





ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE AUMENTO DA TEMPERATURA DO AR NAS CIDADES DE SANTA ISABEL E SÃO PAULO, ESTADO DE SÃO PAULO, A PARTIR DE DIFERENTES BASES DE DADOS, E LEVANTAMENTO DE IMPACTOS

Increasing Trend of Air Temperature in Santa Isabel and São Paulo cities (State of São Paulo), from different databases, and a review of the impacts

Análisis de la tendencia del aumento de la temperatura del aire en las ciudades de Santa Isabel y São Paulo, estado de São Paulo, desde diferentes bases de datos y estudio de impactos

Gabriela Sá Leitão de Mello  

Universidade Federal do ABC e Instituto Mauá de Tecnologia
gabriela.mello@ufabc.edu.br

Ana Carla Rizzo Mendes  

Universidade Federal do ABC
rizzo.ana@ufabc.edu.br

María Cleofé Valverde  

Universidade Federal do ABC
maria.brambila@ufabc.edu.br

Andréa de Oliveira Cardoso  

Universidade Federal do ABC
andrea.cardoso@ufabc.edu.br

Resumo: Este trabalho teve como objetivo analisar as tendências de aumento da temperatura do ar de duas localidades do estado de São Paulo, as cidades Santa Isabel e São Paulo, e fazer um levantamento na literatura sobre os possíveis impactos da elevação da temperatura sobre o estado. Foi analisado o comportamento da temperatura utilizando dados das bases *Berkeley Earth* e INMET. A partir dos dados da *Berkeley Earth*, analisou-se o histórico de temperatura média anual para a localidade de Santa Isabel, no período de 1832 a 2020, e o padrão sazonal comparado aos três últimos anos disponíveis na base (2018-2020). Nessa base, os dados correspondentes à localização de Santa Isabel são resultado de uma estimativa

realizada de acordo com a metodologia empregada pela base *Berkeley Earth*. Também foram analisadas as normais climatológicas do INMET para a estação meteorológica do Mirante de Santana, localizada na cidade de São Paulo, sendo possível verificar variações sazonais em três períodos (1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020). Verificou-se que há um claro aumento da temperatura quando se observam as anomalias anuais no período de 1832 a 2020, além de uma tendência de incremento mais acentuada de 1969 até 2020, com um aumento de 1,14 °C. Os resultados das buscas realizadas nas bases *Scopus* e *Scielo* Brasil sobre os impactos decorrentes do aumento da temperatura do ar foram escassos para estudos específicos no estado de São Paulo, mas destacaram impactos à saúde humana, à agricultura e à pecuária.

Palavras-chave: Ondas de calor. Anomalias de temperatura. Variação sazonal. *Berkeley Earth*. INMET.

Abstract: This study aimed to analyze the increasing trend of air temperature in two locations in the state of São Paulo, the cities of Santa Isabel and São Paulo. The study also conducted a systematic literature review on the impacts of the rising temperatures of the state. The variation of temperature was analyzed using data from Berkeley Earth and INMET databases. By using Berkeley Earth database, the annual average history of temperature for Santa Isabel was analyzed from 1832 to 2020 period and the seasonal pattern of the last three years available in the database (2018 to 2020) was compared. In this database, data corresponding to Santa Isabel location are a result of an estimate based on Berkeley Earth's methodology. Climatological normals from INMET were analyzed for Mirante de Santana meteorological station, located in the city of São Paulo, making it possible to identified seasonal variations in three periods (1931-1960, 1961-1990 and 1991-2020). As per the analysis, there is a clear increase in temperature when observing annual anomalies in the period from 1832 to 2020, as well as a more pronounced increase trend from 1969 until 2020, with an increase of 1.14 °C in the respective period. The results of the systematic review on Scopus and Scielo Brasil databases of the impacts of from rising air temperature were scarce for specific studies in São Paulo state. However, impacts on human health, agriculture, and livestock were observed.

Keywords: Heatwaves. Temperature anomalies. Seasonal variation. Berkeley Earth. INMET.

Resumen: Este trabajo tuvo como objetivo analizar las tendencias de aumento de la temperatura del aire en dos localidades del estado de São Paulo y realizar un estudio en la literatura sobre posibles impactos del aumento de la temperatura en el Estado. Se analizó el comportamiento de la temperatura utilizando datos de las bases *Berkeley Earth* e INMET. Con base en datos de *Berkeley Earth*, se analizó el histórico de la temperatura promedio anual para la localidad de Santa Isabel, desde el año 1832 hasta el 2020, y el patrón estacional comparado con tres años disponibles en la base (2018, 2019 y 2020). En esta base, los datos correspondientes a la ubicación de Santa Isabel fueron el resultado de una estimación realizada según la metodología utilizada por la base *Berkeley Earth*. Se analizaron también normales climatológicas del INMET para una estación meteorológica ubicada en la ciudad de São Paulo, lo que hizo posible verificar variaciones estacionales en tres períodos distintos. Se pudo verificar que existe un claro aumento de la temperatura cuando se observan las anomalías anuales en el período desde el año 1832 al 2020, además de una tendencia de aumento más pronunciada desde el año 1969 al 2020, con un aumento de 1,14°C. Los resultados de las búsquedas realizadas en las bases *Scopus* y *Scielo* Brasil sobre los impactos del aumento de la temperatura del aire fueron escasos para estudios específicos en el estado de São Paulo, pero destacaron impactos a la salud, la agricultura y la ganadería.

Palabras clave: Olas de calor. Anomalías de temperatura. La variación estacional. *Berkeley Earth*. INMET.

Submetido em: 05/11/2022

Aceito para publicação em: 15/06/2023

Publicado em: 27/06/2023



1. INTRODUÇÃO

De acordo com o último relatório do IPCC (2021), AR6 (*Sixth Assessment Report*), é inequívoca a influência humana no aquecimento da atmosfera, do oceano e do solo. O aumento nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) observado desde 1750 é incontestadamente causado por atividades humanas, que trouxeram como consequência mudanças rápidas e generalizadas na atmosfera, nos oceanos, na criosfera e na biosfera. As projeções do relatório do IPCC (2021) apontam para grandes consequências, como (i) estimativa de que o aumento da temperatura atinja de 1,5° C a 2° C até 2050, (ii) prejuízo crítico para a saúde das pessoas e para a agricultura se em 2050 o limite de 2° C for atingido, (iii) intensificação das secas com o aumento da temperatura, (iv) possibilidade de elevação da temperatura em regiões do Brasil como norte, sudeste e centro oeste, junto com a América do Sul, (v) aumento da temperatura em dias mais frios no Ártico, sendo estimado até três vezes mais do que o previsto em relatórios anteriores, (vi) aumento de intensidade e frequência de eventos extremos como ciclones tropicais intensos.

O IPCC (2022) afirma, que, em decorrência das mudanças climáticas, impactos adversos generalizados foram causados em ecossistemas, pessoas, assentamentos e infraestrutura, sendo alguns deles irreversíveis. As mudanças climáticas reduziram a segurança alimentar e hídrica de muitas comunidades e afetaram negativamente a saúde física e mental das pessoas em todo o mundo. Em todas as regiões, eventos de calor extremo resultaram em mortalidade e morbidade humana. A ocorrência de doenças de origem alimentar e hídrica relacionadas ao clima aumentou, e doenças animais e humanas, incluindo zoonoses, estão surgindo em novas regiões. Além disso, temperaturas mais altas, maior quantidade de chuvas e inundações aumentaram a ocorrência de doenças diarreicas, incluindo cólera e outras infecções gastrointestinais. Em ambientes urbanos, as mudanças climáticas observadas causaram impactos na saúde humana, meios de subsistência e infraestrutura. Os extremos de calor, incluindo ondas de calor, intensificaram-se nas cidades, limitando o funcionamento da infraestrutura (IPCC, 2022).

Santos et al. (2020) realizaram um estudo analisando projeções de temperatura, com simulações para os cenários de aquecimento de 1,5° C, 2° C e 4° C, para todo o Brasil. Tais projeções demonstraram um aumento das temperaturas máximas e mínimas para toda a área

de estudo, sendo as regiões Norte e Nordeste as que apresentaram maior severidade, devido ao nível de aquecimento gerar maior impacto nessas regiões, aumentando em 75% os números de dias mais quentes.

No estudo realizado por Penereiro et al. (2018), foi avaliada a temperatura média de 243 localidades distribuídas pelos biomas do Brasil, nas quatro estações do ano, e se verificou que houve maior número de estações meteorológicas com tendência, principalmente de aumento, nas estações do inverno, primavera e verão, sendo os biomas Amazônia e Cerrado os mais evidenciados. Em um estudo mais atual, foram identificadas tendências de aumento nas temperaturas principalmente nas regiões Norte e Sudeste e no norte da Região Sul, em especial em cidades que nas últimas duas décadas acompanharam um aumento da área urbana, seguido de desmatamentos e desenvolvimento agropecuário e industrial (Penereiro & Meschiatti, 2018).

Especificamente para o estado de São Paulo, Blain (2011) analisou as séries de temperatura mensais mínima e máxima em seis localidades: Campinas (1948-2007), Cordeirópolis (1948-2007), Ribeirão Preto (1948-2007), Ubatuba (1956-2007), Monte Alegre do Sul (1948-2007) e Pindorama (1951-2007). O destaque se dá para o município de Ubatuba, onde, aplicando-se testes estatísticos paramétricos e não-paramétricos, foram verificados aumentos de temperatura mais significativos entre todas as séries analisadas. Em Campinas, Cordeirópolis e Ribeirão Preto também há fortes indícios de tendências e variações climáticas nos últimos 60 anos, enquanto os demais municípios (Monte Alegre do Sul e Pindorama) mostraram indícios não significativos, com menores taxas de elevação das temperaturas máximas e mínimas.

As variabilidades extremas de temperatura também estão associadas a eventos de ondas de calor. Em um estudo sobre a ocorrência de ondas de calor no Brasil, Bitencourt et al. (2016) dividiram o país em 3 áreas, separando-as de acordo com a disponibilidade de dados meteorológicos, sendo uma das áreas correspondente à grande parte das regiões centro-oeste, sudeste e sul. Os autores obtiveram resultados que mostram uma frequência de ondas de calor significativamente maior a partir do ano 2000, apontando para efeitos provocados pelas mudanças climáticas, com uma real possibilidade de manutenção ou até crescimento desse número. Entre as três ondas de calor mais intensas de cada área estudada, a mais



duradoura e abrangente espacialmente ocorreu na área em que está localizado o estado de São Paulo, alcançando uma magnitude de temperatura máxima de 42,6°C.

O estudo feito por Bitencourt et al. (2020) para o período de 1961 a 2010 no Brasil mostrou que os trabalhadores que trabalham ao ar livre foram expostos a condições extremas de calor, principalmente a partir da década de 1990. O estudo trouxe também projeções para os cenários de RCP 4.5 e 8.5, do Relatório AR5 (*Fifth Assessment Report*) do IPCC, que preveem condições de estresse térmico ainda mais críticas para as próximas décadas, especialmente para a região oeste do país. As anomalias projetadas variam de 1 a 4°C para os cenários de emissões moderadas e de 3 a 7°C para os cenários de altas emissões.

Valente & Laurini (2022) avaliaram a mudança no padrão de temperatura para a Região Metropolitana de São Paulo, analisando séries diárias entre 1933 e 2019 do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP). A tendência de aumento mostrou um padrão de crescimento estatisticamente significativo ao longo do tempo, sendo observado um aumento superior a 2°C em 2019, na temperatura média diária. Os resultados do estudo também indicaram um aumento na faixa de variação sazonal da temperatura a partir de 1980, mais que dobrando a variabilidade sazonal em relação ao período anterior. Os autores atribuem a alteração de padrão às mudanças climáticas e, também, ao processo de urbanização e crescimento populacional do município de São Paulo.

No estudo de Alvares et al. (2022) verificou-se um aumento médio anual da temperatura de 0,9°C para o período analisado de 1917 a 2016 na estação meteorológica convencional da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), localizada em Piracicaba, estado de São Paulo. A temperatura média anual do ar passou de 21,4°C, na primeira normal climatológica (de 1917 a 1946), para 22,3°C, na última (de 1987 a 2016), sendo que a temperatura média do ar do mês mais quente subiu de 24,5 para 25,3°C. Além disso, os meses de inverno tiveram o maior aumento de temperatura, subindo de 17,1°C (de 1917 a 1946) para 18,3°C (de 1987 a 2016). O estudo mostrou também concordância com as anomalias de temperatura do ar nas escalas regional, continental e global, fornecendo uma evidência científica válida e forte de que as mudanças climáticas ocorreram na cidade nos últimos 100 anos.

Oliveira et al. (2021) analisaram e caracterizaram a ocorrência de ondas de calor para o município de Campinas, décimo quarto mais populoso do Brasil e o terceiro mais populoso do estado de São Paulo, com o objetivo de investigar seu impacto na saúde. O período analisado foi de 1956 a 2018 e os resultados apontaram para uma mudança significativa na tendência de aumento de temperatura a partir da década de 1980, com eventos mais intensos, mais frequentes e mais prolongados nos últimos 20 anos, coincidindo com a tendência provocada pelo aquecimento global. Os autores utilizaram dados de temperatura máxima e mínima de duas estações meteorológicas distantes 30 km, com diferentes níveis de urbanização. Mesmo com padrões semelhantes, as métricas da estação meteorológica localizada na área mais urbanizada foram superiores em número, duração dos eventos e soma de dias de ondas de calor, com o total de 596 eventos no período analisado, enquanto na estação meteorológica da região menos urbanizada houve 346 dias de ondas de calor.

Os impactos do aumento da temperatura podem ser distintos, indo desde a insegurança hídrica até a alimentar, passando pela insegurança energética e socioambiental. Conforme projeções do IPCC (2014), haverá um aumento nos problemas de saúde, principalmente em países em desenvolvimento que tenham menos recursos, ocasionando doenças, por vetores e pela utilização da água, ferimentos, desnutrição, perda de trabalhos e até mesmo mortes. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a tendência de aumento da temperatura do ar em duas localidades do estado de São Paulo, utilizando duas bases de dados diferentes, de forma a complementar a literatura existente sobre a elevação da temperatura na região sudeste do Brasil. Além disso, uma revisão sistemática foi realizada para verificar como os impactos do aumento da temperatura do ar no estado de São Paulo têm sido descritos na literatura. Para isso, foi feito o levantamento nas bases *Scopus* e *Scielo* Brasil e a compilação dos impactos relatados para os diversos setores sociais, econômicos e ambientais.

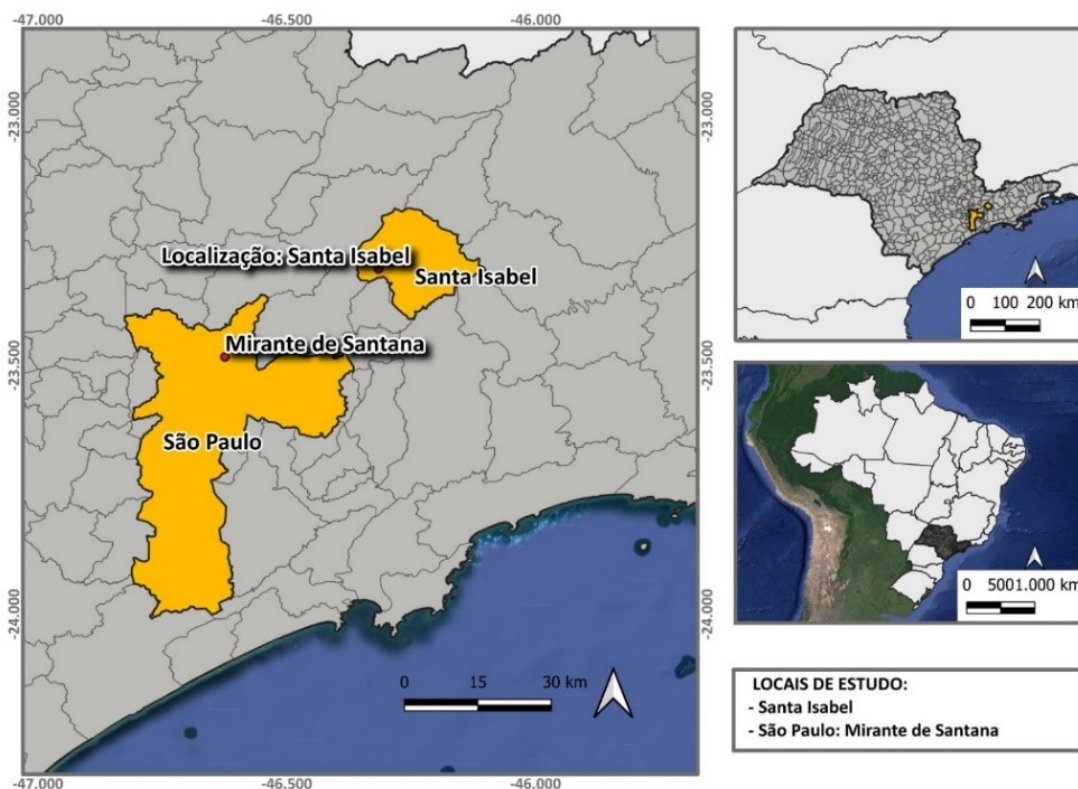
2. METODOLOGIA

2.1. Locais de Estudo

Os locais considerados neste estudo são os municípios de Santa Isabel e de São Paulo, ambos localizados no estado de São Paulo, região Sudeste do Brasil (Figura 1). De acordo com

a classificação climática de Köppen, o clima predominante da região onde se localizam esses municípios é o subtropical úmido, com inverno seco e verão quente (Cwa) (Alvares et al., 2013).

Figura 1 – Locais de estudo.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2023), a partir da base de dados Google Satélite e IBGE.

2.2. Análise do Aumento da Temperatura nos Locais de Estudo

Foram escolhidas duas bases de dados de acesso livre para a análise do aumento da temperatura nos locais de estudo. A primeira base escolhida foi a *Berkeley Earth*¹, que apresenta dois tipos de dados de interesse para este estudo: a) médias anuais de temperatura do ar e anomalias anuais ao longo dos últimos 188 anos (1832 a 2020) e b) médias mensais de temperatura, para três anos recentes, 2018, 2019 e 2020, e as maiores e menores temperaturas médias mensais observadas em 2019. Para acessar os dados, primeiramente selecionou-se o estado de São Paulo (*Global Warming → Results by Region → By State or Province*), sendo verificado que não há dados das médias mensais de temperatura para

¹ <https://berkeleyearth.org>

nenhum período. Dessa forma, buscou-se a localidade da cidade de São Paulo (*Global Warming → Results by Region → City Selection – Largest Cities*) para a qual estão disponíveis os dois tipos de dados, (a) e (b), que se desejava analisar. No entanto, a localização indicada pela base para esses dados é das coordenadas geográficas 23,31°S, 46,31°W, que correspondem a um ponto do município de Santa Isabel. Por essa razão, o local de estudo foi denominado dessa forma. O conjunto de dados analisados para essa localidade é resultado de uma estimativa de dados de estações meteorológicas existentes, conforme metodologia adotada pela *Berkeley Earth*². Outra informação de interesse encontrada na base *Berkeley Earth* para essa localidade é um *ranking* das médias de temperatura mensais e anuais mais quentes e mais frias.

A *Berkeley Earth* é uma organização independente dos EUA focada na ciência de dados ambientais, que fornece dados de temperatura e poluição do ar de forma gratuita e com códigos abertos e disponíveis para downloads (Rohde e Hausfather, 2020). É possível buscar os dados por países, regiões, estados ou províncias, cidades e estações meteorológicas, além dos dados em nível global, no formato NetCDF, que podem ser úteis para estudos que envolvem fenômenos globais, como os realizados por Rohde et al. (2012) e Rohde & Hausfather (2020). Os conjuntos de dados globais começam em 1850 e são baseados em 50.564 séries temporais com 20.694.236 pontos de dados, sendo as temperaturas registradas em graus Celsius. Atualmente, a base de dados da *Berkeley Earth* é reconhecida e utilizada pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para análises da variabilidade da temperatura do ar, em conjunto com outras bases de dados, a HadCRUT5, a NOAA GlobalTemp, a ERA5, a GISTEMP e a JRA-55 (WMO, 2021).

Primeiramente, os dados da *Berkeley Earth* na escala mensal foram analisados, verificando-se a sua variabilidade interanual ao longo do período estudado, de 1832 a 2020. Posteriormente, foram calculadas as anomalias da temperatura média anual. Para isso, foi obtido o valor médio da temperatura anual para todo o período (1832-2020) e, em seguida, procedeu-se com a diferença entre o valor da temperatura anual em cada ano e o valor médio de todo o período. Dessa forma, obteve-se uma série de anomalias para o período de 1832-2020, para a qual se avaliou a tendência através do método do ajuste linear (Lima et al., 2023;

² <https://berkeleyearth.lbl.gov:4443/locations/23.31S-46.31W>



Silva Junior et al., 2020; Wilks, 2006), que utiliza o método de regressão linear. Para estimar a linha de tendência, utilizou-se o software Excel e, também, obteve-se o valor estatístico do R^2 , chamado de coeficiente de determinação, que reflete a qualidade do ajuste. Para o R^2 , utilizou-se a seguinte escala: $R^2 > 0,70$ - Forte; $0,40 \leq R^2 \leq 0,70$ - Moderado; $R^2 < 0,40$ - Fraco e $R^2 = 0 \rightarrow$ Nulo (Callegari-Jacques, 2003). A significância estatística também foi avaliada com base no nível de significância $\alpha=0,05$.

A segunda fonte de dados de temperatura do ar utilizada pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET³), que apresenta as normais climatológicas para as cidades brasileiras para três períodos recentes: de 1931 a 1960, de 1961 a 1990 e de 1991 a 2020. Foram analisados os parâmetros de temperatura máxima, média e mínima para a estação climatológica de Mirante de Santana, localizada no município de São Paulo, que é próxima do município de Santa Isabel e a única estação do estado de São Paulo, da base INMET, que apresenta dados completos para os três períodos de normais climatológicas, baseado em dados observados oficiais de acordo com a recomendação da Organização Meteorológica Mundial. Esses dados foram utilizados para identificar a sazonalidade e o comportamento médio mensal das temperaturas em diferentes períodos de 30 anos, definidos como normais climatológicas, de modo a verificar se apontam para o aumento da temperatura conforme observado pela análise do conjunto de dados da base *Berkeley Earth*.

Cabe explicar que neste trabalho não se entra no mérito do quanto esses dados podem ser influenciados pelo fenômeno local da urbanização, devido ao fato de que a cidade de São Paulo e sua região metropolitana passaram por intensos processos de urbanização ao longo do século XX, assim como o uso e ocupação do solo, que também contribuem para o aumento da temperatura. Tampouco se discute que a variação da temperatura nos locais estudados seja atribuída diretamente às mudanças climáticas globais. Porém, como é realizada uma análise de tendência, que considera o período de 188 anos de dados mensais, entende-se que esta análise é suficiente para distinguir a variabilidade climática e mudanças no clima (Sarra & Mülfarth, 2021) e verificar se há correspondência com o que está sendo apontado pelas projeções de aquecimento global do IPCC (2021).

³ <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>

2.3. Revisão Sistemática para Levantamento dos Impactos

Para verificar como estão sendo descritos os impactos causados pelo aumento da temperatura do ar na literatura científica para o estado de São Paulo, foi realizada uma busca nas bases de dados *Scielo* Brasil e *Scopus*, utilizando 32 diferentes composições de palavras-chave. Essas composições continham as variáveis climáticas (temperatura, chuva, precipitação, umidade), os fenômenos (ondas de calor, temperatura extrema, calor extremo, seca, inundação), as áreas impactadas (conforto térmico, saúde, doenças, qualidade do ar, agricultura, pecuária, energia, infraestrutura, transporte, ecossistemas e meio ambiente), os termos tendência e impactos e o local de estudo (estado de São Paulo). Foram acrescentados também os descritores: efeito estufa, mudanças climáticas e aquecimento global, de forma a ampliar o alcance das buscas. Todos os termos foram pesquisados nos idiomas português e inglês.

As restrições aplicadas para a busca foram: a) documento tipo artigo; b) língua inglesa e portuguesa e c) busca em Título, Resumo e Palavras-chave dos artigos. Não foi usado filtro para seleção de um período específico.

Após a leitura dos artigos na íntegra, os impactos decorrentes do aumento da temperatura foram categorizados em impactos nas áreas sociais, econômicas e ambientais e em elementos do clima ou processos. Para apresentação dos resultados, foi organizada uma tabela com o resumo das informações, composta pelas seguintes colunas: referência, evento, período, local de ocorrência e impactos, que foram categorizados conforme informações encontradas nos artigos em: saúde, agricultura e pecuária e elementos ou processos afetados.

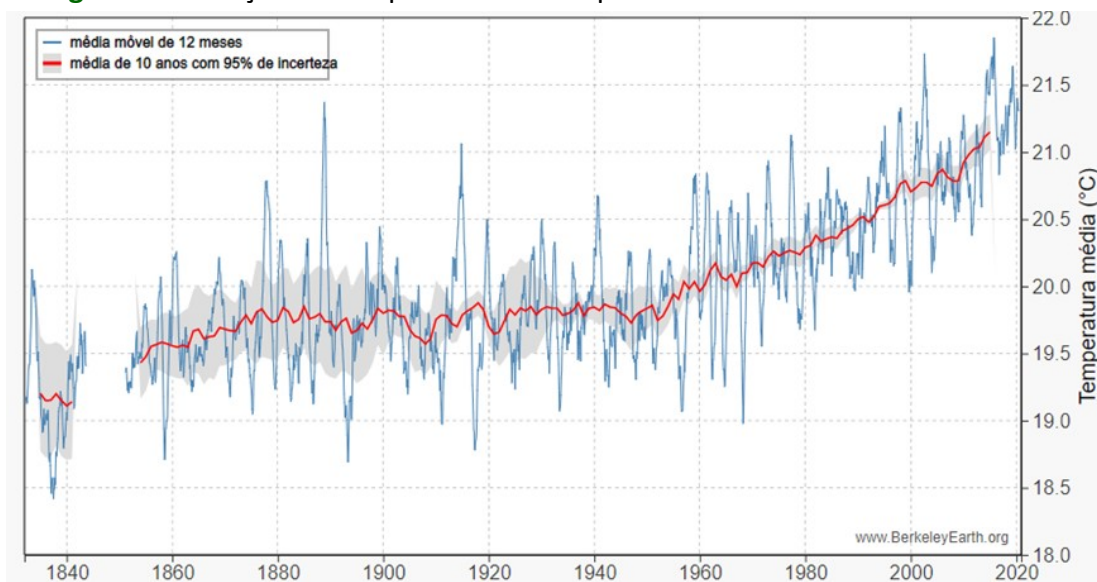
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise do Aumento da Temperatura

A variabilidade interanual da temperatura em Santa Isabel, que é a localidade que representa o estado de São Paulo na base *Berkeley Earth*, pode ser verificada pela Figura 2. No gráfico estão apresentadas a média móvel de 12 meses (linha azul), isto é, a média temporal a cada 12 elementos (meses), com passo de um mês e a média de 10 anos (linha vermelha), para o período de 1854 a 2020.

Conforme observado (Figura 2), a temperatura média apresentou uma tendência de aumento até o ano de 2020, sendo esse mais pronunciado a partir de meados de 1960, saltando de uma média móvel de doze meses de 20,12°C, em 1860, para 21,40°C, em 2020. Nota-se também que nos últimos 10 anos (2010-2020), houve dois picos de temperatura máxima, correspondentes aos anos de 2015 (21,85°C) e 2019 (21,44°C), anos em que ocorreram dois recordes de temperatura, sendo o ano de 2019 o mais quente no Brasil até então. Na cidade de São Paulo, 2019 foi o segundo ano mais quente desde 1943 (Fioravanti, 2020).

Figura 2 - Variação da temperatura média para a localidade de Santa Isabel.

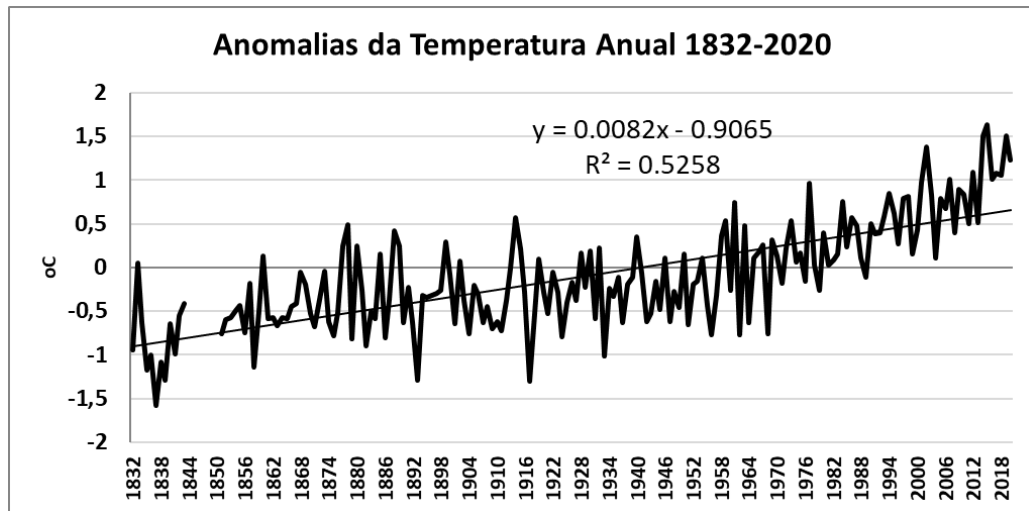


Fonte: Adaptado de Berkeley Earth (2021).

Conforme a Figura 3, para as anomalias da temperatura observa-se grande variabilidade interanual e tendência positiva para o período de dados disponibilizados pela base, que vai de 1832 até 2020 (188 anos). Porém, na variabilidade se destacam dois períodos que pareciam ter comportamentos diferenciados em relação à tendência, um de 1832 até 1968 (137 anos) e outro de 1969 até 2020 (51 anos) (Figura 4). A tendência de aumento do primeiro período é menor, de 0,6°C (linha de ajuste e equação associada). Já a partir de 1969, a linha de tendência é mais acentuada, cerca de 5 vezes, de acordo com os coeficientes angulares, com um aumento de 1,14°C para o período, com coeficiente de determinação de 0,53, moderado, e significância estatística. Isso indica que o aquecimento foi mais rápido no período mais recente, assim como observado em termos globais (IPCC, 2021). As maiores

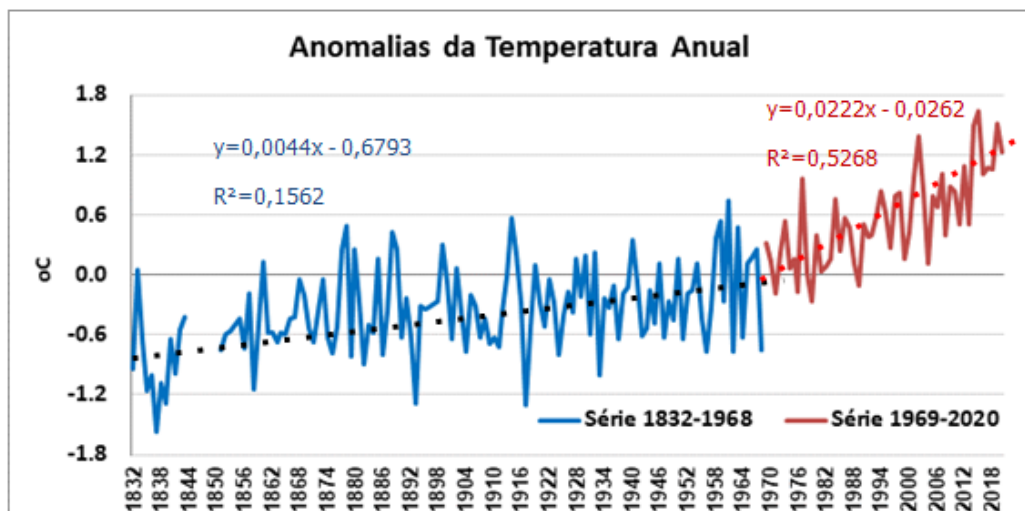
anomalias positivas se registraram na última década, especificamente nos anos de 2014 (1,5°C), 2015 (1,63°C) e 2019 (1,51°C).

Figura 3 - Anomalias mensais de temperatura para a localidade de Santa Isabel.



Fonte: Autoras, construído a partir dos dados do *Berkeley Earth* (2021).

Figura 4 - Anomalias mensais de temperatura para a localidade de Santa Isabel, destacando-se dois períodos.



Fonte: Autoras, construído a partir dos dados do *Berkeley Earth* (2021).

Outra informação encontrada na base *Berkeley Earth*, para esta localidade, é um *ranking* dos 10 anos com maiores médias anuais de temperatura e, também, dos 10 anos de menores médias anuais de temperatura (Tabela 2). Nota-se que os anos mais quentes estão todos registrados no período mais recente, de 2002 até 2020, enquanto os 10 anos mais frios são todos anteriores a 1933. Esse resultado confirma o observado nas tendências dos valores



médios da temperatura (Figura 2) e das anomalias (figuras 3 e 4) para a localidade de Santa Isabel, o que concorda com a amplificação da tendência de aumento da temperatura no período mais recente. Este padrão também é observado através de estudos globais (IPCC, 2022), indicando uma mudança de grande escala.

Tabela 2 - Ranking das médias anuais de temperaturas mais quentes e mais frias

Anos mais quentes	Anos mais frios
2015 ($21,71^{\circ}\text{C} \pm 0,24^{\circ}\text{C}$)	1917 ($18,78^{\circ}\text{C} \pm 0,22^{\circ}\text{C}$)
2019 ($21,59^{\circ}\text{C} \pm 0,20^{\circ}\text{C}$)	1893 ($18,79^{\circ}\text{C} \pm 0,36^{\circ}\text{C}$)
2014 ($21,58^{\circ}\text{C} \pm 0,23^{\circ}\text{C}$)	1835 ($18,91^{\circ}\text{C} \pm 0,58^{\circ}\text{C}$)
2002 ($21,46^{\circ}\text{C} \pm 0,19^{\circ}\text{C}$)	1838 ($18,99^{\circ}\text{C} \pm 0,78^{\circ}\text{C}$)
2020 ($21,30^{\circ}\text{C} \pm 0,19^{\circ}\text{C}$)	1933 ($19,07^{\circ}\text{C} \pm 0,26^{\circ}\text{C}$)
2012 ($21,17^{\circ}\text{C} \pm 0,16^{\circ}\text{C}$)	1836 ($19,08^{\circ}\text{C} \pm 0,72^{\circ}\text{C}$)
2017 ($21,16^{\circ}\text{C} \pm 0,30^{\circ}\text{C}$)	1841 ($19,09^{\circ}\text{C} \pm 0,70^{\circ}\text{C}$)
2018 ($21,13^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$)	1832 ($19,14^{\circ}\text{C} \pm 0,84^{\circ}\text{C}$)
2007 ($21,08^{\circ}\text{C} \pm 0,16^{\circ}\text{C}$)	1882 ($19,19^{\circ}\text{C} \pm 0,69^{\circ}\text{C}$)
2016 ($21,08^{\circ}\text{C} \pm 0,17^{\circ}\text{C}$)	1879 ($19,27^{\circ}\text{C} \pm 0,50^{\circ}\text{C}$)

Fonte: Adaptado de *Berkeley Earth* (2021)

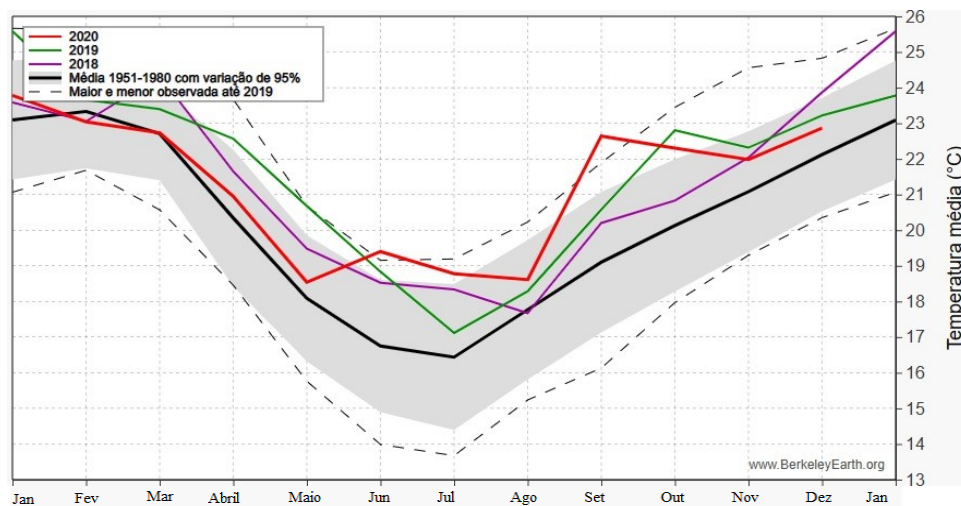
A Figura 5 apresenta a variação sazonal das temperaturas médias dos anos de 2018 a 2020 comparadas com a média histórica, no estado de São Paulo. A linha preta com sombreamento cinza representa os dados de temperatura média dos anos de 1851 a 1980, com intervalo de confiança de 95%, enquanto a linha roxa representa os dados de 2018, a verde, de 2019 e a vermelha, de 2020. A linha tracejada mostra as maiores e menores temperaturas registradas no período de 1832 a 2019. Nota-se que as temperaturas médias mensais observadas em 2020 no período de junho a setembro além de ultrapassarem as médias mensais verificadas nos anos anteriores (2019 e 2018), foram superiores aos maiores valores observados em junho e setembro, registrados no período de 1832 a 2019, ou seja, são novos recordes mensais. A temperatura média observada em junho de 2020 foi de $19,4^{\circ}\text{C}$,

sendo que a temperatura máxima histórica havia atingido 19,2°C, e em setembro a temperatura média foi 22,6°C, sendo superior à temperatura registrada até 2019.

No ano de 2020, a Região Metropolitana de São Paulo experimentou dois eventos de ondas de calor nos períodos de 10/09 até 14/09 e 30/09 até 02/10, com intensidades que atingiram os 38,4°C (Valverde, 2021), o que pode explicar o alto valor médio da temperatura registrado para o mês de setembro desse ano. Cabe explicar que o estudo de Valverde (2021) não foi conclusivo no que tange à associação da ocorrência das ondas de calor observadas com a influência do fenômeno da ilha de calor, que poderia interferir no comportamento da temperatura em nível local.

Nota-se, também, na Figura 5, que janeiro e fevereiro são os meses com maior temperatura média histórica (linha preta), de 23,1°C e 23,3°C, respectivamente, conforme verificado no gráfico interativo disponibilizado pela base. Em 2019 (linha verde), houve os maiores registros para esses meses, de 25,6°C em janeiro e de 23,7°C em fevereiro.

Figura 5 - Variação sazonal da temperatura para o estado de São Paulo



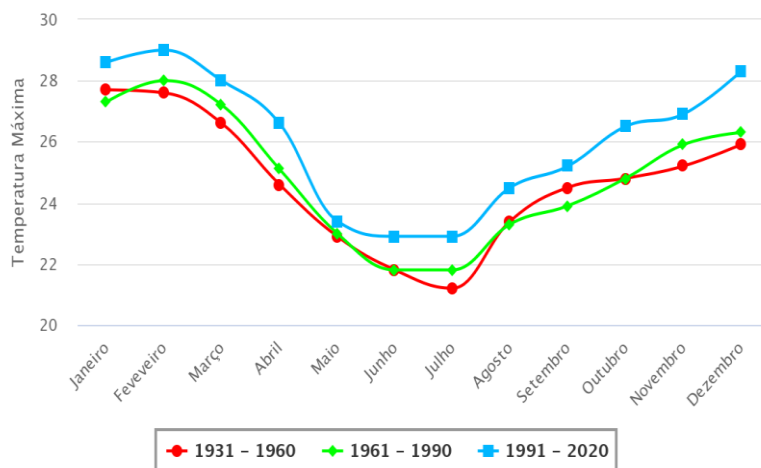
Fonte: Adaptado de Berkeley Earth (2023)

Na avaliação do aumento das temperaturas, também foram analisadas as climatologias das temperaturas máximas e mínimas, na cidade de São Paulo, com dados disponibilizados pelo INMET. Foram analisados períodos correspondentes às normais climatológicas de 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020. Na Figura 6, nota-se que as temperaturas máximas mensais observadas na climatologia mais recente (1991-2020) superam as temperaturas máximas registradas nas climatologias anteriores (1931-1960 e



1961-1990). Somente no mês de maio a temperatura ficou muito próxima dos valores das outras climatologias. Nos outros meses, o aumento das temperaturas é evidente, oscilando entre 0,8°C (março) e 2°C (dezembro) quando comparado com a climatologia de 1961-1990. Isso indica uma mudança da normal climatológica, com o aumento da temperatura máxima, corroborando com os dados das tendências apresentados anteriormente. Além disso, há uma boa correspondência com os dados da base *Berkeley Earth* (Figura 5) com relação aos meses com temperaturas mais altas, de janeiro, fevereiro e dezembro. Também se observa que a faixa de aumento é maior entre as duas últimas normais climatológicas do que entre as duas primeiras, concordando com o aquecimento mais rápido detectado pelas outras análises.

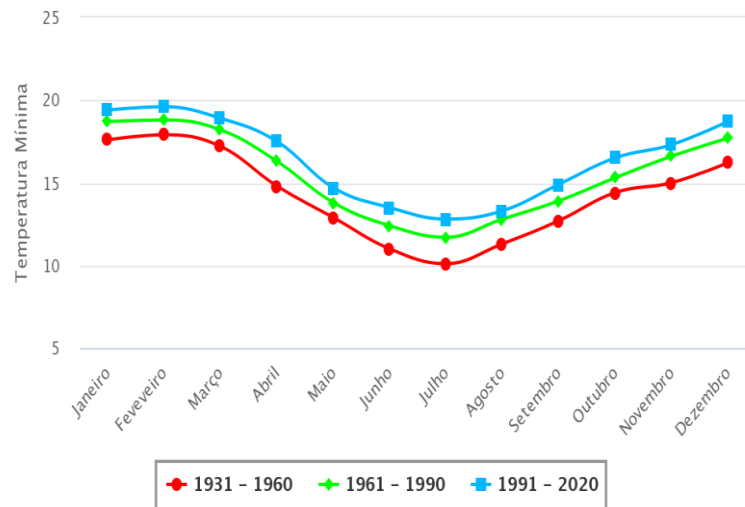
Figura 6 – Normais climatológicas de temperaturas máximas para a Estação Mirante de Santana



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (2021)

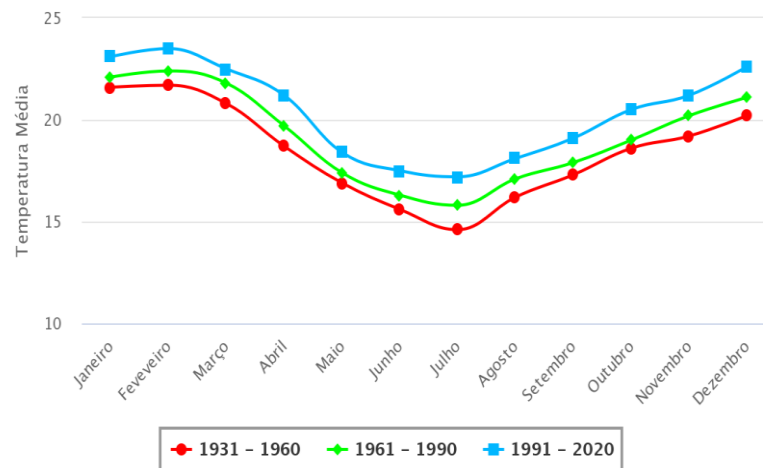
Os gráficos das figuras 7 e 8, que mostram as normais climatológicas de temperatura mínima e média, respectivamente, na mesma estação de monitoramento e para três períodos médios, indicam uma mudança da normal climatológica, com aumento da temperatura para todos os meses do ano, do período de 1931-1960 até o período mais recente de 1991-2020. Com relação à temperatura média (Figura 8), pode-se observar o maior aumento para os meses de abril (2,5°C), julho (2,6°C) e dezembro (2,4°C) do período de 1931-1960 para 1991-2020.

Figura 7 – Normais Climatológicas de temperaturas mínimas para a Estação Mirante de Santana



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (2021)

Figura 8 – Normais climatológicas de temperaturas médias para a Estação Mirante de Santana



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (2021)

É importante considerar que os processos de urbanização e a ilha de calor são fatores que podem influenciar o comportamento da temperatura em nível local. No entanto, para possibilitar tal avaliação, seria necessário utilizar escala horária ou diária de dados de temperatura, como realizado por Cavalcante et al (2020) e Silva (2016), por exemplo, diferentemente da escala de análise escolhida para este trabalho de pesquisa, que analisou médias mensais de temperatura ao longo de ao menos oito décadas, como no caso das normais climatológicas do INMET.



3.2. Impactos do Aumento da Temperatura para o Estado de São Paulo

Apesar dos dados de temperatura analisados neste estudo para as duas localidades do estado de São Paulo mostrarem clara tendência de aumento nas últimas décadas e as projeções climáticas indicarem o aumento das temperaturas (IPCC, 2021), notou-se uma escassez de publicações sobre os efeitos desse aumento no estado de São Paulo, na revisão sistemática realizada nas bases de dados *Scopus* e *Scielo* Brasil. Os 112 artigos resultantes das buscas nas bases tiveram o título avaliado, sendo 19 selecionados para leitura do resumo e, na sequência, 14 escolhidos para leitura na íntegra, que foram os que apresentaram impactos diretos e indiretos do aumento da temperatura em localidades do estado de São Paulo (Tabela 1).

Tabela 1 – Seleção dos artigos

Bases	Resultados da busca	Após leitura dos títulos	Após leitura dos resumos
<i>Scopus</i>	31	11	8
<i>Scielo</i> Brasil	81	8	6
TOTAL	112	19	14

Fonte: Elaborada pelas autoras (2022).

Dos 14 artigos selecionados para essa análise, onze deles (Alonso, Achcar & Hotta, 2010; Santos & Sentelhas, 2012; Bardin-Camparotto et al., 2014; Alves, Duarte & Gonçalves, 2016; Son et al., 2016; Geirinhas et al., 2017; Geirinhas et al., 2018; Lamarca et al., 2018; Muhlig, Klemm & Goçaves, 2020; Geirinhas et al., 2021 Moraes, Almendra & Barrozo, 2022) discutem os impactos e consequências do aumento da temperatura para o período atual ou recente, sendo que Santos e Sentelhas (2012) e Alves, Duarte e Gonçalves (2016) também analisam projeções futuras. No caso de Alves, Duarte e Gonçalves (2016), é considerado, para as projeções, o cenário mais pessimista previsto pelo IPCC, no seu quinto relatório, de aumento de 2,6 a 4,8°C, assim como fizeram Godoy et al. (2021). Assad et al. (2004) fizeram as projeções para 1°C, 3°C e 5,8 °C, de acordo com o relatório do IPCC de 2001. Lopes et al. (2011) e Santos & Sentelhas (2012) também analisam projeções nos seus estudos, mas não consideram os cenários previstos pelo IPCC.

Cinco estudos relatam impactos observados na área da saúde, que vão desde o aumento do desconforto térmico (Alves, Duarte & Gonçalves, 2016) até o aumento da mortalidade (Son et al., 2016; Moraes, Almendra & Barrozo, 2022), passando pelo aumento de internações de crianças menores de 10 anos (Alonso, Achcar & Hotta, 2010). Outros cinco estudos discutem os impactos negativos para a área de agricultura e pecuária, para diversos tipos de cultivo, como café (Assad et al., 2004), batata (Lopes et al., 2011), cana de açúcar (Santos & Sentelhas, 2012) e uvas (Bardin-Camparotto et al., 2014) e, para a pecuária, mortes de galinhas (Lamarca et al., 2018). Diferentemente do esperado, as buscas nas bases de pesquisa não resultaram em nenhum artigo que discutisse impactos na área de infraestrutura, como aumento do consumo de energia ou impactos para a infraestrutura de transporte ou saneamento, consequências já apontadas pelo IPCC (2022).

Em seis estudos, os autores observaram ou projetaram alterações nos elementos ou processos climáticos. Geirinhas et al. (2017) e Geirinhas et al. (2018) relataram aumento na frequência e duração de ondas de calor, além de eventos recordes simultâneos de ondas de calor e seca (Geirinhas et al., 2021). Lopes et al. (2011), que projetaram comprometimento para o cultivo da batata, também alertam para o maior risco de erosão, e, nas projeções de Godoy et al. (2021), o alerta é para o aumento das precipitações e eventos de seca. Já Mühlrig, Klemm & Gonçalves (2020) observaram o aumento da ocorrência de neblina pelo aumento da temperatura.

O Quadro 1 compila as informações dos 14 artigos avaliados com relação aos impactos causados pelo aumento das temperaturas no estado de São Paulo.

Quadro 1 - Resumo das informações dos artigos avaliados sobre os impactos causados pelo aumento da temperatura no estado de São Paulo.

Referência	Evento	Período	Local	Impactos		
				Saúde	Agricultura e pecuária	Elementos ou processos afetados
Assad et al., 2004	Aumento da temperatura	Projeção para 100 anos, considerando os cenários do IPCC de aumento de 1°C, 3°C, e 5,8°C	Estado de São Paulo		Impactos previstos: redução da produção de café; restrição do cultivo podendo atingir mais de 95% da área do estado	
Alonso, Achcar & Hotta, 2010	Aumento de temperatura	01/01/2002 até 31/12/2005	Município de São Paulo	Aumento no número de internações por doenças crônicas para menores de 10 anos		
Lopes et al., 2011	Aumento de temperatura	Projeção até o final deste século para aumento de temperatura de até 5°C	Município de Vargem Grande do Sul		Comprometimento no cultivo de batata; temperaturas atuais próximas ao limite da faixa ótima (10°C a 25°C)	Risco de ocorrência de erosão
Santos & Sentelhas, 2012	Aumento da temperatura	Cenário atual e projeções para 2030, 2060 e 2090, com aumento de temperatura de 1,4°C a 6,4°C	Municípios de Araçatuba, Assis, Jaboticabal e Piracicaba		Redução do rendimento das safras de cana de açúcar, pelo maior déficit de água causado pela maior evapotranspiração	
Bardin-Camparotto et al., 2014	Aumento da temperatura	1945 a 2011	Municípios de Campinas, Monte Alegre do Sul e Jundiá		Possível efeito negativo no cultivo da uva e prejuízo na produção de vinho	
Alves, Duarte & Gonçalves, 2016	Ondas de calor	Jan e fev de 2014 e simulações para o pior cenário projetado pelo IPCC	Município de São Paulo - residências em 3 bairros distintos	Aumento do desconforto térmico nas horas mais quentes		
Son et al., 2016	Alta temperatura e ondas de calor	1996 a 2010	Estado de São Paulo	A mortalidade durante ondas de calor é maior		
Geirinhas et al., 2017	Ondas de calor	1961 a 2014	Município de São Paulo			Maior frequência de ocorrência de ondas de calor
Geirinhas et al., 2018	Ondas de calor	1961 a 2014	Município de São Paulo			Maior frequência e duração das ondas de calor
Lamarca et al., 2018	Ondas de calor	2012	Município de Bastos		Mortes de galinhas	
Mühlig, Klemm & Gonçalves, 2020		1998 a 2018	Município de São Paulo - em torno do MASP			Diminuição da neblina por conta do aumento da temperatura
Godoy et al., 2021	Temperatura do ar e eventos extremos	Projeções para o final do século, considerando o pior cenário previsto pelo IPCC	Interior do estado de São Paulo			Aumento de temperatura para toda a região no verão e no inverno
Moraes, Almendra & Barrozo, 2022	Temperatura extrema	2006 a 2015	Município de São Paulo	Mortes por doenças cardiovasculares, respiratórias e cerebrovasculares		
Geirinhas et al., 2021	Seca e ondas de calor	1980 a 2018	Estado de São Paulo			Recorde de eventos simultâneos de seca e ondas de calor no verão de 2013/2014

Fonte: Elaborado pelas autoras (2022).

Os resultados das buscas foram limitados para estudos específicos para o estado de São Paulo, mesmo na base *Scielo* Brasil, que traz publicações em português. Isso pode indicar que, apesar de se constatar a tendência de aumento da temperatura e das ondas de calor na região, a quantidade de publicações com foco nos impactos decorrentes ainda é pequena, considerando as bases escolhidas para esta pesquisa. No entanto, é possível que outros estudos sejam encontrados, variando-se as composições para a busca com novas palavras-chave e utilizando-se outras bases de pesquisa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação ao aumento da temperatura para duas localidades do estado de São Paulo, pode-se verificar pelos dados observados que é claro o aumento dessa variável, tanto em termos de anomalias anuais ao longo das décadas, quanto em relação a amplitude do padrão sazonal em diferentes períodos climatológicos. Os dados das bases Berkeley Earth e INMET são condizentes e, assim, fortalecem a constatação do aumento de temperatura desde 1832. Cabe ressaltar que os dados das bases não foram comparados, por serem de naturezas diferentes, mas trouxeram informações complementares e corroborativas.

Foi possível observar, a partir da análise da série da Berkeley Earth, que no período mais recente, de 1969 a 2020, a tendência linear de aumento da temperatura se torna mais acentuada, cinco vezes maior que o período anterior. Com relação aos dados do INMET, foi possível verificar uma mudança da normal climatológica, com o aumento da temperatura máxima de aproximadamente 2°C no mês de dezembro, na climatologia mais recente (1991-2020), o que explica também o porquê deste período mais recente (2002-2020) ter registrado anos mais quentes, como encontrado na base de dados da Berkeley Earth.

Na revisão sistemática realizada neste trabalho, foram poucos os estudos identificados e avaliados sobre os impactos e consequências climáticas decorrentes do aumento da temperatura para o estado de São Paulo, somente 14, apesar da constatação da tendência de aumento da temperatura e das ondas de calor na região. No entanto, notou-se que nos anos mais recentes há um número maior de artigos publicados nas bases consultadas, o que pode indicar um crescimento na investigação dos possíveis impactos das mudanças na temperatura sobre essa região e uma projeção positiva para ampliar o conhecimento neste tema. Como



sugestão para futuros estudos, pode-se ampliar as buscas, variando as composições de palavras-chave e utilizando outras bases de pesquisa.

Há indícios de que o aumento de temperatura e uma maior frequência das ondas de calor já afetam o estado em diferentes setores e isso tende a piorar, como mostram as projeções de aumento de temperatura e de maior frequência e duração de ondas de calor. Deve-se levar em consideração, também, as vulnerabilidades já existentes no estado de São Paulo e os demais efeitos das mudanças climáticas, como a maior intensidade e frequências de chuvas, que tornarão o território ainda mais vulnerável.

Os impactos à saúde e à agricultura, com a perda da capacidade produtiva, além de representarem um prejuízo por si só, também afetam a economia e, por isso, além da importância das ações de mitigação, ou seja, de redução das emissões de gases de efeito estufa, também são fundamentais as medidas de adaptação para que as cidades e as populações se tornem mais resilientes e menos vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas. O fortalecimento dos órgãos governamentais responsáveis pelo monitoramento das variáveis climáticas também é de suma importância para que se possa conhecer as variações e fazer as previsões de forma mais confiável.

REFERÊNCIAS

ALONSO, J. B.; ACHCAR, J. A.; HOTTA, L. K. Climate changes and their effects in the public health: use of poisson regression models. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 2, p. 427-442, maio/ago. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-74382010000200010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pope/a/4SK89Vw4c5zqBKspRsfP4WC/>. Acesso em: 24 jun. 2023.

ALVARES C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; de MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 24 jun. 2023.

ALVARES, C. A.; SENTELHAS, P. C.; DIAS, H. B. Southeastern Brazil inland tropicalization: Köppen system applied for detecting climate change throughout 100 years of meteorological observed data. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 149, n. 3-4, p. 1431-1450, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04122-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-022-04122-4>. Acesso em: 24 jun. 2023.

ALVES, C.A.; DUARTE, D. H. S.; GONÇALVES, F L. T. Residential buildings thermal performance and comfort for the elderly under climate changes context in the city of São Paulo, Brazil. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 62-71, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.044>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778815300736>. Acesso em: 24 jun. 2023.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULIO Jr., J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/T9BXP8Dz7fMkxPNYQDfnn5s/?lang=pt>. Acesso em: 24 jun. 2023.

BARDIN-CAMPAROTTO, L; BLAIN, G. C.; PEDRO JR., M. J.; HERNANDES, J. L.; CIA, P. Climate trends in a non-traditional high quality wine producing region. **Agrometeorology Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 327-334, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0127>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/pxBLvPXcwzksXJBxwHJ7WFK/?lang=en>. Acesso em: 24 jun. 2023.

BITENCOURT, D. P.; ALVES, L. M.; SHIBUYA, E. K.; CUNHA, I. A.; SOUZA, J. P. E. Climate change impacts on heat stress in Brazil – Past, presente and future implications for occupational heat exposure. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. E2741-E2756, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6877>. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.6877>. Acesso em: 24 jun. 2023.

BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; MAIA, P. A.; AMORIM, F. T. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 506-517, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778631231420150077>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/HLwsVZHF3RfRLg5kRwz6fPC/?lang=pt>. Acesso em: 24 jun. 2023.

BLAIN, G. C. Considerações estatísticas relativas a seis séries mensais de temperatura do ar da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 279-296, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000200012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/bFZHHT4g3fHw7SxJ7yCDNMK/?lang=pt>. Acesso em: 24 jun. 2023.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Artmed Editora S. A., 2003.

CAVALCANTE L. B.; GOMES, H. B.; CAVALCANTE, A. S. I.; COSTA, B. C. A.; COSTA, M. C. A.; SILVA, C. M.; COSTA, R. L.; JUNIOR, R. L. R.; SANTOS, F. S.; SILVA, F. D. S.; JUNIOR, T. L. S. Análise de ilhas de calor e frescor utilizando-se de processamento digital de imagens – Estudo de caso Município de São Paulo/SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, p. 835-846, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786355000010>. Disponível em:



<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/YHHdDTHsdszFp6zHNLpvgjB/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 jun. 2023.

FIORAVANTI, C. 2019 foi o ano mais quente registrado no Brasil. Temperaturas máxima e mínima anuais sobem de modo contínuo desde 1961. **Revista Pesquisa FAPESP – Climatologia**, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2019-foi-o-ano-mais-quente-ja-registrado-no-brasil/>. Acesso em: 20 dez. 2021.

GEIRINHAS, J. L., RUSSO, A., LIBONATI, R.; SOUZA, P. M.; MIRALLES, D. G.; TRIGO, R. M. Recent increasing frequency of compound summer drought and heatwaves in Southeast Brazil. **Environmental Research**, v. 16, n. 3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe0eb>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abe0eb>. Acesso em: 24 jun. 2023.

GEIRINHAS, J. L.; TRIGO, R. M.; LIBONATI, R. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 4, p. 1760-1776, 2017. DOI: 10.1002/joc.5294. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.5294>. Acesso em: 24 jun. 2023.

GEIRINHAS, J. L.; TRIGO, R. M.; LIBONATI, R.; PERES, L. F. Climatic Characterization of Heat Waves in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 41, n. 3, p. 333-350, 2018. DOI: 10.11137/2018_3_333_350. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/29731>. Acesso em: 24 jun. 2023.

GODOY, R. M. P.; GOZZO, L. F.; LLOPART, M.; PERON, B. L.; REBOITA, M. S.; REPINALDO, H. F. B.; MARRAFON, V. H. A. Projeções Climáticas de Temperatura do Ar e Precipitação para o estado de São Paulo utilizando o modelo regional RegCM4. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 44, 2021. DOI: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_39850. Disponível em: https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/39850/pdf_1. Acesso em: 24 jun. 2023.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Core Writing Team, R.K. Pachauri, L.A. Meyer (eds.), Geneva, Switzerland, 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.

IPCC. **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**, Masson-Delmotte, 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, B. Zhou (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf. Acesso em: 10 out. 2021

IPCC. **Summary for Policymakers**. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.). Cambridge University Press. In Press. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryVolume.pdf. Acesso em: 14 jan. 2022.

LAMARCA, D.S.F.; PEREIRA, D. F.; MAGALHÃES, M. M.; SALGADO, D. D. Climate change in layer poultry farming: Impact of heat waves in region of Bastos, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 20, n. 4, p. 657-664, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0750>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbca/a/PgJD5M6YKQFyJXqdWLFz3bc/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 24 jun. 2023.

LIMA, A. Y. B., SOUZA, A. R., STATONATO, G. C., CAMACHO, G. T. G., CARDOSO, A. O., VALVERDE, M. C. Padrão e extremos de precipitação na cidade de São Paulo. **E&S Engineering and Science**, v. 12, n. 1, 38–52, 2023. DOI: 10.18607/ES20231215137. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/15137>. Acesso em: 24 jun. 2023.

LOPES, C. A.; SILVA, G. O.; CRUZ, E. M.; ASSAD, E. D.; PEREIRA, A. S. Uma análise do efeito do aquecimento global na produção de batata no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 7-15, jan./mar. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000100002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/fBqCmjxdwfdmTpdMHmqVkmb/?lang=pt>. Acesso em 24 jun. 2023.

MORAES, S.L.; ALMENDRA, R.; BARROSO, L. V. Impact of heat waves and cold spells on cause-specific mortality in the city of São Paulo, Brazil. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 239, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113861>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463921001760?via%3Dihub>. Acesso em: 24 jun. 2023.

MUHIG, A.C.; KLEMM O.; GONÇALVES, F. L.T. Fog, Temperature and Air Quality Over the Metropolitan Area of São Paulo: a Trend Analysis from 1998 to 2018. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 231, n. 535, p. 1-12, 2020. DOI: 10.1007/s11270-020-04902-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-020-04902-6>. Acesso em: 24 jun. 2023.

OLIVEIRA, D. S.; COSTA, P. D. P.; BEZERRA, L. M.; ÁVILA, A. M. H.; FARIA, E. C. Hotter, Longer and More Frequent Heatwaves: An Observational Study for the Brazilian City of Campinas, SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 2, p. 305-316, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863620119>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/xFMpHYzrjzFJwFMDkfjD5tG/>. Acesso em: 24 de jun. 2023.

PENEREIRO, J. C.; BADINGER, A.; MACCHERI, N. A.; MESCHIATTI, M. C. Distribuições de Tendências Sazonais de Temperatura Média e Precipitação nos Biomas Brasileiros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 97–113, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102->



7786331012. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/z5rmbcyJhRnSHSvJcBmRSXM/>. Acesso em: 24 jun. 2023.

PENEREIRO, J. C.; MESCHIATTI, M. C. Tendências em séries anuais de precipitação e temperaturas no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 319-331, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018168763>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/mt8Rh3qpZcZVBjnWyVnct9L/>. Acesso em: 24 jun. 2023.

ROHDE, R. A.; MULLER, R. A.; JABOSEN, R. MULLER, E.; PERLMUTTER, S.; ROSENFELD, A.; WURTELE, J.; GROOM, D.; WICKHAM, C. A New Estimate of the Average Earth Surface Land Temperature Spanning 1753 to 2011. **Geoinfor Geostat: An Overview**, v. 1, n. 1, 2013. DOI: 10.4172/2327-4581.1000101. Disponível em: <https://static.berkeleyearth.org/papers/Results-Paper-Berkeley-Earth.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2023.

ROHDE, R. A.; HAUSFATHER, Z. The Berkeley Earth Land/Ocean Temperature Record. **Earth System Science Data**, v. 12, n. 4, p. 3469–3479, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020>. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/12/3469/2020/essd-12-3469-2020.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SANTOS, D. J.; PEDRA, G. U.; SILVA, M. G. B.; GUIMARÃES JR., C. A.; ALVES, L. M.; SAMPAIO, G.; MARENGO, J. A. Mudanças futuras de precipitação e temperatura no Brasil a partir dos níveis de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C. **Sustainability in Debate**, v. 11, n. 3, p. 74-90, 2020. DOI: 10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33933. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/33933>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SANTOS, D. L.; SENTELHAS, P. C. Climate change scenarios and their impact on the water balance of sugarcane production areas in the State of São Paulo, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, p. 7-17, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/BFRpvwdFYkQ8QQkPQxC4JfG/?format=pdf>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SARRA, S. R.; & MÜLFARTH, R. C. K. Mudanças climáticas no município de São Paulo (Brasil): Desafios para a política urbana. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 100428-100447, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n10-381. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/38373>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SILVA JUNIOR, M. A. B.; FONSECA NETO, G. C.; CABRAL, J. J. S. P. Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE. **Revista de Geografia**, v. 37, n. 1, p. 222-240, 2020. DOI: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.239373>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/239373>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SILVA, F. B. **Análise dos efeitos combinados da ilha de calor e da poluição do ar urbanas**. 2016. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2016.

SON, J.Y., GOUVEIA, N.; BRAVO, M. A.; FREITAS, C. U.; BELL, M. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, p. 113–121, 2016. DOI: 10.1007/s00484-015-1009-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-015-1009-7#citeas>. Acesso em: 24 jun. 2023.

VALENTE, F.; LAURINI, M. Urban climate change: A statistical analysis for São Paulo. **Urban Climate**, v. 41, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101077>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095521003072?via%3Dihub>. Acesso em: 24 jun. 2023.

VALVERDE, M.C. Efeito das ondas de calor na intensidade das ilhas de calor: estudo de caso para a Região Metropolitana de São Paulo, setembro de 2020. *In*: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 2021, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa, 2021.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric sciences**. 2nd Ed. London: Academic Press, 2006.

WMO. **State of the Global Climate 2021**. World Meteorological Organization nº 1290. Geneva, Switzerland. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11178. Acesso em 23 jan. 2022.