



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**JOÃO VINÍCIUS DA SILVA PEREIRA**

**O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NO AUMENTO DA  
TEMPERATURA MÉDIA NA CIDADE DE NATAL**

NATAL  
2025

JOÃO VINÍCIUS DA SILVA PEREIRA

**O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NO AUMENTO DA  
TEMPERATURA MÉDIA NA CIDADE DE NATAL**

Trabalho de Conclusão de Curso/TCC  
apresentado ao Departamento de Geografia da  
Universidade Federal do Rio Grande do  
Norte/UFRN, como requisito parcial à  
obtenção de título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Jablinski  
Castelhano.

NATAL

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS - SISBI  
CATALOGAÇÃO DE PUBLICAÇÃO NA FONTE. UFRN - BIBLIOTECA SETORIAL DO CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E  
ARTES - CCHLA

PEREIRA, JOÃO VINÍCIUS DA SILVA.

O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NO AUMENTO DA TEMPERATURA MÉDIA NA  
CIDADE DE NATAL / JOÃO VINÍCIUS DA SILVA PEREIRA. - NATAL, 2025.

38 f. : il.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (GRADUAÇÃO) - CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS,  
LETRAS E ARTES, DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO  
NORTE, NATAL, 2025.

ORIENTAÇÃO: PROF. DR. FRANCISCO JABLINSKI CASTELHANO.

1. VARIAÇÃO DE TEMPERATURA. 2. CLIMA. 3. CALOR. I. CASTELHANO, FRANCISCO  
JABLINSKI. II. TÍTULO.

RN/UF/BS-CCHLA

CDU 913 (813.2)

JOÃO VINÍCIUS DA SILVA PEREIRA

**O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NO AUMENTO DA  
TEMPERATURA MÉDIA NA CIDADE DE NATAL**

Trabalho de Conclusão de Curso/TCC  
apresentado ao Departamento de Geografia da  
Universidade Federal do Rio Grande do  
Norte/UFRN, como requisito parcial à  
obtenção de título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Jablinski  
Castelhana.

Aprovado em: 17/01/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Francisco Jablinski Castelhana (Orientador)  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

---

Prof. Dr. Max Wendell Batista dos Anjos (Examinador Interno)  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

---

Prof. Dr. Adriano Lima Troleis (Examinador Interno)  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente quero começar agradecendo aos meus pais, João e Silvia, que nunca mediram esforços para me apoiar, sempre acreditaram em mim e colocaram meu bem-estar em primeiro lugar, mesmo que isso significasse sacrificar o tempo e a rotina deles. Nada disso seria possível sem vocês.

Quero agradecer a minha irmã Sibelle, por estar sempre ao meu lado e por todo o incentivo dado.

Agradeço também aos meus amigos que acompanharam de perto todo esse processo, em especial a Hugo Bezerra, por todo o apoio e por acreditar em mim, e a Thiago Lima, meu parceiro de turma, que esteve comigo em tantas situações e pela grande colaboração ao longo de toda a minha formação.

E agradeço ao Prof. Dr. Francisco Jablinski Castelhana, meu orientador, pelas valiosas contribuições e por estar sempre presente e atencioso durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos vocês, meu mais sincero agradecimento.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a variação da temperatura na cidade de Natal com recorte temporal referente aos anos de 1986 até 2023, por meio de dados fornecidos pela estação climatológica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), buscando relacionar a variação de temperatura média do ar, com o processo de urbanização presente na cidade. Para atingir o objetivo partir da análise desses dados podemos constatar que a cidade de Natal teve um aumento na sua temperatura média de aproximadamente  $0,91^{\circ}\text{C}$  no período de 1986 a 2023, e paralelamente a esse fato também podemos relatar um aumento populacional da cidade de 80,2% durante o período de 1980-2022. Este trabalho busca explicar e caracterizar o processo de urbanização da cidade de Natal e suas implicações no aumento da temperatura média, buscando entender fenômenos ligados à ocupação humana no território como as ilhas de calor e a inversão térmica, no qual foi observado que a partir do tipo de uso do solo tem-se impactos na temperatura média do ar, em que o aumento da verticalização, o aumento da circulação de veículos automotores de médio e grande porte, e a diminuição das áreas de vegetação causam uma mudança na temperatura média do ar.

**Palavras chaves:** Variação de temperatura. Aumento populacional. Climatologia. Calor.

## ABSTRACT

This study aims to analyze the variation in temperature in the city of Natal, focusing on the period from 1986 to 2023, using data provided by the climatological station of the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN). The research seeks to correlate changes in the average air temperature with the urbanization process occurring in the city. To achieve this objective, daily temperature data were collected for the study period, from which climate variability indices were calculated, and statistical trend tests, such as GAM regression and the Mann-Kendall Test, were applied. The analysis of these data reveals that the city of Natal experienced an increase in its average temperature of approximately  $0.91^{\circ}\text{C}$  between 1986 and 2023. Additionally, this period saw a population growth of 80.2% in the city from 1980 to 2022. This study seeks to explain and characterize the urbanization process of Natal and its implications for the increase in average temperature, aiming to understand phenomena associated with human occupation of the territory, such as heat islands and thermal inversion. It was observed that land use significantly impacts average air temperature, with factors such as increased vertical construction, greater circulation of medium- and large-sized motor vehicles, and the reduction of vegetation areas contributing to changes in average air temperature.

**Keywords:** Temperature variation. Population growth. Climatology. Heat.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização do Município de Natal/RN.....	18
Figura 2: Mancha urbana do município de Natal/RN em 1987.....	21
Figura 3: Mancha urbana do município de Natal/RN em 2023.....	21
Figura 4: Ponto de mudança identificado pelo Teste de Pettit para temperatura máxima.....	27
Figura 5: Ponto de mudança identificado pelo Teste de Pettit para temperatura média.....	27
Figura 6: Ponto de mudança identificado pelo Teste de Pettit para temperatura mínima.....	28
Figura 7: Mapa de expansão da área urbana da Grande Natal - RN.....	30
Figura 8: Histórico da cobertura florestal da Grande Natal - RN.....	31
Figura 9: Histórico da cobertura vegetal arbustiva e herbácea da Grande Natal - RN.....	31

## LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

Gráfico 1: Gráfico Populacional da cidade de Natal/RN.....	23
Tabela 1: Resultados obtidos a partir do teste de Mann-Kendall.....	26
Gráfico 2: Gráfico Série Histórica da Área Urbanizada de Natal/RN.....	29

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**SUDENE** - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

**ZCIT** - Zona de Convergência Intertropical

**AS** - Clima tropical quente e úmido, com estação seca no inverno

**UFRN** - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

**QGIS** - Software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1. Justificativa/relevância.....	14
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>15</b>
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
<b>2. METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
2.1. Área de estudo.....	17
2.1.1. Clima.....	18
2.1.2. Expansão Urbana de Natal: Influências Históricas, Econômicas e Sociais.....	19
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>23</b>
<b>4. ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>26</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As condições atmosféricas estão intimamente relacionadas ao cotidiano do ser humano desde seu surgimento. A alteração da temperatura influenciou diretamente o deslocamento, moradia, e a alimentação do homem primitivo. A carência e vontade de se entender o clima não mudou, segue sendo fundamental conhecer as características climáticas para o planejamento do espaço urbano, maximizando de forma eficiente os investimentos de recursos públicos e privados nas atividades produtivas e de infraestrutura.

As razões para as alterações climáticas são diversas, e é crucial destacar que nem todas estão diretamente ligadas às atividades humanas, em certos casos, essas mudanças são reações naturais do próprio ambiente e determinadas condições. Contudo, na maioria das situações, a atuação humana tem intensificado os efeitos das mudanças climáticas.

De acordo com Ayoade (1986), o maior impacto do homem sobre o clima acontece nas áreas urbanas. O ser humano tem gerado um impacto tão grande nessas áreas, que o clima urbano é bastante distinto, por suas características, do clima das áreas rurais circundantes. Nas áreas urbanas, muda-se a composição química da atmosfera. As propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, como também seus parâmetros aerodinâmicos são modificados pelos processos de urbanização e industrialização. Os pântanos são drenados e as superfícies naturais são substituídas por superfícies pavimentadas, ruas e telhados de prédios. Como consequência disso, a radiação em ondas longas e a de ondas curtas são reduzidas sobre as áreas urbanas. As temperaturas aumentam, até quando há a diminuição da duração da insolação. A umidade é reduzida, mas há um certo aumento na precipitação e na quantidade de nebulosidade. Os nevoeiros e neblinas são mais espessos, ocorrendo com mais frequência e persistência, prejudicando a visibilidade. A turbulência cresce. Os ventos fortes são desacelerados e os ventos fracos são acelerados conforme se movimentam nas áreas urbanas.

Esse cenário não é recente, o processo de formação das cidades acontece desde os tempos do período neolítico, entretanto, sob a perspectiva estrutural, elas sempre estiveram relacionadas ao campo, pois dependiam deste para sobreviver. E essa expansão da urbanização está ligada diretamente na sanidade ambiental, e o crescimento desordenado é o principal dos problemas urbanos.

Consequentemente, com o advento desse processo de urbanização surgem alguns problemas, entre eles está a alteração do clima local e formações de ilhas de calor. Esse termo “Ilha de calor” pode ser entendido como um fenômeno climático urbano caracterizado pela maior temperatura das cidades em relação às áreas vizinhas, como as zonas rurais, e ocorre principalmente nos grandes centros, cujas áreas principais são marcadas pelo grande adensamento urbano.

Esse fenômeno acaba refletindo diretamente no conforto térmico e higrométrico das pessoas que habitam essas ilhas de calor. Quantidades de ar quente se formam em maior concentração no centro das cidades que sofrem com esse desequilíbrio, essa condição dificulta a evaporação, e reduz o poder de dispersão dos poluentes atmosféricos gerados, trazendo complicações para a vida no meio urbano.

Diversos pesquisadores nacionais e internacionais estudaram ou ainda estudam esse fenômeno. Dentre eles destacam-se Lombardo (1985), que conceitua o termo ilha de calor urbana como uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as circunvizinhas, formada devido à concentração de edificações, pavimentação e outras infraestruturas que absorvem e retêm calor.

Conti (1996), a define como sendo uma anomalia térmica positiva, que caracteriza a atmosfera das cidades em relação às áreas vizinhas. Conti também destaca que o fenômeno da ilha de calor afeta o clima urbano, influenciando a dinâmica atmosférica e a qualidade de vida, gerando desconforto térmico e contribuindo para a poluição.

Ayoade (1991) a resume como um aumento da temperatura em áreas urbanas em índices superiores aos da zona rural circundante. Ayoade (1991) também enfatiza que o fenômeno é mais pronunciado durante a noite, quando as áreas urbanas liberam o calor acumulado ao longo do dia, enquanto as áreas rurais esfriam mais rapidamente, tendo como resultado a variação térmica entre as áreas centrais das cidades e suas periferias ou zonas rurais, formando essa “ilha” de calor no meio da cidade.

Monteiro (1976) define o fenômeno “ilhas de calor” como uma situação em que a temperatura nas áreas urbanas é consideravelmente mais elevada do que nas áreas rurais circundantes, sendo resultado do desequilíbrio criado pela retenção de calor nas cidades durante o dia de sua liberação lenta à noite, o que impede o resfriamento noturno adequado.

Mendonça define “ilha de calor” como um fenômeno caracterizado pela elevação das temperaturas nas áreas urbanas em comparação com às áreas rurais circunvizinhas, e que esse fenômeno é resultado das transformações ambientais decorrentes da urbanização, como a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis (asfalto, concreto); a alteração nos padrões de ventilação; a maior retenção de calor pelos materiais de construção; e a geração de calor pelas atividades humanas (veículos, indústrias, equipamentos de climatização).

O aquecimento dessas Ilhas de Calor pode ser gerado por diversos fatores, como a produção de calor pelos motores dos veículos e pelos equipamentos domésticos e industriais, como máquinas, fornos e fogões; maior concentração de materiais como asfalto, concreto e superfícies escurecidas, elementos que absorvem de 98 a 99% da radiação solar que atinge a superfície; a presença de poucas áreas arborizadas, visto que as folhas das árvores absorvem o calor da atmosfera; e a construção de edifícios que dificultam e também em alguns casos impedem a circulação do ar.

Na maior parte das cidades brasileiras, essas mudanças no clima ocorrem principalmente devido aos processos de urbanização, que mudam o padrão médio do comportamento de algumas variáveis meteorológicas. Segundo Souza (2012), o crescimento da população urbana está diretamente relacionado com mudanças nos usos da terra e com a emissão de gases do efeito estufa, fatores que apresentam influência direta na modificação do clima.

De acordo com Santos (1994), a cidade é um meio ambiente construído, retrato da diversidade das classes, das diferenças de renda e dos modelos culturais. Desse modo, pode-se analisar que a mudança no campo térmico urbano é resultante deste caráter segregador e fragmentador da população entre bairros de diferentes classes e rendas, que possuem suas diferenças em relação ao planejamento, arborização e o acesso a áreas de maior extensão, que proporcionam menor intervenção no meio físico natural.

A avaliação dos dados dos últimos censos demográficos do IBGE mostra que os municípios brasileiros têm experimentado um intenso crescimento urbano, especialmente desde a segunda metade do século XX. Na cidade de Natal esse processo não foi diferente, de acordo com Silva (2001) a urbanização na cidade ocorreu principalmente devido ao aumento populacional, em que a migração rural-urbana foi significativa, com grande quantidade de pessoas se deslocando do interior do estado para a capital, buscando melhores oportunidades de emprego, educação e serviços de saúde, além de outros fatores impulsionadores, como a

expansão das atividades comerciais, de serviços e de infraestrutura. E, com esse notável processo de urbanização na cidade acabaram havendo impactos ambientais notáveis, como a substituição de áreas verdes por construções e pavimentações, e o fenômeno das ilhas de calor urbano.

Assim, este trabalho foi conduzido e trabalhado a partir de dois principais pontos. O primeiro é representado por uma hipótese, em que - Houve um aumento da temperatura média na cidade de Natal/RN nos anos de 1986 à 2023. E o segundo, com base nessa hipótese, buscou-se fazer uma relação entre o processo de urbanização em Natal e o aumento da temperatura média na cidade.

Essa relação entre o processo de urbanização e o aumento da temperatura e Natal se baseia na premissa de que o rápido crescimento urbano, tendo como consequência a alteração do uso do solo, a remoção de áreas naturais por superfícies pavimentadas e edificações, levam a uma maior retenção de calor, provocando o aumento da temperatura média na cidade.

E para examinar essa relação de que o processo de urbanização em Natal está relacionado com o aumento da temperatura média na cidade, foi realizada uma análise quantitativa dos dados de temperatura e urbanização no período de 1986 a 2023. As etapas e os modelos utilizados para se fazer essa análise estão apresentados na metodologia do trabalho.

### **1.1. Justificativa/relevância**

O estudo das dinâmicas climáticas é fundamental para a diminuição dos impactos ambientais decorrentes do crescimento urbano, como é o caso das ilhas de calor e da poluição atmosférica. Esses estudos climáticos ajudam a prever eventos extremos e a elaborar estratégias de adaptação, garantindo maior segurança e qualidade de vida para a população.

O interesse por esses estudos do clima urbano vem aumentando não somente pelo fato da maior parte da população brasileira e mundial viver nas cidades, mas também pelo processo de degradação desses ambientes e seus efeitos na qualidade de vida das pessoas, uma vez que, os estudos dos impactos das ilhas de calor urbano, da piora na qualidade do ar, e das altas temperaturas em áreas urbanas densamente povoadas tem relevância significativa

para a saúde pública, pois estão associadas ao bem estar e problemas de saúde, como doenças respiratórias e cardiovasculares.

Para o âmbito acadêmico, esse trabalho possui relevância significativa, pois oferece uma análise detalhada dos processos de urbanização e suas implicações climáticas, principalmente no que diz respeito às ilhas de calor urbano, contribuindo para a compreensão dos impactos ambientais causados pela urbanização, permitindo assim, o desenvolvimento de estratégias de mitigação e formulação de políticas públicas que possam melhorar a qualidade de vida e reduzir a morbidade e mortalidade associadas ao calor extremo.

Ademais, ao examinar casos específicos, como o de Natal, essa pesquisa enriquece o conhecimento sobre as particularidades regionais, permitindo comparações e a identificação de padrões que possam ser aplicados a outras áreas urbanas. Através desse estudo, o trabalho além de avançar no campo da climatologia urbana, contribui também na integração de conhecimentos interdisciplinares, essenciais para enfrentar os desafios climáticos e urbanos da atualidade.

Sendo assim, a relevância deste trabalho para o âmbito acadêmico é multifacetada, pois abrange outras áreas do conhecimento e oferece inúmeras contribuições de grande importância, visto que, a pesquisa sobre ilhas de calor urbano e suas implicações ambientais é crucial para a climatologia urbana, e ao fornecer uma análise detalhada dos processos de urbanização e seus efeitos climáticos, o estudo reforça a compreensão sobre as mudanças nas condições atmosféricas causadas pela ação humana, sendo esse, um tema de crescente importância diante das mudanças climáticas globais.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho é observar e caracterizar a variação de temperatura na cidade de Natal, e traçar uma relação entre essa variação de temperatura com o processo de urbanização na cidade, buscando-se por meio de levantamentos de dados enquadrar essa variação da temperatura média em um recorte temporal referente ao mesmo período de análise do processo de urbanização (1986-2023).

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Dentre os objetivos específicos, estão: Analisar dados climáticos e urbanísticos, coletando e analisando dados históricos de temperatura e urbanização em Natal; identificar padrões de temperatura, ou seja, verificar se há um aumento significativo nas temperaturas médias correlacionando com o crescimento urbano; e avaliar impactos dessas mudanças urbanísticas, isto é, identificar como a substituição de áreas verdes e o uso de materiais de construção influenciam o clima urbano.

## **2. METODOLOGIA**

Para construção da base conceitual da pesquisa realizada, foram utilizadas algumas ferramentas metodológicas, como a pesquisa de campo onde foi coletado dados na estação climatológica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) campus Natal, onde ela se encontra desde sua criação. Também buscou-se ofertar ao esqueleto deste trabalho o uso de métodos de medição de dados, realizando assim, cálculos referentes às médias de temperatura das décadas pertencentes ao recorte temporal analisado.

A metodologia empregada para a realização desta pesquisa foi fundamentada em um referencial teórico-metodológico sistematizado de forma a manter sua coerência com o tema abordado, seus respectivos assuntos e suas sub-referências. Foram empregados como materiais de análise os dados referentes à população e ao desenvolvimento urbano da cidade de Natal, no qual foram obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo plano diretor do município de Natal, que posteriormente passaram por uma batida de estudos e análises para serem trabalhados em um programa de elaboração de planilhas virtuais (Microsoft Excel), para seguir a uma etapa de confecção de tabelas que posteriormente dariam origem a uma série de gráficos. E para confecção dos mapas utilizou-se o software QGIS.

Quanto à análise dos dados de temperatura, utilizou-se o teste de tendência de Mann-Kendall para buscar a existência de tendências nas séries temporais de temperatura máxima, média e mínima no município de Natal. O teste de Mann-Kendall é um método estatístico não paramétrico utilizado para detectar a presença de tendências monotônicas (crescentes ou decrescentes) em séries temporais, sendo originalmente desenvolvido por Mann (1945) e mais tarde aprimorado por Kendall (1975).

A partir da aplicação do teste, foram obtidos dois parâmetros importantes, o coeficiente Tau de Kendall, que indica a direção e a magnitude da tendência, e o P-valor, que permite avaliar a significância estatística dessas tendências. Na cidade de Natal, os resultados desses coeficientes indicaram a presença de tendências crescentes em todas as três séries analisadas (temperatura máxima, média e mínima) no período de 1986-2023.

Posto isso, ao ser utilizado um método de pesquisa pautado na análise espacial-temporal da temperatura média da cidade de Natal e seus processos de urbanização com o objetivo de identificar a ocorrência da manutenção, ou alteração (diminuição ou aumento) dos valores de temperatura dentro da série temporal e espacial, manteve-se um carácter metodológico primariamente quantitativo e pragmático ao analisar cautelosamente os dados e buscar obter uma variável que comprove a hipótese primária que foi feita no começo desse projeto, da qual a temperatura média da cidade de Natal está subindo.

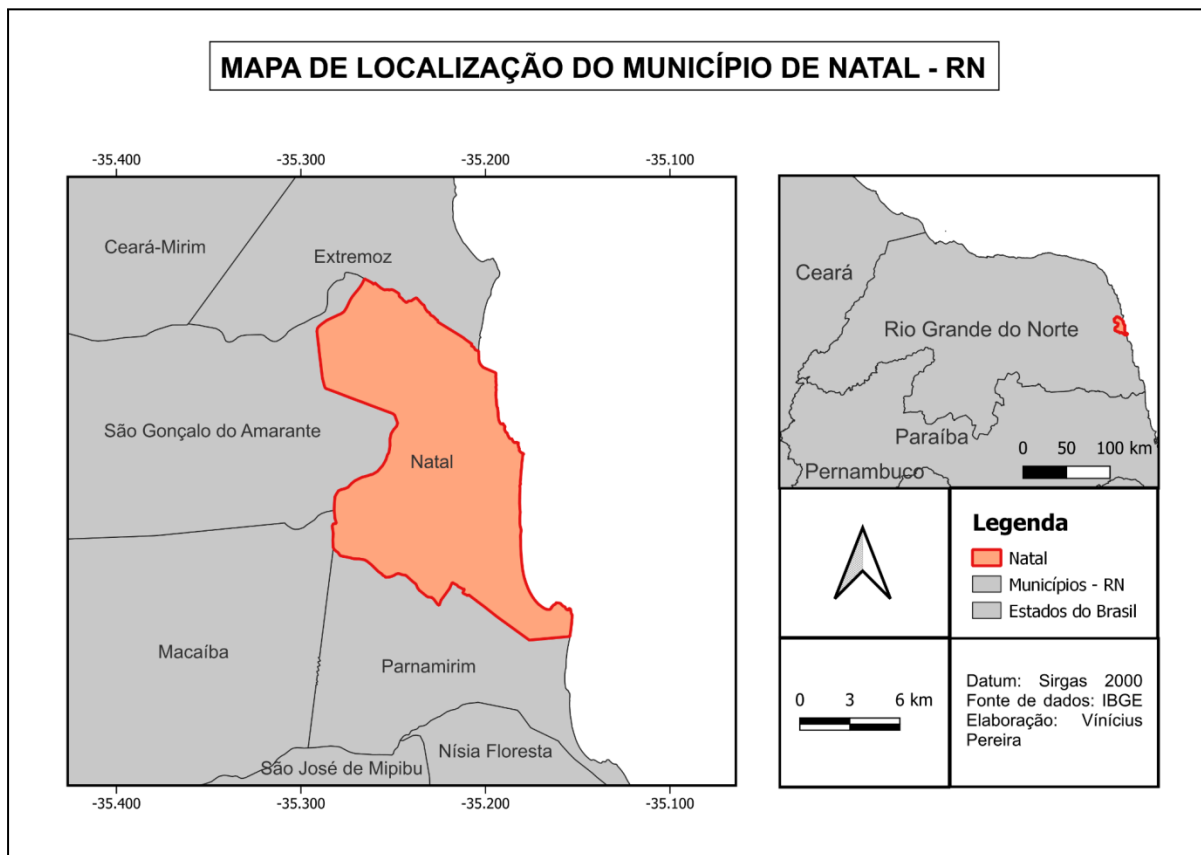
Partindo daí, então, buscou-se apresentar um carácter mais qualitativo e crítico ao enfatizar na tentativa de comprovação da segunda hipótese, de que esse aumento da temperatura média se deve ao processo desgovernado de urbanização ocorrido na cidade de Natal nos anos de 1986 à 2023.

Sendo assim, empregou-se neste trabalho uma metodologia que emprega tanto o pensamento crítico quanto o pensamento pragmático com o objetivo de realizar a análise mais completa possível.

## **2.1. Área de estudo**

A cidade de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, está situada na região nordeste do Brasil, ocupando uma posição estratégica, e localizada próximo a linha do Equador, atributos esses que influenciaram tanto seu clima quanto sua relevância histórica e econômica.

Está inserida entre as latitudes  $5^{\circ}43'S$  e  $5^{\circ}54'S$ , e entre as longitudes  $35^{\circ}09'W$  e  $35^{\circ}17'W$ . A cidade limita-se ao norte com o município de Extremoz, a oeste com São Gonçalo do Amarante, ao sul com Parnamirim e a com o Oceano Atlântico.

**Figura 1:** Mapa de Localização do Município de Natal/RN

De acordo com dados do Censo 2022 divulgados pelo IBGE, a cidade de Natal possui uma área territorial de 167.400 km<sup>2</sup>, com uma população total de 751.300 habitantes, representando um aumento de 75,2% em relação ao número populacional de 1980, em que registrava uma população de 428.721. Sua densidade demográfica de 4.805,24 hab/km<sup>2</sup>.

### 2.1.1. Clima

No que diz respeito ao clima, Natal pode ser classificada com um clima tropical úmido com verão seco, apresentando temperaturas médias bastante baixas e com umidade relativamente elevada, isso se dá devido a localização que a cidade se encontra, em uma posição litorânea, o que resulta em uma forte presença marítima. Quanto às precipitações, na cidade elas ocorrem sob a forma de chuva, que são geralmente acompanhadas de raios e trovões, porém, na maioria das vezes são chuvas raras e de pouca intensidade. A cidade também sofre consequências resultantes da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que se move para o norte e para o sul, e acabam por modificar a distribuição das precipitações na área durante essas estações de chuva.

Segundo Köppen, o clima de Natal é categorizado como do tipo AS (Clima tropical quente e úmido, com estação seca no inverno), sendo bastante influenciado pelas massas de ar que vem do Oceano Atlântico em que são formadas pelos ventos alísios de sudeste para noroeste, e com isso acabam contribuindo para as condições climáticas amenas da cidade.

De acordo com Campelo e Mendonça (2015), a cidade é classificada com o clima quente e úmido do tipo tropical, apresentando três meses secos. Os primeiros três meses são os que apresentam maiores quantidades de chuvas, de abril a junho, sendo na maior parte chuvas de outono-inverno. Suas temperaturas médias anuais ficam em torno de 26°C, com pouca variação ao longo do ano, e com um período chuvoso entre os meses de março a julho. Em relação às temperaturas máximas, estas ocorrem entre abril e julho, registrando chuvas torrenciais e esparsas. Essas temperaturas mudam sutilmente entre as estações, e nos meses mais quentes, que vão de dezembro a março, as temperaturas médias variam entre 24°C e 31°C. Já nos meses mais frescos, de junho a agosto, as temperaturas médias ficam entre 22°C e 29°C, e a proximidade da cidade com o Oceano Atlântico, aliada à brisa marítima constante, contribui para amenizar as temperaturas, prevenindo fenômenos climáticos extremos.

### **2.1.2. Expansão Urbana de Natal: Influências Históricas, Econômicas e Sociais**

Até o final dos anos 1930, Natal apresentava uma lenta expansão urbana, com pouca dinâmica e um espaço urbano composto por poucos bairros. Porém, no início da década de 40, com a influência da Segunda Guerra Mundial, a cidade entrou em uma nova fase, marcada pelo dinamismo na produção de equipamentos urbanísticos, expansão de serviços, comércio, crescimento populacional e, principalmente, expansão urbana, pois surgiram mais bairros na cidade do que em qualquer outra época.

O advento da Segunda Guerra Mundial foi importante para a expansão do tecido urbano da cidade e isto, em parte, foi impulsionado pela construção do Quartel de Mãe Luiza (alguns anos após o final da guerra o quartel foi extinto), do Quartel General do Exército em Tirol, do Aeroporto de Parnamirim ou Base Aérea de Natal e pela Base Naval (SOUZA, 1999).

Ainda durante esse período, a cidade de Natal presenciou um forte fluxo migratório proveniente do interior do estado do Rio Grande do Norte e de outras regiões do nordeste, devido ao surgimento desses empreendimentos e da crescente oferta de emprego, no qual

pessoas passaram a se direcionar à cidade, o que intensificou ainda mais a necessidade por equipamentos urbanos.

É somente a partir das décadas de 60 e 70 que a cidade sofre uma mudança expressiva com a intensa urbanização, em que, sucedeu-se a expansão acentuada dos loteamentos. Segundo Ferreira (1996), a produção imobiliária por intermédio dos parcelamentos formais privados do solo urbano foi de suma importância para consolidar a trama viária da cidade de Natal, além da sua morfologia e do atual padrão de crescimento orientado no sentido Natal-Parnamirim.

Nos anos 60 nos estados nordestinos, principalmente em suas capitais, começam a se dar as primeiras ações da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Dado o caráter urbano-industrial da política deste órgão, que se caracterizou pela concentração de grandes investimentos nos grandes centros urbanos da região, provocando nesse período a ocorrência de grandes fluxos migratórios para as capitais regionais. Em Natal essa tendência vai ocorrer na década de 1970 (SILVA, 2021).

O desenvolvimento do turismo foi outro importante fator na urbanização de Natal. A expansão das atividades turísticas não só ajudou a impulsionar o crescimento urbano, como também mudou a estrutura da cidade, visto que, os investimentos em turismo ocorreram em áreas distantes do centro antigo, especialmente na Zona Sul. Essa expansão aconteceu, principalmente, durante os anos 80, quando a cidade presenciou um “boom turístico”, com grandes investimentos na produção de uma rede hoteleira e de uma ampla infraestrutura urbana, cooperando de maneira decisiva para o crescimento do tecido urbano da cidade.

Assim é que, entre 1974 e 2000 dá-se a concentração dos serviços e sua ampliação de influência na economia terciária, particularmente em Natal, juntamente com as atividades ligadas ao turismo. Isto tornou-se fato econômico importante para o Estado. Deve ser levado em consideração, que "as indústrias estabelecidas a partir dos anos 70 e o turismo definiram uma concentração de capitais em Natal, que passa a ser o lugar dos pobres, que migram do campo e das cidades de todo espaço estadual." (FELIPE e GOMES, 1994). Nas duas imagens a seguir é possível observar o avanço da mancha urbana para o município de Natal.

**Figura 2:** Mancha urbana do município de Natal/RN em 1987



Fonte: Google Earth

**Figura 3:** Mancha urbana do município de Natal/RN em 2023



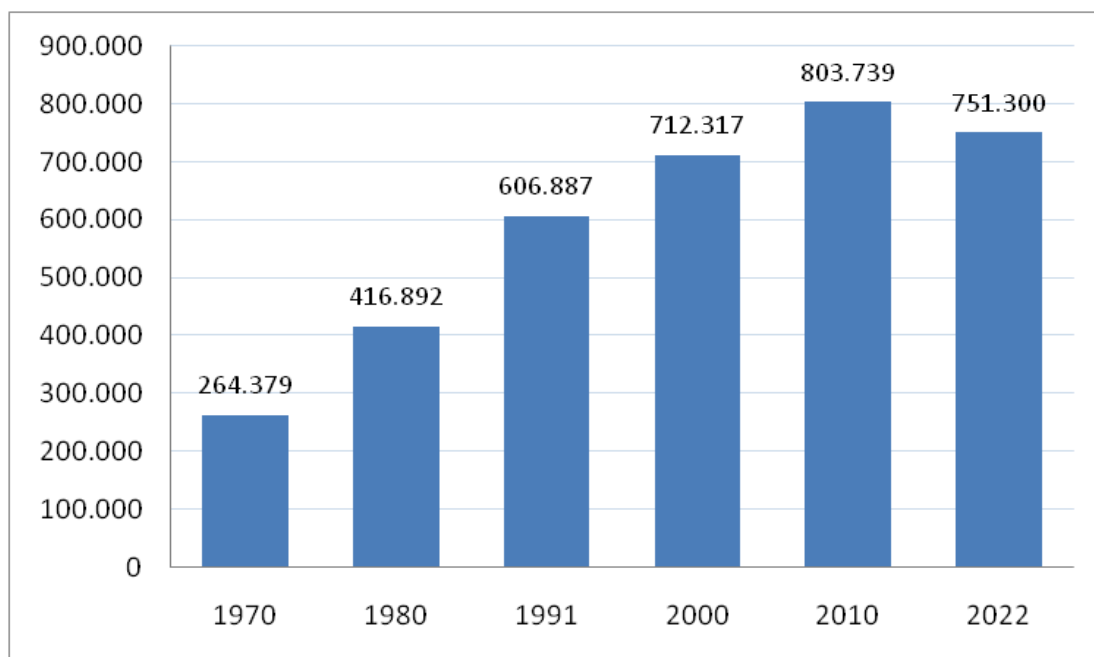
Fonte: Google Earth

A partir das figuras 2 e 3 pode-se observar mudanças significativas na mancha urbana da cidade, principalmente nas áreas da Zona Norte e Zona Sul, que passaram por intensas alterações urbanas.

Esse processo de expansão urbana da cidade de Natal foi caracterizado por uma urbanização desordenada e acelerada. As imagens de satélite mostram uma cidade com uma mancha urbana relativamente contida, enquanto as imagens de 2023 evidenciam a ocupação extensiva de áreas adjacentes, muitas das quais antes eram rurais. Segundo Oliveira (2021), esse crescimento foi impulsionado por fatores como a melhoria das condições de transporte e a implementação de políticas habitacionais, que facilitaram o acesso à moradia.

De acordo com Silva (2020) a urbanização na Zona Norte foi impulsionada por políticas habitacionais e pela busca de moradia acessível, resultando na construção de conjuntos habitacionais e na ocupação subutilizada. Essa expansão foi acompanhada pela melhoria da infraestrutura, como escolas e serviços de saúde, que atraiu um número crescente de moradores para a periferia da cidade. Na Zona Sul esse crescimento foi marcado pela verticalização de edifícios e pelo surgimento de novos empreendimentos comerciais, especialmente em áreas como Ponta Negra e Lagoa Nova.

Em resumo, eventos como a Segunda Guerra Mundial, a criação de loteamentos, programas habitacionais, atividades industriais, comércio e turismo desempenharam um papel crucial na expansão e transformação do espaço urbano de Natal. No Gráfico a seguir pode-se observar o aumento populacional na cidade de Natal.

**Gráfico 1:** Gráfico Populacional da cidade de Natal/RN

Fonte: IBGE/Elaboração: Autor 2024

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A análise da literatura sobre a mudança de temperatura nas áreas urbanas devido à urbanização é fortemente fundamentada em pesquisas que dissertam sobre as “ilhas de calor urbano” e suas consequências no clima local, destacando o impacto do crescimento nas temperaturas urbanas.

A pesquisa de Oke (1982) foi pioneira ao analisar como as ilhas de calor se formam e sua ligação com o desenvolvimento urbano. Descrevendo como a troca de vegetação por concreto e asfalto afeta a capacidade de resfriamento das superfícies, resultando em maior retenção de calor e temperaturas mais altas, principalmente nas grandes cidades.

O autor utilizou uma abordagem comparativa nesta pesquisa, examinando minuciosamente as disparidades de temperatura entre zonas urbanas densamente povoadas e zonas suburbanas e rurais, levando em conta a variação na topografia, densidade de construções, materiais de construções e presença de aglomerados, e utilizando demais dados, como os registros de temperatura, e umidade.

Em relação aos resultados encontrados na pesquisa, Oke observou que as temperaturas médias nas áreas urbanas são geralmente mais altas do que nas áreas rurais próximas, principalmente à noite. Ele relacionou o aumento de temperatura ao acúmulo de calor em superfícies urbanas (concreto, asfalto), à diminuição de áreas verdes e à elevada densidade de edifícios que retêm calor. O pesquisador também notou que as variações de temperatura dependiam da estação do ano, sendo mais expressivas no verão, e menos acentuadas em cidades com maior cobertura florestal. Essas descobertas fundamentam a ideia das "ilhas de calor" e destacam a relevância da vegetação e do planejamento urbano sustentável na redução do aquecimento em regiões urbanas.

No Brasil, cada vez mais estudos estão abordando a conexão entre o crescimento urbano e o aumento da temperatura. A pesquisa de Amorim, Duarte e Farias (2017) exemplifica bem esse tema, abordando a ligação entre o desenvolvimento das cidades e a mudança de clima em áreas tropicais destacando o impacto da expansão urbana no clima das regiões. Eles também investigaram como a urbanização e a substituição de vegetação por superfícies impermeáveis afetam o aumento de temperatura em ambientes urbanos, especialmente em regiões com alta exposição solar, como em Natal.

É importante observar que a intensa exposição solar, típica de cidades tropicais como Natal, influencia consideravelmente na origem das ilhas de calor urbanas e acabam por potencializar o aquecimento em regiões com muitas construções e pavimentos, em que o calor gerado durante o dia e o liberam lentamente à noite, causando temperaturas altas nessas áreas.

Já a pesquisa de Souza (2019) analisa a influência da urbanização no aumento da temperatura média nas cidades do Brasil, dando destaque para Natal/RN. Esse estudo buscou encontrar a ligação entre o crescimento das cidades e as mudanças de temperatura na região utilizando dados de séries históricas sobre o clima e imagens de satélite para acompanhar o desenvolvimento da expansão urbana.

Nesse estudo o autor utilizou uma série de dados e imagens de satélite para mapear a área urbanizada, além de registros meteorológicos para analisar a variação da temperatura ao longo do tempo. Essa abordagem envolveu a captura de imagens de satélite de vários anos e a execução de uma análise de sensoriamento remoto para detectar alterações na cobertura do

solo e na expansão urbana. Essas informações foram confrontadas com registros de temperatura ao longo do tempo com a intenção de relacionar o aumento da urbanização e os padrões de aquecimento.

Outro trabalho relevante que analisa o impacto das mudanças climáticas é o artigo de Castelhana e Pinto (2021), intitulado "Tendências e alterações climáticas no Estado de Sergipe, nordeste do Brasil", em que apresenta uma análise crítica das mudanças climáticas na região, com foco nas variabilidades térmicas e pluviométricas que afetam o estado de Sergipe. Neste artigo, os autores utilizaram dados de sete estações meteorológicas, sendo seis localizadas em Sergipe e uma em Alagoas, para calcular índices climáticos que refletem a situação de extremos térmicos e pluviométricos. A pesquisa revelou uma tendência alarmante de aumento das temperaturas e diminuição das chuvas, indicando um processo de aridez crescente na região, principalmente no sertão, que já é caracterizado por um clima semiárido.

Com relação aos resultados obtidos, a partir da análise das séries temporais, esses autores observaram que as alterações climáticas em Sergipe são reflexos de processos globais, mas que se manifestam de maneira particular em contextos locais. A pesquisa também destacou a importância de considerar as especificidades regionais ao abordar as mudanças climáticas, uma vez que, as dinâmicas socioambientais são integradas e influenciam diretamente a vida das populações locais.

Neste artigo, os autores também aplicaram o teste de Mann-Kendall, com o objetivo de analisar a presença de tendências monotônicas nos dados climáticos coletados de diversas estações meteorológicas. Esse teste gerou dois principais resultados, sendo eles, o valor  $p$ , que indica a significância da tendência, e o coeficiente tau, que sinaliza a direção da tendência (positiva ou negativa). A utilização desse teste de Mann-Kendall é particularmente relevante em estudos como o de Castelhana e Pinto, pois permite uma análise robusta das alterações climáticas, contribuindo para a compreensão das dinâmicas ambientais em contextos locais. Essa metodologia também foi empregada nessa pesquisa, reforçando a validade dos resultados obtidos e a importância de uma abordagem estatística na análise de dados climáticos.

Além disso, o artigo discute as repercussões socioeconômicas das alterações climáticas, enfatizando que a região do sertão será a mais afetada, devido sua vulnerabilidade

já existente. Os autores fazem uma conexão entre as condições climáticas e a identidade cultural do sertanejo, ressaltando como a relação com o clima semiárido molda aspectos físicos e sociais da vida na região. Essa análise é particularmente relevante para compreender como o processo de urbanização, que também ocorre em cidades como Natal, pode intensificar os efeitos das mudanças climáticas, uma vez que, o crescimento urbano na maioria das vezes resulta em ilhas de calor e alterações nos padrões de precipitação.

Dessa forma, o estudo de Castelhana e Pinto é uma contribuição significativa para a compreensão das tendências climáticas em Sergipe e suas implicações, servindo como um referencial importante para pesquisas sobre urbanização e mudanças climáticas em outras regiões do Brasil, como Natal.

#### 4. ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÕES

A partir dos coeficientes Tau de Kendall e dos valores de P-valor, foram observadas tendências significativas. Para a temperatura máxima, o coeficiente Tau foi de 0,106 com um P-valor  $<$ , sugerindo uma leve tendência crescente ao longo do período analisado. Já a temperatura média apresentou um coeficiente Tau de 0,146 com um P-valor  $<$ , indicando uma tendência de aumento mais expressiva em comparação à temperatura máxima. E quanto à temperatura mínima, o coeficiente Tau foi de 0,163, com um P-valor  $<$ , revelando uma tendência de crescimento mais acentuada entre as três séries.

**Tabela 1:** Resultados obtidos a partir do teste de Mann-Kendall.

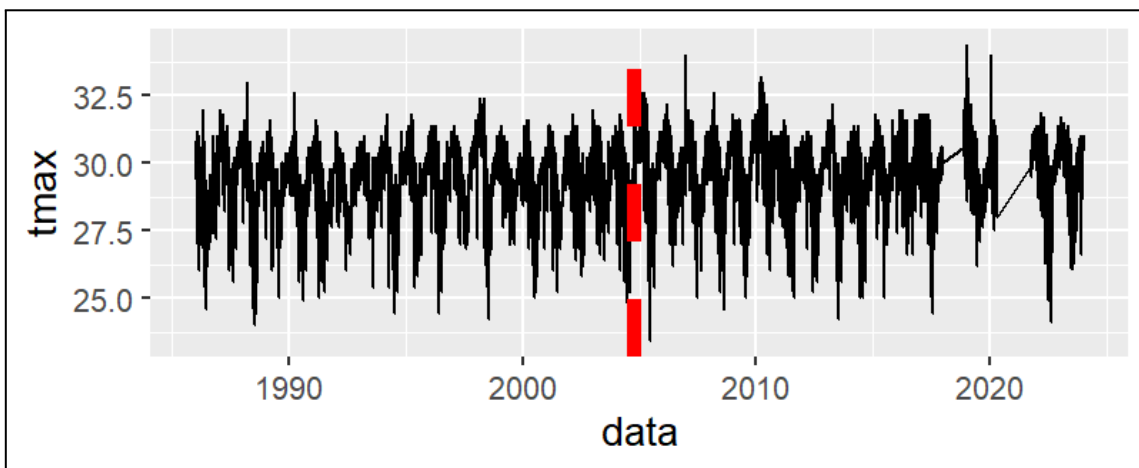
Séries Analisadas	Tau	P-valor
Temperatura Máxima	0,106	$<0.05$
Temperatura Média	0,146	$<0.05$
Temperatura Mínima	0,163	$<0.05$

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para complementar as análises sobre variação de temperatura aplicou-se o teste de Pettit, que consiste na detecção do ponto de mudança utilizado em séries temporais. O teste de Pettit é um método não paramétrico que identifica mudanças abruptas na centralidade de uma série temporal, ou seja, pontos onde ocorre uma alteração significativa na média dos dados (Pettitt, 1979).

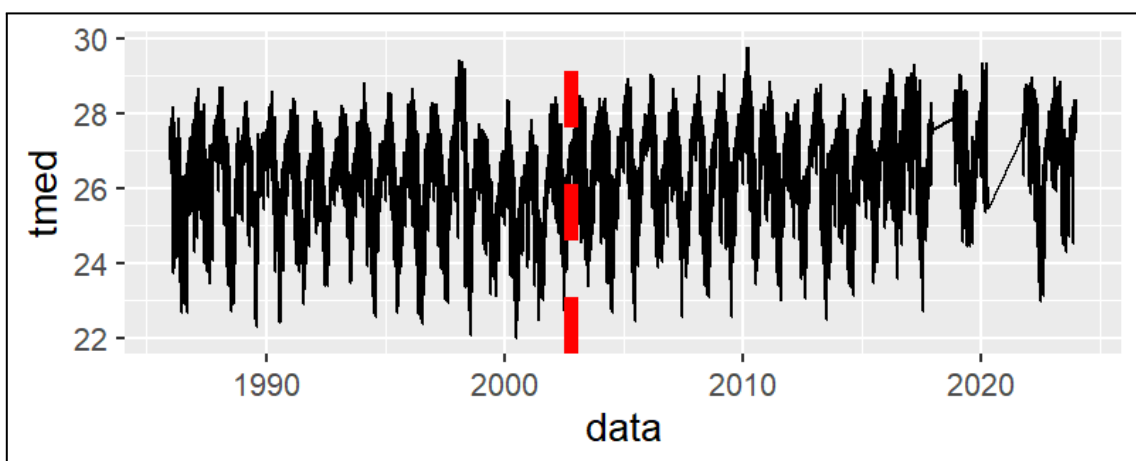
Dessa forma, neste trabalho, utilizou-se o teste de Pettit com o objetivo de identificar a data inicial da variação significativa na temperatura, no qual, a partir disso foi possível detectar três momentos significativos para cada uma das variáveis de temperatura analisadas. Em relação a temperatura máxima, a data identificada pelo teste de Pettit foi 04/10/2004; para a temperatura média, a data foi 18/10/2002; e para a temperatura mínima, o teste indicou a data de 27/10/2007, como mostrado nas figuras 4, 5 e 6 respectivamente.

**Figura 4:** Ponto de mudança identificado pelo Teste de Pettit para temperatura máxima.



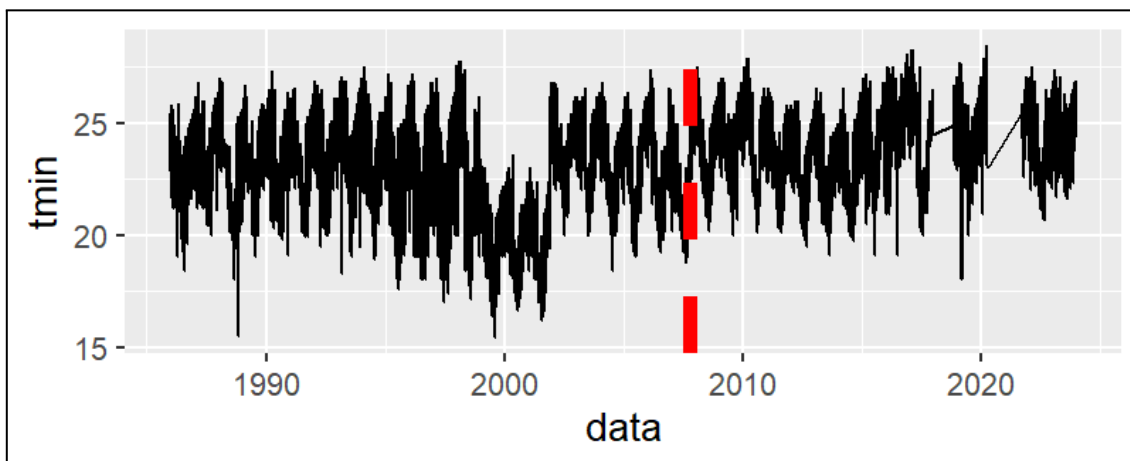
Fonte: Software Rstudio

**Figura 5:** Ponto de mudança identificado pelo Teste de Pettit para temperatura média.



Fonte: Software Rstudio

**Figura 6:** Ponto de mudança identificado pelo Teste de Pettit para temperatura mínima



Fonte: Software Rstudio

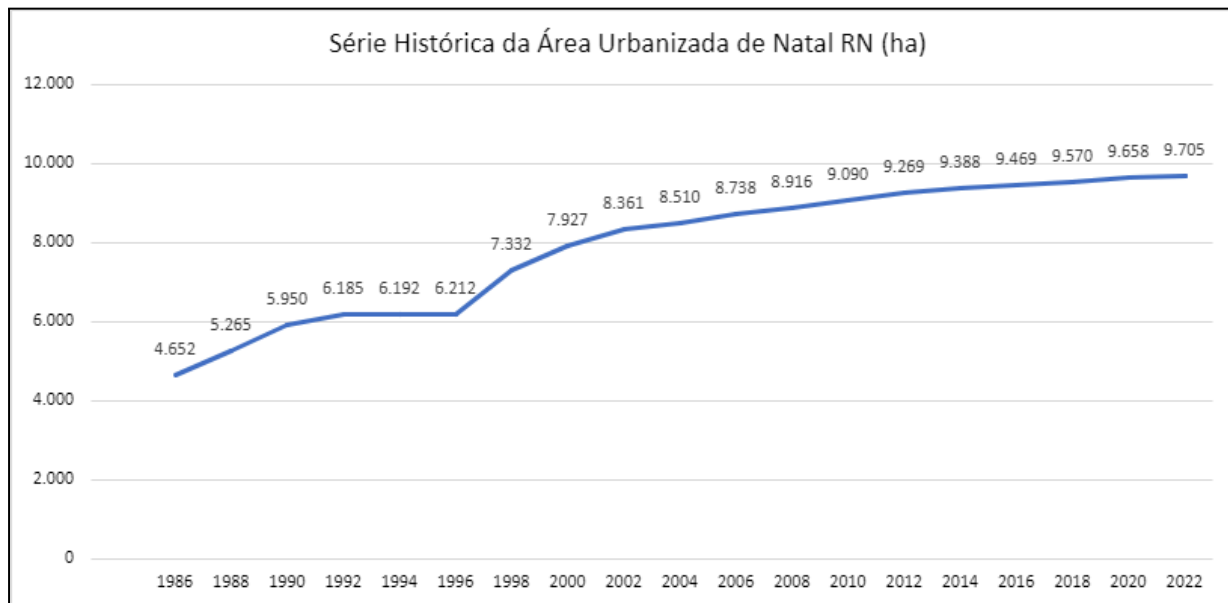
Neste trabalho também utilizou-se a regressão de GAM, técnica estatística que combina a simplicidade dos modelos lineares com a flexibilidade de funções de suavização, permitindo modelar relações complexas entre variáveis. Essa técnica é especialmente útil quando as relações entre variáveis são não-lineares ou apresentam padrões sazonais ou de longo prazo, como em séries temporais e dados ambientais.

A aplicação da regressão de GAM revelou um aumento consistente nas três séries de temperatura analisadas (máxima, média e mínima). Especificamente, observou-se um incremento na temperatura média de aproximadamente  $0,91^{\circ}\text{C}$  ao longo do período, correspondendo a uma taxa média de aumento de  $0,024^{\circ}\text{C}$  por ano. No caso da temperatura máxima, os resultados indicaram um aumento total de  $0,57^{\circ}\text{C}$  entre 1986 e 2023, equivalente a um crescimento anual médio de  $0,015^{\circ}\text{C}$ . Já para a temperatura mínima, verificou-se o maior aumento entre as três séries, com um incremento de  $1,63^{\circ}\text{C}$  no período analisado e uma taxa de aumento anual de  $0,043^{\circ}\text{C}$ .

Para além dos resultados sobre as tendências de temperatura, a urbanização de Natal nas últimas décadas também mostra transformações significativas. Durante o período analisado observou-se um processo contínuo e acelerado de expansão da área urbana, impulsionado principalmente pelo crescimento populacional e pela reorganização do uso do solo. Desde 1986, a cidade tem experimentado uma ocupação mais intensa de áreas que antes não eram urbanizadas, em especial nas zonas Norte e Sul, no qual tem sido os principais focos de expansão.

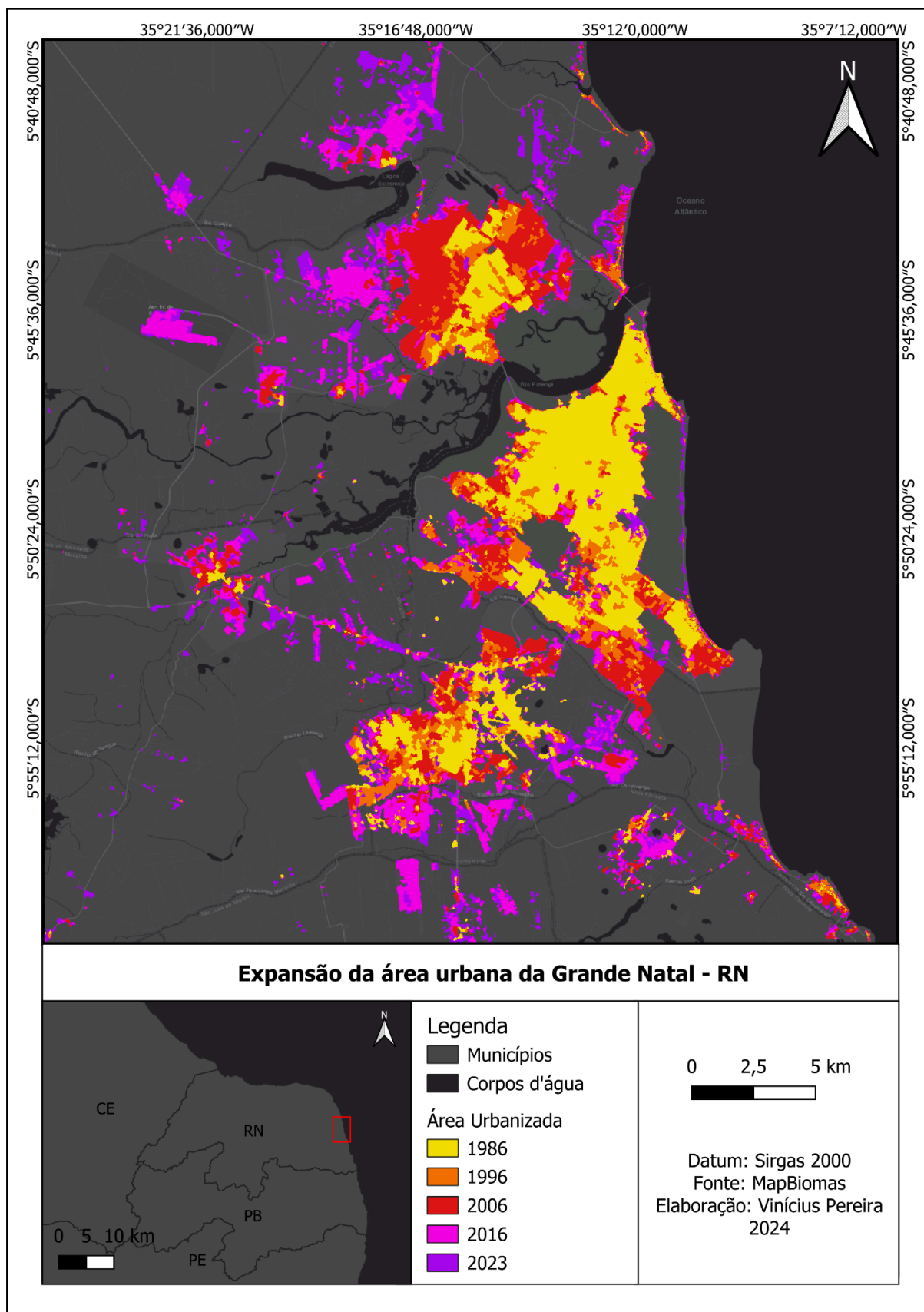
Essa tendência é evidenciada pelo gráfico de série histórica (Gráfico 2) e pelos mapas de área urbanizada, cobertura florestal e vegetal (figura 7, 8 e 9) a seguir, que mostram o aumento expressivo da urbanização e da diminuição da área vegetada, de 1986 a 2023.

**Gráfico 2:** Gráfico Série Histórica da Área Urbanizada de Natal/RN



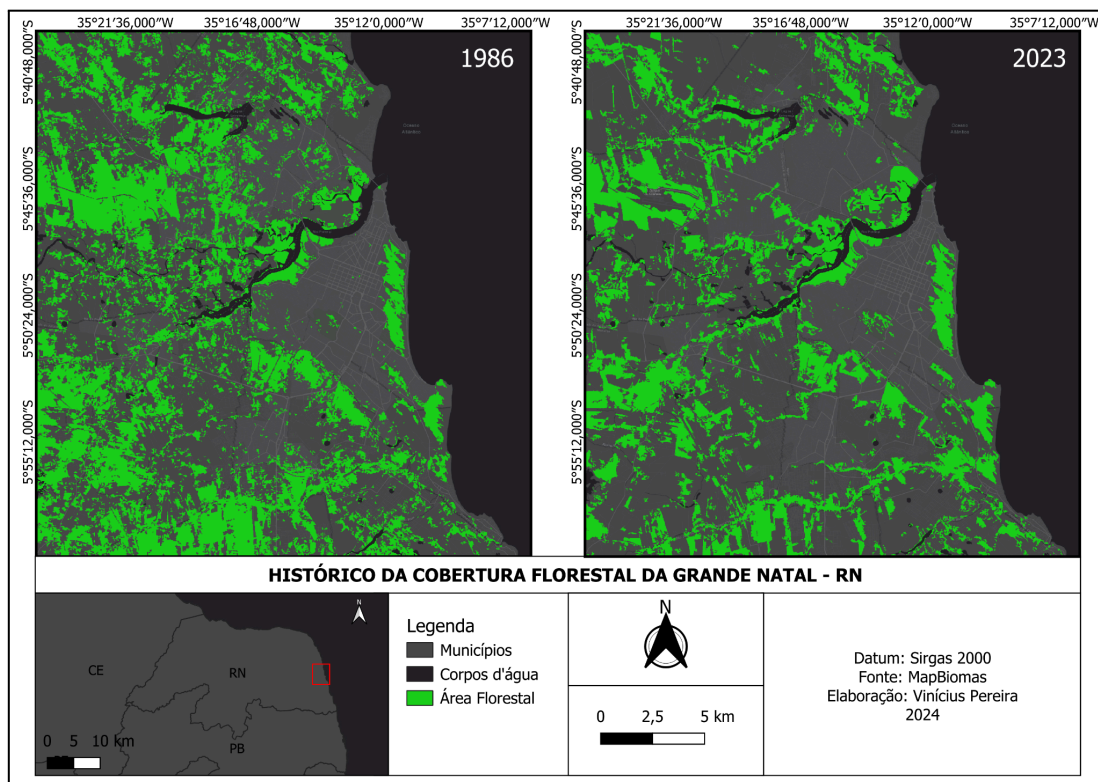
**Fonte:** MapBiomias/Elaboração: Autor 2024

**Figura 7:** Mapa de expansão da área urbana da Grande Natal - RN



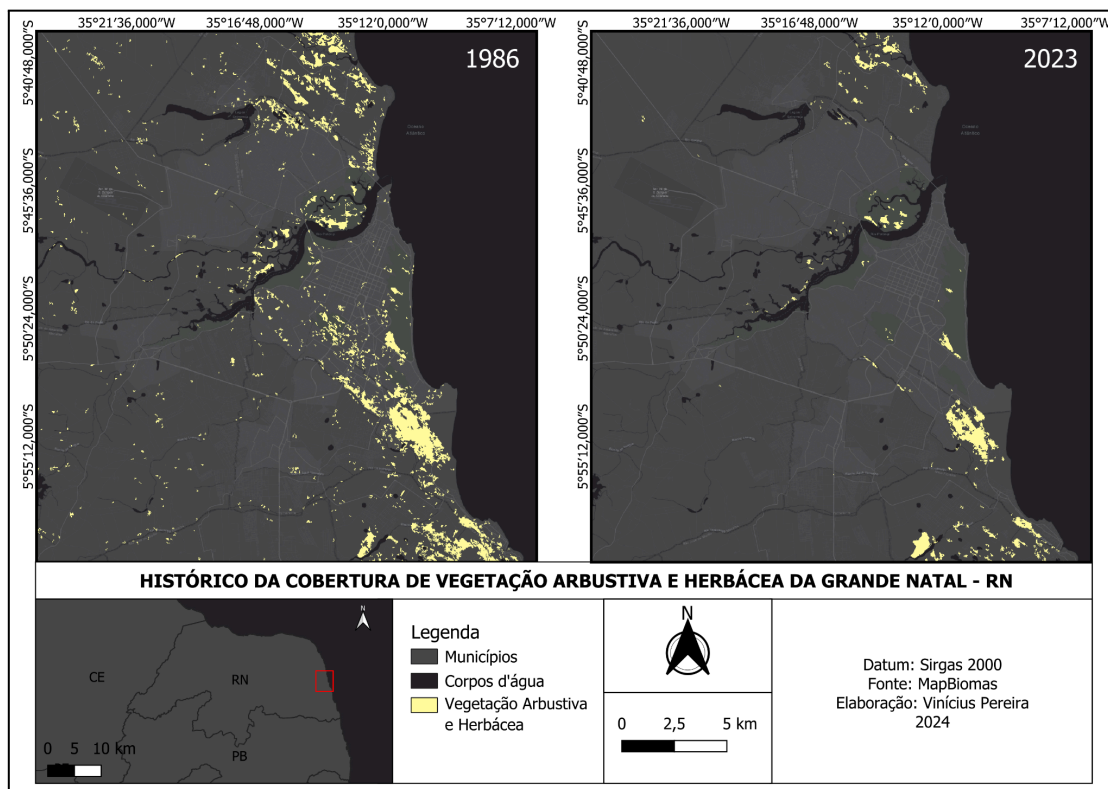
Fonte: MapBiomias/elaboração: Autor 2024

**Figura 8:** Histórico da cobertura florestal da Grande Natal - RN



Fonte: MapBiomias/elaboração: Autor 2024

**Figura 9:** Histórico da cobertura vegetal arbustiva e herbácea da Grande Natal - RN



Fonte: MapBiomias/elaboração: Autor 2024

A partir da análise dos dados de temperatura e dos mapas de área urbanizada, é possível observar que, conforme a mancha urbana de Natal se expandiu entre 1986 à 2023, as temperaturas na cidade aumentaram. Essa relação entre o aumento da temperatura e o crescente processo de urbanização pode ser explicada por meio de vários fatores associados às mudanças no uso do solo e a condições que favorecem o aquecimento da atmosfera local, o que resulta no fenômeno das “ilhas de calor”.

De acordo com Silva (2001), esse processo de crescimento urbano verificado na cidade de Natal é provocado, sobretudo, pela migração do campo para a cidade. Isso ocorre porque as cidades interioranas, devido a falta de emprego, não são capazes de reter a população local, e, a falta de políticas públicas, voltadas para a geração de emprego, melhoria da educação, saúde, habitação e lazer, também contribuem para esse processo de migração.

Ainda segundo Silva (2001), essas correntes migratórias que se dirigiram a Natal acompanharam a tendência de crescimento populacional de âmbito nacional e regional. E levando em consideração a dinâmica do setor produtivo que ocorre na cidade, a influência é cada vez maior sobre as populações rurais, que a vêem, como o lugar apropriado para satisfazerem as suas aspirações.

Assim, Natal teve um crescimento expressivo de habitantes até o ano de 2010. De acordo com o IBGE, em 1940 a cidade possuía 54.836 habitantes, representando 7,12% da população total do estado, enquanto que em 2010 a população do município cresceu para 803.739, representando 25,6% da população total do RN.

É a partir de dados do último censo demográfico divulgado pelo IBGE, referente ao ano de 2022, que podemos observar uma mudança nesse cenário, no qual, houve uma redução populacional de 6,5% (52.439 habitantes) na cidade comparada ao ano de 2010, além da diminuição relativa da participação do município na população total do estado, passando de 25,6% em 2010 para 22,7% em 2022.

Em contrapartida, como já mencionado, observou-se um aumento expressivo da urbanização na cidade no período de 1986 à 2023. Sendo assim, como explicar a redução da população na cidade em contraste com o aumento da urbanização? visto que, normalmente o crescimento urbano está relacionado com o aumento populacional.

Esse fenômeno pode ser explicado por um conjunto de fatores, dentre eles está o crescimento populacional de municípios da Região Metropolitana de Natal, principalmente os

municípios de Extremoz, São Gonçalo do Amarante, Parnamirim e Macaíba, que de 2010 a 2022, apresentaram taxas de crescimento de 150,8%, 32,1%, 24,8%, e 19,2% respectivamente, todas acima da média do estado (4,25%). Isso se deu devido a migração de pessoas em busca de moradias mais acessíveis, e a expansão de empreendimentos habitacionais, como o programa Minha Casa, Minha Vida, responsável pela construção de milhares de unidades habitacionais na última década.

Outro fator que pode explicar esse contraste é a expansão horizontal presente na cidade, pois, embora haja uma redução de habitantes em Natal, a expansão física da cidade continua por meio de novos empreendimentos imobiliários e comerciais. Estudos sobre a Região Metropolitana, como o de Silva (2001), mostram que essa urbanização interliga a capital com municípios periféricos, mantendo o crescimento da infraestrutura urbana, mesmo com a diminuição na densidade populacional.

Além disso, o aumento da urbanização pode estar relacionado ao desenvolvimento de infraestruturas, novos empreendimentos e áreas comerciais que atendem tanto a cidade quanto a região metropolitana. Sendo assim, o aumento da urbanização reflete uma transformação estrutural da cidade, enquanto a redução populacional está mais ligada a dinâmicas demográficas e regionais.

Importante destacar que essa expansão urbana na cidade ao longo das últimas décadas resultou na substituição de áreas naturais e vegetadas por pavimentação, construções e infraestrutura viária, assim, aumentando a absorção de calor, reduzindo o resfriamento por evapotranspiração e contribuindo para o aquecimento local.

Ademais, a urbanização, a concentração de construções e atividades humanas, gera calor adicional, o que intensifica o aquecimento urbano. Em cidades como Natal, que enfrentam um aumento constante na densidade populacional, o calor liberado pelas atividades humanas e pela infraestrutura urbana contribui para elevar as temperaturas médias em relação a áreas rurais ou menos urbanizadas. Esse fenômeno de aquecimento é documentado em diversos estudos e está associado a problemas de qualidade de vida e ao desconforto térmico da população urbana (SOUZA, 2019).

Dessa forma, o crescente processo de urbanização e conseqüentemente a redução da vegetação, evidenciam de forma clara uma relação entre o processo de urbanização e o aumento das temperaturas, uma vez que, essas mudanças no uso e ocupação do solo geram

um ambiente urbano mais aquecido e desencadeiam fenômenos como as ilhas de calor. A comparação dessas variáveis fornece uma evidência empírica da relação direta do crescimento urbano e o aumento da temperatura na cidade, indicando que a urbanização desordenada e a perda de vegetação natural contribuem para mudanças climáticas locais.

Vale ressaltar que esse efeito é documentado em diversos estudos sobre o impacto da urbanização no clima das cidades, que mostram que a temperatura média de áreas urbanas tende a aumentar com a intensificação da ocupação urbana e a transformação da paisagem natural.

Esses fatores acabam reforçando a necessidade de ações, para mitigar os impactos da urbanização no clima local e buscar soluções que minimizem o aquecimento urbano. Nesse contexto, o poder público desempenha um papel fundamental na execução de políticas e medidas que promovam uma urbanização de forma sustentável, alinhada à preservação ambiental.

Dentre essas ações, investir no aumento da cobertura verde em áreas urbanas, como a criação de parques, jardins e no plantio de árvores em vias públicas e bairros com menor cobertura vegetal, pode ser uma boa solução para reduzir o efeito das ilhas de calor, visto que, a vegetação absorve o calor e contribui para a melhoria da qualidade do ar. O programa "Arboriza Natal", por exemplo, pode ser ampliado e modernizado para incluir corredores verdes em regiões mais vulneráveis.

Uma reforma urbana sustentável também seria outra medida bastante eficaz, no qual, se adotariam materiais de construção que reduzissem a absorção de calor e pudessem ajudar a reduzir a temperatura local, como telhados frios, tintas que refletissem a luz solar, e pavimentos permeáveis. Em Natal, onde há grande incidência solar, essa substituição do asfalto tradicional por materiais menos absorventes pode fazer bastante diferença.

Outra medida que poderia ser implementada é a realização de políticas de urbanização inteligente, que consiste em um planejamento urbano que equilibre o crescimento da cidade com a preservação ambiental, incluindo a revitalização de áreas degradadas, a preservação de manguezais e outras zonas naturais essenciais no entorno da cidade. Nesse contexto, o poder público pode promover habitações sustentáveis, melhorar o transporte público e incentivar a ocupação de áreas já urbanizadas, reduzindo a necessidade de expansão desordenada.

A urbanização acelerada nas últimas décadas tem gerado preocupações significativas em relação às mudanças climáticas, especialmente nas áreas urbanas. A literatura existente destaca a formação de ilhas de calor urbano e suas consequências para o clima local, um fenômeno que se torna cada vez mais relevante em cidades como Natal.

Oke (1982) foi um dos primeiros a investigar as ilhas de calor urbano, descrevendo como a substituição de vegetação por superfícies impermeáveis, como concreto e asfalto, resulta em maior retenção de calor. O autor observou que as temperaturas médias nas áreas urbanas são geralmente mais altas do que nas áreas rurais adjacentes, especialmente à noite, devido ao acúmulo de calor em superfícies urbanas. Essa análise foi fundamental para entender como o crescimento urbano impacta o clima, especialmente em regiões tropicais.

Amorim, Duarte e Farias (2017) ampliam essa discussão ao abordar a relação entre o desenvolvimento das cidades e as mudanças climáticas em áreas tropicais. Esses autores destacam que a urbanização e a substituição de áreas verdes por superfícies impermeáveis além de aumentar as temperaturas, também alteram os padrões de precipitação. Essa relação é especialmente relevante para Natal, onde a urbanização tem sido rápida e intensa, trazendo grandes desafios climáticos.

A pesquisa de Oke e a análise de Amorim et al. se complementam ao fornecer uma base sólida para entender as dinâmicas climáticas em áreas urbanas. A relação entre urbanização e clima, abordada por esses autores, destaca a necessidade de estratégias de mitigação e políticas públicas que levem em conta as particularidades regionais, como é o caso de Natal.

Em resumo, a revisão da literatura indica que a urbanização não é apenas um fenômeno de crescimento populacional, mas um fator determinante nas mudanças climáticas locais. Os estudos de Oke, Amorim, Duarte e Farias juntos oferecem uma visão ampla sobre as consequências climáticas da urbanização, reforçando a necessidade urgente de estratégias sustentáveis para o planejamento das cidades.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi justificado pela crescente preocupação com os impactos que a urbanização tem causado no clima, principalmente em cidades tropicais, como no caso de Natal, em que a urbanização desordenada, junto do aumento populacional, tem gerado alterações climáticas que afetam diretamente a qualidade de vida da população. E a análise da variação da temperatura média na cidade, em relação ao processo de urbanização, é fundamental para entender essas mudanças e buscar soluções que promovam uma urbanização mais sustentável.

O objetivo geral do trabalho foi analisar a variação da temperatura na cidade de Natal, no período de 1986 a 2023, relacionando essas variações com o processo de urbanização. Esse objetivo foi alcançado, já que a pesquisa mostrou um aumento de  $0,91^{\circ}\text{C}$  na temperatura média, estando diretamente ligado à expansão urbana da cidade, pois foi através da coleta e análise de dados que foi possível identificar essa relação entre urbanização e variações na temperatura.

Quanto aos objetivos específicos do trabalho, também foram alcançados. O primeiro, que consistia em analisar dados climáticos e urbanísticos, foi cumprido com a coleta de dados diário sobre temperatura, o segundo objetivo, que buscava verificar se o crescimento urbano estava ligado a um aumento nas temperaturas médias, também foi atendido, ao mostrar que a urbanização e a substituição de áreas verdes por superfícies impermeáveis contribuíram para esse aumento da temperatura, e o terceiro objetivo, que avaliava os impactos das mudanças urbanísticas, foi atingido ao evidenciar como a verticalização e o aumento do tráfego de veículos, por exemplo, afetam o clima local.

Quanto a hipótese inicial do trabalho, que afirmava que houve um aumento da temperatura média na cidade de Natal entre 1986 e 2023, foi confirmada. Os dados analisados sustentaram essa afirmação, mostrando que o crescimento urbano e a urbanização desordenada estão diretamente relacionados ao aumento da temperatura média.

Já a metodologia adotada para este trabalho incluiu a coleta de dados de temperatura na estação climatológica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e a aplicação de testes estatísticos, como a regressão de GAM e o Teste de Mann-Kendall, que permitiram uma análise robusta e fundamentada das variações climáticas na cidade.

Entretanto, o trabalho apresenta algumas limitações, como o período de análise que foi restrita aos anos de 1986 a 2023, o que pode não refletir completamente as tendências climáticas de longo prazo. Além disso, a dependência de dados de uma única estação climatológica pode limitar a aplicação dos resultados para outras regiões da cidade,

Por fim, recomenda-se que futuras pesquisas ampliem o escopo temporal e espacial da análise, incorporando dados de outras estações e considerando fatores adicionais, como a influência de políticas públicas e práticas de planejamento urbano. E os desdobramentos deste trabalho podem servir de base para estratégias que ajudem a mitigar as ilhas de calor e de desenvolvimento de um planejamento urbano mais sustentável.

## REFERÊNCIAS

Rocha, L, M, V. et al. Ocupação do Solo e Ilha de Calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 11, p. 161-175, Jul./set. 2011;

Lucena, A. J. Notas Conceituais e Metodológicas em clima urbano e ilhas de calor. *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 2, n.2, 2013;

MONTE-MÓR, R. L. O que é o urbano, no mundo contemporâneo. In: *Revista paranaense de desenvolvimento*. Curitiba, n.111, p.09-18, jul./dez. 2006;

SANDRA, F. C.; Urbanização e Rede Urbana Brasileira: Orientação Teórica e Metodológica Preliminar. In: *Simpósio de Pós-Graduação em Geografia do Estado de São Paulo*;

Monteiro, C. A. F. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano. *Geosul*, nº9 - Ano V – 1º semestre de 1990;

Lima, N. R., Pinheiro, G. M., Mendonça, F. Clima urbano no Brasil: análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro;

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Tradução Maria Juraci Zani dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002;

CEPES. Centro De Estudos, Pesquisas e Projetos Econômico-Sociais. Painel de Informações Municipais 2011;

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Banco de dados agregados - Sidra;

MONTEIRO, C. A. de F. Ilhas de Calor: Clima Urbano e Conforto Térmico. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, IBGE, v. 38, n. 1, p. 3-17, 1976.

LOMBARDO, M.A. Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: HUCITEC, 1985.

MENDONÇA, F. *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2004.

CONTI, J. B. Ilhas de Calor nas Metrôpoles: O Clima das Cidades. In: CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. *Geografia do Clima: Fundamentos e Perspectivas*. São Paulo: Editora Atual, 1996.

SILVA, Anelino Francisco da. *Migração e Crescimento Urbano: Uma Reflexão sobre a Cidade de Natal, Brasil*.

CASTELHANO, Francisco Jablinski. *O clima e as cidades*. 1. ed. Curitiba: InterSaberes, 2020.

OKE, Timothy R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, [s.l.], v. 108, 1982.

AMORIM, Marcelo Corrêa; DUARTE, Paulo de Tarso; FARIAS, Marcos de Almeida. Efeitos da urbanização no clima local de cidades tropicais: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 20, 2017.

SOUZA, João Pedro; SILVA, Maria Clara; OLIVEIRA, Lucas Andrade. Expansão urbana e aumento das temperaturas médias em Natal/RN: uma análise de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia e Clima*, v. 15, 2019.

CASTELHANO, Francisco Jablinski; PINTO, Josefa Eliane Santana de Siqueira. Tendências e alterações climáticas no Estado de Sergipe, nordeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, Universidade de São Paulo, v. 42, e185565, 2022. DOI: 10.1590/2236-2878.

FERREIRA, A. L. de A. et al. A participação do sistema de incorporação na produção do espaço urbano em Natal. In: RIBEIRO, Luis C. de Q. et al. *A crise da moradia nas grandes cidades: da questão da habitação à reforma urbana*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1996.

ALEXANDRE, Malco Jeiel de Oliveira; GARCÍA, F. F.; NUNES, E. *Las oscilaciones climáticas en la atmósfera urbana de la ciudad de Natal, Brasil a través de las series largas de temperaturas del aire*. *Holos*, v. 29, n. 5, 2013.