pela nova era chamado antropoceno (CRUTZEN, 2002). Iniciado na revolução industrial, o antropoceno, pode causar consequências catastróficas para grande parte do mundo.

No intuito de garantir modificações semelhantes ao estado holocênico para assegurar condições de desenvolvimento humano dentro de uma faixa de segurança foi criado à estrutura baseada em "fronteiras planetárias". As fronteiras definem o espaço operacional seguro para a humanidade em relação ao sistema terrestre e estão associadas aos subsistemas e processos biofísicos do planeta. São nove limites planetários, incluindo mudança climática, mudança na integridade da biosfera, redução do ozônio estratosférico, acidificação oceânica, fluxos biogeoquímicos, mudança no sistema terrestre, uso de água doce, carregamento atmosférico de aerossóis e introdução de novas entidades (poluentes orgânicos, materiais radioativos, nanomateriais e micro-plásticos). Quatro limites planetários foram ultrapassados, entre eles, perda da integridade da biosfera, alteração dos ciclos biogeoquímicos, mudança no sistema de terras, incluindo o aquecimento do Oceano Ártico com liberação de imensa quantidade de metano, o derretimento completo da geleira da Groenlândia e do ponto de vista social, uma migração incontável em função de uma aguda crise ambiental como resultado da atividade humana e a mudança climática (ROCKSTRÖM et al., 2009; STEFFEN; ROCKSTRÖM, 2015). Recentemente o aumento da temperatura em 1,1°C tem mostrado a redução das camadas de gelo da Groenlândia e Antártica, indicando que estão próximas do ponto de inflexão e possível limite planetário a ser ultrapassado (ARMSTRONG MCKAY et al., 2022).

Dois componentes foram abordados para perda da integridade da biosfera, taxa de extinção global e índice de intolerância à biodiversidade. O primeiro determina o potencial de a vida evoluir da maneira mais resiliente possível. A diversidade genética fornece capacidade

à biosfera para persistir e adaptar-se a mudanças abióticas abruptas e graduais em longo prazo. O limite deveria ser 1E/MSY (extinção/milhão espécie por ano), para avaliar os impactos das ações humanas na extinção (PIMM et al., 2006), o valor atual está entre 100 a 1000E/MSY (STEFFEN; ROCKSTRÖM, 2015). Embora o sistema terrestre tolere condições de extinção, não se sabe quais níveis e tipos de perda de biodiversidade podem provocar alterações não lineares ou irreversíveis no planeta (STEFFEN; ROCKSTRÖM, 2015). O segundo detém o papel da biosfera no funcionamento do sistema terrestre e mensura perda de componentes da biodiversidade em níveis de ecossistemas globais (SCHOLES; BIGGS, 2005). O limite preliminar proposto para o índice de intolerância à biodiversidade é 90% (CARDINALE, 2012; HOOPER et al., 2012). O índice estimou degeneração do ecossistema na parte sul da África de 84% (SCHOLES; BIGGS, 2005).

A mudança no sistema de terras pode influenciar o clima em regiões além da região onde ocorreu a transformação. A variável utilizada para esse limite planetário é quantidade de cobertura florestal remanescente. Os três principais biomas florestais são tropical, temperado e boreal, estes desempenham papel importante no acoplamento do clima da superfície terrestre (ARMSTRONG MCKAY et al., 2022; SNYDER; DELIRE; FOLEY, 2004; WEST et al., 2010). Transformações nas florestas tropicais prejudicam a evapotranspiração, portanto, reduz a precipitação em algum local do planeta (SNYDER; DELIRE; FOLEY, 2004; STAAL et al., 2018; ZEMP et al., 2017). Na floresta Amazônica a precipitação é projetada para reduzir e a estação seca se prolongar nas áreas sul e leste da floresta (SPA, 2021), a floresta perdeu cerca de 76% de resiliência da sua área de abrangência, devido críticas secas, desflorestamento e queimadas (BOULTON; LENTON; BOERS, 2022), 17% de floresta foi perdido por desflorestamento desde 1970, acelerando no ano de 2019 (SPA, 2021), a degradação por incêndios localizados aumenta o risco para savanização da floresta, e o aumento médio de 3,5°C na temperatura (ARMSTRONG MCKAY et al., 2022). Mudanças nas florestas boreais afetam o albedo da superfície terrestre, portanto, a troca energética regional (ARMSTRONG MCKAY et al., 2022; SNYDER; DELIRE; FOLEY, 2004). O limite de nível de bioma para esses dois tipos de floresta foi estabelecido em 85%, e para florestas temperadas 50% da cobertura florestal, uma vez que alterações nas florestas temperadas têm menor influência sobre o sistema climático global (SNYDER; DELIRE; FOLEY, 2004). Nas últimas três décadas houve perda de 135 milhões de hectares da cobertura florestal mundial, equivalente a 30 estados como o Rio de Janeiro. A América do Sul foi responsável por 82 milhões (61%) das perdas desde 1990. Entre o período de 2000 a 2010, o Brasil perdeu 2,6 milhões de hectares de floresta a cada ano, mais do que qualquer

outro país (ADAMS, 2012), no ano de 2021 foram 1,5 milhão de hectares perdidas em floresta primária, causadas por incêndios e expansão agrícola (INSTITUTE, 2021).

O limite proposto para mudança climática foi baseado em concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO_2) e forçante radiativa, os limites não deveriam ultrapassar valores estipulados acima dos níveis pré-industriais (ROCKSTRÖM et al., 2009). Atualmente os limites foram ultrapassados, o CO_2 ultrapassou 16% (NOAA, 2019) e a forçante radioativa 130% (MYHRE, G. et al., 2013). Forçante radiativa é definida como a diferença em irradiância líquida na tropopausa, entre um estado de referência e um estado perturbado devido ao agente climático. As temperaturas de superfície e da troposfera são mantidas fixas, mas permite-se que a estratosfera atinja o equilíbrio radiativo. O estado de referência pode ser a ausência do agente climático, ou o impacto em uma dada situação ou época (ARTAXO et al., 2007).

As mudanças observadas no clima nos níveis atuais mostram que muitos subsistemas da terra reagem de maneira não linear, abrupta, e são particularmente sensíveis em torno dos níveis de limite das variáveis. Extrapolações das fronteiras planetárias poderão mudar o sistema de monções (ARMSTRONG MCKAY et al., 2022; LENTON et al., 2008; SCHEFFER et al., 2001), aumentar a intensidade, frequência e duração das ondas de calor globalmente (PERKINS; ALEXANDER, 2013; PRYOR et al., 2014), eventos de precipitações extremas cada vez mais frequentes (PRYOR et al., 2014), seca em algumas regiões do mundo devido mudanças nos padrões de circulação atmosférica (IPCC, 2012) e redução da massa combinada das camadas de gelo da Groenlândia e Antártica aumento do nível do mar (ARMSTRONG MCKAY et al., 2022; SHEPHERD; IVINS, 2012).

As ações antropogênicas se tornaram a principal causa da mudança ambiental global (GARCIA; TULIO, 2022; STEFFEN; CRUTZEN; MCNEILL, 2007), a crescente dependência de combustíveis fósseis, formas industrializadas de agricultura, degradação ambiental, mudança no uso da terra, queimadas, poluição atmosférica, crescimento populacional e urbanização causam importantes variações na temperatura global e regional, podendo ocasionar eventos climáticos extremos como as ondas de calor (IPCC, 2014; PÖRTNER et al., 2022) e eventos localizados com as ilhas de calor nos ambientes urbanos. Além disso, a emissão excessiva de Gases de Efeito Estufa (GEE) também aumenta a temperatura da terra. Os GEE causados principalmente por atividades antropogênicas absorvem radiação infravermelha e aprisiona calor na atmosfera, contribuindo com a ocorrência das ondas de calor (BARRIOPEDRO et al., 2011a; FISCHER; KNUTTI, 2015). Os principais GEE são dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (NO_2). A

concentração atmosférica global do CO₂ na época pré-industrial foi 280 partes por milhão em volume (ppm), no ano de 2005 foi registrado 379 ppm³. A concentração atmosférica global de CH₄ aumentou do valor pré-industrial de 715 ppm para 1774 ppm em 2005. A concentração NO₂ atmosférico global aumentou do valor pré-industrial de 270 ppm para 319 ppm (SOLOMON et al., 2007). No Brasil, as emissões brutas de GEE apresentaram aumento de 32% entre os anos de 1990 e 2016. Nesse período, os setores de energia e resíduos tiveram o maior aumento de emissões, 120% e 186%, mas a principal fonte de GEE no país é o setor de agropecuária, responsável por 74% das emissões (AZEVEDO; ANGELO, 2018).

O efeito estufa da atmosfera da Terra é fundamental para a vida, sem o efeito estufa a temperatura média terrestre deveria ser de -18°C, mas é de 15°C. Essa diferença de 33°C se deve ao efeito estufa atmosférico, que mantém a vida terrestre. O principal gás do efeito estufa natural é o vapor d'água, este contribui com 20°C. O dióxido de carbono existente contribui com 7°C, só que a sua concentração atmosférica e de outros gases estão aumentando, causando o aumento da temperatura no planeta (tabela 1).

Tabela 1- Influência relativa dos gases de efeito estufa natural da atmosfera na temperatura e crescimento das concentrações atmosféricas devido às emissões antropogênicas para CO₂, CH₄ e N₂O desde o início da Era Industrial.

Gases do Efeito Estufa	Temperatura (°C)	Crescimento (%)
Vapor d'água	20	-
Dióxido de Carbono	7	36
Ozônio	2 a 3	-
Óxido Nitroso	1,4	18
Metano	0,8	150
Demais gases	0,6	-

Fonte: Nobre, 2012(NOBRE; REID; VEIGA, 2012).

1.1 Efeitos relacionados ao aumento da temperatura

Modelos climáticos estimam o aumento da temperatura média global entre 0,3 e 4,8°C para o final do século em relação ao período de referência, 1986 a 2005, mas os cenários com altas emissões de GEE são mais pessimistas, uma vez que sugerem o aumento de 4 a 7°C na

temperatura (IPCC, 2014; PÖRTNER et al., 2022). A média global de temperatura entre 1906-2005 aumentou 0,07°C por década, e 0,13°C entre 1956-2005 por década. Nos últimos 25 anos houve aumento médio de 0,4°C na temperatura. Essas alterações são notadas a nível global, mas o aumento da temperatura será diferente em cada região afetada (figura 1), ocasionando eventos climáticos extremos e graves consequências à saúde das populações afetadas (STEFFEN; RICE; ALEXANDER, 2018). O relatório atual do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas mostra que o aumento de 3°C na temperatura causará 29% da perda de biodiversidade, exposição de 1,29 bilhões de pessoas a condições de secas extremas, aumento de até 187% de incêndios florestais na Europa Meridional, aumento em até 87 dias de calor extremo com temperatura acima de 35 °C no ano, além de risco na segurança alimentar, aumento do nível do mar, inundações e declínio dos recifes de corais (PÖRTNER et al., 2022).

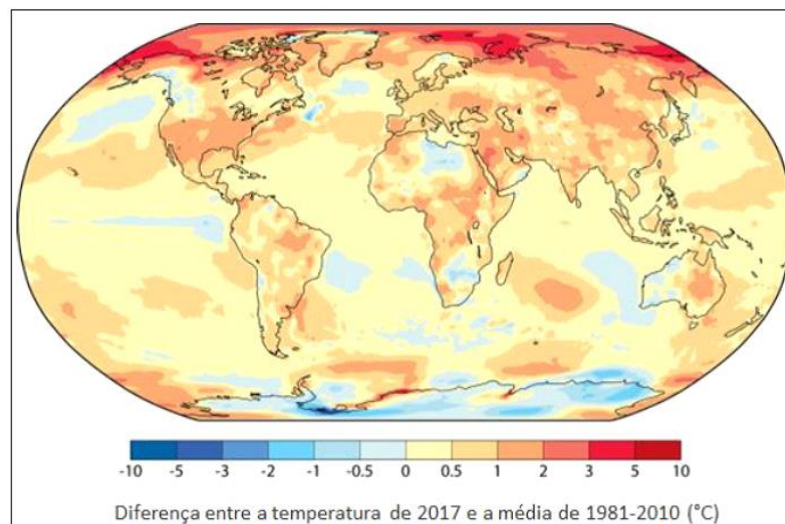
Em 2017, mais de 526.000 pessoas morreram vítimas de eventos climáticos extremos, foram mais de 11.500 desastres climáticos entre o período de 1998-2017, as perdas totalizaram cerca de 3,47 trilhões de dólares e os países mais afetados foram Porto Rico, Honduras e Myanmar. O Brasil ocupou a 79ª posição em 2017, e está situado em umas das regiões do globo que mais apresentam aquecimento (WMO, 2018).

Os anos de 2015-2017 foram considerados os anos mais quentes da Terra desde as observações históricas de 1850, variando entre 0,44 a 0,58°C (STEFFEN; RICE; ALEXANDER, 2018). No continente sul-americano, as temperaturas em 2015 tiveram aumentos entre 0,5 e 2°C, em relação à média de 1981 a 2010. Nas regiões brasileiras Sudeste e Centro-Oeste as temperaturas estiveram 4-5°C acima da média (BLUNDEN; ARNDT, 2016). No ano de 2017, a temperatura média global para o período de janeiro a setembro foi de 0,47°C, mais quente desde a média da referência 1981-2010, sem a presença do *El Niño*, diferente dos anos de 2015-2016 que sofreram com efeitos intensos do evento (STEFFEN; RICE; ALEXANDER, 2018). O evento *El Niño* provoca inúmeras mudanças climáticas no mundo. Globalmente, aumenta a temperatura média global em torno de 0,1-0,2°C (FOSTER; RAHMSTORF, 2011), no Brasil, o evento afeta a dinâmica climática amazônica, causa mudanças no regime das chuvas, umidade e causa secas extremas, aumento das temperaturas e incêndios florestais (MOREIRA et al., 2018; SOUSA; CANDIDO; ANDREOLI, 2018). O evento *El Niño* causa aquecimento nas águas do Oceano Pacífico Equatorial, por meio do enfraquecimento ou mudanças dos ventos alísios na região. Além deste fenômeno, outros fatores influenciam o aumento da temperatura dos oceanos, como salinidade e acidez, causadas pelas mudanças nos padrões de precipitação e pelo aumento da concentração de

CO₂ (ARMSTRONG MCKAY et al., 2022). Essas transformações indicam derretimento de geleiras e expansão térmica dos oceanos. Simulações sugerem que o derretimento da Groenlândia irá desacelerar a circulação do Atlântico, e o derretimento da Antártica reterá calor abaixo da superfície do mar, criando um feedback positivo que aumentará a perda de gelo na Antártica e a variabilidade da temperatura global, que resultará em ondas de calor terrestres e marinhas difundidas, e contribuirá com até 25 centímetros no aumento do nível do mar até 2100 (GOLLEDGE et al., 2019).

Na área urbana, mudanças no uso da terra e cobertura induzidas pela urbanização modificam a dinâmica dos ventos locais (CHEN et al., 2006; ELMINIR, 2005; LEE; KIM, 2008), da umidade e dos poluentes (CSAVINA et al., 2014). As modificações dos ventos locais, da umidade e dos poluentes podem exercer fortes efeitos na qualidade do ar nas áreas urbanas e afetar a radiação atmosférica, a formação de nuvens, as reações fotoquímicas atmosféricas, influenciando as mudanças climáticas locais (TSAI; LIN; LEE, 2003), causando o aumento da temperatura ambiente (BLOOMER et al., 2009; JOHN et al., 2014), principalmente durante as ondas de calor (CHURKINA et al., 2017; SLOWIK et al., 2015; TUNVED et al., 2006, 2008).

Figura 1 – Diferenças da temperatura da superfície do ar em 2017, com relação à média de 1981-2010.



Nota: Dados do Era Interim, European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF).

Fonte: World Meteorological Organization, 2018 (WMO, 2018).

1.2 Ondas de calor

Ondas de calor são consideradas perigo natural hidrometeorológico. Definida pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) por clima quente incomum, persistente por pelo menos dois dias consecutivos, apresentam início e cessação sutis e, impacto discernível nas atividades humanas (WMO, 2015). São caracterizadas pelos parâmetros magnitude, duração, gravidade e extensão da onda de calor (WMO, 2015). Entende-se por magnitude um cálculo com base em um índice, como temperatura máxima, ou um conjunto de índices de condições térmicas que excedam determinados limiares, como temperatura, umidade e velocidade do vento. O limiar reflete a condição anormal ou a extremidade do evento. Duração refere-se ao cálculo da persistência da onda de calor, e deve basear-se no horário inicial e final do evento. Gravidade integra dois aspectos do evento, a magnitude e a persistência. Extensão calcula a área geográfica afetada e o aspecto generalizado da onda de calor.

Há dois tipos de eventos de ondas de calor, estes são identificados como, quente e seca e, quente e úmida (PERKINS; ALEXANDER, 2013; ROBINSON, 2002). Ondas de calor secas estão associadas a períodos estáveis do clima, céus claros, alta radiação solar e podem ser acompanhadas por vento que aumentam o estresse por calor. Geralmente ocorre propagação das ondas de calor quentes e secas em locais com clima continental, mediterrâneo e ar aquecido adiabaticamente. Ondas de calor úmidas são caracterizadas por condições muito quentes, sufocantes, alta umidade durante dia e noite e, podem ser acompanhadas por nuvens noturnas que reduzem o estresse por calor. Geralmente ocorre propagação das ondas quentes e úmidas em locais com climas temperados e marítimos de latitude média (HUNT, 2007).

As ondas de calor são geograficamente difusas, ocorrem em grandes áreas e estão mais intensas, frequentes e duradouras e podem resultar de uma série de situações meteorológicas em larga escala, combinações de condições oceânicas, terrestres e atmosféricas (GRUMM, 2011; HUNT, 2007; PEZZA; VAN RENSCH; CAI, 2012), como os bloqueios atmosféricos no hemisfério norte, as correntes de jatos com intenso escoamento de ar no alto da troposfera na Europa e Ásia (ROUSI et al., 2022) e aglomerados convectivos no hemisfério sul (MARENGO et al., 2018a).

No Brasil, além do bloqueio atmosférico, há a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistema sinótico que ocorre nas proximidades da linha do equador. A região sob a ação da ZCIT caracteriza-se pela manifestação de anomalia de temperatura da superfície do mar com sinais opostos sobre as bacias norte e sul do atlântico tropical. Esse padrão térmico gera um gradiente meridional de temperatura inter-hemisférico sobre o atlântico equatorial, o qual exerce influências no deslocamento norte-sul da ZCIT. As mudanças nos deslocamentos

dos ventos sul e norte na ZCIT causam impactos na precipitação e temperatura nas regiões norte e nordeste do país (NASCIMENTO; AMBRIZZI, 2002; ŽAGAR.; SKOK.; TRIBBIA, 2011). O aquecimento dos oceanos faz com que massas de água morna excedam as temperaturas limiares com maior frequência, incluindo tanto as anomalias de temperatura no atlântico, quanto o aquecimento da água superficial do oceano pacífico, estes fenômenos ativam a variabilidade atmosférica que muda os padrões de vento, afeta a precipitação e provoca seca extrema em regiões tropicais (ARMSTRONG MCKAY et al., 2022; FEARNSIDE, 2006).

Não há um padrão consistente na literatura existente sobre definição de ondas de calor, são várias definições para diferentes lugares. Na Europa, o Instituto Meteorológico Real da Holanda (KNMI), considera o limiar de temperatura máxima maior que 25°C durante cinco dias, neste período pelo menos três dias devem persistir com a temperatura máxima maior que 30°C nos Países Baixos (KNMI, 2018). Estudo de HAJAT et al., (2006), considerou temperaturas diárias superiores ao percentil 98, por pelo menos dois dias consecutivos, nas cidades de Londres, Budapeste e Milão. Estudo de BENMARHIA et al., (2017), considerou duas definições de ondas de calor, baseiam se na temperatura máxima acima de 31°C e na temperatura mínima diária acima de 21°C em Paris. Estudos de IPPOLITI et al., (2010), considerou dois parâmetros, períodos de pelo menos dois dias com a temperatura aparente máxima acima do percentil 90 da distribuição mensal ou períodos de pelo menos dois dias em que a temperatura mínima diária excede o percentil 90 e temperatura aparente máxima excede a mediana do valor mensal, nas cidades de Athenas, Barcelona, Budapeste, Londres, Milão, Munique, Paris, Roma e Valência.

Na América do Norte, o Serviço Meteorológico Nacional dos Estados Unidos da América (NWS) considera duas medidas para aviso de calor excessivo, temperatura máxima diária igual ou superior a 40,6°C e mínima noturna igual ou superior a 26,8°C por dois dias consecutivos (NWS, 2015). O estudo de SMOYER (1998), baseou na definição da temperatura máxima do NWS, na cidade de Saint Louis. Estudo de ROBINSON (2002), fez uma adequação na definição do NWS, incluiu um período de pelo menos 48 horas em que as temperaturas máxima e mínima não ficaram abaixo do limiar de estresse térmico, mas nas estações em que 1% ou mais das observações das temperaturas máximas e mínimas excederam os limites, as temperaturas mais elevadas passaram a ser o ponto de corte. Estudo de ANDERSON; BELL (2009), considerou seis definições, baseadas na temperatura média, sendo períodos de dois dias ou mais consecutivos e quatro dias ou mais consecutivos com percentil superior 98,5, 99 e 99,5 em 107 comunidades nos Estados Unidos. Estudos de

GASPARRINI; ARMSTRONG (2011), também considerou seis definições de onda de calor, baseadas na temperatura média, sendo dois dias ou mais consecutivos e quatro dias ou mais consecutivos com percentil maior igual 97, 98 e 99 em 108 comunidades urbanas nos Estados Unidos. Estudo de ANDERSON; BELL (2011), considerou a temperatura média superior ao percentil 95, sendo dois dias ou mais consecutivos em 43 cidades nos Estados Unidos. Estudo de PENG et al., (2011), considerou dois limiares de ondas de calor, sendo temperatura máxima diárias com percentil 97,5 o limiar um e, limiar dois o percentil 81, seguiram três princípios para definição, sendo temperatura máxima acima do limiar 1 durante pelo menos três dias, a média da temperatura máxima para todo o período acima do limiar 1 e temperatura máxima acima do limiar 2 em 108 cidades nos Estados Unidos. Estudo de BISHOP-WILLIAMS et al., (2015), definiu onda de calor como temperatura máxima igual ou superior a 32°C, por três dias consecutivos no sul de Ontário. Estudo de CHIEN; GUO; ZHANG (2016), definiu onda de calor temperatura máxima acima do percentil 95, por dois ou mais dias consecutivos no Texas. Estudo de HATTIS; OGNEVA-HIMMELBERGER; RATICK (2012), classificou a partir da Temperatura Aparente dias quentes com percentil 85, muito quente percentil 90 e extremamente quente percentil 95 em Massachusetts.

Na Ásia, estudo de DASH; MAMGAIN (2011), considerou temperaturas máximas diárias acima de 40°C, por pelo menos quatro ou mais dias consecutivos na Índia. Estudo de CHEN et al., (2015), considerou dois limiares de ondas de calor, temperatura máximas diárias percentil 97,5 e percentil 81, seguiram três princípios para definição, sendo temperatura máxima acima do limiar 1 durante pelo menos 3 dias, a média da temperatura máxima para todo o período acima do limiar 1 e temperatura máxima acima do limiar 2 para todos os dias do período em Nanjing. Estudo de TAN et al., (2010), definiu temperatura máxima acima de 35°C, período de pelo menos três dias consecutivo em Shanghai. Estudo de MA et al., (2015), definiu temperatura média diária igual ou superior ao percentil 95, por dois ou mais dias consecutivos na China. Na Oceania, PEZZA; VAN RENSCH; CAI, (2012), consideraram temperaturas acima do percentil 90, persistindo por três ou mais dias no sul da Austrália.

Na América do Sul, FIRPO; SANSIGOLO; ASSIS, (2012), consideraram temperatura máxima acima do valor normal climatológico; caracterizado por uma média de uma série temporal de 39 anos, persistindo por cinco dias consecutivos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. Estudo de (BITENCOURT et al., 2016), considerou temperatura máxima maior ou igual à média de temperatura máxima mais um desvio padrão, persistindo por três ou mais dias consecutivos, os eventos acima do limite superior ao terceiro quartil da série são classificados como onda de calor. Utilizou o limite latitudinal 15°S. A identificação das ondas

de calor foi separada em três áreas. O domínio ao norte de 15°S de latitude e oeste e leste de 50°W de longitude foi definido área 1 e área 2, ao sul de 15°S de latitude área 3. Para área 1, o limite superior ao terceiro quartil foi 35,83°C, área 2 foi 34,95°C e área 3 foi 34,02°C. Estudo de GEIRINHAS (2016), considerou duas definições, temperatura máxima e temperatura mínima maior que percentil 90, persistindo por três ou mais dias consecutivos, nas cidades de Manaus, Brasília, Recife, Rio de Janeiro, São Paulo e Porto Alegre. Estudo de ALVES et al., (2016), considerou temperatura máxima acima do percentil 90, com 2°C acima da média climatológica, persistindo por cinco dias ou mais dias consecutivos, no estado de Santa Catarina.

1.3 Ondas de calor e os efeitos na saúde

Atualmente têm sido registrado recordes de temperatura, secas extensas, incêndios florestais de grandes proporções e ondas de calor na África, Ásia Central, China, Estados Unidos da América e na Europa, tais situações têm causado consequências devastadoras a saúde pública global (SCHMIDT, 2022). Na Europa historicamente tem sido registrado milhares de óbitos em excesso durante extremas ondas de calor, os anos de 2003, 2006, 2010, 2015, 2018, 2019, 2020 e 2022 foram anos marcados por calor extremos e óbitos por desconforto térmico (SCHMIDT, 2022; VAUTARD et al., 2020).

Além da elevada temperatura, altos níveis de poluição atmosférica têm influenciado as morbimortalidades (FILLEUL et al., 2006; THEOHARATOS et al., 2010). A onda de calor durante o verão em Atenas registrou centenas de internações hospitalares por exaustão pelo calor e insolação, o estudo mostrou condições extremas de desconforto tanto no horário diurno quanto no horário noturno (PAPANASTASIOU et al., 2010), além de altos níveis de concentrações dos poluentes atmosféricos dióxido de nitrogénio (NO₂), O₃ e SO₂ (THEOHARATOS et al., 2010). A onda de calor prolongada em Moscou durante o verão de 2010 provocou inúmeros incêndios florestais próximos à cidade e milhares de óbitos em excesso por doenças cardiovasculares, respiratórias, geniturinárias e sistema nervoso, principalmente em idosos. O risco de mortalidade permaneceu elevado por até 15 dias subsequentes. Temperaturas médias variaram entre 24 a 31°C e níveis de PM¹⁰ excederam 300 µg/m³ (SHAPOSHNIKOV et al., 2014). Na França, o verão do ano 2020 combinou altas temperaturas com a pandemia por Covid-19, foram 100 mortes atribuídas por Covid-19 e

mais de 1900 óbitos por excesso no período de ocorrência das ondas de calor, as altas temperaturas e as desigualdades de saúde durante a pandemia aumentaram a vulnerabilidade ao calor (PASCAL et al., 2020). Desfecho semelhante foi observado em Portugal, a pandemia influenciou indiretamente no excesso de óbitos relacionados ao calor, uma vez que a população não procurava cuidados hospitalares por receio a infecção por Covid-19 (SOUSA et al., 2022).

As ondas de calor tendem a aumentar a medida que as mudanças climáticas progridem, principalmente nas regiões tropicais (EBI et al., 2021) e nos centros urbanos, locais que representam risco a saúde humana (DONG et al., 2020; KEPHART et al., 2022). As ilhas de calor apresentam variabilidade sazonal (AYANLADE, 2016), espacial e temporal (WENG et al., 2008), são mais intensas no verão (ARNFIELD, 2003; PONGRACZ; BARTHOLY; DEZSO, 2006; VUKOVICH; VUKOVICH, 1983) e intensificam as ondas de calor no espaço urbano, causando o aumento da morbimortalidade (KONG et al., 2021; LAAIDI et al., 2012; TUHOLSKE et al., 2021), por desconforto térmico (SCHMIDT, 2022) e estresse térmico constante (BROADBENT; KRAYENHOFF; GEORGESCU, 2020; LI; BOU-ZEID, 2013) com consequências que variam desde a redução da produtividade com impactos financeiros (GARCÍA-LEÓN et al., 2021) a mortes relacionadas ao calor (CHAMBERS et al., 2017; KEPHART et al., 2022).

As ondas de calor estão associadas ao aumento das visitas ao pronto-socorro e internações hospitalares (CHENG; LUNG; HWANG, 2019; LISS; NAUMOVA, 2019), partos adversos (ZHANG; YU; WANG, 2017), morbimortalidade por diabetes, doenças respiratórias, renais, endócrinas, geniturinárias, cardiovasculares e cerebrovasculares, incluindo Alzheimer e demência (ANDERSON; BELL, 2011; BUNKER et al., 2016; NITSCHKE et al., 2011; OUDIN ÅSTRÖM et al., 2015; OUDIN ÅSTRÖM; BERTIL; JOACIM, 2011; SHERIDAN; LIN, 2014; THOMPSON et al., 2022) e o aumento dos custos dos cuidados de saúde (LIU et al., 2019).

O aumento e o impacto das morbimortalidades têm sido relacionados com duração e intensidade do calor (NITSCHKE et al., 2011; SCHMIDT, 2022; THOMPSON et al., 2022; ZACHARIAS; KOPPE; MÜCKE, 2014) em várias áreas geográficas (BURKART et al., 2014; GOSLING et al., 2009; THOMPSON et al., 2022). Estudos relacionam a alta vulnerabilidade e a exposição ao calor com o aumento do risco para morbimortalidade (BERTI; BARROS, 1999; HARLAN et al., 2006; SANTOS; NORONHA, 2001; SCHMIDT, 2022) por doenças hemorrágicas (CHEN et al., 2015) e isquêmicas do coração (TIAN et al., 2013; ZACHARIAS; KOPPE; MÜCKE, 2014), principalmente aos mais de um bilhão de

trabalhadores expostos a episódios de calor intenso (EBI et al., 2021) como os grupos dos setores da agricultura (IOANNOU et al., 2017), construção (KJELLSTROM et al., 2016), indústria manufatureira (POGAČAR et al., 2018), indivíduos com capacidade reduzida para manter a homeostase fisiológica (ÅSTRÖM et al., 2013; KJELLSTROM et al., 2015) e grupos vulneráveis como idosos, pessoas com doenças pré-existentes, acamados, pessoas que moram sozinhas, em casas de repouso e que não tem acesso a ventilador ou ao ar condicionado (ÅSTRÖM et al., 2013; BCCS, 2022; BUNKER et al., 2016; XU et al., 2016).

As altas temperaturas e as ondas de calor causam lesões ao organismo mesmo após o resfriamento do corpo e a disfunção orgânica pode persistir anos após a lesão, tornando o indivíduo mais susceptível ao risco de morte (DEMATTE et al., 1998; WALLACE et al., 2007). As doenças do aparelho cardiovascular é a principal causa de morbimortalidade durante as ondas de calor (BUNKER et al., 2016; CHENG et al., 2019) e no mundo quase meio bilhão de pessoas tem doenças cardiovasculares, assim áreas densamente povoadas afetadas por calor extremo estará em risco de aumento da mortalidade relacionada a doenças cardiovasculares (ROTH et al., 2017).

1.4 Doenças do aparelho cardiovascular

As Doenças do aparelho circulatório (DACs) são distúrbios do coração e vasos sanguíneos classificadas no capítulo IX da CID-10 (Doenças do Aparelho Circulatório) pelos códigos I-01 a I-99. Elas correspondem às principais causas de mortes no mundo e mais de 75% dos óbitos acontecem em países de baixa e média renda. Anualmente são responsáveis por 32% de todos os óbitos globais, um total de 17,9 milhões, destes cerca de 6 milhões são óbitos prematuros em pessoas com menos de 70 anos de idade (WHO, 2021). No Brasil, as DACs também são as principais causas de óbitos, são mais de 390 mil óbitos anualmente (OLIVEIRA et al., 2022), sendo as cardiopatias isquêmicas e cerebrovasculares as causas mais comuns no Brasil (FRANÇA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2022) e no mundo (WHO, 2021).

As cardiopatias isquêmicas resultam do desequilíbrio da oferta e demanda de oxigênio pelo miocárdio, conhecidos como isquemia e hipóxia. Entende-se por isquemia a diminuição ou suspensão da irrigação sanguínea, ocasionada por obstrução arterial ou por vasoconstrição, os fatores como o grau de obstrução da artéria, a ocorrência de lesões em outros vasos e o

grau de circulação colateral favorecem a isquemia. Entende-se por hipóxia a baixa disponibilidade de oxigênio para determinado órgão, mas com perfusão sanguínea adequada, os fatores como aumento na pressão arterial sistêmica, na frequência cardíaca, a hipertrofia e a redução da contratilidade ventricular favorecem a hipóxia (CARVALHO; SOUSA, 2001; GUYTON; HALL, 2006).

As doenças cerebrovasculares resultam da obstrução dos vasos sanguíneos cerebrais (GUYTON; HALL, 2006), e podem causar os acidentes vasculares cerebrais (AVC) isquêmicos ou hemorrágicos. No AVC isquêmico, há a interrupção do suprimento sanguíneo causada pela redução da função neuronal por perda do O_2 e o inadequado aporte nutricional causado pelo rompimento do metabolismo da glicose, causam a morte ou sofrimento tecidual. No AVC hemorrágico, há um sangramento na adventícia ou pequenos sangramentos extravasculares devido à lesão do endotélio, formando o hematoma, com presença de edema até duas semanas, lesão neuronal, macrófagos e neutrófilos (BERTOLUCCI et al., 2011). A doença aterosclerótica coronária é um dos fatores mais importante na ocorrência das cardiopatias isquêmicas e doenças cerebrovasculares. A aterosclerose é uma doença inflamatória crônica que ocorre em resposta à agressão endotelial, acomete principalmente a camada íntima de artérias de médio e grande calibre. As lesões iniciais no endotélio caracterizam-se pelo acúmulo de lipoproteínas nos monócitos, que diferenciam-se em macrófagos e captam lipoproteínas de baixa densidade oxidadas, uma vez ativadas pela presença de linfócitos inflamatórios os macrófagos sofrem apoptose e liberam citocinas, especialmente metaloproteases que amplificam a inflamação e degradam a matriz extracelular responsável pela fisiologia e biomecânica dos tecidos. A partir destas complicações há geração de trombina, ativação plaquetária e formação do trombo, determinando as principais complicações da aterosclerose, infarto agudo do miocárdio e acidente vascular cerebral, dependendo do órgão afetado (QUILLARD et al., 2015).

Diversos fatores estão relacionados com o aumento das DACs (OLIVEIRA et al., 2022; PRASAD et al., 2010), caracterizada como multicausal, tem como principais determinantes fatores de riscos comportamentais, incluindo consumo de álcool, tabaco, inatividade físicas, dieta pouco saudável, excesso de sal, fatores biológicos, incluindo sexo masculino, histórico familiar, condições intrauterinas, predisposição genética e fatores socioeconômicos como escolaridade, baixo status social, discriminação, acesso a serviço de saúde e qualidade habitacional (BROTTONS et al., 2016; DIEZ-ROUX et al., 2016; KELISHADI; POURSAFA, 2014; OLIVEIRA et al., 2022). Recentemente, a síndrome clínica do COVID-19 mostrou evidências de envolvimento de múltiplos órgãos, incluindo o

sistema cardiovascular e neurológico, ocasionando eventos cerebrovasculares, principalmente nos pacientes mais enfermos (DENIS DOYEN et al., 2020; MAO et al., 2020).

1.5 Doenças do aparelho cardiovascular e ondas de calor

Atualmente, têm sido amplamente estudada a influência das mudanças climáticas sobre a ocorrência de DACs (DE SOUSA et al., 2018; HARI et al., 2022; MICHELOZZI et al., 2007; POPE et al., 2015; REY et al., 2007; SCHMIDT, 2022), incluindo os fenômenos de calor no ambiente urbano (ANALITIS et al., 2008; CHAMBERS et al., 2017; LISS; NAUMOVA, 2019; PAPANASTASIOU et al., 2010; ROMANELLO et al., 2021; SHAPOSHNIKOV et al., 2014; SILVEIRA et al., 2019; THEOHARATOS et al., 2010).

Os efeitos da temperatura na saúde cardiovascular podem se dar por inúmeros mecanismos biológicos. No geral, sabe-se que altas temperaturas acarretam estresse ao organismo, dificulta o equilíbrio homeostático e aumenta a vulnerabilidade dos grupos considerados vulneráveis. A exposição às altas temperaturas resulta em esforços termorregulatórios e processos inflamatórios, como consequência há alterações vasculares, respostas do sistema nervoso autônomo, arritmias, estresse oxidativo (GIORGINIA et al., 2017; ZHANG et al., 2018), síndrome da resposta inflamatória sistêmica e interação da coagulação intravascular disseminada, resultando na falha do sistema de múltiplos órgãos e nas DACs (LEON; HELWIG, 2010).

Para restaurar o equilíbrio e manter a temperatura constante em condições de calor, o hipotálamo recebe sinais sensoriais e provoca vasodilatação cutânea, sudorese e inibição da produção de calor. As arteríolas cutâneas inibem os centros simpáticos responsáveis pela vasoconstrição e resulta na vasodilatação e aumento do débito cardíaco. A estimulação por meio da perda de calor pelo mecanismo de vasodilatação ativam os mediadores do endotélio vascular e neuronais, como óxido nítrico, neurotransmissor substância P, histamina, prostaglandinas e acetilcolina (BOYETTE LC, 2021; GUYTON; HALL, 2006; SILVERTHOM, 2017), essa dissipação de calor para a periferia causa estresse ao sistema cardiovascular, especialmente quando debilitado por meio de processos patológicos. A pele secreta suor pelo mecanismo de resfriamento por meio dos neurônios simpáticos colinérgicos, a sudorese pode ser profusa em indivíduos aclimatados, que chegam a perder até 6 litros/hora

de suor em ambientes quentes, causando desidratação (GUYTON; HALL, 2006; SILVERTHOM, 2017).

A desidratação causa redução do líquido extracelular e do volume sanguíneo, queda na pressão arterial e aumento da osmolalidade, mas como mecanismo de compensação barorreceptores cardíacos sinalizam para o bulbo aumentar a pressão arterial, a frequência cardíaca, a força de contração ventricular, o débito cardíaco, vasoconstrição e a resistência periférica (BOYETTE LC, 2021; GIORGINIA et al., 2017; GUYTON; HALL, 2006; SILVERTHOM, 2017). As arteríolas influenciadas pela queda da pressão arterial sofrem diminuição do fluxo sanguíneo e a concentração de plaquetas e colesterol facilita a formação de trombos, que podem resultar em ateromas e interrupção do fluxo sanguíneo para os tecidos, ocasionando maior risco de morbimortalidade a indivíduos comprometidos (Cheng et al., 2019; Cheng e Su, 2010; Khatana et al., 2022; Leon e Helwig, 2010; Liu et al., 2015). O resfriamento pela sudorese depende da evaporação na superfície da pele, o suor evapora rapidamente em ambientes secos, mas o ar saturado com o vapor d'água evita a evaporação do suor, tornando o mecanismo de sudorese ineficaz em ambientes úmidos, aumentando a temperatura corporal (GUYTON; HALL, 2006; MORA et al., 2017; SILVERTHOM, 2017), causando estresse ao sistema cardiovascular (CHENG et al., 2019; CHENG; SU, 2010; LEON; HELWIG, 2010; LIU; YAVAR; SUN, 2015) e consequente aumento na morbimortalidade (CHENG et al., 2019; DANG et al., 2019; GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; KHATANA; WERNER; GROENEVELD, 2022).

No entanto, estudos indicam adaptação ao calor por parte da população nas últimas décadas (PETKOVA; GASPARRINI; KINNEY, 2014; TAN, 2008; TODD; VALLERON, 2015). O indivíduo tem uma resposta adaptativa ao ambiente quente e tolera a exposição ao calor excessivo. Esta adaptação pode demorar de duas a seis semanas e inclui ajuste dos sistemas cardiovascular, endócrino e renal. Há o aumento de volume sistólico, redução da frequência cardíaca máxima, expansão do volume plasmático e taxa de filtração, portanto, menos trabalho para os músculos cardíacos. Além disso, a transpiração apresenta o teor de cloreto de sódio reduzido, resultando em dissipação de calor eficiente e com menos desidratação (GUYTON; HALL, 2006). Apesar de indicações de adaptação humana ao calor, as perspectivas globais são de agravamento das condições térmicas extremas, tais condições podem causar danos irreversíveis na saúde da população.

1 JUSTIFICATIVA

Os estudos a respeito da descrição de ondas de calor, desconforto térmico e associação entre fenômenos de calor e mortalidade por doenças cardiovasculares nas capitais brasileiras são poucos e isolados. Atualmente as DACs são as principais causas de óbitos no mundo, inclusive no Brasil e têm sido associadas aos fenômenos de calor, que estão mais frequentes, duradouros e intensos.

A análise estatística em estudos de séries temporais sobre a associação entre fenômenos de calor e eventos em saúde possibilitam analisar os efeitos ambientais na saúde. Portanto, identificar e quantificar os possíveis impactos da onda de calor na saúde da população brasileira é fundamental para orientar projetos que visem à redução dos riscos a população, principalmente em situações de vulnerabilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estimar os efeitos de fenômenos de calor na mortalidade por doenças cardiovasculares em cidades brasileiras.

2.2 Objetivos Específicos

Examinar intensidade, frequência e duração dos eventos de ondas de calor nas capitais brasileiras. (Manuscrito 1)

Identificar as capitais brasileiras que apresentaram desconforto térmico para população. (Manuscrito 2)

Estimar os efeitos de ondas de calor na mortalidade por doenças do aparelho circulatório no município do Rio de Janeiro. (Manuscrito 3)

Estimar os efeitos de ondas de calor na mortalidade doenças do aparelho circulatório nas capitais brasileiras. (Manuscrito 4)

3 MÉTODOS

3.1 Desenho, População e Período de Estudo

Trata-se de um estudo ecológico de séries temporal. Os efeitos da temperatura ambiente na mortalidade por DAC em 27 cidades brasileiras foram estimados por meio de estudos de séries temporais, utilizando dados diários de óbitos por doenças isquêmicas do coração e cerebrovasculares e variáveis de temperatura. As cidades estudadas correspondem as 26 unidades federativas e o Distrito Federal. O período referente às séries variou conforme a disponibilidade de dados meteorológicos. Foram utilizadas séries de 17 anos (2000 a 2016) para a maioria dos municípios. Foram séries de 15 anos (2002 a 2016) para Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Porto Alegre e Teresina e 14 anos (2003 a 2016) para Rio de Janeiro. O Brasil é dividido em cinco grandes regiões, sendo Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. As capitais brasileiras são bastante distintas quanto aos aspectos geográficos e climáticos. As latitudes variam de 30,03° sul em Porto Alegre à 2,82° norte em Boa Vista. Os climas nas capitais variam de Zona Temperada a Zona Equatorial. Segundo o censo 2010, Palmas foi a cidade menos populosa, com 228.332 habitantes e São Paulo a mais populosa, com 11.253.503 habitantes. A população estudada igual ou superior a 30 anos variou entre 90.735 e 6.008.369 habitantes, entre Palmas e São Paulo (tabela 3).

3.2 Fontes de Dados

3.2.1 Dados de óbitos por doenças cardiovasculares

Foram utilizados registros diários de mortalidade de residentes por DAC, Capítulo IX da Décima Revisão da Classificação Internacional de Doenças—CID-10—códigos, I20 a I25 doenças isquêmicas e I60 a I69 doenças cerebrovasculares em adultos com 30 anos ou mais. Os dados de mortalidade para ondas de calor foram obtidos a partir do banco de dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) de 1° de janeiro de

2000 a 31 de dezembro de 2016, no Sistema de Informações de Mortalidade do Sistema Único de Saúde (SUS). Foram selecionados apenas os óbitos de pessoas residentes e ocorridos nas cidades incluídas no estudo, durante o respectivo período analisado.

3.2.2 Dados meteorológicos

Os dados de temperatura para ondas de calor foram obtidos por meio das estações meteorológicas automáticas do Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET), exceto para as cidades de Campo Grande-MS e Porto Velho-RO. Para essas cidades foram utilizados os dados meteorológicos dos aeroportos, disponibilizados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados de ponto de orvalho também foram utilizados os dados meteorológicos disponibilizados pelo CPTEC. Os dados faltantes foram imputados utilizando o método implementado na biblioteca Multivariate Time Series Data Imputation (mtsdi) no ambiente R (JUNGER; LEON, 2015). Na imputação, foram utilizadas as médias das máximas diárias da temperatura e médias diárias de ponto de orvalho obtida do modelo ERA- Interim, do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Após a extração das variáveis, os dados foram municipalizados. Para esse processo, foi utilizado o método Apportionment Methods com o cálculo da média ponderada dos grids cobertos para cada município. O padrão temporal foi modelado por modelos aditivos generalizados (GAM) e ajustado por uma spline natural da variável tempo com 4 graus de liberdade por ano e uma variável indicadora de dias da semana.

3.3 **Definições de ondas de calor**

As ondas de calor foram definidas a partir dos percentis da distribuição da temperatura específica para cada capital brasileira, acima do critério de intensidade, durante o período de 1979 a 2016, parâmetro meteorológico característico da onda de calor para o período de 2000 a 2016. Foram utilizados a combinação dos critérios de intensidade e duração de ondas de calor (GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; HAJAT et al., 2006). Os critérios de intensidade

aumentam proporcionalmente percentil 90, 95 e 99. A duração da onda de calor caracteriza um efeito adicional, uma vez que permite que o risco dependa dos dias consecutivos acima do limite do percentil. Foram considerados dois, três e cinco dias ou mais consecutivos com percentil maior igual 90, 95 e 99. Foi realizada a inclusão de variáveis indicadoras para identificar o limiar na temperatura.

3.4 Análise estatística

3.4.1 Análises de Séries temporais

Esse tipo de estudo tem sido amplamente utilizado na epidemiologia ambiental para investigar associação entre exposições ambientais e desfechos de saúde (BHASKARAN et al., 2013). Uma das vantagens das séries temporais é a não necessidade de ajustar as análises por fatores de confusão individual, uma vez que ao nível populacional, a distribuição dos confundidores variam em escala de tempo maior que a associação de interesse, mas fatores que variam em curto prazo e associam com a exposição e o desfecho devem ser controlados.

Atualmente o método *Distributed Lag NonLinear Models* - DLNM tem sido utilizado em estudos sobre ondas de calor e mortalidade, o método permite a representação simultânea da dependência não linear entre a exposição-resposta e os efeitos defasados, além de possibilitar a contabilização do efeito de colheita (GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011). Neste modelo é utilizada uma base cruzada *cross-basis*, representada por uma função bidimensional, a função descreve a forma da relação ou da curva exposição-resposta ao longo do preditor, e ao longo do período de defasagem. A base cruzada equivale a escolher dois conjuntos de funções básicas, referente a exposição e a defasagem. Os parâmetros utilizados para definir cada base são as funções e a alocação dos nós. As funções buscam descrever as relações, os nós são alocados nos pontos de inflexão das curvas. Estudos que utilizaram os DLNM para investigar a associação entre ondas de calor e desfechos em saúde, utilizaram splines cúbicas naturais entre 3 e 6 nós igualmente espaçados na escala logarítmica do período de defasagem (GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; ZHAO et al., 2019), nó alocado no percentil 75 da temperatura (GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011). A definição dos parâmetros das funções bases devem ser considerados nos critérios que reflitam o fenômeno estudado. A escolha da defasagem máxima deve refletir a duração dos efeitos avaliados.

3.5 Análise de sensibilidade

O efeito do calor foi analisado por duas funções, a primeira pelo efeito sem adição da duração e a segunda com as definições consideradas. Dadas as várias suposições relacionadas à análise, foi realizada uma análise de sensibilidade dos parâmetros para o modelo específico das capitais para a função duração. Especificamente, foram modificados os dias de durações da onda nos modelos mais suaves com percentil 90 até o mais estrito com percentil 99.

3.6 Ajuste de covariáveis

Os diagramas causais são gráficos acíclicos direcionados (Directed Acyclic Graph – DAG) utilizados para codificar hipóteses qualitativas sobre processos causais. Os DAG permitem que as hipóteses adjacentes possam ser analisadas criticamente e facilitam identificar possíveis fontes de viés e incertezas nos resultados de estudos epidemiológicos (CORTES; FAERSTEIN; STRUCHINER, 2016).

No modelo inicial algumas variáveis foram consideradas no DAG para orientar a definição de possíveis confundimentos. No entanto, pretende-se construir outros DAGs para avaliar questões como viés de seleção, informação e validade externa.

A sazonalidade de curta e longa duração podem influenciar o modo de vida da população e dessa maneira influenciar os padrões relacionados tanto da onda de calor, quanto das doenças cardiovasculares (BHASKARAN et al., 2013). As variáveis meteorológicas também possuem padrões sazonais, assim como a poluição atmosférica e as doenças cardiovasculares. A poluição atmosférica foi caracterizada no DAG como uma variável mediadora. A sazonalidade das DVC é provavelmente causada por interação complexa entre a suscetibilidade dos indivíduos e a variedade de fatores ambientais, incluindo a temperatura ambiente (STEWART et al., 2017). A umidade está relacionada à temperatura e à sensação térmica que resultam em esforços termorregulatórios e desidratação, podendo exercer pressão sobre o sistema cardiovascular, agravando as doenças cardíacas existentes (DAVIS; MCGREGOR; ENFIELD, 2016). De acordo com o DAG, o conjunto mínimo e suficiente de variáveis para o ajuste do efeito total incluiu sazonalidade, temperatura e umidade. O DAG foi realizado no aplicativo DAGitty versão 2.3.

Outras variáveis não observadas que podem influenciar a exposição e o desfecho estão representadas no DAG no vértice U. A vulnerabilidade ao calor pode depender de fatores ambientais, fatores de risco individuais e comportamentais, como áreas verdes, gênero, doenças pré-existentes, uso de medicamentos, nível de hidratação, condições de moradia, isolamento social, escolaridade, uso de ar condicionado e níveis socioeconômicos (FOUILLET et al., 2006; HAJAT; KOVATS; LACHOWYCZ, 2007; MICHELOZZI1 et al., 2005; O'NEILL; ZANOBETTI; SCHWARTZ, 2003; REID et al., 2009; ROCKLO et al., 2014; SEMENZA et al., 1996; YIN; WANG, 2017).

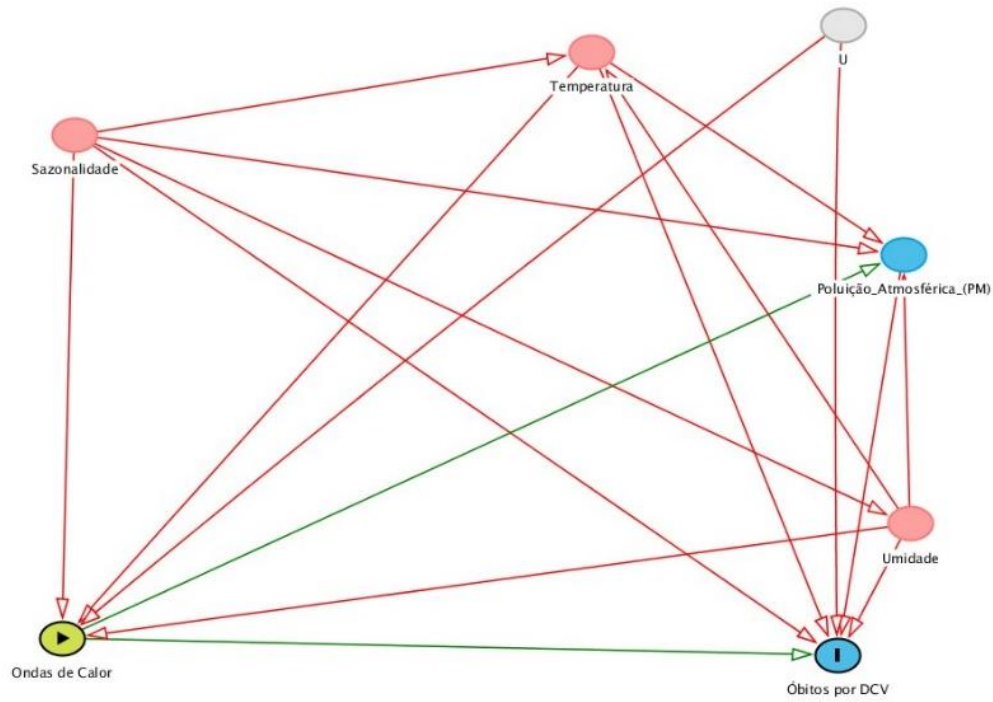
As análises foram realizadas por meio do programa estatístico R versão 3.5.1.

Tabela 2 - Informações geográficas, demográficas, climáticas das 27 cidades brasileiras e período do estudo.

Cidade	Estado	Período	Latitude	População	População ≥ 30 anos	Climas/ Zonas
Região Centro-Oeste						
Brasília	Distrito Federal (DF)	2000-2016	-15,78	2.570.160	1.226.697	Tropical Brasil Central
Campo Grande	Mato Grosso do Sul (MS)	2000-2016	-20,47	786.797	391.357	Tropical Brasil Central
Cuiabá	Mato Grosso (MT)	2000-2016	-15,61	551.098	264.730	Tropical Brasil Central
Goiânia	Goiás (GO)	2000-2016	-16,66	1.302.001	655.349	Tropical Brasil Central
Região Nordeste						
Aracaju	Sergipe (SE)	2000-2016	-10,95	571.149	276.977	Tropical Nordeste Oriental
Fortaleza	Ceara (CE)	2002-2016	-3,75	2.452.185	1.179.890	Tropical Equatorial
João Pessoa	Paraíba (PB)	2000-2016	-7,10	723.515	359.998	Tropical Nordeste Oriental
Maceió	Alagoas (AL)	2000-2016	-9,66	932.748	441.279	Tropical Nordeste Oriental
Natal	Rio Grande do Norte (RN)	2000-2016	-5,91	803.739	397.254	Tropical Nordeste Oriental
Recife	Pernambuco (PE)	2000-2016	-8,05	1.537.704	809.162	Tropical Nordeste Oriental
Salvador	Bahia (BA)	2000-2016	-13,00	2.675.656	1.368.955	Tropical Nordeste Oriental
São Luís	Maranhão (MA)	2000-2016	-2,53	1.014.837	453.591	Tropical Equatorial
Teresina	Piauí (PI)	2002-2016	-5,08	814.230	377.657	Tropical Equatorial
Região Norte						
Belém	Para (PA)	2000-2016	-1,43	1.393.399	669.761	Equatorial
Boa Vista	Roraima (RR)	2000-2016	2,81	284.313	110.407	Tropical Equatorial
Macapá	Amapá (AP)	2000-2016	-0,05	398.204	149.692	Equatorial
Manaus	Amazonas (AM)	2000-2016	-3,11	1.802.014	751.690	Equatorial
Palmas	Tocantins (TO)	2000-2016	-10,19	228.332	90.735	Tropical Brasil Central
Porto Velho	Rondônia (RO)	2000-2016	-8,7			Equatorial
Rio Branco	Acre (AC)	2000-2016	-9,96	228.332	136.269	Equatorial
Região Sudeste						
Belo Horizonte	Minas Gerais (MG)	2000-2016	-19,93	2.375.151	1.293.331	Tropical Brasil Central
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro (RJ)	2003-2016	-22,88	6.300.446	3.570.128	Tropical Brasil Central
São Paulo	São Paulo (SP)	2000-2016	-23,5	11.253.503	6.008.369	Tropical Brasil Central
Vitória	Espírito Santo (ES)	2000-2016	-20,31	327.801	175.900	Tropical Brasil Central
Região Sul						
Curitiba	Paraná (PR)	2002-2016	-25,43	1.751.907	938.131	Temperada
Florianópolis	Santa Catarina (SC)	2002-2016	-27,58	421.240	228.190	Temperada
Porto Alegre	Rio Grande do Sul (RS)	2002-2016	-30,05	1.409.351	793.406	Temperada

Fonte: a autora, 2022.

Figura 2 - Gráfico acíclico direcionado representando hipóteses sobre as relações entre ondas de calor e mortalidade por doenças cardiovasculares.



Fonte: a autora, 2022

Legenda: DAC = Doenças Cardiovasculares; U vértice U.

4 RESULTADOS OBSERVADOS

4.1 Manuscrito 1 - Heatwaves characteristics in 27 Brazilian cities

Abstract

The aim of this study was to characterize the frequency, duration and intensity of heat waves in Brazilian capitals and the Federal District. We used time series analysis to characterize heat waves in 27 Brazilian cities from 2000 to 2016. Different criteria of frequency, duration and intensity were considered. Temperatures became more intense from the year 2005, while heat waves occurred with greater frequency and duration in the years 2010, 2015 and 2016. The capitals Belém, Boa Vista, Fortaleza, Manaus, Rio de Janeiro and São Luís were the capitals with the most frequent heat waves. The capitals Belém, Macapá, Manaus, Rio de Janeiro and São Luís were the capitals with the most lasting heat waves. The capitals with the most intense temperatures were Cuiabá and Rio de Janeiro. The results indicate that heat waves are more frequent, lasting and intense each year in most capitals. The results of the study may encourage public policies to address heat wave events in urban centers.

Keywords: Heat waves, Extreme Heat, Time-series studies, Environmental epidemiology.

4.1.1 Introduction

Climate change is influenced by several factors, including changes in land use. About 5% of the global land is converted into urban land, considered the most irreversible form (FARAGALLAH; RAGHEB, 2022; HAHS et al., 2009; MATHEW; KHANDELWAL; KAUL, 2016). The expansion of the impermeable surface area and land cover changes caused by rapid urbanization can influence heatwaves' formation and severity (MATHEW; KHANDELWAL; KAUL, 2016; PERKINS, 2015).

Heatwaves and other extreme heat events can have serious impacts on natural, human, and infrastructure systems, including increased morbidity and mortality rates (CHIEN; GUO; ZHANG, 2016; DANG et al., 2019), reduced agricultural productivity (Ioannou et al., 2017) and interruptions in energy supply (AÑEL et al., 2017; MUSHORE et al., 2017; PAVANELLO et al., 2021; TYAGI et al., 2021).

A heatwave is frequently defined as a period of unusually hot weather that persists for at least two consecutive days (WMO, 2015). The conditions that constitute a heatwave vary

across regions, and their physical drivers are generally related to large-scale circulation patterns and may involve complex interactions between atmospheric, oceanic, and land surface conditions (DOLE et al., 2011; GRUMM, 2011; HUNT, 2007; MARENGO et al., 2018a; PERKINS, 2015; PEZZA; VAN RENSCH; CAI, 2012).

Although the impacts of extreme events are very likely to occur globally, some individuals and places are likely to suffer more severe consequences, particularly socially vulnerable groups and populations living in urban areas (WMO, 2015). Investigations on the characteristics of heatwave events in urban areas are essential to guide regional adaptation and mitigation strategies. However, research on heatwaves is relatively limited in some regions, particularly across Latin America (FERON et al., 2019; GEIRINHAS et al., 2018; PERKINS-KIRKPATRICK; LEWIS, 2020; WMO, 2021). In this study, we examined the intensity, frequency, and duration of heatwaves events in all 26 Brazilian state capitals and the Federal District.

4.1.2 Methods

4.1.2.1 Design and study area

We carried out a time-series study comprising all 26 Brazilian state capitals and the Federal District. The study period was 2000-2016, except for the cities of Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Porto Alegre, and Teresina (2002-2016), and Rio de Janeiro (2003-2016).

The latitudes extend from 2.82° North in Boa Vista to 30.03° South in Porto Alegre. The climate varies from the Temperate Zone (South region) to the Equatorial Tropical Zone (North region) (Figure 1). The cities located in the North and Center-West regions have a similar climate, defined by rainy (November to March) and dry (May to September) periods and may have high thermal amplitudes. The cities located in the Northeast have high spatial-temporal variability of precipitation and long periods of drought. The climate in the Southeast region has relatively high seasonal (winter-summer) variability in temperatures. The cities located in the south have well-defined seasons, with low temperatures during the winter and summers with high temperatures.

The cities included in this study constitute the largest urban agglomerates in Brazil. According to the 2010 census, the least populated capital city has 228,332 inhabitants while the most populous has 11,253,503 inhabitants. The total population of the cities included in the study is 45,466,045, representing 23,8% of the country's population.

4.1.2.2 Definition and characterization of heatwaves

Heatwaves were characterized by their intensity, duration, and frequency. As in previous work, we used a combination of different temperature thresholds and duration criteria (ANDERSON; BELL, 2009; FIRPO; SANSIGOLO; ASSIS, 2012; GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; HAJAT et al., 2006; MA et al., 2015). Heatwaves events were defined when the maximum temperature exceeded the temperature threshold (90th, 95th, or 99th percentile of the base period) for a number of consecutive days. Temperature thresholds were calculated as 90th, 95th, and 99th percentiles of maximum temperature, using the 1979-1999 climatological base period. As for the duration of a heatwave, we considered ≥ 2 , ≥ 3 , and ≥ 5 consecutive days. The operations is in the supplementary material.

4.1.2.3 Data sources and analysis

Ambient air temperature data were obtained from the automatic meteorological stations of the Brazilian Institute of Meteorology (INMET), except for the cities of Campo Grande (MS) and Porto Velho (RO), whose data were obtained from airports meteorological stations held by the Center for Weather Forecasting and Climate Studies (CPTEC) of the National Institute for Space Research (INPE).

The missing data were imputed using a method based on the Expectation-Maximization (EM) algorithm (JUNGER; LEON, 2015). For the imputation, we use the daily average maximum temperature obtained from the ERA-Interim model of the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). The temperature data were municipalized, using the weighted average proportional to the area of intersection of the pixels within each

municipality's limits. The percentage of missing data in the temperature series are shown in Table of the Supplementary material (table 1).

All analyzes were performed in the program R, version 3.5.1. Different R libraries were used, including ggplot2 (WICKHAM, 2017) and mtsdi (JUNGER; LEON, 2015).

4.1.3 Results

Over the 2000-2016 period, the frequency of heat events exceeding the 90th percentile threshold for at least two to five or more consecutive days ranged from 6,259 to 2,107 (Table 2). When heat waves were defined by higher temperature thresholds, the number of events ranged from 4,477 to 1,262 (95th percentile) and 1,645 to 795 (99th percentile). Heat waves occurred more frequently in 2010, 2015, and 2016 (90th to 99th percentile). The year 2000 had the lowest frequency of heat waves (the 90th to 99th percentile).

The cities with the most frequent events were Belém (90th and 95th percentiles), Boa Vista (90th percentile), Fortaleza (95th percentile), Manaus (99th percentile), Rio de Janeiro (percentile 99th), and São Luís (90th and 99th percentiles) (table 2). The city that registered the lowest frequency of heatwaves was Belo Horizonte (90th and 99th percentiles) (Figure 2). Heatwaves have also occurred during the winter in all cities located in the country's Southeast and South regions (not shown).

The duration of days of heat waves between the years studied there was a variation between 31,181 (19.7%) to 20,260 (12.8%), 19,838 (12.5%) to 11,516 (7.3%) and 5,987 (3.8%) to 2,625 (1.7%) between two and five days or more, percentile 90 to 99, respectively (Table 2). The years with the most prolonged heat waves were 2010, 2015, and 2016. The year 2000 had the lowest duration of heat waves (the 90th to 99th percentile), the capitals Fortaleza, Teresina, Rio de Janeiro, Curitiba, Florianópolis and Porto Alegre (Figure 3) did not register a heat wave duration in 2000. The cities with the most prolonged heatwaves were Macapá (90th percentile), Belém (90th and 95th percentiles), Manaus (90th and 99th percentiles), Rio de Janeiro (99th percentile), and São Luís (90th and 99th percentiles) (Table 2). The cities with the most prolonged heat waves were Macapá with 91 days in 2015 (90th percentile), São Luís with 70 days in 2016 (95th percentile), and Natal with 46 days in 2010 (99th percentile) (Figure 3).

The years with the most intense temperatures were 2005, 2008 e 2015, percentile 99 (Table 2), while the year 2000 presented less intense ones. The cities with the highest temperatures were Cuiabá and Rio de Janeiro. The state capital with the lowest temperatures was Curitiba (Figure 4).

4.1.4 Discussion

To our knowledge, this was the first study investigating heat waves characteristics in all Brazilian state capitals, including locations with different climatic conditions. Our results show that heat waves are more frequent, long lasting, and intense and occur throughout the year, including in the winter in cities of the Southeast and South regions.

Heatwaves have been extensively studied (BENMARHIA et al., 2017; CHEN et al., 2015; CHIEN; GUO; ZHANG, 2016; PARENTE et al., 2018) and show increasing trends in frequency, duration, intensity, and greater spatial extension (PERKINS; ALEXANDER; NAIRN, 2012; SENEVIRATNE et al., 2014). In South America, there has been an increase in heatwaves over the past five decades (SKANSI et al., 2013). Previous studies in Brazil have also shown a tendency towards intensification of heatwaves since 2000 (BITENCOURT et al., 2016; GEIRINHAS et al., 2018) (BITENCOURT et al., 2016; GEIRINHAS et al., 2017, 2018), occurring also in the autumn-winter seasons (GEIRINHAS et al., 2018).

Our results show that temperatures became more intense from 2005, while heat waves occurred more frequently and long-lasting in 2010, 2015, and 2016. The same trend was observed globally, with progressive annual records in the global temperatures (RUPIC et al., 2018; SCHMIDT, 2022).

In Brazil, the Amazon recorded extreme droughts in these periods, combined with forest fires, reduced precipitation, increased temperature and evaporation, and a massive carbon release into the atmosphere (Alves de Oliveira et al., 2021; INPE, 2022; Marengo et al., 2018). These events were related to the Intertropical Convergence Zone atmospheric systems and the El Niño (FEARNSIDE, 2006; MARENGO et al., 2008, 2018a; MARENGO; ESPINOZA, 2016). In 2010, an anticyclone over the South Atlantic Ocean caused high temperatures and prolonged drought in the Southeast and South regions (GEIRINHAS et al., 2019). In 2015, the states of Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Piauí,

Tocantins, and the Federal District were under drought and heat alerts. In Belo Horizonte, Rio de Janeiro, and São Paulo, there was a reduction in precipitation and an increase in temperature around 2°C above the average, in addition to a water shortage crisis (NOBRE et al., 2016). These phenomena were attributed to an anticyclone over the Pacific Ocean and the El Niño event known as 'Godzilla' (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016; MARENGO; ESPINOZA, 2016). In 2016, the temperature remained high throughout the country, with deviations above 5 °C in relation to the climatological average in the Northeast, particularly in Piauí and Maranhão. The phenomenon was attributed to the Intertropical Convergence Zone and the El Niño event (Marengo et al., 2018). The year 2016 was considered the warmest since 1879 (RUPIC et al., 2018).

The capital São Luís had the highest frequency and duration of heatwaves in all percentiles thresholds. Some factors that may contribute to the occurrence of heatwaves in this state capital include the low proportion of green areas and the recent population increase (Marengo et al., 2018).

Rio de Janeiro was the Brazilian capital with the most frequent, long-lasting, and intense heat waves during the study period. In some regions of Rio de Janeiro, most houses have low wind circulation, high household density, and the largest population living in irregular communities; there are 763 subnormal agglomerates in area of census tracts and 426,965 households occupied by 1,393,314 people (IBGE, 2010). The precarious conditions and constructions covered with fiber cement make the resident population more vulnerable to the effects of high temperatures (Goggins et al., 2012). Families in socioeconomic vulnerability will be more exposed to conditions of thermal discomfort, especially in places with high levels of urbanization, hot and humid climates (PAVANELLO et al., 2021). A study suggests that climate change will expose populations living in coastal areas to extreme heat events by the middle of this century, and heatwaves will become more frequent, long lasting, and intense in the coastal areas of Los Angeles and San Diego (VAHMANI; JONES; PATRICOLA, 2019).

The capital Cuiabá registered the highest temperature during the study period with 42.3°C during a heatwave of 14 consecutive days in September 2010. Temperature record was marked in September 2021, 42.4°C (WMO, 2021). In this region, the effects of high temperatures can be aggravated during the dry season when there is low humidity, hot and dry wind, and smoke covers the capital. A study carried out in a delimited area, including Cuiabá, showed that the area also registered intense temperature (BITENCOURT et al., 2016; SOUZA, 2019). According to climate projections, this capital is located in the region that may

experience the highest temperature increase for the end of the century, under the most pessimistic RCP 8.5 scenario (CHOU et al., 2014),

In 2015, Manaus experienced an increase in temperature and heatwaves frequency. A study by remote sensing confirms the increase in temperature in this region, which was possibly influenced by urban expansion and vegetation cover reduction (SANTOS; LIMA, 2013). Studies indicate that with the distancing of vegetated areas and proximity to high urban density, the temperature can increase above 4°C in large centers (SANTOS; LIMA, 2013; STATHOPOULOU; CARTALIS, 2007).

Climate projections indicate that the increase in temperature and greenhouse gases may expose cities located in medium latitudes such as São Paulo, Curitiba, Florianópolis and Porto Alegre to deadly heat stress for humans for 60 days a year until the end of the century (MORA et al., 2017). According to the same study, about 30% of the world's population is currently exposed to climatic conditions that exceed the global limit for heat stress considered deadly to humans for at least 20 days a year. It is estimated that 74% of the world population can be exposed to extreme heat conditions by the end of the century if there are no drastic reductions in greenhouse gas emissions. According to this study, at least 13,639,813 of the Brazilian population residing in the cities are exposed to extreme heat conditions, such as heatwaves.

Excessive high temperatures, solar radiation, and the absence of wind can cause homeostatic imbalance. To restore balance and maintain a constant temperature, the body causes cutaneous vasodilation and severe sweating. Dehydration causes reduction of extracellular fluid and blood volume, drop in blood pressure and increased osmolality. The arterioles influenced by the drop in blood pressure is decreased by blood flow and the concentration of platelets and cholesterol facilitates the formation of thrombosis. May result in atheromas and interruption of blood flow to tissues. These mechanisms can lead to increased morbidity and mortality risk (CHENG et al., 2019; DANG et al., 2019; GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; KHATANA; WERNER; GROENEVELD, 2022) for respiratory, renal, endocrine, genitourinary, cardiovascular, and cerebrovascular diseases (ANDERSON; BELL, 2011; NITSCHKE et al., 2011; OUDIN ÅSTRÖM et al., 2015; OUDIN ÅSTRÖM; BERTIL; JOACIM, 2011; SHERIDAN; LIN, 2014), mainly in the elderly (BOBB et al., 2014; SAROFIM et al., 2016; ZANOBBETTI et al., 2012).

Some factors may help to mitigate heat and thermal stress in the population. Green areas in urban centers can stabilize the temperature variation (YU; HIEN, 2006). In addition to being associated with factors that benefit human health, including physical exercise,

increased longevity (EEA, 2020; TAKANO; NAKAMURA; WATANABE, 2002), better mental health, and reduced mortality (NIEUWENHUIJSEN et al., 2017a). The water bodies can reduce the temperature through evaporation and heat dissipation (LAI et al., 2019). Wind-driven ventilation and thermal buoyancy can mitigate heat islands effect in urban areas, disperse air pollutants, reduce air temperature, and provide thermal comfort (HUANG; TSAI; CHEN, 2020).

This study has some limitations. Temperature data were collected from a single weather stations for each city. Increasing the number of weather stations or using satellite-based models could provide more information on the various Brazilian sub-climates. Although the study covers 40% of the population, the results refer to urban areas and may not properly reflect the risk in rural areas.

Our results provide relevant evidence for planning adaptation and mitigation strategies for the effects of heatwaves in urban areas. The creation of heatwave warning systems and the dissemination of weather forecasts can help to reduce the impact of theses events, specially for the most vulnerable populations. In addition, an important public health strategy is to implement a health education program on prevention and identification of the first signs of heat stress in the population.

Table 3 - 5-1- Percentage of missing data imputed in the daily temperature series in each city.

Regiões/Capitais	Período de estudo	Temperatura (%)
Centro-Oeste		
Brasília	2000-2016	0.29
Campo Grande	2000-2016	14.90
Cuiabá	2000-2016	12.45
Goiânia	2000-2016	0.24
Nordeste		
Aracaju	2000-2016	0.19
Fortaleza	2002-2016	0.02
Joao Pessoa	2000-2016	0.66
Maceió	2000-2016	10.79
Natal	2000-2016	0.05
Recife	2000-2016	0.10
Salvador	2000-2016	0.11
São Luís	2000-2016	9.28
Teresina	2002-2016	4.87
Norte		
Belém	2000-2016	0.16
Boa Vista	2000-2016	5.65
Macapá	2000-2016	0.89
Manaus	2000-2016	1.08
Palmas	2000-2016	0.24
Porto Velho	2000-2016	13.83
Rio Branco	2000-2016	0.64
Sudeste		
Belo Horizonte	2000-2016	0.13
Rio de Janeiro	2003-2016	1.21
São Paulo	2000-2016	1.47
Vitória	2000-2016	2.12
Sul		
Curitiba	2002-2016	0.02
Florianópolis	2002-2016	0.04
Porto Alegre	2002-2016	0.16

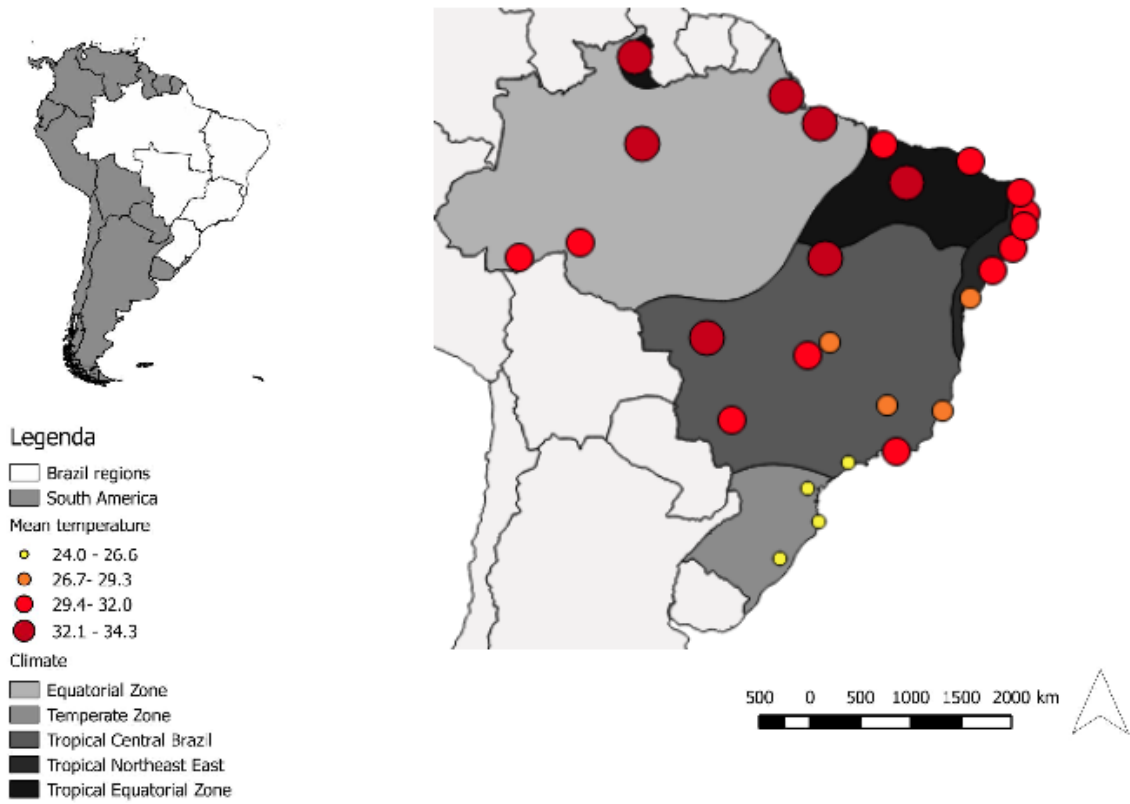
Fonte: a autora, 2022

Table 4- 5-2- Frequency, duration and intensity of heat waves in Brazilian capitals, 2000 to 2016.

	Percentile 90	Percentile 95	Percentile 99
Frequency			
≥ 2 days	6.259	4.477	1.645
≥ 3 days	3.942	2.658	1.370
≥ 5 days	2.107	1.262	795
Capitals	Belém, Boa Vista and São Luís	Belém, Fortaleza and São Luís	Manaus, Rio de Janeiro and São Luís
Duration			
≥ 2 days	31.181	19.838	5.987
≥ 3 days	26.559	16.212	4.429
≥ 5 days	20.260	11.516	2.625
Capitals	Belém, Macapá and São Luís	Belém, Manaus and São Luís	Manaus, Rio de Janeiro and São Luís
Intensity			
	2012, 2014 e 2015	2010, 2014 e 2015	2005, 2008 e 2015

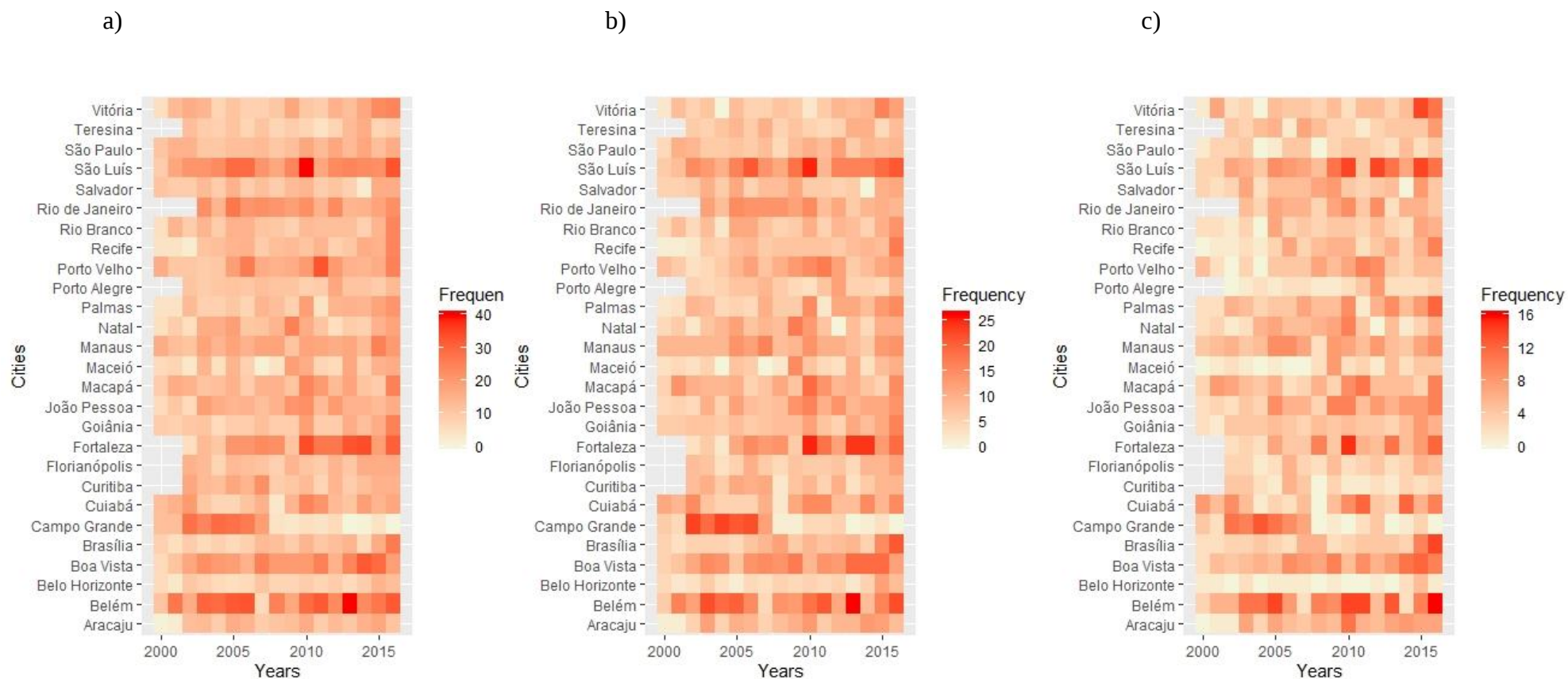
Fonte: a autora, 2022

Figure 3 - 5-1 – Climates and temperatures in Brazilian capitals 2000 the 2016.

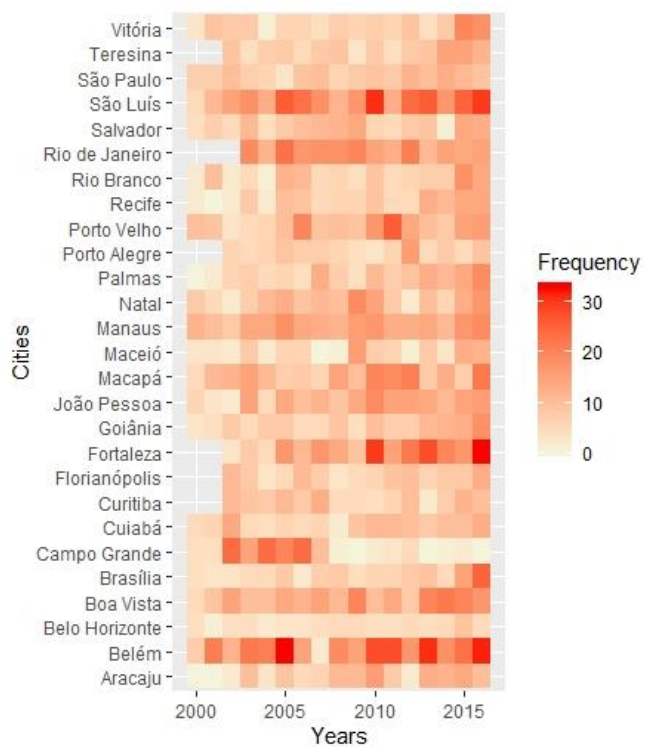


Fonte: a autora, 2022

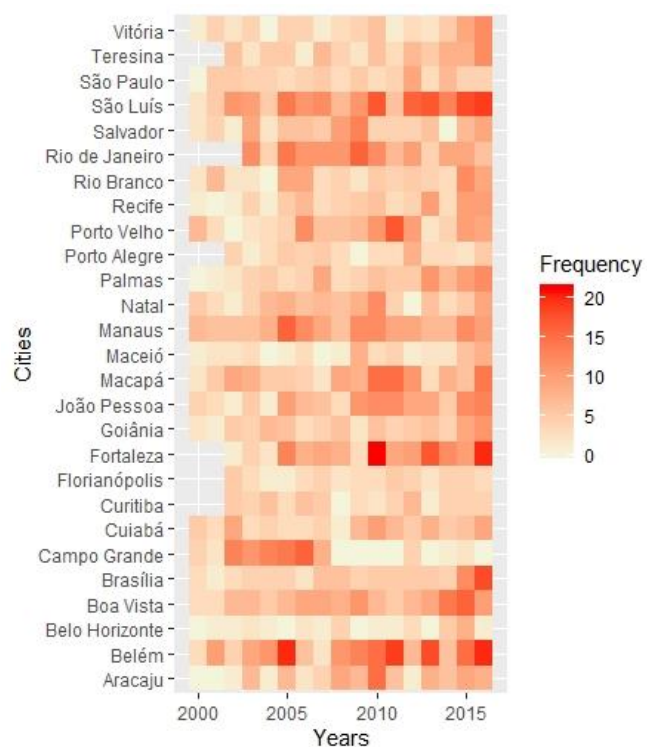
Figure 4 - 5-2 - Frequency of hot flashes in Brazilian capitals, 2 days or more (a), 3 days or more (b), 5 days or more (c) 90th percentile, 2 days or more (d), 3 days or more (e), 5 days or more (f) 95th percentile and 2 days or more (g), 3 days or more (h), 5 days or more (i) 99th percentile, 2000 the 2016.



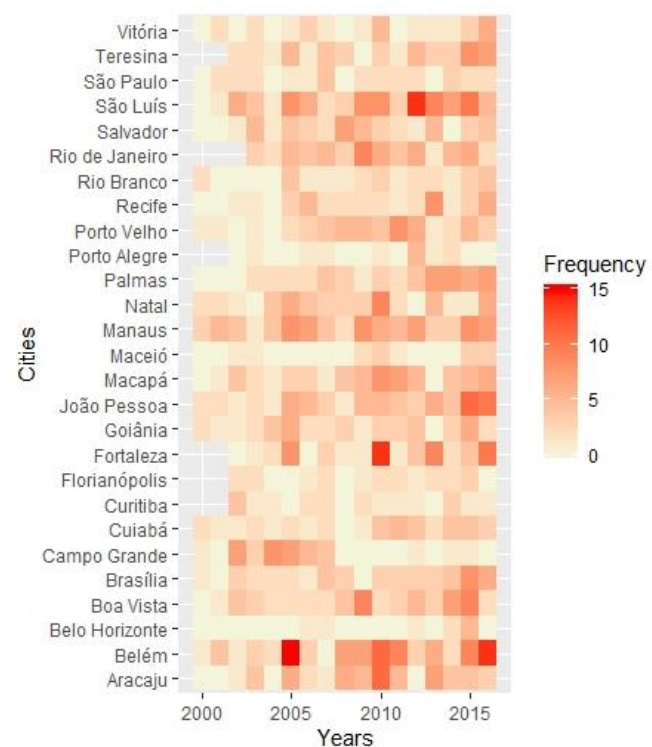
d)



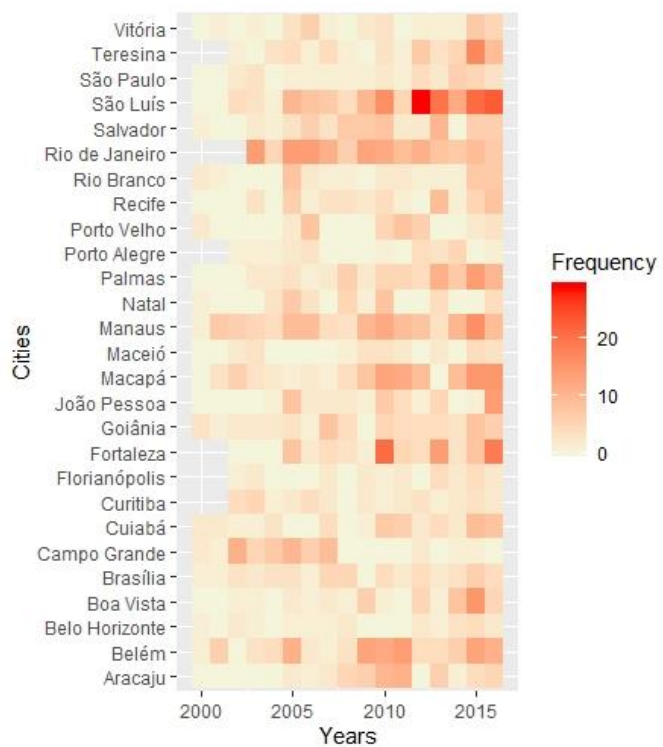
e)



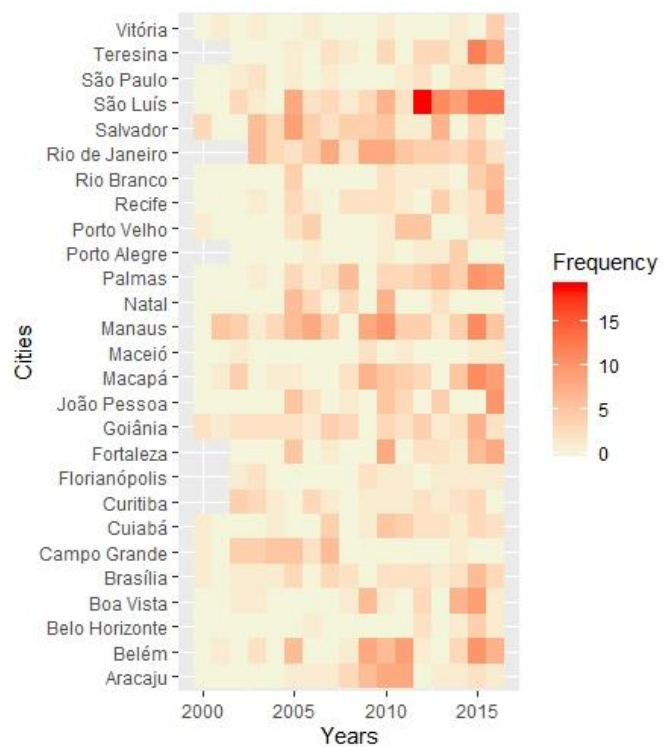
f)



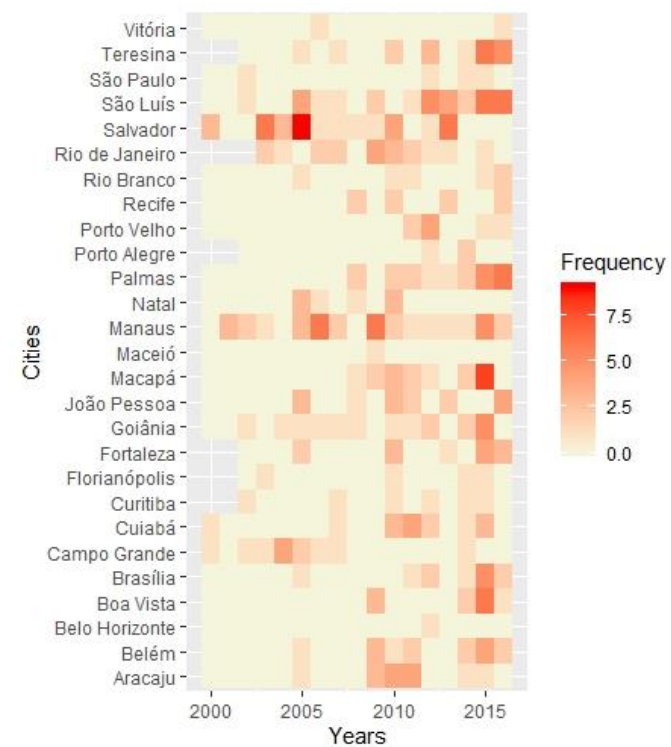
g)



h)

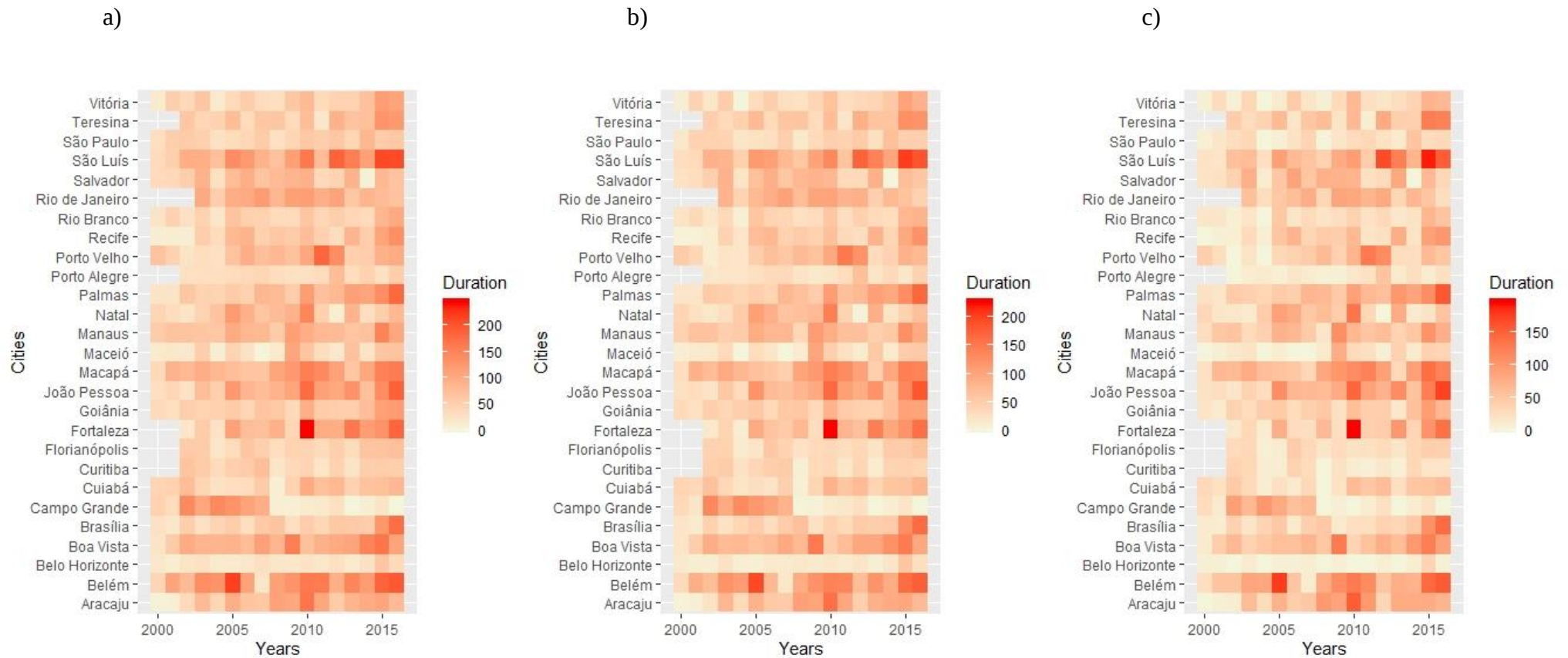


i)

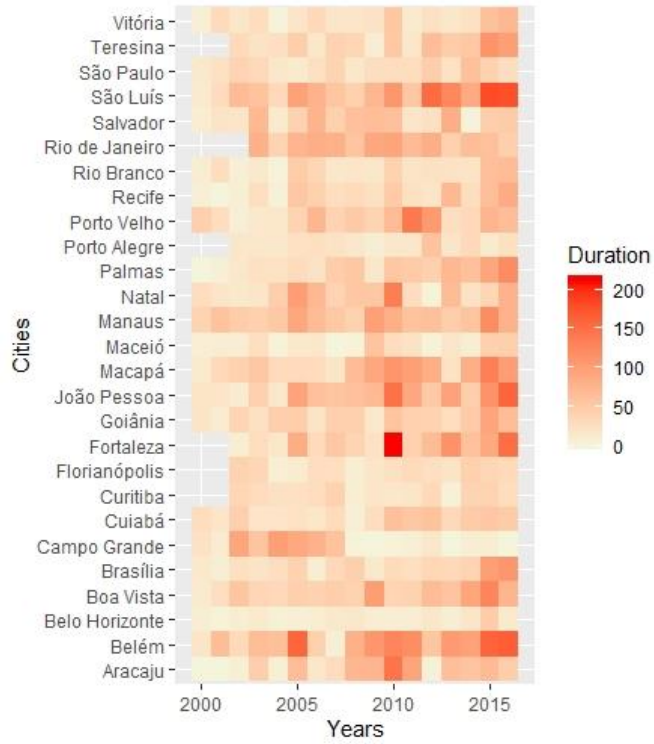


Fonte: a autora, 2022

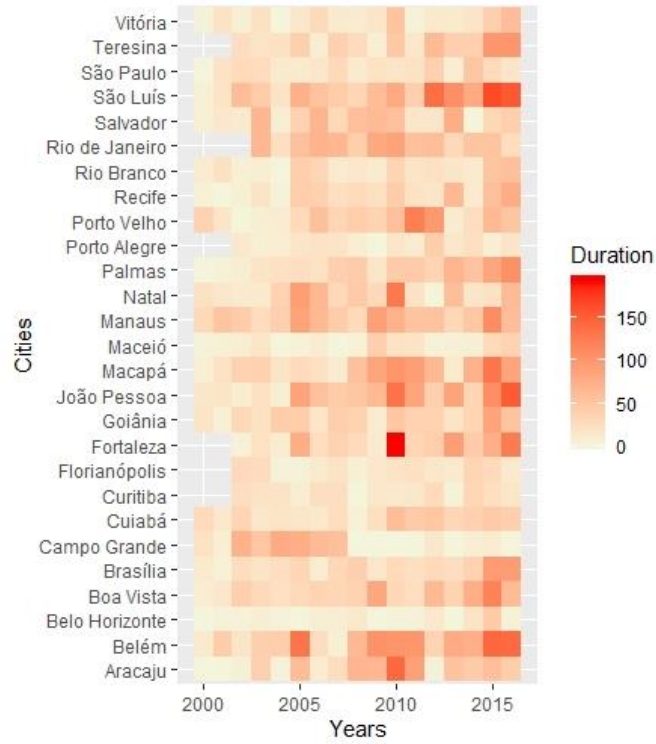
Figure 5 - 5-3 - Duration of hot flashes in Brazilian capitals, 2 days or more (a), 3 days or more (b), 5 days or more (c) 90th percentile, 2 days or more (d), 3 days or more (e), 5 days or more (f) 95th percentile and 2 days or more (g), 3 days or more (h), 5 days or more (i) 99th percentile, 2000 the 2016.



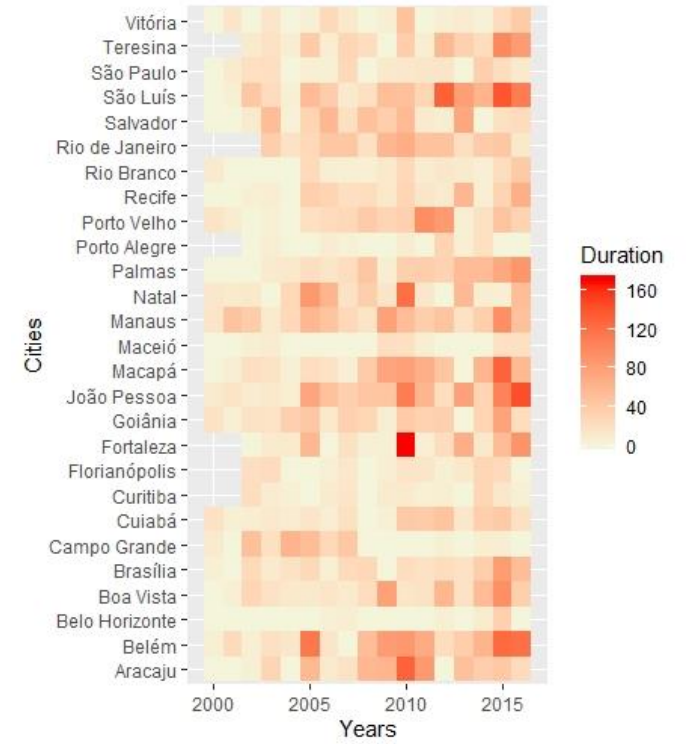
d)



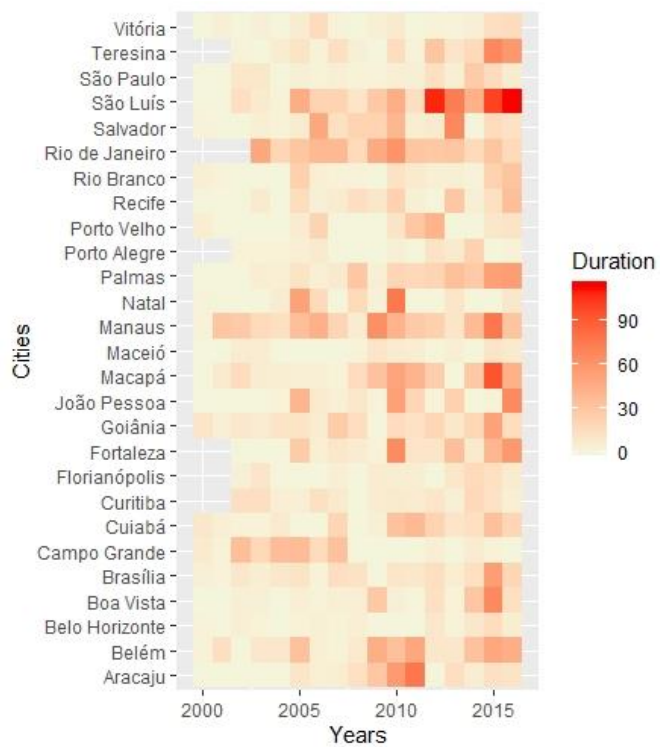
e)



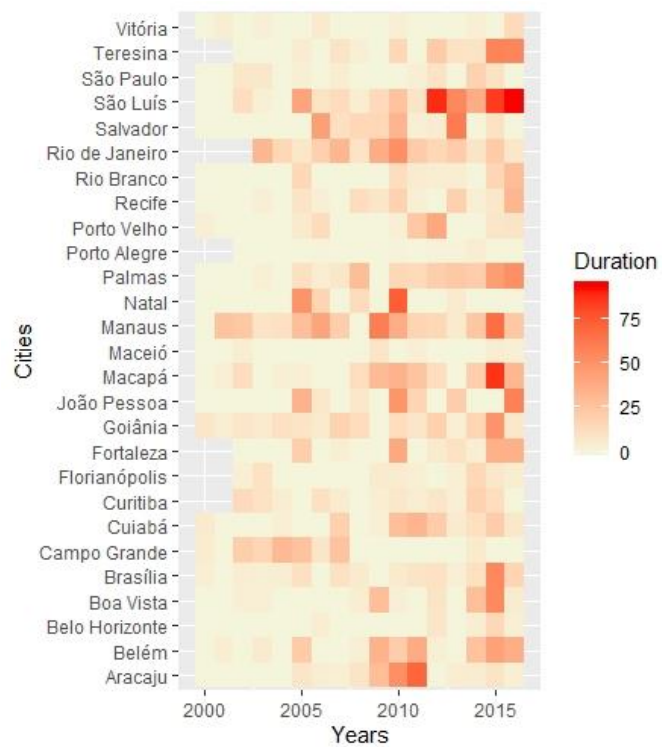
f)



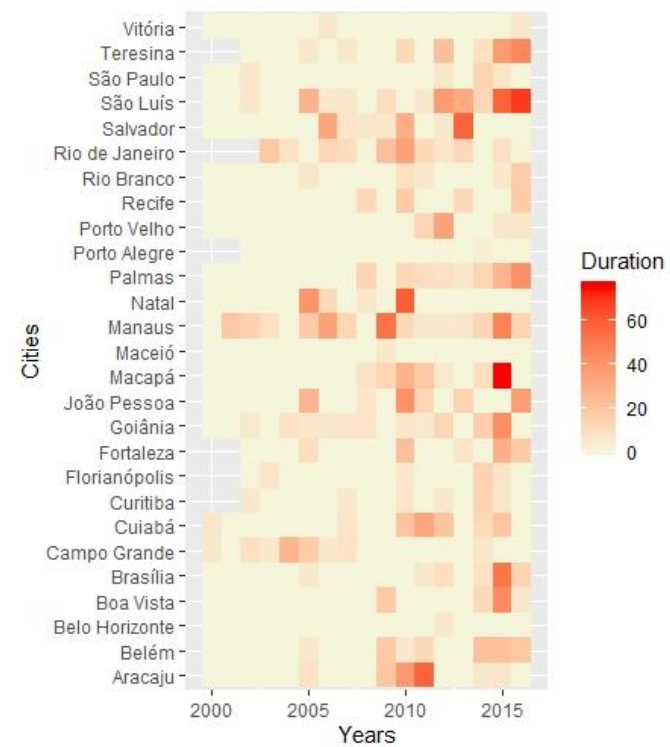
g)



h)

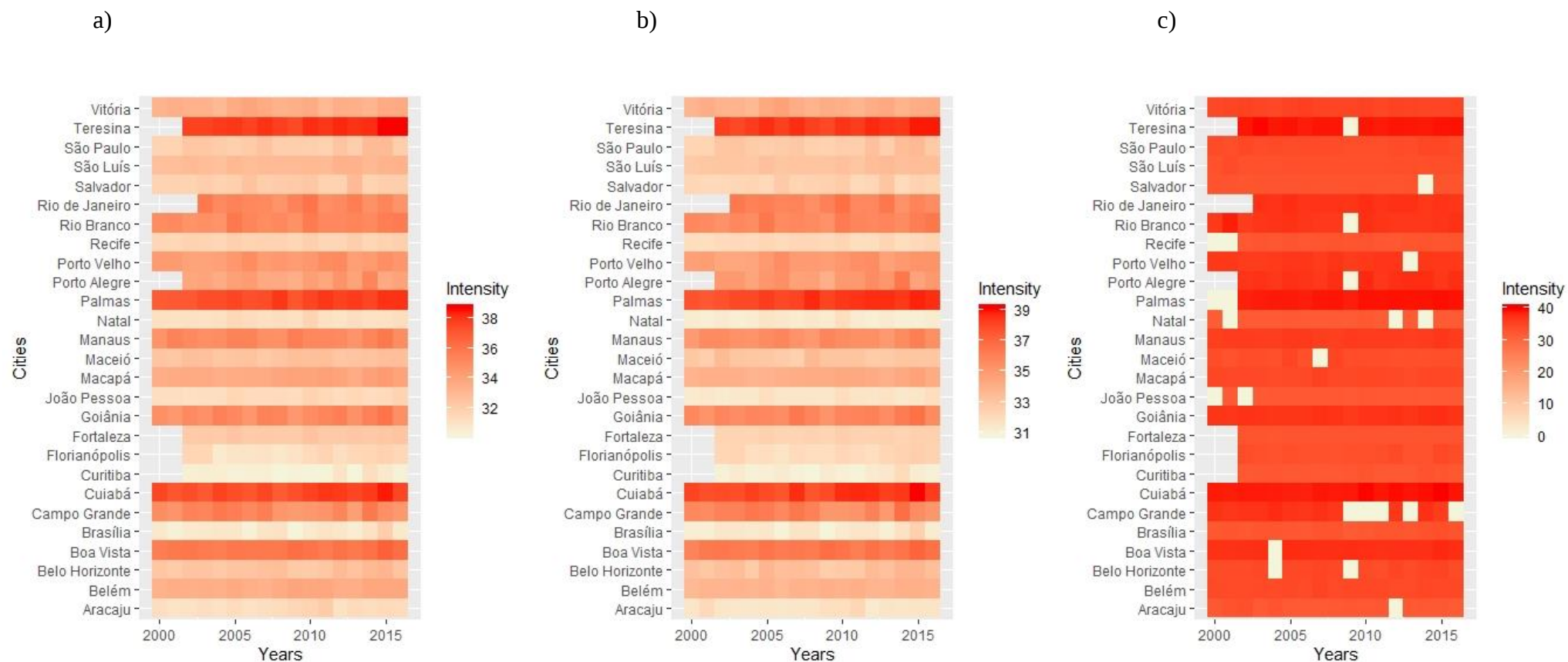


i)



Fonte: a autora, 2022

Figure 6 - 5-4 - Intensity of heat waves in Brazilian capitals, 90th percentile (a), 95th percentile (b) and 99th percentile (c), 2000 to 2016.



Fonte: a autora, 2022

4.1.5 Supplementary material

1. Characterization of heat waves

1.1. Intensity

The intensity criterion was defined through the operation:

$$CI_{(t_i)} = \prod_{l=0}^{Lci} I(t_{i-l} \geq p) \quad (1)$$

Where $CI_{(t_i)}$ is defined as the temperature value from the cut of the percentile used, t_i equals the maximum temperature, Lci equals days of duration, l equals day without wave, I is the index equivalent to 1 if t_{i-l} exceed the value specified by the percentile limit used and p is equivalent to the percentile value.

1.2. Duration

The duration criterion was defined through the operation:

$$d_i = \sum_{l=1}^{Lci} \left[I(t_{i-l} \geq p) \prod_{j=1}^l I(t_{i-j} \geq p) \right] \quad (2)$$

Where d_i is defined as the day on which the temperature exceeds the p . It is observed that d is 0 for days without a heat wave and 1 for the first day over the limit p and so on, until the temperature returns below the limit, with maximum of Lci .

1.3. Frequency

The frequency criterion was defined through the operation:

$$f_i = Lci/d_i \quad (3)$$

Where f_i is defined as the frequency of heat waves.

REFERENCE

ALVES DE OLIVEIRA, B. F. et al. Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. **Communications Earth and Environment**, v. 2, n. 1, p. 1–8, 2021.

ANDERSON, B. G.; BELL, M. L. NIH Public Access. **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.

AÑEL, J. A. et al. Impact of cold waves and heat waves on the energy production sector. **Atmosphere**, v. 8, n. 11, p. 1–13, 2017.

BENMARHNI, 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. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 506–517, 2016.

BOBB, F. J. et al. Quantifying Weather and Climate Impacts on Health in Developing Countries (QWeCI) Science Talk metric for mapping mosquitoes. **American Medical Association**, v. 24, n. 312, p. 2659–2667, 2014.

CHEN, K. et al. Spatial analysis of the effect of the 2010 heat wave on stroke mortality in Nanjing, China. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1–11, 2015.

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

CHIEN, L. C.; GUO, Y.; ZHANG, K. Spatiotemporal analysis of heat and heat wave effects on elderly mortality in Texas, 2006–2011. **Science of the Total Environment**, v. 562, p. 845–851, 2016.

CHOU, S. C. et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 03, n. 05, p. 512–527, 2014.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Climanálise – Edição Especial de 30 anos**, p. 55–61, 2016.

DANG, T. N. et al. Effects of Extreme Temperatures on Mortality and Hospitalization in Ho

Chi Minh City , Vietnam. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 16, n. 432, p. 1–12, 2019.

DOLE, R. et al. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 6, p. 1–5, 2011.

EEA. **EEA Report: Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe**. [s.l: s.n.].

FARAGALLAH, R. N.; RAGHEB, R. A. Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 3, p. 101609, 2022.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, p. 395–400, 2006.

FERON, S. et al. Observations and Projections of Heat Waves in South America. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–15, 2019.

FIRPO, M. Â. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. DE. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95–106, 2012.

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

GEIRINHAS, J. L. et al. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. **Int. J. Climatol.**, 2017.

GEIRINHAS, J. L. et al. Climatic characterization of heat waves in Brazil. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 41, n. 3, p. 333–350, 2018.

GEIRINHAS, J. L. et al. Science of the Total Environment Characterizing the atmospheric conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 796–808, 2019.

GOGGINS, W. B. et al. Effect Modification of the Association between Short- term Meteorological Factors and Mortality by Urban Heat Islands in Hong Kong. v. 7, n. 6, p. 9–14, 2012.

GRUMM, R. H. The Central European and Russian Heat Event of July–August 2010. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 92, n. 10, p. 1285–1296, 2011.

HAHS, A. K. et al. A global synthesis of plant extinction rates in urban areas. **Ecology Letters**, v. 12, n. 11, p. 1165–1173, 2009.

HAJAT, S. et al. Impact of High Temperatures on Mortality. **Epidemiology**, v. 17, n. 6, p. 632–638, 2006.

HUANG, C. H.; TSAI, H. H.; CHEN, H. C. Influence of weather factors on thermal comfort in subtropical urban environments. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 5, 2020.

HUNT, B. G. A climatology of heat waves from a multimillennial simulation. **Journal of Climate**, v. 20, n. 15, p. 3802–3821, 2007.

IBGE, I. B. DE G. E E.-. Censo Demográfico 2010 Aglomerados Subnormais. p. 1–259, 2010.

IOANNOU, L. G. et al. Time-motion analysis as a novel approach for evaluating the impact of environmental heat exposure on labor loss in agriculture workers. **Temperature**, v. 4, n. 3, p. 330–340, 2017.

JUNGER, W. L.; LEON, A. P. DE. Imputation of missing data in time series for air pollutants. **Atmospheric Environment**, v. 102, p. 96–104, 2015.

KHATANA, S. A. M.; WERNER, R. M.; GROENEVELD, P. W. Association of Extreme Heat With All-Cause Mortality in the Contiguous US, 2008-2017. **JAMA Network Open**, v. 5, n. 5, p. e2212957, 2022.

LAI, D. et al. Science of the Total Environment A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 337–353, 2019.

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.

MARENGO, J. A. et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, n. 3, p. 495–516, 2008.

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018b.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia : causes ,. v. 1050, n. July 2015, p. 1033–1050, 2016.

MARENGO, J. A. et al. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, n. December, p. 1–21, 2018a.

MATHEW, A.; KHANDELWAL, S.; KAUL, N. Spatial and temporal variations of urban heat island effect and the effect of percentage impervious surface area and elevation on land surface temperature: Study of Chandigarh city, India. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p. 264–277, 2016.

MORA, C. et al. Global risk of deadly heat. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 7, p. 501–506, 2017.

MUSHORE, T. D. et al. Understanding the relationship between urban outdoor temperatures and indoor air-conditioning energy demand in Zimbabwe. **Sustainable Cities and Society**, v. 34, n. April, p. 97–108, 2017.

NIEUWENHUIJSEN, M. J. et al. Fifty shades of green. **Epidemiology**, v. 28, n. 1, p. 63–71, 2017a.

NITSCHKE, M. et al. Impact of two recent extreme heat episodes on morbidity and mortality in Adelaide, South Australia: A case-series analysis. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2011.

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. 08, n. 02, p. 252–262, 2016.

LOUDIN ÅSTRÖM, D. et al. The effect of heat waves on mortality in susceptible groups: A cohort study of a mediterranean and a northern European City. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, v. 14, n. 1, p. 1–8, 2015.

PARENTE, J. et al. Heat waves in Portugal: Current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires. **Science of the Total Environment**, v. 631–632, p. 534–549, 2018.

PAVANELLO, F. et al. Air-conditioning and the adaptation cooling deficit in emerging economies. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, 2021.

PERKINS-KIRKPATRICK, S. E.; LEWIS, S. C. Increasing trends in regional heatwaves. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 1–8, 2020.

PERKINS, S. E. A review on the scientific understanding of heatwaves-Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. **Atmospheric Research**, v. 164–165, p. 242–267, 2015.

PEZZA, A. B.; VAN RENSCH, P.; CAI, W. Severe heat waves in Southern Australia: Synoptic climatology and large scale connections. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 1–2, p. 209–224, 2012.

RUPIC, M. et al. 2014-2016 El Niño Assessment Report: An Overview of the Impacts of the 2014-16 El Niño on the U.S.-Affiliated Pacific Islands (USAPI). **National Oceanic and Atmospheric Administration -NOAA**, n. February, p. 48, 2018.

SANTOS, C. A. C. DOS; LIMA, J. R. A. Análise dos Efeitos da Expansão Urbana de Manaus-AM Sobre Parâmetros Ambientais Através de Imagens de Satélite (Analysis of the Urban Expansion Effects of Manaus-AM on Environmental Parameters through Satellite Images). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 001, 2013.

SAROFIM, M. C. et al. Temperature-Related Death and Illness. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. **U.S. Global Change Research Program**, v. 45, n. 4, p. ix–xiii, 2016.

SCHMIDT, R. Heating up. **Nature Climate Change**, v. 12, p. 693, 2022.

SENEVIRATNE, S. I. et al. No pause in the increase of hot temperature extremes. **NATURE**

CLIMATE CHANGE, v. 4, n. May, 2014.

SHERIDAN, S. C.; LIN, S. Assessing Variability in the Impacts of Heat on Health Outcomes in New York City Over Time, Season, and Heat-Wave Duration. **EcoHealth**, v. 11, n. 4, p. 512–525, 2014.

SKANSI, M. DE LOS M. et al. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 295–307, 2013.

OUZA, N. S. E. Análise de anomalias térmicas em função da geometria urbana em cuiabá-mt. 2019.

STATHOPOULOU, M.; CARTALIS, C. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. **Solar Energy**, v. 81, n. 3, p. 358–368, 2007.

TAKANO, T.; NAKAMURA, K.; WATANABE, M. Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. **J Epidemiol Community Health**, v. 56, p. 913–918, 2002.

TYAGI, A. et al. **Review of Urban Heat Islands : Monitoring , Forecast and Impacts.** , 2021.

VAHMANI, P.; JONES, A. D.; PATRICOLA, C. M. Interacting implications of climate change, population dynamics, and urban heat mitigation for future exposure to heat extremes. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 8, 2019.

WICHMANN, J. et al. Apparent temperature and acute myocardial infarction hospital admissions in Copenhagen, Denmark: a case-crossover study. **Environmental health : a global access science source**, v. 11, p. 19, 2012.

WMO. **State of the climate in Latin America and the Caribbean 2020.** WMO-No. 1272. [s.l: s.n.].

WMO. Guidelines on the Defintion and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events. **Task Team on the Definition of Extreme Weather and Climate Events**, n. December 2015, p. 62, 2015.

WREFORD, A.; NEIL ADGER, W. Adaptation in agriculture: Historic effects of heat waves and droughts on UK agriculture. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 8, n. 4, p. 278–289, 2010.

YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks §. v. 38, p. 105–120, 2006.

ZANOBETTI, A. et al. Summer temperature variability and long-term survival among elderly people with chronic disease. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 17, p. 6608–6613, 2012.

4.2 Manuscrito 2 - Características de desconforto térmico em 27 capitais brasileiras

Resumo: O objetivo deste estudo foi identificar as capitais brasileiras que apresentaram desconforto térmico para população. Foi utilizado a análise de séries temporais para caracterizar o desconforto térmico nas capitais brasileiras de 2000 a 2016. Diferentes critérios de conforto e desconforto térmico foram considerados. Todas as capitais das regiões Norte e Nordeste tiveram classificação de risco de muita atenção, as capitais Macapá e Fortaleza registraram a maior temperatura aparente, 51,6°C no ano de 2002. As capitais Boa Vista, Palmas, Teresina e Cuiabá foram classificadas como muito quentes e Aracaju, Fortaleza, Goiânia, João Pessoa, Macapá, Recife, Rio de Janeiro e Vitória permanecem como desconfortáveis para a saúde humana por serem consideradas quentes. As capitais Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Porto Alegre e São Paulo foram classificadas como confortáveis. Os resultados indicam que a maioria das capitais mostrou condições de desconfortável para a saúde humana. Os resultados do estudo podem incentivar políticas públicas para enfrentar os eventos de calor nos centros urbanos.

Palavras chaves: desconforto térmico, ondas de calor, índices de calor, series temporais.

4.2.1 Introdução

O desconforto térmico, caracterizado como o desequilíbrio de condições do estado total de bem-estar físico e mental de satisfação com o ambiente térmico ao redor do indivíduo (ABNT, 2021) causa prejuízos à saúde humana com consequências que variam desde redução na produtividade com impactos financeiros (GARCÍA-LEÓN et al., 2021) a mortes relacionadas ao calor (CHAMBERS et al., 2017; KEPHART et al., 2022). A população potencialmente mais vulnerável aos efeitos da exposição às temperaturas elevadas são grupos socioeconômicos desfavorecidos, idosos, pessoas com doenças pré-existentes (ÅSTRÖM et al., 2013; BOYETTE LC, 2021; BUNKER et al., 2016; ROCKLO et al., 2014), trabalhadores do campo (IOANNOU et al., 2017), construção civil (KJELLSTROM et al., 2016), indústria manufatureira (POGAČAR et al., 2018) e a população residente em áreas urbanas (BAMBRICK et al., 2011; KEPHART et al., 2022; LOUGHNAN et al., 2013).

No final do século, as temperaturas aumentarão de 2,5°C para 5°C nos centros urbanos (OKE, 1976), uma vez que o ambiente urbano tem mudado a morfologia e o microclima. O aumento da população, desenvolvimento econômico, infraestrutura, áreas urbanizadas, impermeabilização do solo e redução das áreas verdes (FARAGALLAH; RAGHEB, 2022;

MATHEW; KHANDELWAL; KAUL, 2016) interagem sinergicamente e aumentam o estresse térmico na população pela indução e formação de ilhas de calor (LI; BOU-ZEID, 2013).

O aumento das populações urbanas e a projeção de que temperaturas extremas, secas, ondas de calor e estiagens serão mais frequentes, intensas e duradouras deverão impactar em sérios riscos à saúde dos residentes em centros urbanos. A investigação sobre as características do desconforto térmico nas capitais brasileiras é importante para orientar estratégias de promoção da saúde, adaptação e mitigação no ambiente urbano. Portanto, o objetivo deste trabalho é identificar as capitais brasileiras que apresentaram desconforto térmico para população.

4.2.2 Método

4.2.2.1 Desenho e área de estudo

O estudo seguiu um desenho de séries temporais, com registros de condições de conforto térmico abrangendo as capitais brasileiras e o Distrito Federal. O período de estudo foi de 2000 a 2016, exceto para as capitais Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Porto Alegre (2002 a 2016) e Rio de Janeiro (2003 a 2016). As latitudes variam de 2,82° norte em Boa Vista a 30,03° sul em Porto Alegre. Segundo o censo 2010, a população da capital menos populosa era 228.332 habitantes e a da mais populosa, 11.253.503 habitantes. A população total das áreas metropolitanas das cidades incluídas no estudo é 77.236.066 (40,5%) da população do país.

Os climas nas capitais variam de Zona Temperada em Porto Alegre a Zona Tropical Equatorial em Boa Vista (figura 1). As capitais localizadas na região Norte e Centro Oeste tem o clima semelhante, são definidas por períodos chuvosos (novembro a março) e secos (maio a setembro) e, podem apresentar elevadas amplitudes térmicas, os biomas predominantes nas capitais são Amazônia e Cerrado. As capitais localizadas no Nordeste apresentam alta variabilidade espaço-temporal de precipitação e podem apresentar longos períodos de seca. Os biomas são diversos, Aracaju, João Pessoa, Maceió, Recife, Salvador estão localizadas no bioma Mata Atlântica, Fortaleza na Caatinga, Natal na Caatinga e Mata

Atlântica, São Luís na Amazônia e Teresina no Cerrado. No entanto, todas as capitais estão no litoral, exceto Teresina. O clima nas capitais localizadas no Sudeste varia de ameno a quente. Rio de Janeiro, São Paulo e Vitória pertencem ao bioma Mata Atlântica, Belo Horizonte pertence ao Cerrado e Mata Atlântica. As capitais localizadas no Sul apresentam estações bem definidas, com invernos frescos e verões quentes. Pertence à área de bioma Mata Atlântica e Pampa.

Optou-se pela realização das análises em áreas onde se localizam as capitais porque são áreas influenciadas por combinações de fatores meteorológicos, incluindo diferentes sistemas atmosféricos e condições climáticas, além de configurar os maiores aglomerados populacionais, tendo como consequência importantes modificações antropogênicas.

4.2.2.2 Caracterização do índice de calor

Para categorizar o índice de calor das capitais brasileiras foram utilizadas as definições de temperatura aparente e conforto e desconforto térmico do diagrama do conforto humano. A temperatura aparente é um índice de desconforto percebido pelo indivíduo, métrica mais específicas para classificar ondas de calor para saúde humana (Bishop-Williams et al., 2015). O diagrama do conforto térmico (figura 2) é utilizado para prever condições de conforto térmico em climas quentes (AULICIEMS; SZOKOLAY, 2007), tem sido utilizado em estudos nacionais (COSTA; SARTORI; FANTINI, 2010; FANTE; DUBREUIL; SANT'ANNA NETO, 2017; SOUZA; NERY, 2012) para classificação de conforto e desconforto térmico.

4.2.2.2.1 Temperatura aparente

$$TA = -2,653 + (0,994xt_a) + (0,0153xt_d)^2 \quad (1)$$

Onde TA é definido como temperatura aparente, t_a equivale a temperatura e t_d equivale ao ponto de orvalho. O *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) tem uma classificação de risco para o índice de calor (tabela 1).

4.2.2.3 Diagrama do conforto térmico

O diagrama de conforto térmico categoriza os índices de calor em conforto térmico e desconforto térmico, incluindo muito úmido, desconfortável que precisa de vento e muito quente. Os eixos da abcissa e da ordenada se cruzam e definem o índice de calor (WMO, 1987).

4.2.2.3.1 Conforto térmico

O conforto térmico foi definido por meio das operações:

$$tc_{(ti)} = \prod_{c=0}^{c=k} I(t_{i-c} = ptc) \quad (1)$$

Onde $tc_{(ti)}$ é definido como o valor da temperatura a partir do corte para temperatura confortável, t_i equivale a temperatura, c equivale ao conforto, I é o índice equivalente a 1 se t_{i-c} for igual ao valor especificado pelo limite da temperatura considerada confortável e ptc equivale ao valor da temperatura confortável (20,1 a 25,9°C).

$$uc_{(ui)} = \prod_{c=0}^{c=k} I(u_{i-c} = utc) \quad (2)$$

Onde $uc_{(ui)}$ é definido como o valor da umidade relativa do ar a partir do corte para umidade relativa do ar confortável. u_{i-c} equivale a umidade relativa do ar, c equivale ao conforto, I é o índice equivalente a 1 se t_{i-c} for igual ao valor especificado pelo limite da

umidade relativa do ar considerada confortável e utc equivale ao valor da umidade relativa do ar confortável (30 a 80%).

$$CT_{(tui)} = \sum [I(tc_{(ti)}) \prod I(uc_{(ui)})] \quad (3)$$

Onde $CT_{(tui)}$ é definido como conforto térmico.

4.2.2.3.2 Desconfortos térmicos

4.2.2.3.2.1 Muito úmido

$$ud_{(ui)} = \prod_{c=1}^{c=k} I(u_{i-c} \geq utc) \quad (4)$$

Onde $ud_{(ui)}$ é definido como o valor da umidade a partir do corte por ser muito úmido, u_{i-c} equivale a umidade, c equivale ao conforto, I é o índice equivalente a 2 se u_{i-c} for igual ao valor especificado pelo limite da umidade considerada desconfortável e utc equivale ao valor da umidade desconfortável ($\geq 80\%$).

4.2.2.3.2.2 Desconfortável – necessita de vento para conforto

$$td_{(ti)} = \prod_{c=2}^{c=k} I(t_{i-c} \geq ptc) \quad (5)$$

Onde $td_{(ti)}$ é definido como o valor da temperatura a partir do corte para temperatura desconfortável, t_i equivale a temperatura, c equivale ao conforto, I é o índice equivalente a 3

se t_{i-c} for igual ao valor especificado pelo limite da temperatura considerada desconfortável e ptc equivale ao valor da temperatura desconfortável (26 a 33°C).

4.2.2.3.2.3 Muito quente

$$tq_{(ti)} = \prod_{c=3}^{c=k} I(t_{i-c} \geq ptc) \quad (6)$$

Onde $tq_{(ti)}$ é definido como o valor da temperatura a partir do corte para temperatura desconfortável por ser muito quente, t_i equivale a temperatura, c equivale ao conforto, I é o índice equivalente a 4 se t_{i-c} for igual ao valor especificado pelo limite da temperatura considerada desconfortável e ptc equivale ao valor da temperatura desconfortável ($\geq 33,1^\circ\text{C}$).

4.2.2.4 Fontes e análise de dados

Os dados de temperatura e ponto de orvalho foram obtidos por meio das estações meteorológicas automáticas do Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET), exceto para as capitais de Campo Grande (MS) e Porto Velho (RO), cujos dados meteorológicos dos aeroportos foram disponibilizados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados faltantes foram imputados utilizando o método baseado no algoritmo *Expectation Maximization* (EM) implementado no pacote do R *mtsd* (JUNGER; LEON, 2015). Na imputação, nós utilizamos as médias das máximas diárias da temperatura e as médias diárias de *dew point* obtidas do modelo ERA- Interim, do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Após o processamento das variáveis de temperatura e *dew point*, os dados foram municipalizados. Para esse processo, nos utilizamos a média ponderada com pesos proporcionais à área de interseção dos pixels com os limites de cada município. Todas as análises foram realizadas no programa R, versão 4.0.3. Foram

utilizadas diferentes bibliotecas do R, incluindo ggplot2 (WICKHAM, 2017), mtsdi (JUNGER; PONCE DE LEON, 2018).

4.2.3 Resultados

Os dados analisados por meio da definição de temperatura aparente durante o período de 2000 a 2016 mostraram que todas as capitais das regiões Norte e Nordeste tiveram classificação de risco de muita atenção. A maior temperatura aparente registrada foi de 51,6°C no ano de 2002 nas capitais Macapá (janeiro) e Fortaleza (junho), temperatura classificada como perigosa para saúde humana. As capitais Cuiabá, Goiânia e Vitória também estão na classificação de muita atenção. A capital Curitiba foi a única que não apresentou nenhum risco para saúde. Florianópolis, São Paulo e Porto Alegre variaram entre nenhum risco e atenção (figura 3).

Quando os dados foram analisados por meio das definições do diagrama do conforto humano, mostraram que as capitais Boa Vista, Palmas e Teresina foram classificadas como muito quentes. As capitais Aracaju, Fortaleza, Goiânia, João Pessoa, Macapá, Recife, Rio de Janeiro e Vitória permanecem como desconfortáveis para a saúde humana por serem consideradas quentes; Belém e Rio Branco foram classificadas como muito úmidas, todas permaneceram sem mudanças na classificação durante todo o período estudado. Manaus foi a capital que apresentou maior variação, mudou de muito úmida para muito quente. As capitais Porto Velho e São Luís mudaram de muito úmidas para desconfortáveis. A capital Cuiabá mudou de desconfortáveis para muito quente. As capitais Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Porto Alegre e São Paulo foram classificadas como confortáveis (figura 4).

4.2.4 Discussão

Este é o primeiro estudo a classificar o conforto e desconforto térmico em todas as capitais brasileiras, locais com diferentes características climáticas. A maioria das capitais mostrou condições consideradas como desconfortável para a saúde humana. Algumas capitais localizadas no Sudeste e no Sul apresentaram condições definidas por conforto térmico.

Estudos recentes reforçam nossos achados relativos ao desconforto térmico humano nos centros urbanos (DESAI; DHORDE, 2018; TAWATSUPA et al., 2012; ZANDER et al., 2018). Os espaços urbanos são mais impactados por estressores térmicos (AZEVEDO et al., 2015; MUSHORE et al., 2018), cujas alterações causadas pela urbanização modificam a dinâmica das variáveis meteorológicas (CHEN et al., 2006; ELMINIR, 2005; LEE; KIM, 2008) e dos poluentes (CSAVINA et al., 2014) causando aumento da temperatura ambiente (BLOOMER et al., 2009; JOHN et al., 2014).

Na intenção de amenizar o calor no ambiente interno deu-se início a um ciclo vicioso que tende crescer nos próximos anos (LUNDGREN-KOWNACKI et al., 2018; PAVANELLO et al., 2021). O crescente uso de aparelhos de ar condicionado aumenta a temperatura externa, a emissão de gases de efeito estufa e o consumo de eletricidade (MUSHORE et al., 2017; PAVANELLO et al., 2021; TYAGI et al., 2021).

O aumento na geração de energia é considerada crítica em alguns países (CAT, 2022), inclusive no Brasil. Em 2021, o país passou por uma intensa crise hídrica que resultou em uma crise energética, os períodos de seca reduziram o volume de água represada nos principais reservatórios de hidrelétricas localizadas no Centro Oeste e Sudeste do país, para reduzir os riscos de queda na rede elétrica, houve o aumento do uso de usinas termelétricas, como consequência o aumento na liberação de CO_2 e na taxa de consumo (HUNT et al., 2022; IEMA, 2021). A intensificação contínua dos gases de efeito estufa e as ilhas de calor no ambiente urbano exacerbam o desconforto térmico (BAKER et al., 2018; HORTON et al., 2016) e causam estresse térmico constante na população (LAAIDI et al., 2012; LI; BOUZEID, 2013; LI; YUAN; KOPP, 2020).

As regiões Nordeste e Norte apresentaram condições de desconforto térmico, tanto para Temperatura Aparente quanto para o diagrama do conforto térmico. Fortaleza e Macapá tiveram a maior temperatura aparente durante todo o período, dias com sensação térmica de $51,6^\circ\text{C}$, temperatura semelhante a deserto. O estudo de projeção de (COSTA et al., 2021) reforça os resultados encontrados na região Nordeste, de acordo com os critérios de caracterização utilizados os resultados mostraram que até 2050 mais de 90% dos dias serão desconfortáveis para a população e para 2080 será mais crítico, 98% dos dias serão de desconforto térmico. Além do estresse térmico, haverá redução de precipitação em diversos locais da região Nordeste (COSTA et al., 2021), lugares com histórico de graves secas (CUNHA et al., 2019; GOMES et al., 2015, 2019).

Na região Norte, a situação agrava no período do verão amazônico, época de seca, aumento de temperatura e ondas de calor que induzem as queimadas na Floresta Amazônica

(LOVEJOY; NOBRE, 2019; WMO, 2021). Desde 2018 a região Norte tem a maior concentração de queimadas do país, foram mais de 58 mil focos de incêndios registrados por satélites até julho de 2022 (INPE, 2022), tais eventos aumentam os períodos de desconforto térmico na região (COSTA et al., 2013; MANDÚ; GOMES, 2019). O estudo de projeção de (ALVES DE OLIVEIRA et al., 2021) mostra que o aumento do desmatamento na Amazônia brasileira causará riscos extremos na saúde da população do Norte do país, mais de 11 milhões de pessoas serão expostas ao estresse térmico até o final do século. A capital Manaus indica possível mudança no microclima, os resultados mostram uma grande variação nos níveis de condições de desconforto térmico, mudou de muito úmida para muito quente a partir de 2015. O estudo local de (MANDÚ; GOMES, 2019) investigou índices de calor e, mostrou que 2015 foi o ano com maior período de desconforto térmico, desde 1986 e também sugere indício de mudanças no microclima da capital. O estudo de (SANTOS; LIMA, 2013) por sensoriamento remoto confirma o aumento da temperatura em Manaus, as mudanças têm sido influenciadas pelo processo de expansão urbana, redução da cobertura vegetal (Marengo et al., 2018; Santos e Lima, 2013) e sistemas atmosféricos atuantes na região (Marengo et al., 2018).

As capitais Belém e Rio Branco mostraram condições de desconfortáveis por serem muito úmidas e quentes. A grande concentração de vapor d'água vindo da Floresta Amazônica, mantém a umidade elevada nestas capitais, o fenômeno é conhecido como “rios voadores”, esses rios aéreos transportam cerca de 20 bilhões de toneladas de água diariamente para o Centro Sul do país, mas o desmatamento pode comprometer a capacidade de enviar vapor d'água e reduzir a precipitação na região e em diversos locais do mundo (LOVEJOY; NOBRE, 2018, 2019), intensificando o período de seca, ondas de calor e desconforto térmico na população por dois estressores térmicos, o aumento da temperatura e a alta umidade.

No Centro Oeste, Cuiabá teve a maior temperatura aparente na região, dias com sensação térmica de 49,5°C e condições definidas por desconforto térmico por ser muito quente. Cuiabá registrou a temperatura mais quente do período estudado, 42,3°C durante uma onda de calor de 14 dias consecutivos em setembro de 2010 (Campos, 2022). Recorde de temperatura foi marcado em setembro de 2021, tarde de 42,4°C (WMO, 2021). O período é caracterizado pelo aumento de temperatura (BITENCOURT et al., 2016), seca, baixa umidade, vento quente e seco, esses eventos influenciam as queimadas e a fumaça encobre a capital. Mato Grosso foi o estado brasileiro que registrou mais focos de queimadas, desde o começo de 2022 (INPE, 2022). Estudos mostram que o desconforto térmico na capital está relacionado com altas temperaturas, impermeabilização do solo e falta de ventilação causada por barreiras

físicas, a interação desses fatores compromete o resfriamento necessário para o conforto térmico humano (LEÃO, 2007; SOUZA, 2019).

Curitiba foi a única capital que mostrou condições de conforto térmico durante todo período estudado. Entre os fatores que proporcionam o conforto térmico na capital estão condições geográficas, arborização no centro urbano, espelhos d' água, parques e bosques espalhados pela capital, esses fatores influenciam a meteorologia local e regional. A capital está localizada distante dos trópicos, próxima ao litoral, em um vale entre as serras do mar e São Luiz do Purunã, com altitude de 945 metros. A distância dos trópicos faz com que a incidência dos raios solares seja menor e haja menos dias ensolarados durante o ano. Os ventos marítimos trazem umidade e causa a redução da temperatura, tais condições proporcionam o conforto térmico a população (MARTINI; BIONDI; BATISTA, 2020; REBOITA et al., 2010).

Entre as capitais consideradas confortáveis também estão Belo Horizonte, Brasília, Florianópolis, Porto Alegre e São Paulo. O conforto térmico nas capitais estão relacionados com arborização (IBGE, 2012), locais com espelhos d'água (HIRASHIMA; ASSIS; NIKOLOPOULOU, 2016a, 2016b), altitude e ventos marítimos (REBOITA et al., 2010). Locais com áreas verdes nos centros urbanos reduzem a temperatura (YU; HIEN, 2006), melhoram a qualidade do ar e propiciam conforto térmico a população (MARTINI; BIONDI; BATISTA, 2020; NIEUWENHUIJSEN et al., 2017b). Os corpos de água reduzem a temperatura por meio da evaporação e são dissipadores de calor (LAI et al., 2019). A ventilação impulsionada pelo vento e a flutuabilidade térmica mitigam o efeito das ilhas de calor nas áreas urbanas, dispersam os poluentes atmosféricos, reduzem a temperatura do ar e proporcionam conforto térmico (HUANG; TSAI; CHEN, 2020; ROMANELLO et al., 2021). As áreas verdes também fornecerem diversos benefícios à saúde da população humana, incluindo prática de exercícios físicos, aumento da longevidade, melhor saúde mental e redução da mortalidade (EEA, 2020; NIEUWENHUIJSEN et al., 2017a; TAKANO; NAKAMURA; WATANABE, 2002). No entanto, o estudo de projeção de (MORA et al., 2017) indica o aumento de temperatura e do desconforto térmico em locais anteriormente confortáveis ou frio até o final do século. O aumento da temperatura e dos gases de efeito estufa podem expor as capitais São Paulo, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre a um extremo estresse térmico por 60 dias no ano até o final do século (MORA et al., 2017).

Excessos de altas temperaturas ambientais, radiação solar, alta umidade e ausência de vento causam desequilíbrio homeostático e resulta no aumento da temperatura corporal. A exposição prolongada a tais condições pode levar a desidratação, exaustão, tensão, reduzir o

desempenho físico e psicológico, colapso das funções vitais e morte (CHENG et al., 2019; KHATANA; WERNER; GROENEVELD, 2022; WEINBERGER et al., 2020). Os idosos são os indivíduos mais propensos aos riscos, uma que vez podem possuir condições de saúde preexistentes, como doenças cardiovasculares, respiratórias, renais e neurológicas que interferem na capacidade do corpo responder ao estresse térmico (BOBB et al., 2014; SAROFIM et al., 2016; ZANOBBETTI et al., 2012). Estudos mostram excesso de óbitos atribuídos ao calor em diversos países (KEPHART et al., 2022; KUCHCIK, 2021; RUSTEMEYER; HOWELLS, 2021; WEINBERGER et al., 2020). Na Europa extremas temperaturas têm se tornados mais frequentes, os anos de 2003, 2006, 2010, 2015, 2018, 2019, 2020 e 2022 foram marcados por milhares de óbitos relacionados ao calor extremos. Atualmente, a África registra uma extensa seca e o verão na Ásia Central, China, Estados Unidos da América e Europa registrou recordes de temperatura, ondas de calor e incêndios florestais, situações que compromete a saúde da população, principalmente em condições de vulnerabilidade (SCHMIDT, 2022).

O estudo de (DAVIS et al., 2021) realizado em 16 países mostra que para amenizar o calor a população adquirirá aparelho de ar condicionado, mas este benefício estará concentrado para as famílias com alto poder aquisitivo, a população menos favorecida estará exposta ao maior risco de morbimortalidades, menor produtividade e desigualdades educacionais. No Brasil, estudo de projeção de (PAVANELLO et al., 2021) mostra que até 2040 entre 65 e 85% da população terá ar condicionado em casa, mas o uso será maior na população com melhor condições econômicas, as famílias em vulnerabilidade socioeconômica estarão mais expostas a condições de desconforto térmico, principalmente em locais com altos níveis de urbanização, climas quentes e úmidos.

Para restaurar o equilíbrio e manter a temperatura constante em condições de calor, o hipotálamo recebe sinais sensoriais e provoca vasodilatação cutânea, sudorese e inibição da produção de calor. As arteríolas cutâneas dilatam, aumentam o débito cardíaco e estimulam a perda de calor pelo mecanismo de vasodilatação por meio de mediadores do endotélio vascular e neuronais, como óxido nítrico, neurotransmissor substância P, histamina, prostaglandinas e acetilcolina (GUYTON; HALL, 2006; SILVERTHOM, 2017), essa dissipação de calor para a periferia causa estresse ao sistema cardiovascular, especialmente quando debilitado por meio de processos patológicos. A pele secreta suor pelo mecanismo de resfriamento por meio dos neurônios simpáticos colinérgicos, a sudorese pode ser profusa em indivíduos aclimatados, que chegam a perder até 6 litros/hora de suor em ambientes quentes, causando desidratação (GUYTON; HALL, 2006; SILVERTHOM, 2017). O resfriamento pela

sudorese depende da evaporação na superfície da pele, o suor evapora rapidamente em ambientes secos, mas o ar saturado com o vapor d'água evita a evaporação do suor, tornando o mecanismo de sudorese ineficaz em ambientes úmidos, aumentando a temperatura corporal (GUYTON; HALL, 2006; MORA et al., 2017; SILVERTHOM, 2017), causando estresse ao sistema cardiovascular (CHENG et al., 2019; CHENG; SU, 2010; LEON; HELWIG, 2010; LIU; YAVAR; SUN, 2015) e consequente aumento na morbimortalidade (CHENG et al., 2019; DANG et al., 2019; GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; KHATANA; WERNER; GROENEVELD, 2022).

A desidratação causa redução do líquido extracelular e do volume sanguíneo, queda na pressão arterial e aumento da osmolalidade, mas como mecanismo de compensação barorreceptores cardíacos sinalizam para o bulbo aumentar a pressão arterial, a frequência cardíaca, a força de contração ventricular, o débito cardíaco, vasoconstrição e a resistência periférica (GUYTON; HALL, 2006; SILVERTHOM, 2017). As arteríolas influenciadas pela queda da pressão arterial sofrem diminuição do fluxo sanguíneo e a concentração de plaquetas e colesterol facilita a formação de trombos, que podem resultar em ateromas e interrupção do fluxo sanguíneo para os tecidos, ocasionando maior risco de morbimortalidade a indivíduos comprometidos (Cheng et al., 2019; Cheng e Su, 2010; Khatana et al., 2022; Leon e Helwig, 2010; Liu et al., 2015).

O estudo apresenta algumas limitações. Os dados de temperatura foram coletados em estações meteorológicas únicas para cada cidade. Aumentar a quantidade de estações meteorológicas ou utilizar modelos baseados em satélite poderia disponibilizar mais informações sobre os diversos subclimas brasileiros. Os modelos utilizados para definir conforto térmico utiliza somente as variáveis temperatura e umidade relativa do ar. Ainda que tais variáveis permitiram classificar com precisão eventos de calor letais em diferentes cidades do mundo (MORA et al., 2017), os efeitos da poluição do ar também devem ser investigados. A maioria das capitais brasileiras registram excesso de material particulado e as partículas prejudicam a saúde da população. No Norte e Centro Oeste está situação é agravado na seca, período que queimadas ilegais são frequentes.

Os resultados desta pesquisa podem auxiliar no planejamento de estratégias para mitigar o desconforto térmico, como reforçar o sistema de saúde para reduzir a morbimortalidade. Estudos mostram que é possível criar uma velocidade de vento favorável para o conforto humano por meio de projetos e planejamentos urbanos adequados (BLOCKEN; JANSSEN; HOOFF, 2012; VAN HOVE et al., 2015). Além disso, um sistema de alerta sobre o risco de desconforto térmico para população deve ser criado como forma de

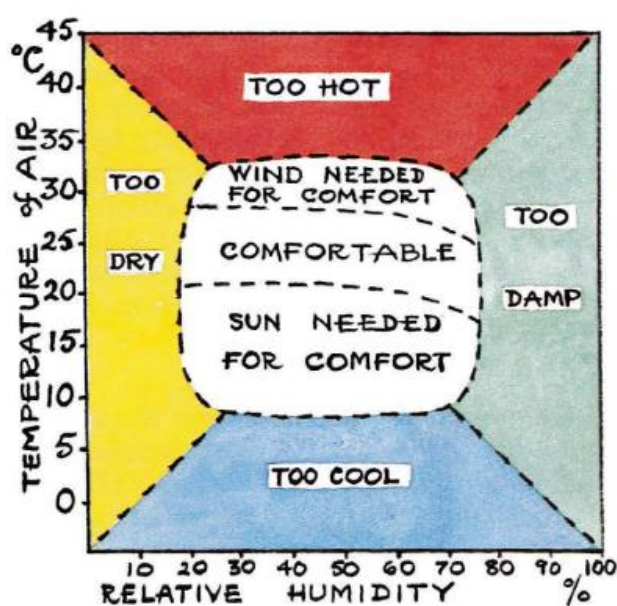
estratégia para saúde pública, implantar um programa de educação em saúde sobre prevenção e identificação dos primeiros sinais de estresse por calor na população se faz necessário, uma vez que as temperaturas e eventos de calor extremos tendem aumentar.

Tabela 5 - 6-1 – Classificação de risco para índice de calor.

Classificação de risco	Temperatura aparente (°C)
Nenhum risco	< 27
Atenção	27,1 a 32
Muita atenção	32,1 a 41
Perigo	41,1 a 54
Perigo extremo	Maior que 54

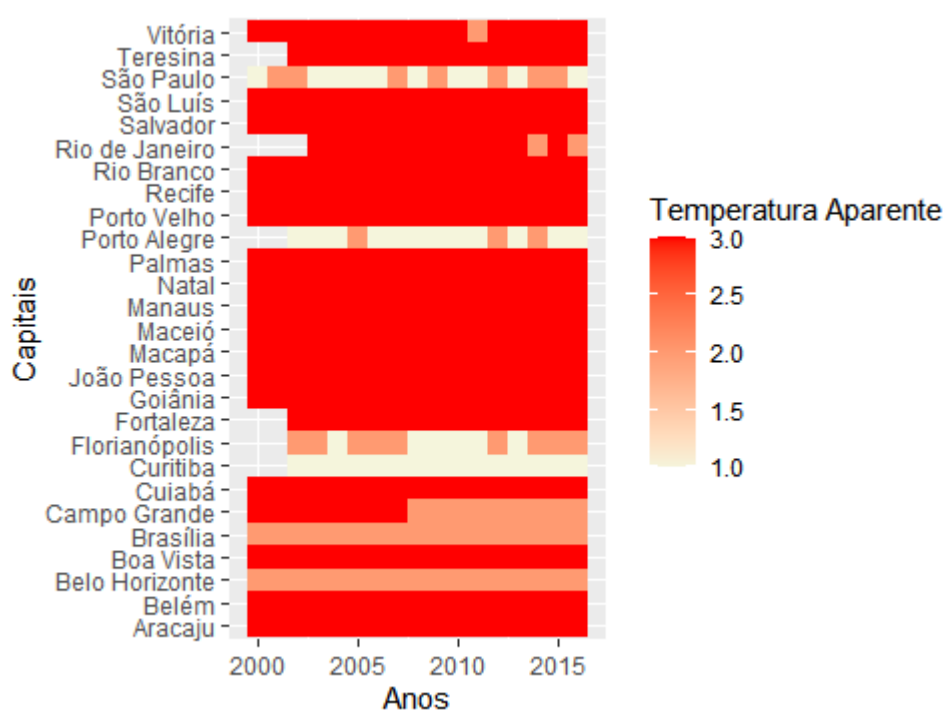
Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration (Noaa, 2021)

Figura 7 - 6-1 – Diagrama de conforto humano



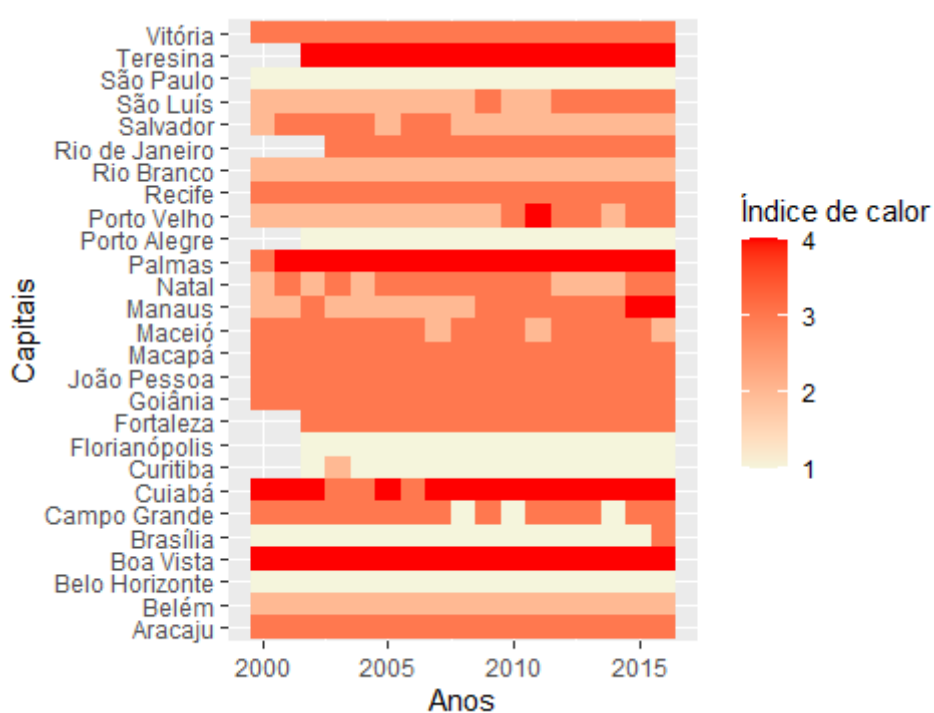
Fonte: Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1987).

Figura 8 - 6-2 – Índice de calor nas capitais brasileiras, método temperatura aparente 2000 a 2016.



Fonte: a autora, 2022

Figura -9- 6-3 – Índice de calor nas capitais brasileiras, método do diagrama do conforto humano 2000 a 2016.



Fonte: a autora, 2022

REFERÊNCIAS

ABNT. REVISÃO DA NBR 16401-2. **ABNT**, 2021.

ALVES DE OLIVEIRA, B. F. et al. Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. **Communications Earth and Environment**, v. 2, n. 1, p. 1–8, 2021.

ÅSTRÖM, C. et al. Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: A health impact assessment. **BMJ Open**, v. 3, n. 1, p. 1–7, 2013.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. Active solar heating and cooling of buildings. **Solar Thermal Technologies for Buildings: The State of the Art**, p. 17–36, 2007.

AZEVEDO, P. V. DE et al. Characterization of human thermal comfort in urban areas of brazilian semiarid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 371–380, 2015.

BAKER, H. S. et al. Higher CO₂ concentrations increase extreme event risk in a 1.5 °C world. **Nature Climate Change**, v. 8, n. July, 2018.

BAMBRICK, H. J. et al. Climate change and health in the Urban environment: Adaptation opportunities in Australian cities. **Asia-Pacific Journal of Public Health**, v. 23, n. 2 SUPPL., 2011.

BISHOP-WILLIAMS, K. E. et al. A spatial analysis of heat stress related emergency room visits in rural Southern Ontario during heat waves. **BMC Emergency Medicine**, v. 15, n. 1, p. 1–9, 2015.

BITENCOURT, D. P. et al. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 506–517, 2016.

BLOCKEN, B.; JANSSEN, W. D.; HOOFF, T. VAN. Environmental Modelling & Software CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas : General decision framework and case study for the Eindhoven University campus. **Environmental Modelling and Software**, v. 30, p. 15–34, 2012.

BOBB, F. J. et al. Quantifying Weather and Climate Impacts on Health in Developing Countries (QWeCI) Science Talk metric for mapping mosquitoes. **American Medical Association**, v. 24, n. 312, p. 2659–2667, 2014.

BOYETTE LC, M. B. **Physiology, Myocardial Oxygen Demand - StatPearls - NCBI Bookshelf**. , 2021.

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.

CAT. Global reaction to energy crisis risks zero carbon transition. **Climate Action Tracker**,

n. June, 2022.

CHAMBERS, J. et al. The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. **The Lancet**, v. 391, n. 10120, p. 581–630, 2017.

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

CHENG, X.; SU, H. Effects of climatic temperature stress on cardiovascular diseases. **European Journal of Internal Medicine**, v. 21, n. 3, p. 164–167, 2010.

COSTA, A. C. L. et al. Thermal comfort indices and their seasonal variations in cities of different sizes in the Amazon Region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 478–487, 2013.

COSTA, E. R. DA; SARTORI, M. DA G. B.; FANTINI, V. ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DO PARQUE ITAIMBÉ-SANTA MARIA / RS SOB CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS DE DOMÍNIO DA MASSA POLAR VELHA EM SITUAÇÃO SAZONAL DE PRIMAVERA ANALYSIS OF THE THERMAL COMFORT OF PARQUE ITAIMBÉ-SANTA MARIA / RS UNDER ATMOSPHERIC CONDITIONS OF D. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, v. 14, p. 16–26, 2010.

Costa, E.R. da, Sartori, M. da G.B., Fantini, V., 2010. ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DO PARQUE ITAIMBÉ-SANTA MARIA / RS SOB CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS DE DOMÍNIO DA MASSA POLAR VELHA EM SITUAÇÃO SAZONAL DE PRIMAVERA ANALYSIS OF THE THERMAL COMFORT OF PARQUE ITAIMBÉ-SANTA MARIA / RS UNDER ATMOSPHERIC CONDITIONS OF D. *Geogr. Ensino Pesqui.* 14, 16–26.

COSTA, R. L. et al. Analysis of future climate scenarios for northeastern Brazil and implications for human thermal comfort. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 93, n. 1, p. 1–23, 2021.

CUNHA, A. P. M. A. et al. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, 2019.

DANG, T. N. et al. Effects of Extreme Temperatures on Mortality and Hospitalization in Ho Chi Minh City , Vietnam. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 16, n. 432, p. 1–12, 2019.

DAVIS, L. et al. Air conditioning and global inequality. **Global Environmental Change**, v. 69, n. May, p. 102299, 2021.

DEO, R. C. et al. On Australian Heat Waves : Time Series Analysis of Extreme Temperature Events in. **Information Sciences**, p. 626–635, 2007.

DESAI, M. S.; DHORDE, A. G. Trends in thermal discomfort indices over western coastal cities of India. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 131, n. 3–4, p. 1305–1321, 2018.

EEA. **EEA Report: Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe**. [s.l.: s.n.].

FANTE, K. P.; DUBREUIL, V.; SANT'ANNA NETO, J. L. Avaliação Comparativa Entre Metodologias De Identificação De Situações De Conforto Térmico Humano Aplicado Ao Contexto Tropical, Presidente Prudente/Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 588–612, 2017.

FARAGALLAH, R. N.; RAGHEB, R. A. Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 3, p. 101609, 2022.

FIRPO, M. Â. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. DE. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95–106, 2012.

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

GARCÍA-LEÓN, D. et al. Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 1–10, 2021.

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

GOMES, H. B. et al. Easterly wave disturbances over Northeast Brazil: An observational analysis. **Advances in Meteorology**, v. 2015, 2015.

GOMES, H. B. et al. Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 53, p. 1393–1411, 2019.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 4. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

HIRASHIMA, S. Q. DA S.; ASSIS, E. S. DE; NIKOLOPOULOU, M. Daytime thermal comfort in urban spaces: A field study in Brazil. **Building and Environment**, v. 107, p. 245–253, 2016a.

HIRASHIMA, S. Q. DA S.; ASSIS, E. S. DE; NIKOLOPOULOU, M. Dataset on daytime outdoor thermal comfort for Belo Horizonte, Brazil. **Data in Brief**, v. 9, p. 530–535, 2016b.

HORTON, R. M. et al. A Review of Recent Advances in Research on Extreme Heat Events. **Current Climate Change Reports**, v. 2, n. 4, p. 242–259, 2016.

HUANG, C. H.; TSAI, H. H.; CHEN, H. C. Influence of weather factors on thermal comfort in subtropical urban environments. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 5, 2020.

HUNT, J. D. et al. Energy crisis in Brazil: Impact of hydropower reservoir level on the river flow. **Energy**, v. 239, 2022.

IBGE. Censo Demográfico 2010: Características urbanísticas do entorno dos domicílios.

Censo Demográfico 2010, v. 41, p. 1–81, 2012.

IEMA. Crise hídrica, termelétricas e renováveis: Considerações sobre o planejamento energético e seus impactos ambientais e climáticos. **Instituto de Energia e Meio Ambiente**, 2021.

INPE. Relatório Diário Automático. **INPE**, 2022.

IOANNOU, L. G. et al. Time-motion analysis as a novel approach for evaluating the impact of environmental heat exposure on labor loss in agriculture workers. **Temperature**, v. 4, n. 3, p. 330–340, 2017.

JUNGER, W. L.; LEON, A. P. DE. Imputation of missing data in time series for air pollutants. **Atmospheric Environment**, v. 102, p. 96–104, 2015.

JUNGER, W.; PONCE DE LEON, A. Package: mtsdi, Version: 0.3.5. 2018.

KEPHART, J. L. et al. City-level impact of extreme temperatures and mortality in Latin America. **Nature Medicine**, 2022.

KHATANA, S. A. M.; WERNER, R. M.; GROENEVELD, P. W. Association of Extreme Heat With All-Cause Mortality in the Contiguous US, 2008-2017. **JAMA Network Open**, v. 5, n. 5, p. e2212957, 2022.

KJELLSTROM, T. et al. Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts. **Annual Review of Public Health**, v. 37, n. 1, p. 97–112, 2015.

KUCHCIK, M. Mortality and thermal environment (UTCI) in Poland—long-term, multi-city study. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, n. 9, p. 1529–1541, 2021.

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.

LAI, D. et al. Science of the Total Environment A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 337–353, 2019.

LEÃO, É. F. T. B. **Carta Bioclimática De Cuiabá - Mato Grosso**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO, 2007.

LEON, L. R.; HELWIG, B. G. Heat stroke: Role of the systemic inflammatory response. **Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 6, p. 1980–1988, 2010.

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. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 52, n. 9, p. 2051–2064, 2013.

LI, D.; YUAN, J.; KOPP, R. E. Escalating global exposure to compound heat-humidity extremes with warming Environmental Research Letters with warming. **Environ. Res. Lett**, v. 15, p. 64003, 2020.

LIU, C.; YAVAR, Z.; SUN, Q. Cardiovascular response to thermoregulatory challenges. **American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology**, v. 309, n. 11, p. H1793–H1812, 2015.

LOUGHNAN, M. E. et al. **A spatial vulnerability analysis of urban populations during extreme heat events in Australian capital cities.** [s.l: s.n.].

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point: Last chance for action. **Science Advances**, v. 5, n. 12, p. 4–6, 2019

LUNDGREN-KOWNACKI, K. et al. Challenges of using air conditioning in an increasingly hot climate. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 3, p. 401–412, 2018.

MANDÚ, T. B.; GOMES, A. C. D. S. Identificação De Tendências No Conforto Térmico Na Região Norte Do Brasil: Estudo De Caso Em Manaus-Am. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 34, p. 63–81, 2019.

MARENGO, J. A. et al. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, n. December, p. 1–21, 2018a.

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018b.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Thermal comfort provided by street trees in cities. **Arboricultural Journal**, v. 42, n. 3, p. 153–164, 2020.

MATHEW, A.; KHANDELWAL, S.; KAUL, N. Spatial and temporal variations of urban heat island effect and the effect of percentage impervious surface area and elevation on land surface temperature: Study of Chandigarh city, India. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p. 264–277, 2016.

MORA, C. et al. Global risk of deadly heat. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 7, p. 501–506, 2017.

MUSHORE, T. D. et al. Understanding the relationship between urban outdoor temperatures and indoor air-conditioning energy demand in Zimbabwe. **Sustainable Cities and Society**, v. 34, n. April, p. 97–108, 2017.

MUSHORE, T. D. et al. Outdoor thermal discomfort analysis in Harare, Zimbabwe in Southern Africa. **South African Geographical Journal**, v. 100, n. 2, p. 162–179, 2018.

NIEUWENHUIJSEN, M. J. et al. Fifty shades of green. **Epidemiology**, v. 28, n. 1, p. 63–71, 2017a.

NIEUWENHUIJSEN, M. J. et al. Fifty shades of green. **Epidemiology**, v. 28, n. 1, p. 63–71, 2017b.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat Islands. **Atmosphere**, v. 14, n. 4, p. 268–277, 1976.

PAVANELLO, F. et al. Air-conditioning and the adaptation cooling deficit in emerging economies. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, 2021.

POGAČAR, T. et al. The effect of hot days on occupational heat stress in the manufacturing industry: implications for workers' well-being and productivity. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 7, p. 1251–1264, 2018.

REBOITA, M. S. et al. South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). **Climate Dynamics**, v. 35, n. 7, p. 1331–1347, 2010.

ROBINSON, P. J. On the Definition of a Heat Wave. **Journal of Applied Meteorology**, v. 40, n. 4, p. 762–775, 2002.

ROCKLO, J. et al. Susceptibility to mortality related to temperature and heat and cold wave duration in the population of Stockholm County, Sweden. v. 1, p. 1–11, 2014.

ROMANELLO, M. et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. **The Lancet**, v. 398, n. 10311, p. 1619–1662, 2021.

RUSTEMEYER, N.; HOWELLS, M. Excess Mortality in england during the 2019 summer heatwaves. **Climate**, v. 9, n. 1, p. 1–17, 2021.

SANTOS, C. A. C. DOS; LIMA, J. R. A. Análise dos Efeitos da Expansão Urbana de Manaus-AM Sobre Parâmetros Ambientais Através de Imagens de Satélite (Analysis of the Urban Expansion Effects of Manaus-AM on Environmental Parameters through Satellite Images). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 001, 2013.

SAROFIM, M. C. et al. Temperature-Related Death and Illness. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. **U.S. Global Change Research Program**, v. 45, n. 4, p. ix–xiii, 2016.

SCHMIDT, R. Heating up. **Nature Climate Change**, v. 12, p. 693, 2022.

SILVERTHOM, D. U. **Fisiologia Humana - Uma abordagem integrada**. [s.l.: s.n.].

SOUZA, D. M. DE; NERY, J. T. O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **Geografia**, v. 21, n. 2, p. 65–83, 2012.

SOUZA, N. S. E. Análise de anomalias térmicas em função da geometria urbana em cuiabá-mt. 2019.

TAKANO, T.; NAKAMURA, K.; WATANABE, M. Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. **J Epidemiol Community Health**, v. 56, p. 913–918, 2002.

TAWATSUPA, B. et al. Heat stress, health and well-being: Findings from a large national cohort of Thai adults. **BMJ Open**, v. 2, n. 6, 2012.

TYAGI, A. et al. **Review of Urban Heat Islands : Monitoring , Forecast and Impacts. ,** 2021.

VAN HOVE, L. W. A. et al. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. **Building and Environment**, v. 83, p. 91–103, 2015.

WEINBERGER, K. R. et al. Estimating the number of excess deaths attributable to heat in 297 United States counties. **Environmental Epidemiology**, v. 4, n. 3, 2020.

WICKHAM, H. ggplot2 - Elegant Graphics for Data Analysis (2nd Edition). **Journal of Statistical Software**, v. 77, n. Book Review 2, p. 3–5, 2017.

WMO. CLIMATE and HUMAN HEALTH WORLD CLIMATE PROGRAMME APPLICATIONS. **World Meteorological Organization**, p. 567–584, 1987.

WMO. **State of the climate in Latin America and the Caribbean 2020. WMO-No. 1272.** [s.l: s.n.].

YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks §. v. 38, p. 105–120, 2006.

ZANDER, K. K. et al. Perceived heat stress increases with population density in urban Philippines OPEN ACCESS Perceived heat stress increases with population density in urban Philippines. 2018.

ZANOBETTI, A. et al. Summer temperature variability and long-term survival among elderly people with chronic disease. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 17, p. 6608–6613, 2012.

4.3 Manuscrito 3 - Efeitos de ondas de calor na mortalidade por doenças cardiovasculares no município do Rio de Janeiro.

Resumo: O objetivo deste trabalho foi estimar os efeitos de ondas de calor na mortalidade por doenças do aparelho circulatório no município do Rio de Janeiro no ano de 2010. Foi utilizado a análise de séries temporais para avaliar o percentual do Risco Relativo (%RR) na mortalidade por doenças do aparelho circulatório nos adultos ≥ 30 anos de idade e diferentes definições de ondas de calor. Os resultados deste estudo evidenciaram o aumento de 6,84% (IC 95% 4,56; 9,18) nas mortalidades por DAC associadas às ondas de calor. O %RR é mais elevado quando utilizado o modelo sem adição da duração de dias consecutivos da onda de calor. As ondas de calor estão associadas ao aumento do risco por mortalidade por doenças do aparelho circulatório no município do Rio de Janeiro.

Palavras chaves: ondas de calor, doenças do aparelho circulatório, séries temporais.

4.3.1 Introdução

As ondas de calor estão associadas a padrões de circulação anticiclônica que resultam em condições de céu claro e subsidência de ar quente da alta atmosfera (BLACK et al., 2004; GEIRINHAS et al., 2019). Alterações climáticas causadas pelas emissões de gases poluentes na atmosfera têm contribuído com a ocorrência das ondas de calor, os gases de efeito estufa causados principalmente por atividades antropogênicas absorvem radiação infravermelha e aprisiona calor na atmosfera (BARRIOPEDRO et al., 2011b; FISCHER; KNUTTI, 2015), aumentando a formação das ondas de calor. Caracterizadas por condições quentes incomuns, persistentes por pelo menos dois dias consecutivos às ondas de calor mostram crescentes tendências de frequência, intensidade e duração, com maior extensão espacial (GERALD A.; TEBALDI, 2004; PERKINS; ALEXANDER; NAIRN, 2012; SENEVIRATNE et al., 2014).

As ondas de calor causam impactos em diversos setores socioeconômicos (IOANNOU et al., 2017; KJELLSTROM et al., 2016; POGAČAR et al., 2018), ecossistêmicos (BASTOS et al., 2014; GUSSO et al., 2014) e saúde pública (GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011; SCHMIDT, 2022). Temperaturas extremamente quentes acarretam estresse ao organismo (CHENG; SU, 2010; HE et al., 2019; KHATANA; WERNER; GROENEVELD, 2022), afetam principalmente a população mais vulnerável, como grupos socioeconômicos desfavorecidos, idosos e doentes pré-existentes (ÅSTRÖM et al., 2013; ROCKLO et al.,

2014), agravando algumas doenças, principalmente Doenças do Aparelho Cardiovasculares (DAC). As DAC são as principais causas de morte e incapacidade no mundo, inclusive no Brasil, são mais de 300 mil óbitos anualmente. As DAC são atribuídas a diversos fatores individuais e comportamentais como tabagismo, uso prejudicial de álcool, dieta inadequada, inatividade física, hipertensão, hiperlipidemia e diabetes (ARBOIX, 2015). Atualmente, estudos mostram o aumento do risco de morte por DAC associado a elevadas temperaturas e ondas de calor em área urbana (LEE et al., 2018; LIU et al., 2011; MARTINI; BIONDI; BATISTA, 2020).

O ambiente urbano induz à formação das Ilhas de Calor Urbanas (ICU) (MATHEW; KHANDELWAL; KAUL, 2016) que contribui com a ocorrência das ondas de calor nas áreas urbanas, formando o efeito sinérgico entre os dois fenômenos, assim o estresse térmico adicional das ondas de calor nas cidades se torna maior (LI; BOU-ZEID, 2013). O aumento das populações urbanas e a projeção de que as ondas de calor serão mais frequentes, intensas e duradouras ressaltam sérios riscos à saúde dos residentes urbanos. Portanto, investigações sobre influências de fatores ambientais na saúde da população são importantes para orientar estratégias de promoção da saúde, adaptação e mitigação no ambiente urbano. O objetivo deste trabalho é estimar os efeitos de ondas de calor na mortalidade por doenças cardiovasculares no município do Rio de Janeiro.

4.3.2 Método

4.3.2.1 População de estudo

As populações estudadas foram adultos com idade igual ou superior a 30 anos de idades, residentes no município do Rio de Janeiro (Figura 1). O município é a segunda metrópole do Brasil, está localizado na região Sudeste, ocupa área territorial de 1200,255 km², com população em 6.688.927 habitantes em 2010, dos quais 3.570.128 (53,37%) eram adultos com 30 anos e mais, densidade demográfica de 5.265,82 habitantes por km² (IBGE, 2010).

4.3.2.2 Desenho de estudo e Fonte de dados

Estudo ecológico de série temporal realizado no município do Rio de Janeiro, durante o ano de 2010. Registros diários de mortalidade de residentes por DAC, Capítulo IX da Décima Revisão da Classificação Internacional de Doenças—CID-10 (I00-I99)—códigos em adultos com 30 anos ou mais. Os dados de mortalidade foram obtidos a partir do banco de dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2010, no Sistema de Informações de Mortalidade do Sistema Único de Saúde (SUS). Para obtenção dos dados de mortalidade o SUS disponibiliza informações de todos os óbitos, mortalidade segundo códigos da CID-10.

Os dados de temperatura foram obtidos por meio das estações meteorológicas automáticas do Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET). Os dados faltantes foram imputados, utilizando o método baseado no algoritmo Expectation Maximization (EM), implementado na biblioteca Multivariate Time Series Data Imputation (mtsdi) no programa R (JUNGER; LEON, 2015). Na imputação foram utilizadas as médias das máximas diárias da variável meteorológica temperatura obtida do modelo ERA-Interim, do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). O padrão temporal foi modelado por modelos aditivos generalizados (GAM) e ajustado por uma spline natural da variável tempo com 4 graus de liberdade por ano e uma variável indicadora de dias da semana.

O ERA-Interim é uma reanálise atmosférica global realizada pelo Centro Europeu de Previsão do Tempo (ECMWF). Atualizado duas vezes ao dia, disponibiliza dados de seis em seis horas, com a possibilidade de customizar a área desejada. Após a extração da variável temperatura, os dados foram municipalizados. Para esse processo foi utilizado o método Apportionment Methods com o cálculo da média ponderada dos grids cobertos para cada município.

4.3.2.3 Definições de Onda de Calor

A onda de calor foi definida a partir dos percentis da distribuição da temperatura específica para cada capital brasileira, acima do critério de intensidade, durante o período de 1979 a 1999, parâmetro meteorológico característico da onda de calor para o período de 2010.

Foram considerados dois dias ou mais consecutivos com percentil maior igual 90 (1), 95 (2), 99 (3), três dias ou mais consecutivos com percentil maior igual 90 (4), 95 (5) e 99 (6) e, cinco dias ou mais consecutivos com percentil maior igual 90 (7), 95 (8) e 99 (9). Foi realizada a inclusão de variáveis indicadoras para identificar o limiar na temperatura, a partir da seguinte operação:

$$OC(p) = I [t \geq v(p)] \quad (1)$$

Onde t é a temperatura com percentis 90, 95, 99.

I é o índice equivalente a 1, se ultrapassar o valor especificado pelo percentil.

V é o valor da temperatura especificado pelo percentil.

4.3.2.4 Duração da Onda de Calor

A duração da onda de calor caracteriza um efeito adicional, uma vez que permite que o risco dependa dos dias consecutivos acima do limite do percentil.

4.3.2.5 Análise estatística

O efeito do calor é analisado por duas funções, a primeira pelo efeito sem adição da duração e a segunda com as nove definições consideradas.

Expressão álgebra:

$$\log[Y(i)] = \alpha + \sum w(ti) + OC.t + d \quad (2)$$

Onde Y_i é definido como a contagem de mortalidade, assumida pela distribuição de Quasipoisson para evitar a superdispersão. A estratégia da análise consistiu em modelar a sazonalidade por meio de funções splines por w definido como dias de semana e t_i definido

como tempo, com grau de liberdade (GL) 3. O efeito sem duração é definido pela função de efeito modificador $OC \cdot t$ definido como onda de calor multiplicado pela temperatura. O efeito adicional da duração do calor é definido pela função d .

4.3.2.6 Análise de sensibilidade

Dadas as várias suposições relacionadas à análise, foi realizada uma análise de sensibilidade dos parâmetros para o modelo específico para a função d . Especificamente, foram modificados os dias de durações da onda nos modelos mais suaves com percentil 90 até o mais estrito com percentil 99.

As análises foram realizadas por meio do programa estatístico R versão 3.5.1.

4.3.3 Resultados

A média diária da temperatura durante o período de ondas de calor foi de 37°C (tabela1). As temperaturas foram mais elevadas entre os meses de janeiro a março (figura 1). O máximo da duração das ondas de calor foi 22 dias consecutivos conforme os critérios utilizados, com variação de temperatura entre 35,7 a 41,8°C. Ressalta que durante o período de 01/01/2010 a 24/02/2010, apenas quatro dias não foram classificados como onda de calor, indicando que durante estes 56 dias pode ter ocorrido uma única extensa onda de calor, marcando 46°C de temperatura aparente no dia 23/02/2010. De acordo com as definições utilizadas ocorreram 22, 15 e 12 ondas de calor com dois dias ou mais consecutivos com percentil 90, 95 e 99 no ano de 2010.

Os óbitos por DAC em adultos maior igual a 30 anos registrou a média diária de 41,15, foram mais elevados entre janeiro e fevereiro (figura 1), período com uma extensa onda de calor. Os coeficientes de correlação de ondas de calor e duração das ondas de calor com os desfechos de saúde estudados foram positivos (tabela 2).

A tabela 3 mostra o percentual do Risco Relativo (%RR) para óbitos por DAC no ano de 2010, com o efeito sem adição da duração e as nove definições utilizadas. O efeito sem adição tem maior %RR para os óbitos por DAC, variou entre 5,22 (IC 95% 3,46; 7,01) e 6,84

(IC 95% 4,56; 9,18). O efeito da duração de dias consecutivos mostra pequena redução no %RR durante o aumento dos dias de onda de calor, variando entre 4,66 (IC 95% 2,31; 7,07) e 6,11 (IC 95% 3,81; 8,46) no município do Rio de Janeiro.

4.3.4 Discussão

Os resultados deste estudo evidenciaram o aumento de 6,84% (IC 95% 4,56; 9,18) nas mortalidades por DAC associadas às ondas de calor no município do Rio de Janeiro. Houve ocorrência de onda de calor no inverno, mas a maioria dos episódios ocorreram no verão. O %RR é mais elevado quando utilizado o modelo sem adição da duração de dias consecutivos da onda de calor, indicando possível adaptação da população conforme o decorrer dos dias de ondas de calor.

Resultado semelhante foi observado em estudos sobre morbimortalidade associadas a extremas temperaturas e ondas de calor realizado nos EUA e Vietnã (DANG et al., 2019; GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011). GEIRINHAS et al., 2019 realizaram estudo na região metropolitana do Rio de Janeiro durante o período de 2 a 11 de fevereiro de 2010 onde foram registrados 3006 óbitos por todas as causas, representando mais de 700 óbitos por excesso, associados aos eventos extremamente quentes ocorridos na região durante o verão, sendo mulheres e idosos os grupos mais afetados. O excesso de calor no ano de 2010 foi causado por um sistema anticiclônico quase estacionário sobre o Oceano Atlântico Sul e Sudeste da costa brasileira causando marcantes anomalias de temperatura, a circulação anticiclônica promoveu ventos catabáticos que resultaram na compressão abrupta do ar e no mecanismo de aquecimento adiabático na faixa costeira brasileira (GEIRINHAS et al., 2019).

Áreas urbanas com maiores densidades populacionais são mais vulneráveis ao calor (MA et al., 2015), por serem mais impactadas por estressores térmicos (AZEVEDO et al., 2015; MUSHORE et al., 2018). A substituição da vegetação por materiais impermeabilizantes induz a formação das ilhas de calor e modificam o efeito do calor (GOGGINS et al., 2012; MATHEW; KHANDELWAL; KAUL, 2016). As ilhas de calor e a intensificação do aumento contínuo de gases de efeito estufa tornam as ondas de calor mais intensas no verão (TZAVALI et al., 2015), exacerbam o desconforto térmico (BAKER et al., 2018; HORTON et al., 2016) e causam estresse térmico constante na população (LAAIDI et al., 2012; LI; BOU-ZEID, 2013).

O Rio de Janeiro está passando por uma rápida urbanização, com aumento de 15% no crescimento da população entre a década de 1990 e o ano de 2010. O município tem 763 aglomerados subnormais, 426.965 domicílios ocupados por 1.393.314 pessoas, a maior população residente em comunidades do Brasil (IBGE, 2010). As precárias condições de moradias com áreas de difícil circulação do vento, elevada densidade domiciliar e construções cobertas com fibrocimento aumentam de 10 a 12°C o ar circulante (MELLO; MARTINS; NETO, 2009), tal situação torna a população residente destes locais mais vulneráveis aos efeitos da exposição às elevadas temperaturas e ilhas de calor superficiais, exacerbando a morbimortalidade da população (DAVIS et al., 2021; GOGGINS et al., 2012; JOHNSON; WILSON, 2009). Estudo de projeção (DERECZYNSKI; SILVA; MARENGO, 2013) mostra que haverá o aumento entre 2°C e 5°C na temperatura máxima e 2°C e 4°C na temperatura mínima na cidade do Rio de Janeiro até o final do século, além de períodos secos mais longos.

Altas temperaturas causam falha na termorregulação corpórea e estão associadas a fatores de risco como aumento dos níveis de colesterol, pressão arterial, concentrações plasmáticas de fibrinogênio, viscosidade plaquetária e redução da resistência do sistema imunológico (CHENG e SU, 2010), principalmente nos grupos considerados vulneráveis (GORDON e LEON, 2005). Para restaurar o equilíbrio e manter a temperatura constante em condições de calor, o hipotálamo recebe sinais sensoriais e provoca vasodilatação cutânea, sudorese e inibição da produção de calor. As arteríolas cutâneas dilatam, aumentam o débito cardíaco e estimulam a perda de calor pelo mecanismo de vasodilatação por meio de mediadores do endotélio vascular e neuronais (GUYTON; HALL, 2006; SILVERTHOM, 2017), essa dissipação de calor para a periferia causa estresse ao sistema cardiovascular, especialmente quando debilitado por meio de processos patológicos. A pele secreta suor pelo mecanismo de resfriamento por meio dos neurônios simpáticos colinérgicos, a sudorese pode ser profusa em indivíduos aclimatados, que chegam a perder até 6 litros/hora de suor em ambientes quentes, causando desidratação (GUYTON; HALL, 2006; SILVERTHOM, 2017).

O estudo apresenta algumas limitações. Dentre estas, destaca-se ter sido utilizado um único ano de seguimento. Por outro lado, o ano de 2010 representa um ano com extrema e extensa onda de calor na cidade do Rio de Janeiro (GEIRINHAS et al., 2019), além de serem poucos os estudos sobre os efeitos das ondas de calor na segunda metrópole do país.

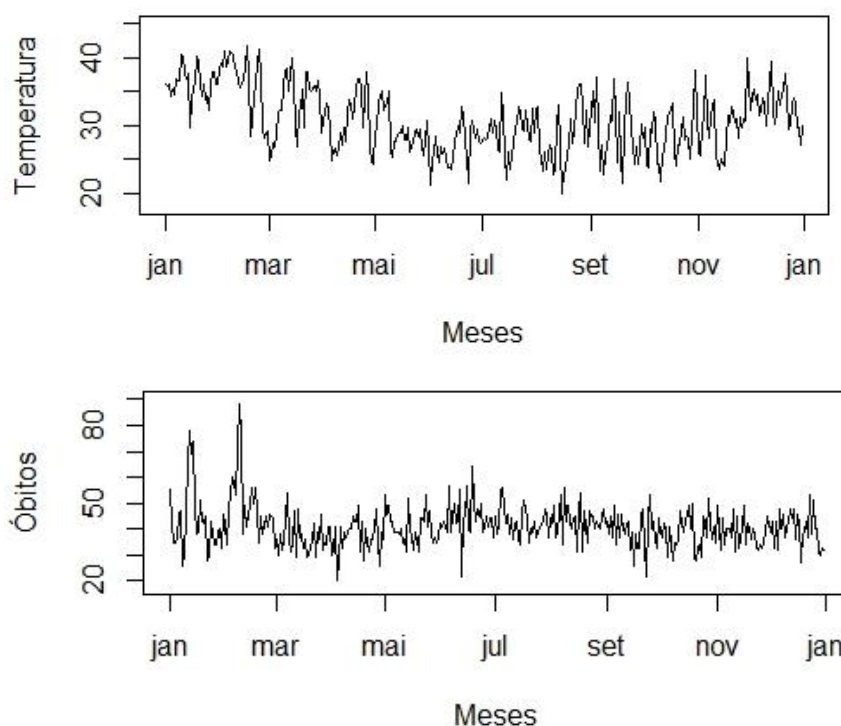
Apesar das limitações apontadas, é possível concluir que as ondas de calor estão associadas ao aumento do risco por mortalidade por doenças do aparelho circulatório no município do Rio de Janeiro no ano de 2010.

Tabela 6 - 7-1 – Estatística descritiva dos óbitos por Doenças do Aparelho Cardiovascular adultos ≥ 30 anos, ondas de calor. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

	Média Diária (DP)	Mínimo	P25	P50	P75	Máximo
Óbito por doenças cardiovasculares	41,15 (8,40)	20,00	36,00	40,00	45,00	88,00
Temperatura (°C)	30,82 (4,64)	19,80	27,20	30,20	34,40	41,80
Temperatua (°C) ondas de calor $p \geq 90$	37,09 (1,67)	34,00	35,70	36,70	38,17	41,80

Fonte: a autora, 2022

Figura 10 - 7-2 - Séries temporais diárias Temperatura (°C) e óbitos por Doenças do Aparelho Cardiovascular, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.



Fonte: a autora, 2022

Tabela 7 - 7-2– Matriz de correlação de Pearson dos óbitos por Doenças do Aparelho Cardiovascular adultos ≥ 30 anos, ondas de calor, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

Variáveis	Óbitos	Ondas de Calor	Duração p90
Óbitos	1,00		
Ondas de Calor	0,16*	1,00	
Duração p90	0,31*	0,74*	1,00

* p-valor < 0,05

Fonte: a autora, 2022

Tabela 8 -7-3 – Percentual de Risco Relativo dos óbitos por Doenças cerebrovasculares e isquêmicas em adultos ≥ 30 anos, ondas de calor. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

		Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%			
	Duração	Percentil	%RR	LI	LS
<i>Rio de Janeiro</i>					
	-	≥ 90	5,22*	3,46	7,01
	≥ 2 dias		5,00*	3,21	6,82
	≥ 3 dias		5,16*	3,38	6,97
	≥ 5 dias		5,00*	3,15	6,86
	-	≥ 95	6,84*	4,56	9,18
	≥ 2 dias		6,11*	3,81	8,46
	≥ 3 dias		5,97*	3,66	8,32
	≥ 5 dias		4,66*	2,31	7,07
	-	≥ 99	4,64	-0,69	10,26
	≥ 2 dias		4,18	-1,12	9,76
	≥ 3 dias		5,92*	0,51	11,63
	≥ 5 dias		5,92*	0,51	11,63

* p-valor < 0,05

Fonte: a autora, 2022

REFERÊNCIAS

- ARBOIX, A. Cardiovascular risk factors for acute stroke: Risk profiles in the different subtypes of ischemic stroke. **World Journal of Clinical Cases**, v. 3, n. 5, p. 418–429, 2015.
- ÅSTRÖM, C. et al. Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: A health impact assessment. **BMJ Open**, v. 3, n. 1, p. 1–7, 2013.
- AZEVEDO, P. V. DE et al. Characterization of human thermal comfort in urban areas of brazilian semiarid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 371–380, 2015.
- BAKER, H. S. et al. Higher CO₂ concentrations increase extreme event risk in a 1.5 °C world. **Nature Climate Change**, v. 8, n. July, 2018.
- BARRIOPEDRO, D. et al. The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. **SCIENCE**, v. 332, n. April, p. 220–224, 2011a.
- BASTOS, A. et al. Analysing the spatio-temporal impacts of the 2003 and 2010 extreme heatwaves on plant productivity in Europe. **Biogeosciences**, v. 11, p. 3421–3435, 2014.
- BLACK, E. et al. Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. **Royal Meteorological Society**, v. 59, n. 8, p. 217–223, 2004.
- CHENG, X.; SU, H. Effects of climatic temperature stress on cardiovascular diseases. **European Journal of Internal Medicine**, v. 21, n. 3, p. 164–167, 2010.
- DANG, T. N. et al. Effects of Extreme Temperatures on Mortality and Hospitalization in Ho Chi Minh City , Vietnam. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 16, n. 432, p. 1–12, 2019.
- DAVIS, L. et al. Air conditioning and global inequality. **Global Environmental Change**, v. 69, n. May, p. 102299, 2021.
- DERECZYNSKI, C.; SILVA, W. L.; MARENGO, J. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. **American Journal of Climate Change**, v. 02, n. 01, p. 25–33, 2013.
- DONG, W. et al. Impact of Heat Wave Definitions on the Added Effect of Heat Waves on Cardiovascular Mortality in Beijing , China. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 13, n. 933, 2016.
- FISCHER, E. M.; KNUTTI, R. Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 6, p. 560–564, 2015.
- GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B. The impact of heat waves on mortality. **Epidemiology**, v. 22, n. 1, p. 68–73, 2011.
- GEIRINHAS, J. L. et al. Science of the Total Environment Characterizing the atmospheric

conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 796–808, 2019.

GERALD A. MEEHL; CLAUDIA TEBALDI. More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. **Science**, v. 305, n. 5686, p. 994–997, 2004.

GOGGINS, W. B. et al. Effect Modification of the Association between Short- term Meteorological Factors and Mortality by Urban Heat Islands in Hong Kong. v. 7, n. 6, p. 9–14, 2012.

GUSSO, A. et al. Monitoring Heat Waves and Their Impacts on Summer Crop Development in Southern. **Agricultural Sciences**, n. March, p. 353–364, 2014.

HE, C. et al. Exploring the mechanisms of heat wave vulnerability at the urban scale based on the application of big data and artificial societies. **Environment International**, v. 127, n. August 2018, p. 573–583, 2019.

HORTON, R. M. et al. A Review of Recent Advances in Research on Extreme Heat Events. **Current Climate Change Reports**, v. 2, n. 4, p. 242–259, 20

IBGE, I. B. DE G. E E.-. Censo Demográfico 2010 Aglomerados Subnormais. p. 1–259, 2010.

IOANNOU, L. G. et al. Time-motion analysis as a novel approach for evaluating the impact of environmental heat exposure on labor loss in agriculture workers. **Temperature**, v. 4, n. 3, p. 330–340, 2017.

JOHNSON, D. P.; WILSON, J. S. The socio-spatial dynamics of extreme urban heat events: The case of heat-related deaths in Philadelphia. **Applied Geography**, v. 29, n. 3, p. 419–434, 2009.

JUNGER, W. L.; LEON, A. P. DE. Imputation of missing data in time series for air pollutants. **Atmospheric Environment**, v. 102, p. 96–104, 2015.

KHATANA, S. A. M.; WERNER, R. M.; GROENEVELD, P. W. Association of Extreme Heat With All-Cause Mortality in the Contiguous US, 2008-2017. **JAMA Network Open**, v. 5, n. 5, p. e2212957, 2022.

KJELLSTROM, T. et al. Climate Change and Labour : Impacts Of Heat in The Workplace Climate Change, Workplace Environmental Conditions, Occupational Health Risks, and Productivity – An Emerging Global Challenge to Decent Work, Sustainable Development and Social Equity. p. 1–36, 2016.

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 Temporal changes in mortality impacts of heat wave and cold spell in Korea and Japan. **Environment International**, v. 116, n. April, p. 136–146, 2018.

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. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 52, n. 9, p. 2051–2064, 2013.

LIU, L. et al. Associations between air temperature and cardio- respiratory mortality in the urban area of Beijing , China : a time-series analysis. **Environmental Health**, v. 10, n. 1, p. 51, 2011.

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.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Thermal comfort provided by street trees in cities. **Arboricultural Journal**, v. 42, n. 3, p. 153–164, 2020.

MATHEW, A.; KHANDELWAL, S.; KAUL, N. Spatial and temporal variations of urban heat island effect and the effect of percentage impervious surface area and elevation on land surface temperature: Study of Chandigarh city, India. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p. 264–277, 2016.

MEEHL, GERALD A.; TEBALDI, C. More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. **Science**, v. 305, n. 5686, p. 994–997, 2004.

MELLO, M. A. R. DE; MARTINS, N.; NETO, J. L. S. A influência dos materiais construtivos na produção do clima urbano. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 27–40, 2009.

MUSHORE, T. D. et al. Outdoor thermal discomfort analysis in Harare, Zimbabwe in Southern Africa. **South African Geographical Journal**, v. 100, n. 2, p. 162–179, 201

PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V.; NAIRN, J. R. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 20, p. 1–5, 2012.

POGAČAR, T. et al. The effect of hot days on occupational heat stress in the manufacturing industry: implications for workers' well-being and productivity. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 7, p. 1251–1264, 2018.

ROCKLO, J. et al. Susceptibility to mortality related to temperature and heat and cold wave duration in the population of Stockholm County, Sweden. v. 1, p. 1–11, 2014.

SCHMIDT, R. Heating up. **Nature Climate Change**, v. 12, p. 693, 2022

SENEVIRATNE, S. I. et al. No pause in the increase of hot temperature extremes. **NATURE CLIMATE CHANGE**, v. 4, n. May, 2014.

TZAVALI, A. et al. Urban heat island intensity : A literature review URBAN HEAT ISLAND INTENSITY : A LITERATURE REVIEW. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 24, n. 12, p. 4537–4554, 2015.

4.4 Manuscrito 4 - Efeitos das ondas de calor e mortalidade por doenças cardiovasculares nas capitais brasileiras.

4.4.4 Introdução

Ondas de calor podem ser caracterizadas por condições quentes incomuns, persistentes por pelo menos dois dias consecutivos com início e cessação sútil e apresentam impacto discernível nas atividades humanas como desidratação, exaustão, redução de desempenho físico e psicológico, colapsos das funções vitais e óbitos (CHENG et al., 2019; KHATANA; WERNER; GROENEVELD, 2022; WEINBERGER et al., 2020). A população potencialmente mais vulnerável aos efeitos da exposição a temperaturas elevadas são grupos socioeconômicos desfavorecidos, idosos, doentes pré-existentes (ÅSTRÖM et al., 2013; ROCKLO et al., 2014), trabalhadores do campo (IOANNOU et al., 2017), da construção (KJELLSTROM et al., 2016), da indústria manufatureira (POGAČAR et al., 2018) e a população residente em áreas urbanas, regiões com pouco acesso ao espaço verde (BAMBRICK et al., 2011; LOUGHNAN et al., 2013).

O espaço urbano consiste em mosaicos complexos e espacialmente heterogêneos com diferentes classes de cobertura e uso de terra. As áreas de superfícies impermeáveis substituem a vegetação nas cidades e, aumentam a geração e o armazenamento de calor (WU, 2008). Diferentes temperaturas na área urbana formam correntes de ar quentes que facilitam a movimentação do ar e o transporte de poluentes atmosféricos em direção aos pontos mais quentes da cidade ocasionando intensificação do calor (ZHOU et al., 2014a). As modificações antropogênicas induzem à formação das ilhas de calor (MATHEW; KHANDELWAL; KAUL, 2016). Os efeitos das ilhas de calor estão associadas ao impacto crescente das ondas de calor nas populações (LAAIDI et al., 2012; TAN et al., 2010; WARD et al., 2016).

Estudos indicam que as ondas de calor estão relacionadas com diversas morbimortalidades, entre elas as doenças cardiovasculares (OUDIN ÅSTRÖM et al., 2015; SHERIDAN; LIN, 2014) e cerebrovasculares (YIN et al., 2018) e o seu impacto pode depender da duração e intensidade do calor (YIN; WANG, 2017; ZACHARIAS; KOPPE; MÜCKE, 2014). As Doenças do Aparelho Cardiovascular (DAC) são as causas com maior número de óbitos no mundo, são 17,9 milhões de mortes anualmente (WHO, 2021). No Brasil são responsáveis por mais de 390 mil óbitos por ano (OLIVEIRA et al., 2022). Entre as DAC, a cardiopatia isquêmica é a principal causa de morte cardiovascular no mundo e no território

nacional, seguida pelas doenças cerebrovasculares (FRANÇA et al., 2017; RIBEIRO et al., 2016; WHO, 2021). Portanto, o objetivo deste trabalho é estimar os efeitos das ondas de calor na mortalidade por doenças cardiovasculares nas capitais brasileiras. Além disso, foi investigada a modificação de efeito segundo a intensidade e duração das ondas de calor.

4.4.2 Método

4.4.2.1 Desenho de Estudo e Fonte de Dados

Estudo ecológico realizado nas 26 capitais brasileiras e o Distrito Federal, durante o período de 2000 a 2016. O período de análise considerou o ano todo, uma vez que a maioria das capitais apresentaram ondas de calor na estação inverno. Foram utilizados registros diários de mortalidade de residentes por DAC, Capítulo IX da Décima Revisão da Classificação Internacional de Doenças—CID-10—códigos, I20 a I25 doenças isquêmicas e I60 a I69 doenças cerebrovasculares em adultos com 30 anos ou mais. Os dados de mortalidade foram obtidos a partir do banco de dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) de 1º de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2016, no Sistema de Informações de Mortalidade do Sistema Único de Saúde (SUS).

Os dados de temperatura foram obtidos por meio das estações meteorológicas automáticas do Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET), exceto para as cidades de Campo Grande-MS e Porto Velho-RO. Para essas cidades foram utilizados os dados meteorológicos dos aeroportos, disponibilizados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados faltantes foram imputados utilizando o método baseado no algoritmo Expectation Maximization (EM), implementado na biblioteca Multivariate Time Series Data Imputation (mtsdi) no programa R (JUNGER; LEON, 2015). Na imputação, foram utilizadas as médias das máximas diárias da temperatura obtida do modelo ERA-Interim, do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Após a extração da variável temperatura, os dados foram municipalizados. Para esse processo, foi utilizado o método Apportionment Methods com o cálculo da média ponderada dos grids cobertos para cada município. O padrão temporal foi modelado por modelos aditivos generalizados (GAM) e ajustado por uma spline natural da

variável tempo com 4 graus de liberdade por ano e uma variável indicadora de dias da semana.

4.4.2.2 População e área de estudo

A população estudada foi adultos igual ou superior a 30 anos, nas capitais brasileiras e Distrito Federal. O grupo foi selecionado por ser os mais acometidos pelas DAC (BALBINOTTO; NUNES, 2008) e mais vulneráveis aos efeitos das ondas de calor e mudanças climáticas (CHEN et al., 2015; SHAPOSHNIKOV et al., 2014).

A área de estudo foram as 26 capitais brasileiras e o Distrito Federal. O Brasil é dividido em cinco regiões, sendo Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul. Os climas predominantes nas capitais são Tropical Zona Equatorial, Tropical Brasil Central, Tropical Nordeste Oriental, Zona Equatorial e Zona Temperada. Segundo o censo 2010, a população igual ou superior a 30 anos variou entre 90.735 e 6.008.369 habitantes, entre Palmas - TO e São Paulo – SP, sendo a capital menos populosa e mais populosa do país.

4.4.2.3 Definições de Ondas de Calor

As ondas de calor foram definidas a partir dos percentis da distribuição da temperatura específica para cada capital brasileira, acima do critério de intensidade, durante o período de 1979 a 1999, parâmetro meteorológico característico da onda de calor para o período de 2000 a 2016. Foram utilizados a combinação dos critérios de intensidade e duração de ondas de calor (HAJAT, 2006; ANDERSON, 2009; GASPARRINI 2011). Foram considerados dois dias ou mais consecutivos com percentil maior igual 90 (1), 95 (2), 99 (3), três dias ou mais consecutivos com percentil maior igual 90 (4), 95 (5) e 99 (6) e, cinco dias ou mais consecutivos com percentil maior igual 90 (7), 95 (8) e 99 (9). Foi realizada a inclusão de variáveis indicadoras para identificar o limiar na temperatura, a partir da seguinte operação:

$$OC(p) = I [t \geq v(p)]$$

Onde t é a temperatura com percentis 90, 95, 99.

I é o índice equivalente a 1, se ultrapassar o valor especificado pelo percentil.

V é o valor da temperatura especificado pelo percentil.

4.4.2.4 Duração da Onda de Calor

A duração da onda de calor caracteriza um efeito adicional, uma vez que permite que o risco dependa dos dias consecutivos acima do limite do percentil, a partir da seguinte operação:

$$d = I[t \geq v(p)] + I[t \geq v(p)]$$

Onde d é definido como dia consecutivo que a temperatura excedeu o limiar v. d igual a 0 são dias sem onda de calor, d igual a 2 é considerado uma onda de calor de 2 dias e assim por diante.

4.4.2.5 Análise estatística

O efeito do calor é analisado por duas funções, a primeira pelo efeito sem adição da duração e a segunda com as nove definições consideradas.

Expressão álgebra:

$$\log[Y(i)] = \alpha + \sum w(ti) + OC.t + d$$

Onde Yi é definido como a contagem de mortalidade, assumida pela distribuição de Quasipoisson para evitar a superdispersão. A estratégia da análise consistiu em modelar a sazonalidade por meio de funções splines por w definido como dias de semana e ti definido como tempo, com grau de liberdade (GL) 51 (17*3). O efeito sem duração é definido pela função de efeito modificador OC*t definido como onda de calor multiplicado pela temperatura. O efeito adicional da duração do calor é definido pela função d.

4.4.2.6 Análise de sensibilidade

Dadas as várias suposições relacionadas à análise, foi realizada uma análise de sensibilidade dos parâmetros para o modelo específico das capitais para a função d. Especificamente, foram modificados os dias de durações da onda nos modelos mais suaves com percentil 90 até o mais estrito com percentil 99.

As análises foram realizadas por meio do programa estatístico R versão 3.5.1.

4.4.3 Resultados

Nas cidades brasileiras e no Distrito Federal entre os anos de 2000 a 2016 foram registrados 792.056 óbitos por doenças isquêmicas do coração e cerebrovasculares. A média diária de óbitos por doenças isquêmicas do coração variou de 0,11 a 22,93 e por doenças cerebrovasculares variou de 0,12 a 14,76 entre Palmas e São Paulo (tabela 1). A média diária da temperatura durante as ondas de calor variou de 30,9°C a 40,3°C entre Curitiba e Cuiabá, entre os percentis 90 a 99 (tabela 2). A quantidade e duração máxima de ondas de calor variam conforme definição utilizada. A quantidade de ondas de calor variou de 21 a 269 entre Belo Horizonte e Belém, percentil 90, entre dois e cinco dias ou mais de duração. Variação de 0 a 36 entre Recife e Palmas, percentil 99, entre dois e cinco dias ou mais de duração. A duração máxima das ondas de calor foi de 70 dias em Macapá, percentil 90, e ausência em Recife, percentil 99. Ocorreram ondas de calor no inverno na maioria das capitais. A capital Rio Branco apresentou a maior quantidade de ondas de calor na estação inverno, foram 113 ondas.

A tabela 3 mostra o percentual do Risco Relativo (%RR) para óbitos por doenças isquêmicas e cerebrovasculares durante o período de 2000 a 2016 nas cidades estudadas, para cada definição utilizada. O efeito sem adição tem maior %RR e aumenta proporcionalmente ao critério de intensidade dos percentis na maioria das capitais. O efeito da duração de dias consecutivos mostra redução no %RR na maioria das capitais durante o aumento dos dias de onda de calor tanto para as doenças isquêmicas do coração quanto para as doenças cerebrovasculares. Exceto para a capital Salvador, o aumento variou de 9,11 (IC 95% 1,77; 16,97) a 9,70 (IC 95% 2,13; 17,82) entre 2 a 5 dias com percentil 90 para doenças isquêmicas do coração.

A definição mais rigorosa de dias com temperatura acima do percentil 99 durante 5 dias ou mais proporcionou o aumento de 12,39 (IC 95% 0,45; 25,75) em Porto Alegre para doenças cerebrovasculares e 161,88 (IC 95% 6,05; 546,74) em Boa Vista, 27,50 (IC 95%

0,01; 62,53) em Goiânia para doenças isquêmicas do coração, apesar de intervalos de confiança amplos.

Houve redução no %RR para óbitos por doenças cerebrovasculares em Palmas e Rio Branco, variação entre -26,32 (IC 95% -1,66; -44,81) e -29,43 (IC 95% -5,55; -47,28) entre 3 e 5 dias com percentil 90, e -15,36 (-2,50; -26,53) e -17,28 (-4,50; -28,36) entre 2 e 5 dias com percentil 95. Houve redução nos óbitos por doenças isquêmicas do coração em Maceió, com variação entre -18,95 (-9,22; -27,63) e -41,96 (-8,79; -63,07) entre 2 a 5 dias e percentis 90 a 99.

4.4.4 Discussão

Os resultados deste estudo evidenciaram o aumento nas mortalidades por doenças isquêmicas e cerebrovasculares nas capitais brasileiras. Houve ocorrência de onda de calor no inverno. O efeito sem adição tem maior %RR e aumenta proporcionalmente ao critério de intensidade dos percentis. Estes resultados corroboram as evidências de estudos internacionais que indicam uma associação entre ondas de calor e a mortalidade por doenças cerebrovasculares e doenças isquêmicas do coração na população adulta (OUDIN ÅSTRÖM et al., 2015; YIN et al., 2018; YIN; WANG, 2017). Os resultados variam conforme a definição utilizada. O %RR geralmente é mais elevado quando a função do efeito sem adição de duração dos dias consecutivos é utilizada. Este resultado é semelhante ao observado em estudos realizados nos EUA e Vietnã (DANG et al., 2019; GASPARRINI; ARMSTRONG, 2011).

O risco do óbito é maior no início da onda de calor para a maioria das capitais. A redução do risco no prolongamento da onda de calor sugere o efeito conhecido como “colheita”, onde idosos e grupos populacionais vulneráveis com saúde debilitada morrem em curto prazo (TOULEMON; BARBIERI, 2005). Estudo realizado em Beijing, China no período de 2000 a 2011 mostra que o risco por mortalidade por doenças isquêmicas do coração foi maior nos primeiros dois dias de onda de calor 31,0 (16,5; 45,6) com percentil 97,5 (TIAN et al., 2013). Estudo realizado em 272 cidades Chinesas, durante o período de 2013 a 2015, mostra que o Risco Relativo (RR) por mortalidade cardiovascular foram maiores nos primeiros dias de onda de calor com percentil $\geq 97,5$, foram 1,12 (IC95%: 1,07; 1,17) para doenças cerebrovasculares e 1,13 (IC95% 1,07; 1,19) para doenças isquêmicas do

coração para população em geral (YIN et al., 2018). Entretanto, a comparação entre os resultados pode ser comprometida devida diferenças metodológicas.

A capital Salvador mostra que quanto maior a duração da onda maior o risco de mortalidade por doenças isquêmicas do coração. Estudo realizado em Beijing, China no período de verão entre os meses de junho a agosto nos anos 2010-2012, observa que o aumento percentual do excesso de risco de mortalidade para população em geral foi 10,1 (IC 95% 1,1; 19,5) a partir do quarto dia e 51,0 (IC 95% 21,3; 88,1) a partir do quinto dia com temperaturas acima de 35°C (YIN; WANG, 2017). A capital Boa vista mostra o maior %RR, este resultado pode estar relacionado com a localização da capital, estudo mostra que populações residentes próximas da linha do equador têm maiores mudanças sazonais na Pressão Arterial Sistólica (PAS), o aumento de 1°C na temperatura interna reduz a PAS em média 0,31 mmHg (IC 95% -0,44; -0,19).

Altas temperaturas acarretam estresse ao organismo (CHENG e SU, 2010), dificulta o equilíbrio homeostático e aumenta a vulnerabilidade dos grupos considerados vulneráveis (GORDON e LEON, 2005). Para manter a temperatura constante o organismo provoca vasodilatação cutânea e suor severo. A vasodilatação aumenta o fluxo sanguíneo e causa estresse ao sistema cardiovascular. O suor severo reduz o volume plasmático e a pressão arterial (PA), aumenta a viscosidade do sangue, a concentração de colesterol, o número de hemácias e as plaquetas, estes fatores facilitam a formação de trombos, ateromas e interrompem o fluxo sanguíneo para os tecidos (CHENG; SU, 2010; KEATINGE et al., 1986). Altas temperaturas também têm sido associadas à síndrome da resposta inflamatória sistêmica e a interação da coagulação intravascular disseminada, este processo inflamatório resulta na falha do sistema de múltiplos órgãos e nas doenças cardiovasculares. As lesões no endotélio vascular são provocadas por fibrinólise, os pequenos coágulos circulantes podem resultar em trombose microvascular ou hemorragia (LEON; HELWIG, 2010).

As doenças cardiovasculares são desfechos com muitas causas associadas, mas fatores de risco podem contribuir com o aumento da mortalidade por calor. A vulnerabilidade das pessoas ao calor depende de fatores climáticos, fatores de risco individuais e comportamentais, como frequência e duração das ondas de calor (YIN; WANG, 2017), idade (HAJAT; KOVATS; LACHOWYCZ, 2007), gênero (YIN; WANG, 2017), doenças pré-existentes (ROCKLO et al., 2014), uso de medicamentos (HOFFMANN et al., 2016; SCHWARTZ, 2005), nível de hidratação (RIKKERT; MELIS; CLAASSEN, 2009), condições de moradia que aprisionam calor, morar desacompanhado ou em casas de repouso (FOUILLET et al., 2006; SEMENZA et al., 1996), baixa escolaridade, níveis

socioeconômicos desfavorecidos (MICHELOZZI et al., 2005) e não fazer uso de ar condicionado (SEMENZA et al., 1996).

Os resultados mostram que as capitais Palmas, Rio Branco e Maceió reduziram o %RR para mortalidade do desfecho estudado, indicando adaptação da população destas localidades. Estudos indicam adaptação ao calor por mortalidade geral principalmente na população idosa nas últimas décadas em Nova York e França (PETKOVA; GASPARRINI; KINNEY, 2014; TODD; VALLERON, 2015). Alguns fatores influenciam a adaptação ao calor, o ar condicionado tem efeito protetor na morbimortalidade relacionada ao calor (OSTRO et al., 2010; BRAGA; ZANOBETTI; SCHWARTZ, 2001) e sua posse aumentou 9,0% ao ano nas residências brasileiras entre 2005 e 2017 (EPE, 2018). No entanto, o aumento no consumo da eletricidade poderá aumentar o aquecimento global por meio das emissões de dióxido de carbono. Além disso, o indivíduo pode ter uma resposta adaptativa ao ambiente quente e tolerar a exposição ao calor excessivo. Esta adaptação pode demorar de duas a seis semanas e inclui ajuste dos sistemas cardiovascular, endócrino e renal. Há o aumento de volume sistólico, redução da frequência cardíaca máxima, expansão do volume plasmático e taxa de filtração, portanto, menos trabalho para os músculos cardíacos. Além disso, a transpiração apresenta o teor de cloreto de sódio reduzido, resultando em dissipação de calor eficiente e com menos desidratação (GUYTON; HALL, 2006).

Conclui-se que ondas de calor estão associadas ao aumento da mortalidade por doenças cerebrovasculares e isquêmicas do coração nas capitais brasileiras. O risco do óbito é maior no início da onda de calor. As populações de algumas capitais indicam estarem adaptadas às ondas calor. Os resultados desta pesquisa podem auxiliar no planejamento de estratégias para mitigar o impacto das ondas de calor na saúde humana.

Tabela 9 - 8-1 - Estatística descritiva das populações e óbitos por capitais.

Região/ Cidades	População	População ≥ 30 anos	Óbito por doenças hemorrágicas			Óbito por doenças isquêmicas		
			Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima
Centro-Oeste								
Brasília	2.570.160	1.226.697	2,33	0,00	11,00	1,89	0,00	9,00
Campo Grande	786.797	391.357	1,09	0,00	7,00	1,19	0,00	9,00
Cuiabá	551.098	264.730	0,62	0,00	5,00	0,50	0,00	5,00
Goiânia	1.302.001	655.349	1,31	0,00	8,00	1,54	0,00	8,00
Nordeste								
Aracaju	571.149	276.977	0,70	0,00	5,00	0,49	0,00	4,00
Fortaleza	2.452.185	1.179.890	2,95	0,00	11,00	1,93	0,00	10,00
João Pessoa	723.515	359.998	1,02	0,00	7,00	0,96	0,00	6,00
Maceió	932.748	441.279	1,50	0,00	7,00	0,98	0,00	6,00
Natal	803.739	397.254	0,85	0,00	6,00	1,25	0,00	7,00
Recife	1.537.704	809.162	2,34	0,00	10,00	3,11	0,00	12,00
Salvador	2.675.656	1.368.955	3,19	0,00	11,00	2,35	0,00	10,00
São Luís	1.014.837	453.591	1,30	0,00	9,00	0,94	0,00	7,00
Teresina	814.230	377.657	1,28	0,00	8,00	0,82	0,00	6,00
Norte								
Belém	1.393.399	669.761	1,93	0,00	9,00	1,46	0,00	7,00
Boa Vista	284.313	110.407	0,19	0,00	4,00	0,13	0,00	3,00
Macapá	398.204	149.692	0,28	0,00	3,00	0,15	0,00	4,00
Manaus	1.802.014	751.690	1,54	0,00	9,00	0,94	0,00	7,00
Palmas	228.332	90.735	0,12	0,00	3,00	0,11	0,00	3,00
Porto Velho			0,39	0,00	5,00	0,25	0,00	4,00
Rio Branco	228.332	136.269	0,31	0,00	5,00	0,17	0,00	4,00
Sudeste								
Belo Horizonte	2.375.151	1.293.331	3,00	0,00	13,00	2,32	0,00	9,00
Rio de Janeiro	6.300.446	3.570.128	11,32	0,00	30,00	13,12	2,00	31,00
São Paulo	11.253.503	6.008.369	14,76	2,00	32,00	22,93	7,00	50,00
Vitória	327.801	175.900	0,39	0,00	5,00	0,38	0,00	5,00
Sul								
Curitiba	1.751.907	938.131	2,15	0,00	9,00	2,80	0,00	11,00
Florianópolis	421.240	228.190	0,33	0,00	4,00	0,68	0,00	6,00
Porto Alegre	1.409.351	793.406	2,93	0,00	11,00	3,12	0,00	13,00

Fonte: a autora, 2022

Tabela 10 - 8-2 – Percentual de Risco Relativo dos óbitos por Doenças cerebrovasculares e isquêmicas em adultos ≥ 30 anos, ondas de calor. Capitais brasileiras. Brasil, 2000 a 2016.

Capitais	Duração	Percentil	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%			Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
			%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Região Norte								
Belém								
	-	≥90	2,75	-5,67	11,94	7,89	-2,36	19,21
	≥ 2 dias		3,83	-4,98	13,39	8,98	-1,68	20,80
	≥ 3 dias		3,55	-5,36	13,30	10,93	-0,10	23,19
	≥ 5 dias		3,29	-5,65	13,09	10,11	-0,93	22,39
	-	≥95	4,16	-7,34	17,09	4,65	-8,70	19,95
	≥ 2 dias		2,46	-9,17	15,57	2,66	-10,80	18,16
	≥ 3 dias		2,54	-9,05	15,60	4,33	-9,27	19,97
	≥ 5 dias		2,83	-8,87	16,03	6,44	-7,54	22,55
	-	≥99	0,51	-23,31	31,73	-16,50	-40,81	17,78
	≥ 2 dias		0,67	-24,04	33,42	-18,00	-43,02	18,01
	≥ 3 dias		-2,41	-26,23	29,11	-18,19	-42,68	16,75
	≥ 5 dias		-	-	-	-	-	-
Boa Vista								
	-	≥90	-11,51	-22,57	1,11	0,81	-14,82	19,30
	≥ 2 dias		-11,73	-22,75	0,87	0,86	-14,91	19,56
	≥ 3 dias		-11,67	-22,67	0,89	1,46	-14,46	20,34
	≥ 5 dias		-11,58	-22,63	1,04	1,51	-14,50	20,54
	-	≥95	3,89	-17,61	31,01	11,70	-14,16	45,36
	≥ 2 dias		2,12	-18,42	27,84	7,84	-16,32	38,99
	≥ 3 dias		3,63	-17,83	30,70	7,20	-16,70	37,96
	≥ 5 dias		3,11	-18,44	30,35	7,95	-17,03	40,45
	-	≥99	-6,66	-91,79	35,63	99,54	-5,27	320,31
	≥ 2 dias		-64,03	-91,54	53,65	59,20	-27,53	249,75
	≥ 3 dias		-48,63	-88,72	134,11	95,35	-18,39	367,69
	≥ 5 dias		-49,66	-89,12	132,95	161,88*	6,05	546,74
Macapá								
	-	≥90	-7,20	-23,76	12,96	-14,76	-35,26	12,21
	≥ 2 dias		-10,24	-26,58	9,72	-15,85	-36,33	11,21
	≥ 3 dias		-12,01	-28,16	7,78	-17,06	-37,48	10,04
	≥ 5 dias		-9,38	-26,00	10,98	-17,70	-38,13	9,46
	-	≥95	-4,52	-26,79	24,54	-16,06	-42,43	22,40
	≥ 2 dias		-4,47	-27,00	25,01	-19,60	-45,40	18,38
	≥ 3 dias		-5,59	-28,13	24,02	-14,69	-41,95	25,37
	≥ 5 dias		-6,03	-28,33	23,20	-13,53	-40,82	26,35
	-	≥99	10,25	-35,52	88,51	-28,43	-71,18	77,71
	≥ 2 dias		11,17	-34,64	89,07	-27,74	-71,03	80,22
	≥ 3 dias		9,83	-36,12	88,81	-29,00	-71,63	77,71
	≥ 5 dias		9,47	-36,29	88,07	-32,40	-73,05	69,54

		Óbitos por doenças cerebrovasculares				Óbitos por doenças isquêmicas		
		IC 95%		IC 95%		IC 95%		
		%RR		%RR		%RR		
Duração	Percentil	LI	LS	LI	LS	LI	LS	
Manaus								
	-	≥90	5,62	-0,25	11,84	4,45	-2,80	12,24
	≥ 2 dias		4,04	-1,98	10,42	6,67	-1,04	14,99
	≥ 3 dias		3,51	-2,68	10,10	5,81	-2,07	14,34
	≥ 5 dias		3,28	-2,88	9,83	5,27	-2,56	13,73
	-	≥95	1,25	-6,67	9,85	5,37	-4,85	16,68
	≥ 2 dias		1,13	-7,15	10,14	6,71	-4,08	18,73
	≥ 3 dias		0,75	-7,73	10,02	7,77	-3,47	20,31
	≥ 5 dias		2,29	-6,50	11,91	9,32	-2,31	22,34
	-	≥99	-5,29	-24,71	19,13	5,25	-27,93	24,57
	≥ 2 dias		-7,63	-27,15	17,11	1,24	-24,59	35,91
	≥ 3 dias		-9,16	-28,40	15,24	-0,32	-25,96	34,20
	≥ 5 dias		-8,24	-27,00	15,31	-4,50	-27,82	26,34
Palmas								
	-	≥90	-9,88	-24,83	8,02	2,58	-14,55	23,16
	≥ 2 dias		-10,89	-26,07	7,40	0,83	-16,52	21,79
	≥ 3 dias		-9,60	-25,45	9,62	-0,25	-17,87	21,15
	≥ 5 dias		-10,81	-26,62	8,40	-6,24	-23,13	14,37
	-	≥95	-25,00*	-43,12	-1,11	2,67	-21,54	34,34
	≥ 2 dias		-24,37	-43,20	0,70	-0,93	-25,12	31,06
	≥ 3 dias		-26,32*	-1,66	-44,81	-4,36	-27,95	26,95
	≥ 5 dias		-29,43*	-5,55	-47,28	-6,53	-29,85	24,56
	-	≥99	-9,75	-61,81	113,30	-3,87	-56,85	114,17
	≥ 2 dias		-20,53	-66,07	91,78	-3,69	-57,33	117,42
	≥ 3 dias		-9,62	-62,21	116,16	-10,52	-60,26	101,52
	≥ 5 dias		-9,02	-61,59	115,51	-4,21	-56,90	112,89
Porto Velho								
	-	≥90	-1,11	-11,42	10,39	-1,26	-12,75	11,74
	≥ 2 dias		-5,80	-16,04	5,68	-3,63	-15,29	9,63
	≥ 3 dias		-3,33	-14,03	8,71	-0,57	-12,83	13,42
	≥ 5 dias		-1,24	-12,06	10,91	1,73	-10,67	15,86
	-	≥95	-15,80	-30,57	2,11	-3,28	-21,08	18,52
	≥ 2 dias		-16,73	-31,80	1,67	-2,43	-20,89	20,33
	≥ 3 dias		-15,03	-30,56	3,96	3,79	-15,92	28,13
	≥ 5 dias		-15,43	-30,76	3,30	5,95	-13,92	30,39
	-	≥99	-22,39	-58,57	45,38	-1,21	-49,00	51,41
	≥ 2 dias		-36,94	-67,63	22,81	0,53	-42,50	75,75
	≥ 3 dias		-33,25	-65,56	29,39	3,08	-41,83	82,66
	≥ 5 dias		-32,17	-64,32	28,93	-9,24	-47,84	57,94

Capitais	Duração	Percentil	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%			Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
			%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Rio Branco	-	≥90	-13,74*	-1,15	-24,72	12,67	-2,95	30,80
	≥ 2 dias		-15,36*	-2,50	-26,53	12,85	-3,47	31,93
	≥ 3 dias		-17,28*	-4,50	-28,36	13,30	-3,26	32,69
	≥ 5 dias		-16,30*	-3,18	-27,64	13,81	-3,15	33,73
	-	≥95	-11,78	-30,07	1,13	3,30	-18,76	31,35
	≥ 2 dias		-17,72	-35,48	4,94	0,21	-22,00	28,75
	≥ 3 dias		-16,70	-34,91	6,59	3,30	-19,93	33,28
	≥ 5 dias		-17,04	-35,41	6,55	-1,57	-23,76	27,08
	-	≥99	-27,09	-63,81	46,86	50,63	-18,20	177,38
	≥ 2 dias		-22,88	-64,75	68,74	55,09	-22,19	209,15
	≥ 3 dias		-34,48	-69,53	40,89	52,88	-21,76	198,77
	≥ 5 dias		-31,91	-69,71	53,02	20,22	-41,80	148,34

Capitais	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%					Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
	Duração	Percentil	%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Região Nordeste								
Aracaju								
	-	≥90	1,35	-12,50	17,40	1,76	-15,15	22,04
	≥ 2 dias		3,74	-10,57	20,35	2,08	-15,10	22,75
	≥ 3 dias		3,59	-10,83	20,34	-1,16	-18,01	19,15
	≥ 5 dias		1,10	-13,14	17,68	-1,81	-18,75	18,66
	-	≥95	2,21	-15,77	24,04	-2,43	-23,56	24,49
	≥ 2 dias		2,46	-15,73	24,69	-3,57	-24,68	23,45
	≥ 3 dias		2,16	-16,03	24,29	-3,86	-24,92	23,11
	≥ 5 dias		2,03	-16,28	24,35	-5,18	-26,20	21,82
	-	≥99	25,98	-13,62	83,74	4,53	-37,96	76,13
	≥ 2 dias		25,48	-13,68	82,41	5,45	-38,29	80,20
	≥ 3 dias		28,47	-11,39	86,25	-1,68	-43,21	70,20
	≥ 5 dias		28,46	-11,50	86,46	0,60	-41,21	72,15
Fortaleza								
	-	≥90	1,51	-1,85	4,98	0,67	-3,39	4,89
	≥ 2 dias		1,40	-1,96	4,88	0,47	-3,59	4,69
	≥ 3 dias		1,57	-1,81	5,07	0,50	-3,57	4,74
	≥ 5 dias		1,39	-1,98	4,87	0,71	-3,36	4,95
	-	≥95	-0,05	-4,20	4,29	3,77	-1,58	9,42
	≥ 2 dias		-0,19	-4,35	4,16	3,91	-1,47	9,57
	≥ 3 dias		-0,22	-4,39	4,13	3,80	-1,58	9,48
	≥ 5 dias		-0,00	-4,17	4,34	3,94	-1,43	9,60
	-	≥99	1,32	-7,47	10,95	-1,40	-11,79	10,23
	≥ 2 dias		2,12	-6,79	11,88	-0,66	-11,19	11,11
	≥ 3 dias		1,36	-7,45	11,01	-1,26	-11,73	10,45
	≥ 5 dias		1,34	-7,46	10,98	-1,11	-11,54	10,55
João Pessoa								
	-	≥90	-4,05	-10,57	2,95	-2,13	-8,56	4,74
	≥ 2 dias		-2,11	-9,52	5,91	-4,85	-11,53	2,34
	≥ 3 dias		0,61	-7,21	9,10	-4,60	-11,49	2,82
	≥ 5 dias		-3,66	-10,94	4,22	-5,38	-12,13	1,89
	-	≥95	-2,01	-11,11	8,02	-6,01	-13,91	2,60
	≥ 2 dias		0,66	-10,94	12,36	-6,74	-15,22	2,60
	≥ 3 dias		1,60	-8,96	13,38	-8,03	-16,29	1,04
	≥ 5 dias		-2,15	-12,02	8,82	-6,03	-14,54	3,34
	-	≥99	14,15	-7,86	41,41	-14,96	-28,84	16,21
	≥ 2 dias		20,22	-8,04	57,19	-12,66	-30,38	9,56
	≥ 3 dias		16,28	-9,27	49,02	-3,94	-22,21	18,62
	≥ 5 dias		12,03	-11,38	41,64	-9,04	-25,46	10,99

Capitais	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%					Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
	Duração	Percentil	%RR			%RR		
				LI	LS		LI	LS
Maceió	-	≥90	1,42	-6,60	10,13	-18,19*	-8,43	-26,91
	≥ 2 dias		1,87	-6,28	10,75	-19,21*	-9,50	-27,88
	≥ 3 dias		2,05	-6,11	10,93	-20,40*	-10,84	-28,94
	≥ 5 dias		2,17	-6,04	11,11	-18,95*	-9,22	-27,63
	-	≥95	0,05	-11,55	13,18	-23,90*	-8,73	-36,56
	≥ 2 dias		-1,62	-13,22	11,53	-25,41*	-10,43	-37,88
	≥ 3 dias		-0,72	-12,40	12,52	-24,30*	-9,06	-37,00
	≥ 5 dias		0,58	-11,41	14,19	-24,83*	-9,42	-37,62
	-	≥99	-16,00	-34,96	8,50	-43,11*	-11,05	-63,84
	≥ 2 dias		-15,94	-35,19	9,01	-41,81*	-6,76	-67,60
	≥ 3 dias		-15,78	-34,94	9,01	-40,08*	-5,65	-61,94
	≥ 5 dias		-15,70	-34,69	8,80	-41,96*	-8,79	-63,07
Maceió	-	≥90	1,42	-6,60	10,13	-18,19*	-8,43	-26,91
	≥ 2 dias		1,87	-6,28	10,75	-19,21*	-9,50	-27,88
	≥ 3 dias		2,05	-6,11	10,93	-20,40*	-10,84	-28,94
	≥ 5 dias		2,17	-6,04	11,11	-18,95*	-9,22	-27,63
	-	≥95	0,05	-11,55	13,18	-23,90*	-8,73	-36,56
	≥ 2 dias		-1,62	-13,22	11,53	-25,41*	-10,43	-37,88
	≥ 3 dias		-0,72	-12,40	12,52	-24,30*	-9,06	-37,00
	≥ 5 dias		0,58	-11,41	14,19	-24,83*	-9,42	-37,62
	-	≥99	-16,00	-34,96	8,50	-43,11*	-11,05	-63,84
	≥ 2 dias		-15,94	-35,19	9,01	-41,81*	-6,76	-67,60
	≥ 3 dias		-15,78	-34,94	9,01	-40,08*	-5,65	-61,94
	≥ 5 dias		-15,70	-34,69	8,80	-41,96*	-8,79	-63,07
Natal	-	≥90	-13,59	-28,38	4,26	7,17	-7,90	24,71
	≥ 2 dias		-14,11	-28,95	3,85	7,38	-7,84	25,11
	≥ 3 dias		-14,82	-29,78	3,31	6,74	-8,63	24,71
	≥ 5 dias		-17,28	-32,12	0,82	6,87	-8,85	25,29
	-	≥95	-12,72	-30,58	9,73	12,43	-6,40	35,05
	≥ 2 dias		-16,38	-33,95	5,87	12,85	-6,38	36,03
	≥ 3 dias		-14,86	-33,09	8,33	17,03	-3,23	41,55
	≥ 5 dias		-15,58	-34,21	8,32	20,26	-1,12	46,28
	-	≥99	-25,04	-53,88	21,83	16,67	-17,76	65,62
	≥ 2 dias		-15,15	-48,15	38,86	18,12	-17,45	69,03
	≥ 3 dias		-13,30	-47,57	43,37	18,70	-17,78	71,36
	≥ 5 dias		-10,47	-47,17	51,73	13,78	-23,04	68,20

Capitais	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%					Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
	Duração	Percentil	%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Recife								
-	≥90	9,58	-0,33	20,48	-0,00	-8,13	8,85	
≥ 2 dias		8,07	-1,98	19,17	-1,28	-9,55	7,75	
≥ 3 dias		10,42	-0,02	21,95	-0,74	-9,21	8,53	
≥ 5 dias		9,90	-0,80	21,76	1,03	-7,85	10,75	
-	≥95	3,42	-10,37	19,34	-8,36	-19,61	4,44	
≥ 2 dias		0,61	-13,40	16,88	-10,02	-21,56	3,21	
≥ 3 dias		4,04	-10,37	20,78	-8,00	-19,76	5,46	
≥ 5 dias		3,06	-11,25	19,68	-4,66	-16,75	9,17	
-	≥99	-	-	-	-	-	-	
≥ 2 dias		-	-	-	-	-	-	
≥ 3 dias		-	-	-	-	-	-	
≥ 5 dias		-	-	-	-	-	-	
Salvador								
-	≥90	0,80	-4,88	6,81	8,70*	1,64*	16,26*	
≥ 2 dias		0,31	-5,53	6,51	9,11*	1,77	16,97	
≥ 3 dias		0,84	-5,10	7,15	9,17*	1,75	17,14	
≥ 5 dias		0,90	-5,13	7,30	9,70*	2,13	17,82	
-	≥95	0,92	-9,51	8,47	9,84	-0,91	21,75	
≥ 2 dias		-0,51	-9,33	9,16	9,43	-1,56	21,64	
≥ 3 dias		-2,02	-10,78	7,60	9,79	-1,33	22,16	
≥ 5 dias		-0,08	-9,27	10,04	8,98	-2,40	21,70	
-	≥99	5,30	-17,84	34,97	-13,26	-35,07	15,89	
≥ 2 dias		3,21	-20,26	33,59	-15,24	-37,24	14,47	
≥ 3 dias		1,31	-22,30	32,11	-11,45	-34,93	20,49	
≥ 5 dias		6,61	-17,07	37,05	-11,31	-33,83	18,86	
São Luiz								
-	≥90	0,09	-9,94	11,24	5,59	-5,86	18,42	
≥ 2 dias		1,46	-8,84	12,94	4,88	-6,68	17,88	
≥ 3 dias		0,03	-10,30	11,55	6,77	-5,12	20,14	
≥ 5 dias		0,12	-10,09	11,49	7,06	-4,69	20,28	
-	≥95	9,44	-6,87	28,61	-7,74	-23,04	10,60	
≥ 2 dias		9,74	-6,79	29,21	-8,05	-23,50	10,51	
≥ 3 dias		9,21	-7,37	28,77	-8,13	-23,66	10,51	
≥ 5 dias		10,21	-6,40	29,78	-7,10	-22,73	11,68	
-	≥99	-20,99	-47,96	19,93	-16,76	-48,83	35,39	
≥ 2 dias		-20,35	-47,95	21,88	-15,54	-48,47	38,41	
≥ 3 dias		-20,64	-48,10	21,36	-17,88	-50,07	35,03	
≥ 5 dias		-19,82	-47,39	22,21	-20,22	-51,70	31,76	

Capitais	Duração	Percentil	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%			Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
			%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Teresina								
	-	≥90	3,08	-4,26	11,00	-4,13	-12,81	5,41
	≥ 2 dias		3,34	-4,27	11,56	-4,24	-13,18	5,63
	≥ 3 dias		2,67	-5,01	10,96	-4,14	-13,22	5,88
	≥ 5 dias		2,27	-5,46	10,62	-2,47	-11,82	7,87
	-	≥95	5,05	-6,32	17,81	5,30	-9,16	22,06
	≥ 2 dias		7,82	-4,23	21,37	5,20	-9,71	22,58
	≥ 3 dias		8,35	-3,85	22,12	6,62	-8,60	24,37
	≥ 5 dias		6,17	-5,63	19,45	6,38	-8,59	23,80
	-	≥99	31,95	-3,38	80,21	20,29	-20,58	82,20
	≥ 2 dias		30,94	-4,60	79,72	21,44	-20,37	85,21
	≥ 3 dias		29,55	-6,91	80,30	30,53	-16,26	103,47
	≥ 5 dias		32,01	-3,58	80,74	19,13	-21,61	81,06

Capitais	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%					Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
	Duração	Percentil	%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Região Centro Oeste								
Brasília								
	-	≥90	3,65	-0,00	7,44	1,28	-2,79	5,51
	≥ 2 dias		3,52	-0,23	7,42	1,81	-2,40	6,20
	≥ 3 dias		3,27	-0,57	7,26	1,51	-2,78	6,00
	≥ 5 dias		4,64*	0,69	8,76	0,82	-3,50	5,35
	-	≥95	0,56	-4,53	5,92	4,91	-1,11	11,31
	≥ 2 dias		0,56	-4,72	6,12	5,81	-0,47	12,50
	≥ 3 dias		-0,32	-5,71	5,39	5,51	-0,97	12,41
	≥ 5 dias		-0,98	-6,51	4,86	5,94	-0,80	13,14
	-	≥99	-1,80	-13,21	11,11	2,70	-11,26	18,84
	≥ 2 dias		-2,62	-14,53	10,93	2,99	-10,99	19,18
	≥ 3 dias		-2,39	-14,55	11,50	1,11	-12,94	17,42
	≥ 5 dias		-0,60	-13,42	14,12	1,12	-13,39	18,06
Campo Grande								
	-	≥90	-1,12	-6,43	4,49	3,94	-1,64	9,83
	≥ 2 dias		-1,30	-6,62	4,54	2,48	-3,24	8,55
	≥ 3 dias		-2,16	-7,82	3,84	2,06	-3,82	8,31
	≥ 5 dias		-1,31	-7,08	4,81	0,50	-5,36	6,72
	-	≥95	-2,62	-10,52	5,96	1,17	-7,04	10,11
	≥ 2 dias		-1,58	-9,85	7,44	-0,14	-8,56	9,04
	≥ 3 dias		-3,07	-11,38	6,01	0,90	-7,75	10,36
	≥ 5 dias		-3,95	-12,44	5,37	-0,24	-9,07	9,44
	-	≥99	15,25	-2,77	36,61	-0,84	-17,78	19,58
	≥ 2 dias		16,53	-2,24	38,92	-5,50	-22,19	14,77
	≥ 3 dias		13,59	-5,87	37,08	-9,50	-26,64	11,64
	≥ 5 dias		12,80	-5,92	35,25	-4,60	-22,00	16,66
Cuiabá								
	-	≥90	1,52	-5,72	9,31	9,22*	1,23	17,85
	≥ 2 dias		1,77	-5,80	9,96	9,10*	0,74	18,16
	≥ 3 dias		3,80	-4,09	12,33	7,03	-1,32	16,09
	≥ 5 dias		1,43	-6,26	9,75	5,72	-2,56	14,70
	-	≥95	-3,40	-14,63	9,31	14,57*	1,34	29,53
	≥ 2 dias		-0,67	-12,58	12,86	12,32	-1,02	27,47
	≥ 3 dias		-3,60	-15,15	9,51	13,26	-0,24	28,58
	≥ 5 dias		-4,38	-16,07	8,94	13,44	-0,46	29,28
	-	≥99	27,18	-10,63	80,98	-3,41	-30,07	33,42
	≥ 2 dias		28,05	-10,54	83,27	-6,02	-32,03	29,94
	-	≥90	1,52	-5,72	9,31	9,22*	1,23	17,85
	≥ 2 dias		1,77	-5,80	9,96	9,10*	0,74	18,16

Capitais	Duração	Percentil	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%			Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
			%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Goiânia	-	≥90	1,67	-3,03	6,59	-1,13	-5,72	3,68
	≥ 2 dias		2,32	-2,62	7,51	-1,43	-6,22	3,60
	≥ 3 dias		1,36	-3,70	6,69	-2,75	-7,64	2,40
	≥ 5 dias		1,42	-3,73	6,84	-1,78	-6,82	3,54
	-	≥95	8,10*	0,42	16,36	-2,86	-10,02	4,88
	≥ 2 dias		8,81*	0,70	17,57	-2,79	-10,34	5,40
	≥ 3 dias		7,88	-0,27	16,71	-3,27	-10,88	5,00
	≥ 5 dias		7,84	-0,13	16,44	-3,52	-10,93	4,49
	-	≥99	17,13	-3,19	41,72	21,33	-1,66	49,69
	≥ 2 dias		9,52	-11,37	35,33	23,56	-2,52	56,60
	≥ 3 dias		13,50	-7,82	39,75	37,68*	9,02	73,85
	≥ 5 dias		11,45	-10,42	38,67	27,50*	0,01	62,53

Capitais	Duração	Percentil	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%			Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
			%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Região Sudeste								
Belo Horizonte								
	-	≥90	3,26	-0,70	7,37	0,54	-4,18	5,51
	≥ 2 dias		2,84	-1,26	7,11	-0,19	-5,07	4,94
	≥ 3 dias		1,77	-2,36	6,09	-0,92	-5,86	4,27
	≥ 5 dias		1,67	-2,50	6,01	0,89	-4,17	6,21
	-	≥95	2,43	-3,36	8,57	0,30	-6,76	7,91
	≥ 2 dias		0,81	-5,31	7,33	0,32	-7,25	8,52
	≥ 3 dias		0,50	-5,56	6,96	-0,65	-8,10	7,40
	≥ 5 dias		0,78	-5,18	7,12	1,46	-5,99	9,51
	-	≥99	-0,66	-13,60	14,20	-1,27	-17,51	18,16
	≥ 2 dias		-0,99	-14,38	14,49	-4,53	-20,75	15,00
	≥ 3 dias		-2,14	-15,87	13,83	-3,54	-20,71	17,34
	≥ 5 dias		-1,66	-14,73	13,42	1,02	-15,74	21,11
Rio de Janeiro								
	-	≥90	2,77*	1,66	3,90	1,82*	0,78	2,87
	≥ 2 dias		2,40*	1,27	3,54	1,61*	0,55	2,67
	≥ 3 dias		2,42*	1,29	3,55	1,55*	0,50	2,61
	≥ 5 dias		2,29*	1,15	3,43	1,47*	0,41	2,54
	-	≥95	2,19*	0,47	3,95	2,23*	0,59	3,90
	≥ 2 dias		2,03*	0,26	3,82	1,79*	0,12	3,50
	≥ 3 dias		2,05*	0,30	3,83	1,83*	0,18	3,52
	≥ 5 dias		1,88*	0,13	3,66	1,50*	-0,16	3,17
	-	≥99	3,12	-1,67	8,14	4,75*	0,10	9,61
	≥ 2 dias		2,84	-1,98	7,90	4,12	-0,55	9,01
	≥ 3 dias		2,63	-2,17	7,67	4,07	-0,58	8,95
	≥ 5 dias		2,76	-2,02	7,77	4,24	-0,39	9,10
São Paulo								
	-	≥90	3,39*	1,79	5,00	1,97*	0,66	3,29
	≥ 2 dias		2,89*	1,25	4,56	1,72*	0,37	3,09
	≥ 3 dias		2,81*	1,16	4,49	1,70*	0,34	3,08
	≥ 5 dias		2,54*	0,89	4,23	1,48*	0,11	2,87
	-	≥95	5,09*	2,59	7,67	1,65	-0,39	3,75
	≥ 2 dias		4,40*	1,86	7,07	1,49	-0,59	3,63
	≥ 3 dias		4,02*	1,42	6,68	1,57	-0,56	3,75
	≥ 5 dias		4,04*	1,44	6,72	1,50	-0,65	3,69
	-	≥99	3,71	2,26	10,05	3,86	-1,28	9,27
	≥ 2 dias		2,83	-3,33	9,40	3,75	-1,62	9,41
	≥ 3 dias		2,11	-4,12	8,73	2,17	-3,19	7,82
	> 5 dias		2,90	-3,10	9,26	3,03	-2,13	8,46

Capitais	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%					Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
	Duração	Percentil	%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Vitória								
	-	≥90	1,27	-9,76	13,66	6,48	-4,71	18,99
	≥ 2 dias		-0,77	-11,73	11,55	6,13	-5,09	18,70
	≥ 3 dias		-0,02	-11,12	12,47	5,89	-5,41	18,54
	≥ 5 dias		1,03	-10,14	13,59	7,82	-3,60	20,60
	-	≥95	-0,21	-16,03	18,59	9,20	7,09	28,35
	≥ 2 dias		-2,34	-17,96	16,26	8,78	-7,56	28,01
	≥ 3 dias		-1,02	-16,86	17,84	10,12	-6,29	28,01
	≥ 5 dias		0,86	-15,19	19,94	10,83	-5,73	30,30
	-	≥99	-3,27	-34,01	41,76	9,32	-22,08	53,39
	≥ 2 dias		-2,16	-33,77	44,52	6,00	-24,18	48,19
	≥ 3 dias		-3,27	-33,98	41,73	8,78	-23,12	53,92
	≥ 5 dias		-2,44	-33,17	42,41	7,91	-23,57	52,36

Capitais	Óbitos por doenças cerebrovasculares IC 95%					Óbitos por doenças isquêmicas IC 95%		
	Duração	Percentil	%RR	LI	LS	%RR	LI	LS
Região Sul								
Curitiba								
	-	≥90	2,17	-1,96	6,47	-1,59	-5,27	2,24
	≥ 2 dias		2,37	-1,92	6,86	-1,92	-5,72	2,04
	≥ 3 dias		1,94	-2,50	6,58	-2,55	-6,46	1,52
	≥ 5 dias		1,10	-3,39	5,79	-1,95	-5,97	2,25
	-	≥95	6,37	-0,41	13,61	-1,29	-7,25	5,06
	≥ 2 dias		8,25*	0,86	16,20	-1,67	-8,01	5,11
	≥ 3 dias		7,31	-0,11	15,30	-2,26	-8,66	4,60
	≥ 5 dias		5,67	-1,61	13,50	-0,20	-6,70	6,75
	-	≥99	-12,17	-27,77	6,80	3,53	-13,71	24,22
	≥ 2 dias		-14,96	-30,80	4,48	1,91	-15,80	23,34
	≥ 3 dias		-16,68	-32,06	2,16	3,04	-14,80	24,60
	≥ 5 dias		-15,86	-31,55	3,43	4,86	-13,40	2,70
Florianópolis								
	-	≥90	2,49	-4,76	10,28	5,38	-0,35	11,43
	≥ 2 dias		1,59	-5,67	9,40	6,45*	0,53	12,73
	≥ 3 dias		1,84	-5,37	9,60	6,00*	0,17	12,16
	≥ 5 dias		2,05	-5,25	9,91	6,27*	0,44	12,44
	-	≥95	4,04	-6,00	15,14	3,94	-3,94	12,46
	≥ 2 dias		3,83	-6,21	14,93	4,58	-3,42	13,23
	≥ 3 dias		3,16	-6,38	14,23	4,90	-3,15	13,63
	≥ 5 dias		2,70	-7,32	13,79	4,36	-3,62	13,01
	-	≥99	12,06	-12,16	42,95	3,00	-13,35	22,43
	≥ 2 dias		10,21	-14,37	41,86	2,60	-13,88	22,22
	≥ 3 dias		14,71	-10,23	46,59	3,78	-12,86	23,60
	≥ 5 dias		12,47	-12,02	43,79	2,51	-13,84	21,97
Porto Alegre								
	-	≥90	8,01*	5,20	10,89	4,00*	1,16	6,91
	≥ 2 dias		7,60*	4,70	10,57	3,05*	0,16	6,04
	≥ 3 dias		6,39*	3,41	9,46	2,51	-0,49	5,60
	≥ 5 dias		5,93*	3,07	8,87	3,31*	0,40	6,31
	-	≥95	9,64*	5,25	14,23	3,10	-1,41	7,84
	≥ 2 dias		9,38*	4,86	14,10	2,18	-2,42	7,01
	≥ 3 dias		6,51*	1,95	11,27	1,54	-3,21	6,52
	≥ 5 dias		7,10*	2,38	12,03	-0,63	-5,42	4,40
	-	≥99	15,20*	3,10	28,72	11,07	-2,00	25,87
	≥ 2 dias		11,55	-0,41	24,94	10,51	-2,71	25,53
	≥ 3 dias		11,05	-0,90	24,46	8,00	-5,04	22,82
	≥ 5 dias		12,39*	0,45	25,75	8,60	-4,36	23,32

Fonte: a autora, 2022

REFERÊNCIAS

- ÅSTRÖM, C. et al. Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: A health impact assessment. **BMJ Open**, v. 3, n. 1, p. 1–7, 2013.
- BALBINOTTO, G.; NUNES, E. Editorial The Costs of Cardiovascular Disease in Brazil : a Brief Economic Comment. **Arq Bras Cardiol**, v. 91, p. 198–199, 2008.
- BAMBRICK, H. J. et al. Climate change and health in the Urban environment: Adaptation opportunities in Australian cities. **Asia-Pacific Journal of Public Health**, v. 23, n. 2 SUPPL., 2011.
- BRAGA, L. A. F.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. The Time Course of Weather-Related Deaths. **Epidemiology**, v. 12, n. 6, p. 662–667, 2001.
- CHEN, K. et al. Spatial analysis of the effect of the 2010 heat wave on stroke mortality in Nanjing, China. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1–11, 2015.
- CHENG, J. et al. Cardiorespiratory effects of heatwaves: A systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. **Environmental Research**, v. 177, n. April, 2019.
- CHENG, X.; SU, H. Effects of climatic temperature stress on cardiovascular diseases. **European Journal of Internal Medicine**, v. 21, n. 3, p. 164–167, 2010.
- DANG, T. N. et al. Effects of Extreme Temperatures on Mortality and Hospitalization in Ho Chi Minh City , Vietnam. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 16, n. 432, p. 1–12, 2019.
- EPE, E. DE P. E. Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro : Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro : 2018.
- 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.
- FRANÇA, E. et al. Variações e diferenciais da mortalidade por doença cardiovascular no Brasil e em seus estados, em 1990 e 2015: estimativas do Estudo Carga Global de Doença. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 20, n. suppl 1, p. 116–128, 2017.
- GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B. The impact of heat waves on mortality. **Epidemiology**, v. 22, n. 1, p. 68–73, 2011.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 4. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].
- HAJAT, S.; KOVATS, R. S.; LACHOWYCZ, K. Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk ? **Occup Environ Med**, v. 64, p. 93–100, 2007.

HOFFMANN, M. S. et al. Heat stroke during long-term clozapine treatment: should we be concerned about hot weather? **Trends Psychiatry Psychother**, v. 38, n. 1, p. 56–59, 2016.

IOANNOU, L. G. et al. Time-motion analysis as a novel approach for evaluating the impact of environmental heat exposure on labor loss in agriculture workers. **Temperature**, v. 4, n. 3, p. 330–340, 2017.

JUNGER, W. L.; LEON, A. P. DE. Imputation of missing data in time series for air pollutants. **Atmospheric Environment**, v. 102, p. 96–104, 2015.

KEATINGE, W. R. et al. Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis. **The American Journal of Medicine**, v. 81, n. 5, p. 795–800, 1986.

KHATANA, S. A. M.; WERNER, R. M.; GROENEVELD, P. W. Association of Extreme Heat With All-Cause Mortality in the Contiguous US, 2008-2017. **JAMA Network Open**, v. 5, n. 5, p. e2212957, 2022.

KJELLSTROM, T. et al. Climate Change and Labour : Impacts Of Heat in The Workplace Climate Change, Workplace Environmental Conditions, Occupational Health Risks, and Productivity – An Emerging Global Challenge to Decent Work, Sustainable Development and Social Equity. p. 1–36, 2016.

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.

LEON, L. R.; HELWIG, B. G. Heat stroke: Role of the systemic inflammatory response. **Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 6, p. 1980–1988, 2010.

LOUGHNAN, M. E. et al. **A spatial vulnerability analysis of urban populations during extreme heat events in Australian capital cities.** [s.l: s.n.].

MATHEW, A.; KHANDELWAL, S.; KAUL, N. Spatial and temporal variations of urban heat island effect and the effect of percentage impervious surface area and elevation on land surface temperature: Study of Chandigarh city, India. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p. 264–277, 2016.

MICHELOZZI, P. et al. The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities. **Eurosurveillance**, v. 10, n. 7, 2005.

NITSCHKE, M. et al. Impact of two recent extreme heat episodes on morbidity and mortality in Adelaide, South Australia: A case-series analysis. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2011.

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

OSTRO, B. et al. The Effects of Temperature and Use of Air Conditioning on Hospitalizations □. **American Journal of Epidemiology**, v. 172, n. 9, p. 1053–1061, 2010.

LOUDIN ÅSTRÖM, D. et al. The effect of heat waves on mortality in susceptible groups: A cohort study of a mediterranean and a northern European City. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, v. 14, n. 1, p. 1–8, 2015.

PETKOVA, E. P.; GASPARRINI, A.; KINNEY, P. L. Heat and mortality in new york city since the beginning of the 20th century. **Epidemiology**, v. 25, n. 4, p. 554–560, 2014.

POGAČAR, T. et al. The effect of hot days on occupational heat stress in the manufacturing industry: implications for workers' well-being and productivity. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 7, p. 1251–1264, 2018.

RIBEIRO, A. L. P. et al. Global Burden of Cardiovascular Disease Cardiovascular Health in Brazil Trends and Perspectives. **Circulation**, v. 133, n. 4, p. 422–433, 2016.

ROCKLO, J. et al. Susceptibility to mortality related to temperature and heat and cold wave duration in the population of Stockholm County, Sweden. v. 1, p. 1–11, 2014.

SCHWARTZ, J. Who is Sensitive to Extremes of Temperature ? v. 16, n. 1, p. 67–72, 2005.

SEMENZA, J. A. C. et al. HEAT-RELATED DEATHS DURING THE JULY 1995 HEAT WAVE IN CHICAGO. **Environmental Health**, n. July 1995, 1996.

SHAPOSHNIKOV, D. et al. Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010. **Epidemiology**, v. 25, n. 3, p. 359–364, 2014.

SHERIDAN, S. C.; LIN, S. Assessing Variability in the Impacts of Heat on Health Outcomes in New York City Over Time, Season, and Heat-Wave Duration. **EcoHealth**, v. 11, n. 4, p. 512–525, 2014.

TAN, J. Commentary: People's vulnerability to heat wave. **International Journal of Epidemiology**, v. 37, n. 2, p. 318–320, 2008.

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.

TIAN, Z. et al. The Characteristic of Heat Wave Effects on Coronary Heart Disease Mortality in Beijing, China: A Time Series Study. **PLoS ONE**, v. 8, n. 9, p. 1–9, 2013.

TODD, N.; VALLERON, A. J. Space–time covariation of mortality with temperature: A systematic study of deaths in France, 1968–2009. **Environmental Health Perspectives**, v. 123, n. 7, p. 659–664, 2015.

TOULEMON, L.; BARBIERI, M. The Mortality Impact of the August 2003 Heat Wave in France. **Population Studies**, v. 62, n. 1, p. 39–53, 2005.

WARD, K. et al. Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. **Science of the Total Environment**, v. 569–570, p. 527–539, 2016.

WEINBERGER, K. R. et al. Estimating the number of excess deaths attributable to heat in 297 United States counties. **Environmental Epidemiology**, v. 4, n. 3, 2020.

WHO. **Cardiovascular diseases (CVDs)**. Disponível em: <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))>. Acesso em: 9 dez. 2022.

WU, J. Making the Case for Landscape Ecology: An Effective Approach to Urban Sustainability. **Landscape Journal**, v. 27, n. 1, p. 41–50, 2008.

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

YIN, Q.; WANG, J. The association between consecutive days ' heat wave and cardiovascular disease mortality in Beijing , China. **BMC Public Health**, v. 17, n. 223, p. 1–9, 2017.

ZACHARIAS, S.; KOPPE, C.; MÜCKE, H.-G. Influence of Heat Waves on Ischemic Heart Diseases in Germany. **Climate**, v. 2, n. 3, p. 133–152, 2014.

ZHOU, D. et al. Spatiotemporal trends of terrestrial vegetation activity along the urban development intensity gradient in China's 32 major cities. **Science of the Total Environment**, v. 488–489, n. 1, p. 136–145, 2014a.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que as ondas de calor estão associadas às mortalidades por doenças do aparelho cardiovascular nas capitais brasileiras, em geral o risco do óbito é maior no início da onda de calor. O estudo fornece evidências relevantes para as estratégias de adaptação e mitigação do planejamento para os efeitos das ondas de calor nas áreas urbanas. A criação de sistemas de aviso de ondas de calor e a disseminação de previsões climáticas podem ajudar a reduzir o impacto desses eventos, especialmente para as populações mais vulneráveis. Além disso, uma importante estratégia de saúde pública é implementar um programa de educação em saúde sobre prevenção e identificação dos primeiros sinais de estresse térmico na população, uma vez que as temperaturas e eventos de calor extremos tendem a aumentar.

REFERÊNCIAS

ABNT. REVISÃO DA NBR 16401-2. **ABNT**, 2021.

ADAMS, E. E. **World Forest Area Still on the Decline**.

ALESSANDRINI, E. et al. Emergency ambulance dispatches and apparent temperature: A time series analysis in Emilia-Romagna, Italy. **Environmental Research**, v. 111, n. 8, p. 1192–1200, 2011.

ALEXANDER, L. V. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 111, n. 5, p. 1–22, 2006.

ALEXANDER, L. V.; ARBLASTER, J. M. Assessing trends in observed and modelled climate extremes over Australia in relation to future projections. **INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY**, v. 435, n. July 2008, p. 417–435, 2009.

ALVES DE OLIVEIRA, B. F. et al. Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. **Communications Earth and Environment**, v. 2, n. 1, p. 1–8, 2021.

ALVES, M. P. A. et al. Caracterização da Forte Onda de calor de 2014 em Santa Catarina Characterization of Strong Heat Wave 2014 in Santa Catarina. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 1, p. 309–325, 2016.

ANALITIS, A. et al. Effects of cold weather on mortality: Results from 15 European cities within the PHEWE project. **American Journal of Epidemiology**, v. 168, n. 12, p. 1397–1408, 2008.

ANDERSON, B. G.; BELL, M. L. NIH Public Access. **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.

AÑEL, J. A. et al. Impact of cold waves and heat waves on the energy production sector. **Atmosphere**, v. 8, n. 11, p. 1–13, 2017.

ARBOIX, A. Cardiovascular risk factors for acute stroke: Risk profiles in the different subtypes of ischemic stroke. **World Journal of Clinical Cases**, v. 3, n. 5, p. 418–429, 2015.

ARMSTRONG MCKAY, D. I. et al. Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. **Science (New York, N.Y.)**, v. 377, n. 6611, p. eabn7950, 2022.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, v. 23,

n. 1, p. 1–26, 2003.

ARTAXO, P. et al. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. **IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007**, v. 30, n. 22, p. 129–234, 2007.

ÅSTRÖM, C. et al. Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: A health impact assessment. **BMJ Open**, v. 3, n. 1, p. 1–7, 2013.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. Active solar heating and cooling of buildings. **Solar Thermal Technologies for Buildings: The State of the Art**, p. 17–36, 2007.

AYANLADE, A. Seasonality in the daytime and night-time intensity of land surface temperature in a tropical city area. **Science of the Total Environment**, v. 557–558, p. 415–424, 2016.

AZEVEDO, P. V. DE et al. Characterization of human thermal comfort in urban areas of brazilian semiarid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 371–380, 2015.

AZEVEDO, T. R. DE; ANGELO, C. EMISSÕES DE GEE NO BRASIL e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris. **Observatório do Clima**, 2018.

BAKER, H. S. et al. Higher CO₂ concentrations increase extreme event risk in a 1.5 °C world. **Nature Climate Change**, v. 8, n. July, 2018.

BALBINOTTO, G.; NUNES, E. Editorial The Costs of Cardiovascular Disease in Brazil : a Brief Economic Comment. **Arq Bras Cardiol**, v. 91, p. 198–199, 2008.

BAMBRICK, H. J. et al. Climate change and health in the Urban environment: Adaptation opportunities in Australian cities. **Asia-Pacific Journal of Public Health**, v. 23, n. 2 SUPPL., 2011.

BARRIOPEDRO, D. et al. The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. **SCIENCE**, v. 332, n. April, p. 220–224, 2011a.

BARRIOPEDRO, D. et al. The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. **Science**, v. 332, n. 6026, p. 220–224, 2011b.

BASTOS, A. et al. Analysing the spatio-temporal impacts of the 2003 and 2010 extreme heatwaves on plant productivity in Europe. **Biogeosciences**, v. 11, p. 3421–3435, 2014.

BCCS, B. C. C. S. Extreme Heat Death Review Panel Report. 2022.

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.

BERTI, M.; BARROS, D. A. Desigualdades socioespaciais na mortalidade do adulto no Município de São Paulo * Social inequalities in adult mortality. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 2, n. 1/2, p. 34–49, 1999.

BERTOLUCCI, P. H. F. et al. **Guia de neurologia**. Barueri - SP: [s.n.].

BHASKARAN, K. et al. Time series regression studies in environmental epidemiology. **International Journal of Epidemiology**, v. 42, n. 4, p. 1187–1195, 2013.

BISHOP-WILLIAMS, K. E. et al. A spatial analysis of heat stress related emergency room visits in rural Southern Ontario during heat waves. **BMC Emergency Medicine**, v. 15, n. 1, p. 1–9, 2015.

BITENCOURT, D. P. et al. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 506–517, 2016.

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

BLOCKEN, B.; JANSSEN, W. D.; HOOFF, T. VAN. Environmental Modelling & Software CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas : General decision framework and case study for the Eindhoven University campus. **Environmental Modelling and Software**, v. 30, p. 15–34, 2012.

BLOOMER, B. J. et al. Observed relationships of ozone air pollution with temperature and emissions. **Geophysical Research Letters**, v. 36, n. 9, p. 1–5, 2009.

BLUNDEN, J.; ARNDT, D. S. STATE OF THE CLIMATE IN 2015. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 97, n. 8, 2016.

BOBB, F. J. et al. Quantifying Weather and Climate Impacts on Health in Developing Countries (QWeCI) Science Talk metric for mapping mosquitoes. **American Medical Association**, v. 24, n. 312, p. 2659–2667, 2014.

BOULTON, C. A.; LENTON, T. M.; BOERS, N. Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. **Nature Climate Change**, v. 12, n. 3, p. 271–278, 2022.

BOYETTE LC, M. B. **Physiology, Myocardial Oxygen Demand - StatPearls - NCBI Bookshelf**. , 2021.

BRAGA, L. A. F.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. The Time Course of Weather-Related Deaths. **Epidemiology**, v. 12, n. 6, p. 662–667, 2001.

BROADBENT, A. M.; KRAYENHOFF, E. S.; GEORGESCU, M. The motley drivers of heat and cold exposure in 21st century US cities. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 117, n. 35, p. 21108–21117, 2020.

BROTTONS, C. et al. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. **European Heart Journal**, v. 37, n. 29, p. 2315–2381, 2016.

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.

BURKART, K. et al. The effects of season and meteorology on human mortality in tropical climates: A systematic review. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 108, n. 7, p. 393–401, 2014.

CARDINALE, B. References and Notes 1. **Science**, v. 336, n. may, p. 552–553, 2012.

CARVALHO, A. C. C.; SOUSA, J. M. A. Cardiomiopatia isquêmica. **Rev Bras Hipertens**, v. 8, n. 3, p. 297–305, 2001.

CAT. Global reaction to energy crisis risks zero carbon transition. **Climate Action Tracker**, n. June, 2022.

CHAMBERS, J. et al. The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. **The Lancet**, v. 391, n. 10120, p. 581–630, 2017.

CHEN, K. et al. Spatial analysis of the effect of the 2010 heat wave on stroke mortality in Nanjing, China. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1–11, 2015.

CHEN, X. L. et al. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, v. 104, n. 2, p. 133–146, 2006.

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

CHENG, X.; SU, H. Effects of climatic temperature stress on cardiovascular diseases. **European Journal of Internal Medicine**, v. 21, n. 3, p. 164–167, 2010.

CHENG, Y. T.; LUNG, S. C. C.; HWANG, J. S. New approach to identifying proper thresholds for a heat warning system using health risk increments. **Environmental Research**, v. 170, n. September 2018, p. 282–292, 2019.

CHIEN, L. C.; GUO, Y.; ZHANG, K. Spatiotemporal analysis of heat and heat wave effects on elderly mortality in Texas, 2006–2011. **Science of the Total Environment**, v. 562, p. 845–851, 2016.

CHOU, S. C. et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 03, n. 05, p. 512–527, 2014.

CHURKINA, G. et al. Effect of VOC Emissions from Vegetation on Air Quality in Berlin during a Heatwave. **Environmental Science and Technology**, v. 51, n. 11, p. 6120–6130, 2017.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Climanálise – Edição Especial de 30 anos**, p. 55–61, 2016.

COLLINS, D. A.; PLUMMER, N.; TREWIN, B. C. Trends in annual frequencies of.

Australian Meteorological Magazine, v. 49, p. 277–292, 2000.

CORTES, T. R.; FAERSTEIN, E.; STRUCHINER, C. J. Utilização de diagramas causais em epidemiologia: Um exemplo de aplicação em situação de confusão. **Cadernos de Saude Publica**, v. 32, n. 8, p. 1–13, 2016.

COSTA, A. C. L. et al. Thermal comfort indices and their seasonal variations in cities of different sizes in the Amazon Region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 478–487, 2013.

COSTA, E. R. DA; SARTORI, M. DA G. B.; FANTINI, V. ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DO PARQUE ITAIMBÉ-SANTA MARIA / RS SOB CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS DE DOMÍNIO DA MASSA POLAR VELHA EM SITUAÇÃO SAZONAL DE PRIMAVERA ANALYSIS OF THE THERMAL COMFORT OF PARQUE ITAIMBÉ-SANTA MARIA / RS UNDER ATMOSPHERIC CONDITIONS OF D. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, v. 14, p. 16–26, 2010.

COSTA, R. L. et al. Analysis of future climate scenarios for northeastern Brazil and implications for human thermal comfort. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 93, n. 1, p. 1–23, 2021.

COX, P. et al. Municipal Temperature and Heatwave Predictions as a Tool for Integrated Socio-Environmental Impact Analysis in Brazil. **American Journal of Climate Change**, v. 04, n. 04, p. 385–396, 2015.

CRUTZEN, P. J. Crutzen 2002 Geology of mankind NATURE. v. 415, n. January, p. 2002, 2002.

CSAVINA, J. et al. Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. **Science of The Total Environment**, v. 487, p. 82–90, 2014.

CUNHA, A. P. M. A. et al. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, 2019.

DANG, T. N. et al. Effects of Extreme Temperatures on Mortality and Hospitalization in Ho Chi Minh City , Vietnam. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 16, n. 432, p. 1–12, 2019.

DASH, S. K.; MAMGAIN, A. Changes in the frequency of different categories of temperature extremes in India. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 50, n. 9, p. 1842–1858, 2011.

DAVIS, L. et al. Air conditioning and global inequality. **Global Environmental Change**, v. 69, n. May, p. 102299, 2021.

DAVIS, R. E.; MCGREGOR, G. R.; ENFIELD, K. B. Humidity: A review and primer on atmospheric moisture and human health. **Environmental Research**, v. 144, p. 106–116, 2016.

DE SOUSA, T. C. M. et al. Doenças sensíveis ao clima no Brasil e no mundo: revisão

sistemática. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 42, p. 1–10, 2018.

DEMATTE, J. E. et al. Near-fatal heat stroke during the 1995 heat wave in Chicago. **Annals of Internal Medicine**, v. 129, n. 3, p. 173–181, 1998.

DENIS DOYEN et al. Myocarditis in a patient with COVID-19: a cause of raised troponin and ECG changes. n. January, p. 19–21, 2020.

DEO, R. C. et al. On Australian Heat Waves : Time Series Analysis of Extreme Temperature Events in. **Information Sciences**, p. 626–635, 2007.

DERECZYNSKI, C.; SILVA, W. L.; MARENGO, J. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. **American Journal of Climate Change**, v. 02, n. 01, p. 25–33, 2013.

DESAI, M. S.; DHORDE, A. G. Trends in thermal discomfort indices over western coastal cities of India. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 131, n. 3–4, p. 1305–1321, 2018.

DIEZ-ROUX, A. V et al. The impact of neighborhoods on cardiovascular risk: the MESA Neighborhood Study. **The Lancet Global Health**, v. 11, n. 3, p. 353–363, 2016.

DOLE, R. et al. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 6, p. 1–5, 2011.

DONG, J. et al. Heatwave-induced human health risk assessment in megacities based on heat stress-social vulnerability-human exposure framework. **Landscape and Urban Planning**, v. 203, n. December 2019, p. 103907, 2020.

DONG, W. et al. Impact of Heat Wave Definitions on the Added Effect of Heat Waves on Cardiovascular Mortality in Beijing , China. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 13, n. 933, 2016.

EBI, K. L. et al. Hot weather and heat extremes: health risks. **The Lancet**, v. 398, n. 10301, p. 698–708, 2021.

EEA. **EEA Report: Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe**. [s.l: s.n.].

ELMINIR, H. K. Dependence of urban air pollutants on meteorology. **Science of the Total Environment**, v. 350, n. 1–3, p. 225–237, 2005.

EPE, E. DE P. E. Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro : Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro : 2018.

FANTE, K. P.; DUBREUIL, V.; SANT’ANNA NETO, J. L. Avaliação Comparativa Entre Metodologias De Identificação De Situações De Conforto Térmico Humano Aplicado Ao Contexto Tropical, Presidente Prudente/Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 588–612, 2017.

FARAGALLAH, R. N.; RAGHEB, R. A. Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 3, p. 101609, 2022.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, p. 395–400, 2006.

FERON, S. et al. Observations and Projections of Heat Waves in South America. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–15, 2019.

FILLEUL, L. et al. The Relation Between Temperature, Ozone, and Mortality in Nine French Cities During the Heat Wave of 2003. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 9, p. 1344–1347, 2006.

FIRPO, M. Â. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. DE. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95–106, 2012.

FISCHER, E. M.; KNUTTI, R. Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 6, p. 560–564, 2015.

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

FOSTER, G.; RAHMSTORF, S. Global temperature evolution 1979–2010. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 4, p. 044022, 2011.

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.

FRANÇA, E. et al. Variações e diferenciais da mortalidade por doença cardiovascular no Brasil e em seus estados, em 1990 e 2015: estimativas do Estudo Carga Global de Doença. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 20, n. suppl 1, p. 116–128, 2017.

GARCÍA-LEÓN, D. et al. Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 1–10, 2021.

GARCIA, M.; TULIO, F. DE. COMO VIABILIZAR UM BRASIL NEUTRO EM GASES DE EFEITO ESTUFA ATÉ 2050 ? Índice. p. 1–28, 2022.

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

GEIRINHAS, J. L. et al. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. **Int. J. Climatol.**, 2017.

GEIRINHAS, J. L. et al. Climatic characterization of heat waves in Brazil. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 41, n. 3, p. 333–350, 2018.

GEIRINHAS, J. L. et al. Science of the Total Environment Characterizing the atmospheric conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 796–808, 2019.

GEIRINHAS, J. L. M. Caracterização Climática e Sinóptica das Ondas de Calor no Agradecimentos : 2016.

GERALD A. MEEHL; CLAUDIA TEBALDI. More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. **Science**, v. 305, n. 5686, p. 994–997, 2004.

GIORGINIA, P. et al. Climate Changes and Human Health: A Review of the Effect of Environmental Stressors on Cardiovascular Diseases Across Epidemiology and Biological Mechanisms. **Current Pharmaceutical Design**, v. 23, n. 22, p. 3247–3261, 2017.

GIORGIO, G. A.; RAGOSTA, M.; TELESKA, V. Climate Variability and Industrial-Suburban Heat Environment in a Mediterranean Area. 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. v. 7, n. 6, p. 9–14, 2012.

GOLLEDGE, N. R. et al. Global environmental consequences of twenty-first-century ice-sheet melt. **Nature**, v. 566, n. 7742, p. 65–72, 2019.

GOMES, H. B. et al. Easterly wave disturbances over Northeast Brazil: An observational analysis. **Advances in Meteorology**, v. 2015, 2015.

GOMES, H. B. et al. Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 53, p. 1393–1411, 2019.

GOSLING, S. et al. **Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature**. [s.l: s.n.]. v. 92

GRUMM, R. H. The Central European and Russian Heat Event of July–August 2010. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 92, n. 10, p. 1285–1296, 2011.

GUSSO, A. et al. Monitoring Heat Waves and Their Impacts on Summer Crop Development in Southern. **Agricultural Sciences**, n. March, p. 353–364, 2014.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 4. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].
HAHS, A. K. et al. A global synthesis of plant extinction rates in urban areas. **Ecology Letters**, v. 12, n. 11, p. 1165–1173, 2009.

HAJAT, S. et al. Impact of High Temperatures on Mortality. **Epidemiology**, v. 17, n. 6, p. 632–638, 2006.

HAJAT, S.; KOVATS, R. S.; LACHOWYCZ, K. Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk ? **Occup Environ Med**, v. 64, p. 93–100, 2007.

HARI, V. et al. Strong influence of north Pacific Ocean variability on Indian summer heatwaves. 2022.

HARLAN, S. L. et al. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. **Social Science and Medicine**, v. 63, n. 11, p. 2847–2863, 2006.

HATTIS, D.; OGNEVA-HIMMELBERGER, Y.; RATICK, S. The spatial variability of heat-related mortality in Massachusetts. **Applied Geography**, v. 33, n. 1, p. 45–52, 2012.

HE, C. et al. Exploring the mechanisms of heat wave vulnerability at the urban scale based on the application of big data and artificial societies. **Environment International**, v. 127, n. August 2018, p. 573–583, 2019.

HIRASHIMA, S. Q. DA S.; ASSIS, E. S. DE; NIKOLOPOULOU, M. Daytime thermal comfort in urban spaces: A field study in Brazil. **Building and Environment**, v. 107, p. 245–253, 2016a.

HIRASHIMA, S. Q. DA S.; ASSIS, E. S. DE; NIKOLOPOULOU, M. Dataset on daytime outdoor thermal comfort for Belo Horizonte, Brazil. **Data in Brief**, v. 9, p. 530–535, 2016b.

HOFFMANN, M. S. et al. Heat stroke during long-term clozapine treatment: should we be concerned about hot weather? **Trends Psychiatry Psychother**, v. 38, n. 1, p. 56–59, 2016.

HOOVER, D. U. et al. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. **Nature**, v. 486, n. 7401, p. 105–108, 2012.

HORTON, R. M. et al. A Review of Recent Advances in Research on Extreme Heat Events. **Current Climate Change Reports**, v. 2, n. 4, p. 242–259, 2016.

HUANG, C. H.; TSAI, H. H.; CHEN, H. C. Influence of weather factors on thermal comfort in subtropical urban environments. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 5, 2020.

HUNT, B. G. A climatology of heat waves from a multimillennial simulation. **Journal of Climate**, v. 20, n. 15, p. 3802–3821, 2007.

HUNT, J. D. et al. Energy crisis in Brazil: Impact of hydropower reservoir level on the river flow. **Energy**, v. 239, 2022.

HUTH, R.; KYSELÝ, J.; POKORNÁ, L. A GCM Simulation of Heat Waves, Dry Spells, and Their Relationships to Circulation. **Climatic Change**, v. 46, n. 1, p. 29–60, 2000.

IBGE. Censo Demográfico 2010: Características urbanísticas do entorno dos domicílios. **Censo Demográfico 2010**, v. 41, p. 1–81, 2012.

IBGE, I. B. DE G. E E.-. Censo Demográfico 2010 Aglomerados Subnormais. p. 1–259, 2010.

IEMA. Crise hídrica, termelétricas e renováveis: Considerações sobre o planejamento energético e seus impactos ambientais e climáticos. **Instituto de Energia e Meio Ambiente**, 2021.

INPE. Relatório Diário Automático. **INPE**, 2022.

INSTITUTE, W. R. **The Latest Analysis on Global Forests & Tree Cover Loss | Global Forest Review**. Wri, 2021. Disponível em: <<https://research.wri.org/gfr/forest-pulse>>

IOANNOU, L. G. et al. Time-motion analysis as a novel approach for evaluating the impact of environmental heat exposure on labor loss in agriculture workers. **Temperature**, v. 4, n. 3, p. 330–340, 2017.

IPCC. **2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK, and New York, NY: [s.n.].
IPCC. **Climate change 2014. Synthesis report. Versión inglés**. [s.l: s.n.].

IPPOLITI, D. D. et al. D'Ippoliti D et al. 2010 published.pdf. p. 1–9, 2010.

JOHN, P. D. et al. Understanding the Meteorological Drivers of U.S. Particulate Matter Concentrations in a Changing Climate. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, n. 4, p. 521–532, 2014.

JOHNSON, D. P.; WILSON, J. S. The socio-spatial dynamics of extreme urban heat events: The case of heat-related deaths in Philadelphia. **Applied Geography**, v. 29, n. 3, p. 419–434, 2009.

JOHNSON, H. D.; VANJONACK, W. J. Effects of Environmental and Other Stressors on Blood Hormone Patterns in Lactating Animals. **Journal of Dairy Science**, v. 59, n. 9, p. 1603–1617, 1976.

JUNGER, W. L.; LEON, A. P. DE. Imputation of missing data in time series for air pollutants. **Atmospheric Environment**, v. 102, p. 96–104, 2015.

JUNGER, W.; PONCE DE LEON, A. Package: mtsdi, Version: 0.3.5. 2018.

KALKSTEIN, L. S.; VALIMONT, K. M. An Evaluation of Summer Discomfort in the United State Using a Relative Climatological Index. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 67, n. 7, p. 842–848, 1986.

KEATINGE, W. R. et al. Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis. **The American Journal of Medicine**, v. 81, n. 5, p. 795–800, 1986.

KELISHADI, R.; POURSAFA, P. A review on the genetic, environmental, and lifestyle aspects of the early-life origins of cardiovascular disease. **Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care**, v. 44, n. 3, p. 54–72, 2014.

KEPHART, J. L. et al. City-level impact of extreme temperatures and mortality in Latin America. **Nature Medicine**, 2022.

KHARIN, V. V. et al. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2.

Future climate projections. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 6, p. 2473–2493, 2013.

KHATANA, S. A. M.; WERNER, R. M.; GROENEVELD, P. W. Association of Extreme Heat With All-Cause Mortality in the Contiguous US, 2008-2017. **JAMA Network Open**, v. 5, n. 5, p. e2212957, 2022.

KJELLSTROM, T. et al. Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts. **Annual Review of Public Health**, v. 37, n. 1, p. 97–112, 2015.

KJELLSTROM, T. et al. Climate Change and Labour : Impacts Of Heat in The Workplace Climate Change, Workplace Environmental Conditions, Occupational Health Risks, and Productivity – An Emerging Global Challenge to Decent Work, Sustainable Development and Social Equity. p. 1–36, 2016.

KNMI. **Hittegolven**. Disponível em: <<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/lijsten/hittegolven>>. Acesso em: 7 mar. 2019.

KONG, J. et al. Urban heat island and its interaction with heatwaves: A review of studies on mesoscale. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 19, 2021.

KUCHCIK, M. Mortality and thermal environment (UTCI) in Poland—long-term, multi-city study. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, n. 9, p. 1529–1541, 2021.

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.

LAI, D. et al. Science of the Total Environment A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 337–353, 2019.

LEÃO, É. F. T. B. **Carta Bioclimática De Cuiabá - Mato Grosso**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO, 2007.

LEE, S. H.; KIM, H. D. Effects of regional warming due to urbanization on daytime local circulations in a complex basin of the Daegu metropolitan area, Korea. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 5, p. 1427–1441, 2008.

LEE, W. et al. Temporal changes in mortality impacts of heat wave and cold spell in Korea Temporal changes in mortality impacts of heat wave and cold spell in Korea and Japan. **Environment International**, v. 116, n. April, p. 136–146, 2018.

LENTON, T. M. et al. PNAS-2008-Lenton-1786-93.pdf. v. 105, n. 6, 2008.

LEON, L. R.; HELWIG, B. G. Heat stroke: Role of the systemic inflammatory response. **Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 6, p. 1980–1988, 2010.

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. **Journal of Applied Meteorology and**

Climatology, v. 52, n. 9, p. 2051–2064, 2013.

LI, D.; YUAN, J.; KOPP, R. E. Escalating global exposure to compound heat-humidity extremes with warming. **Environmental Research Letters** with warming. **Environ. Res. Lett.**, v. 15, p. 64003, 2020.

LISS, A.; NAUMOVA, E. N. Heatwaves and hospitalizations due to hyperthermia in defined climate regions in the conterminous USA. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, 2019.

LIU, C.; YAVAR, Z.; SUN, Q. Cardiovascular response to thermoregulatory challenges. **American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology**, v. 309, n. 11, p. H1793–H1812, 2015.

LIU, L. et al. Associations between air temperature and cardio- respiratory mortality in the urban area of Beijing , China : a time-series analysis. **Environmental Health**, v. 10, n. 1, p. 51, 2011.

LIU, Y. et al. Degrees and dollars – Health costs associated with suboptimal ambient temperature exposure. **Science of the Total Environment**, v. 678, p. 702–711, 2019.

LOUGHNAN, M. E. et al. **A spatial vulnerability analysis of urban populations during extreme heat events in Australian capital cities.** [s.l: s.n.].

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point. **Science Advances**, v. 4, n. 2, p. 1–2, 2018.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point: Last chance for action. **Science Advances**, v. 5, n. 12, p. 4–6, 2019.

LUNDGREN-KOWNACKI, K. et al. Challenges of using air conditioning in an increasingly hot climate. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 3, p. 401–412, 2018.

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.

MANDÚ, T. B.; GOMES, A. C. D. S. Identificação De Tendências No Conforto Térmico Na Região Norte Do Brasil: Estudo De Caso Em Manaus-Am. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 34, p. 63–81, 2019.

MAO, L. et al. Neurologic Manifestations of Hospitalized Patients with Coronavirus Disease 2019 in Wuhan, China. **JAMA Neurology**, v. 77, n. 6, p. 683–690, 2020.

MARENGO, J. A. et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, n. 3, p. 495–516, 2008.

MARENGO, J. A. et al. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, n. December, p. 1–21, 2018a.

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018b.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia : causes ,. v. 1050, n. July 2015, p. 1033–1050, 2016.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Thermal comfort provided by street trees in cities. **Arboricultural Journal**, v. 42, n. 3, p. 153–164, 2020.

MATHEW, A.; KHANDELWAL, S.; KAUL, N. Spatial and temporal variations of urban heat island effect and the effect of percentage impervious surface area and elevation on land surface temperature: Study of Chandigarh city, India. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p. 264–277, 2016.

MEEHL,GERALD A.; TEBALDI, C. More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. **Science**, v. 305, n. 5686, p. 994–997, 2004.

MELLO, M. A. R. DE; MARTINS, N.; NETO, J. L. S. A influência dos materiais construtivos na produção do clima urbano. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 27–40, 2009.

MICHELOZZI, P. et al. Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, the PHEWE project: Background, objectives, design. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, v. 6, p. 1–10, 2007.

MICHELOZZI1, P. et al. The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities. **Eurosurveillance**, v. 10, n. 7, 2005.

MORA, C. et al. Global risk of deadly heat. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 7, p. 501–506, 2017.

MOREIRA, S. DE F. et al. A Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a dinâmica climática da região Amazônica. **Multidisciplinary Reviews**, v. 1, n. October, 2018.

MUSHORE, T. D. et al. Understanding the relationship between urban outdoor temperatures and indoor air-conditioning energy demand in Zimbabwe. **Sustainable Cities and Society**, v. 34, n. April, p. 97–108, 2017.

MUSHORE, T. D. et al. Outdoor thermal discomfort analysis in Harare, Zimbabwe in Southern Africa. **South African Geographical Journal**, v. 100, n. 2, p. 162–179, 2018.

MYHRE, G., D. et al. Anthropogenic and natural radiative forcing. **Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, v. 9781107057, p. 659–740, 2013.

NAIRN, J.; FAWCETT, R.; RAY, D. Defining and predicting Excessive Heat events, a National system. **Proceedings of the CAWCR modelling ...**, p. 83–86, 2009.

NASCIMENTO, E. DE L.; AMBRIZZI, T. The Influence of Atmospheric Blocking on the Rossby Wave Propagation in Southern Hemisphere Winter Flows. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 80, n. 2, p. 139–159, 2002.

NIEUWENHUIJSEN, M. J. et al. Fifty shades of green. **Epidemiology**, v. 28, n. 1, p. 63–71, 2017a.

NIEUWENHUIJSEN, M. J. et al. Fifty shades of green. **Epidemiology**, v. 28, n. 1, p. 63–71, 2017b.

NITSCHKE, M. et al. Impact of two recent extreme heat episodes on morbidity and mortality in Adelaide, South Australia: A case-series analysis. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2011.

NOAA. **Global Monthly Mean CO₂**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>>.

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. 08, n. 02, p. 252–262, 2016.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. **Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas**. [s.l.: s.n.]. v. 1a edição.

NWS. **Regional warning, watch, and advisory criteria**. Disponível em: <<https://www.weather.gov/safety/heat-ww>>. Acesso em: 7 mar. 2019.

O'NEILL, M. S.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities. **American Journal of Epidemiology**, v. 157, n. 12, p. 1074–1082, 2003.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat Islands. **Atmosphere**, v. 14, n. 4, p. 268–277, 1976.

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.; CLEUGH, H. A. Urban heat storage derived as energy balance residuals. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 39, n. 3, p. 233–245, 1987.

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

OSTRO, B. et al. The Effects of Temperature and Use of Air Conditioning on Hospitalizations □. **American Journal of Epidemiology**, v. 172, n. 9, p. 1053–1061, 2010.

LOUDIN ÅSTRÖM, D. et al. The effect of heat waves on mortality in susceptible groups: A cohort study of a mediterranean and a northern European City. **Environmental Health: A Global Access Science Source**, v. 14, n. 1, p. 1–8, 2015.

LOUDIN ÅSTRÖM, D.; BERTIL, F.; JOACIM, R. Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. **Maturitas**, v. 69, n. 2, p. 99–105, 2011.

PAPANASTASIOU, D. K. et al. Temperature, comfort and pollution levels during heat waves and the role of sea breeze. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 3, p. 307–317, 2010.

PARENTE, J. et al. Heat waves in Portugal: Current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires. **Science of the Total Environment**, v. 631–632, p. 534–549, 2018.

PASCAL, M. et al. Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID- 19 . The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect , the company ' s public news and information . n. January, 2020.

PAVANELLO, F. et al. Air-conditioning and the adaptation cooling deficit in emerging economies. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, 2021.

PENG, R. D. et al. Toward a Quantitative Estimate of Future Heat Wave Mortality under Global Climate Change. **Environmental Health Perspectives**, v. 119, n. 5, p. 701–706, 2011.

PERKINS-KIRKPATRICK, S. E.; LEWIS, S. C. Increasing trends in regional heatwaves. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 1–8, 2020.

PERKINS, S. E. A review on the scientific understanding of heatwaves-Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. **Atmospheric Research**, v. 164–165, p. 242–267, 2015.

PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V. On the measurement of heat waves. **Journal of Climate**, v. 26, n. 13, p. 4500–4517, 2013.

PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V.; NAIRN, J. R. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 20, p. 1–5, 2012.

PETKOVA, E. P.; GASPARRINI, A.; KINNEY, P. L. Heat and mortality in new york city since the beginning of the 20th century. **Epidemiology**, v. 25, n. 4, p. 554–560, 2014.

PEZZA, A. B.; VAN RENSCH, P.; CAI, W. Severe heat waves in Southern Australia: Synoptic climatology and large scale connections. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 1–2, p. 209–224, 2012.

PIMM, S. L. et al. Human impacts on the rates of recent, present, and future bird extinctions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 29, p. 10941–10946, 2006.

POGAČAR, T. et al. The effect of hot days on occupational heat stress in the manufacturing industry: implications for workers' well-being and productivity. **International Journal of**

Biometeorology, v. 62, n. 7, p. 1251–1264, 2018.

PONGRACZ, R.; BARTHOLY, J.; DEZSO, Z. Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. **Advances in Space Research**, v. 37, n. 12, p. 2191–2196, 2006.

POPE, C. A. et al. Relationships between fine particulate air pollution, cardiometabolic disorders, and cardiovascular mortality. **Circulation Research**, v. 116, n. 1, p. 108–115, 2015.

PÖRTNER, H.-O. et al. **IPCC, 2022: 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.].

PRASAD, D. S. et al. Cardiovascular risk factors in developing countries: A review of clinico-epidemiological evidence. **CVD Prevention and Control**, v. 5, n. 4, p. 115–123, 2010.

PRYOR, S. C. et al. Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment. p. 418–440, 2014.

QUILLARD, T. et al. TLR2 and neutrophils potentiate endothelial stress, apoptosis and detachment: Implications for superficial erosion. **European Heart Journal**, v. 36, n. 22, p. 1394–1404, 2015.

RADINOVIĆ, D.; ĆURIĆ, M. Criteria for heat and cold wave duration indexes. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, n. 3–4, p. 505–510, 2012.

REBOITA, M. S. et al. South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). **Climate Dynamics**, v. 35, n. 7, p. 1331–1347, 2010.

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.

RIBEIRO, A. L. P. et al. Global Burden of Cardiovascular Disease Cardiovascular Health in Brazil Trends and Perspectives. **Circulation**, v. 133, n. 4, p. 422–433, 2016.

RIOUAL, P. et al. High-resolution record of climate stability in France during the last interglacial period. **Nature**, v. 413, n. 6853, p. 293–296, 2001.

ROBINSON, P. J. On the Definition of a Heat Wave. **Journal of Applied Meteorology**, v. 40, n. 4, p. 762–775, 2002.

ROCKLO, J. et al. Susceptibility to mortality related to temperature and heat and cold wave duration in the population of Stockholm County, Sweden. v. 1, p. 1–11, 2014.

ROCKSTRÖM, J. et al. Behavioral Health Patients in the Emergency Department. **Nature**, v.

461, n. 2, p. 472–475, 2009.

RODRIGUES DE MELLO, M. A.; MARTINS, N.; SANT'ANNA NETO, J. L. **a Influência Dos Materiais Construtivos Na Produção Do Clima Urbano. Revista Brasileira de Climatologia**, 2017.

ROMANELLO, M. et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. **The Lancet**, v. 398, n. 10311, p. 1619–1662, 2021.

ROTH, G. A. et al. Global, Regional, and National Burden of Cardiovascular Diseases for 10 Causes, 1990 to 2015. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 70, n. 1, p. 1–25, 2017.

ROUSI, E. et al. Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia. **Nature Communications**, p. (in revision), 2022.

RUPIC, M. et al. 2014-2016 El Niño Assessment Report: An Overview of the Impacts of the 2014-16 El Niño on the U.S.-Affiliated Pacific Islands (USAPI). **National Oceanic and Atmospheric Administration -NOAA**, n. February, p. 48, 2018.

RUSTEMEYER, N.; HOWELLS, M. Excess Mortality in england during the 2019 summer heatwaves. **Climate**, v. 9, n. 1, p. 1–17, 2021.

SANTOS, C. A. C. DOS; LIMA, J. R. A. Análise dos Efeitos da Expansão Urbana de Manaus-AM Sobre Parâmetros Ambientais Através de Imagens de Satélite (Analysis of the Urban Expansion Effects of Manaus-AM on Environmental Parameters through Satellite Images). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 001, 2013.

SANTOS, S. M.; NORONHA, C. P. Padrões espaciais de mortalidade e diferenciais sócio-econômicos na cidade do Rio de Janeiro Mortality spatial patterns and socioeconomic differences in the city of Rio de Janeiro. **Cad. Saúde Pública**, v. 17, n. 5, p. 1099–1110, 2001.

SAROFIM, M. C. et al. Temperature-Related Death and Illness. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. **U.S. Global Change Research Program**, v. 45, n. 4, p. ix–xiii, 2016.

SCHEFFER, M. et al. <Scheffer-2001-Catastrophic shifts.pdf>. v. 413, n. October, 2001.

SCHMIDT, R. Heating up. **Nature Climate ChaNge**, v. 12, p. 693, 2022.

SCHOLES, R. J.; BIGGS, R. A biodiversity intactness index. **Nature**, v. 434, n. 7029, p. 45–49, 2005.

SCHWARTZ, J. Who is Sensitive to Extremes of Temperature ? v. 16, n. 1, p. 67–72, 2005.

SEMENZA, J. A. C. et al. HEAT-RELATED DEATHS DURING THE JULY 1995 HEAT WAVE IN CHICAGO. **Environmental Health**, n. July 1995, 1996.

SENEVIRATNE, S. I. et al. No pause in the increase of hot temperature extremes. **NATURE**

CLIMATE CHANGE, v. 4, n. May, 2014.

SHAPOSHNIKOV, D. et al. Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010. **Epidemiology**, v. 25, n. 3, p. 359–364, 2014.

SHEPHERD, A.; IVINS, E. Review research articles. **Science**, v. 338, n. November, p. 1183–1190, 2012.

SHERIDAN, S. C.; LIN, S. Assessing Variability in the Impacts of Heat on Health Outcomes in New York City Over Time, Season, and Heat-Wave Duration. **EcoHealth**, v. 11, n. 4, p. 512–525, 2014.

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.

SILVERTHOM, D. U. **Fisiologia Humana - Uma abordagem integrada**. [s.l: s.n.].

SKANSI, M. DE LOS M. et al. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 295–307, 2013.

SLOWIK, J. G. et al. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 15, n. 14, p. 8217–8299, 2015.

SMOYER, K. E. Putting risk in its place: Methodological considerations for investigating extreme event health risk. **Social Science and Medicine**, v. 47, n. 11, p. 1809–1824, 1998.

SNYDER, P. K.; DELIRE, C.; FOLEY, J. A. Evaluating the influence of different vegetation biomes on the global climate. **Climate Dynamics**, v. 23, n. 3–4, p. 279–302, 2004.

SOLOMON, S. D. et al. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York: [s.n.].

SOUSA, A.; CANDIDO, L.; ANDREOLI, R. Variabilidade Interanual da Precipitação e Fluxo de Umidade Sobre a Amazônia Usando o QTCM Interannual Variability of Precipitation and Moisture Flux on Amazon Using QTCM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 41–56, 2018.

SOUSA, P. M. et al. Heat-related mortality amplified during the COVID-19 pandemic. **International Journal of Biometeorology**, v. 66, n. 3, p. 457–468, 2022.

SOUZA, D. M. DE; NERY, J. T. O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **Geografia**, v. 21, n. 2, p. 65–83, 2012.

SOUZA, N. S. E. Análise de anomalias térmicas em função da geometria urbana em cuiabá-mt. 2019.

SPA. Science Panel for the Amazon. p. 48, 2021.

STAAL, A. et al. Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 6, p. 539–543, 2018.

STATHOPOULOU, M.; CARTALIS, C. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. **Solar Energy**, v. 81, n. 3, p. 358–368, 2007.

STEADMAN, R. G. **The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science.** , 1979.

STEADMAN, R. G. **A Universal Scale of Apparent Temperature.** , 1984.

STEFFEN, B. W.; ROCKSTRÖM, J. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 1–11, 2015.

STEFFEN, W.; CRUTZEN, P. J.; MCNEILL, J. R. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 36, n. 8, p. 614–621, 2007.

STEFFEN, W.; RICE, M.; ALEXANDER, D. 2017: Another Record-Breaking Year for Heat and Extreme Weather. 2018.

STEWART, S. et al. Seasonal variations in cardiovascular disease. **Nature Reviews Cardiology**, v. 14, n. 11, p. 654–664, 2017.

TAKANO, T.; NAKAMURA, K.; WATANABE, M. Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. **J Epidemiol Community Health**, v. 56, p. 913–918, 2002.

TAN, J. Commentary: People's vulnerability to heat wave. **International Journal of Epidemiology**, v. 37, n. 2, p. 318–320, 2008.

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.

TAWATSUPA, B. et al. Heat stress, health and well-being: Findings from a large national cohort of Thai adults. **BMJ Open**, v. 2, n. 6, 2012.

THEOHARATOS, G. et al. Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: Synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects. **Environmental Research**, v. 110, n. 2, p. 152–161, 2010.

THOMPSON, R. et al. Heatwave Mortality in Summer 2020 in England: An Observational Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 10, p. 6123, 2022.

TIAN, Z. et al. The Characteristic of Heat Wave Effects on Coronary Heart Disease Mortality in Beijing, China: A Time Series Study. **PLoS ONE**, v. 8, n. 9, p. 1–9, 2013.

TODD, N.; VALLERON, A. J. Space–time covariation of mortality with temperature: A

systematic study of deaths in France, 1968–2009. **Environmental Health Perspectives**, v. 123, n. 7, p. 659–664, 2015.

TOULEMON, L.; BARBIERI, M. The Mortality Impact of the August 2003 Heat Wave in France. **Population Studies**, v. 62, n. 1, p. 39–53, 2005.

TSAI, Y. I.; LIN, Y. H.; LEE, S. Z. Visibility Variation with Air Qualities in the Metropolitan Area in Southern Taiwan. v. 144, n. December, p. 19–40, 2003.

TUHOLSKE, C. et al. Global urban population exposure to extreme heat. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 118, n. 41, p. 1–9, 2021.

TUNVED, H. C. et al. High natural aerosol loading over boreal forests. **Science**, v. 312, n. April, p. 261–263, 2006.

TUNVED, P. et al. The natural aerosol over Northern Europe and its relation to anthropogenic emissions - Implications of important climate feedbacks. **Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology**, v. 60, n. 4, p. 473–484, 2008.

TYAGI, A. et al. **Review of Urban Heat Islands : Monitoring , Forecast and Impacts. , 2021.**

TZAVALI, A. et al. Urban heat island intensity: A literature review URBAN HEAT ISLAND INTENSITY : A LITERATURE REVIEW. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 24, n. 12, p. 4537–4554, 2015.

VAHMANI, P.; JONES, A. D.; PATRICOLA, C. M. Interacting implications of climate change, population dynamics, and urban heat mitigation for future exposure to heat extremes. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 8, 2019.

VAN HOVE, L. W. A. et al. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. **Building and Environment**, v. 83, p. 91–103, 2015.

VAUTARD, R. et al. Human contribution to the record-breaking June and July 2019 heatwaves in Western Europe. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 9, 2020.

VUKOVICH, F. M.; VUKOVICH, F. M. **An Analysis of the Ground Temperature and Reflectivity Pattern about St. Louis, Missouri, Using HCMM Satellite Data. Journal of Climate and Applied Meteorology**, 1983. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/15200450%281983%29022%3C0560%3AAAO TGT%3E2.0.CO%3B2>>.

WALLACE, R. F. et al. Prior heat illness hospitalization and risk of early death. **Environmental Research**, v. 104, n. 2, p. 290–295, 2007.

WARD, K. et al. Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. **Science of the Total Environment**, v. 569–570, p. 527–539, 2016.

WEINBERGER, K. R. et al. Estimating the number of excess deaths attributable to heat in

297 United States counties. **Environmental Epidemiology**, v. 4, n. 3, 2020.

WENG, Q. et al. The spatial variations of urban land surface temperatures: Pertinent factors, zoning effect, and seasonal variability. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 1, n. 2, p. 154–166, 2008.

WEST, P. C. et al. An alternative approach for quantifying climate regulation by ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 2, p. 126–133, 2010.

WHO. **Cardiovascular diseases (CVDs)**. Disponível em: <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))>. Acesso em: 9 dez. 2022.

WICHMANN, J. et al. Apparent temperature and acute myocardial infarction hospital admissions in Copenhagen, Denmark: a case-crossover study. **Environmental health : a global access science source**, v. 11, p. 19, 2012.

WICKHAM, H. ggplot2 - Elegant Graphics for Data Analysis (2nd Edition). **Journal of Statistical Software**, v. 77, n. Book Review 2, p. 3–5, 2017.

WMO. CLIMATE and HUMAN HEALTH WORLD CLIMATE PROGRAMME APPLICATIONS. **World Meteorological Organization**, p. 567–584, 1987.

WMO. Guidelines on the Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events. **Task Team on the Definition of Extreme Weather and Climate Events**, n. December 2015, p. 62, 2015.

WMO. “WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2017.” **World Meteorological Organization**, 2017. **WMO_1108_EN_web_000.pdf**. WMO statement on the status of the global climate in 2017. [s.l: s.n.].

WMO. **State of the climate in Latin America and the Caribbean 2020**. WMO-No. 1272. [s.l: s.n.].

WREFORD, A.; NEIL ADGER, W. Adaptation in agriculture: Historic effects of heat waves and droughts on UK agriculture. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 8, n. 4, p. 278–289, 2010.

WU, J. Making the Case for Landscape Ecology: An Effective Approach to Urban Sustainability. **Landscape Journal**, v. 27, n. 1, p. 41–50, 2008.

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.

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

YIN, Q.; WANG, J. The association between consecutive days ’ heat wave and cardiovascular disease mortality in Beijing , China. **BMC Public Health**, v. 17, n. 223, p. 1–9, 2017.

YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks §. v. 38, p. 105–120, 2006.

ZACHARIAS, S.; KOPPE, C.; MÜCKE, H.-G. Influence of Heat Waves on Ischemic Heart Diseases in Germany. **Climate**, v. 2, n. 3, p. 133–152, 2014.

ŽAGAR., N.; SKOK., G.; TRIBBIA, J. Climatology of the ITCZ derived from ERA Interim reanalyses. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 116, n. 15, p. 1–6, 2011.

ZANDER, K. K. et al. Perceived heat stress increases with population density in urban Philippines OPEN ACCESS Perceived heat stress increases with population density in urban Philippines. 2018.

ZANOBETTI, A. et al. Summer temperature variability and long-term survival among elderly people with chronic disease. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 17, p. 6608–6613, 2012.

ZEMP, D. C. et al. Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. **Nature Communications**, v. 8, 2017.

ZHANG, B. et al. Projection of temperature-related mortality due to cardiovascular disease in beijing under different climate change, population, and adaptation scenarios. **Environmental Research**, v. 162, n. August 2017, p. 152–159, 2018.

ZHANG, Y.; YU, C.; WANG, L. Temperature exposure during pregnancy and birth outcomes: An updated systematic review of epidemiological evidence. **Environmental Pollution**, v. 225, p. 700–712, 2017.

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, 2019.

ZHOU, D. et al. Spatiotemporal trends of terrestrial vegetation activity along the urban development intensity gradient in China's 32 major cities. **Science of the Total Environment**, v. 488–489, n. 1, p. 136–145, 2014a.

ZHOU, D. et al. Surface urban heat island in China ' s 32 major cities : Spatial patterns and drivers Remote Sensing of Environment Surface urban heat island in China ' s 32 major cities : Spatial patterns and drivers. **Remote Sensing of Environment**, v. 152, n. March 2019, p. 51–61, 2014b.