

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

BRUNO MORAIS DE OLIVEIRA

**Identificação de eventos extremos de calor na cidade de São Paulo: análise
dos dados da estação INMET - Mirante de Santana entre 1961 e 2020**

Versão corrigida

São Paulo
2022

BRUNO MORAIS DE OLIVEIRA

Identificação de eventos extremos de calor na cidade de São Paulo: análise dos dados da estação INMET - Mirante de Santana entre 1961 e 2020

Versão corrigida

Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientador (a): Prof. Dr. Emerson Galvani

São Paulo
2022

OLIVEIRA, Bruno. **Identificação de eventos extremos de calor na cidade de São Paulo**: análise dos dados da estação INMET - Mirante de Santana entre 1961 e 2020. 2022. 93f. TGI (Trabalho de Graduação Individual) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida Instituição: _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. Rildo Aparecido Costa Instituição: _____

Julgamento _____ Assinatura _____

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

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

O42	<p>Oliveira, Bruno</p> <p>Identificação de eventos extremos de calor na cidade de São Paulo: análise dos dados da estação INMET - Mirante de Santana entre 1961 e 2020 / Bruno Oliveira; orientador Emerson Galvani - São Paulo, 2022.</p> <p>93 f.</p> <p>TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.</p> <p>1. Ondas de calor. 2. Clima Urbano. 3. Mudanças Climáticas. I. Galvani, Emerson, orient. II. Título.</p>
-----	---

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, que lutou para que eu estivesse concluindo mais essa etapa da minha vida, e ao meu pai Geovane, por sempre ter me incentivado nos meus estudos. A minha irmã Luana e amigos, que entenderam a minha ausência, e me apoiaram nos momentos mais difíceis.

Um obrigado muito especial, aos meus parceiros do Fórum Brasil Abaixo de Zero (BAZ), pela constante troca de aprendizagem e saberes em relação ao tempo e ao clima, vocês sem dúvida ampliaram os meus horizontes de compreensão. Sou imensamente Grato a vocês Vini e Dudu, pelo apoio e ajuda irrestrita, e a todos meus professores da Geografia-USP, que me ajudaram a me guiar nesta jornada, especialmente ao meu orientador Galvani, pela dedicação, ajuda e amparo na confecção deste trabalho.

RESUMO

OLIVEIRA, Bruno. **Identificação de eventos extremos de calor na cidade de São Paulo**: análise dos dados da estação INMET - Mirante de Santana entre 1961 e 2020. 2022. 92f. TGI (Trabalho de Graduação Individual) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

A pesquisa tem o objetivo, de compreender a elevação real e estatística, no número de eventos extremos de calor na Cidade de São Paulo, com base nos dados oficiais da Estação Meteorológica INMET-Mirante de Santana, abrangendo a série histórica 1961-2020, e considerando as escalas temporal-decadal, sazonal, mensal e anual. Foi utilizado o método de quantis/percentis ($Q_{0,90}$), para seccionar os eventos extremos e os super eventos de calor, e também foram utilizados os critérios estabelecidos pelo IPCC (2001) para caracterização de ondas de calor. Os resultados indicam que, além de estarem mais frequentes, estas ocorrências estão mais intensas e prolongadas, atingindo extremos de temperaturas poucas vezes visto na história dos registros meteorológicos da cidade, como ponto crucial foi constatado que as ondas de calor estão mais do que duas vezes mais comuns, e os eventos ainda mais intensos desta natureza, aqui trabalhados como super eventos de calor, foram nove vezes mais comuns na cidade na última década se comparado aos dados da década de 1960. Para um melhor entendimento das novas realidades climáticas, foi debatido a interação de fatores globais de aquecimento, como os demonstrados nos últimos relatórios do IPCC (2021), com as implicações do clima urbano e a potencialização das ilhas de calor, associada a modificação do uso e ocupação do solo na Cidade de São Paulo.

Palavras-chave: ondas de calor; clima urbano; mudanças climáticas.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Bruno. **Identificação de eventos extremos de calor na cidade de São Paulo**: análise dos dados da estação INMET - Mirante de Santana entre 1961 e 2020. 2022. 92f. TGI (Trabalho de Graduação Individual) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

The research has the objective of understanding the real and statistical possibility, of the number of extreme heat events in the City of São Paulo, based on official data from the INMET-Mirante de Santana Weather Station, comprising the historic series 1961-2020, and considering the decadal, seasonal, monthly and annual time scales. The quartile/percentile (Q 0,90) method was used to section the extreme events and superheat events, and the criteria established by the IPCC (2001) for the characterization of heatwaves as well. The results show that, in addition to being more frequent, these occurrences are more intense and prolonged, reaching extreme temperatures rarely seen in the history of meteorological records of City, as a crucial point it was found that heatwaves are more than twice as common, and even more intense events of this nature, worked here as superheat events, were nine times more common in the city in the last decade compared to data from the 1960s. For a better understanding of the new climate realities, was discussed the interaction of global warming factors, such as those demonstrated in the latest reports of the IPCC (2021), with the implications of the urban climate and the potentiation of heat islands, associated with the modification of land occupation and its use in São Paulo.

Key words: heat waves; urban climate; climate changes.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Análise regional observada nos extremos quentes, IPCC AR6 (2021), tradução e adaptação: Observatório do Clima (2021).....	16
Figura 2: Impactos socioambientais das mudanças climáticas e demandas públicas (IPCC, 2014).....	18
Figura 3: Mapa esquemático de Localização do Município de São Paulo, Org: Bruno Moraes.....	20
Figura 4: Domínios geológico-geomorfológicos do Município de São Paulo (PMSP, 2002; PMSP, 2020).....	22
Figura 5: Unidades Climáticas Naturais do Município de São Paulo. Adaptado de Tarifa e Armani (2001).....	25
Figura 6: Evolução da População da Cidade de São Paulo. *Estimativa (IBGE, s.d.e); Org: Bruno Moraes.....	27
Figura 7: Expansão da área urbana do Município de São Paulo. (Emplasa, 2007). * (Embrapa, 2015). Adaptado de PMSP, 2020.....	28
Figura 8: Índice de Densidade Urbana Morfoclimática em São Paulo. Adaptado de SANTOS (2020).....	31
Figura 9: Ilhas de calor e frescor na Cidade de São Paulo. Adaptado de Barros e Lombardo (2016).....	33
Figura 10: Temperatura noturna durante a Estação Chuvosa na RMSP. Adaptado de Ferreira (2019).....	34
Figura 11: Temperatura noturna durante a Estação Seca na RMSP. Adaptado de Ferreira (2019).....	35
Figura 12: Distribuição espacial do risco relativo da mortalidade de idosos por doenças do aparelho circulatório durante as ondas de calor no município de São Paulo nos anos de 2006 a 2015. (MORAES e BARROSO, 2019).....	39
Figura 13: Distribuição espacial do risco relativo da mortalidade de idosos por doenças do aparelho respiratório durante as ondas de calor no município de São Paulo nos anos de 2006 a 2015. (MORAES E BARROZO, 2019).....	40
Figura 14: Técnica dos quantis: definição de limites dos eventos extremos (calor) na localidade de Porto Alegre para o período de verão Fonte: INMET, 2010. Org.: SILVEIRA, R. D. (SILVEIRA: 2014, P.38).....	43

Figura 15: Altura do Geopotencial em 500hpa durante a Onda de Calor de Julho de 1987. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	48
Figura 16: Pressão (hpa) ao nível do mar durante a Onda de Calor de Julho de 1987. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	48
Figura 17: Temperatura em 850 hpa (°C) durante a Onda de Calor de Julho de 1987. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	49
Figura 18: Altura do Geopotencial em 500hpa durante a Onda de Calor de Outubro de 2002. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	51
Figura 19: Pressão (hpa) ao nível do mar durante a Onda de Calor de Outubro de 2002. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	52
Figura 20: Temperatura em 850 hpa (°C) durante a Onda de Calor de Outubro de 2002. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	53
Figura 21: Altura do Geopotencial em 500hpa durante a Onda de Calor de Janeiro de 2015. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	56
Figura 22: Pressão (hpa) ao nível do mar durante a Onda de Calor de Janeiro de 2015. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	57
Figura 23: Temperatura em 850 hpa (°C) durante a Onda de Calor de Janeiro de 2015. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	58
Figura 24: Altura do Geopotencial em 500hpa durante a Onda de Calor de Março e Abril de 2016. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	61
Figura 25: Pressão (hpa) ao nível do mar durante a Onda de Calor de Março e Abril de 2016. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	61
Figura 26: Temperatura em 850 hpa (°C) durante a Onda de Calor de Março e Abril de 2016. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix.....	62
Figura 27: Evolução Anual dos Eventos de Calor (São Paulo - SP).....	63
Figura 28: Número de Eventos Extremos de Calor por década em São Paulo - SP.....	64
Figura 29: Número de Super Eventos de Calor por década em São Paulo - SP.....	64

Figura 30: Número de Eventos Extremos de Calor (Primavera) por década em São Paulo - SP.....	65
Figura 31: Número de Eventos Extremos de Calor (Outono) por década em São Paulo - SP.....	66
Figura 32: Número de Eventos Extremos de Calor (Inverno) por década em São Paulo - SP.....	66
Figura 33: Número de Eventos Extremos de Calor (Verão) por década em São Paulo - SP.....	67
Figura 34: Número de Super Eventos de Calor (Primavera) por década em São Paulo - SP. INMET-BDMEP.....	67
Figura 35: Número de Super Eventos de Calor (Outono) por década em São Paulo - SP. INMET-BDMEP.....	68
Figura 36: Número de Super Eventos de Calor (Inverno) por década em São Paulo - SP. INMET-BDMEP.....	68
Figura 37: Número de Super Eventos de Calor (Verão) por década em São Paulo - SP. INMET-BDMEP.....	69
Figura 38: Número de Ondas de Calor (Critério IPCC) por década em São Paulo - SP. INMET-BDMEP.....	69
Figura 39: Evolução das temperaturas extremas durante os eventos extremos de calor em São Paulo- SP. INMET-BDMEP.....	70
Figura 40: Evolução das temperaturas extremas durante os Super Eventos de Calor em São Paulo- SP. INMET-BDMEP.....	71
Figura 41: Evolução das temperaturas extremas durante Ondas de Calor (IPCC) em São Paulo- SP. INMET-BDMEP.....	71
Figura 42: Evolução das temperaturas mínimas e máximas diárias (média) durante Eventos Extremos de Calor por estações do ano em São Paulo- SP. INMET-BDMEP.....	72

Figura 43: Duração média dos Eventos Extremos de Calor em São Paulo-SP.
INMET-BDMEP73

Figura 44: Duração média dos Super Eventos de Calor em São Paulo-SP.
INMET-BDMEP73

Figura 45: Episódios de Ondas de Calor (IPCC) por mês do ano em São Paulo-SP.
INMET-BDMEP74

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1: Temperaturas Limiares definidas pelos percentis estabelecidos na identificação de eventos extremos e super eventos de calor pelos dados da Estação INMET - Mirante de Santana. Org: Bruno Moraes.....45

Quadro 2: Temperaturas Máximas e Mínimas (Mirante de Santana) durante a Onda de Calor de Julho de 1987. Org: Bruno Moraes. INMET-BDMEP.....46

Quadro 3: Temperaturas Máximas e Mínimas (Mirante de Santana) durante a Onda de Calor de Outubro de 2002. Org: Bruno Moraes. INMET-BDMEP.....50

Quadro 4: Temperaturas Máximas e Mínimas (Mirante de Santana) durante a Onda de Calor de Janeiro de 2015. Org: Bruno Moraes. INMET-BDMEP.....54

Quadro 5: Registros horários da Estação INMET-Mirante de Santana no auge da onda de calor de janeiro de 2015 . INMET-BDMEP.....55

Quadro 6: Temperaturas Máximas e Mínimas (Mirante de Santana) durante a Onda de Calor de Março e Abril de 2016. Org: Bruno Moraes. INMET-BDMEP.....59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASAS - ALTA SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS

ECMWF - CENTRO EUROPEU DE PREVISÕES METEOROLÓGICAS

EMA - ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

EMC - ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CONVENCIONAL

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO

ENOS - EL NIÑO-OSCILAÇÃO DO SUL

IAG USP - INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS
ATMOSFÉRICAS DA USP.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

INMET BDMEP - BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS DO INMET

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

IPCC AR 6 - RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DO IPCC 6

LCB USP - LABORATÓRIO DE CLIMATOLOGIA E BIOGEOGRAFIA DA USP

mTc - MASSA TROPICAL CONTINENTAL

NCEP - NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL PREDICTION

NOAA - ADMINISTRAÇÃO NACIONAL OCEÂNICA E ATMOSFÉRICA DOS
ESTADOS UNIDOS

OC - ONDA DE CALOR

ODP - OSCILAÇÃO DECADEAL DO PACÍFICO

OMM - ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL

PMSP - PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO

RMSP - REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Q - QUANTIL

UR - UMIDADE RELATIVA

SENSOR TM - SENSOR THEMATIC MAPPER

SMS - SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE

T. MAX - Temperatura máxima do ar

T. MED - Temperatura média do ar

T. MIN - Temperatura mínima do ar

ZCAS - ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	19
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
2.1 Expansão Urbana e modificação do clima natural da cidade	25
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	36
3.1 Ondas de Calor	36
3.2. Compatibilidade entre os dados de estações meteorológicas automáticas e convencionais	41
4. MATERIAIS E MÉTODOS	42
5. RESULTADOS	45
5.1 - Temperaturas limiares estabelecidas para os eventos de calor extremo na cidade de São Paulo	45
5.2 Estudo de caso de ondas de calor por estações do ano	45
5.3 Ondas de Calor na série 1961-2020: Tendências, levantamentos estatísticos e discussões	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICES	86
ANEXOS	90

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios do século atual, reside no enfrentamento das mudanças climáticas, que estão cada vez mais intensas, rápidas e disseminadas (IPCC, 2021) . Para as grandes cidades do globo, essa preocupação não é menos importante, é nelas que se encontram e concentram parte considerável da população. Neste ponto, os aglomerados urbanos por um lado desempenham um papel importante, no conjunto de alterações ambientais provocadas pelo homem, desencadeando parte das alterações climáticas que estamos vivenciado, e por outro, são os locais onde essas alterações se dão de maneira muitas vezes mais forte, e são profundamente mais sentidas (DESCHAMPS, 2004; NOBRE, 2011).

Nas megacidades do mundo emergente e subdesenvolvido, esse drama é ainda mais contundente. A expansão urbana desordenada, relacionada a quase total falta de planejamento urbano, e ao crescimento exponencial, geraram e continuam gerando cidades fragmentadas, onde a desigualdade socioespacial impera (DESCHAMPS, 2004; SANTOS, 2009).

No centro deste debate, uma das maiores questões é o aumento da frequência, duração e intensidade dos eventos extremos relacionados ao clima. Períodos violentos ou prolongados de seca, enchentes catastróficas e eventos extremos de calor, vem demandando maior atenção dos pesquisadores, e estão relacionados a pesadas perdas econômicas, redução da qualidade de vida, e até mesmo óbitos nos eventos mais violentos, como aborda Deschamps (2004) e Nobre (2011).

No mais recente relatório do IPCC (2021), entre as regiões em todo o mundo, que mais experimentaram um grande aumento nos eventos extremados de calor, está o Centro-Sul brasileiro (Figura 1), para além das questões locais, quanto a intensificação dos processos relacionados às ilhas de calor, se encontram conjuntamente mudanças da dinâmica climática regional e global, com alta confiabilidade na contribuição humana nestes resultados (IPCC,2021).

A mudança do clima já está afetando todas as regiões do mundo, com a influência humana contribuindo para muitas alterações observadas em eventos extremos

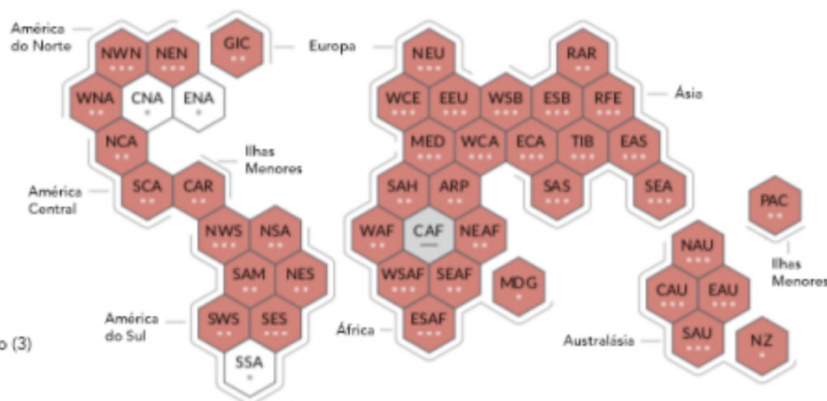
Grau de confiança na contribuição humana

- Alto
- Médio
- Baixo
- Não avaliado

Tipo de mudança

- Aumento (41)
- Redução (0)
- Nem aumento nem redução (3)
- Evidência insuficiente (1)

a) Mudança no número de extremos de calor



Regiões de referência do IPCC AR6 WGI: América do Norte: NWN (North-Western North America), NEN (North-Eastern North America), WNA (América do Norte Ocidental), CNA (América do Norte Central), ENA (América do Norte Oriental), América Central: NCA (América Central do Norte), SCA (Sul da América Central), CAR (Caribe), América do Sul: NWS (Nordeste da América do Sul), NSA (Norte da América do Sul), NES (Nordeste da América do Sul), SAM (Monção Sul-Americana), SWS (Sudoeste da América do Sul), SES (Sudeste da América do Sul), SSA (Sul da América do Sul), Europa: GIC (Gronelândia/Islandia), NEU (Europa do Norte), WCE (Europa Ocidental e Central), EEU (Leste Europa), MED (Mediterrâneo), África: MED (Mediterrâneo), SAH (Saara), WAF (África Ocidental), CAF (África Central), NEAF (Nordeste África), SEAF (África do Sudeste), WSAF (África Austral Ocidental), ESAF (África Austral Oriental), ODM (Madagáscar), Ásia: RAR (Russo Ártico), WSB (Sibéria Ocidental), ESB (Sibéria Oriental), RFE (Extremo Oriente russo), WCA (Ásia Central Ocidental), ECA (Ásia Central Oriental), TIB (Planalto Tibetano), EAS (Ásia Oriental), ARP (Península Arábica), SAS (Sul da Ásia), SEA (Sudeste Asiático), Australásia: NAU (Norte da Austrália), CAU (Central Austrália), EAU (Austrália Oriental), SAU (Austrália Meridional), NZ (Nova Zelândia), Ilhas Pequenas: CAR (Caribe), PAC (Ilhas Pequenas do Pacífico)

Figura 1: Análise regional observada nos extremos quentes, IPCC AR6 (2021), tradução e adaptação: Observatório do Clima (2021)

Fante e Neto (2015) argumenta que, a noção objetiva de eventos extremos em climatologia, perpassa a noção de critérios de excepcionalidade, baseados em índices climáticos relativos, que são desenvolvidos por diferentes instituições, e que muitas vezes se moldam de maneira diferente em cada realidade climática. Por esta razão, ao se considerar especificidades locais, determinadas metodologias, relacionadas a natureza destes índices podem se acomodar com maior ou menor sentido, na obtenção de resultados viáveis, sendo isso uma questão importante, que

deve ser levada em consideração, ao se escolher critérios de excepcionalidades durante uma investigação científica.

Dentre esses critérios, um dos mais conhecidos, é o do IPCC (2001), nele um evento extremo de calor - neste caso Onda de Calor (OC) - ocorre quando em ao menos 5 dias consecutivos, a temperatura máxima diária supera em pelo menos 5°C, a normal climatológica (1961-1990), em relação a seus índices mensais nesta variável. Outro índice, é o desenvolvido pela OMM (Organização Meteorológica Mundial), muito semelhante aos critérios do IPCC, mudando apenas de 5 para 6 dias consecutivos com as temperaturas além dos limiares, para se considerar um evento de OC (FANTE e NETO: 2015). Uma maneira diferente, e que se molda melhor a cada realidade climática, são os índices que usam limites estatísticos diretos, relacionados aos quantis ou percentis dos dados específicos da estação meteorológica utilizada como representativa ao local a ser estudado, como trabalhado por Silveira (2014).

Tratando-se das desigualdades socioespaciais, os impactos dos eventos extremos se mostram bastantes heterogêneos, a depender da área da cidade, e dos grupos populacionais envolvidos. Em geral, é a população mais pobre e vulnerável que sofre mais intensamente o resultado destas alterações, são essas pessoas que moram nas várzeas de rios e córregos, e por este motivo, são mais suscetíveis aos eventos de enchentes, do mesmo modo, que muitas vezes são os que habitam moradias precárias, com péssima ventilação, e com carência nos arsenais técnicos para driblar períodos prolongados de seca ou calor excessivo, soma-se a isso, nas situações mais extremas, os problemas com abastecimento de água potável e energia elétrica. (DESCHAMPS, 2004; SILVEIRA, 2016; PMSP, 2020).

Segundo o relatório do IPCC (2014), diante destas complexidades, é cada vez mais importante o papel ativo dos Estados e governos, na promoção de políticas públicas, que busquem mitigar os impactos e vulnerabilidade em relação às alterações climáticas em curso. No conjunto destas ações, estão o aperfeiçoamento dos sistemas de previsões climáticas, gestão integrada de recursos hídricos e

energéticos, implementação de sistemas de alertas climáticos e meteorológicos. Esse jogo de relações, que envolvem a exposição e vulnerabilidade dos sistemas humanos e naturais, diante dos impactos das alterações climáticas e eventos extremos, pode ser melhor compreendido na imagem abaixo (Figura 2).

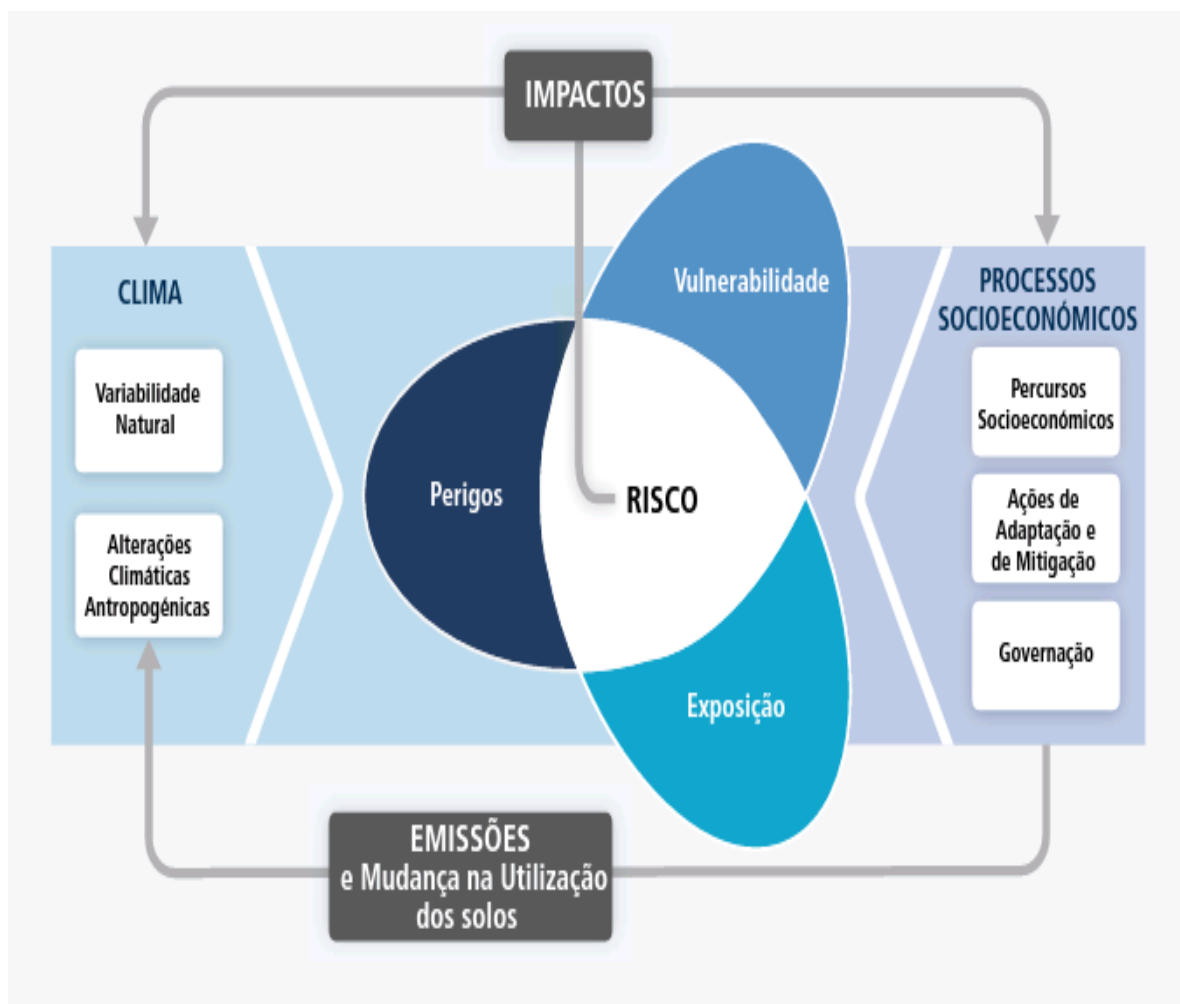


Figura 2 - Impactos socioambientais das mudanças climáticas e demandas públicas (IPCC, 2014)

Para abarcar as finalidades deste trabalho, se precisou caracterizar a área de estudo, algo essencial no entendimento dos processos, que levaram à modificação dos climas naturais que abrangiam o território do município de São Paulo. Essa compreensão perpassa, no real entendimento das características da expansão do tecido urbano da metrópole. Após esta resolução, será apresentada uma revisão bibliográfica, com foco nas pesquisas científicas que debruçaram-se nas questões envolvendo ondas de calor, e aumento de extremos climáticos, em essencial no Brasil e região adjacente na América do Sul. Após estas passagens, será viável a

compreensão da metodologia escolhida, para o alcance dos objetivos e resultados desta pesquisa.

1.1. Objetivos

Objetivo Geral:

Compreender com base nos dados oficiais da Estação INMET (Mirante de Santana), no período 1961-2020, o provável aumento real e estatístico, dos eventos extremos de calor na cidade de São Paulo, em escala temporal-decadal, sazonal, mensal e anual.

Objetivos Específicos:

- Analisar a ocorrência temporal de eventos extremos de calor, de acordo com os dados oficiais.
- Discutir o jogo de relações entre o clima urbano, e suas ilhas de calor, com o aquecimento global antropogênico, refletindo as suas influências nas novas realidades climáticas da cidade de São Paulo, bem como prováveis interconexões.
- Evidenciar alguns sistemas sinóticos/atmosféricos, que provocam eventos extremos de calor em São Paulo, e que possam ser detectados nos estudos de casos aqui empregados, debatendo prováveis variações de intensidade e ocorrência, considerando o decorrer das eventualidades estudadas, tendo como base a literatura e os sistemas de reanálises disponíveis.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

São Paulo é caracterizado como o município mais rico e populoso do Brasil, sendo considerado uma cidade global, com uma forte rede de relações que ultrapassam os limites das escalas regionais e de país, é o centro da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e capital do estado homônimo. Seu território conta com 1.521,11 km², e sua população estimada em 2021 é de 12.396.372 pessoas, sendo a densidade demográfica em 2010 de 7.398,26 habitantes por Km², está dividido em 32 subprefeituras, que administram 96 distritos (IBGE, s.d.e; PMSP, 2020).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

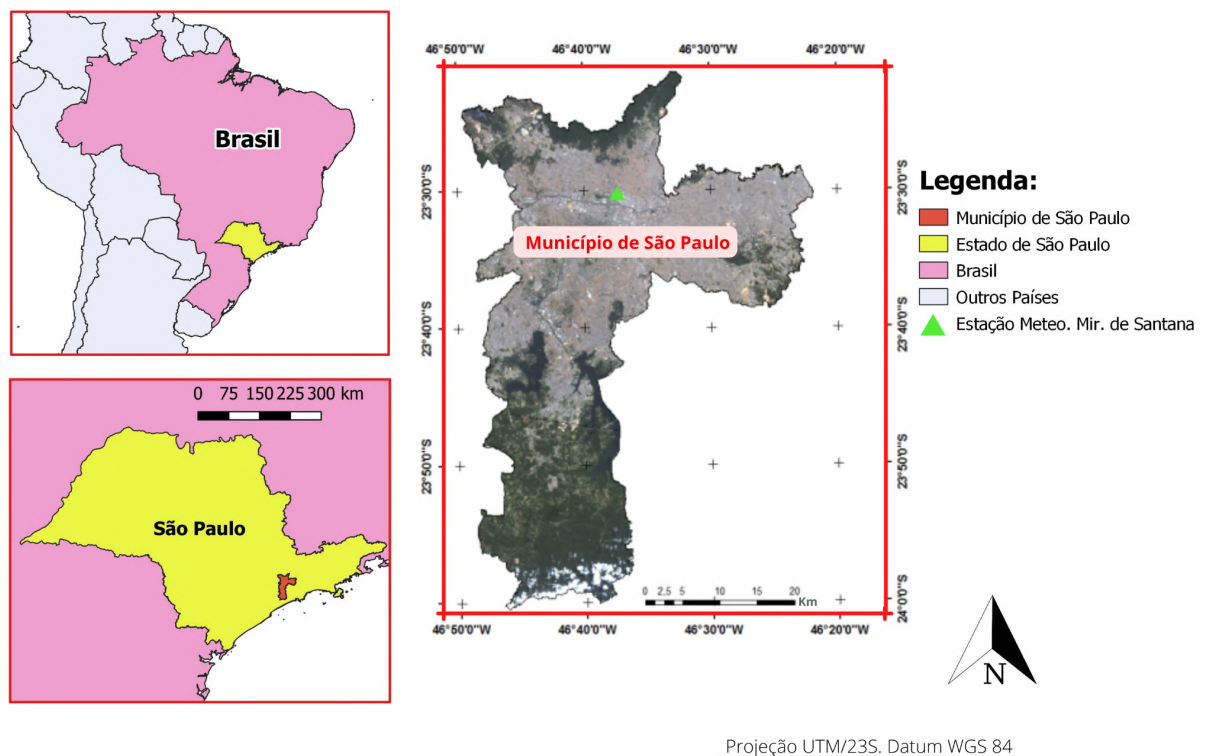


Figura 3 - Mapa esquemático de Localização do Município de São Paulo, Org: Bruno Morais

Conforme Rodriguez (1998), o arcabouço geológico (Figura - 4) da região da capital paulista é

Constituído por terrenos policíclicos do Cinturão de Dobramentos Ribeira (...), representados por rochas metamórficas, migmatitos e granitóides. Sobre esses terrenos assentam-se sedimentos cenozóicos das bacias

sedimentares de São Paulo (...). Ainda, recobrando todas essas unidades, registram-se ocorrências de depósitos aluviais e coluviais quaternários. (RODRIGUEZ: 1998, p.7)

A ocupação do território do município, em princípio praticamente se limitou aos terrenos sedimentares da bacia de São Paulo, caracterizado pelos relevos colinosos e solos majoritariamente propícios à ocupação humana, localizados nos compartimentos internos entre os leitos do Rio Tietê e Pinheiros, situação sustentada até meados dos anos 50, momento em que a cidade contava com pouco mais de 2 milhões de habitantes (PMSP, 2002). Aziz Ab' Saber na década de 50, ao descrever características do sítio urbano de São Paulo, relata que:

A originalidade geográfica principal do sítio urbano de São Paulo reside na existência de um pequeno mosaico de colinas, terraços fluviais e planícies de inundação, pertencentes a um compartimento restrito e muito bem individualizado do relevo da porção sudeste do Planalto Atlântico Brasileiro (...). Apenas algumas descontínuas indentações do organismo urbano conseguiram transpor a faixa de grandes planícies de inundação dos dois cursos d'água e enraizar nos outeiros e colinas do ângulo externo da confluência (AB' SABER: 2007, p.14)

Entre as décadas de 60 e 70, a expansão industrial, e o desenvolvimento do setor automobilístico, estimula uma fortíssima onda migratória, consequentemente a mancha urbana da cidade começa a ultrapassar os limites da bacia sedimentar de São Paulo, ocupando os terrenos cristalinos, em um violento, rápido e disseminado processo de periferização (PMSP, 2002). Segundo Amadio (2004), esta expansão seguiu as tendências já iniciadas na segunda metade da década de 40, entretanto com uma intensidade muito superior, relacionado a metropolização e aos processos de adensamento:

Um conjunto de fatores econômicos concorreu para que a industrialização em curso desde o pós-guerra confluísse majoritariamente para a região metropolitana de São Paulo, tornando-a o pólo mais dinâmico da economia brasileira e em consequência, um forte indutor das migrações para a cidade de São Paulo e municípios vizinhos (AMADIO: 2004, p.163)

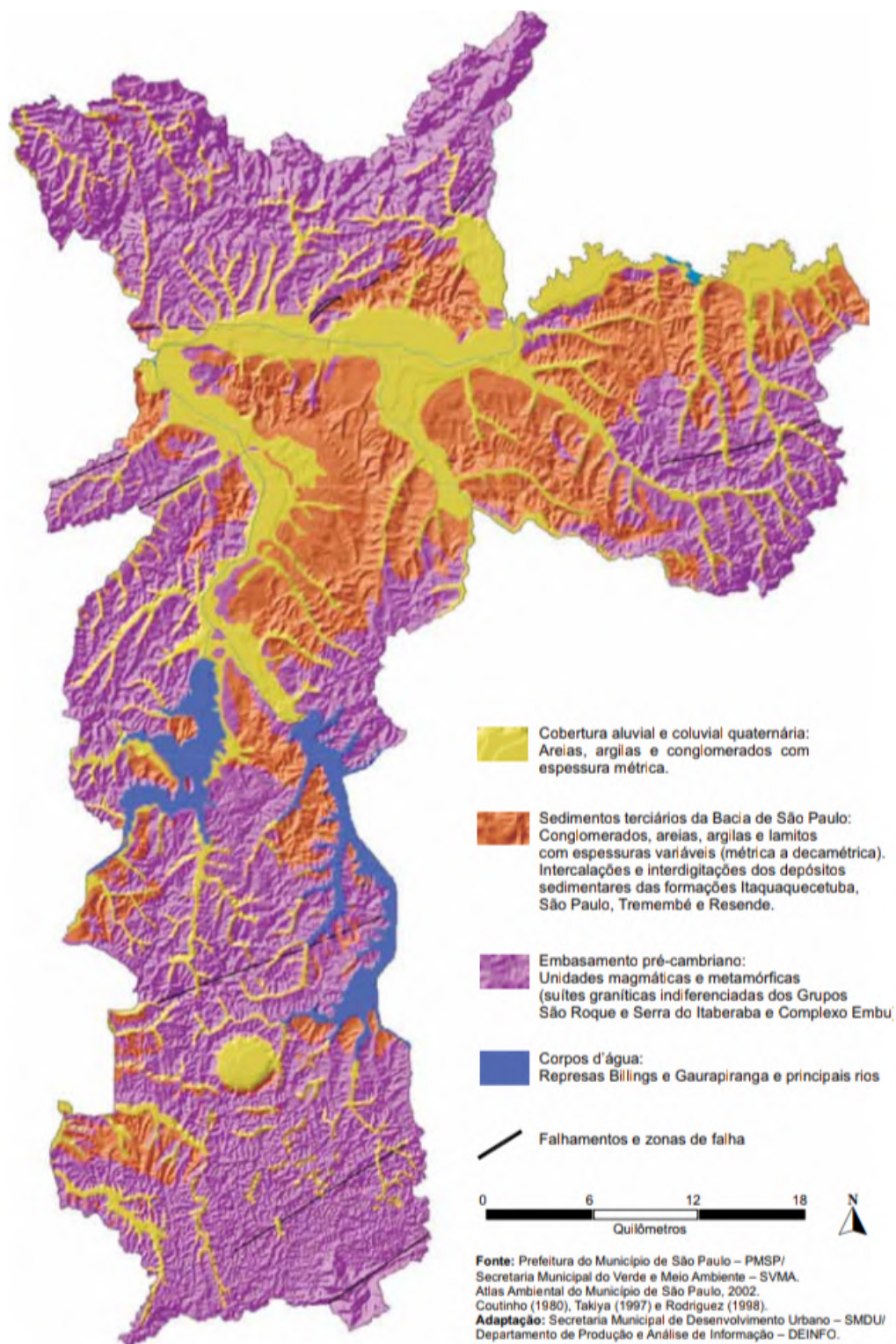


Figura 4 - Domínios geológico-geomorfológicos do Município de São Paulo (PMSP, 2002; PMSP, 2020)

Tarifa e Armani (2001), explana que a metrópole paulistana está inserida dentro paralelo 23°S, exatamente onde se situa o trópico de capricórnio, em função disso, ela se encontra em uma zona de transição climática, entre os climas tropicais de altitude, com estação seca bem demarcada, e os climas subtropicais, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, característicos do sul do país. Por estar nesta região marcada pela transição climática, o clima da cidade é notado por duas estações bem definidas, uma quente e úmida e outra fria e relativamente mais seca. Os estados atmosféricos são considerados dinâmicos com sucessão rápida, de curta duração (dias a semanas), entre os momentos de intenso aquecimento e os de intenso resfriamento.

Tendo como base, os registros da Estação Oficial do INMET — Mirante de Santana, utilizada neste estudo, para identificação de ocorrências de eventos extremos de calor, e trazendo à luz mais diretamente, suas normais climatológicas, referentes ao período 1961-1990 (Anexo A). É viável se constatar, que o período entre os meses de maio a outubro registra os menores valores médios de temperatura, sendo julho o mês mais frio — com 15,8°C de temperatura média. O período quente climatologicamente transcorre entre os meses de novembro à abril, sendo fevereiro o mês mais quente — com 22,4°C de temperatura média. O mês mais chuvoso é janeiro (verão) com média de 238,7 mm de precipitação, e o mais seco é agosto (inverno), com média de 38,9 mm de precipitação mensal. Os valores médios de umidade relativa (UR), se mantêm altos ao longo de todo ano, com uma pequena variação entre o mínimo de 74% relativo a agosto, e os máximos de 80% computados nos meses de novembro, janeiro, março e abril. A temperatura máxima absoluta no período foi de 35,3°C anotada em 15 de novembro de 1985, e a temperatura mínima absoluta 1,2°C, aferida em 01 de junho de 1979 (INMET; TARIFA e ARMANI; 2001).

Vale salientar, que parte destes registros extremos foram ultrapassados, ou alterados, no período posterior (1991-2020), como o de Temperatura Máxima Absoluta, que agora se refere aos 37,8°C de 17 de Outubro de 2014. Já a mínima

absoluta ocorreu, no período anterior a normal 1961-1990, sendo este valor os -2,1°C registrados no dia 02 de agosto de 1955 (INMET - BDMEP).

Ao analisar as mudanças entre as normais 1961-1990 e 1980-2010 (Anexo B), percebemos um significativo aumento das médias de temperaturas, em todos os meses e estações do ano, soma-se a isso a constatação do aumento da insolação média, e redução das médias de umidade relativa do ar entre os dois períodos. O que sem dúvida, pode estar relacionado a uma maior sucessão de tempos marcados por sistemas atmosféricos mais secos e quentes, demarcando uma alteração climática evidente. Além disso, a redução dos níveis de UR, pode estar intrinsecamente relacionada à redução da cobertura vegetal no município (MODNA e VECCHIA, 2003; CATUZZO, 2013).

Tarifa e Armani (2001), considerando a geomorfologia diferenciada do território do município, associando a variação regional dos aspectos atmosféricos em interação com o relevo, separou o clima de São Paulo em cinco unidades climáticas naturais (Figura - 5): **Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano; Tropical Úmido Serrano da Cantareira – Jaraguá; Tropical Úmido de Altitude do Alto Juqueri; Tropical Sub-Oceânico-Super-Úmido do Reverso do Planalto Atlântico; e Tropical Oceânico Super-Úmido da Fachada Oriental do Planalto Atlântico (Serra do Mar).**

Município de São Paulo - Unidades Climáticas "Naturais"



Figura - 5: Unidades Climáticas Naturais do Município de São Paulo. Adaptado de Tarifa e Armani (2001)

2.1. Expansão Urbana e modificação do clima natural da cidade

Monteiro (1993) relata que, o clima urbano costuma ser entendido como um produto das alterações ambientais atrelado às transformações ocorridas na passagem de um ambiente natural, para outro, densamente modificado, e construído pelo homem.

A troca da cobertura vegetal por materiais associados a urbanidade como (concreto, pedra, construções metálicas), altera as dinâmicas atmosféricas das superfícies, afetando o balanço entre evapotranspiração, e infiltração de água, todas essas mudanças estruturais mexem com o balanço térmico, o que associado com a poluição do ar, da água, e do solo, produzem novas realidades microclimáticas, o que se traduz nos conceitos de ilha de calor e clima urbano (VOOGT e OKE, 2003; FERREIRA, 2012; FERREIRA, 2019; SANTOS, 2020). Em relação ao caso de São Paulo, Ferreira (2019) discorre que:

O processo histórico e socioeconômico de ocupação do território onde hoje se localiza o município de São Paulo, assim como a atual situação ambiental da cidade, evidenciam um processo de urbanização que não considerou as particularidades de sua base física. A sistemática supressão da cobertura vegetal aparece como uma das consequências deste processo, (...). A convivência do poder público com a abertura de loteamentos irregulares, a construção de imensos conjuntos habitacionais desconectados da estrutura urbana e a falta de uma política de desenvolvimento urbano que estimulasse concomitantemente a instalação de atividades geradoras de emprego e renda resultaram na predominância de uma urbanização extensiva e precária (...). Calçada no binômio loteamento clandestino e ônibus urbano, a periferia da cidade expandiu-se entre as décadas de 1940 e 1970, conduzindo à urbanização de áreas ambientalmente inadequadas e desprezadas pelo mercado imobiliário formal, principalmente a partir da década de 1980. (FERREIRA: 2019, p. 25-26)

Com relação a esse ponto, a primeira metade da série histórica dos dados meteorológicos/climáticos utilizados neste trabalho, entre as décadas de 60, e o início dos anos 90, contempla o apogeu da intensificação deste processo de expansão urbana e ganho populacional (Figuras 6-7), o que pode trazer evidências adicionais, quanto as concomitâncias entre o aumento da mancha urbana e as alterações climáticas associadas aos eventos extremos, bem como a intensificação das ilhas de calor na cidade.

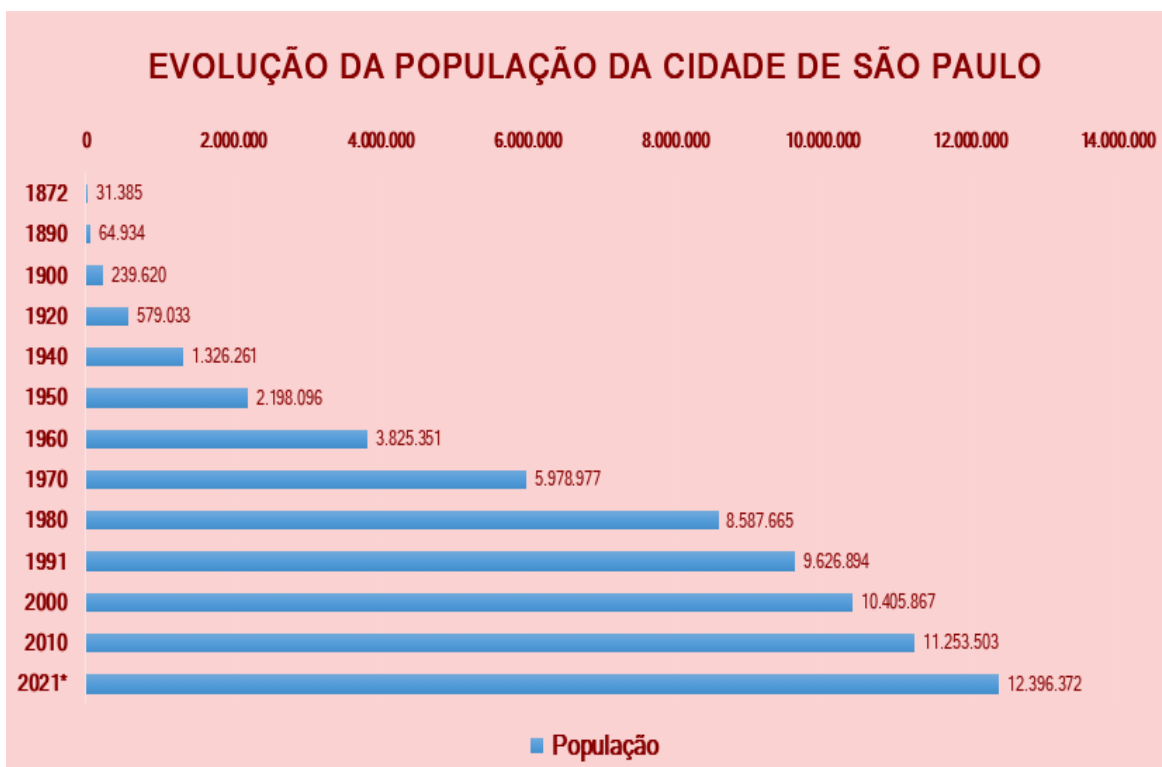


Figura - 6: Evolução da População da Cidade de São Paulo. *Estimativa (IBGE, s.d.e); Org: Bruno Moraes

Considerando este período entre as décadas de 1940 e 1970, a Emplasa descreve:

A cidade de São Paulo continuou a crescer rapidamente e a se expandir em direção à área rural, (...). Com o incremento populacional, a área da cidade também se ampliou, englobando os subúrbios mais próximos e promovendo o desenvolvimento dos mais distantes. A porção urbanizada, contínua, aproximou-se dos limites administrativos municipais e ultrapassou-os, sobretudo na direção leste-oeste. Nesse período censitário, ocorreu também uma acentuada verticalização na região central, no hoje chamado “centro novo” e nos bairros contíguos, como: Santa Ifigênia, Campos Elíseos, Santa Cecília, Vila Buarque e Consolação, dentre outros. Esse mesmo processo verificou-se em bairros mais afastados, mas cujas áreas centrais estavam estruturadas como subcentros, como: Santana, Penha, Pinheiros e Lapa (...). O incremento populacional que se registra ao longo dessas décadas acabou refletindo no crescimento e adensamento da área urbanizada de São Paulo e municípios vizinhos. Esse processo foi se realizando de forma esparsa, com maior ênfase em determinadas direções, a partir da porção central da mancha urbana. (EMPLASA: 2007, p.13-15)

ÁREA URBANA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Até 1949 - 261,70 Km²
 Até 1962- 598,46 Km² (+128,68%)
 Até 1974 - 678,11 Km² (+13,31%)
 Até 1997 - 802,63 km² (+34,12%)
 Até 2002 - 877,92 Km² (+9,38%)
 Até 2015 - 949,61 km² (+8,17%)*

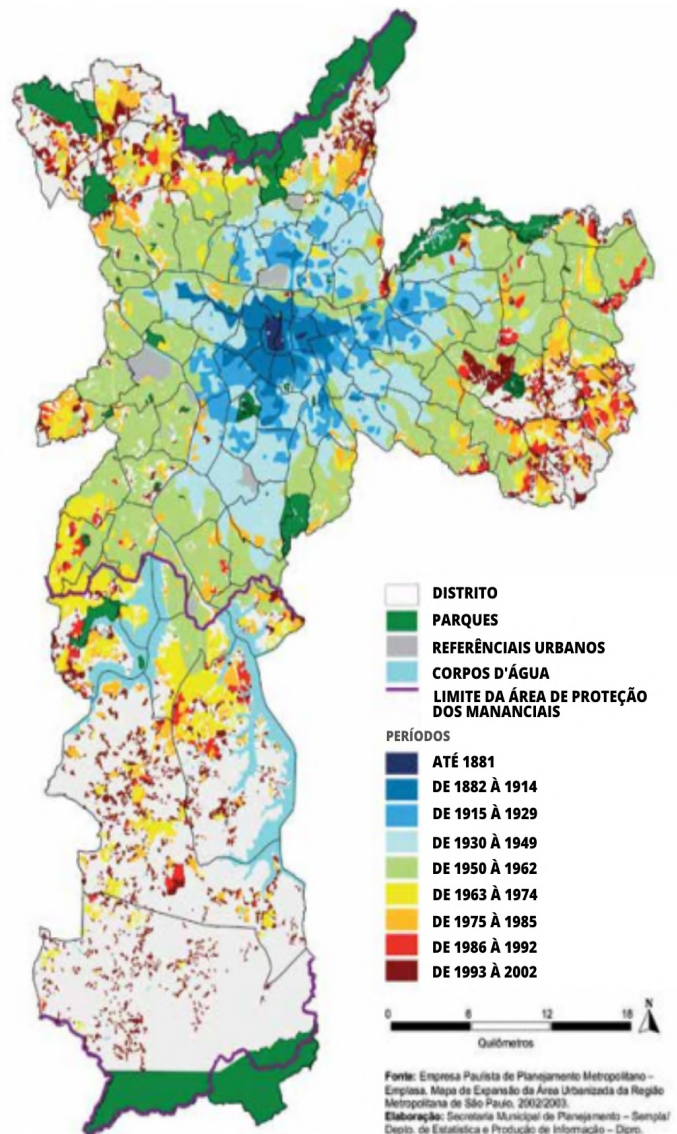


Figura - 7: Expansão da área urbana do Município de São Paulo. (Emplasa, 2007). * (Embrapa, 2015). Adaptado de PMSP, 2020.

Autores como Somekh (1992) e Ferreira (2019), debatem que o processo histórico de expansão do território da metrópole se deu de maneira esparsa, o que ocasionou uma expansão demasiada, e fragmentada do tecido urbano de São Paulo, sobretudo no processo estrutural de expansão que marcadamente ocorreu

entre as décadas de 1940 a 1980. Em relação a este ponto, cabe inferir, que mudanças na dinâmica social ocorreram após este período, atrelado a mudança da morfologia urbana, em relação ao uso e ocupação do solo, apesar do crescimento populacional reduzido, o que é visto por AMADIO (2004); BOTELHO (2007); FERREIRA (2019). Santos (2020), lembra que:

O desenvolvimento do espaço urbano é referido como o resultado de um conjunto de influências (ambientais, econômicas, culturais, sociais e políticas) de períodos distintos. Isso permite que, em qualquer ponto da história a paisagem urbana seja reconhecida como um símbolo das realizações e investimentos de gerações sucessivas. A compreensão destes modos de simbolização espacial e das configurações dos assentamentos, ou seja, o modo como as formas são estruturalmente resilientes e como compõem a fisionomia específica de uma cidade, são pontos que estão no cerne do campo de estudo da morfologia urbana (...). O resultado dessa organização espacial resulta na materialização estética, funcional, ecológica, social e econômica dos espaços urbanos. Aos morfologistas urbanos de diferentes ramos da ciência, cabem focar os resultados tangíveis de frutos de abordagens ambientais, sociais e econômicas, e avaliar como eles interagem e moldam nossas cidades. (SANTOS: 2020, p.15-16)

No período, que compreende o início da série histórica estudada (1961-2020), os bairros residenciais da cidade eram caracterizado por bairros dormitórios, pouco adensados ou verticalizados, hoje a realidade se opõe à esta estrutura, tendo havido um sensível processo de verticalização dos bairros residenciais de classe-média, no quartel posterior aos anos 70-80, sendo um desses bairros, os distritos de Santana, Casa Verde e Vila Guilherme (AMADIO, 2004; EMPLASA, 2007; SANTOS, 2020), nas proximidades da Estação Meteorológica Mirante de Santana, o que pode ter sido um fonte de alteração do clima local. Além disso, no seio das operações urbanas, muitos bairros pouco verticalizados, e de característica residencial de classe-média, se tornaram palco da expansão comercial, de torres corporativas do alto capital nacional e internacional, sendo o eixo-sudoeste (Pinheiros, Faria Lima, Vila Olímpia, Berrini e Chucrí Zaidan), o caso mais emblemático. (AMADIO, 2004; BOTELHO, 2007).

Todas essas novas estruturas de relações e ocupação do solo urbano, acabam por corresponder, apesar da estagnação ou perda de população em algumas áreas, a deterioração de antigas áreas centrais, ao passo que novas centralidades surgem,

e com elas novos padrões morfológicos de uso e ocupação da cidade, formando um poderoso processo de reestruturação urbana, associados à proliferação de grandes plantas prediais, que surgem com a expansão do número de *Shoppings*, de imensos centros empresariais, e de grandes hospitais, tal processo garante a contínua reprodução e acumulação do capital, por meio do solo urbano da cidade (BOTELHO, 2017; CARLOS, 2015).

Nas maiores cidades brasileiras, São Paulo e Rio de Janeiro, grandes mudanças nas dinâmicas climáticas, e aumento dos impactos sociais vêm sendo observados. Na simulação climática do modelo regional ETA- CPTEC 40 Km, utilizada por Nobre (2011), os resultados convergiram para um aumento de 2°C até 4°C da temperatura, nas regiões Sul e Sudeste do país até o final do século (Anexo C). Em relação às alterações nas dinâmicas térmicas, os modelos concordam com alta confiabilidade neste atributo em específico no “ **aumento no número de dias quentes, diminuição dos dias frios, aumento no número de noites quentes e diminuição no número de noites frias**” (NOBRE: 2011, p. 8-9, grifo do autor).

A respeito da simulação de 2010 (ETA-CPTEC), muitas tendências se consolidaram, segundo o levantamento deste presente trabalho, com grande efetividade já na última década (2011-2020), entre elas está o aumento dos dias e noites quentes, atrelados aos eventos extremos de calor, na Cidade de São Paulo, algo que será mais profundamente detalhado e debatido em resultados.

Para Santos (2020), o estudo da morfologia urbana é crucial no entendimento da potencialidade de suas ilhas de calor. O arranjo da ocupação das construções na cidade, pode ser visto de acordo com seus padrões geométricos (Apêndice A). Os padrões de organização, tamanho, direcionamento e distanciamento, interagem conjuntamente, formando padrões específicos de ventilação e acúmulo de energia térmica, por impactarem as trocas radiativas e energéticas, produzindo campos termais distintos. O que invariavelmente se associam na produção de novas realidades climáticas.

Por meio da interação das múltiplas geometrias, formadoras dos padrões morfoclimáticos, Santos (2020), propõe o Índice de Densidade Urbana Morfoclimática e sua espacialização no Município de São Paulo, como pode ser visto na (Figura - 8). Nas áreas mais críticas, os processos naturais de termodinâmica e ventilação estão profundamente alterados, ocasionando pontos cálidos dentro da superfície urbana da cidade (SANTOS, 2020)

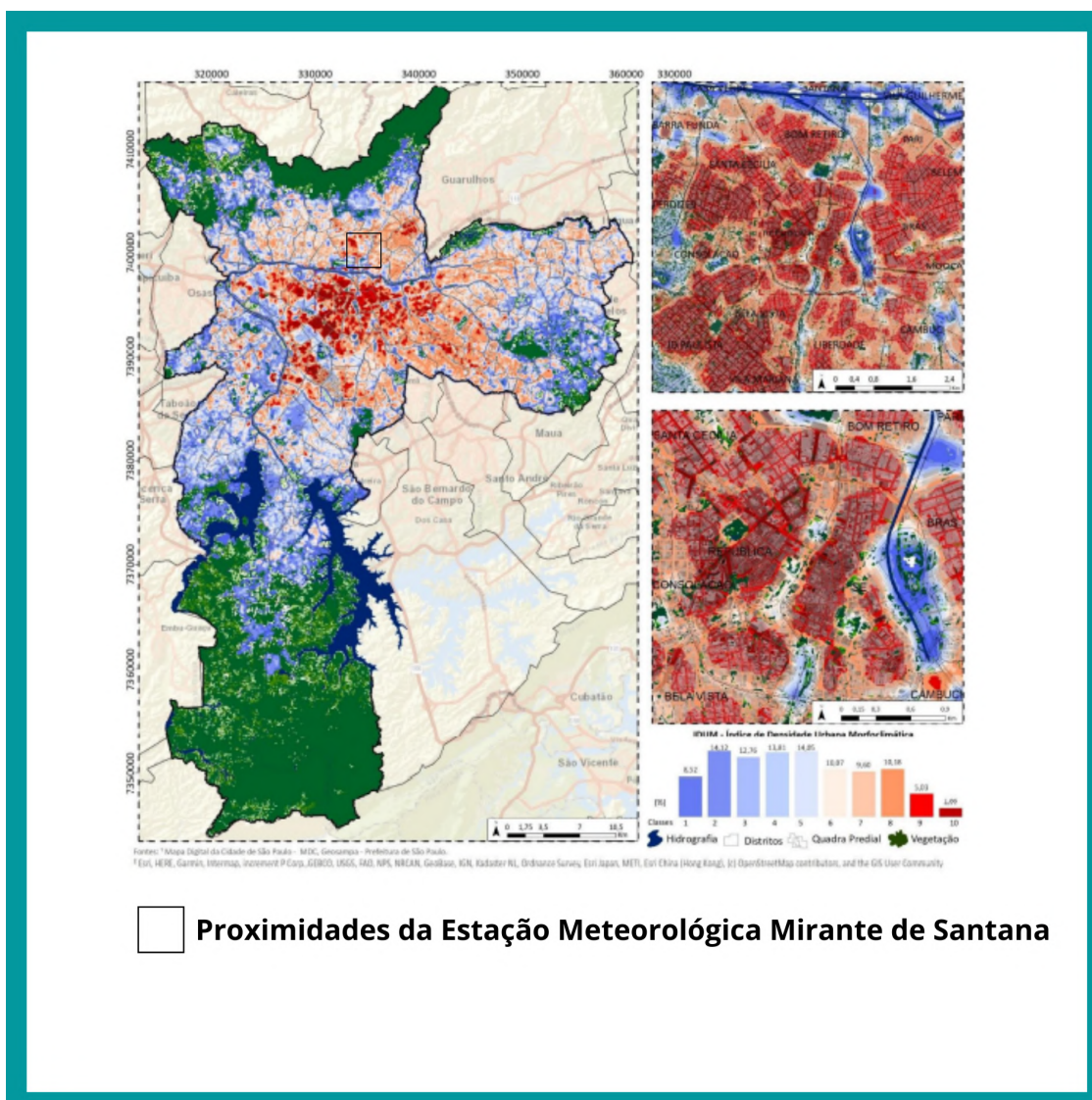


Figura - 8: Índice de Densidade Urbana Morfoclimática em São Paulo. Adaptado de SANTOS (2020)

Ferreira (2019), também tece reflexões sobre a morfologia urbana, somando-se a carência de vegetação nos ambientes das cidades, e seus impactos na produção

de micro climas quentes (ilhas de calor), onde os processos de irradiância termal (energia solar), e de mistura das porções de ar na superfície (ventilação), são severamente comprometidos, traduzindo esses pontos, nos seguintes levantamentos:

Características da Estrutura. A geometria urbana é caracterizada pela repetição de cânions urbanos que restringem a visão do céu (...), provocando múltiplas reflexões da radiação solar. Estas múltiplas reflexões da radiação aumentam a absorção de calor pelas superfícies do cânion, quando comparadas com uma superfície plana. Além disso, a movimentação de ar normalmente é restrita, o que reduz as trocas convectivas turbulentas e diminui a capacidade de perda de calor pela ventilação. A pouca visão de céu restringe ainda a perda de radiação de onda longa, dificultando o arrefecimento das superfícies;

Propriedades das superfícies. Os baixos albedos e altas admitâncias proporcionam maior armazenamento de calor. As superfícies urbanas se aquecem durante o dia e, pelo princípio do equilíbrio térmico, liberam o calor acumulado durante a noite, contribuindo para o aquecimento do ar;

Ausência de vegetação. A substituição das áreas naturais com vegetação por edificações e áreas pavimentadas faz com que a maior parte da radiação solar incidente seja convertida em calor sensível, ao invés de calor latente. Isso se deve às propriedades dos materiais urbanos. Ademais, a falta de sombreamento proporcionado pelas árvores urbanas contribui com o maior aquecimento das superfícies.

Calor antropogênico, água e poluentes. Grandes quantidades de calor sensível são liberadas pelos processos industriais, pelo resfriamento e aquecimento de espaços internos e na queima de combustíveis fósseis usados no transporte urbano. As áreas urbanas também eliminam na atmosfera água em estado líquido e gasoso, oriunda de processos industriais, de processos de condicionamento do ar interno e irrigação de áreas verdes. Também são eliminadas grandes quantidades de poluentes particulados e gasosos. Tais emissões, de calor, água e poluentes, variam conforme a hora do dia e da semana. (FERREIRA: 2019, p. 32-33, grifo nosso)

Os índices de conectividade, proximidade, e oclusividade, trabalhados por Santos (2020), estão intimamente ligados, a pouca visão do céu noturno, o que afeta a perda radiativa noturna da energia solar, que se soma aos problemas de ventilação gerados pelas estruturas urbanas - excesso de construções, em desníveis e barreiras geométricas - (SANTOS, 2020), e em geral afeta como mostra Ferreira (2019), os processos termodinâmicos habituais noturnos, gerando ilhas de calor, e aumento das temperaturas mínimas, o que será evidenciado neste trabalho, pela evolução na quantidade de Super Eventos de Calor, que além da elevação das

temperaturas máximas, também estão relacionados ao crescimento descomunal das temperaturas mínimas (SILVEIRA, 2014).

Barros e Lombardo (2016), também relaciona a potencialidade das ilhas de calor na cidade, ao uso e ocupação de seu território, com ênfase na disponibilidade de cobertura vegetal o que cria ambientes termais heterogêneos, formando tanto ilhas de calor, quanto ilhas de frescor, ao se considerar os padrões atuais do clima urbano, o trabalho contou conjuntamente com a obtenção de dados da banda termal (radiância espectral e emissividade) do satélite Landsat 5 - sensor TM, para articular os resultados de temperatura superficial em seu estudo (Figura - 9).

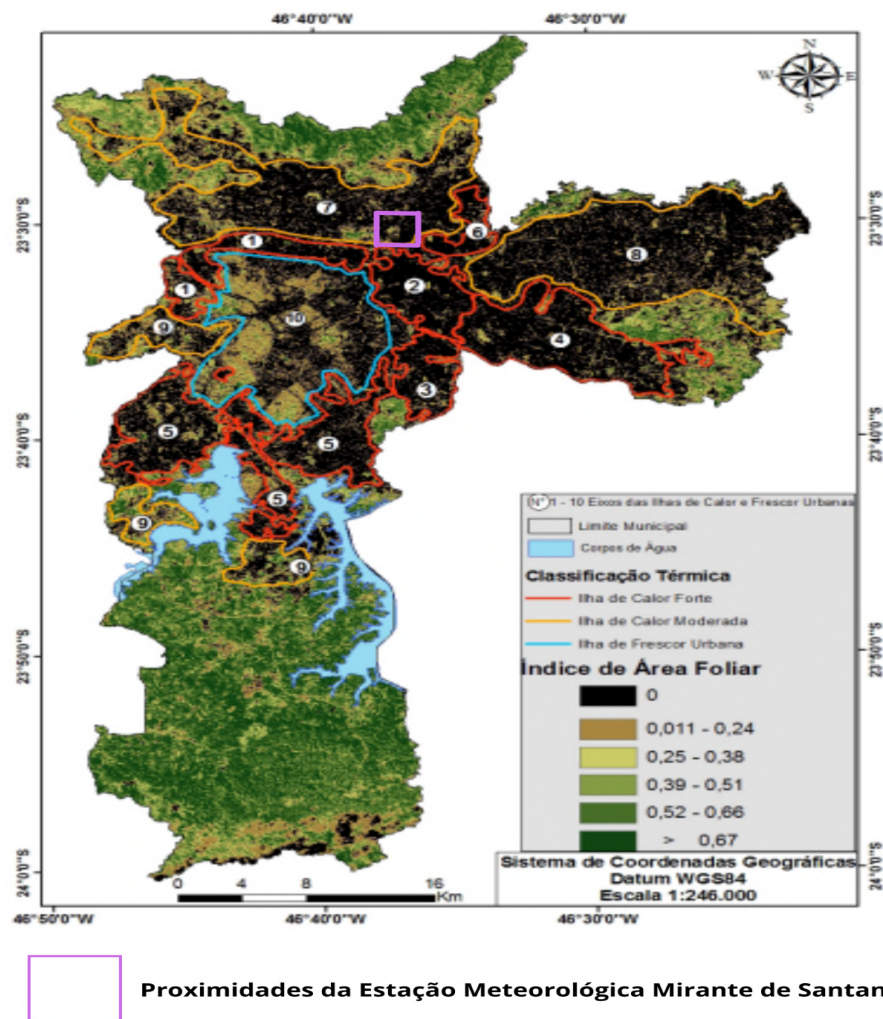


Figura - 9: Ilhas de calor e frescor na Cidade de São Paulo. Adaptado de Barros e Lombardo (2016)

Em conformidade, ao trabalhado por Santos (2020), fatores como a verticalidade das edificações trazem questões com o sombreamento. Áreas muito verticalizadas, podem se apresentar como ilhas de frescor urbanas, em essencial durante o dia, como no eixo conhecido como Sudoeste (Pinheiros, Itaim Bibi, Berrini, Santo Amaro) - Área 10 (Figura - 9), abordada por Barros e Lombardo. Entretanto, ilhas de frescor urbanas, ocasionadas pelo papel conjunto do sombreamento dos grandes prédios, podem não ser sustentadas durante a noite, se apresentando, deste modo, enquanto Ilhas de Calor Noturnas (Figura - 10 e 11), desempenhando um papel crucial, no entendimento da elevação das temperaturas mínimas, nos grandes centros urbanos, como retratado por Ferreira (2019).

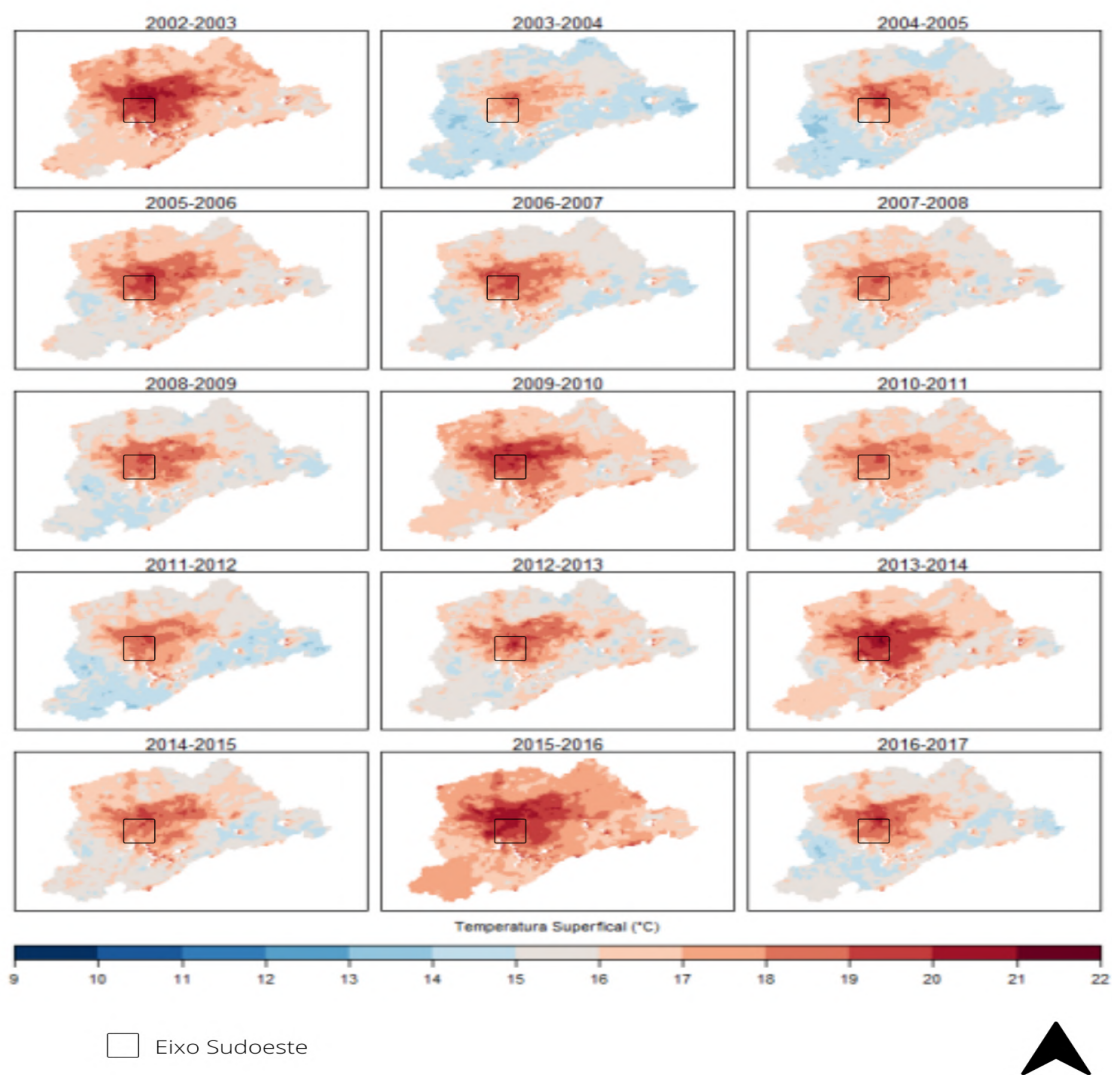


Figura - 10: Temperatura noturna durante a Estação Chuvosa na RMSP. Adaptado de Ferreira (2019)

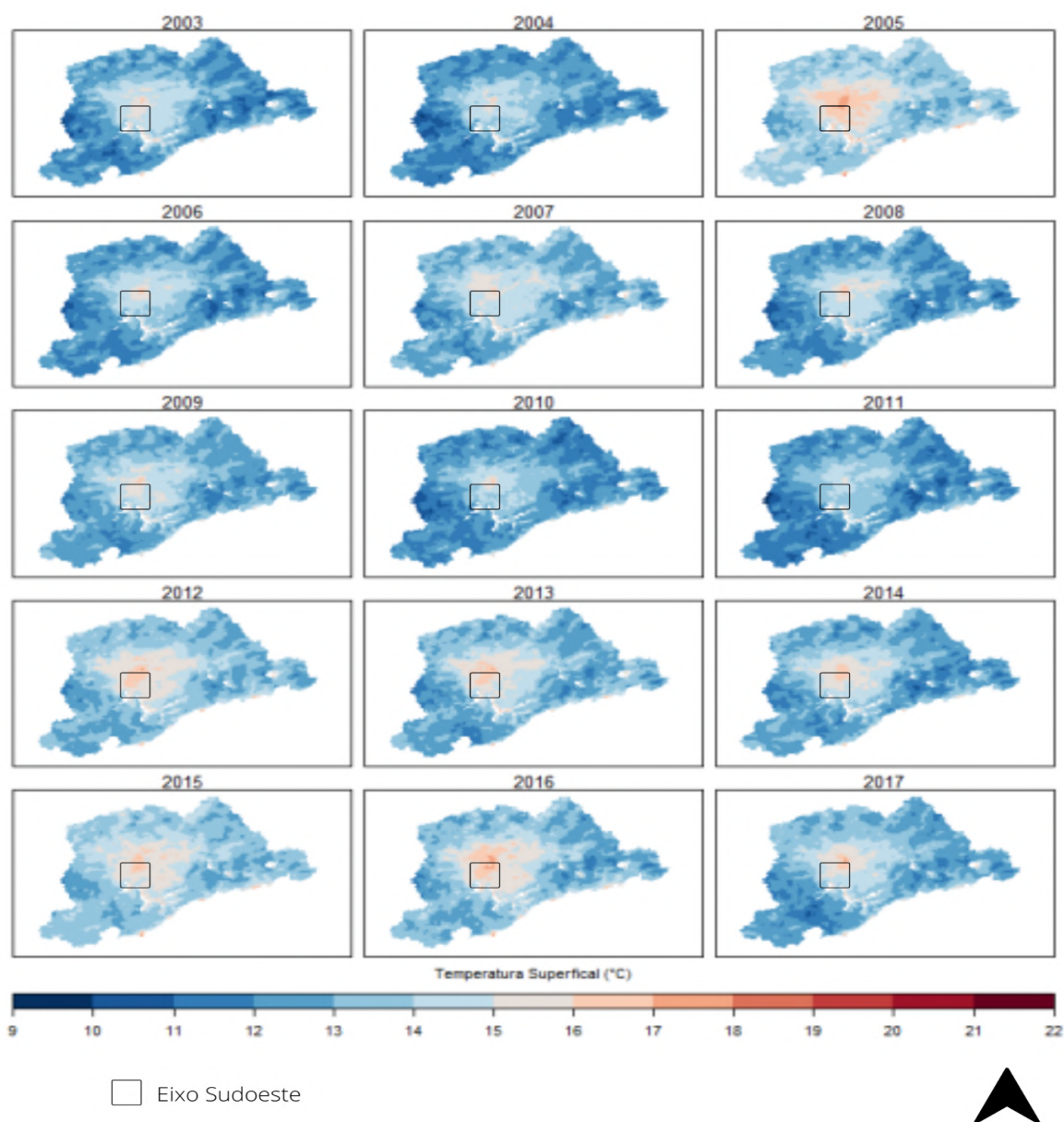


Figura - 11: Temperatura noturna durante a Estação Seca na RMSP. Adaptado de Ferreira (2019)

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Ondas de Calor

Cordero (2017), salienta que as ondas de calor, são associadas a formação de anticiclones estacionários, próximos a área afetada, que são caracterizados pelos bloqueios atmosféricos e pelo movimento subsidente do ar, estes sistemas estão associados aos padrões ondulatórios globais, como as Ondas de Rossby. Os anticiclones, advectam ar quente, e por serem estacionários, impedem a passagem de sistemas transientes como as massas polares e frentes frias, tornando os eventos de calor persistentes e prolongados.

Bitencourt et al (2016), realizaram um estudo para caracterizar os padrões de frequência, duração, intensidade e abrangência espacial das ondas de calor no Brasil, entre o ano de 1961 e o mês de outubro de 2014. Para isso, foi feita uma divisão do território nacional em 3 grandes áreas: 1º (ao norte de 15° S de latitude e oeste de 50° W de longitude - relativo a região Amazônica); 2º (ao norte de 15° S de latitude e leste de 50° W de longitude - relativo a região Nordeste); 3º (todo o domínio nacional ao sul de 15° S de latitude - relativo a região Centro-Sul). Nesta pesquisa, foram considerados episódios de OC's, eventos com significativa abrangência espacial (ao menos 50%) em cada área de estudo, respeitando o limiar de pelo menos 3 dias consecutivos, com as temperaturas máximas diárias ($T_{máx}$), superiores ao 3ºquantil de toda a série (1961-2014). Identificando, neste recorte temporal, 11 OC's na área 1, 23 OC's na área 2, e 31 OC's na área 3.

No domínio ao sul da latitude 15°S (Área 3), onde se localiza o território de São Paulo, foi constatado uma maior predominância de eventos quentes extremos, durante a primavera, com significativo acréscimo histórico das ocorrências após a fase quente da ODP (Oscilação Decadal do Pacífico), ocorrida entre os anos de 1977-1998. Entretanto, um aumento ainda mais acentuado foi registrado durante a recente fase fria da ODP (com início em 1999). Mais da metade das ocorrências de eventos extremos de calor na região Centro-Sul do país, foram contabilizadas após

o ano de 1999 (BITENCOURT et al, 2016). Valendo destacar, de acordo com os autores:

No período de 1961 a 2014, muitos anos de El Niño ou de La Niña não apresentaram ondas de calor. Um exemplo disso é o período entre 1968 e 1977, que em todos os anos apresentaram El Niño ou La Niña, porém, sem registro de ondas de calor em qualquer uma das áreas aqui estudadas. (BITENCOURT et al: 2016, p. 511)

Segundo a pesquisa, as ondas de calor mais duradouras, são também as com maior abrangência espacial. Sendo a OC mais intensa, na área 3, a ocorrência entre os dias 26 e 31 de Outubro de 2012 (1961-2015). No geral, foi constatado, que os eventos quentes extremos, ficaram mais frequentes, intensos e duradouros, em todas as áreas estudadas, após o ano de 2000 (BITENCOURT et al, 2016).

Cordero (2017), constatou a mesma tendência para o Brasil subtropical (o trabalho considerou todo o território ao sul da latitude 20,2° S). Nesta obra, foram considerados eventos extremos os que ultrapassaram o limiar do percentil 90 (P90), em relação às Tmax (diárias). Identificando uma maior predominância destes eventos durante o Inverno e Primavera, associando tal padrão, a maior dinâmica entre diferentes sistemas de massas de ar (quentes e frios), e a maior ocorrência de bloqueios atmosféricos (anticiclones persistentes), durante estas estações. Para região ao norte da latitude 24,7° S, a variabilidade dos eventos de Zona de Convergência de Umidade do Atlântico Sul (ZCAS) se mostrou um fator importante. Durante verões e primaveras secas, com predominância de bloqueios atmosféricos e episódios de ZCAS reduzidos, se notou maiores recorrências de eventos de OC's.

Levando em conta as temperaturas médias diárias, Silveira et al (2019), verificou a mesma evolução dos casos extremos de calor, nas capitais dos 3 estados do sul do país e em Montevideu (Uruguai), a maior ocorrência destes eventos na primavera e principalmente no inverno, foram relacionados a maior dinâmica entre sistemas transientes neste período, como relatado por Cordero (2017). Fazendo valer, o critério do IPCC na identificação das OC's, Fante e Neto (2015), também confirmaram uma maior recorrência destes eventos nas cidades de Santos e

Votuporanga no estado de São Paulo, no período posterior ao ano de 1990. Na cidade litorânea (Santos), estes episódios foram mais comuns no verão, já na cidade continental (Votuporanga), estas eventualidades foram mais predominantes na primavera.

Diante dos impactos da severa onda de calor dos meses de janeiro e fevereiro de 2014 na Cidade de São Paulo, a SMS realizou um estudo investigando o aumento das mortes por diferentes razões durante o período supracitado. O resultado final da averiguação, confirmou um aumento de 9,8% da mortalidade, ao se considerar a média de mortes do mesmo intervalo (Janeiro - Fevereiro) em anos anteriores. A maior parte dos óbitos foram de pessoas do sexo feminino e de idosos, destacando-se doenças do sistemas nervosos, genitais, urinários, e transtornos mentais e comportamentais, com destaque para os dias entre 2 e 15 de fevereiro de 2014 (PMSP-SMS, 2014).

Moraes e Barrozo (2019), realizaram um estudo referente ao risco de morte e mortalidade de idosos, por doenças cardiovasculares e respiratórias, durante eventos de onda de calor no Município de São Paulo, entre os anos de 2006 e 2015. Eventos extremos de alta temperatura se traduz em riscos desta natureza, segundo ao levantado pelas autoras, pelas razões de:

(...) as mudanças bruscas de temperatura do ar e o acontecimento de ondas de calor podem levar o corpo ao estresse térmico e sobrecarregar o sistema cardiovascular e respiratório da população idosa, uma vez que as pessoas com mais de 60 anos de idade possuem dificuldades de resfriar o organismo devido a sua fraca vasoconstrição cutânea, colaborando, assim, para a limitação do funcionamento dos pulmões, ruptura das artérias e maior risco de acidente vascular cerebral (...). Apesar das características fisiológicas de cada indivíduo serem fatores determinantes para o aumento do risco de morte entre os idosos nos períodos de ondas de calor, os fatores sociais, econômicos e as condições de cada lugar também são variáveis essenciais para a compreensão do alto risco desses óbitos (MORAES e BARROZO: 2019, p.2)

Moraes e Barrozo (2019), apuraram uma maior probabilidade destes riscos, principalmente nos distritos periféricos da Cidade de São Paulo, sendo os extremos da zona leste, a região mais crítica quanto aos riscos para doenças do aparelho circulatório (Figura - 12).

Referente às doenças no sistema respiratório, a região mais crítica foi a zona norte (Figura - 13), em essencial a porção nordeste do município. Os resultados mostraram forte correlação entre renda per capita de até $\frac{1}{2}$ salário mínimo e a mortalidade por doenças circulatórias desencadeadas pelo calor extremo. No que se refere às doenças do aparelho respiratório, essa correlação se mostrou mais baixa.

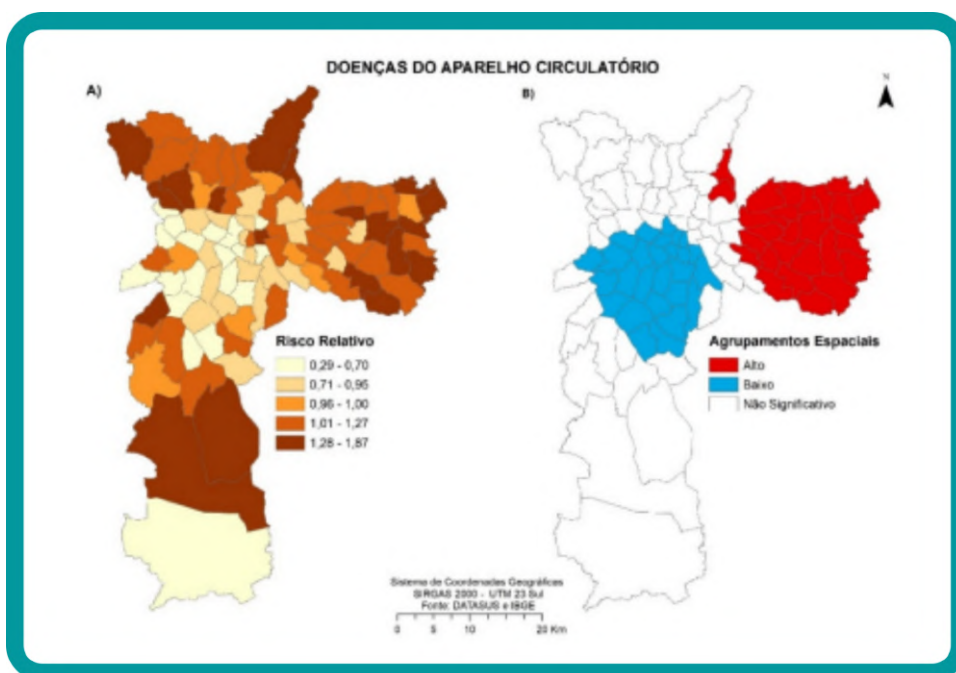


Figura - 12: Distribuição espacial do risco relativo da mortalidade de idosos por doenças do aparelho circulatório durante as ondas de calor no município de São Paulo nos anos de 2006 a 2015. (MORAES e BARROSO, 2019)

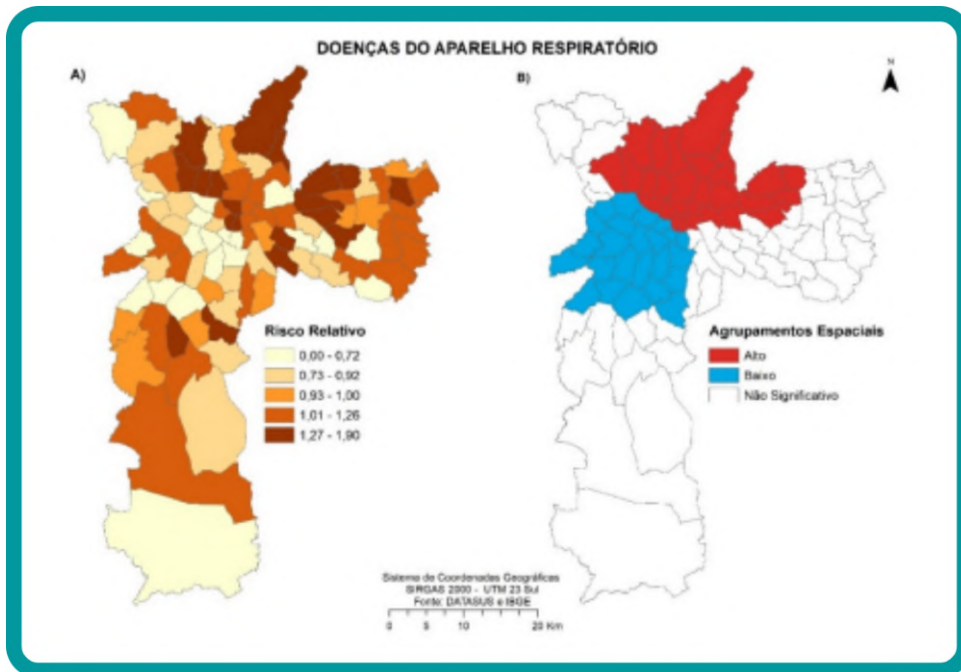


Figura - 13: Distribuição espacial do risco relativo da mortalidade de idosos por doenças do aparelho respiratório durante as ondas de calor no município de São Paulo nos anos de 2006 a 2015. (MORAES E BARROZO, 2019)

Assim como as ondas de calor, ainda que negligenciadas, as ondas de frio também se configuram como eventos extremos que desencadeiam sérios impactos sócio-econômicos na região de estudo. Muitas pesquisas demonstram que apesar do aquecimento global, os extremos frio podem passar a acontecer com mais intensidade, como resultado da intensificação dos extremos climáticos no geral. E assim como as OC's tais eventos são identificados por índices estatísticos relativos, associado a predominância de desvios da temperatura do ar por no mínimo alguns dias consecutivos (ALVES, et al, 2017).

No Brasil, as ondas de frios estão associados a sistemas transientes de origem polar, ocasionados por padrões ondulatórios próprios, como a formação de um sistemas de cristas (Alta Pressão) no Pacífico que se propaga para o Continente, e a intensificação de um cavado (Baixa Pressão) no Atlântico Sul, tal configuração desencadeia o escoamento do ar frio para latitudes mais baixas, em casos extremos o ar polar atinge inclusive as porções ocidentais e meridionais da região amazônica, em um fenômeno conhecido como friagem. Na região Centro-Sul do Brasil, eventos extremos de frio estão associados a importantes perdas agrícolas geradas pelas

geadas, e impactos importantes na saúde pública, incluindo óbitos principalmente em populações desalentadas, ou em situação de rua. (MARENGO et al, 1997; LUPO et al, 2001; PEZZA e AMBRIZZI, 2005).

3.2. Compatibilidade entre os dados de estações meteorológicas automáticas e convencionais

De acordo com Souza et al (2003), em um estudo sobre a compatibilidade entre os dados de estações meteorológicas convencionais e automáticas em Maringá- PR, se confirmou uma forte concordância dos dados, com índice acima de 0,96 para Tmax, e acima de 0,90 para Tmed. O que mostra alta compatibilidade entre os dados, sem maiores questões de intercalação, para a compreensão da realidade climática de um dado local.

Considerando a pesquisa realizada com a estação convencional IAG-USP, localizada no município de São Paulo, e a estação automática do laboratório de hidrometeorologia IAG-USP, instalada na mesma localidade da convencional — tal qual a EMC e EMA do INMET no Mirante de Santana. Os resultados também convergiram em coeficientes de determinação consideravelmente altos (acima de 0,90), comprovando a alta compatibilidade dos dados de temperatura de estações automáticas e convencionais (FUNARI, et al, 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados diários de temperatura máxima e mínima do ar (°C) da estação meteorológica convencional Mirante de Santana (código OMM: 86910), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na cidade de São Paulo (latitude.: -23.5° S; longitude: -46.62°W; altitude: 785.16 m). A série temporal de dados diários de temperatura máxima do ar, compreende os anos de 1961 a 2020, totalizando 6 décadas de dados. Por causa da interrupção dos registros na estação convencional depois de Março de 2020 (início da pandemia Covid - 19), se utilizou os dados da Estação Automática (A701), instalada na mesma localidade, no período entre a segunda quinzena de Março e o final de Dezembro de 2020. Como levantado no item anterior, sobre a compatibilidade dos dados de estações automáticas e convencionais, os dados da estação automáticas podem ser usados, em caso excepcional, na ocorrência de problemas nos registros da EMC, sem maiores impactos nos resultados gerais do presente trabalho.

Foram aplicados dois critérios de excepcionalidade, para identificação dos eventos extremos. O primeiro deles é o criado pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), que considera uma Onda de Calor como um período a partir de cinco dias consecutivos, com a temperatura máxima diária excedendo 5°C ou mais, a normal de temperatura máxima (média) para o mês em questão, obtida na série 1961-1990 (IPCC, 2001); (BITENCOURT et al, 2016). As normais mensais desta série para a Estação Meteorológica Mirante de Santana, podem ser vistas no Anexo A.

O segundo critério, foi adaptado dos métodos de percentis e quantis, adotado por Silveira (2014), que se divide em:

Q (0,90) Evento extremo: episódios com duração mínima de 3 dias, onde as temperaturas máximas permanecem acima de determinado limite- evento de calor- ou onde as temperaturas mínimas se mantêm abaixo de determinado limite- evento de frio. (...)

Q (0,85) Dia alerta: episódio com duração mínima de um dia, com temperaturas na mesma faixa do evento alerta, que antecede, sucede ou une dois ou mais eventos de calor.

Q (0,90) Superevento: episódios que se destacam dentre as os eventos extremos, por apresentarem, também a elevação das temperaturas mínimas- eventos de calor- ou a redução das temperaturas máximas- eventos de frio- abaixo ou acima de determinado limite por no mínimo 3 dias. (...)

Q (0,85) Evento alerta: episódios com duração mínima de 3 dias, onde as temperaturas se mantêm dentro de determinada faixa, inferiores e próximas às do limite do evento extremo. Em episódios de maior duração ou mesmo naqueles de 3 dias a temperatura em 1 ou mais dias pode alcançar o limite do evento extremo. (SILVEIRA, 2014, p.38-39, grifo nosso).

Tal lógica pode ser vista na figura 14 abaixo:

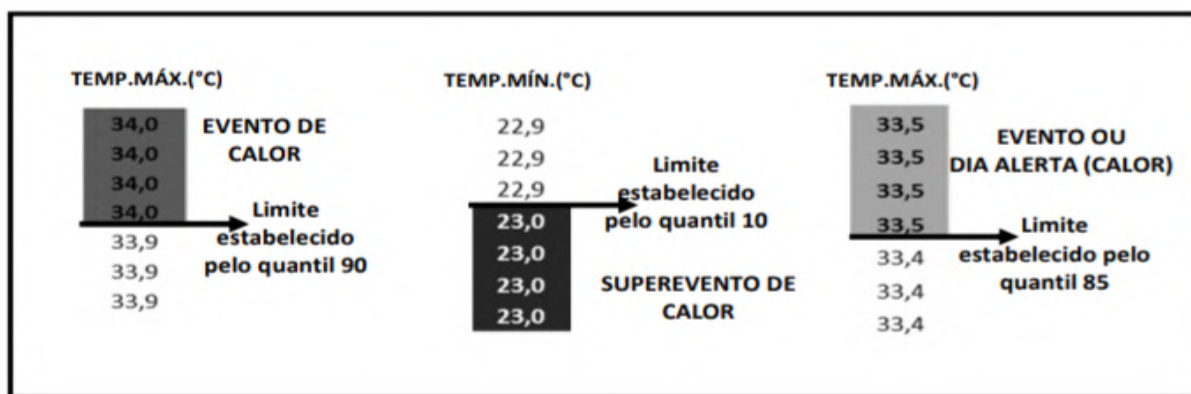


Figura - 14: Técnica dos quantis: definição de limites dos eventos extremos (calor) na localidade de Porto Alegre para o período de verão Fonte: INMET, 2010. Org.: SILVEIRA, R. D. (SILVEIRA: 2014, P.38)

Foram contabilizados em essencial os Eventos Extremos Q (0,90) e os Super Eventos Q (0,90), pelo fato de terem mais potencial de causar impactos e diferentes repercussões (SILVEIRA, 2014). Todos selecionados a partir do filtro de percentil 90, nos dados específicos da estação meteorológica, seccionando em valores referenciais por estações do ano (Quadro- 1), utilizando os dados da série 1961-1990 no estabelecimento dos limiares normativos, e levando em conta a permanência dos registros excepcionais por ao menos três dias consecutivos. Essa contabilização foi feita, com as seguintes divisões; por períodos de 10 anos: **1961-1970/ 1971-1980/ 1981-1990/ 1991-2000/ 2001-2010/ 2011-2020**, como realizado por Silveira (2014). Considerando o **verão**: o período entre **21 de dezembro a 21 de março** ; **outono**: **22 de março a 20 de junho** ; **inverno**: **21 de junho a 21 de setembro**; **primavera**: **22 de setembro a 20 de dezembro**; na área de estudo.

Por meio desta contabilização, foi executável a identificação de décadas, meses e estações do ano, cuja ocorrência de eventos extremos associados ao calor, se deram em maior número, ou foram mais frequentes. O mesmo trabalho estatístico foi erigido por meio do critério do IPCC (2001). Através deste processo, foi viável estabelecer o crescimento ou não, dos eventos extremos de calor, e também a sua real potencialidade estatística, de acordo com o recorte temporal-decadal e anual, bem como estabelecer a evolução da duração destes eventos na série de dados estudados, e suas intensidades médias, sob análise das temperaturas máximas e mínimas do ar, desta forma, foi possível estabelecer, a possibilidade de tais eventualidades estarem mais recorrentes, intensas e duradouras na Cidade de São Paulo, fazendo uso dos dados oficiais disponibilizados pelo INMET, referentes à Estação Mirante de Santana em São Paulo - SP. Os eventos que transcorreram entre um mês e outro, foram contabilizados no mês em que a maior parte dos dias de sua ocorrência se deu, o mesmo foi feito em relação às estações do ano, de acordo com o preconizado por Silveira (2014).

5. RESULTADOS

5.1 - Temperaturas limiares estabelecidas para os eventos de calor extremo na cidade de São Paulo

Com base no método de classificação estabelecidos pelo Percentil 90 (Q - 0,90), tanto para temperaturas máximas quanto para temperaturas mínimas do ar, os limiares encontrados por estação do ano, de acordo com os registros da estação meteorológica INMET - Mirante de Santana (São Paulo - SP), são os abaixo apresentados (Quadro - 1)

Estação do ano	Percentil 90 - (Temperatura Máxima do ar): Q (0,90)	Percentil 90 - (Temperatura Mínima do ar): Q (0,90)
Verão	31,3°C	20,5°C
Outono	28,4°C	18,7°C
Inverno	28,4°C	15,8°C
Primavera	30,9°C	19,4°C

Quadro - 1: Temperaturas Limiares definidas pelos percentis estabelecidos na identificação de eventos extremos e super eventos de calor pelos dados da Estação INMET - Mirante de Santana.
Org: Bruno Morais

5.2 - Estudo de caso de ondas de calor por estações do ano

Inverno: 13 a 18 de julho de 1987

O evento transcorrido entre os dias 13 e 18 de julho de 1987 em São Paulo, foi uma das ondas de calor das mais intensas genuinamente de inverno, levando em consideração o fato do episódio decorrer no auge da estação fria, em meados de julho, e não nos finais de agosto ou durante o mês de setembro, quando é mais habitual veranicos mais intensos. O período pode ser caracterizado tanto como uma

Onda de Calor (Critério IPCC), durante toda a eventualidade, quanto um Evento Extremo de Calor ou Super Evento de Calor, isso entre os dias 14 e 18/07 daquele ano. Durante o período de 6 dias, as temperaturas máximas ficaram mais de 7°C acima do normal para o mês de julho (Quadro - 2), considerando as normais (1961-1990), o que suple com certa folga os critérios de excepcionalidade do IPCC, 2001.

Data	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
13/07/1987	28,2	14,5
14/07/1987	29,0	16,6
15/07/1987	29,3	16,4
16/07/1987	28,6	17,2
17/07/1987	29,0	20,0
18/07/1987	29,0	16,5

Quadro - 2: Temperaturas Máximas e Mínimas (Mirante de Santana) durante a Onda de Calor de Julho de 1987. Org: Bruno Morais. INMET-BDMEP.

Os eventos extremos de calor na região de estudo, quase sempre estão associados à formação de bloqueios atmosféricos (MARENGO e ALVES, 2016; CORDERO, 2017). Esses sistemas se relacionam a acentuadas anomalias de geopotencial em 500hpa, sendo descritas como: “uma anomalia persistente de alta pressão (...). Seu impacto sinótico mais relevante é o de agir como uma barreira para migração de sistemas meteorológicos provenientes de latitudes mais altas” (CAVALCANTI et al, 2009: p.280-281)

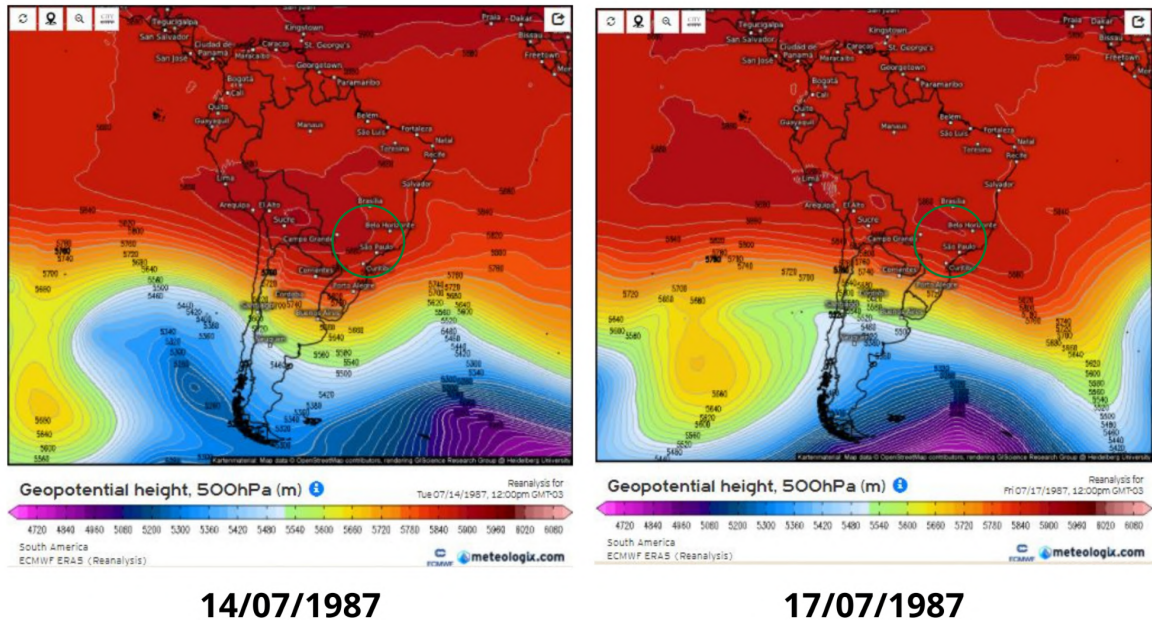
A altura do geopotencial é uma grandeza relacionada às características barométricas e térmicas de um compartimento atmosférico, indicando a altura real da medida da superfície de pressão. Partindo desta relação, temos que o ar quente é mais leve que o ar frio, e por assim ser, a altura do geopotencial é mais alta em áreas quentes do que em áreas frias (LCB-USP). Portanto, a análise de cartas que

reverenciam estes dados, é uma fonte importante para a compreensão morfológica dos sistemas meteorológicos e climáticos associados à formação de ondas de calor.

Durante o segundo decêndio do mês de julho de 1987, uma intensa área de alta pressão em 500hpa se fortaleceu no centro do continente sul-americano (Figura - 15), no auge do evento (dias 15 e 16), o centro de alta pressão abrange uma vasta área do continente, provocando forte ação de subsidência na atmosfera regional, gerando alta insolação e ganho térmico para mTc (Massa Tropical Continental), além disso, conjuntamente se notou o fortalecimento da ASAS (Figura - 16). Tempo seco, e o bloqueio aos sistemas transientes marcaram o período.

O giro dos ventos gerados pela ASAS, ocasiona forte advecção do ar tropicalizado do norte e nordeste do país para as regiões de média latitude no continente (Norte da Argentina, Sul do Brasil), o que se soma ao efeito drenagem gerado pela área de baixa pressão bloqueada no sul do continente. No dia 15, as temperaturas em 850hpa, ultrapassam os 24/25°C no Norte da Argentina, e supera os 20°C nesta camada ao longo do dia 17 sobre o estado de São Paulo, o que caracteriza forte anomalia positiva de temperatura, para os padrões térmicos da climatologia do mês de julho (Figura -17). Neste dia, a temperatura mínima na estação Mirante de Santana não desceu abaixo dos 20°C, algo absolutamente atípico para os padrões habituais do mês, 7,6°C acima da média mínima nas normais 1961-1990 (INMET - BDMEP). As temperaturas mínimas ficaram demasiadamente elevadas na cidade entre os dias 14 e 18/07, o que configurou a eventualidade como um Super Evento de Calor nos critérios de Silveira, 2014.

Geopotencial em 500 °hpa



○ Raio de adjacências do estado de São Paulo

Figura - 15: Altura do Geopotencial em 500hpa durante a Onda de Calor de Julho de 1987. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

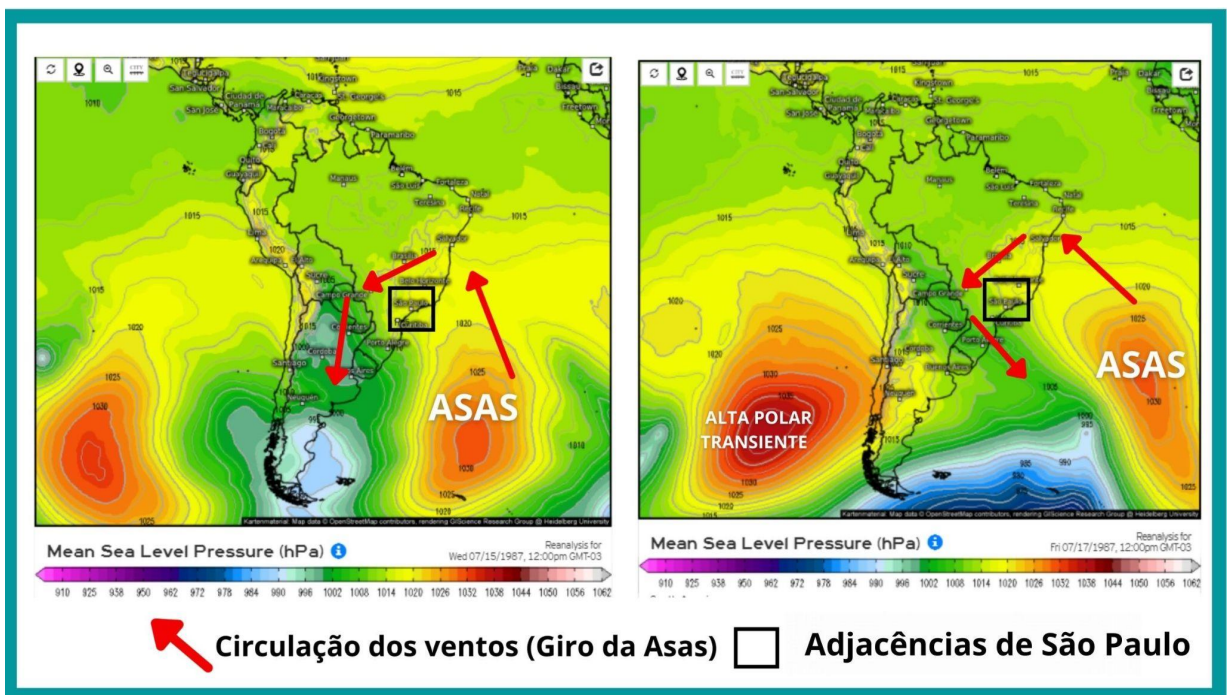


Figura - 16: Pressão (hpa) ao nível do mar durante a Onda de Calor de Julho de 1987. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

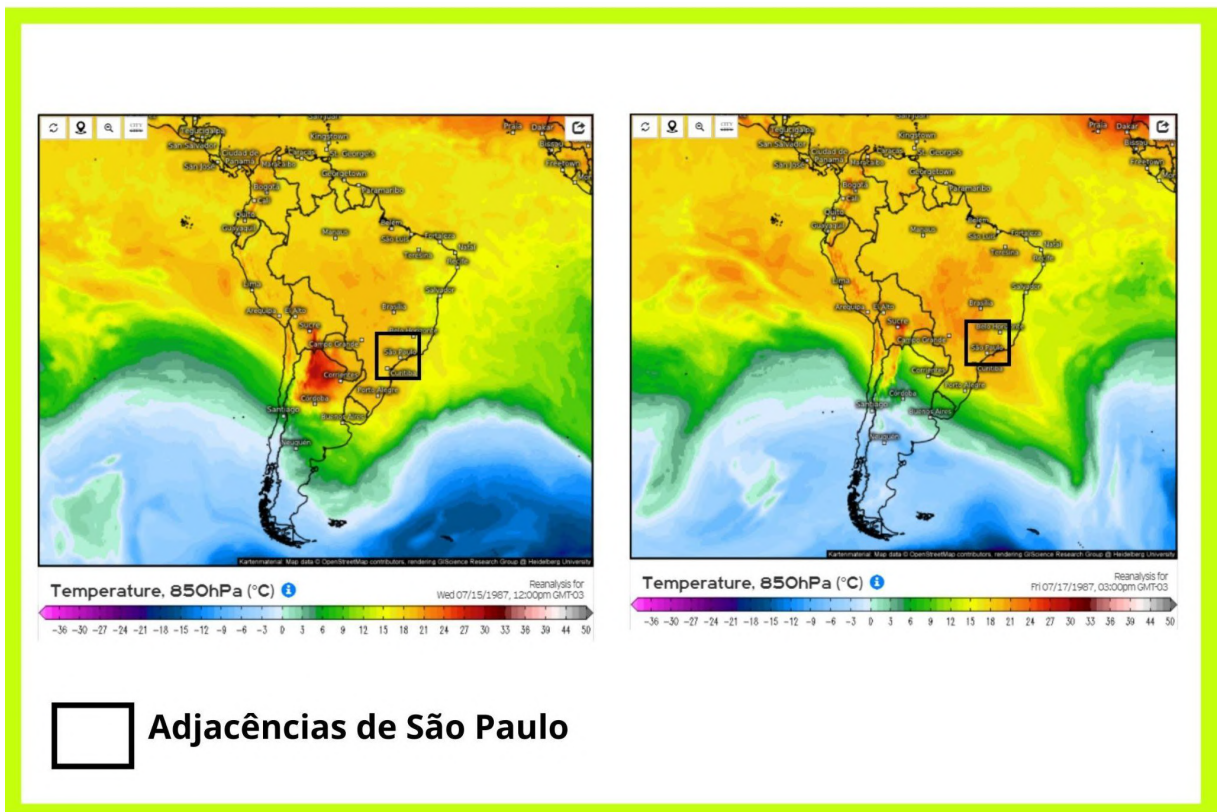


Figura - 17: Temperatura em 850 hpa (°C) durante a Onda de Calor de Julho de 1987. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

Primavera: 03 a 16 outubro de 2002

O mês de outubro de 2002 ficou marcado pelo forte e prolongado evento de calor na Cidade de São Paulo, durante 2 semanas as temperaturas se encontraram fortemente acima da média, suprimindo o critério do IPCC (2001) para Ondas de Calor (Quadro - 3).

Entre os dias 05 e 16/10/2002, às temperaturas máximas ficaram extremamente elevadas, configurando a ocorrência como um Evento Extremo de Calor, e entre os dias 07 e 09/10, houve sensível elevação das temperaturas mínimas a um limiar incomum para os padrões da primavera paulistana, o que configurou um Super Evento de Calor nos critérios de Silveira, 2014.

Data	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
03/10/2002	29,9	14,9
05/10/2002	32,6	16,8
06/10/2002	32,6	17,5
07/10/2002	32,7	21,2
08/10/2002	34,7	22,2
09/10/2002	33,8	19,7
10/10/2002	35,7	18,9
11/10/2002	35,6	20,7
12/10/2002	35,3	20,3
13/10/2002	33,7	16,1
14/10/2002	34,5	18,9
15/10/2002	32,8	20,6
16/10/2002	35,2	19,0

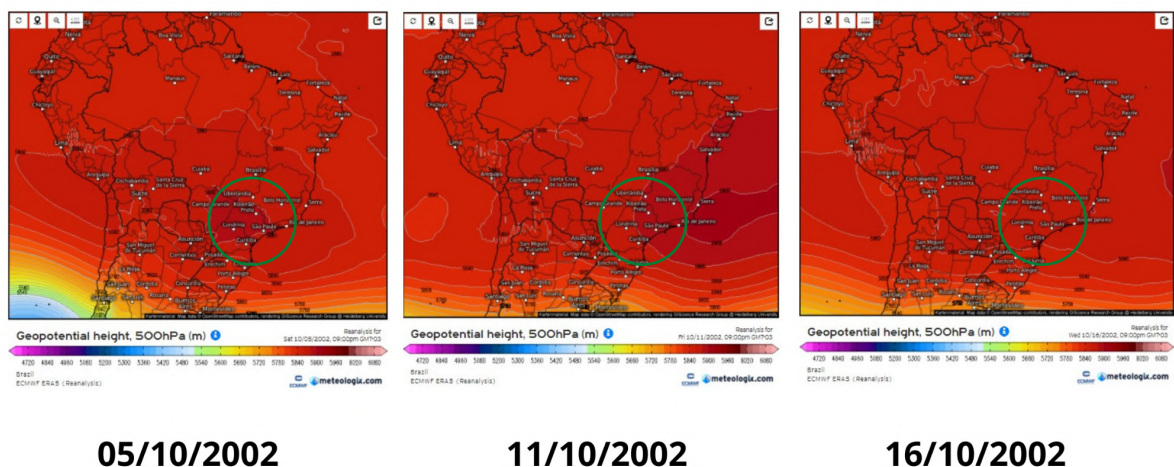
Quadro - 3: Temperaturas Máximas e Mínimas (Mirante de Santana) durante a Onda de Calor de Outubro de 2002. Org: Bruno Morais. INMET-BDMEP.

Estudando as reanálises de altura do geopotencial em 500hpa, é notável o fortalecimento do sistema de alta pressão, principalmente ao largo da costa do sudeste brasileiro, com pico entre os dias 11 e 13/10/2002 (Figura - 18). Conjuntamente em um sistema de altas empilhadas em diferentes níveis (Superfície e 500 hpa) é perceptível o forte fortalecimento da ASAS, o que acarretou forte calor em todo o Centro-Sul do país, e também no Paraguai, Uruguai e Norte da Argentina, com destaque para o Sudeste brasileiro, região que as temperaturas em 850 hpa chegaram a patamares pouco comuns, tipificando toda a eventualidade. (Figura 19 e 20).

No dia 10, um modesto anticiclone polar atinge parte do sul do país, mas o forte bloqueio das altas empilhadas impede o livre trânsito da frente fria, que logo é direcionada para alto mar, sem provocar nem um alívio para as altas temperaturas

no Sudeste. Pelo contrário, a aproximação do sistema bloqueado, provocou uma potencialização da drenagem de ar quente sobre o estado de São Paulo (efeito pré frontal), o que justifica as temperaturas superiores a 35°C no Mirante de Santana entre os dias 10 e 12/10/2002 (Figura - 20). Apenas após o dia 16, um sistema frontal consegue pôr fim ao bloqueio, encerrando a Onda de Calor na Cidade. A máxima acima dos 35°C no dia 16, também pode ser associada ao efeito pré-frontal — intensificação do vento noroeste e drenagem do ar superaquecido do continente.

Geopotencial em 500 °hpa



 **Raio de adjacências do estado de São Paulo**

Figura - 18: Altura do Geopotencial em 500hpa durante a Onda de Calor de Outubro de 2002. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

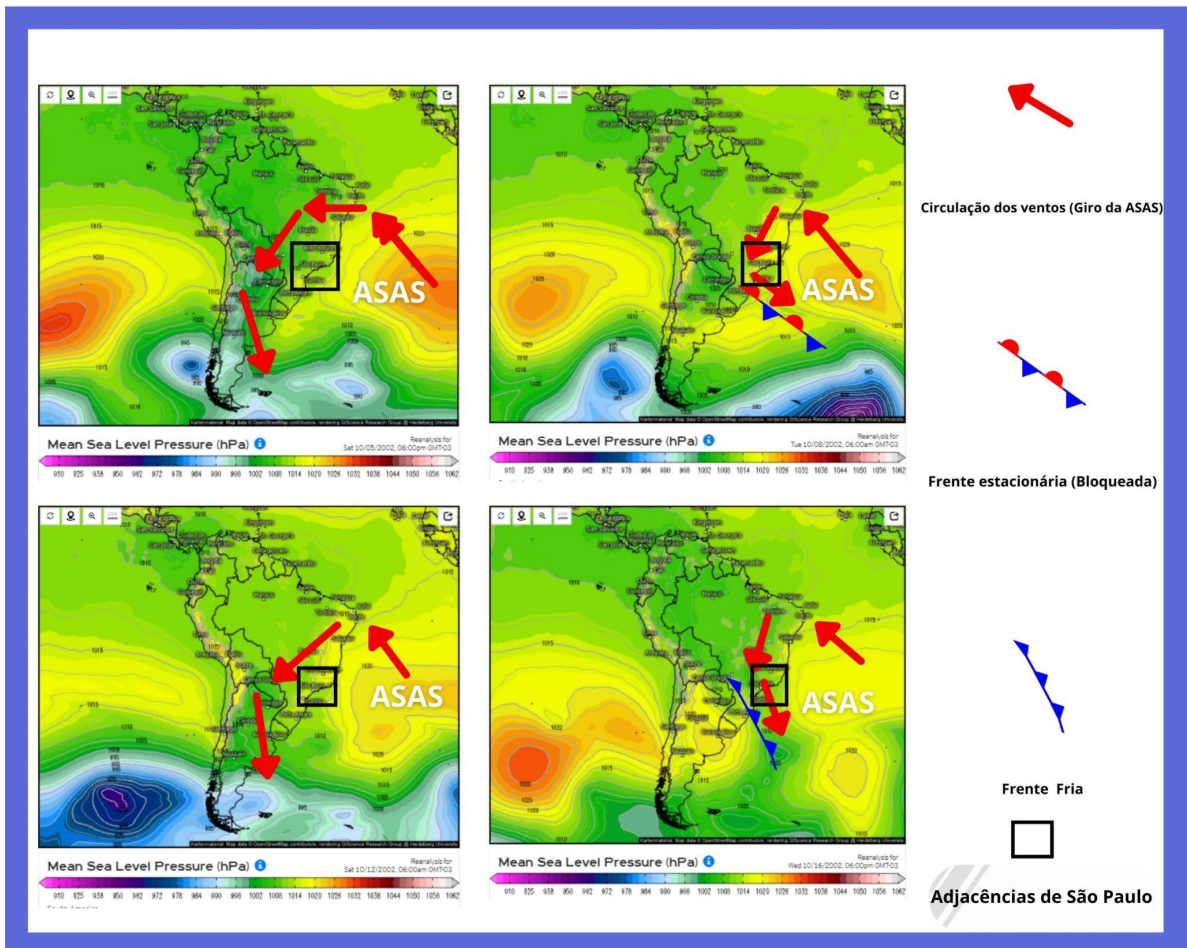


Figura - 19: Pressão (hpa) ao nível do mar durante a Onda de Calor de Outubro de 2002. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteorologix

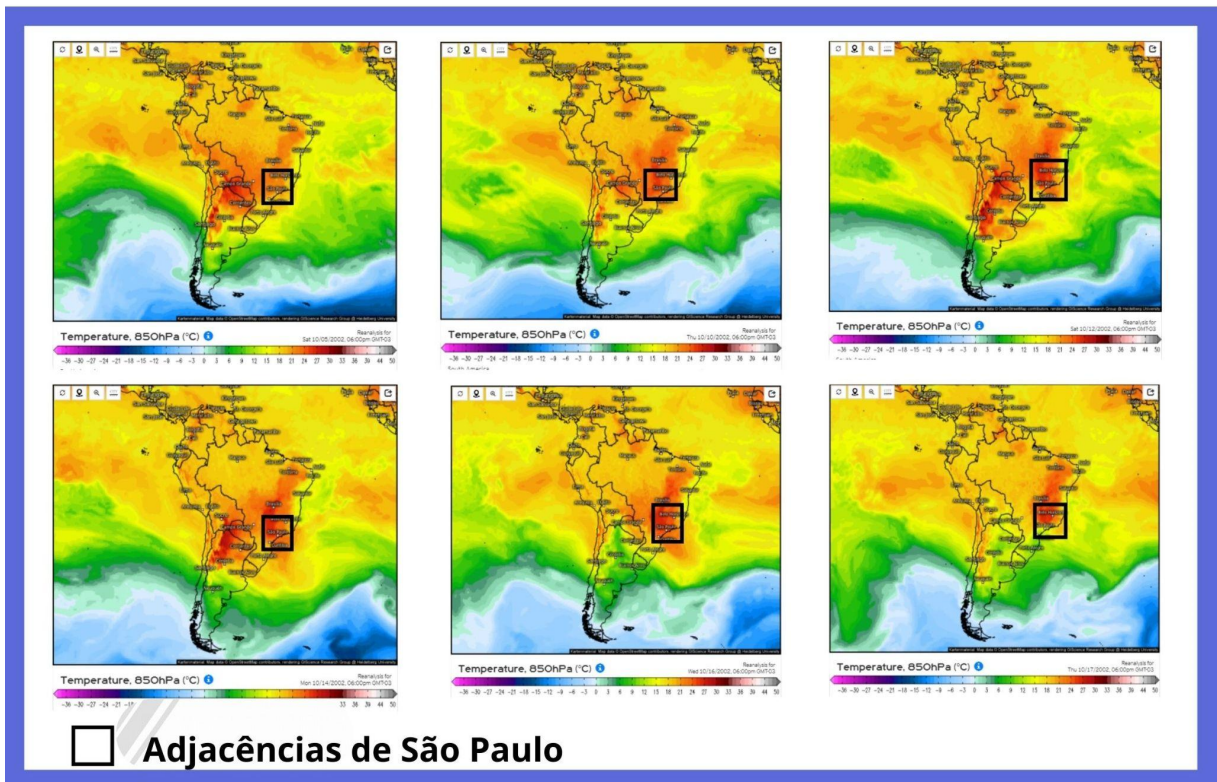


Figura 20: Temperatura em 850 hpa (°C) durante a Onda de Calor de Outubro de 2002. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

Verão: 07 a 20 de janeiro de 2015

Um ano após a forte Onda de Calor de janeiro e fevereiro de 2014, outro evento excepcional e prolongado ocorreu em janeiro de 2015 — o que parecia algo absurdamente raro e incomum passou a ser mais rotineiro ou recorrente. No decorrer de todos os 14 dias do episódio extremo de calor, as temperaturas máximas ficaram em média 7,2°C acima da normal (1961-1990) para o mês de janeiro, que já é o segundo mais quente do ano, na climatologia da cidade. A máxima chegou aos 36,5°C no dia 19/01/2015, se tornando uns dos maiores registros em toda a história da estação Meteorológica INMET - Mirante de Santana (Quadro - 4).

Data	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
07/01/2015	33,7	19,5
08/01/2015	32,8	19,5
09/01/2015	34,0	21,9
10/01/2015	34,2	22,1
11/01/2015	34,8	22,2
12/01/2015	35,4	21,4
13/01/2015	34,8	21,2
14/01/2015	34,0	21,3
15/01/2015	32,8	21,5
16/01/2015	32,7	22,3
17/01/2015	35,8	22,0
18/01/2015	35,6	23,4
19/01/2015	36,5	22,7
20/01/2015	35,6	23,3

Quadro - 4: Temperaturas Máximas e Mínimas (Mirante de Santana) durante a Onda de Calor de Janeiro de 2015. Org: Bruno Morais. INMET-BDMEP.

O ocorrido pode ser classificado como uma Onda de Calor (IPCC,2001) e também como um Evento Extremo de Calor, do dia 07 até o dia 20; e como um Super Evento de Calor, do dia 09 até o dia 20 de Janeiro de 2015 (SILVEIRA, 2016). Poucas vezes na história dos registros da estação, teve um período prolongado de mínimas extremamente elevadas, quanto neste episódio (INMET-BDMEP), o que pode ser visualizado pelas leituras horárias da estação convencional durante o auge do evento (de 17 a 20/01/2015), é notável que as temperaturas ficaram constantemente acima dos 25°C mesmo durante a noite, como pode ser visto nas leituras das 00 UTC. (Quadro - 5)

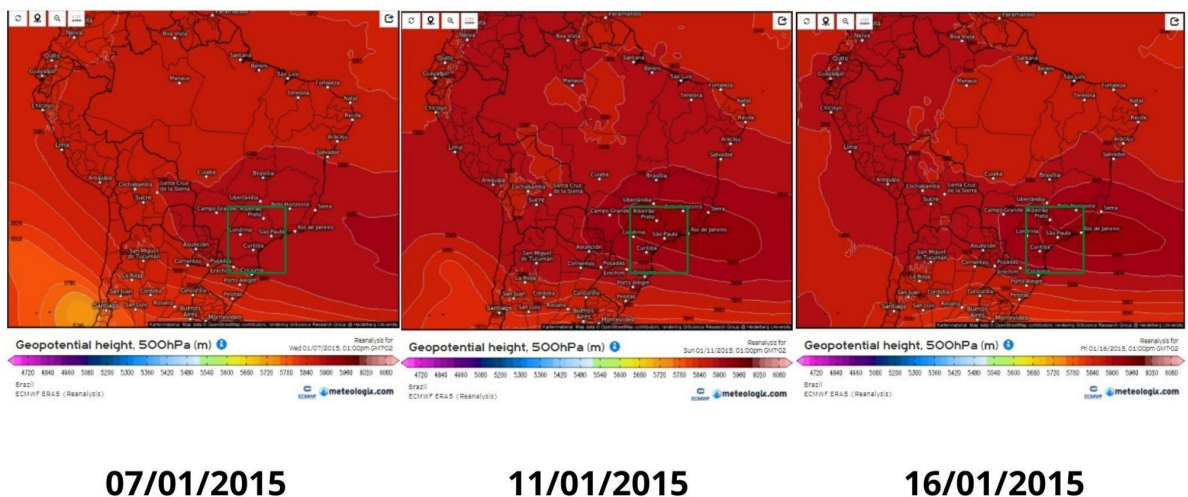
Data	Hora (UTC)	Temperatura do ar. [Hora] (C)	Umidade do ar. (%)
17/01/2015	0	24,8	84
17/01/2015	1200	28,3	59
17/01/2015	1800	34,8	34
18/01/2015	0	29,1	57
18/01/2015	1200	28,3	59
18/01/2015	1800	33,7	41
19/01/2015	0	27	77
19/01/2015	1200	27,7	64
19/01/2015	1800	35,9	28
20/01/2015	0	27,1	66
20/01/2015	1200	27,5	60
20/01/2015	1800	35,2	32

Quadro - 5: Registros horários da Estação INMET-Mirante de Santana no auge da onda de calor de janeiro de 2015 . INMET-BDMEP.

No decurso da eventualidade, um abrangente e poderoso anticiclone em 500hpa se intensificou, formando um evento atípico de bloqueio intenso durante o verão (Figura - 21), o escoamento atmosférico esteve muito fora do padrão climatológico, o que também é visto pelo sistema ASAS com grandes dimensões e em um posicionamento atípico de sua climatologia para janeiro, gerando um escoamento zonal incomum para o verão brasileiro, em somatória com a ASAS, a Alta do Pacífico Sul também encontrava-se semi permanente potencializando todo o bloqueio (Figura - 22), impossibilitando a passagem de sistemas transientes, que exprimem a circulação ondulatória da climatologia do verão da América do Sul, tais padrões são esclarecidos por Cavalcanti et al, 2009.

As temperaturas em 850hpa atingiram patamares tórridos, impulsionados pelo efeito do bloqueio, no período de máxima insolação (meados de janeiro), sobre o entorno da RMSP os valores ultrapassaram os 25°C em alguns momentos entre os dias 18 e 20/01/2015, o que se associam as máximas e mínimas absurdamente elevadas (Figura - 23). Depois do dia 20, o bloqueio enfraquece, dando passagem a um sistema transiente (Frente Fria), que trouxe o aguardado fim a extrema onda de calor.

Geopotencial em 500°hpa



Adjacências de São Paulo

Figura - 21: Altura do Geopotencial em 500hpa durante a Onda de Calor de Janeiro de 2015. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

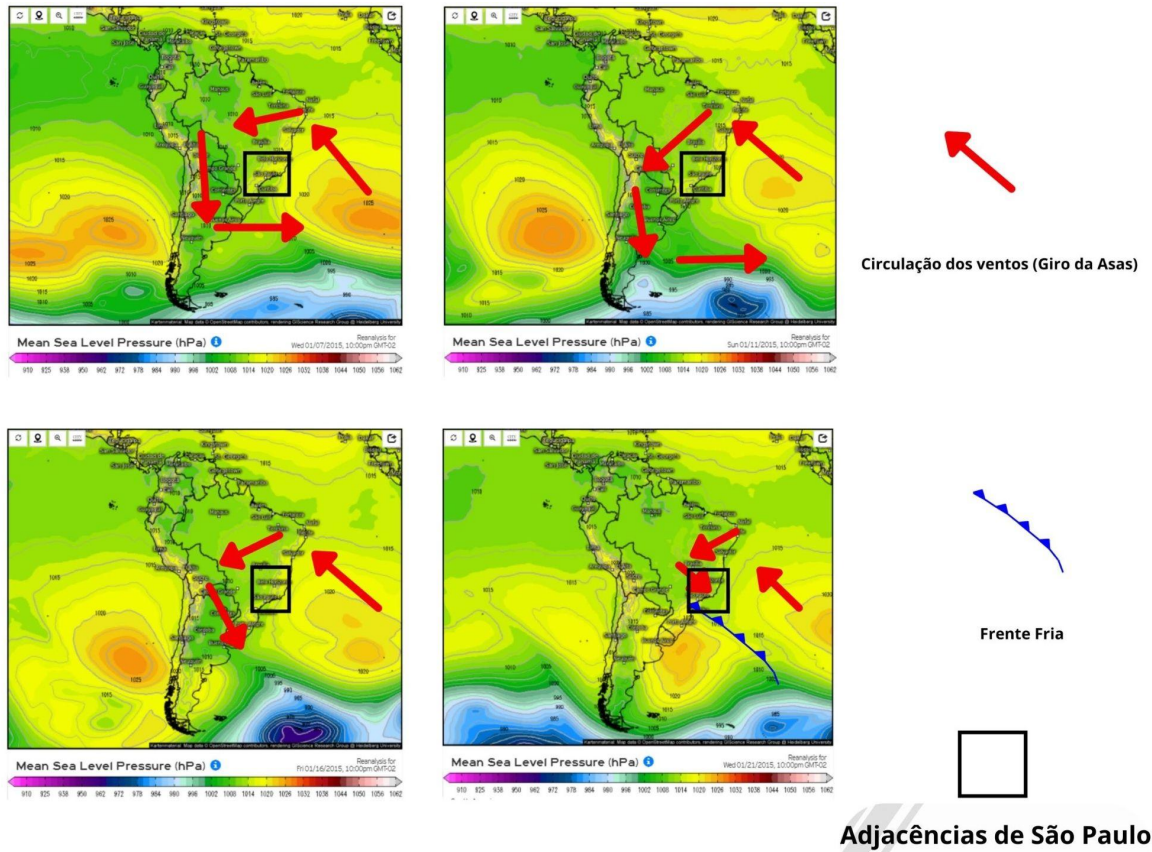


Figura - 22: Pressão (hpa) ao nível do mar durante a Onda de Calor de Janeiro de 2015. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteorologix

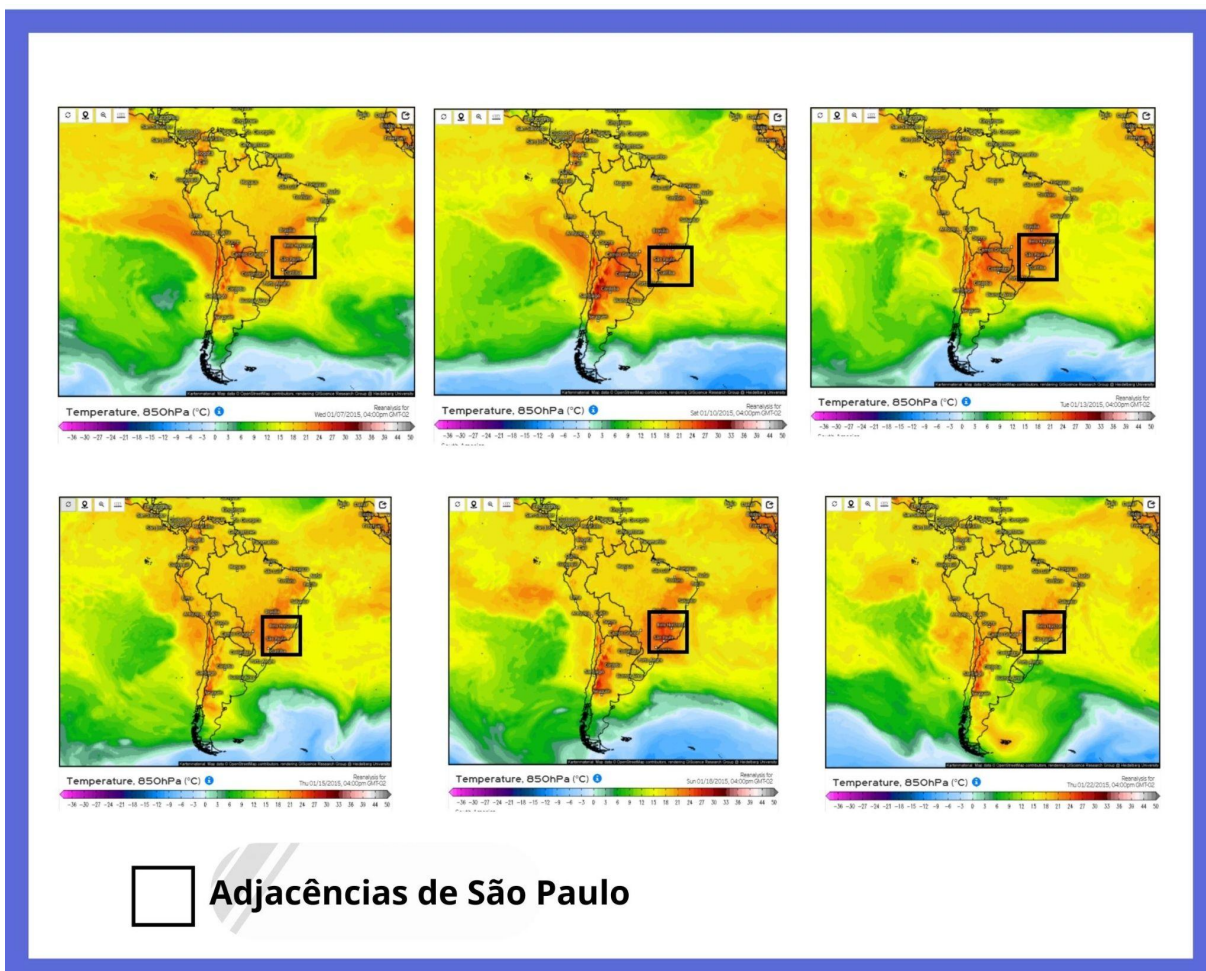


Figura - 23: Temperatura em 850 hpa (°C) durante a Onda de Calor de Janeiro de 2015. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

Outono: 25 de março a 25 de abril de 2016

Em todo o levantamento deste trabalho, que abrange toda a série de dados (1961-2020), na Estação Oficial do INMET Mirante de Santana (São Paulo - SP), nenhum outro evento de calor foi tão prolongado, suprimindo os critérios de excepcionalidade aplicados. Ao todo o Evento Extremo de Calor durou mais de 30 dias, abrangendo todos os dias entre 25 de Março a 25 de Abril de 2016, de forma ininterrupta, com variações sensíveis de intensidade. No decorrer da eventualidade, foi possível mensurar três registros de Super Evento de Calor, em consequência a elevação exacerbada das mínimas, delimitados entre: 25/03 a 01/04/2016 — 03 a 05/04/2016 — e de 10 a 25/04/2016. No mesmo passo, foi aferível dois eventos de Ondas de Calor considerando os critérios IPCC, um entre 06 e 10/04/2016 e outro de 12 a 25/04/2016 (Quadro - 6).

Em conformidade, ao padrão já debatido nos eventos acima citados: julho de 1987, outubro de 2002 e janeiro de 2015. É destacável o estabelecimento de um poderoso sistema de alta pressão na camada de 500 hpa, que atua em conjunto, de maneira empilhada, ao Anticiclone de Superfície do Atlântico Sul, configurando um evento de forte bloqueio atmosférico, durante o mês de abril de 2016, como também é relatado por Selmo (2016). Segundo Cavalcanti et al (2009), não é comum bloqueios muito duradouros (mais de duas semanas), no hemisfério sul, o que é uma clara indicação do tão excepcional foi a ocorrência deste bloqueio (Figura 24 e 25).

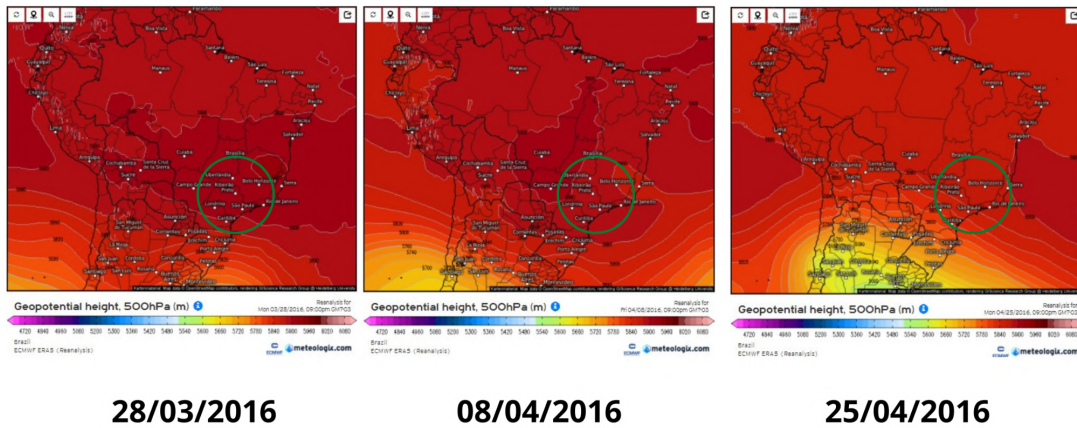
Data	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
25/03/2016	28,8	19,2
26/03/2016	28,4	19,4
27/03/2016	29,7	21,2
28/03/2016	30,8	21,6
29/03/2016	31,3	19,0
30/03/2016	29,5	19,2
31/03/2016	31,0	20,7
01/04/2016	29,4	20,8
02/04/2016	29,7	18,5
03/04/2016	31,4	19,2
04/04/2016	29,0	19,2
05/04/2016	29,6	18,8
06/04/2016	30,4	18,6
07/04/2016	32,1	18,8
08/04/2016	30,5	20,5
09/04/2016	32,9	18,4

10/04/2016	31,0	21,2
11/04/2016	29,5	20,7
12/04/2016	31,7	19,5
13/04/2016	31,4	20,3
14/04/2016	31,8	19,3
15/04/2016	32,3	21,3
16/04/2016	31,1	20,4
17/04/2016	32,0	19,1
18/04/2016	32,4	19,8
19/04/2016	31,5	20,8
20/04/2016	31,0	21,9
21/04/2016	31,3	19,8
22/04/2016	30,5	19,6
23/04/2016	31,5	20,2
24/04/2016	31,3	20,4
25/04/2016	30,9	20,6

Quadro - 6: Temperaturas Máximas e Mínimas (Mirante de Santana) durante a Onda de Calor de Março e Abril de 2016. Org: Bruno Moraes. INMET-BDMEP.

A forte insolação relacionado ao bloqueio, e a drenagem de ar tropical superaquecido acarretados pelo giro dos vento da borda do sistema de ASAS, gera um poderoso fluxo advectivo e persistente de ar quente, como é visto nas morfologias de escoamento térmico na camada de 850° hpa, amplas áreas com temperaturas acima dos 22°C nesta camada foram registradas, o que não é comum para um mês de Abril, ainda mais por um tempo tão prolongado, a manutenção da massa de ar quente sobre todo o Centro-Sul do país delimitaram de forma ativa o evento (Figura - 26). Apenas após o dia 23-24/04/2016, uma forte massa polar (alta polar transiente), consegue romper o bloqueio, pondo fim ao período extremamente prolongado de calor.

Geopotencial em 500°hpa



○ Raio de adjacências do estado de São Paulo

Figura - 24: Altura do Geopotencial em 500hpa durante a Onda de Calor de Março e Abril de 2016. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

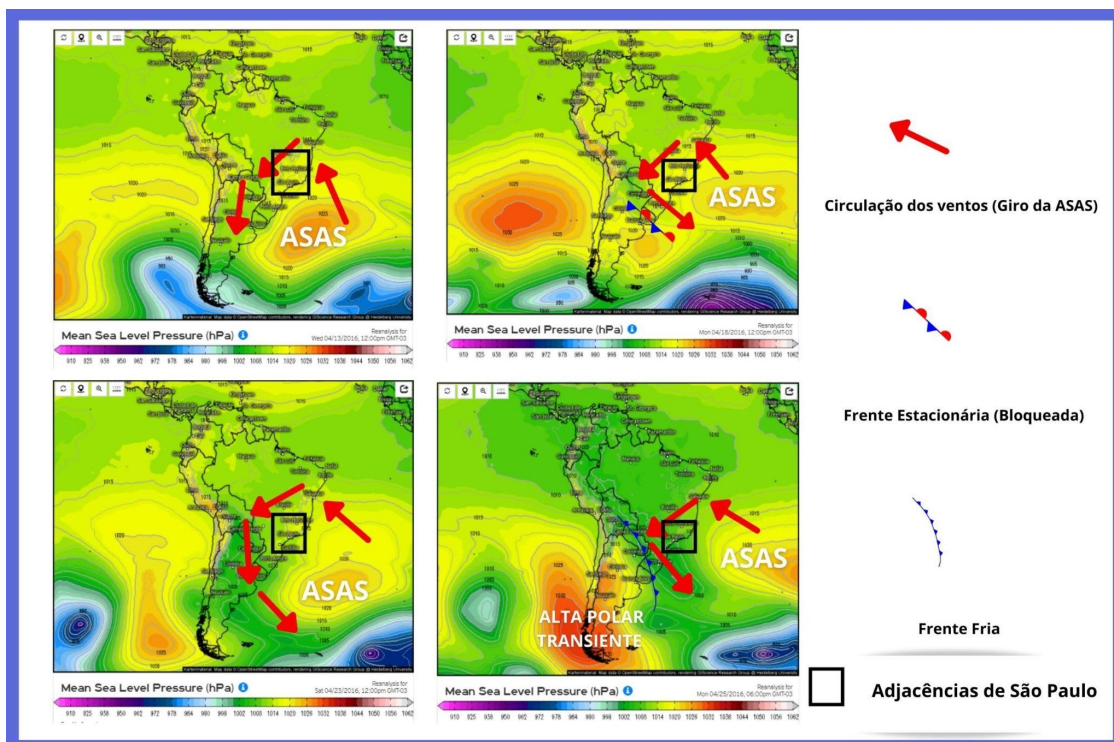


Figura - 25: Pressão (hpa) ao nível do mar durante a Onda de Calor de Março e Abril de 2016. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

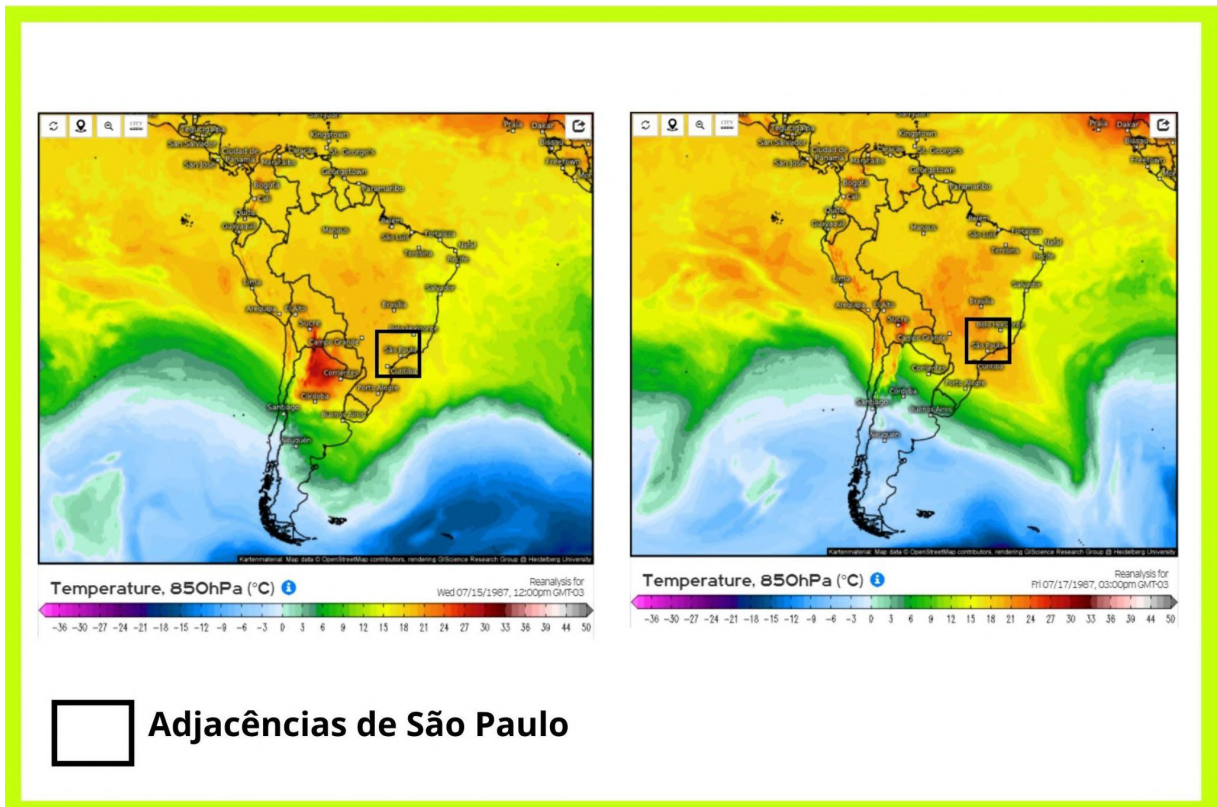


Figura - 26: Temperatura em 850 hpa (°C) durante a Onda de Calor de Março e Abril de 2016. Adaptado de Reanálise ECMWF - Meteologix

5.3 - Ondas de Calor na série 1961-2020: Tendências, levantamentos estatísticos e discussões

Analisando a média dos Eventos Extremos e Super Eventos de calor, e sua evolução no decorrer dos anos da série analisada (1961-2020), é constatável que eles estão quase 4 vezes mais comuns nos últimos anos da série, se comparado aos anos iniciais (Figura - 27). A intensificação destes eventos se deu em uma clara ruptura dos padrões entre as décadas de 1980 e 1990, prosseguindo nas décadas posteriores, como pode ser visualizado na linha de tendência representando a evolução média anual entre os dois tipos de eventos:

$$\text{Tend.Média} = \frac{\text{Eventos Extremos} + \text{Super Eventos}}{2}$$

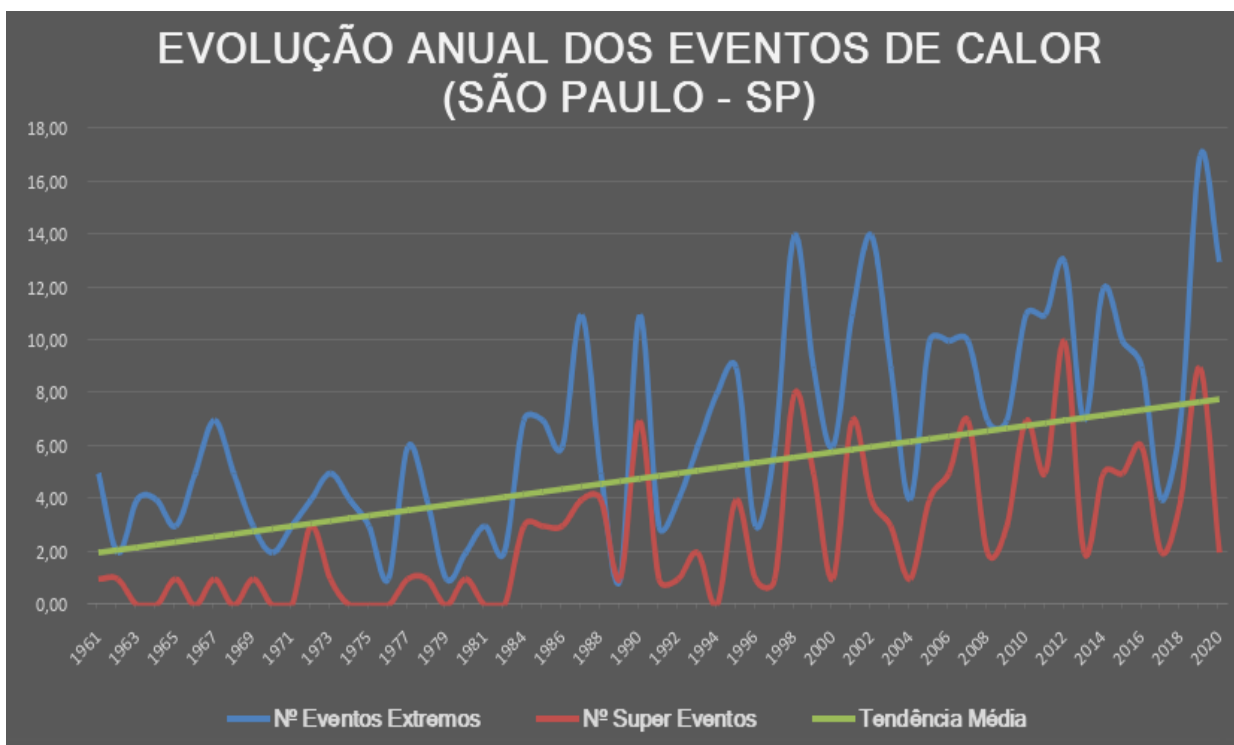


Figura - 27: Evolução Anual dos Eventos de Calor (São Paulo - SP)

Considerando os dados de ENOS (NCEP/NOAA), as ocorrências foram mais numerosas em anos de El Nino, com média de 8,26 eventos extremos de calor, e 3,26 eventos de super eventos de calor, contra respectivamente 5,95 e 2,67 ocorrências em média, em anos de La Nina, evidenciando uma diferença não muito significativa, o que se assemelha aos levantamentos para o Centro-Sul do Brasil de Bitencourt et al (2016). Os anos de neutralidade, foram os que em média, tiveram significativamente menos Eventos Extremos e Super Eventos de Calor, respectivamente 5 e 1,53 eventos.

Tendo em conta os de Eventos Extremos, catalogados na primeira década estudada (1961-1970), e os valores da última década, e utilizando a seguinte equação:

$$\text{Variação Percentual} = (V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}}) / V_{\text{inicial}} \times 100$$

Temos um relevante aumento de **148,8%** destes registros na análise decadal (Figura - 28). E em relação aos Super Eventos de Calor, respeitando as mesmas considerações, o aumento foi de estardalhecedores **880%**, isto é, estão quase 9 vezes mais comuns na climatologia da cidade de São Paulo na última década, se comparado ao início da série 1961-2020. (Figura - 29).

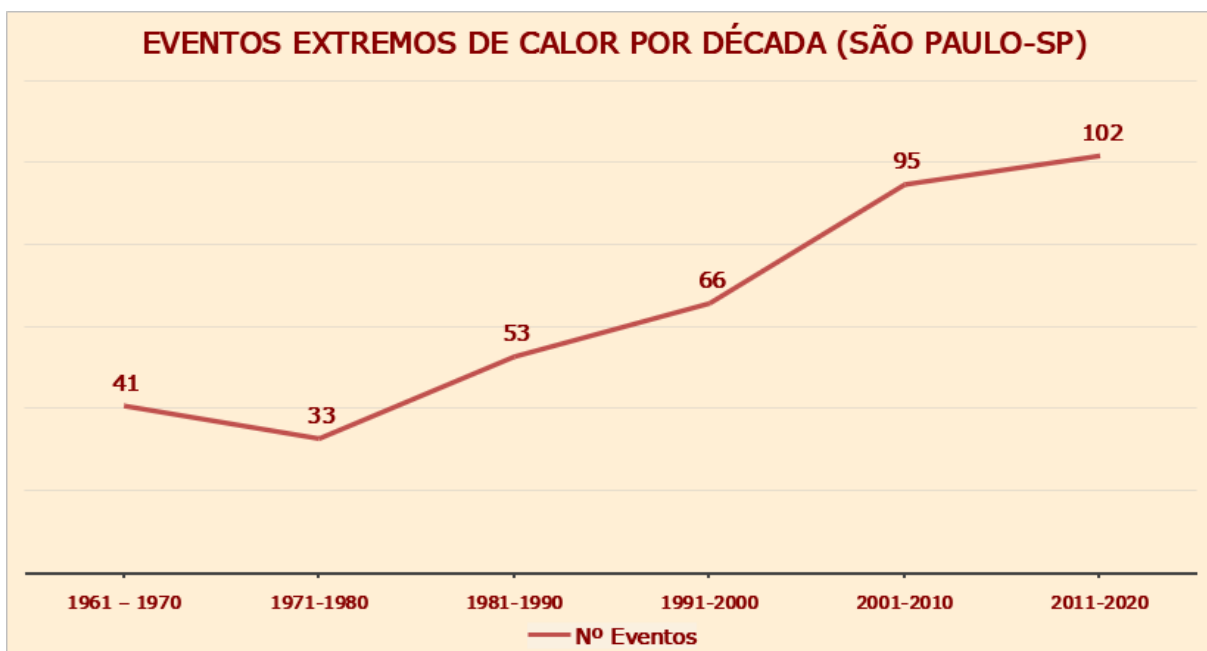


Figura - 28: Número de Eventos Extremos de Calor por década em São Paulo - SP

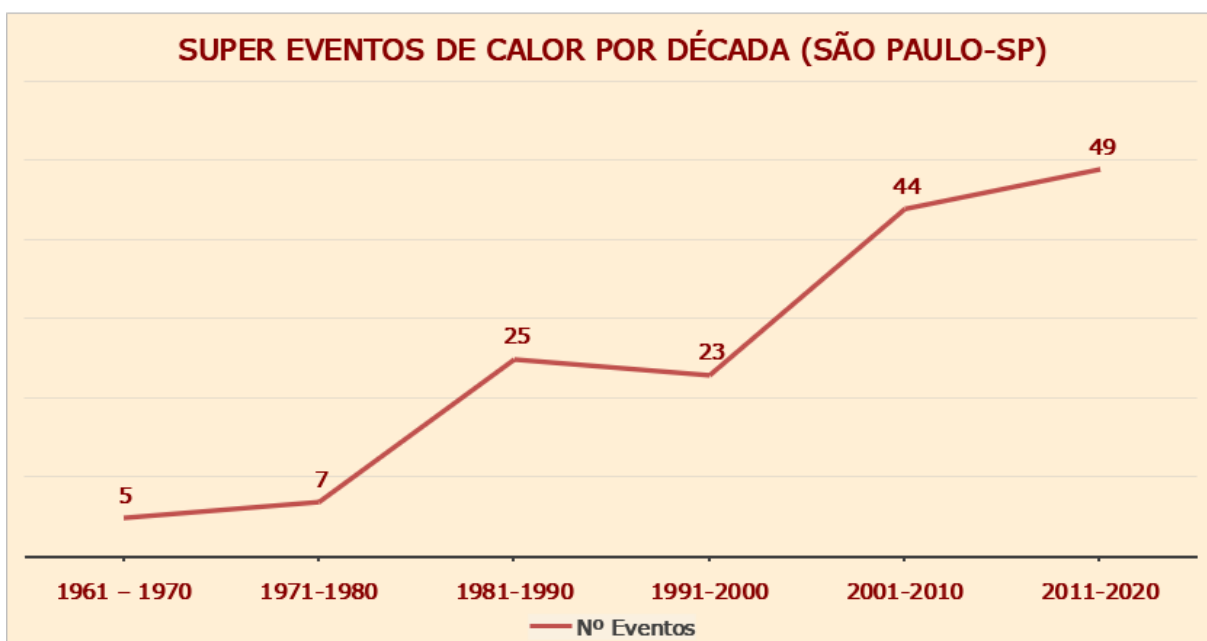


Figura - 29: Número de Super Eventos de Calor por década em São Paulo - SP

Em conformidade ao trazido por Bitencourt et al (2016), o mínimo de ocorrências destes eventos extremos se deu na fase da ODP negativa entre 1961 e 1977, após esse período, na entrada da fase quente (1977-1998), se notou a acentuada elevação dos registros, tendência que não cessou com a entrada da fase fria da ODP, no período a partir de 1999.

Nas mesmas considerações, no quantitativo de estações do ano, os Eventos Extremos de Calor aumentaram **170%** na primavera; **30,8%** no outono; **18,8%** no inverno e expressivos **1850%** no verão, ou seja, estão mais de 18 vezes mais comuns na climatologia da cidade de São Paulo, sendo outro agravante, o fato da estação ser a mais quente do ano, então estas eventualidades trazem ainda mais impactos, se comparado a eventos de temperatura acima da média de forma prolongada no inverno (Figuras: 30-33)

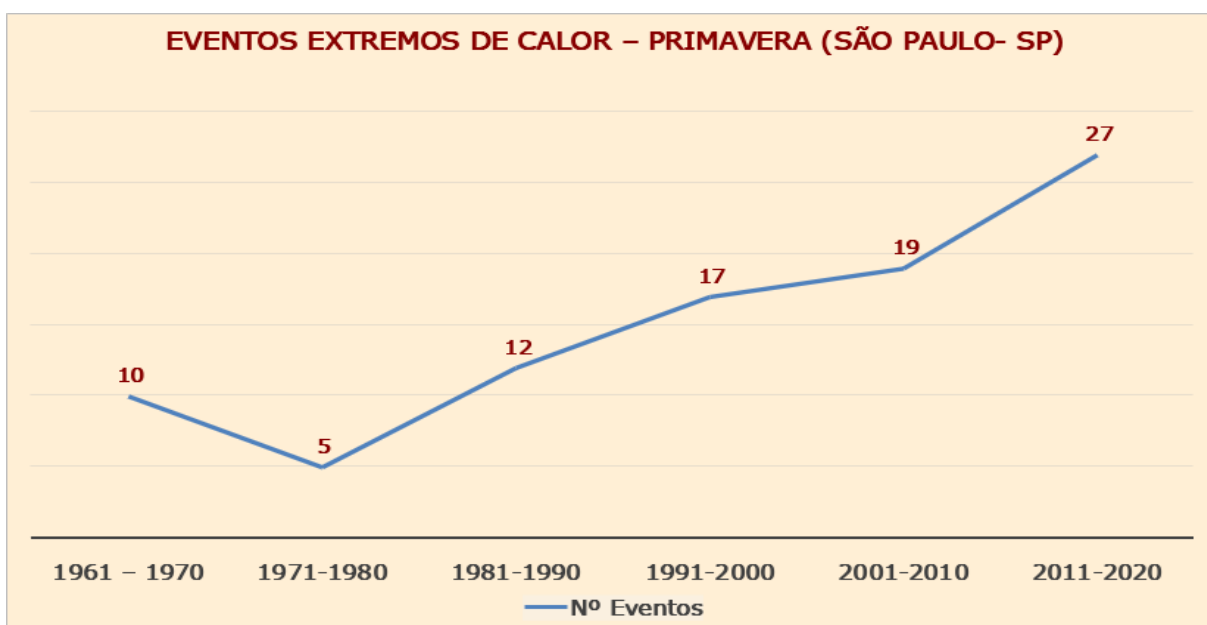


Figura - 30: Número de Eventos Extremos de Calor (Primavera) por década em São Paulo - SP

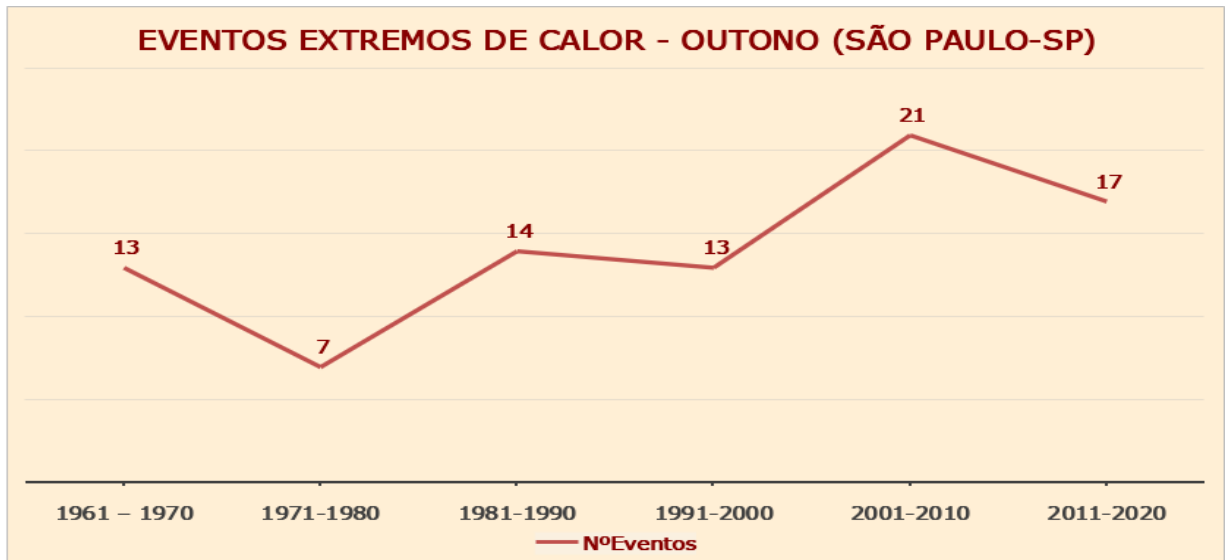


Figura - 31: Número de Eventos Extremos de Calor (Outono) por década em São Paulo - SP

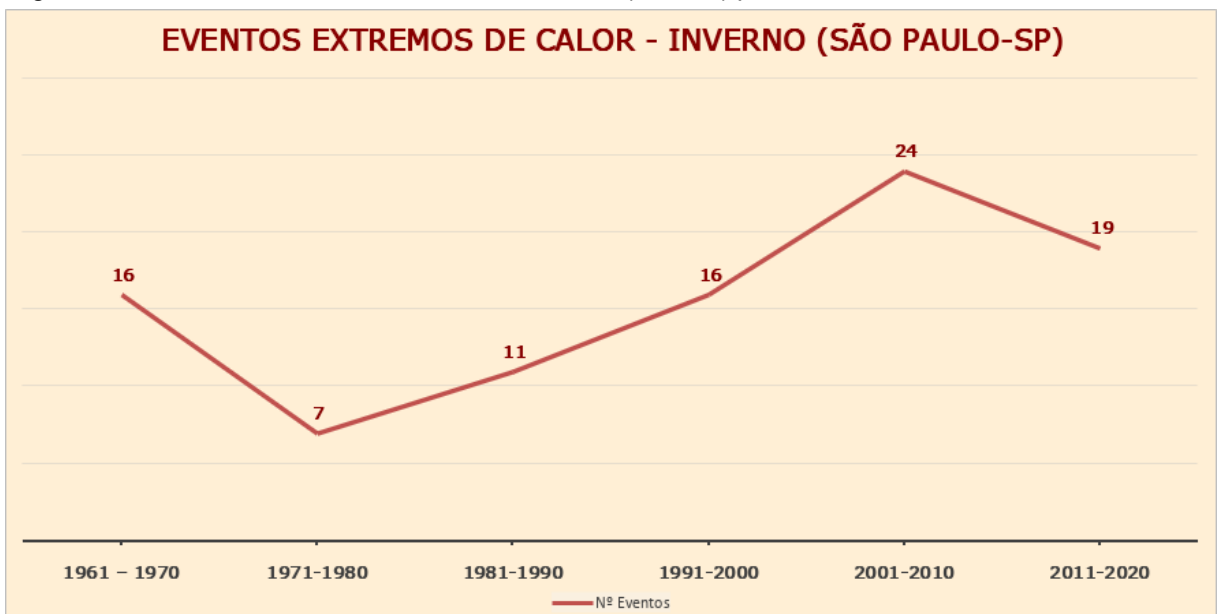


Figura - 32: Número de Eventos Extremos de Calor (Inverno) por década em São Paulo - SP

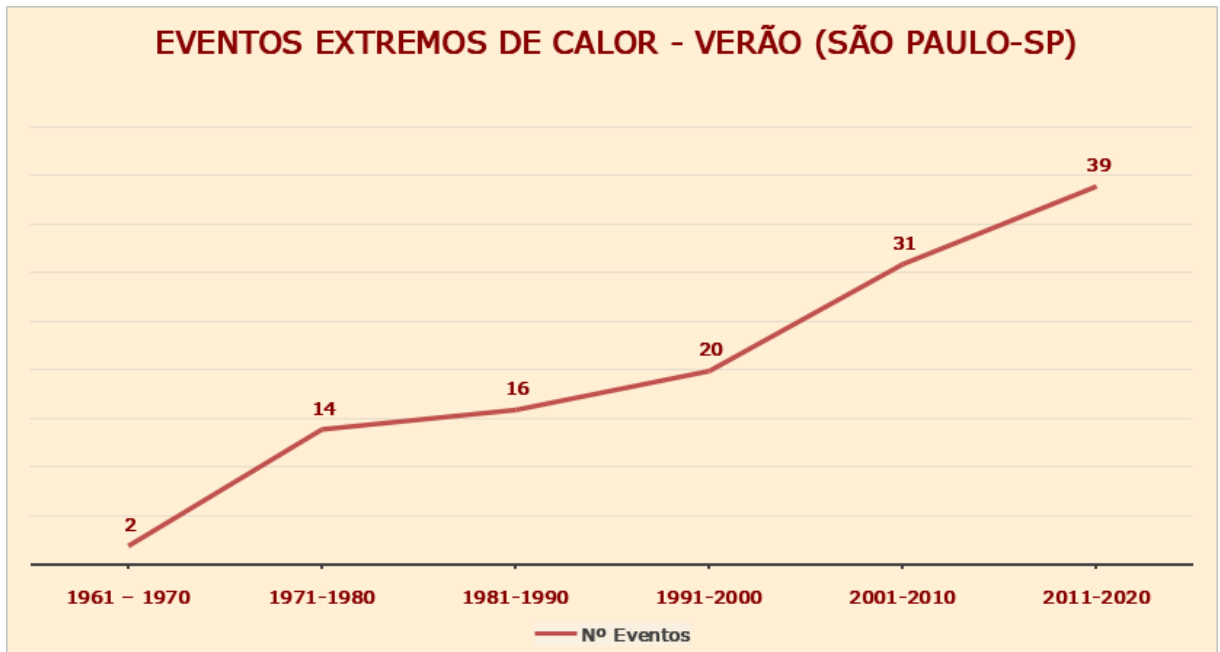


Figura - 33: Número de Eventos Extremos de Calor (Verão) por década em São Paulo - SP

Acerca dos Super Eventos de Calor, o aumento foi de **700%** na primavera; **1000%** no outono; **150%** no inverno; e de incríveis **1900%** no verão, ou seja, estão 19 vezes mais comuns nesta estação, isto considerando a evolução a partir do registro único na década de 1970, dado que nos anos 60 nenhum super evento de calor foi catalogado no verão (Figuras 34-37).

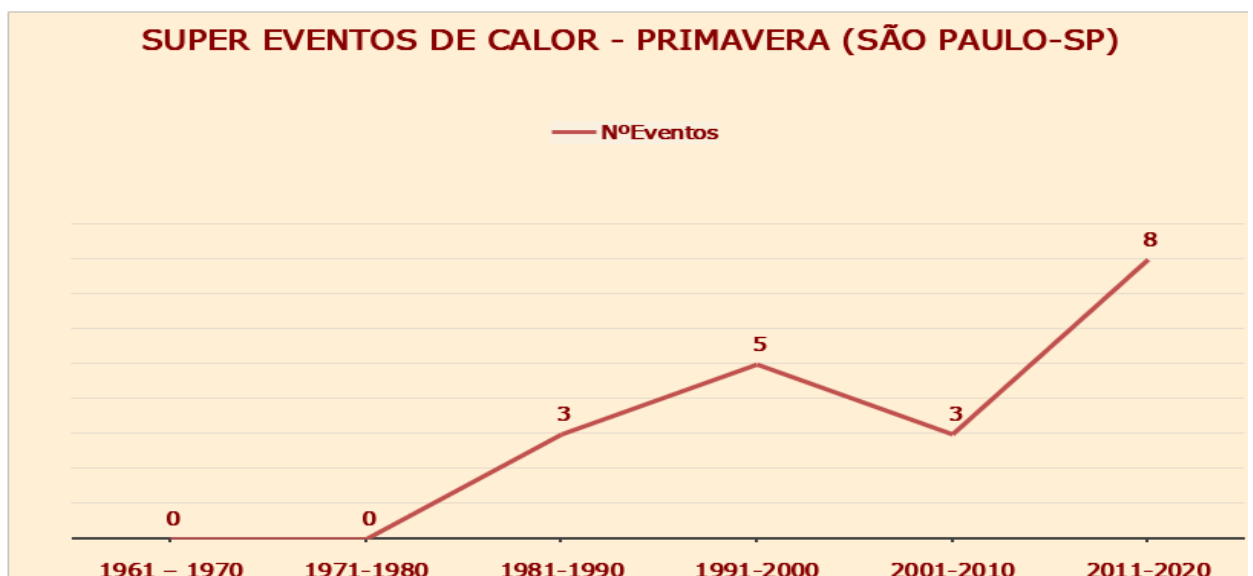


Figura - 34: Número de Super Eventos de Calor (Primavera) por década em São Paulo - SP.
INMET-BDMEP

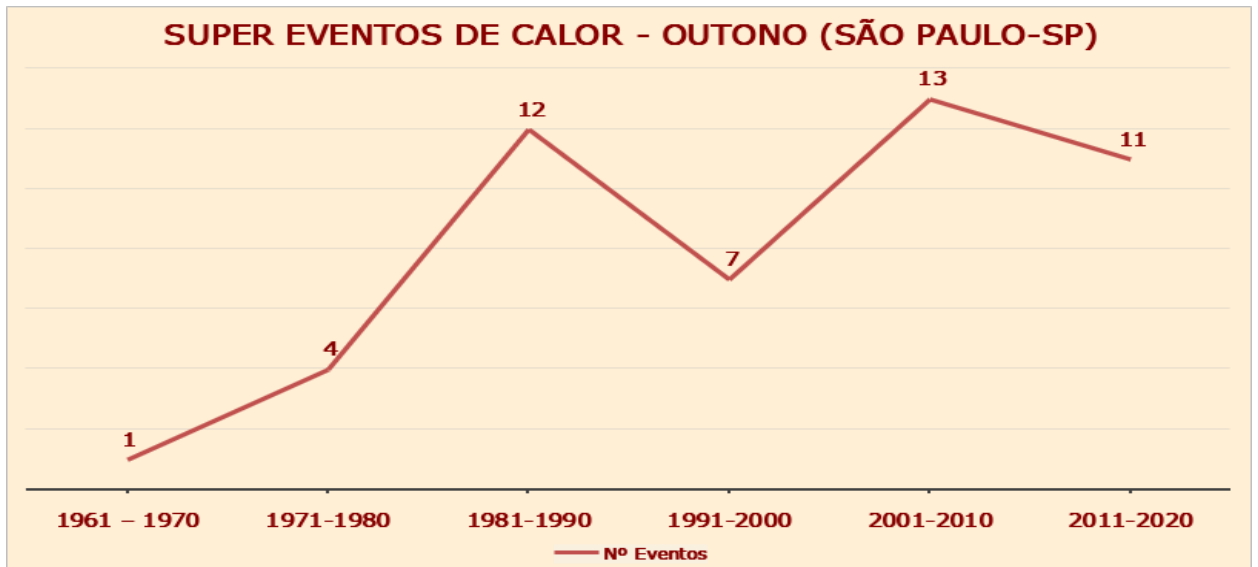


Figura - 35: Número de Super Eventos de Calor (Outono) por década em São Paulo - SP. INMET-BDMEP

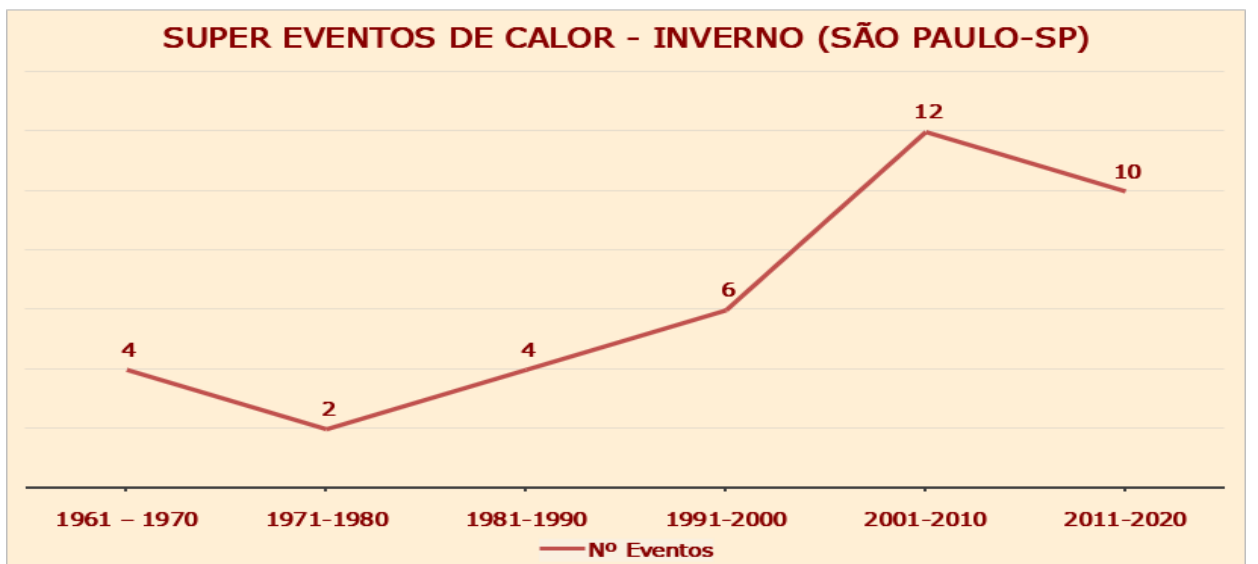


Figura - 36: Número de Super Eventos de Calor (Inverno) por década em São Paulo - SP. INMET-BDMEP

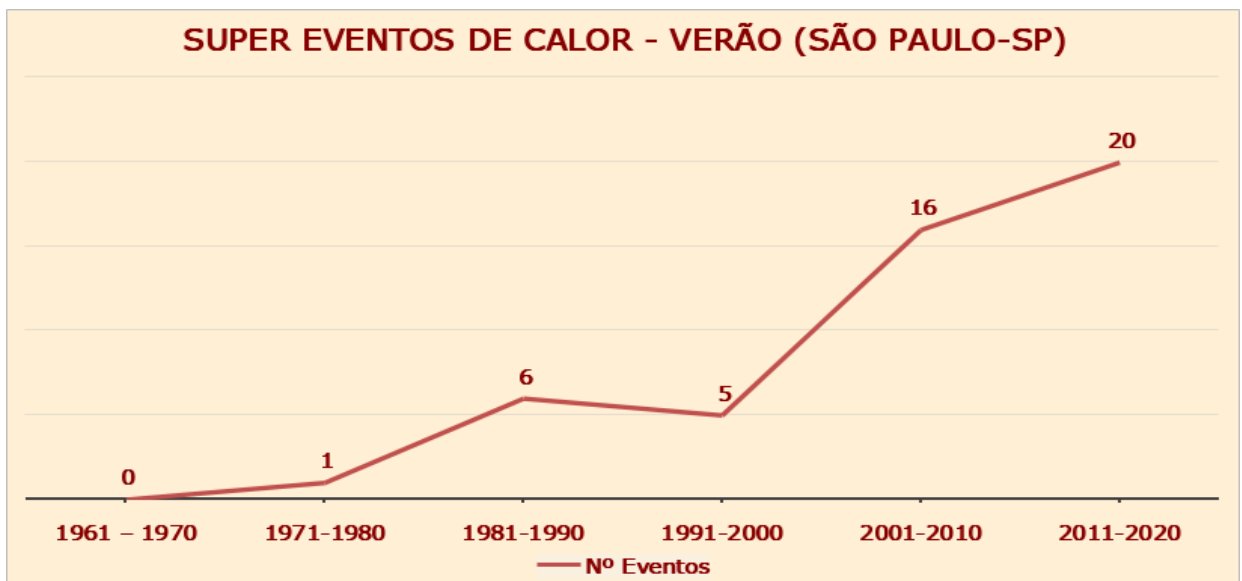


Figura - 37: Número de Super Eventos de Calor (Verão) por década em São Paulo - SP. INMET-BDMEP

No que se refere às Ondas de Calor (Critério IPCC), ao se considerar os valores médios das duas primeiras décadas do estudo (1961 a 1980), e os valores médios das últimas duas décadas (2001 a 2020), temos um significativo aumento de **205,9%** destes episódios, ou seja, estão mais do que 2 vezes mais comuns na climatologia da cidade de São Paulo. (Figura - 38).

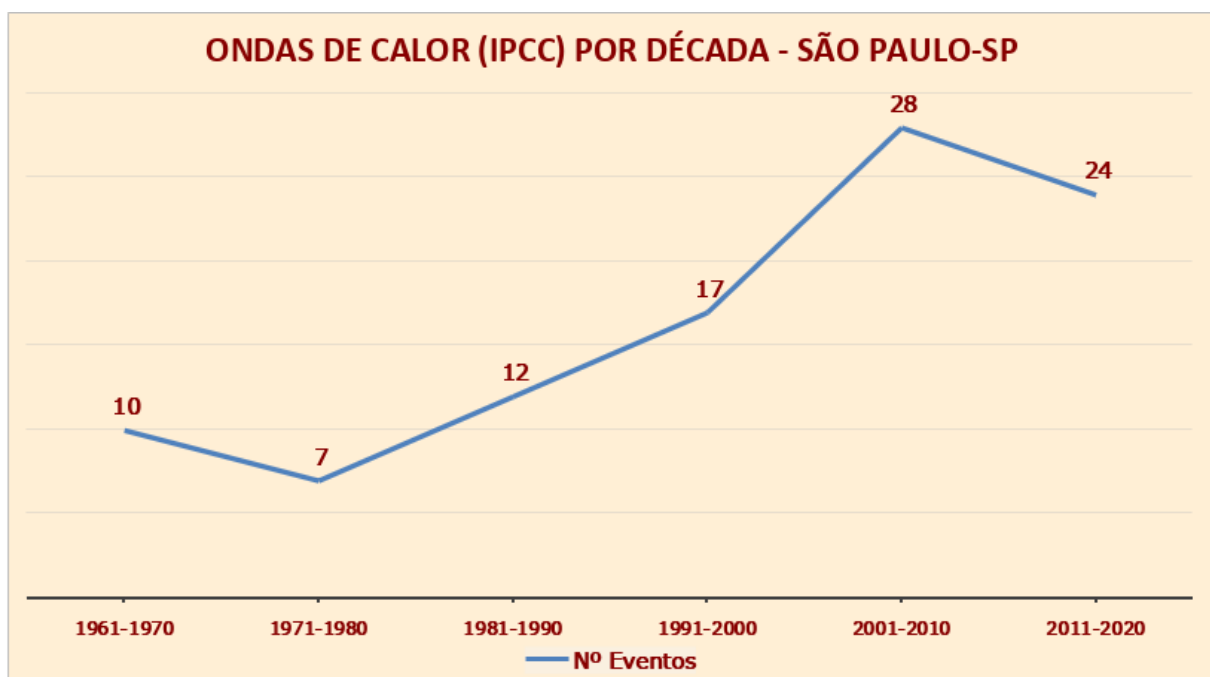


Figura - 38: Número de Ondas de Calor (Critério IPCC) por década em São Paulo - SP. INMET-BDMEP

Além de mais numerosos, e por consequência mais frequentes, os eventos de calor extremos, estão mais intensos. As temperaturas rotineiramente atingem patamares que antes eram raros ou excepcionais. Isso se sobressai no fato, que entre as 100 maiores temperaturas registradas pela Estação Mirante de Santana (1961-2020), **83 delas** aconteceram no período posterior a 1999. E entre as 5 maiores temperaturas, todas elas foram aferidas na última década, sendo que 4 das 5 maiores temperaturas ocorreram no último ano da série estudada: 2020 (Apêndice B). Ademais, tanto as máximas quanto as mínimas estão ficando mais elevadas na média durante esses eventos, isso considerando os apanhados decadais gerais (Figuras: 39-41), e também por estações do ano (Figuras - 42).

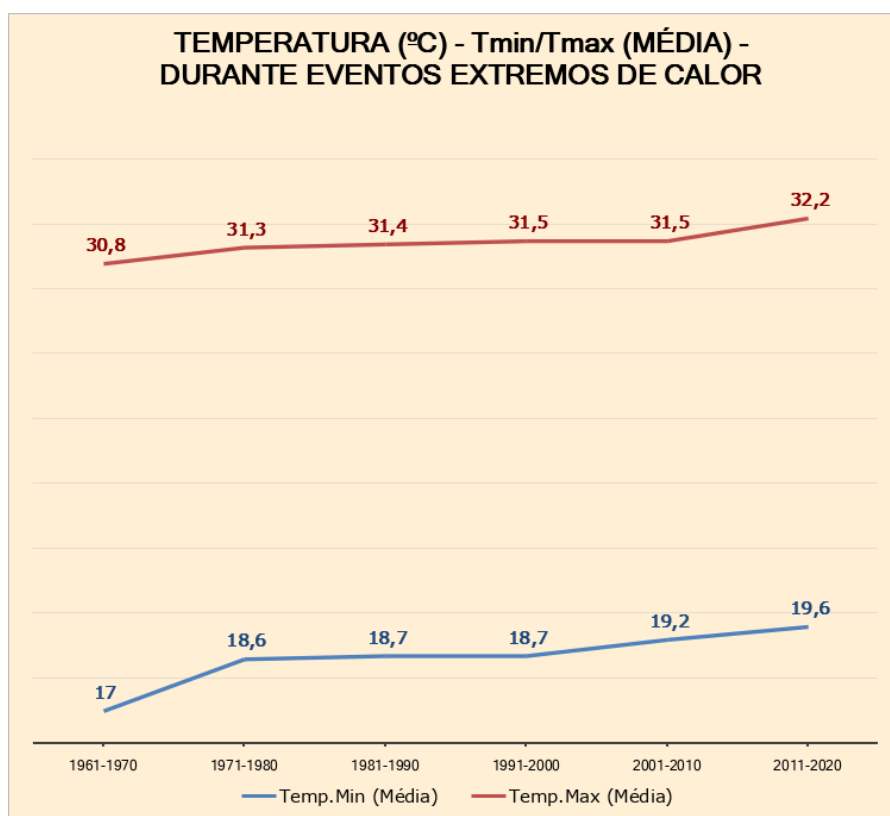


Figura - 39: Evolução das temperaturas extremas durante os eventos extremos de calor em São Paulo- SP. INMET-BDMEP

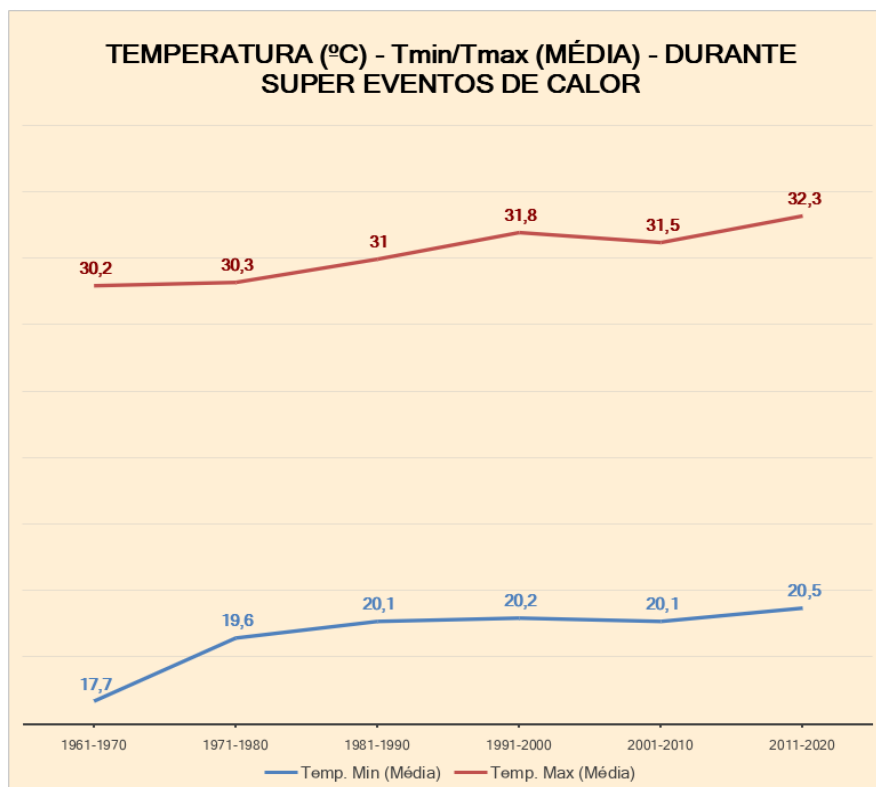


Figura - 40: Evolução das temperaturas extremas durante os Super Eventos de Calor em São Paulo-SP. INMET-BDMEP

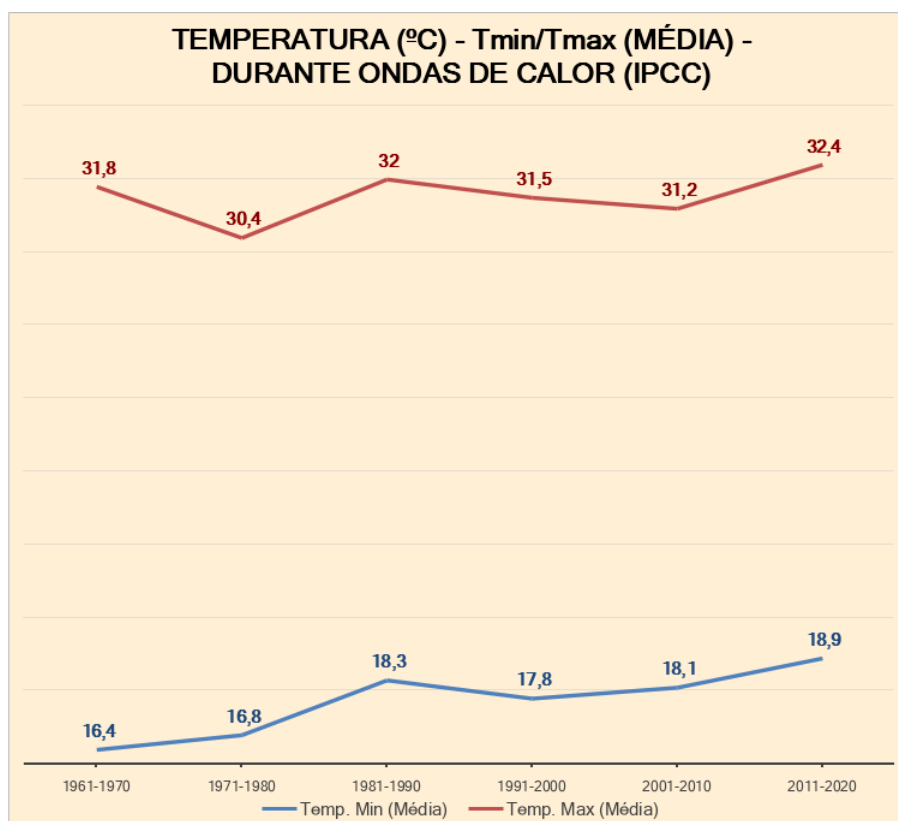


Figura: 41: Evolução das temperaturas extremas durante Ondas de Calor (IPCC) em São Paulo- SP. INMET-BDMEP

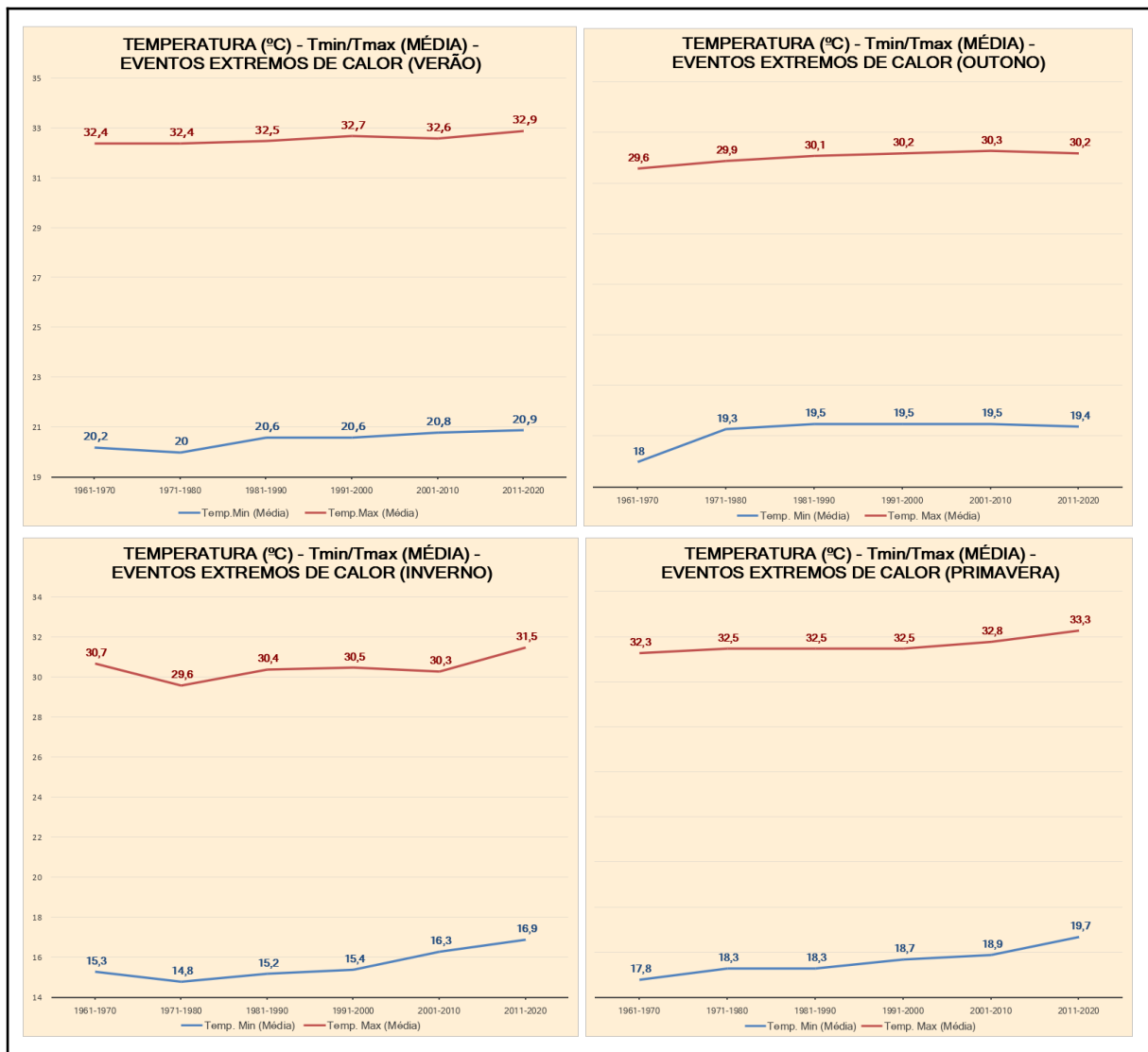


Figura - 42: Evolução das temperaturas mínimas e máximas diárias (média) durante Eventos Extremos de Calor por estações do ano em São Paulo- SP. INMET-BDMEP

Além de mais frequentes, numerosos e intensos, os Eventos Extremos de Calor, estão **23%** mais longos ou persistentes, se comparado ao padrão das duas primeiras décadas do estudo, a média saiu de 4 pra 5 dias de duração (Figura - 43). Em relação aos Super Eventos de Calor, este aumento foi de **28,75%** (Figura - 44). É considerável, o fato de boa parte do aumento da duração ter se dado neste século, clarificando o caráter mais acentuado dos episódios de calor na Cidade de São Paulo, em tempos mais recentes.

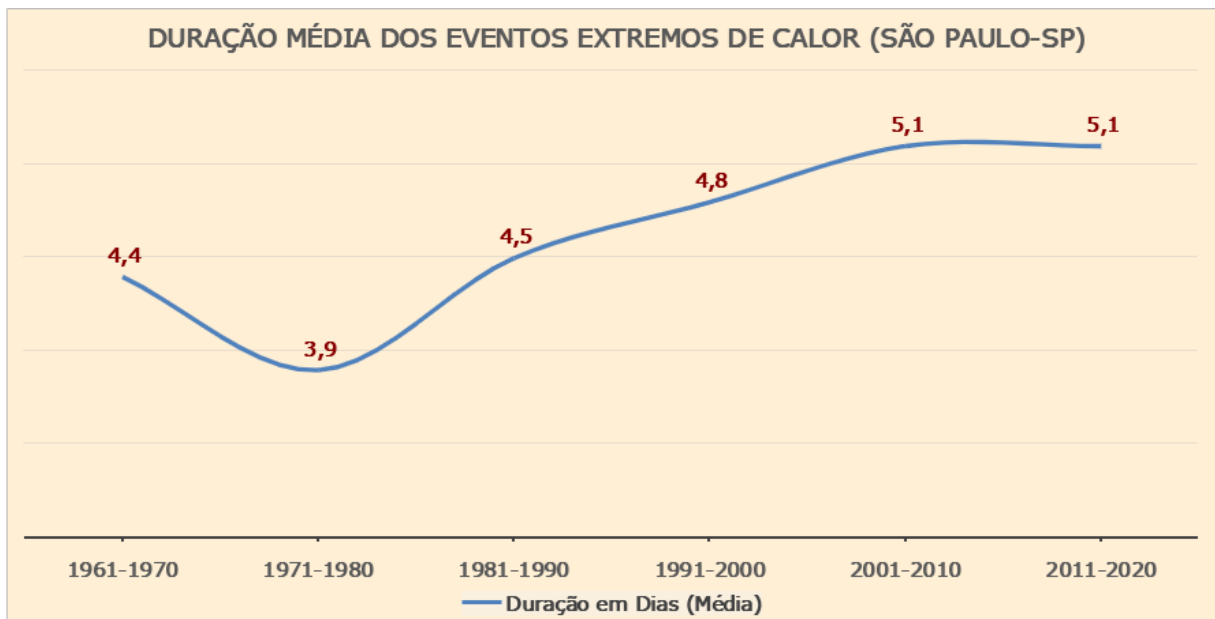


Figura - 43: Duração média dos Eventos Extremos de Calor em São Paulo-SP. INMET-BDMEP

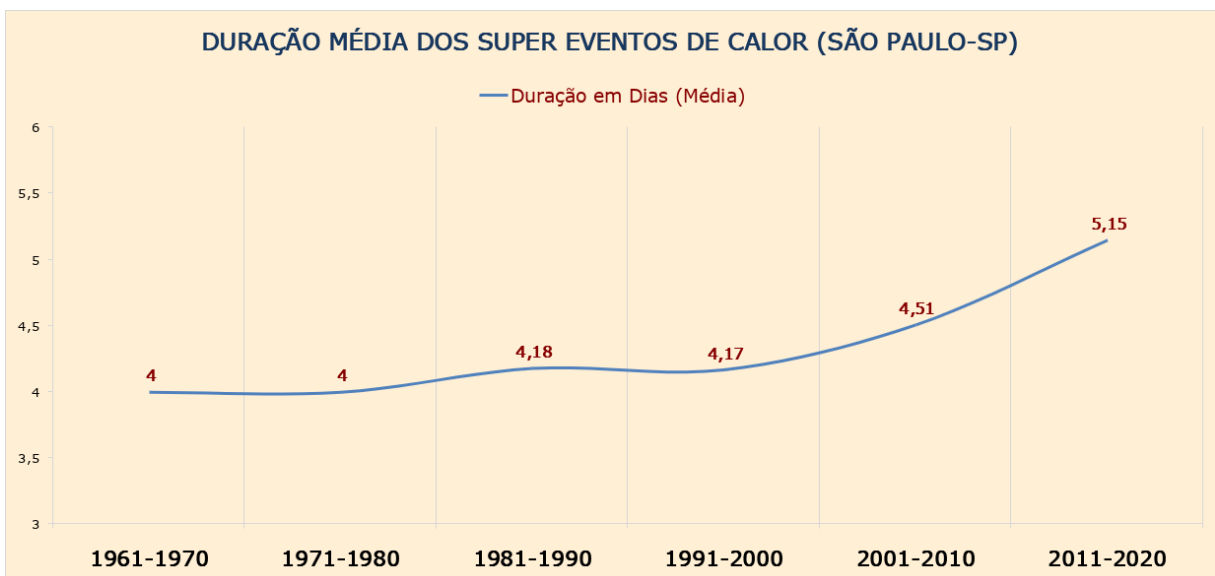


Figura - 44: Duração média dos Super Eventos de Calor em São Paulo-SP. INMET-BDMEP

Concernindo às especificidades sazonais, os Eventos Extremos de Calor foram mais frequentes no verão (122 ocorrências), seguido do inverno (93 ocorrências), da primavera (90 ocorrências) e menos comuns no outono (85 ocorrências). Vale destacar, que os registros de Inverno se concentram no final de agosto e durante o mês de setembro, com pouquíssimas eventualidades em julho e junho. No que se refere aos Super Eventos de Calor, eles se concentraram com mais intensidade no verão e no outono (48 ocorrências cada), seguido do inverno (38 ocorrências) e da

primavera (19 ocorrências). Importante ressaltar, que boa parte dos Super Eventos de Calor no outono, se deram nos últimos dias de março e no começo de abril, período climatologicamente ainda muito próximo às médias e dinâmicas do verão, foram raríssimos os registros em maio e junho. Em relação às Ondas de Calor (Critério IPCC), elas foram mais comuns e numerosas no trimestre: agosto-setembro-outubro (Figura - 45), período que existe maior dinâmica entre sistemas térmicos (Quentes e Frios), bem como os episódios de bloqueios atmosféricos são mais comuns, gerando dias quentes e áridos, com altíssima insolação, que possibilitam esses registros (CORDEIRO, 2017).

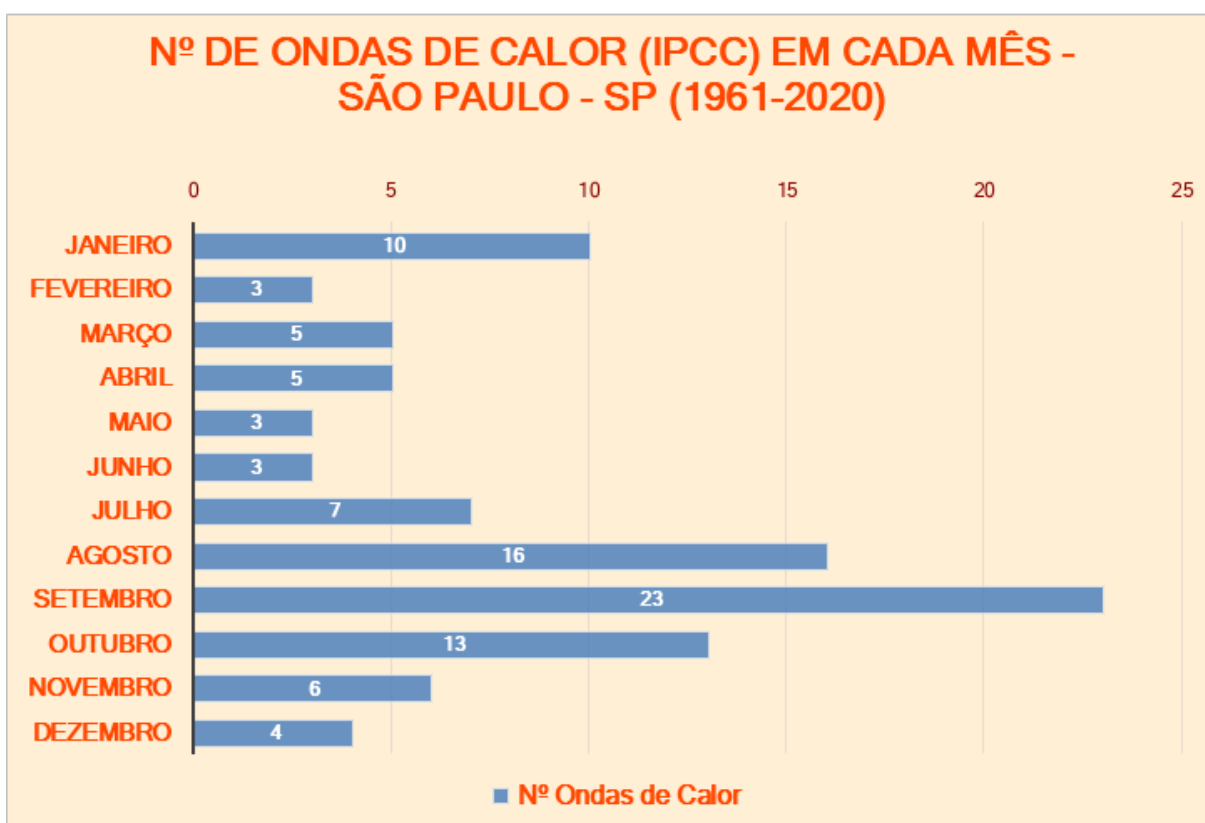


Figura - 45: Episódios de Ondas de Calor (IPCC) por mês do ano em São Paulo-SP. INMET-BDMEP

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, considerando a elevação estatística, os dados de eventos extremos de calor, sofreram uma forte ruptura a partir da segunda metade da década de 1980, processo que seguiu se intensificando nas demais décadas. Cabendo o debate da possibilidade de relação intrínseca, entre a expansão urbana, e a alteração totalmente correlata dos dados de eventos extremos de calor, um desses pontos, é o fato de mais de 70% da área urbanizada da cidade, ter se expandido em um processo anterior a segunda metade da década de 1970, e de acordo com o censo de 1980, a população residente na cidade naquele ano, já correspondia em torno de 70% do valor estimado para 2021. Muito embora, de acordo com os dados levantados neste trabalho, parte dos pontos de transgressão de tendência, em relação aos eventos quentes extremos, ou ondas de calor, tenha se acentuado apenas após a segunda metade dos anos 90, sendo o biênio (1997-1998), um importante ponto de inflexão. Este ponto, levanta a forte necessidade de elaboração de trabalhos mais aprofundados, para averiguar as múltiplas razões que geraram essas mudanças climáticas acentuadas na cidade, em essencial desde do final do século XX.

A respeito de sistemas atmosféricos associados aos extremos quentes, trabalhos recentes demonstram que existem, maior predominância de padrões de bloqueio de alta pressão, durante o verão, principalmente associada a ASAS fora de seu posicionamento típico da climatologia da estação nos últimos anos. Esse fator, ajuda a promover ocorrências acentuadas de calor, visto que, este sistema quando fica predominantemente próximo ao continente sul americano, impede a passagem de frente frias, e a formação de ZCAS. Em um cenário climatológico mais habitual, a passagem constante de sistemas transientes e a formação dos corredores de umidade, garante o padrão chuvoso sem picos graves de calor no sudeste brasileiro. Por esta razão, é primordial estudos que se debruçam, nesta possível mudança nos posicionamentos geográficos e climatológicos destes sistemas atmosféricos.

Outro ponto de grande importância, reside na intensificação do fenômeno das ilhas de calor, que pode estar inerentemente associada ao aumento das temperaturas mínimas ao longo de todo ano, esta elevação pode estar diretamente ligada à ampliação nos registros de Super Eventos de Calor, em um ritmo mais acentuado que os Eventos Extremos de Calor, este último não depende diretamente do registro de T.min elevadas.

Segundo os indícios, o entendimento destas novas realidades climáticas, ancoradas no fato de uma maior recorrência, duração e intensidade dos eventos de OC, não podem ser vistos como resultantes apenas das ilhas de calor na cidade, ou de forma isolada as novas realidades globais, quanto aos padrões ondulatórios e dinâmicas de massa de ar. O aquecimento global e local interagem, promovendo os impactos mais profundos, quanto a eventos climáticos no ambiente urbano. As mudanças climáticas globais afetam as dinâmicas atmosféricas em escala sinótica, o que está ligado a modificação do regime de sistemas meteorológicos tidos como habituais em cada estação. Muitos estudos já mostraram que, localmente a potencialização de ilhas de calor, geram impactos mais severos, quando sistemas de bloqueio atmosféricos quentes e secos se estabelecem, nestas situações o clima urbano se mostra com ainda mais efetividade, se comparado a padrões de tempos mais úmidos e dinâmicos.

Desta forma, é possível o reconhecimento que a intensificação dos eventos extremos estão associados tanto ao aquecimento global em curso, quanto ao clima urbano, conexo a fortificação das ilhas de calor. As mudanças dos condicionantes globais, regionais e locais, interagem entre si, podendo explicar de maneira congruente as novas dinâmicas climáticas na cidade.

Analisando os dados de temperatura do ar da estação INMET- Mirante de Santana, na série histórica 1961-2020, é extremamente nítido, nas últimas duas décadas, o acréscimo estatístico de ocorrências de eventos extremos de calor na Cidade de São Paulo, estes estão gradativamente ficando muito mais frequentes, prolongados e intensos. Essa questão é ainda mais contundente, pelo fato de ter

ocorrido uma elevação mais importante desses registros, na primavera e no verão, estações tradicionalmente mais quentes em termos de temperaturas médias. Este fato é potencializado, porque climatologicamente o verão na capital paulista, era ameno, sem picos acentuados de calor, como é possível visualizar no padrão vigente até a década de 1980 em resultados. Com base nesta perspectiva, é possível inferir que o cotidiano social da cidade, está sendo cada vez mais impactado, por extremos climáticos relacionados às altas temperaturas. Com base nesses indicativos, é de extrema importância futuras pesquisas estudando essas implicações na vida social, e demais questões sócio-espaciais e ambientais envolvidas.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo**. 1. ed. Cotia-SP: Atelie Editorial, 2007

AMADIO, Decio. **Desenho urbano e bairros centrais de São Paulo: um estudo sobre a formação e transformação do Brás, Bom Retiro e Pari**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Univeridade de de São Paulo. São Paulo. p. 483. 2004

ALVES, Maikon Passos Amilton et al. Onda de frio? análise de diferentes métodos de identificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 21, out. 2017. ISSN 2237-8642. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/54821>>. Acesso em: 04 fev. 2022. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.54821>.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, mês. 2016. ISSN 2179-0892. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/97783>. DOI:<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2016.97783>. Acesso em: 09 nov. 2021

BITENCOURT, Daniel Pires et al. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidadedas: Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online]. 2016, v. 31, n. 4 [Acessado 14 Junho 2021] , pp. 506-517. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-778631231420150077>>. ISSN 1982-4351. <https://doi.org/10.1590/0102-778631231420150077>.

BOTELHO, Adriano. A cidade como negócio: produção do espaço e acumulação do capital no município de São Paulo. **Cadernos Metrópole.**, n. 18, 2007.

CARLOS, A.F.A. **A Condição Espacial**. 1ed. São Paulo: Contexto, 2015

CATUZZO, Humberto. **Telhado verde: impacto na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo**. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013. 206f.

CAVALCANTI, Iracema F. A. et tal. **Tempo e Clima no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009

CORDERO, Simões dos Reis, Nicolle. **Variabilidade das Ondas de Calor na Região Subtropical do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Centro de Ciências Naturais e Exatas. Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria, 2017.

DESCHAMPS, Marley Vanice. **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba**.. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento: Curitiba. p.169. 2004

EMBRAPA. 2015. [Áreas Urbanas no Brasil em 2015 — Geoinfo Embrapa Territorial](http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15). disponível em: http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15. Acesso em: 10 nov. 2021

EMPLASA: Expansão da área urbana da região metropolitana de São Paulo. governo do estado de São Paulo. Secretária de Economia e Planejamento. 2007. Disponível em: [Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo \(igc.sp.gov.br\)](http://igc.sp.gov.br). Acesso em: 06 nov. 2021.

FANTE, Karime Pechutti e NETO, João Lima. Análise Das Ondas De Calor: Diferenças E Semelhanças Entre Cidades Litorâneas E Continentais (Santos E Votuporanga). In: XVI - **Sipósio de Geografia Física Aplicada**, Teresina. 2015. p.

625-623. Disponível em: [2. Análise Climática- métodos e técnicas, impactos e riscos.pdf \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 14 nov. 2021

FERREIRA, Luciana Schwandner. **Manejo da vegetação na cidade de São Paulo: supressão e compensação. O caso do Distrito da Vila Andrade.** 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo. p.203. 2012. Disponível em: [Manejo da vegetação na cidade de São Paulo: supressão e compensação. O caso do Distrito... \(usp.br\)](#). Acesso em: 05 nov. 2021.

FERREIRA, Luciana Schwandner. **Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo.** 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo. p.197. 2019. Disponível em: [Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana... \(usp.br\)](#). Acesso em 05 nov. 2021.

IBGE. **Panorama Cidades.** Disponível em: [IBGE | Cidades@ | São Paulo | São Paulo | Panorama](#). Acesso em: 11 nov. 2021

INMET- **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa** (BDMEP-INMET). Disponível em: INMET :[INMET :: BDMEP](#). Acesso em 23 nov. 2021

IPCC. Climate change 2001: **the scientific basis**, in: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer., Van der Linden, P. J., Dai, X.,Maskell, K., Johnson, C. A. (eds.), Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdomand New York, NY, USA, 2001

IPCC. 2014. WGII AR5. Sumário para os Tomadores de Decisão Impactos. Adaptação e Vulnerabilidade WGII AR5 do Quinto Relatório de Avaliação (2014). Disponível em: [Jul.15.51.pdf \(terrabrasilis.org.br\)](#). Acesso em: 30 out. 2021.

IPCC. 2021. **AR6 WG1 Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. Disponível em: [Sixth Assessment Report \(ipcc.ch\)](https://www.ipcc.ch/sixth-assessment-report/). Acesso em: 29 out. 2021.

LUIZ FUNARI, Frederico; JOSÉ PEREIRA FILHO, Augusto. ANÁLISE COMPARATIVA DE MEDIÇÕES DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS REALIZADAS POR ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS CONVENCIONAL E AUTOMÁTICA INSTALADAS NO PARQUE ESTADUAL DAS FONTES DO IPIRANGA - SÃO PAULO –SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 7, set. 2010. ISSN 2237-8642. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25659>. Acesso em: 06 fev. 2022. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v7i0.25659>.

LCB-USP. **Altura Geopotencial**. LCB-FFLCH-USP, 2021. Disponível em: [Altura Geopotencial | CLIMATOLOGIA E BIOGEOGRAFIA \(usp.br\)](https://abclima.usp.br/CLIMATOLOGIA-E-BIOGEOGRAFIA). Acesso em: 31 Jan. 2022

LUPO, A. R.; NOCERA, J. J.; BOSART, L. F. South American cold surges: types, composites, and cases studies. **Mon. Wea Rev**, v. 129, n. 5, p. 1021-1041, 2001.

MARENGO, J.; CORNEJO, A.; Satyamurty, P.; Nobre, C. Cold surges in tropical and extratropical South America: The Strong Event in June 1994. **Mon. Wea Rev**, v. 125, n. 11, p. 2759-2786, 1997.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 19, n. 3, p.485-494, mês. 2016

METELOGIX. **Reanálise ERA 5 - EXMWF**. Disponível em: <https://meteologix.com/td/reanalysis>. Acesso em: 18 nov. 2021

MODNA, Daniela; VECCHIA, Francisco. Calor e Áreas Verdes: um estudo preliminar do clima de São Carlos, SP. In: **Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e Conferência Latino-americana sobre Conforto e Desempenho Térmico de Edificações**. 2003. p. 661-668.

MONTEIRO, Ana. **O clima urbano do Porto**: contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade do Porto. p.436. 1993. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/16163/2/334TD01C000077894.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

MORAES, Sara Lopes; BARROZO, Ligia Vizeu. ANÁLISE DOS AGRUPAMENTOS ESPACIAIS DA MORTALIDADE DE IDOSOS NO PERÍODO DE ONDAS DE CALOR EM SÃO PAULO, SP. In: **IX Simpósio Nacional de Geografia da Saúde**. Blumenau, SC. 2019

NCEP/NOAA. CPC-ENSO. Disponível em: [CPC - Climate Weather Linkage: El Niño Southern Oscillation \(noaa.gov\)](https://climate.geog.udel.edu/climateviz/interannual-variability/ensoi/). Acesso em: 26 nov. 2021.

NOBRE, Carlos A. **Vulnerabilidades Das Megacidades Brasileiras Às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana De São Paulo: Relatório Final**. São José dos Campos, SP: INPE, 2011.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. IPCC AR6, WG1: Resumo Comentado, 2021. Disponível em: [Observatório do Clima | Publicações](#). Acesso em: 29 out. 2021.

PEZZA, A.B.; AMBRIZZI, T. Ondas de frio na América do Sul e temperaturas geladas em São Paulo: análise histórica (1888 - 2003) e estudos de casos e trajetórias de ciclones e anticiclones. **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 20, n. 1, p. 141- 158, 2005.

PMSP. **ATLAS AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**. Relatório Final. Prefeitura de São Paulo. Secretária Municipal do Meio Ambiente. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. São Paulo. Julho, 2002. Disponível em: [Publicações SVMA | Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente | Prefeitura da Cidade de São Paulo](#). Acesso em: 06 nov. 2020.

PMSP. **A onda de calor de fevereiro de 2014 e o excesso de mortes no município de São Paulo**. O Programa Vigiar no Município de São Paulo: Ondas de Calor e Poluição Atmosférica. Prefeitura de São Paulo. Secretária Municipal de Saúde. São Paulo. 2014. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-940653?src=similardocs>. Acesso em: 23 nov. 2021.

PMSP. **PlanClimaSP**: Plano de Ação Climática do Município de São Paulo 2020-2050. Prefeitura da Cidade de São Paulo. São Paulo, 2020.

RODRIGUEZ, Sergio.K. **Geologia urbana da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo. 171p. 1998

SANTOS, Milton. **Metrópole Corporativa fragmentada**: o Caso de São Paulo. 2 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2009

SANTOS, Rafael Gonçalves. **Clima Urbano e Ordenamento do Território na Metrópole de São Paulo**. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia e

Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa. Lisboa. p.195. 2020. Disponível em: [Repositório da Universidade de Lisboa: Clima Urbano e Ordenamento do Território na Metrópole de São Paulo](#). Acesso em: 06 nov. 2021.

SELMO, Luigi et al. Análise das temperaturas máximas do ar em Florianópolis/SC em abril de 2016: onda de calor. In: **Anais do I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres, Curitiba**. 2016. p. 48-56. Disponível em: [Conference Full Paper template \(ufsc.br\)](#). Acesso em: 19 nov. 2021.

SILVEIRA, Renata Dias. **Risco Climático, Vulnerabilidade Socioespacial e Eventos Climáticos Extremos Relacionados ao Calor e ao Frio no Estado do Rio Grande do Sul - Brasil**. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente: Presidente Prudente, 2014

SILVEIRA, Renata Dias. Risco Climático e Vulnerabilidade Socioespacial: o Exemplo dos Eventos Extremos Relacionados ao Calor e ao Frio (climate risk and sociospatial vulnerability: example of events related to extreme heat and cold). **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 19, out. 2016. ISSN 2237-8642. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/48872/29380>>. Acesso em: 11 jun. 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v19i0.48872>.

SOMEKH, Nadia. A (des) verticalização de São Paulo e o plano diretor da cidade. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 1, n. 2, p. 77-84, 1992. Disponível em: [v. 1 n. 2 \(1992\) | Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP](#). Acesso em: 07 nov 2021.

SOUZA, I. de A., Galvani, E., & Assunção, H. F. da. (2008). Comparative study between meteorological elements monitored by conventional and automatic stations in the region of Maringá, State of Paraná; - DOI:

10.4025/actascitechnol.v25i2.2220. **Acta Scientiarum. Technology**, 25(2), 203-207, 2003. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v25i2.2220>.

TARIFA, José Roberto; ARMANI, Gustavo. Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática.. In: Tarifa JR, Azevedo TR (org). **Os climas urbanos**. São Paulo: **GEOUSP**, 2001, p. 34-47.

VOOGT, James A.; OKE, Tim R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003. Disponível em: [doi:10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8 \(researchgate.net\)](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8). Acesso em 12 nov. 2021

APÊNDICES

PADRÃO MORFOCLIMÁTICO – DA ÁREA CONSTRUÍDA	SIGNIFICADO- DISCRIÇÃO
Compacidade Geométrica (Cp)	A compacidade expressa o nível de agrupamento ou desenvolvimento de alta densidade de uma geometria no interior de uma unidade de análise.
Sinuosidade (Sn)	A sinuosidade indica o nível de curvatura dos espaços construídos em relação a um percurso retilíneo no interior de uma unidade de análise.
Complexidade Geométrica (Cx)	Relaciona a extensão do preenchimento espacial de uma forma com perímetro mais complexo em relação a uma forma com perímetros simples em dimensão radial.
Direcionalidade (Dc)	A direcionalidade é uma propriedade espacial das estruturas urbanas que visa compreender a orientação do edificado em relação ao fluxo de ar e a temperatura superficial.
Rugosidade Aerodinâmica (Rg – Z0)	Se relaciona ao comprimento das fachadas dos edifícios que atuam como barreira à progressão do fluxo de ar, com efeitos na sua velocidade e direção, considerando ainda outras métricas como a altura e área dos espaços construídos
Verticalidade (Vt)	O Índice é uma segunda propriedade aerodinâmica dos tecidos urbanos, permite verificar o impacto da altura do edificado no efeito de sombreamento das áreas envolventes.
Porosidade (Po)	Como uma propriedade de textura do tecido urbano a Porosidade tem por objetivo quantificar o volume de espaços construídos em razão do de ar livre presente na camada inferior da atmosfera urbana
Índice de Oclusividade (Oc)	Relativo a obstrução a visibilidade do céu
Índice de Impermeabilidade (Ip)	Propriedade das coberturas urbanas, tem por objetivo compreender a fração impermeável junto ao solo em uma unidade de análise.
Intensidade de Ocupação (Io)	Uma propriedade das coberturas urbanas que considera a intensidade de utilização da área do edificado junto ao solo (impermeabilidade) e em altura, considera a soma das áreas construídas (coberturas), em razão do número de pavimentos, ponderados pela área da grelha
Conectividade (Cn)	A conectividade corresponde ao nível de elementos agrupados sem interrupções. Como uma propriedade de organização das coberturas em meio urbano, a conectividade avalia o nível de geminação entre espaços construídos, sendo calculada com base no somatório das áreas dos edifícios dissolvidos em um bloco contínuo, em razão do número de edifícios com paredes geminadas.
Proximidade (Px)	A proximidade corresponde ao espaçamento entre dois elementos do mesmo grupo (coberturas de espaços construídos), criando padrões de organização e revelando contrastes em relação com os elementos circundantes

Apêndice A: Padrões morfoclimáticos das construções urbanas. Adaptado de “SANTOS: 2020, p.112-123”, Org: Bruno Morais.

AS 100 MAIORES TEMPERATURAS REGISTRADAS NA ESTAÇÃO MIRANTE DE SANTANA (SÃO PAULO)					
Posição	Data	Temp.Ma x	Posição	Data	Temp.Ma x
1º	17/10/2014	37,8	51º	30/01/2019	35,1
2º	02/10/2020*	37,4	52º	21/09/1961	35
3º	07/10/2020*	37,3	53º	17/11/1985	35
4º	30/09/2020*	37,1	54º	12/10/2014	35
5º	01/10/2020*	37,1	55º	17/10/2016	35
6º	20/01/1999	37	56º	03/02/2014	35
7º	19/01/1999	36,7	57º	27/09/1988	34,9
8º	21/01/1999	36,7	58º	23/10/2000	34,9
9º	31/10/2012	36,6	59º	27/09/2020*	34,9
10º	19/01/2015	36,5	60º	11/09/2019	34,8
11º	07/02/2014	36,4	61º	25/11/1998	34,8
12º	06/10/2020*	36,4	62º	16/10/2014	34,8
13º	08/02/2014	36,3	63º	31/12/2007	34,8
14º	30/10/2012	36,1	64º	11/01/2015	34,8
15º	04/11/2019	36,1	65º	13/01/2015	34,8
16º	13/10/2014	36	66º	08/10/2002	34,7
17º	09/02/2014	36	67º	24/09/2004	34,7
18º	12/09/2019	35,9	68º	13/10/2005	34,7
19º	19/10/2014	35,9	69º	21/10/2007	34,7
20º	19/10/2016	35,9	70º	11/10/2017	34,7
21º	01/02/2014	35,9	71º	03/02/1984	34,7

22°	02/02/2019	35,9	72°	04/02/2014	34,7
23°	05/10/2020*	35,9	73°	10/02/2014	34,7
24°	15/10/2015	35,8	74°	26/09/1988	34,6
25°	17/01/2015	35,8	75°	13/10/1994	34,6
26°	10/10/2002	35,7	76°	15/10/1997	34,6
27°	16/10/2015	35,7	77°	21/11/2002	34,6
28°	03/12/1998	35,6	78°	29/10/2007	34,6
29°	11/10/2002	35,6	79°	11/11/2013	34,6
30°	27/10/2019	35,6	80°	27/12/2014	34,6
31°	18/01/2015	35,6	81°	19/02/2017	34,6
32°	20/01/2015	35,6	82°	18/09/2015	34,5
33°	19/09/2015	35,5	83°	18/09/2019	34,5
34°	03/01/2014	35,5	84°	12/10/1963	34,5
35°	05/02/2014	35,5	85°	16/11/1985	34,5
36°	01/02/2019	35,5	86°	14/10/2002	34,5
37°	12/01/2015	35,4	87°	12/11/2003	34,5
38°	15/11/1985	35,3	88°	15/10/2008	34,5
39°	12/10/2002	35,3	89°	03/10/2012	34,5
40°	26/09/2004	35,3	90°	12/10/2017	34,5
41°	28/10/2012	35,3	91°	13/10/2017	34,5
42°	24/09/2015	35,3	92°	18/01/1999	34,5
43°	20/10/2015	35,3	93°	25/01/2006	34,5
44°	20/09/1961	35,2	94°	31/01/2014	34,5
45°	11/11/1997	35,2	95°	02/02/2014	34,5
46°	16/10/2002	35,2	96°	09/01/2019	34,5

47°	06/02/2014	35,2	97°	18/09/1961	34,4
48°	27/09/1961	35,1	98°	16/09/2019	34,4
49°	02/10/2019	35,1	99°	17/09/2019	34,4
50°	13/10/2019	35,1	100°	10/10/2014	34,4

Apêndice B: As 100 Maiores temperaturas registradas na Estação Mirante de Santana (1961-2020).

Org: Bruno Morais. INMET-BDMEP. *Dados da Estação Automática.

ANEXOS

MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Pres. Atm (mb)	923,5	924,2	924,9	926,2	927,4	928,7	929,4	928,3	927,2	925,4	923,8	923,2	926,0
md Max (°C)	27,3	28,0	27,2	25,1	23,0	21,8	21,8	23,3	23,9	24,8	25,9	26,3	24,9
md Min (°C)	18,7	18,8	18,2	16,3	13,8	12,4	11,7	12,8	13,9	15,3	16,6	17,7	15,5
Max abs (°C)	34,2	34,7	33,5	31,4	29,7	28,6	29,3	33,0	35,2	34,5	35,3	33,5	35,3
Max abs Data	19/88	03/84	15/86	06/90	08/84	29/72	15/87	31/63	20/61	12/63	15/85	01/61	15/11/85
Md Comp (°C)	22,1	22,4	21,7	19,7	17,6	16,5	15,8	17,1	17,8	19,0	20,3	21,1	19,3
UR (%)	80	79	80	80	79	78	77	74	77	79	78	80	78
Nebu (C10)	8,1	7,5	7,7	7,4	6,6	6,2	6,1	6,2	7,2	7,7	7,7	8,2	7,2
Prec Tot (mm)	238,7	217,4	159,8	75,8	73,6	55,7	44,1	38,9	80,5	123,6	145,8	200,9	1455
Max Prec (mm)	103,5	121,8	90,8	57,9	71,8	74,0	70,8	42,3	62,6	63,7	82,8	151,8	151,8
Max data	19/77	02/83	09/72	20/68	16/68	15/87	03/76	08/82	20/84	07/69	15/79	21/88	21/12/88
Evap Total (mm)	99,9	86,9	88,4	80,7	79,8	78,2	91,1	104,8	100,0	99,9	101,4	96,9	1108
Isol h/dia	4,8	5,2	4,7	4,7	4,6	4,8	5,3	5,2	4,0	4,5	4,8	4,2	4,7

Anexo A: Normais Climatológicas - Mirante de Santana (1961-1990); Org: TARIFA e ARMANI (2001)

Normal Climatológica Mirante de Santana (São Paulo) 1981-2010													
MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	AN O
Temperatura Máxima (°C)	28,2	28,8	28	26,2	23,3	22,6	22,4	24,1	24,4	25,9	26,9	27,6	25,7
Temperatura Mínima (°C)	19,3	19,5	18,8	17,4	14,5	13	12,3	13,1	14,4	16	17,3	18,3	16,2
Temperatura Média Compensada (°C)	22,9	23,2	22,4	21	18,2	17,1	16,7	17,7	18,5	20	21,2	22,1	20,1
Insolação Total (horas)	139, 1	153,5	161, 6	169, 3	167, 6	160	169	173, 1	144,5	157, 9	152,8	145,1	189 3,5
Nebulosidade (décimos)	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Umidade Relativa do Ar (%)	77,2	76	77,1	75,3	75,6	73,2	71,6	69,4	72,5	74,3	73,6	75,5	74,3
Precipitação Acumulada (mm)	288, 2	246,2	214, 5	82,1	78,1	50,3	47,8	36	84,8	126, 6	137	224,4	161 6

Anexo B: Normais Climatológicas - Mirante de Santana (1981-2010). INMET

	Presente Observ.	Presente Simulado	2030-40	Conf.	2050-60	Conf.	2080-90	Conf.
TEMP				Alta		Alta		Alta
NOITES QUENTES				Alta		Alta		Alta
NOITES FRIAS				Alta		Alta		Alta
DIAS QUENTES				Alta		Alta		Alta
DIAS FRIOS				Média		Alta		Alta
ONDAS DE CALOR	Não observado			Média		Média		Alta
CHUVA TOTAL				Alta		Alta		Alta
PRECIP. INTENSA				Média		Média		Alta
PRECIP. > 95th				Média		Média		Alta
DIAS PRECIP. > 10 MM				Média		Média		Alta
DIAS PRECIP. > 20 MM				Média		Média		Média
DIAS SECOS CONSECUTIVOS				Média		Média		Alta

Anexo C: Sumário das projeções climáticas derivadas regional ETA-CPTEC 40Km para RMSP.
 FONTE: CPTEC/INPE, 2010. (NOBRE, 2011)

