



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA



Thiago Santos da Silva

## **Estudo sobre o agravamento de ondas de calor e eventos extremos: Um estudo de caso para campinas**

Campinas  
26/06/2024

Thiago Santos da Silva

**Estudo sobre o agravamento de ondas de calor e eventos extremos: Um estudo de caso para campinas**

Monografia apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção de créditos na disciplina Projeto de Extensão Supervisionado, sob a orientação do(a) Prof. Ana Maria Heuminski de Avila.

## Resumo

Este estudo desenvolveu programas computacionais para a identificação e análise das ondas de calor, utilizando a cidade de Campinas como principal foco de estudo. Os resultados indicam um aumento consistente no número de ondas de calor na região, com 2023 registrando o maior número de ocorrências históricas. A estação que mais contribuiu para este aumento recente foi o inverno. Observou-se também uma grande variabilidade na extensão das ondas de calor, com os maiores valores registrados na última década.

## **Abstract**

This study developed computer programs for the identification and analysis of heat waves, using the city of Campinas as the main focus of study. The results indicate a consistent increase in the number of heat waves in the region, with 2023 recording the highest number of historical occurrences. The season that contributed most to this recent increase was winter. There was also great variability in the extent of heat waves, with the highest values recorded in the last decade.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>7</b>
2.1	Calculo das ondas de calor . . . . .	7
2.2	Calculo da extensão das ondas de calor . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Resultados</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Conclusão</b>	<b>12</b>

# 1 Introdução

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios contemporâneos a serem enfrentados pela humanidade, tanto pela sua escala global quanto pelos complexos desafios tecnológicos e políticos que envolvem. Esse fenômeno está intrinsecamente ligado às atividades antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis e a mudança no uso da terra, que têm aumentado significativamente as concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Assim, a temperatura média global vem apresentando uma tendência de aumento contínuo como é apresentado no último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2024).

A cada ano, novos recordes globais de temperatura são observados. Em 2023, foi registrado o ano mais quente da série histórica global, conforme relatado pela Organização Meteorológica Mundial, (OMM) [WMO], sendo a sigla em inglês para World Meteorological Organization. Além disso, níveis recordes de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e metano ( $CH_4$ ) foram medidos na atmosfera, evidenciando a persistência e a gravidade do aquecimento global.

O aumento da temperatura média global e as alterações na química atmosférica têm agravado a ocorrência de fenômenos climáticos extremos, como ondas de calor, furacões, secas, enchentes e incêndios florestais. Estes eventos têm sido responsáveis por um número significativo de mortes diretas e danos econômicos substanciais, como o aumento da mortalidade na Europa em 2022 analisados por Ballester [2023]. Em 2023, a América do Sul experimentou um recorde de ondas de calor, o que contribuiu para as queimadas históricas no Chile e levou à decretação de estado de emergência em diversas regiões do país. No Brasil, o período de maior atividade de ondas de calor, se estendeu de agosto até dezembro [WMO], mesmo período que atingiu as maiores temperaturas do ano.

Esses eventos extremos, quando associados a fatores como ilhas de calor, secas prolongadas ou chuvas extremas, resultam em um aumento significativo na mortalidade e na insegurança das populações afetadas. Para enfrentar esses desafios, foi criado, em 2024, um comitê específico em Campinas para lidar com as mudanças climáticas, o qual implementou programas e iniciativas voltadas para a mitigação dos efeitos na cidade como relatado no portal g1.

Este trabalho tem como objetivo relatar a ocorrência de ondas de calor na cidade de Campinas, com base em dados obtidos de uma estação climática situada no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Além disso, busca-se fornecer informações que possam auxiliar os tomadores de decisão na implementação de políticas eficazes para mitigar os impactos das mudanças climáticas na região e disponibilizar implementações computacionais para facilitar o acompanhamento.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Cálculo das ondas de calor

Existem diversas maneiras de mensurar uma onda de calor, mas segundo a definição da OMM, uma onda de calor consiste em um período de três dias consecutivos em que a temperatura máxima diária ultrapassa um percentil escolhido para o período de referência 1960-1990.

Para estabelecer o período de referência, utilizamos a construção de histogramas. Esses histogramas foram gerados com base em um intervalo de 101 valores, limitados pelas temperaturas mínimas e máximas calculadas conforme descrito a seguir.

Considerando  $out(i, j)$  como uma componente do período de referência do dia  $i$  na localização  $j$ . Sendo que o arquivo final terá a temperatura mínima no dia  $i$  considerando todos os anos do período de referência,  $inp(t, x)$  que depende da data  $t$  e posição  $x$ . Assim temos :

$$out(1, x) = \min\{inp(t, x); \text{Dia}(t) = 1\} \quad (1)$$

$$out(2, x) = \min\{inp(t, x); \text{Dia}(t) = 2\} \quad (2)$$

$$\dots \quad (3)$$

$$out(366, x) = \min\{inp(t, x); \text{Dia}(t) = 366\} \quad (4)$$

o análogo vale quando é calculado o máximo, substituindo os valores de mínimo por máximo.

$$out(1, x) = \max\{inp(t, x); \text{Dia}(t) = 1\} \quad (5)$$

$$out(2, x) = \max\{inp(t, x); \text{Dia}(t) = 2\} \quad (6)$$

$$\dots \quad (7)$$

$$out(366, x) = \max\{inp(t, x); \text{Dia}(t) = 366\} \quad (8)$$

Foram construídos os histogramas e com eles foi calculado o percentil 95 referente a cada dia. O valor retornado pelo percentil significa que acima dele estão apenas 5% dos dados, podendo ser tomado outros valores como 90 ou 99 para avaliar a intensidade da onda de calor.

$$out(1, x) = \text{pencetil}\{inp(t, x); \text{Dia}(t) = 1\} \quad (9)$$

$$out(2, x) = \text{percentil}\{inp(t, x); \text{Dia}(t) = 2\} \quad (10)$$

$$\dots \quad (11)$$

$$out(366, x) = \text{percentil}\{inp(t, x); \text{Dia}(t) = 366\} \quad (12)$$

os cálculos acima foram feitos com sub-rotinas do CDO pela sua praticidade e em seguida implementados na linguagem *Python*. Para o período analisado, quando três dias consecutivos em um mesmo ano apresentaram valores de temperatura máxima acima do percentil especificado, o primeiro desses dias foi caracterizado como o início de uma onda de calor.

## 2.2 Cálculo da extensão das ondas de calor

Como resultado do código acima, foi obtida Com a série histórica com o início de cada onda de calor. Assim, esse arquivo foi segmentado nas 4 estações do ano. Sendo Dez-Fev o verão, Mar-Mai o outono, Jun-Ago o inverno e Set-Nov a primavera. Ao calcular as informações de um mês anterior ao ano que trabalhamos, perdemos o ano inicial de nossa análise.



### 3 Resultados

O ano de 2023 registrou a maior quantidade de ondas de calor da série histórica, 24. Ultrapassando 2014 que atingiu 22 como é visto no gráfico 1. A taxa de crescimento das ondas de calor foi observada com um aumento de 4 dias a cada 10 anos.

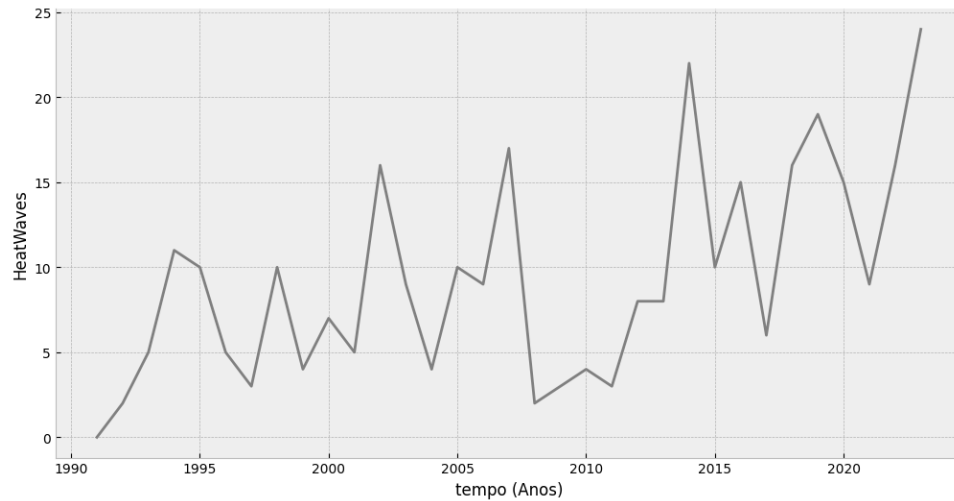


Figura 1: Quantidade de ondas de calor por ano

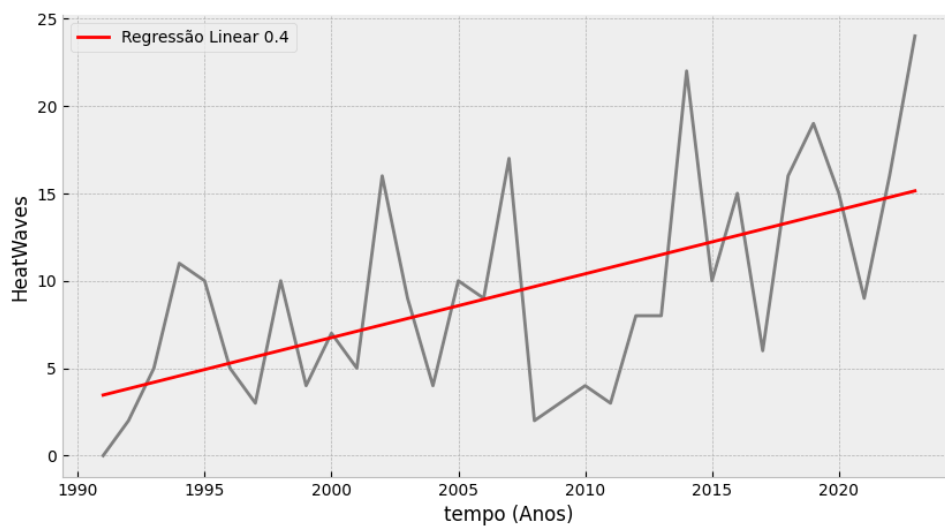


Figura 2: Quantidade de ondas de calor por ano, com uma regressão linear sobre os dados

Foi separado o gráfico acima por estação do ano. De dezembro do ano anterior até novembro do analisado. De modo que foi observado um aumento significativo nas ondas de calor ocorridas na primavera e inverno. Enquanto o verão e outono apresentam os maiores picos pontualmente nos anos.

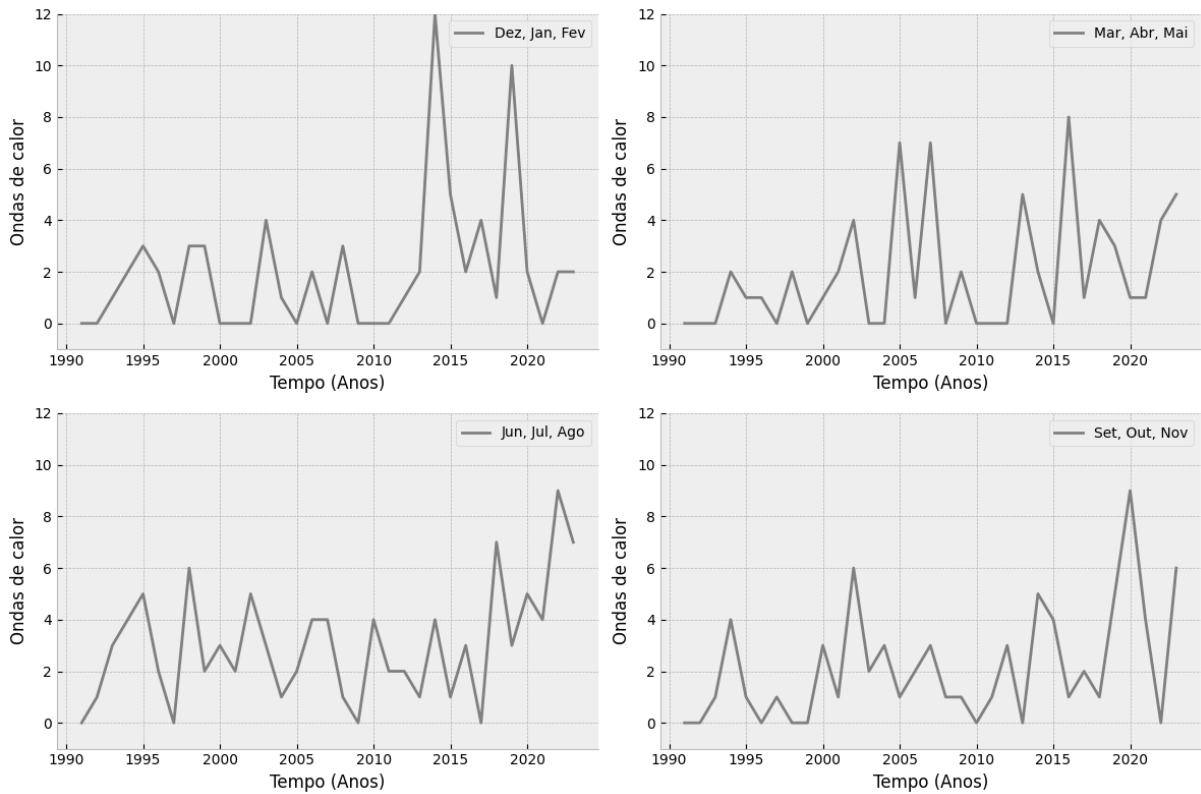


Figura 3: Ondas de calor separadas por estação do ano

O recorde na quantidade de ondas de calor em 2023 não se repetiu quando foi analisado o mesmo período em extensão. Registrando 11 dias consecutivos em uma onda de calor, enquanto o maior registro aconteceu em 2016 com 26 dias em uma mesma onda de calor.

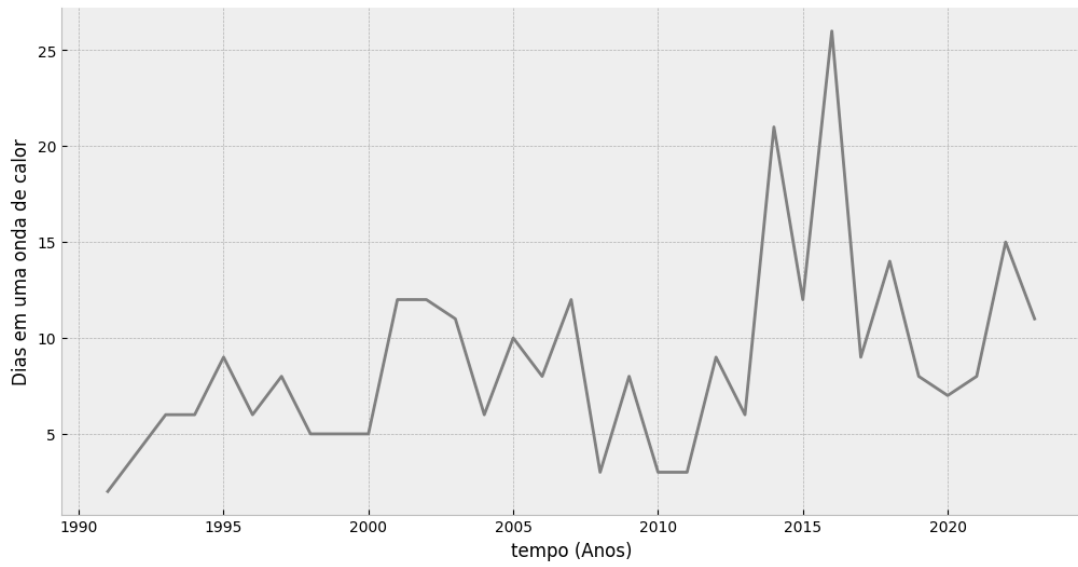


Figura 4: Dias máximos em uma mesma onda de calor por ano

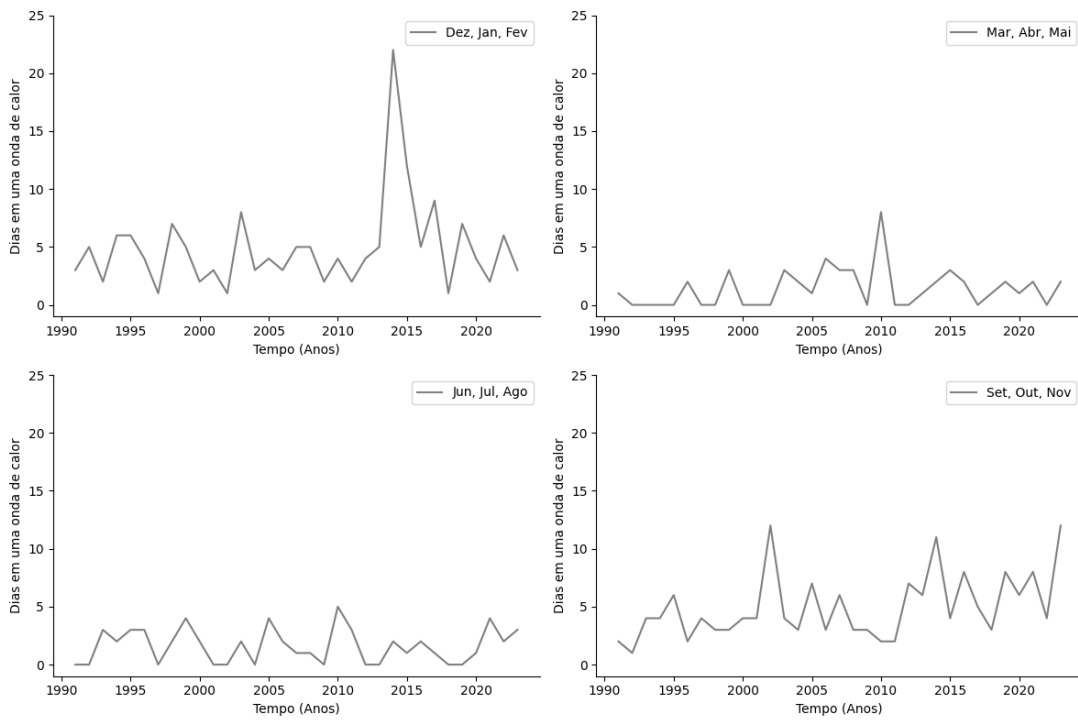


Figura 5: Dias máximos em uma mesma onda de calor por estação

## 4 Conclusão

Conclui-se que o destacado aumento na quantidade e extensão das ondas de calor em Campinas, que culminou no recorde histórico de 2023, levanta sérias preocupações sobre suas consequências sociais e econômicas com sérios riscos a saúde. Os níveis de temperatura observados, sem precedentes na série histórica, impactam diretamente a vida cotidiana da população. Em particular, destaca-se o inverno (junho a agosto) como a estação com maior aumento de temperatura nos últimos anos, coincidindo com um período de seca, o que amplifica os efeitos negativos das ondas de calor. A análise dos últimos 10 anos indica que a extensão dessas ondas está maior do que na década de 1990, com anos como 2016, 2015 e 2022 registrando os maiores valores. Este contexto sugere a necessidade de futuras investigações para avaliar a intensidade, severidade quando associados extremos de chuva e os impactos específicos das ondas de calor, reforçando a urgência de estratégias de adaptação e mitigação frente a um cenário climático cada vez mais adverso, como os iniciados pela prefeitura.

## Referências

Quijal-Zamorano M. Méndez Turrubiates.; Ballester, J. Heat-related mortality in europe during the summer of 2022. *Nature Medicine*, 29(29):286–295, 1 2023.

g1. Campinas cria comitê para enfrentar mudanças climáticas e portal que mostra maiores emissores de co2. *G1*. URL <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2024/02/15/campinas-cria-comite-p>

World Meteorological Organization (WMO). State of the global climate 2023, 2024a.

World Meteorological Organization (WMO). State of the climate in latin america and the caribbean 2023, 2024b.