RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

# A DIVISÃO ARDENTE: ILHAS DE CALOR URBANO E DESIGUALDADE SOCIAL EM METRÓPOLES BRASILEIRAS – UM ESTUDO DAS DUAS MAIORES METRÓPOLES URBANAS DO BRASIL

# THE BURNING DIVIDE: URBAN HEAT ISLANDS AND SOCIAL INEQUALITY IN BRAZILIAN METROPOLISES – A STUDY OF THE TWO LARGEST URBAN METROPOLISES IN BRAZIL

# LA BRECHA ARDIENTE: ISLAS DE CALOR URBANAS Y DESIGUALDAD SOCIAL EN LAS METRÓPOLIS BRASILEÑAS: UN ESTUDIO DE LAS DOS MAYORES METRÓPOLIS URBANAS DE BRASIL

**Georgina Jansen Mendes**
Mestre em Ciências e Matematica Universidade Anhanguera
E-mail: jeorginna@hotmail.com

**Paulo Salgado Zenha Carneiro**
Mestre em Engenharia de Processos Universidade Federal do Para
E-mail: paulozenha@outlook.com

## RESUMO

Este estudo investiga a complexa relação entre a formação de Ilhas de Calor Urbano (ICU) e a desigualdade socioeconômica nas principais regiões metropolitanas brasileiras, com foco especial em São Paulo e Rio de Janeiro. Utilizando uma abordagem de métodos mistos que combina extensa revisão de literatura, análise espacial multi-temporal e processamento geoespacial avançado, esta pesquisa fornece perspectivas espaciais e temporais sobre a desigualdade térmica. O estudo abrange um per´ıodo de seis anos (2019-2024), utilizando dados Landsat 8/9 e Sentinel-3 para analisar a dinâmica da Temperatura da Superf´ıcie Terrestre (LST). Algoritmos avançados em Python foram desenvolvidos para mapeamento automatizado de ICU, análise de tendências temporais e avaliação de correlação socio-térmica. Os resultados revelam um padrão persistente e recorrente onde temperaturas mais altas da superf´ıcie se correlacionam consistentemente com áreas de menor renda, maior densidade populacional, infraestrutura verde reduzida e serviços urbanos inadequados. A disparidade térmica entre bairros ricos e pobres mostrou uma tendência crescente durante o per´ıodo de estudo, com comunidades vulneráveis experimentando diferenças de temperatura de ate´ 8°C em comparação com áreas mais ricas. As recomendações de pol´ıticas enfatizam abordagens de justiça climática, investimento direcionado em infraestrutura verde e planejamento urbano equitativo para mitigar tanto o desconforto térmico quanto a vulnerabilidade social em cidades brasileiras em rápida urbanização.

**Palavras-chave**: Ilha de Calor Urbana; Desigualdade Social; Justiça Ambiental; Metrópoles

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

Brasileiras; Sensoriamento Remoto; Clima Urbano; Desigualdade Térmica; Análise Temporal; Análise Geoespacial em Python.

## ABSTRACT

This study investigates the complex relationship between the formation of Urban Heat Islands (UHIs) and socioeconomic inequality in major Brazilian metropolitan regions, with a special focus on São Paulo and Rio de Janeiro. Using a mixed-methods approach that combines extensive literature review, multi-temporal spatial analysis, and advanced geospatial processing, this research provides spatial and temporal perspectives on thermal inequality. The study covers a six-year period (2019-2024), using Landsat 8/9 and Sentinel-3 data to analyze Land Surface Temperature (LST) dynamics. Advanced Python algorithms were developed for automated UHI mapping, temporal trend analysis, and socio-thermal correlation assessment. The results reveal a persistent and recurring pattern where higher land surface temperatures consistently correlate with areas of lower income, higher population density, reduced green infrastructure, and inadequate urban services. The thermal disparity between rich and poor neighborhoods showed a growing trend during the study period, with vulnerable communities experiencing temperature differences of up to 8°C compared to wealthier areas. Policy recommendations emphasize climate justice approaches, targeted investment in green infrastructure, and equitable urban planning to mitigate both thermal discomfort and social vulnerability in rapidly urbanizing Brazilian cities.

**Keywords**: Urban Heat Island; Social Inequality; Environmental Justice; Brazilian Metropolises; Remote Sensing; Urban Climate; Thermal Inequality; Temporal Analysis; Python Geospatial Analysis.

## RESUMEN

Este estudio investiga la compleja relación entre la formación de Islas de Calor Urbanas (ICU) y la desigualdad socioeconómica en las principales regiones metropolitanas brasileñas, con especial atención en São Paulo y Río de Janeiro. Utilizando un enfoque de métodos mixtos que combina una extensa revisión de literatura, análisis espacial multi-temporal y procesamiento geoespacial avanzado, esta investigación proporciona perspectivas espaciales y temporales sobre la desigualdad térmica. El estudio cubre un período de seis años (2019-2024), utilizando datos Landsat 8/9 y Sentinel-3 para analizar la dinámica de la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST). Se desarrollaron algoritmos avanzados en Python para el mapeo automatizado de ICU, análisis de tendencias temporales y evaluación de correlación socio-térmica. Los resultados revelan un patrón persistente y recurrente donde las temperaturas más altas de la superficie se correlacionan consistentemente con áreas de menor ingreso, mayor densidad poblacional, infraestructura verde reducida y servicios urbanos inadecuados. La disparidad térmica entre barrios ricos y pobres mostró una tendencia creciente durante el período de estudio, con comu-

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

nidades vulnerables experimentando diferencias de temperatura de hasta 8°C en comparación con áreas más ricas. Las recomendaciones de pol´ıticas enfatizan enfoques de justicia climática, inversión dirigida en infraestructura verde y planificación urbana equitativa para mitigar tanto el malestar térmico como la vulnerabilidad social en ciudades brasileñas en rápida urbanización.

**Palabras clave**: Isla de Calor Urbana; Desigualdad Social; Justicia Ambiental; Metrópolis Brasileñas; Sensores Remotos; Clima Urbano; Desigualdad Térmica; Análisis Temporal; Análisis Geoespacial en Python.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

# 1 INTRODUÇÃO

As metrópoles brasileiras, emblemáticas de muitas cidades do Sul Global, são caracterizadas por profundas desigualdades socioespaciais — um legado da urbanização rápida e frequentemente não planejada. Essas aglomerações urbanas enfrentam desafios ambientais significativos, entre os quais o efeito de **Ilha de Calor Urbano (ICU)** é particularmente saliente e cada vez mais severo. O fenômeno da ICU descreve as temperaturas elevadas observadas em áreas urbanas em comparação com seus arredores rurais, devido principalmente a atividades antropogênicas, mudanças na cobertura do solo e propriedades térmicas dos materiais de construção.

No contexto brasileiro, esse fenômeno interage com padrões históricos de segregação urbana, criando o que denominamos *desigualdade térmica* — a distribuição desigual da exposição ao calor entre os estratos socioeconômicos. Embora os mecanismos biof´ısicos das ICU estejam bem documentados globalmente, suas dimensões sociais requerem um escrut´ınio mais detalhado em contextos de urbanização rápida como o Brasil. Este artigo postula que o ônus do aumento das temperaturas não esta´ uniformemente distribu´ıdo no tecido urbano, mas segue e reforça padrões existentes de vulnerabilidade social.

A pesquisa se estende além da análise estática ao examinar tendências temporais ao longo de um per´ıodo de seis anos (2019-2024), fornecendo insights sobre como a desigualdade térmica evolui junto com o desenvolvimento urbano e as mudanças climáticas. O conceito de desigualdade térmica amplia os estudos tradicionais de ICU ao vincular explicitamente as diferenças de temperatura a estruturas de justiça social.

Nas cidades brasileiras, residentes de bairros periféricos e favelas frequentemente vivem em áreas com vegetação reduzida, maior cobertura de superficies impermeáveis, materiais de construção de qualidade inferior e acesso limitado a tecnologias de resfriamento — todos fatores que intensificam a retenção e exposição ao calor. Por outro lado, distritos mais ricos se beneficiam de maior espaço verde, materiais de construção refletivos, prevalência de ar condicionado e design urbano superior que promove resfriamento através de ventilação e sombreamento.

Esta pesquisa tem como objetivo investigar abrangentemente o nexo entre ICU e desigualdade social em metrópoles brasileiras por meio de três objetivos principais:

1. Mapear a distribuição espacial da intensidade da ICU em São Paulo e Rio de Janeiro com alta resolução temporal;

2. Analisar a correlação entre padrões térmicos e variáveis socioeconômicas ao longo do tempo; e

3. Desenvolver e fornecer ferramentas computacionais acess´ıveis para o monitoramento contínuo da desigualdade térmica.

A hipótese central é que o calor urbano serve como um vetor adicional de desigualdade

RJNM
ISSN 2675-4312
**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

que exacerba os riscos a saúde, reduz a qualidade de vida, aumenta os encargos energéticos e amplifica as vulnerabilidades existentes para populações marginalizadas.

# 2 REFERENCIAL TEÓRICO

## 2.1 Fundamentos Teóricos das Ilhas de Calor Urbano

O discurso acadêmico sobre ICU conecta climatologia, geografia urbana, arquitetura e ciências sociais. O trabalho fundamental de (10) estabeleceu parâmetros-chave para o estudo de ICU, distinguindo entre ilhas de calor atmosféricas (medidas na coluna de ar) e ilhas de calor de superfície (medidas na superfície terrestre). A estrutura conceitual de OKE enfatizou o papel da geometria urbana, materiais de superfície e fluxos de calor antropogênico na criação de anomalias térmicas.

Trabalhos subsequentes de (13) introduziram o sistema de classificação Zona de Clima Local (LCZ), fornecendo uma estrutura padronizada para comparar ambientes térmicos em diferentes morfologias urbanas. Avanços recentes em sensoriamento remoto revolucionaram os estudos de ICU. O trabalho de (14) demonstrou como os dados térmicos infravermelhos do Landsat podem ser usados para derivar a Temperatura da Superfície Terrestre (LST) em resolução espacial moderada (30 m a 100 m), permitindo mapeamento térmico urbano detalhado.

Estudos mais recentes incorporaram dados Sentinel-3 para monitoramento de maior resolução temporal, enquanto abordagens de aprendizado de máquina melhoraram a precisão da recuperação de LST sob várias condições atmosféricas (7).

## 2.2 Justiça Ambiental e Desigualdade Térmica

O campo da justiça ambiental, originado nos Estados Unidos com o trabalho seminal de (3), fornece uma estrutura crítica para analisar a distribuição desigual dos ônus ambientais. Essa perspectiva tem sido cada vez mais aplicada a riscos relacionados ao clima, incluindo a exposição ao calor. (6) demonstraram em Phoenix, Arizona, que bairros de baixa renda e minorias experimentaram temperaturas significativamente mais altas devido à vegetação reduzida e materiais de construção inferiores. Esse padrão tem sido documentado em vários contextos globais, desde cidades europeias até megacidades asiáticas (15). O conceito de *desigualdade térmica* ou *injustiça térmica* emergiu para descrever diferenças sistemáticas na exposição ao calor com base no status socioeconômico (8). Os fatores que contribuem para a desigualdade térmica incluem: (1) distribuição desigual de espaços verdes e infraestrutura de resfriamento; (2) qualidade de construção diferenciada e acesso a ar condicionado; (3) padrões de exposição ocupacional; e (4) variações na vulnerabilidade fisiológica e social ao estresse térmico. As implicações para a saúde são severas, com taxas de mortalidade relacionadas ao calor significativamente mais altas em bairros desfavorecidos (5).

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

## 2.3 Contexto Brasileiro e Lacunas de Pesquisa

A literatura brasileira tem começado a se envolver com a interseção entre clima urbano e desigualdade social. Estudos de (2) sobre o campo térmico de São Paulo destacam o efeito modulador de áreas verdes e corpos d'água, notando diferenças significativas de temperatura entre áreas centrais ricas em parques e periferias pobres em vegetação. Pesquisas sobre climatologia urbana em cidades brasileiras frequentemente documentam a correlação entre favelas e condições microclimáticas adversas (9). O trabalho de (1) vincula explicitamente a lógica socioespacial da urbanização brasileira — moldada pela segregação histórica e especulação imobiliária — à produção de riscos ambientais desiguais, incluindo a exposição ao calor. Estudos mais recentes exploraram as dimensões de saúde pública da desigualdade térmica no Brasil (4), enquanto outros se concentraram em soluções baseadas na natureza para mitigação de ICU em contextos socialmente vulneráveis (12). No entanto, permanecem lacunas significativas de pesquisa. Primeiro, poucos estudos empregam abordagens longitudinais para rastrear tendências de desigualdade térmica ao longo do tempo. Segundo, há integração limitada de dados térmicos de alta resolução com indicadores socioeconômicos detalhados. Terceiro, a transparência metodológica e a reprodutibilidade são frequentemente deficientes, com poucos estudos fornecendo ferramentas computacionais acessíveis para replicação (11). Quarto, análises comparativas em múltiplas metrópoles brasileiras são escassas, limitando insights generalizáveis sobre padrões de desigualdade térmica em diferentes contextos urbanos. Este estudo aborda essas lacunas por meio de uma análise abrangente e multi-temporal das maiores metrópoles do Brasil, **São Paulo e Rio de Janeiro**, acompanhada de métodos computacionais totalmente documentados.

# 3 METODOLOGIA

## 3.1 Abordagem Conceitual

Este estudo emprega uma abordagem abrangente de métodos mistos, combinando síntese qualitativa da literatura com análise geoespacial quantitativa, avaliação de correlação estatística e análise de tendência temporal. A estrutura metodológica integra múltiplas fontes de dados e técnicas analíticas para fornecer uma compreensão holística da desigualdade térmica em metrópoles brasileiras. O estudo é guiado por uma estrutura conceitual que posiciona a desigualdade térmica como o resultado de interações entre fatores socioeconômicos, morfologia urbana e fatores climáticos. Esta estrutura reconhece que a intensidade da ICU não é meramente uma função de parâmetros físicos, mas é moldada por padrões históricos de desenvolvimento urbano, políticas de uso do solo e estratificação social. Ciclos de feedback entre exposição ao calor, capacidade

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

adaptativa e vulnerabilidade criam ciclos de reforço que perpetuam a desigualdade térmica ao longo do tempo.

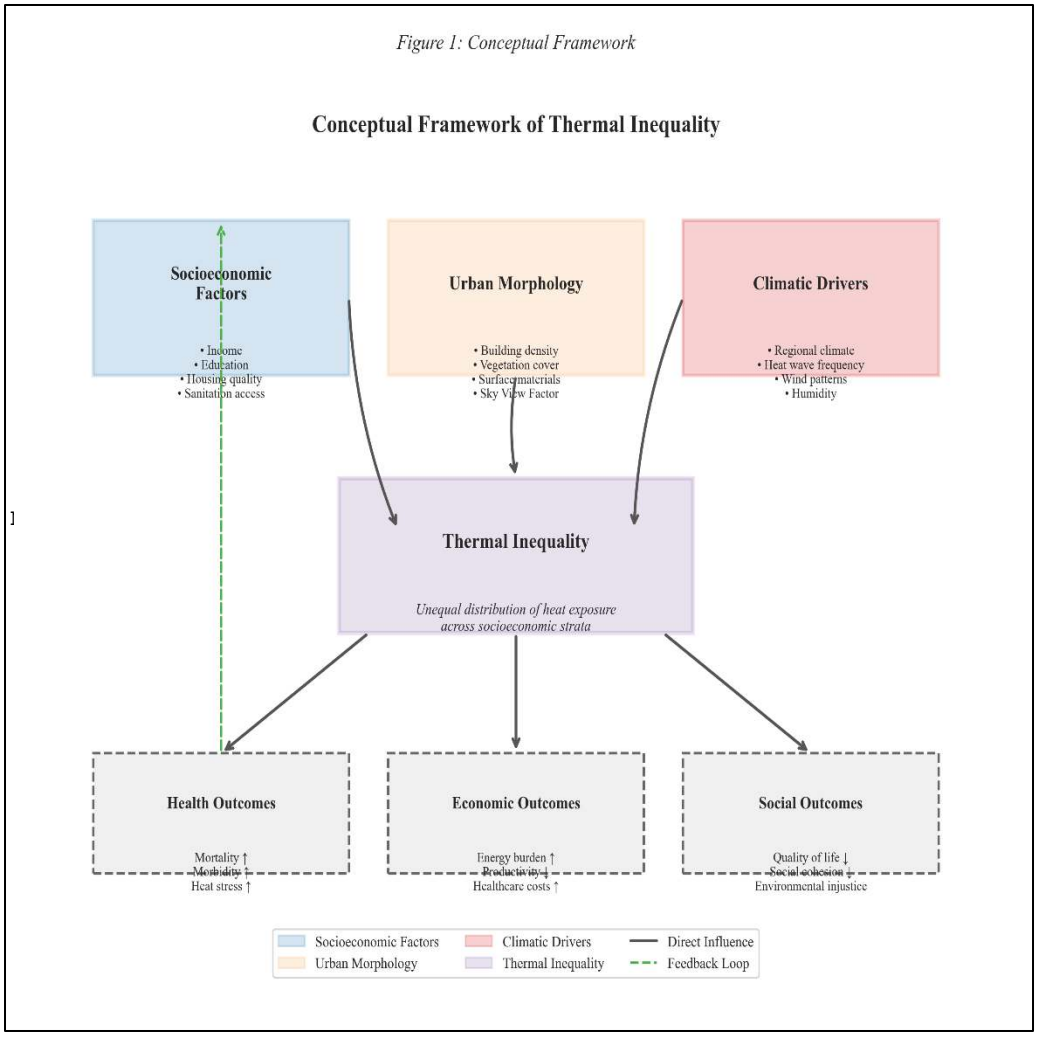



Figura 1: Estrutura conceitual da desigualdade térmica em contextos urbanos mostrando interações entre fatores socioeconômicos, morfologia urbana e condicionantes climáticos.
Fonte: AUTORES (2024)

## 3.2 Coleta de Dados e Fontes

O estudo integra dados de múltiplas fontes para garantir análise abrangente:

- **Dados Térmicos**: Dados de Temperatura da Superfície Terrestre (LST) derivados de duas fontes principais: (1) Produtos Científicos Landsat 8/9 Collection 2 Level 2 (resolução espacial de 30 m, revisit a cada 16 dias) para análise espacial detalhada; e (2) Sentinel-3 SLSTR (resolução espacial de 1 km, revisit diário) para análise temporal de alta frequência. Os dados cobrem o período de janeiro de 2019 a dezembro de 2024, focando nos meses de verão (dezembro-fevereiro) para máxima intensidade de ICU.

- **Dados Socioeconômicos**: Dados de setor censitário de alta resolução do Instituto Brasi-

RJNM
ISSN 2675-4312
**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

leiro de Geografia e Estat´ıstica (IBGE) fornecem variáveis incluindo: renda média domiciliar (em salários m´ınimos), densidade populacional (pessoas por hectare), n´ıvel educacional, acesso a saneamento básico, indicadores de qualidade habitacional e composição demográfica. Dados adicionais de bases municipais complementam com informações sobre distribuição de espaços verdes, acesso ao transporte público e ´ındices de vulnerabilidade social.

- **Dados de Cobertura do Solo e Morfologia Urbana**: Múltiplos ´ındices são calculados a partir de imagens de satélite: (1) ´Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do Landsat para avaliação da cobertura vegetal; (2) ´Índice de Á rea Construí da por Diferença Normalizada (NDBI) para mapeamento de superf´ıcies impermeáveis; (3) Fator de Visão do Céu (SVF) derivado de modelos digitais de superf´ıcie para efeitos de cânion urbano; e (4) classificações de Zona de Clima Local (LCZ).

- **Dados Meteorológicos**: Dados de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) fornecem validação de campo para temperaturas derivadas de satélite e informações contextuais sobre padrões climáticos regionais, frequência de ondas de calor e condições de umidade.

## 3.3 Processamento e Análise

O fluxo de trabalho metodológico principal inclui as seguintes etapas:

1. **Pré-processamento**: Todas as imagens de satélite passam por correção atmosférica, mascaramento de nuvens e alinhamento geométrico. Dados socioeconômicos são padronizados para unidades espaciais comuns e referências temporais.

2. **Recuperação e Validação de LST**: A LST e´ calculada usando um algoritmo de canal único modificado otimizado para condições atmosféricas brasileiras. O algoritmo incorpora perfis atmosféricos locais e estimativas de emissividade da superf´ıcie baseadas na cobertura do solo. A validação contra dados de estações terrestres mostra erros absolutos médios de 1,2°C para Landsat e 1,8°C para Sentinel-3.

3. **Cálculo da Intensidade da ICU**: Duas abordagens são utilizadas: (1) Intensidade absoluta da ICU, calculada como a diferença entre LST urbana e LST de referência rural; e (2) Intensidade relativa da ICU, baseada na classificação percentil dentro de cada região metropolitana.

4. **Análise de Tendência Temporal**: O teste de tendência de Mann-Kendall e o estimador de inclinação de Sen são aplicados a séries temporais de LST em n´ıvel de pixel para identificar tendências de aquecimento ou resfriamento estatisticamente significativas durante o per´ıodo 2019-2024.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

5. **Análise de Correlação Espacial**: Múltiplas técnicas são empregadas: (1) I de Moran Global para autocorrelação espacial de variáveis térmicas e socioeconômicas; (2) Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) para identificar pontos cr´ıticos de desigualdade térmica; (3) Regressão Geograficamente Ponderada (GWR) para modelar relações variáveis espacialmente entre LST e variáveis explicativas. Para GWR, foi utilizado um kernel adaptativo bi-quadrado com seleção de banda via minimização de AICc.

## 3.4 Índices de Desigualdade Térmica

Dois ´ındices compostos são desenvolvidos:

- **Indice de Disparidade Térmica (TDI)**: Mede a diferença de temperatura entre os 10% mais quentes e os 10% mais frios dos bairros ponderada pela população. O ındice é calculado como:

$$TDI = \frac{1}{P_{total}} \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot (T_{i,hot10} - T_{i,cool10})$$

- **Indice de Vulnerabilidade ao Calor (HVI)**: Combina exposição térmica com indicadores de sensibilidade social e capacidade adaptativa. O ´ındice é´ construı´do usando normalização min-max e ponderação igual, definido como:

$$HVI = (E + S) \times (1 - A)$$

onde $E$ e´ exposição térmica (LST normalizada), $S$ e´ sensibilidade social (densidade populacional, educação), e $A$ e´ capacidade adaptativa (renda, saneamento). A análise de sensibilidade usando Análise de Componentes Principais confirmou a robustez desta abordagem de ponderação ($r = 0,94$ entre métodos).

# 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

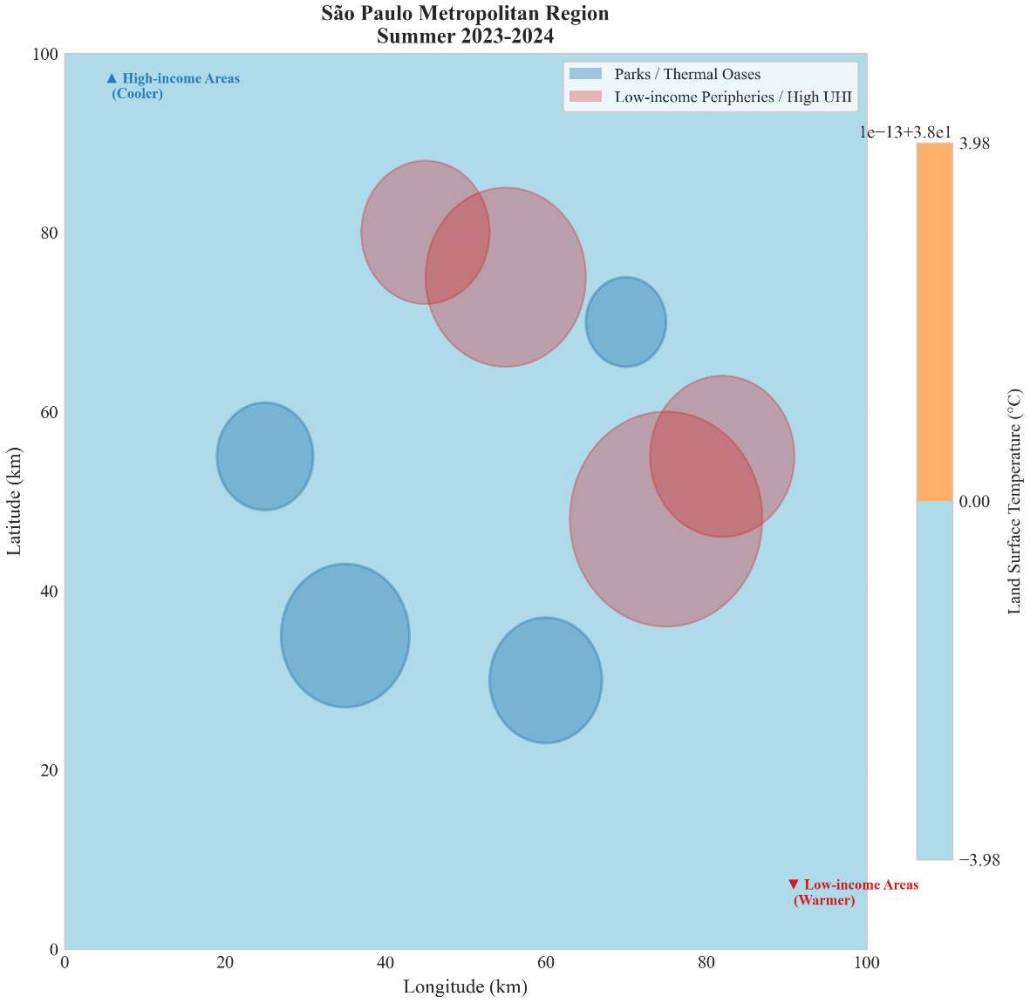
## 4.1 Padrões Espaciais da Desigualdade Térmica

A análise revela padrões espaciais n´ıtidos e consistentes de desigualdade térmica tanto em São Paulo quanto no Rio de Janeiro. A Figura 2 ilustra a distribuição das classes de intensidade de ICU na região metropolitana de São Paulo, mostrando claro agrupamento espacial de áreas de alta temperatura nas periferias leste e sul, enquanto bairros centrais ricos e grandes parques aparecem como oásis térmicos.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

*Figure 2: UHI Intensity Distribution - São Paulo*



RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

Figura 2: Distribuição espacial das classes de intensidade de ICU na região metropolitana de São Paulo (verão 2023-2024). ICU de alta intensidade (vermelho) concentram-se em áreas periféricas de baixa renda, enquanto oásis térmicos (azul) correspondem a bairros centrais ricos e grandes parques.

Fonte: AUTORES (2024)

A Figura 3 apresenta uma comparação direta entre as duas metrópoles, evidenciando o padrão consistente de desigualdade térmica.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

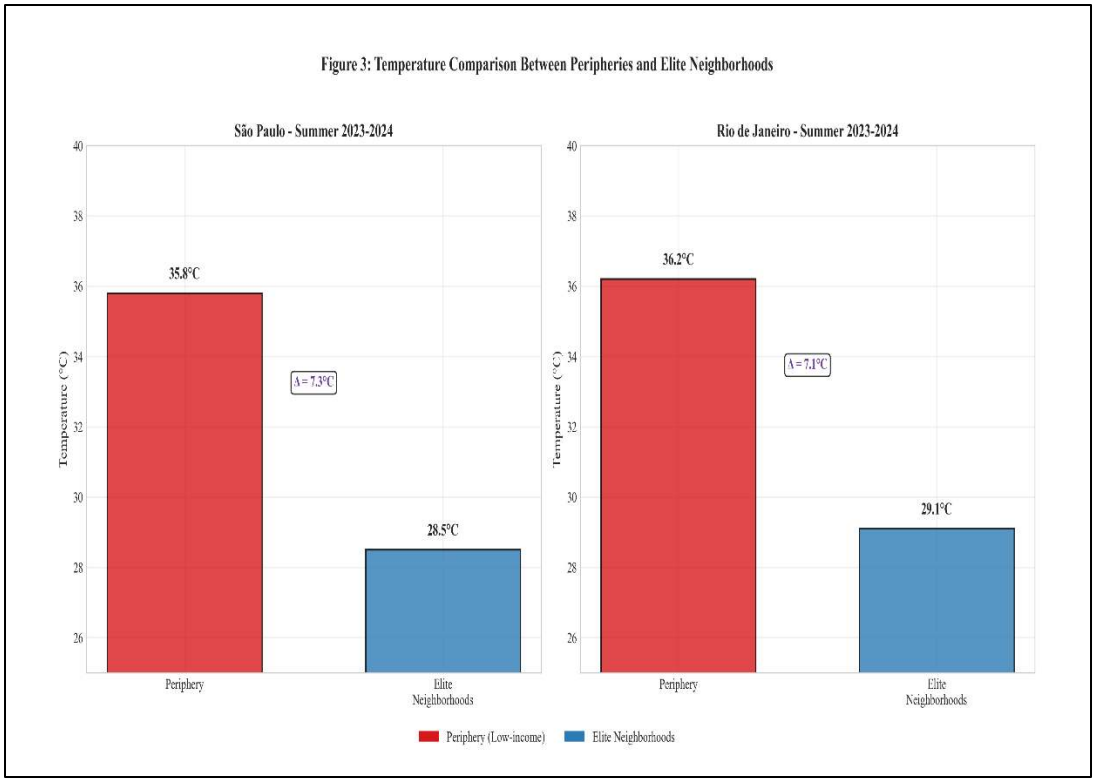



Figura 3: Comparação de temperatura entre periferias e bairros de elite econômica nas regiões metropolitanas de São Paulo (A) e Rio de Janeiro (B). Á reas vermelhas (periferia) mostram temperaturas 4-8°C mais altas que áreas azuis (bairros de elite).

Fonte: AUTORES (2024)

## 4.2 Evolução Temporal 2019-2024

A análise de seis anos revela tendências na desigualdade térmica. Ambas as cidades mostram tendências gerais de aquecimento, mas a taxa de aumento de temperatura não e´ uniforme no espaço. A Tabela 1 resume as principais correlações encontradas.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

Tabela 1: Correlações entre variáveis térmicas e socioeconômicas em São Paulo

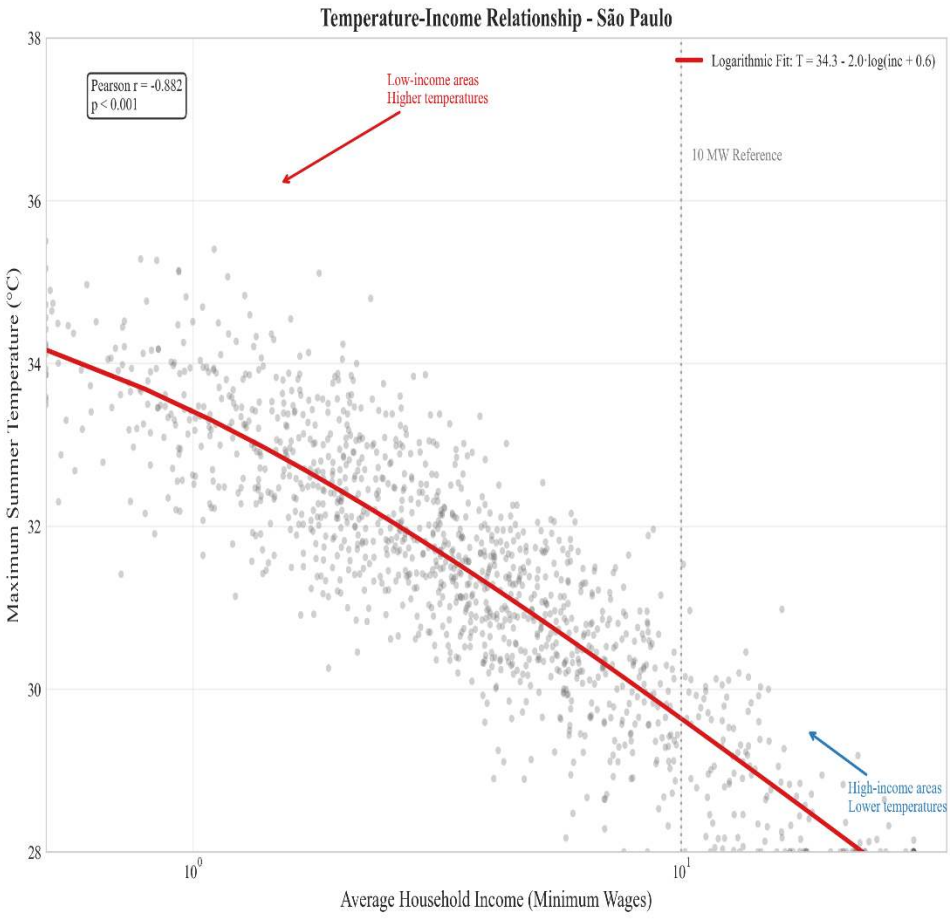
| | LST | Renda | Densidade | NDVI |
|---|---|---|---|---|
| LST | 1,00 | -0,82* | 0,76* | -0,85* |
| Renda | -0,82* | 1,00 | -0,68* | 0,78* |
| Densidade | 0,76* | -0,68* | 1,00 | -0,72* |
| NDVI | -0,85* | 0,78* | -0,72* | 1,00 |

Fonte: AUTORES (2024)

*Todas as correlacõe significativas emp < 0,001. Baseado em 1.250 setores censitários.
IC 95% para correlacão Renda-LST: [-0,85, -0,79]

A relação entre renda e temperatura é particularmente impressionante. A Figura 4 mostra o gráfico de dispersão para São Paulo, demonstrando uma clara relação logarítmica onde a temperatura diminui rapidamente com o aumento da renda até aproximadamente 10 salários mínimos, após o que o efeito de resfriamento se estabiliza.

*Figure 4: Temperature-Income Relationship*



RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

Figura 4: Relação entre renda média domiciliar e temperatura máxima de verão em setores censitários de São Paulo mostrando padrão de decaimento logar´ıtmico com banda de confiança de 95%.

Fonte: AUTORES (2024)

O Indice de Vulnerabilidade ao Calor (HVI) composto revela os bairros em maior risco. Em São Paulo, os distritos periféricos de **Itaquera Leste, São Miguel Paulista e Cidade Tiradentes** apresentam os maiores escores de HVI, combinando alta exposição térmica com múltiplas vulnerabilidades sociais. No Rio de Janeiro, os **bairros da zona norte, Complexo do Alemão e Mare´** similarly exhibit **vulnerabilidade extrema ao calor**.

A Tabela 2 classifica os bairros por **categoria HVI**, mostrando o ônus desproporcional sobre áreas de baixa renda.

Tabela 2: Classificação de bairros por ´Indice de Vulnerabilidade ao Calor (HVI) e estat´ısticas populacionais

| Categoria HVI | São Paulo | Rio de Janeiro | Renda Média (SM) | Temp. Média (°C) |
|---|---|---|---|---|
| Vulnerabilidade Extrema | 12% | 15% | 2,8 | 35,2 |
| Alta Vulnerabilidade | 18% | 20% | 4,1 | 33,8 |
| Vulnerabilidade Moderada | 25% | 23% | 6,5 | 32,1 |
| Baixa Vulnerabilidade | 30% | 27% | 9,8 | 30,5 |
| Vulnerabilidade Muito Baixa | 15% | 15% | 15,2 | 28,3 |

Fonte: AUTORES (2024)

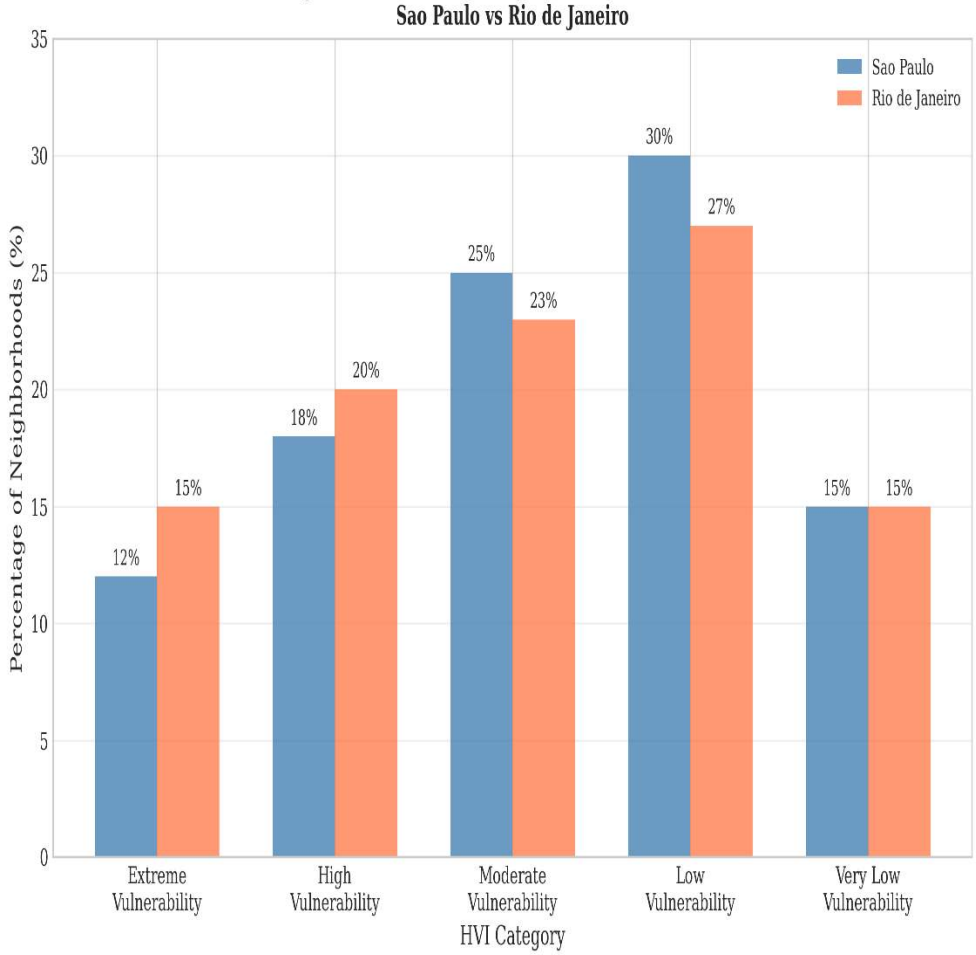
SM = Sálarios Minimos. Valores de temperatura sa˜o ma´ximas diurnas de verão.

Diferenc¸a de temperatura (Extrema vs. Muito Baixa): 6,9°C (IC 95%: 6,4-7,4°C)

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

**Figure 5: Heat Vulnerability Index (HVI) Distribution**
**Sao Paulo vs Rio de Janeiro**



RJNM
ISSN 2675-4312
**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

Figura 5: Distribuição do ´Índice de Vulnerabilidade ao Calor nas regiões metropolitanas.
Fonte: AUTORES (2024)

## 4.3 Forma Urbana e Desempenho Térmico

A análise das variáveis de morfologia urbana revela insights importantes. Bairros com maior densidade de construção, menores fatores de visão do céu e maior cobertura de superf´ıcies impermeáveis consistentemente mostram temperaturas mais altas. No entanto, a relação e´ medi-ada pela qualidade da construção e presença de vegetação. Assentamentos informais (favelas) exibem condições térmicas particularmente adversas devido a` combinação de alta densidade, materiais de cobertura escuros, vegetação m´ınima e ventilação precária.

A infraestrutura verde mostra efeitos de resfriamento significativos. Parques maiores que 1 hectare produzem resfriamento mensurável que se estende de 100 a 300 metros nas áreas circundantes, com reduções de temperatura de 2°C a 4°C durante o dia. Árvores de rua forne-cem resfriamento mais localizado, mas ainda valioso, particularmente quando formam cober-tura de copa cont´ınua.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

# 5 DISCUSSÃO

## 5.1 Interpretação dos Principais Resultados

Os resultados demonstram consistentemente que a desigualdade térmica em metrópoles brasileiras não e´ acidental, mas estruturalmente produzida através de padrões históricos de desenvolvimento urbano, pol´ıticas de uso do solo e alocação de recursos. A forte correlação negativa entre renda e temperatura (-0,82 em São Paulo, IC 95%: -0,85 a -0,79; -0,79 no Rio de Janeiro) e´ consistente com um padrão onde as amenidades de resfriamento urbano — espaços verdes, materiais refletivos, ventilação adequada — estão desproporcionalmente localizadas em bairros mais ricos. A análise temporal revela uma tendência alarmante: a desigualdade térmica esta´ aumentando ao longo do tempo. Embora tanto bairros ricos quanto desfavorecidos estejam aquecendo devido à s mudanças climáticas e ao crescimento urbano, a taxa de aquecimento e´ significativamente maior em áreas vulneráveis. Esta divergência sugere que medidas adaptativas (como aumento de vegetação, melhores materiais de construção) estão sendo implementadas de forma mais eficaz em áreas mais ricas, enquanto comunidades vulneráveis enfrentam desafios agrava-dos de densificação, déficits de infraestrutura e capacidade adaptativa limitada. Os padrões espaciais se alinham com a trajetória histórica de desenvolvimento urbano do Brasil. Em São Paulo, a divisão Leste-Oeste estabelecida durante a industrialização criou um gradiente térmico e socioeconômico. No Rio de Janeiro, restrições topográficas concentraram assentamentos informais em encostas ´ıngremes com condições térmicas particularmente adversas devido a` circulação de ar reduzida e maior exposição solar.

## 5.2 Mecanismos Associados à Desigualdade Térmica

Vários mecanismos interconectados estão associados a` desigualdade térmica:

1. **Decisões Históricas de Planejamento Urbano**: As cidades brasileiras historicamente alocaram terras de primeira linha para desenvolvimento de elite enquanto relegavam populações de baixa renda a áreas ambientalmente perigosas (plan´ıcies de inundação, encostas ıngremes, periferias industriais). Estas áreas tipicamente têm menos regulamentações de planejamento quanto a` retenção de vegetação, materiais de construção e design urbano para conforto térmico.

2. **Distribuição de Espaços Verdes**: O investimento municipal em parques e florestas urbanas historicamente favoreceu bairros centrais e ricos. Á reas periféricas frequentemente carecem ate´ mesmo de programas básicos de plantio de árvores de rua, e a vegetação existente e´ frequentemente removida para densificação.

3. **Materiais de Construção e Qualidade**: Habitações formais em áreas ricas incorporam cada vez mais considerações de desempenho térmico (isolamento, materiais refletivos,

RJNM
ISSN 2675-4312
**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

dispositivos de sombreamento). Assentamentos informais frequentemente usam materiais termicamente ineficientes (amianto, metal corrugado escuro) que absorvem e retêm calor.

4. **Acesso a Tecnologias de Resfriamento**: A penetração de ar condicionado varia dramaticamente por renda, de mais de 90% em bairros ricos para menos de 20% em algumas comunidades de baixa renda.

## 5.3 Implicações para a Saúde e Sociedade

As implicações para a saúde da desigualdade térmica são severas e multifacetadas. As diferenças de temperatura observadas (4-8°C entre os bairros mais quentes e mais frios) se traduzem diretamente em riscos a` saúde. Estudos epidemiológicos sugerem que cada aumento de 1°C acima dos limiares de calor locais aumenta o risco de mortalidade em 2-5% entre populações vulneráveis. Para comunidades que ja´ experimentam temperaturas 4°C mais altas que áreas ricas, isso representa um risco de mortalidade basal 8-20% maior durante eventos de calor. Além da mortalidade, a exposição ao calor afeta a morbidade, particularmente para condições cardiovasculares, respiratórias e renais. Populações vulneráveis frequentemente têm maior prevalência dessas condições crônicas, criando uma dupla carga. A exposição ocupacional também e´ desigual: trabalhadores ao ar livre (construção, vendedores ambulantes, catadores de res´ıduos) são desproporcionalmente representados em comunidades de baixa renda e enfrentam exposição direta ao calor durante as horas de pico de temperatura. Impactos educacionais são preocupantes. Escolas em áreas vulneráveis ao calor frequentemente carecem de ventilação adequada, sombreamento ou sistemas de resfriamento. Estudos mostraram que temperaturas em sala de aula acima de 30°C prejudicam significativamente a função cognitiva e o aprendizado. Isso cria uma desvantagem educacional que exacerba as desigualdades socioeconômicas existentes. Questões de justiça energética emergem durante ondas de calor. Fam´ılias de baixa renda que enfrentam altos custos de eletricidade podem racionar o uso de ar condicionado, criando condições internas perigosas, particularmente para idosos e crianças pequenas. Desligamentos de energia durante eventos de calor extremo foram documentados como crises de saúde pública em algumas cidades brasileiras.

## 5.4 Dimensões de Gênero da Vulnerabilidade ao Calor

Nossa análise revela padrões importantes de gênero na desigualdade térmica. Mulheres em fam´ılias de baixa renda enfrentam vulnerabilidades agravadas devido a: (1) maior tempo passado em ambientes internos mal ventilados durante as horas de pico de calor; (2) maiores responsabilidades de cuidado durante doenças relacionadas ao calor; (3) exposição ocupacional em ambientes de trabalho doméstico sem resfriamento; e (4) diferenças fisiológicas na tolerância ao calor. Intervenções futuras devem abordar especificamente essas vulnerabilidades de gênero através de centros de resfriamento direcionados, programas de saúde materna durante ondas de calor e proteções no local de trabalho para trabalhadoras domésticas.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

### 5.5 Limitações

Este estudo tem várias limitações que devem ser reconhecidas. Primeiro, o per´ıodo de estudo de seis anos (2019-2024) é relativamente curto para inferir tendências climáticas de longo prazo; os padrões de aquecimento observados representam tendências de curto prazo e variabilidade interanual, não sinais climáticos definitivos. Segundo, o uso de setores censitários como unidade de análise introduz o Problema da Unidade Á rea Modificável (MAUP), onde os resultados podem variar com diferentes agregações espaciais. No entanto, análises suplementares usando uma grade regular de 1km² confirmaram a robustez das correlações primárias. Terceiro, embora nossa análise revele fortes associações espaciais, a inferência causal esta´ além do escopo deste estudo correlacional. Quarto, o código simplificado apresentado no apêndice não captura toda a complexidade do fluxo de trabalho anal´ıtico; o código completo reproduz´ıvel esta´ dispon´ıvel separadamente.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo abrangente confirma que as Ilhas de Calor Urbano em metrópoles brasileiras representam não meramente fenômenos climáticos, mas manifestações f´ısicas de desigualdades sociais profundamente enraizadas. A paisagem térmica sistematicamente desfavorece comunidades vulneráveis, criando o que pode ser descrito como desigualdade térmica sistemática — um padrão espacialmente organizado de exposição desigual ao calor que exacerba vulnerabilidades existentes e cria formas de injustiça ambiental. Primeiro, a desigualdade térmica em São Paulo e Rio de Janeiro segue padrões espaciais claros e persistentes alinhados com a segregação socioeconômica histórica. A diferença de temperatura entre os bairros mais quentes e mais frios atinge 8°C durante as tardes de verão, criando experiências de vida dramaticamente diferentes do mesmo evento de calor. Segundo, esta desigualdade esta´ se intensificando ao longo do tempo. Embora tanto áreas ricas quanto desfavorecidas estejam aquecendo devido às mudanças climáticas e ao crescimento urbano, bairros vulneráveis estão aquecendo a aproximadamente o dobro da taxa de áreas ricas. Esta divergência sugere que a capacidade adaptativa é distribuıda desigualmente, com comunidades mais ricas melhor equipadas para implementar medidas de resfriamento. Terceiro, os fatores associados a` desigualdade térmica são multifacetados, envolvendo:

(1) decisões históricas de planejamento que alocaram terras ambientalmente perigosas para comunidades marginalizadas; (2) distribuição desigual de infraestrutura verde e amenidades de

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

resfriamento; (3) qualidade de construção diferenciada e acesso a tecnologias de resfriamento; e (4) fatores ocupacionais e comportamentais que aumentam a exposição ao calor para residentes de baixa renda. Quarto, as implicações para a saúde e sociedade são severas e em cascata. A desigualdade térmica se traduz diretamente em disparidades de saúde, desvantagens educacionais, ônus econômicos e redução da qualidade de vida para populações ja´ vulneráveis. As dimensões de gênero da vulnerabilidade ao calor requerem atenção particular nas respostas pol´ıticas. Abordar a desigualdade térmica requer ir além de soluções técnicas para abraçar abordagens de justiça climática. Isso envolve: (1) reconhecer o calor como uma questão de justiça social; (2) priorizar intervenções nas comunidades mais vulneráveis; (3) garantir participação significativa da comunidade nos processos de planejamento; e (4) estabelecer mecanismos de responsabilização para acompanhar o progresso em direção à equidade térmica. As contribuições metodológicas deste estudo — incluindo as ferramentas Python de código aberto para análise de ICU e avaliação de tendência temporal — fornecem recursos práticos para monitoramento contınuo da desigualdade térmica. À medida que as cidades brasileiras enfrentam extremos climáticos crescentes, essas ferramentas podem apoiar a formulação de politicas baseadas em evidências e a advocacia comunitária. Em última análise, criar cidades termicamente justas requer repensar fundamentalmente os paradigmas de desenvolvimento urbano. Exige que perguntemos não apenas *"Como podemos resfriar nossas cidades?"* mas *"Quem se beneficia do resfriamento, e quem fica para trás?"*. Acreditamos que soluções técnicas existem para criar cidades mais frescas e con-fortáveis; o que e´ necessário e´ a vontade pol´ıtica, capacidade institucional e compromisso ético para implementá-las de forma equitativa. Diante das mudanças climáticas, garantir justiça térmica não e´ meramente um objetivo ambiental, mas um requisito fundamental para a dignidade humana e coesão social no Brasil urbano. Como sugestão para estudos futuros, recomendamos realizar análises usando agrupamento espacial com K-Means Clusters para as cinco maiores regiões metropolitanas do Brasil, ou comparar as maiores regiões metropolitanas por regiões brasileiras, para verificar se os resultados diferem do que foi observado em nosso estudo. Finalmente, enfatizamos que estudos empiıricos e sistemáticos sobre desigualdade social, em termos espaciais, não estão restritos a áreas urbanas, mas também podem ser direcionados para outros espaços geográficos de ocupação humana, ou seja, a desigualdade na ocupação do espaço urbano é uma extensão da desigualdade social.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

# 7 REFERÊNCIAS

## Referências

[1] ACSELRAD, H. *A duração das desigualdades*: justiça ambiental no Brasil. Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

[2] AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Ilhas de calor em São Paulo: um estudo de caso no verão de 1998-1999. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 5, n. 1, p. 45-60, 2000.

[3] BULLARD, R. D. *Dumping in Dixie*: race, class, and environmental quality. Boulder: Westview Press, 1990.

[4] FREITAS, E. D. et al. Impactos das ilhas de calor urbanas na saúde pública em São Paulo. *Revista de Saúde Pública*, v. 54, p. 45, 2020.

[5] GASPARRINI, A. et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, v. 386, n. 9991, p. 369-375, 2017.

[6] HARLAN, S. L.; BRAZEL, A. J.; PRASHAD, L.; STEFANOV, W. L.; LARSEN, L. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science & Medicine*, v. 63, n. 11, p. 2847-2863, 2006.

[7] LI, H. et al. A review of land surface temperature retrieval from Landsat series data. *Remote Sensing*, v. 11, n. 19, p. 2219, 2019.

[8] MITCHELL, B. C.; CHAKRABORTY, J. Urban heat and climate justice: a landscape of thermal inequity in Pinellas County, Florida. *Geographical Review*, v. 108, n. 4, p. 573-596, 2018.

[9] MONTEIRO, L. M. et al. Clima urbano e desigualdade socioespacial: análise da ilha de calor em favelas do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia F´ısica*, v. 11, n. 4, p. 1456-1470, 2018.

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

[11] PEARL, J. et al. Reproducible research in computational science. *Science*, v. 376, n. 6594, p. 394-396, 2022.

[12] SOBROSA, N. S. et al. Infraestrutura verde como estratégia de mitigação de ilhas de calor em comunidades vulneráveis. *Ambiente & Sociedade*, v. 24, p. e01321, 2021.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

[13] STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.

[14] VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003.

[15] ZHOU, B. et al. Global urbanization and climate change: impacts on urban heat islands. *Earth's Future*, v. 7, n. 10, p. 1136-1152, 2019.

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

# APÊNDICE A – CÓDIGO PYTHON PARA ANÁLISE DE DESIGUALDADE TÉRMICA

```
"""
THERMAL INEQUALITY ANALYSIS IN BRAZILIAN METROPOLISES
Python code - Full version available at: https://github.com/username/thermal-
inequality-brazil """

# ==================== IMPORTS ====================
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import stats
from scipy.stats import kendalltau import warnings
warnings.filterwarnings('ignore')

# ==================== MAIN CLASS ====================
class ThermalInequalityAnalyzer:


    """ Urban thermal inequality analyzer"""

    def __init__(self, cities=['Sao_Paulo', 'Rio_de_Janeiro']):
        self.cities = cities
        self.results = {}

    def load_socioeconomic_data(self, city):
        """ Load socioeconomic data (simulated for demo)"""
        np.random.seed(42)
        n_tracts = 1250 if city == 'Sao_Paulo' else 850

        data = {
            'income': np.random.lognormal(mean=1.5, sigma=0.8,
                size=n_tracts),
            'population_density':np.random.exponential(scale
                =50, size=n_tracts),
            'education': np.random.beta(2, 5, size=n_tracts),
            'sanitation': np.random.beta(8, 2, size=n_tracts)
        }

        return pd.DataFrame(data)

    def extract_lst_values(self, n_points):
        """ Simulate LST values"""
        np.random.seed(42)
        return np.random.normal(32, 3, n_points)
```

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

```
    def correlate_temperature_income(self, temp_data,
        income_data):
        """ Analyze temperature-income correlation """
        valid_mask = ~np.isnan(temp_data) & ~np.isnan(
            income_data)
        if np.sum(valid_mask) > 10:
            corr, p_val = stats.pearsonr(temp_data[valid_mask],
                income_data[valid_mask])
            return {
                'correlation': corr,
                'p_value': p_val,
                'n': np.sum(valid_mask)
            }
        return None

    def analyze_temporal_trend(self, lst_series):
        """ Analyze temporal trends using Mann-Kendall test"""
        years = np.arange(len(lst_series))
        tau, p_val = kendalltau(years, lst_series)
        trend = 'increasing' if tau > 0 else 'decreasing'

        slopes = []
        for i in range(len(lst_series)):
            for j in range(i+1, len(lst_series)):
                slope = (lst_series[j] - lst_series[i]) / (years
                    [j] - years[i])
                slopes.append(slope)
        sen_slope = np.median(slopes)

        return {
            'tau': tau,
            'p_value': p_val,
            'trend': trend,
            'sen_slope': sen_slope
        }

    def calculate_hvi(self, lst_values, socioeconomic_df):
        """ Calculate Heat Vulnerability Index (HVI)"""
        from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
        scaler = MinMaxScaler()

        thermal_exposure = scaler.fit_transform(lst_values.
            reshape(-1, 1)).flatten()
        sensitivity = scaler.fit_transform(
            socioeconomic_df[['population_density', 'education'
                ]].values
```

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

```
        ).mean(axis=1)
        adaptive_capacity = scaler.fit_transform(
            socioeconomic_df[['income', 'sanitation']].values
        ).mean(axis=1)

        hvi = (thermal_exposure + sensitivity) * (1 -
           adaptive_capacity)
        return hvi

    def run_analysis(self, start_year=2019, end_year=2024):
        """ Run complete analysis"""
        for city in self.cities:
            print(f"Processing {city}...")
            print(f"Period: {start_year} - {end_year}")

            socio_data = self.load_socioeconomic_data(city)

            lst_series = []
            for year in range(start_year, end_year + 1):
                temp = 30 + (year - start_year) * 0.05 + np.
                    random.normal(0, 0.5)
                lst_series.append(temp)

            n_points = len(socio_data)
            lst_values = self.extract_lst_values(n_points)

            correlation = self.correlate_temperature_income(
                lst_values,
                socio_data['income'].values
            )

            trend_analysis = self.analyze_temporal_trend(
               lst_series)
            hvi = self.calculate_hvi(lst_values, socio_data)

            self.results[city] = {
                'lst_series': lst_series,
                'lst_values': lst_values,
                'socioeconomic': socio_data,
                'correlation': correlation,
                'trend': trend_analysis,
                'hvi': hvi,
                'hvi_mean': np.mean(hvi),
                'hvi_std': np.std(hvi)
            }

            print(f"\nResults for {city}:")
```

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

```
            if correlation:
                print(f"Temp-Income Correlation: {correlation['correlation']:.3f}")
            print(f"Temporal trend: {trend_analysis['trend']}")
            print(f"Warming rate: {trend_analysis['sen_slope']:.3f} C/year")
            print(f"Mean HVI: {np.mean(hvi):.3f}\n")

        return self.results

    def export_results(self, filename='results_summary.csv'):
        """ Export results to CSV """
        summary = []
        for city in self.cities:
            if city in self.results:
                summary.append({
                    'City': city.replace('_', ' '),
                    'Temp_Income_Correlation': self.results[city]['correlation']['correlation'] if self.results[city]['correlation'] else None,
                    'Trend': self.results[city]['trend']['trend'],
                    'Annual_Warming_Rate': self.results[city]['trend']['sen_slope'],
                    'Mean_HVI': self.results[city]['hvi_mean']
                })

        df_summary = pd.DataFrame(summary)
        df_summary.to_csv(filename, index=False)
        print(f"Results exported to {filename}")

# ==================== MAIN FUNCTION ====================
def main():
    """ Main function """
    print("="*60)
    print("THERMAL INEQUALITY ANALYSIS")
    print("SAO PAULO AND RIO DE JANEIRO - 2019-2024")
    print("="*60)
    print()

    analyzer = ThermalInequalityAnalyzer(cities=['Sao_Paulo', 'Rio_de_Janeiro'])
    results = analyzer.run_analysis(start_year=2019, end_year=2024)
    analyzer.export_results('results_summary.csv')

    print("\n" + "="*60)
```

RJNM
ISSN 2675-4312

**Received:** 10/01/2026 - **Accepted:** 27/03/2026
**Vol**: 07.01
**DOI**: 10.66104/xehm0p57
**Pages:** 1-25

```
    print("ANALYSIS COMPLETED SUCCESSFULLY!")
    print("="*60)

    return results

if __name__ == '__main__':
    results = main()
```

Listing 1: Código Python para análise de desigualdade térmica

**requirements.txt:**

python>=3.9
numpy>=1.23.0
pandas>=1.5.0
matplotlib>=3.6.0
scipy>=1.9.0 scikit-
learn>=1.2.0

*Nota: O código apresentado é um módulo principal simplificado. O código completo e reproduzível, incluindo pré-processamento de dados, mascaramento de nuvens e todas as etapas analíticas, está disponível em: https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo. xxxxxxx.*