



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**AVALIAÇÃO DE ONDAS DE CALOR E SUA CONTRIBUIÇÃO NA
INTENSIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR EM BELO HORIZONTE. ESTUDO
DE CASO SETEMBRO DE 2023**

Igor Costa Fernandes

**Belo Horizonte
2025**

Igor Costa Fernandes

**AVALIAÇÃO DE ONDAS DE CALOR E SUA CONTRIBUIÇÃO NA
INTENSIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR EM BELO HORIZONTE. ESTUDO
DE CASO SETEMBRO DE 2023**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Belo Horizonte
2025

IGOR FERNANDES COSTA

AVALIAÇÃO DE ONDAS DE CALOR E SUA CONTRIBUIÇÃO NA INTENSIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR EM BELO HORIZONTE. ESTUDO DE CASO SETEMBRO DE 2023.

c

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 05 de Dezembro de 2025

Banca examinadora:

Prof. Dr. Carlos Wagner G Andrade Coelho – Orientador – Cefet-MG

Prof. Msc. Carolina Dias da Oliveira – Cefet-MG

Prof. Dr. Ricardo José Gontijo Azevedo – Cefet-MG

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão à minha família, que sempre me ofereceu suporte e apoio ao longo de toda a minha trajetória estudantil. Em especial, registro meus sinceros agradecimentos à minha avó Vera Lúcia, cujo incentivo contínuo desde a infância e cuja valorização da educação foram essenciais para minha formação. Foi ela quem me transmitiu o nobre desejo pelo conhecimento e me ensinou que “o saber não ocupa lugar”, princípio que carrego comigo ao longo da vida. Adiante, registro meus profundos agradecimentos à minha mãe, Jucélia, e ao meu pai, João Henrique, que sempre foram grandes apoiadores e verdadeiros agentes possibilitadores da minha formação desde o início. O afeto, a dedicação e a presença constante de ambos foram absolutamente indispensáveis para que eu chegassem até aqui. Expresso também meu reconhecimento pelo apoio e pelo amor de minha irmã, Ana Clara, bem como minha gratidão à minha tia Juliana, cuja trajetória acadêmica e profissional sempre serviu como inspiração e que, ao longo de toda a minha caminhada, esteve torcendo por mim. Enfim, sou imensamente grato a cada membro da minha família que, de alguma forma, contribuiu, apoiou e acreditou no meu percurso.

Em segundo lugar, expresso meus agradecimentos aos professores do CEFET-MG que acompanharam minha trajetória ao longo dos cinco anos de graduação, contribuindo de maneira decisiva para a minha formação acadêmica, profissional e humana. Agradeço, em especial, ao professor Carlos Wagner Coelho, pela orientação dedicada, pelo apoio incondicional e pelo incentivo constante durante o desenvolvimento deste trabalho. Manifesto também minha gratidão à professora Carolina Dias e ao professor Ricardo Gontijo pela participação na banca avaliadora e pelas contribuições que fortaleceram a qualidade desta

pesquisa. Ademais, registro meu sincero agradecimento à psicóloga da instituição, Érica Barezani, cujo apoio foi fundamental em diversos momentos da graduação.

Em terceiro lugar, manifesto meus agradecimentos aos colegas e amigos que estiveram ao meu lado ao longo da graduação, compartilhando desafios, conquistas e aprendizados ao longo dessa trajetória. A convivência, o apoio mútuo e a parceria constante foram fundamentais para tornar esse percurso mais leve e enriquecedor. Estendo igualmente meus agradecimentos aos amigos de fora do ambiente universitário, que sempre me ofereceram apoio, compreensão e incentivo nos momentos mais importantes.

Ademais, registro minha gratidão e reconhecimento ao professor e agente político Gabriel Azevedo, cuja contribuição nas pesquisas bibliográficas realizadas para este Estado da Arte foi de grande relevância. Estendo meus agradecimentos ao vereador e gestor público Helton Junior e à sua equipe de gabinete, pela colaboração ímpar e pela disponibilidade. Outrossim, agradeço à engenheira e gerente do clima da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belo Horizonte, Ana Paula, pela atenção, esclarecimentos e contribuições para a construção desta pesquisa.

Por fim, reconheço a importância das políticas públicas que tornaram possível o privilégio de realizar minha formação em uma instituição federal de excelência — um direito que, infelizmente, ainda não é plenamente universalizado em nosso país.

*Entro para uma rezinha maneira, pedindo a Deus
que abençoe esta moderna capital de Minas.*

(Fernando Sabino)

RESUMO

FERNANDES, Igor C. **Avaliação de ondas de calor e sua contribuição na intensificação das ilhas de calor em Belo Horizonte. Estudo de caso setembro de 2023.** 2025. 109 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

O presente trabalho analisa os fenômenos climáticos que afetam a cidade de Belo Horizonte, com ênfase nas ilhas de calor urbanas e na onda de calor que atingiu o município em setembro de 2023. A revisão do Estado da Arte contempla estudos sobre o crescimento e a expansão urbana da capital, evidenciando como a urbanização e suas consequências se relacionam diretamente com as dinâmicas climáticas locais e a intensificação de eventos térmicos extremos. Assim, investiga-se de que maneira as ondas de calor potencializam as ilhas de calor existentes em diferentes regiões da cidade e como esses efeitos estão associados ao planejamento urbano e ao processo de ocupação do território. Além disso, discute-se a vulnerabilidade socioespacial diante desses fenômenos, considerando desigualdades estruturais entre as regionais de Belo Horizonte. Para isso, utilizou-se ferramentas de geoprocessamento e PDI (Processamento Digital de Imagens) para a análise de dados de temperatura por meio de gráficos e mapas que ilustram o comportamento térmico nos dias anteriores, durante e posteriores ao evento extremo. Os resultados evidenciam a correlação entre distribuição urbana, eventos climáticos extremos e injustiça ambiental, demonstrando que populações de menor renda estão mais expostas aos impactos negativos desses fenômenos, que podem se intensificar mutuamente. Dessa forma, constata-se que, em uma mesma cidade e sob a influência de uma mesma onda de calor, os efeitos percebidos variam conforme as condições urbanísticas e socioeconômicas. Regiões planejadas e de maior poder aquisitivo tendem a sofrer menos com o desconforto térmico, enquanto áreas com menor infraestrutura e maior adensamento populacional experimentam impactos significativamente mais severos, configurando um cenário de injustiça climática.

Palavras-chave: Belo Horizonte. onda de calor. ilhas de calor. planejamento.

ABSTRACT

FERNANDES, Igor C. **Assessment of heat waves and their contribution to the intensification of urban heat islands in Belo Horizonte. Case study: September 2023.** 2025. 109 p. Monograph (Bachelor's Degree in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025..

The present study examines the climatic phenomena affecting the city of Belo Horizonte, with an emphasis on urban heat islands and the heatwave that impacted the municipality in September 2023. The review of the State of the Art includes studies on the city's urban growth and expansion, highlighting how urbanization and its consequences are directly related to local climatic dynamics and the intensification of extreme thermal events. Accordingly, this work investigates how heatwaves amplify existing heat islands across different regions of the city and how these effects are linked to urban planning and the territorial occupation process.

In addition, the research discusses socio-spatial vulnerability in the face of these phenomena, considering the structural inequalities among Belo Horizonte's regions. To support the analysis, geoprocessing tools and Digital Image Processing (DIP) were employed to evaluate temperature data using graphs and maps that illustrate thermal behavior on the days preceding, during, and following the extreme event. The results reveal a clear correlation between urban distribution, extreme climatic events, and environmental injustice, showing that lower-income populations are more exposed to the negative impacts of these phenomena, which may intensify one another.

Thus, the study demonstrates that, within the same city and under the influence of the same heatwave, the effects experienced by the population vary according to urbanistic and socioeconomic conditions. Planned regions with higher income levels tend to experience less thermal discomfort, whereas areas with limited infrastructure and greater population density face significantly more severe impacts, characterizing a scenario of climatic inequality.

Keywords: Belo Horizonte. heat wave. urban heat islands. planning.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2 OBJETIVOS..... | 13 |
| 2.1 Objetivo Geral..... | 14 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 14 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 15 |
| 3.1 Histórico de Belo Horizonte..... | 15 |
| 3.2 Contexto Atual da Capital Mineira..... | 19 |
| 3.3 Desconstrução da “Cidade Jardim”..... | 21 |
| 3.4 Urbanização e Clima..... | 27 |
| 3.5 Eventos Climáticos..... | 31 |
| 3.5.1 Ilhas de Calor..... | 33 |
| 3.5.2 Ondas de Calor..... | 37 |
| 3.5.3 Racismo Ambiental: Diferentes Impactos na Mesma Cidade..... | 43 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 46 |
| 4.1 Dados de Temperaturas..... | 47 |
| 4.2 Análise Térmica de Minas Gerais..... | 48 |
| 4.3 Análise Térmica de Superfície de Belo Horizonte..... | 48 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 50 |
| 5.1 Registros da Onda de Calor..... | 50 |
| 5.1.1 Históricos de Medição..... | 53 |
| 5.1.1.1 Estação Pampulha..... | 54 |
| 5.1.1.2 Estação Cercadinho..... | 57 |
| 5.1.1.3 Estação Ibirité..... | 61 |
| 5.1.1.4 Estação Florestal..... | 66 |
| 5.1.2 Análise Térmica de Minas Gerais..... | 71 |
| 5.1.3 Análise Térmica de Belo Horizonte..... | 74 |
| 6 CONCLUSÕES..... | 87 |
| 7 RECOMENDAÇÕES..... | 89 |
| 7.1 Câmara Municipal..... | 89 |
| 7.2 Gerência do Clima..... | 91 |
| 8 REFERÊNCIAS..... | 93 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Planta geral da cidade de Belo Horizonte, 1887..... | 16 |
| Figura 2 – Parte da Mancha Urbana Atual de Belo Horizonte..... | 20 |
| Figura 3 – Área Antiga e Original do Parque Américo Renné Giannetti..... | 23 |
| Figura 4 – Área Original do Parque Américo Renné Giannetti..... | 24 |
| Figura 5 – Foto Avenida Afonso Pena na década de 1930..... | 25 |
| Figura 6 - Imagem Atual da Avenida Afonso Pena..... | 26 |
| Figura 7 - Evolução Temperatura Média em Belo Horizonte..... | 27 |
| Figura 8 - Variação Térmica Municipal..... | 29 |
| Figura 9 - Ilhas de Calor em Belo Horizonte..... | 35 |
| Figura 10 - Dilatação piso do Campus Nova Gameleira..... | 38 |
| Figura 11 - Áreas Críticas Para ondas de Calor em Belo Horizonte..... | 40 |
| Figura 12 - Exposição às ondas de calor em 2030..... | 41 |
| Figura 13 - Impacto Potencial às ondas de calor em 2030..... | 42 |
| Figura 14 - Renda Média de Belo Horizonte Por Região..... | 44 |
| Figura 15 – Gráfico contendo as temperaturas máximas, mínimas e precipitação (chuva), da estação convencional, com suas respectivas normais climatológicas (1991-2020)..... | 50 |
| Figura 16 – Gráficos contendo as temperaturas máximas e mínimas das estações automáticas..... | 51 |
| Figura 17 – Mapa das Localizações das Estações Automáticas..... | 53 |
| Figura 18 - Análises de Temperaturas Máximas e Mínimas 15/09 a 05/10 (2020 - 2025) - Estação Pampulha..... | 54 |
| Figura 19 - Temperaturas Máximas na Estação Pampulha (2020 - 2025)..... | 57 |
| Figura 20 - Análises de Temperaturas Máximas e Mínimas 15/09 - 05/10 (2020 - 2025) - Estação Cercadinho..... | 58 |
| Figura 21 - Temperaturas Máximas na Estação Cercadinho (2020 - 2025).... | 61 |
| Figura 22 - Análises de Temperaturas Máximas e Mínimas 15/09 - 05/10 (2020 - 2025) - Estação Ibirité..... | 62 |
| Figura 23 - Temperaturas Máximas na Estação Ibirité (2020 - 2025)..... | 65 |
| Figura 24 - Análises de Temperaturas Máximas e Mínimas 15/09 - 05/10 (2020 - 2025) - Estação Florestal..... | 66 |
| Figura 25 - Temperaturas Máximas na Estação Ibirité (2020 - 2025)..... | 70 |
| Figura 26 - Mapa de Temperaturas Máximas em Minas Gerais 20/09/2023 - 30/09/2023..... | 72 |
| Figura 27 - Comparativo de Temperaturas de Superfície em Belo Horizonte (22/09 e 24/10 de 2023)..... | 75 |
| Figura 28 - Áreas Verdes Institucionalizadas em Belo Horizonte..... | 77 |
| Figura 29 - Mapa Hipsométrico em Belo Horizonte..... | 78 |
| Figura 30 - Ilhas de Calor nas Regionais de Belo Horizonte..... | 79 |

| | |
|--|----|
| Figura 31 - Corte de Perfil Venda Nova..... | 80 |
| Figura 32 - Corte de Perfil Noroeste/Pampulha..... | 81 |
| Figura 33 - Divisa Regionais Noroeste e Pampulha..... | 83 |
| Figura 34 - Corte de Perfil Expominas..... | 84 |
| Figura 35 - Corte de Perfil Hipercentro..... | 85 |
| Figura 36 - Região Hipercentro de Belo Horizonte..... | 86 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Episódios ENSO 1950 - 2023..... 39

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas e Técnicas

APPs – Áreas de Preservação Permanente

BDMG – Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais

BH – Belo Horizonte

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CMBH – Câmara Municipal de Belo Horizonte

COMCLIMA-BH - Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas

COVs – Compostos Orgânicos Voláteis

CSN – Companhia Siderúrgica Nacional

CQNUMC – Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima

CVRD – Companhia Vale do Rio Doce

ENSO - El Niño-Oscilação Sul

FAO – Food and Agriculture Organization

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

Gelim-SMMA – Gerência do Clima da Secretaria Municipal de Meio Ambiente

GEE – Gases de Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICU – Ilha de Calor Urbana

IDW – Inverse Distance Weighted

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MG – Minas Gerais

MP – Material Particulado

NOAA/PSL - Administração Nacional Oceânica e Atmosférica

NO₂ – Óxidos de Nitrogênio

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PBH – Prefeitura de Belo Horizonte

PDI – Processamento Digital de Imagens

PIB – Produto Interno Bruto

PL – Projeto de Lei

PLAC - BH - Plano Local de Ações Climáticas

PMAU - Plano Municipal de Arborização Urbana

PPAG – Plano Plurianual de Ação Governamental

PSD – Partido Social Democrático

REGIC – Regiões de Influência das Cidades

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

SBN - Soluções Baseadas na Natureza

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SO₂ – Dióxidos de Enxofre

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFV – Universidade Federal de Viçosa

USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são denominadas como as mudanças do clima atribuída diretamente ou indiretamente à atividade humana que altera a composição da atmosfera global e que, em adição a variabilidade natural do clima, é observada sobre longos períodos, de acordo com a Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima (UNFCCC, 1992). Tal fenômeno transcorre em diversos locais do mundo, possuindo diferentes manifestações e efeitos, inclusive nos grandes centros urbanos, causando danos à qualidade de vida da população que ali reside.

Dentre os efeitos diversos provocados pelas mudanças climáticas, citam-se as ondas de calor, fenômeno que pode ser definido como os períodos prolongados de calor excessivo, frequentemente acompanhados por alta umidade, que podem ter efeitos adversos significativos sobre a saúde humana, o meio ambiente e os sistemas socioeconômicos (OMM, 2015). Tal acontecimento se mostra cada vez mais recorrente nos últimos anos e possui consequências diversas em todo o equilíbrio climático mundial, sobretudo nos danos causados à integridade humana e na vida em sociedade.

É relevante correlacionar o fator extremo do clima citado anteriormente com o agravamento das ilhas de calor, fenômeno em que áreas urbanizadas apresentam temperaturas significativamente mais elevadas do que as áreas rurais vizinhas, devido à substituição da vegetação por materiais impermeáveis, como asfalto e concreto, que absorvem e retêm calor (AMORIM; CÂMARA, 2020).

Especificamente, o estudo tratou da onda de calor que ocorreu na capital mineira no ano de 2023, no mês de setembro - neste mesmo ano ainda houve outras três ondas de calor registradas, nos meses de agosto, novembro e dezembro (Itatiaia, 2023) – sendo o mês de setembro, de tamanha gravidade, que houve a suspensão de aulas nas unidades belorizontinas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) no dia 26 de setembro de 2023. Ademais, o caso chama atenção pelo fato de que, no mesmo ano, Belo Horizonte ter sido a capital que mais registrou aumento nas temperaturas médias (Amda, 2023), sendo um contraponto ao histórico da capital, que recebia o apelido de “Cidade Jardim” nas longínquas décadas do século passado, graças ao clima local ameno e larga

arborização na área urbana. Ademais, no dia 25 de setembro de 2023, Belo Horizonte registrou seu dia mais quente da medição histórica, durante uma onda de calor.

Em outra perspectiva, tanto as ondas de calor quanto as ilhas de calor exercem impactos significativos e prejudiciais sobre o espaço urbano, afetando de forma desigual diferentes regiões da cidade. Alguns setores urbanos apresentam maior vulnerabilidade aos efeitos adversos desses fenômenos climáticos, resultado de uma série de fatores que contribuem para a desigualdade socioespacial. Entre eles destacam-se a ausência de planejamento urbano e de arborização, o uso e ocupação irregulares do solo, o adensamento populacional, as variações altimétricas, as condições locais de ventilação, o intenso fluxo de veículos e a escassez de áreas verdes. Nesse contexto, evidencia-se uma forte relação entre as desigualdades socioespaciais e a intensificação dos eventos climáticos em grandes centros urbanos. Populações que residem em áreas historicamente negligenciadas pelo planejamento urbano tendem a sofrer mais intensamente durante períodos de ondas de calor e, simultaneamente, têm maior probabilidade de estar inseridas em regiões caracterizadas como ilhas de calor, o que agrava ainda mais seus efeitos adversos.

Conforme citado sobre o contexto climático do ano de 2023, é de se evidenciar que os danos causados pelas variações extremas do clima, em específico a onda de calor, não são eventos isolados e ignoráveis, uma vez que, a medida que o tempo passa, a alteração extrema do clima está afetando cada vez mais o cotidiano da população, possuindo diversos danos negativos e prejudiciais para a vida humana que serão discutidos no presente trabalho.

2 OBJETIVOS

Diante do cenário exposto, o presente trabalho tem como proposta de analisar dois fenômenos climáticos, uma onda de calor e a variação térmica na superfície indicando as ilhas de calor na cidade. Portanto, os objetivos propostos abaixo, fundamentaram a pesquisa.

2.1 Objetivo Geral

Diante do exposto na introdução, o trabalho tem como objetivo avaliar a onda de calor ocorrida em setembro de 2023 e analisar seus impactos sócioclimáticos na cidade de Belo Horizonte, estabelecendo a relação entre esse evento extremo, a intensificação das ilhas de calor urbanas e as dinâmicas do planejamento urbano.

2.2 Objetivos Específicos

Ainda, para subsidiar o objetivo geral acima, têm-se como objetivos específicos, abaixo:.

- Coletar dados de temperatura mínima e máxima, em Minas Gerais, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET dentro do período de estudo;
- Processar imagem orbital do satélite Landsat 8 na faixa espectral termal para identificação de ilhas de calor na superfície de Belo Horizonte;
- Tratar estatisticamente de forma analítica os dados do INMET para compreender sua dinâmica no tempo e no espaço na capital mineira;
- Georreferenciar os dados através do QGIS 3.40.12 com todos os dados coletados;
- Correlacionar os dados estatisticamente e gerar mapas finais com tais informações; e
- Identificar possíveis influências antrópicas na dinâmica parcial e espacial dos dados coletados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

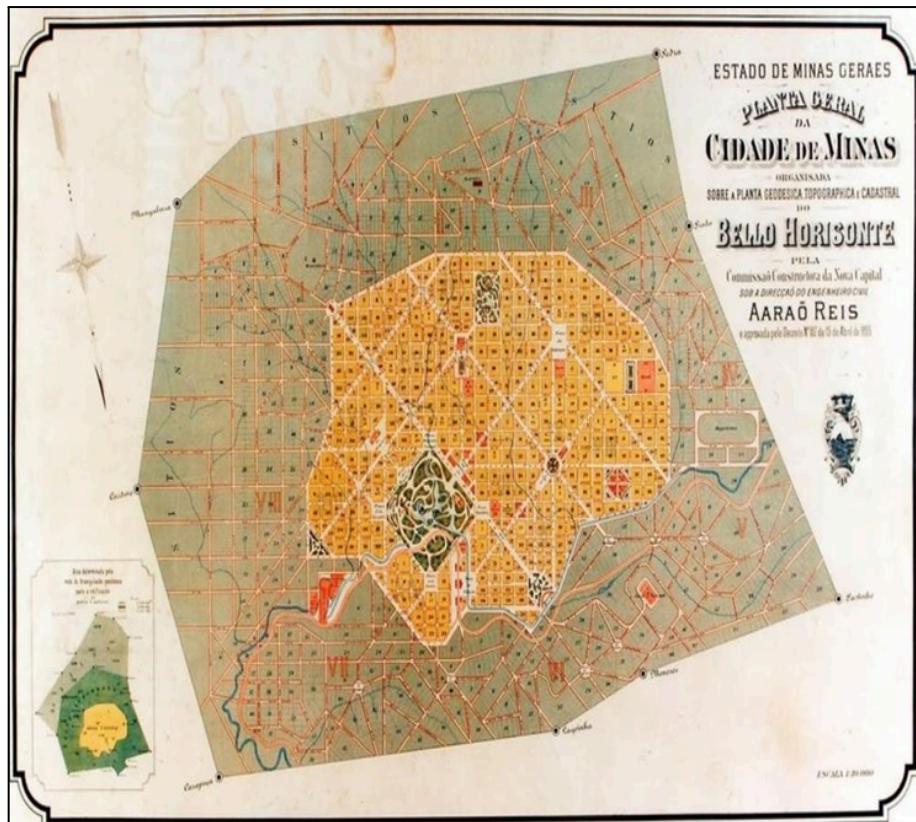
3.1 Histórico de Belo Horizonte

Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, na região Sudeste do Brasil, foi fundada em 12 de dezembro do longínquo ano de 1897. A escolha do local para sediar a nova capital envolve diversos fatores, entre os quais se destaca o clima ameno da região, considerado um dos critérios relevantes para sua implantação (SOUZA, 2014). A cidade que se situa aproximadamente 852 metros acima do nível do mar, foi projetada por Aarão Reis (1853-1936), tendo este como um idealizador de uma cidade símbolo de modernidade no Brasil, projetada sob influência dos ideais urbanísticos europeus do século XIX, com traçado geométrico, avenidas largas e zoneamento funcional, refletindo o ideal republicano de progresso e ordem (GOMES, 2010, p.45). É certo que, conforme escreve Ama Monteiro e Vânia Carvalho, no capítulo “Clima e Planejamento Regional” da obra “Climatologia Urbana e Regional – Questões Teóricas e Estudos de Caso” (p. 93, 2013), o ser humano prefere o modo de vida urbano a mais de 10 mil anos; sendo assim, em um contexto de expansão da urbanidade, foi escolhido a região do Curral Del Rey para ser a nova área de expansão urbana do estado de Minas Gerais, em outros termos, a capital do estado, que viria ser chamado de Belo Horizonte.

Inicialmente, a cidade foi desenhada para abrigar 200.000 habitantes, tendo em consideração as condições de vento e amenas temperaturas locais, possuindo parques urbanos, avenidas bulevares e praças com jardins públicos dentro do perímetro urbano – naquela época, dentro dos limites circundados pela avenida do Contorno (FERREIRA; ASSIS, 2017).

A Figura 1 mostra a planta geral inicial da cidade que seria a terceira e última capital do estado de Minas Gerais.

Figura 1 – Planta geral da cidade de Belo Horizonte, 1887



Fonte: Gomes (2010)

No início do século XX, Belo Horizonte foi reconhecida como “cidade jardim” em virtude de sua intensa arborização e do projeto urbanístico que privilegiava a integração entre espaços urbanos e áreas verdes, imagem esta amplamente evocada nas primeiras décadas de sua história e relembrada na comemoração de seus cem anos (CARVALHO, 2011). No ano de 1924, o clássico poeta Mário de Andrade (1893 – 1945) escreveu o poema “Noturno de Belo Horizonte”, sendo exposto pelo icônico escritor modernista a harmonia climática da cidade e sua abundância de árvores naqueles tempos.

*“Maravilha de milhares de
brilhos vidrilhos,
Calma do noturno de Belo
Horizonte...
O silêncio fresco desfolha
das árvores*

*E orvalha o jardim só.
Larguezas.*

*Enormes coágulos
de sombra.
O polícia entre rosas...*

*Onde não é preciso, como
sempre...*

Há uma ausência de crimes

*Na jovialidade infantil do
friozinho.
Ninguém.*

*O monstro desapareceu.
Só as árvores
do mato- virgem
Pendurando a tapeçaria
das ramagens
Nos braços cabindas
da noite.
Que luta pavorosa
entre floresta e casas...*

Todas as idades humanas

*Macaqueadas
por arquiteturas
históricas (...)”
(ANDRADE, 1987)*

A partir da década de 1930, Belo Horizonte passou a apresentar um crescimento urbano acelerado, processo que já naquele período começou a impactar diretamente o clima local. A

intensificação da urbanização alterou padrões ambientais fundamentais, como a temperatura do ar e a velocidade dos ventos, evidenciando os primeiros efeitos da transformação do espaço urbano sobre o microclima da cidade (ASSIS; ABREU, 2009; FERREIRA, 2009 apud FERREIRA et al., 2017).

Esse processo de expansão ganhou novo impulso na década de 1940, durante a gestão do então prefeito Juscelino Kubitschek (1940–1945), quando Belo Horizonte passou a se destacar no cenário nacional tanto do ponto de vista cultural quanto econômico. Nesse período, a cidade tornou-se mais atrativa em razão de uma série de acontecimentos estruturantes, como a realização da Semana de Arte Moderna de Belo Horizonte, em 1944, que reuniu importantes nomes da cultura brasileira; a ampliação da demanda por mão de obra industrial, impulsionada pela instalação de grandes empreendimentos metalúrgicos e siderúrgicos, como Mannesmann, Belgo-Mineira e Acesita, no contexto das políticas de industrialização de base do governo de Getúlio Vargas; e a criação do Conjunto Arquitetônico da Pampulha, idealizado por Juscelino Kubitschek com a colaboração de Oscar Niemeyer e Burle Marx (OLIVEIRA, 2024). Conjuntamente, esses fatores contribuíram para o aumento populacional e para a expansão física da cidade.

Na sequência, ao longo das décadas centrais do século XX — especialmente a partir de sua segunda metade — Belo Horizonte vivenciou um intenso processo de metropolização, marcado por um crescimento urbano acelerado, descentralizado e, em muitos casos, pouco planejado. Esse avanço foi fortemente impulsionado pela intensificação do êxodo rural, que levou parcelas expressivas da população do interior de Minas Gerais a migrarem para a capital em busca de oportunidades de trabalho e melhores condições de vida. Como resultado desse movimento, entre 1950 e 1970 Belo Horizonte registrou a maior taxa proporcional de crescimento populacional do país, consolidando-se como um dos principais polos urbanos nacionais (SALLES, 2025).

Esse processo de expansão urbana ocorreu, ainda, em um contexto político-institucional que limitou a autonomia municipal. Durante a ditadura civil-militar (1964–1985), Belo Horizonte foi classificada como “área de segurança nacional” a partir do Ato Institucional nº 3, de 1966, o que resultou na supressão das eleições diretas para prefeito. Nesse período, o chefe do Executivo municipal passou a ser indicado pelo governador do estado, reduzindo

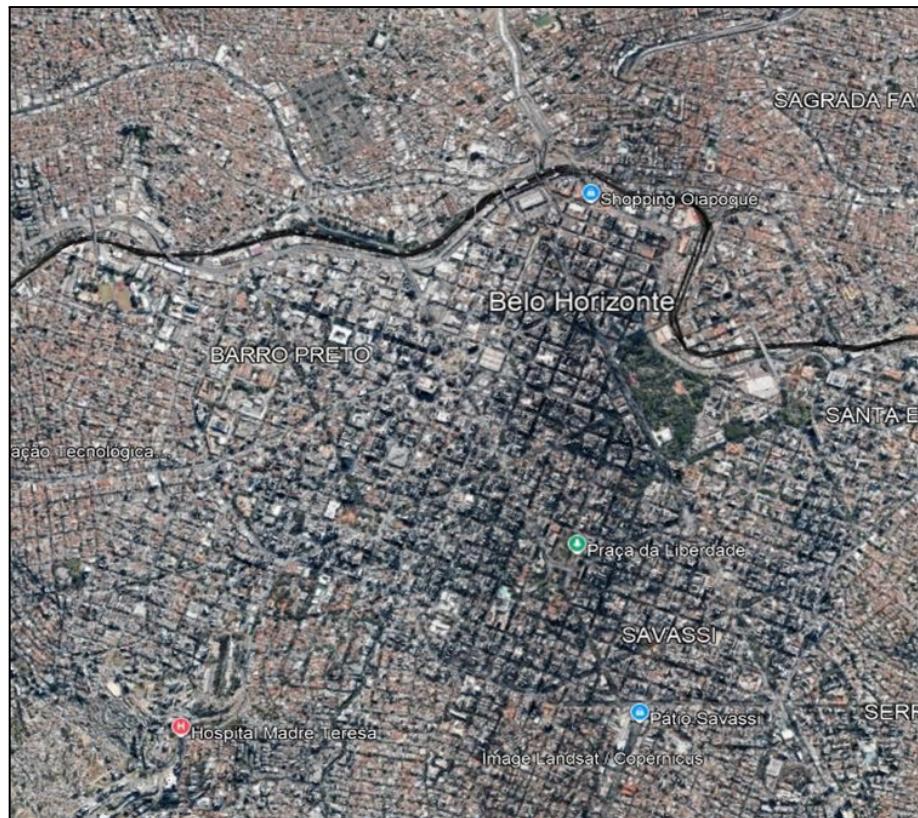
significativamente a capacidade da cidade de definir e implementar políticas urbanas alinhadas às suas dinâmicas socioespaciais e às demandas crescentes da população (BRASIL, 1966). Tal condição contribuiu para a adoção de um modelo de crescimento urbano frequentemente dissociado do planejamento territorial integrado.

Paralelamente a essas transformações políticas, a metropolização da capital se intensificou a partir da década de 1970. Em 1973, foi formalmente instituída a Região Metropolitana de Belo Horizonte, conectando a capital aos municípios do entorno e ampliando sua área de influência econômica e demográfica. Como consequência desse conjunto de fatores — crescimento populacional acelerado, expansão urbana desordenada e limitações institucionais ao planejamento — a população de Belo Horizonte ultrapassou a marca de 1 milhão de habitantes ainda na década de 1970, consolidando sua condição de metrópole regional (NOGUEIRA; CAMARGO, 2025).

3.2 Contexto Atual da Capital Mineira

Atualmente, Belo Horizonte se contextualiza como uma das cidades mais relevantes do país, tendo uma população residente estimada em 2.315.560, com uma densidade demográfica de 6.988,18 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022). Além de possuir uma área territorial, de acordo com o IBGE de 2024, de 331,354 quilômetros quadrados. Notavelmente, e por comprovações lógicas e a partir do tempo, a cidade cresceu de forma desproporcional desde o seu planejamento inicial, projetado para uma cidade de 200.000 habitantes, conforme cita a *Encyclopædia Britannica* (2025) e com área de fundação de meros 31,85 quilômetros quadrados, sendo delimitado na área interna que a Avenida do Contorno circunda (TRANSITE, 2025). A Figura 2 expõe a atual mancha urbana da região central de Belo Horizonte, podendo ser visível o contorno de planejamento original da capital e o contraste com a expansão ao redor.

Figura 2 – Parte da Mancha Urbana Atual de Belo Horizonte



Fonte: Google Earth (2025)

Ademais, nos contextos atuais e na realidade posta, e em conformidade com os dados recentes do IBGE – censo de 2022 –, publicado pelo portal O Tempo (28 jun. 2023), a capital mineira é a sexta mais populosa do país, contendo também, a partir dos levantamentos do Diário do Comércio (29 ago. 2023), a região metropolitana de Belo Horizonte é a terceira mais populosa do Brasil, possuindo cerca de 6 milhões de habitantes. Sendo assim, diante do que foi exposto, a capital mineira é uma metrópole (do grego, “Cidade Mãe”), por cumprir os requisitos de uma cidade central, que serve como pólo de atração das cidades e áreas vizinhas, acumulando múltiplas funções urbanas – papel ou atividade exercida por uma cidade (MUNDO EDUCAÇÃO, 2025). Outrossim, de forma mais específica, a capital mineira pode classificada atualmente como uma metrópole regional, uma vez que a Belo Horizonte se encaixa no que apontou o documento REGIC (2018), apontando como uma cidade com 3 milhões de habitantes na rede urbana e com relevância econômica em nível regional e estadual.

Ademais, de acordo com a matéria do veículo de jornalismo local, Estado Minas (2023), a capital de minas possui um Produto Interno Bruto (PIB) de 105 bilhões, sendo a quarta cidade mais rica do país (com 1,2% de participação no PIB nacional, 1,17% na esfera municipal e com PIB per capita de R\$ 41.818,32).

Por fim, para uma compreensão mais ampla da relevância e da dimensão territorial de Belo Horizonte, recorre-se ao conceito formulado por um dos mais importantes geógrafos brasileiros, Milton Santos (1926–2001), em sua obra *A cidade como centro de região* (1959). Nessa publicação, o autor define a cidade-região como a “área organizada em torno da cidade economicamente mais importante”, conceito fundamental para a análise das metrópoles regionais, uma vez que permite compreender sua centralidade funcional, econômica e espacial no território.

3.3 Desconstrução da “Cidade Jardim”

Conforme exposto nos parágrafos anteriores, Belo Horizonte é uma cidade de destaque e relevância em termos regionais, estaduais e nacionais. Desta maneira, pode-se inferir que a cidade carrega consigo inúmeros problemas relacionados à questão ambiental, tangentes ao clima, assim como as demais grandes cidades semelhantes presentes no país; uma vez que processo de urbanização – um fenômeno antrópico - intensa nas grandes cidades brasileiras tem contribuído significativamente para o agravamento de diversos problemas ambientais. Entre os impactos mais recorrentes estão a poluição atmosférica e hídrica, a geração excessiva de resíduos sólidos, o esgotamento dos recursos naturais, a perda de biodiversidade e a ocupação desordenada de áreas de risco, como encostas e margens de rios. Esses fatores comprometem diretamente a qualidade de vida da população urbana e aumentam a vulnerabilidade socioambiental dos municípios (SILVA, 2010; JACOBI; PERES, 2016).

Notavelmente, nas últimas décadas, os desastres associados a eventos climáticos têm se tornado cada vez mais frequentes e intensos nos centros urbanos, impactando de forma direta a infraestrutura, os serviços públicos e, sobretudo, a saúde das populações mais vulneráveis. Esse cenário é reforçado pelo fato de que o número de eventos classificados como desastres climáticos em áreas urbanas quadruplicou nos últimos trinta anos, evidenciando o agravamento da crise ambiental urbana e a crescente exposição das cidades a riscos climáticos (UNISDR, 2014).

Como já citado, Belo Horizonte não fica de fora quando se trata de desafios ambientais que circundam a realidadeposta das grandes cidades. Em suas primeiras décadas do século passado, como já mencionado, a cidade era nacionalmente reconhecida como “A Cidade Jardim”; todavia, um levantamento recente revelou que a capital ocupa apenas o 7º lugar entre as capitais brasileiras em cobertura verde, figurando na 194ª posição entre os municípios de Minas Gerais. Apesar de ter recebido reconhecimento de “*Tree City of the World*” pela *Arbor Day Foundation* e pela FAO/ONU (*Food and Agriculture Organization*), a capital enfrenta diversos problemas climáticos, envelhecimento de árvores e redução significativa de áreas verdes (ESTADO DE MINAS, 2025). Outrossim, áreas remanescentes de mata urbana, como a Mata do Planalto, estão sob crescente pressão imobiliária, sinalizando uma redução nas áreas verdes que consolidaram sua fama de ser uma “cidade jardim” (BRASIL DE FATO, 2025); sendo assim, Belo Horizonte está diante da desconstrução de seu reconhecimento de ser uma cidade referência de abundância de arborização, alta quantidade de parque e de praças e clima ameno.

Como exemplo do que foi dito, cita-se o Parque Américo Renné Giannetti – o Parque Municipal – localizado na região central da capital (dentro da área originalmente planejada) que possuía uma área de início (inaugurado no longínquo ano de 1897 – o mesmo da fundação da cidade) de 555.000 m², conforme consta a Figura 3 que apresenta, através de um retrato retirado do Google Maps, o tamanho matriz do local (VILHENA, 2005).

Figura 3 – Área Antiga e Original do Parque Américo Renné Giannetti



Fonte: Caminhada.org (2016)

Atualmente, o Parque Municipal, projetado pelo arquiteto paisagista Paul Villon (1841 – 1905), possui uma área de aproximadamente 193.000 m² (PBH, 2025), ou seja, uma redução de 362 mil m² de áreas. A Figura 4 apresenta a atual área do parque.

Figura 4 – Área Original do Parque Américo Renné Giannetti



Fonte: Google Earth (2025)

Os demais problemas que contribuem para a piora da percepção e situação climática na cidade, assim como suas consequências, serão debatidos e expostos nos parágrafos seguintes. A fim de se elucidar mais sobre as razões que causam piora no desempenho ambiental de Belo Horizonte, se menciona a supressão de árvores que ocorre na capital. Segundo Wellington Assis, “quando você retira a vegetação, canaliza os fluxos d’água, a capacidade daquela atmosfera de se resfriar durante essa urbanização diminui drasticamente. Por isso, a temperatura tende a aumentar, e a umidade relativa, cair” (BÚRIGO, 2025).

Para corroborar com o que foi dito, se exemplifica com o caso ocorrido no ano de 2021, em que houve corte de 927 árvores em área de Mata Atlântica no bairro Havaí, incluindo Áreas de Preservação Permanente (APPs) e nascentes, conforme denunciado em audiência pública na Câmara Municipal de Belo Horizonte (CMBH, 2021). Ademais, no ano de 2023 a cidade registrou a supressão de 7.326 árvores, o que contribuiu para o aumento da temperatura

média urbana em 4,2 °C, segundo dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais - Cemaden - (PROJETO MANUELZÃO, 2024). Além disso, Paes (2022) demonstra que, entre 1984 e 2021, Belo Horizonte perdeu uma parcela significativa de sua cobertura vegetal original, com destaque para a fragmentação e desigual distribuição espacial das áreas verdes na cidade. Por fim, um dos acontecimentos mais significativos que evidenciam perda de supressão vegetal na capital mineira, é a perda expressiva do número de árvores na Avenida Afonso Pena, na região do centro da cidade. A Figura 5 apresenta a abundância de árvores na avenida na terceira década do século passado.

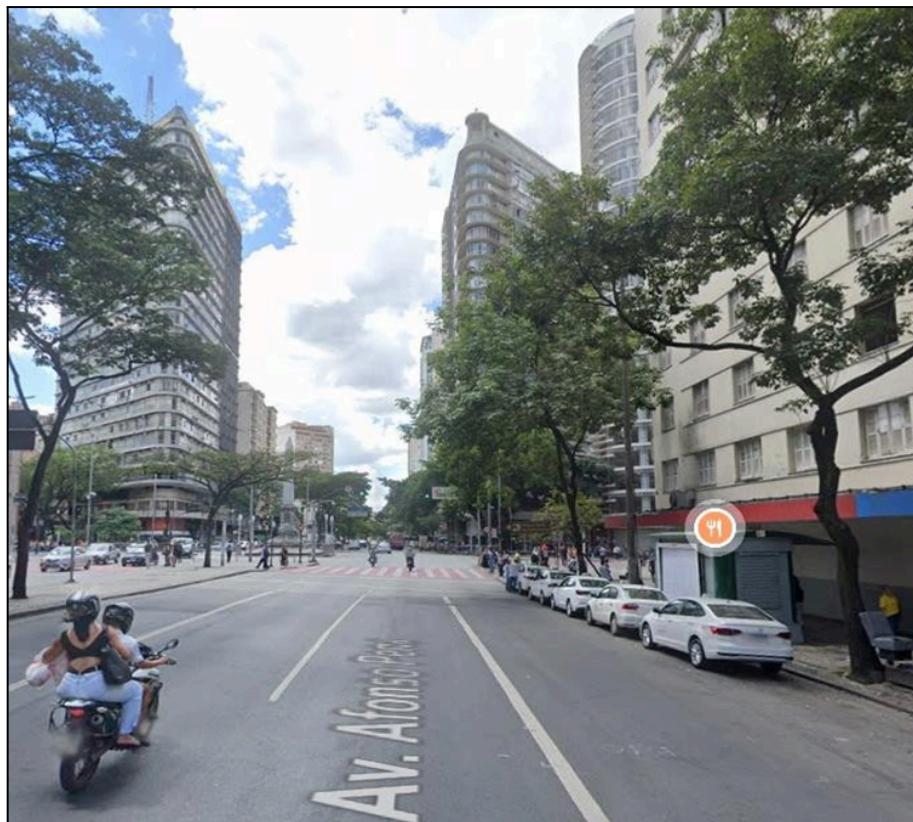
Figura 5 – Foto Avenida Afonso Pena na década de 1930



Fonte: Arquiteto de Belo Horizonte (2024)

Já a Figura 6 exibe como é a arborização do mesmo local, no século XXI, no ano de 2025.

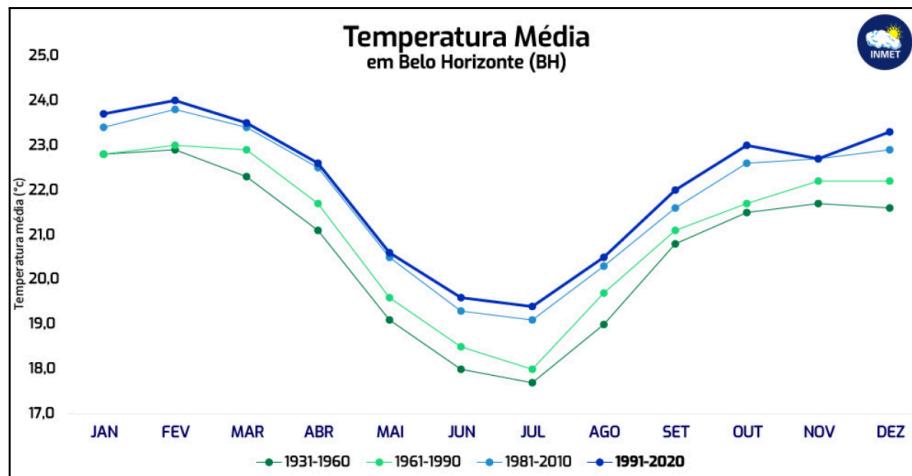
Figura 6 - Imagem Atual da Avenida Afonso Pena



Fonte: Google Maps (2025)

Ao compararmos as imagens, é visível que a densidade e quantidade de árvores no mesmo local diminuiu drasticamente em um intervalo de aproximadamente 90 anos, comprometendo dessa forma a qualidade da vida urbana e seu clima local. Como aborda Tunes (2018), em que de 1910 a 2000, a temperatura média anual da cidade era de aproximadamente 21 °C. Entretanto, no recorte mais recente de 1980 a 2000, observou-se um acréscimo para cerca de 21,5 °C, indicando um aquecimento gradual ao longo das décadas. A Figura 7 mostra a comparação entre as temperaturas normais de 1931-1960, 1961-1990, 1981-2010 e 1991-2020 de temperatura média do ar em Belo Horizonte no decorrer de um ano, disponibilizada no Relatório de Normais Climatológicas do INMET (2022). Atualmente, a cidade está no sétimo lugar do ranking das capitais mais arborizadas do país e na 194^a posição dentre os 853 municípios mineiros (ESTADO DE MINAS, 2025).

Figura 7 - Evolução Temperatura Média em Belo Horizonte



Fonte: INMET (2022)

Conforme mostrado na figura acima (Figura 7), observa-se um claro aumento da temperatura média ao longo de todos os meses analisados. Em comparação com os períodos de 1931-1960 e 1991-2020, verifica-se uma elevação de até 1,7 °C nas médias mensais de julho e dezembro. Já em junho, o acréscimo médio é de 1,6 °C, enquanto nos meses de abril, maio, agosto e outubro registra-se uma elevação de cerca de 1,5 °C. Ademais, conforme consta na matéria da Folha de São Paulo (2025), Belo Horizonte teve a temperatura aumentada em 3 °C no século XXI, chegando aos 24,5 °C em 2024.

3.4 Urbanização e Clima

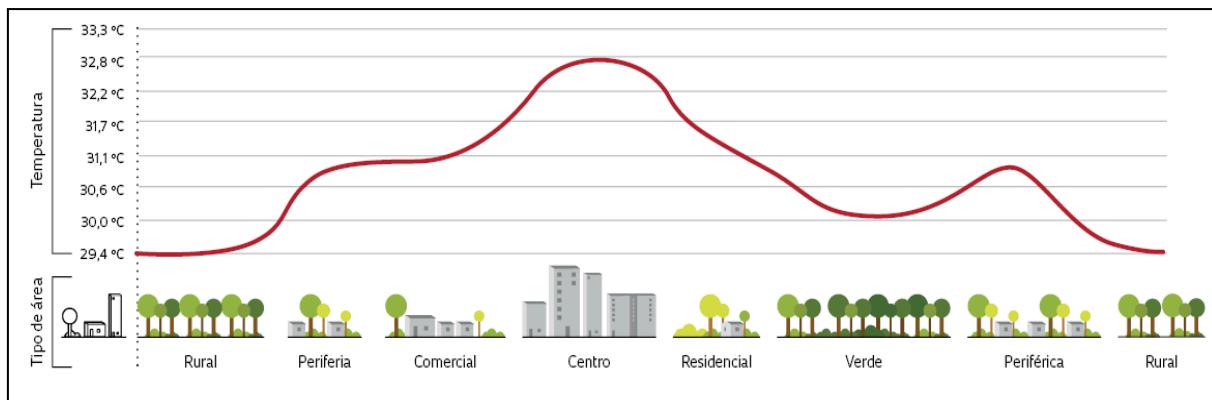
Como já dito nesse Estado da Arte, as grandes cidades carregam consigo diversos problemas relacionados ao clima, causado por múltiplos fatores, entre eles, a expansão urbana. Há décadas diversos debates apontam a correlação direta entre o processo de urbanização acelerada e o aumento da temperatura média nas cidades. A substituição da vegetação por superfícies impermeáveis — como asfalto, concreto e edificações densas — altera significativamente o balanço térmico urbano, reduzindo a capacidade de resfriamento natural do solo e da atmosfera e potencializando o efeito conhecido como ilha de calor urbana.

De acordo com Oke (1982), cidades densamente urbanizadas podem apresentar temperaturas entre 2°C e 10°C superiores às de áreas rurais vizinhas, devido à retenção de calor por materiais de construção e à redução da evapotranspiração. Esse fenômeno é intensificado

pela emissão de poluentes, pela concentração de fontes de calor antropogênico (como veículos e sistemas de climatização) e pela ausência de áreas verdes.

Amorim et al. (2020) reforçam que a urbanização, quando não acompanhada de planejamento ambiental, acarreta a fragmentação ou supressão de ecossistemas urbanos, diminuindo a resiliência térmica das cidades. Os autores destacam que, em cidades brasileiras como São Paulo, Belo Horizonte (cidade deste caso de estudo) e Rio de Janeiro, a expansão urbana horizontal e vertical tem sido determinante para o aumento da temperatura média ao longo das últimas décadas. A Figura 8, conforme apresentada na Revista Pesquisa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - Efeito das Ilhas de Calor Urbano Esquenta até Cidades de Médio e Pequeno Porte - (PIVETTA, 2023), evidencia como o crescimento urbano denso está significativamente associado ao aumento de temperaturas em diferentes zonas de um município; o artigo demonstra que áreas com alto grau de impermeabilização do solo, concentração de edificações e reduzida cobertura vegetal e baixa circulação de ventos apresentam temperaturas médias superiores às observadas em regiões menos urbanizadas.

Figura 8 - Variação Térmica Municipal



Fonte: Revista Pesquisa FAPESP (2023)

Além disso, estudos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) indicam que as áreas urbanas serão particularmente afetadas por ondas de calor, fenômeno que ainda será detalhado neste trabalho, mais frequentes e intensas, especialmente em países tropicais e em desenvolvimento – como o Brasil –, onde a infraestrutura urbana é muitas vezes precária e desigualmente distribuída. O estudo enfatiza que a urbanização, quando dissociada de políticas de mitigação e adaptação climática, amplia significativamente os impactos negativos das mudanças no clima.

Assim, a correlação entre urbanização e aumento das temperaturas urbanas não se resume a uma relação física direta, mas abrange também aspectos socioeconômicos, políticos e ambientais, exigindo abordagens integradas que considerem o papel do planejamento urbano sustentável como elemento-chave para a mitigação dos efeitos do aquecimento urbano.

Em Belo Horizonte, o processo de urbanização tem sido identificado como um dos principais fatores para o aumento da temperatura média e a intensificação do fenômeno de ilha de calor urbana, que será mais bem detalhada nos tópicos seguintes. Pesquisas conduzidas por Assis e Abreu (2010) documentam a presença de núcleos contínuos de aquecimento, localizados nas regiões com maior impermeabilização do solo e maior adensamento construtivo. Esses núcleos foram identificados tanto no período seco quanto no chuvoso, sendo que a discrepância térmica era mais acentuada em dias de clima estável, reforçando a forte ligação entre urbanização e aquecimento local. Ainda de acordo com Assis (2011), a piora do conforto climático na capital se dá também pela inadequação das políticas públicas para

organizar as crescentes demandas por espaço no tecido urbano e, mais recentemente, o não cumprimento dos parâmetros estabelecidos na lei de uso e ocupação do solo.

Além disso, Siqueira (2016) analisou a amplitude térmica em diferentes áreas de Belo Horizonte e concluiu que a densidade urbana e a redução da cobertura vegetal (mostrado no tópico anterior) estão significativamente correlacionadas com a elevação das temperaturas urbanas. Isso evidencia como o crescimento desordenado, aliado ao enfraquecimento dos ecossistemas naturais, favorece a retenção de calor e a estabilidade térmica elevada.

Nascimento et al., 2012, ao analisarem os microclimas na Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), demonstram que locais com maior cobertura arbórea apresentam temperaturas significativamente menores, comprovando o papel crucial da vegetação na regulação microclimática. Essa diferença térmica pode alcançar faixas de 3 °C a 5 °C entre áreas com cobertura vegetal e as mais edificadas, contribuindo para condições de conforto térmico distintas no mesmo município. Ademais, Siqueira (2014), ao analisar recortes urbanos vegetados em Belo Horizonte, identificou que a presença de vegetação influencia diretamente a formação de microclimas mais amenos. Em sua dissertação, o autor demonstrou que áreas com alta densidade arbórea apresentaram temperaturas até 5°C mais baixas do que zonas fortemente edificadas, reforçando a importância das áreas verdes na regulação térmica urbana. Para ilustrar o exposto, a Revista Encontro BH (2020) aponta que, na região do hipercentro de Belo Horizonte — área inserida em uma ilha de calor urbana, conforme será demonstrado adiante —, há uma variação de temperatura de até 6 °C em um percurso de aproximadamente 700 metros, entre o cruzamento das Avenidas Afonso Pena e Amazonas e o Parque Municipal.

Em síntese, Belo Horizonte apresenta um quadro de aquecimento urbano diretamente associado ao avanço da urbanização, tanto em termos históricos — conforme mostra a Figura 7. As evidências indicam a necessidade de políticas urbanas que priorizem a revegetação, a manutenção de áreas permeáveis e o planejamento de infraestrutura verde, a fim de mitigar o aumento de temperatura nas áreas mais densamente construídas.

A relação da urbanização ocupação da superfície urbana com o aumento das temperaturas mostra-se coerente e factível, diante da vasta literatura -estudos, pesquisas e artigos – acerca

da problemática. Desta forma, há consequências climáticas que causam problemas no ambiente urbano, dentre eles, cita-se as ilhas de calor.

3.5 Eventos Climáticos

Um evento climático extremo é um evento que é raro em um determinado lugar e época do ano. [...] Em geral, refere-se a eventos meteorológicos que são incomuns, severos ou fora de época. Quando tais eventos extremos estão relacionados a variáveis climáticas, podem ser chamados de extremos climáticos (IPCC, 2012, p. 5).

Levanta-se a hipótese, baseada em um denso arcabouço bibliográfico de diversos estudos e pesquisas, que as ocorrências climáticas no meio urbano são derivadas das mudanças climáticas. Para além do conceito apresentado na introdução deste trabalho, as mudanças climáticas compreendem alterações duradouras nos padrões climáticos globais e regionais, como temperatura, regime de chuvas e eventos extremos. Embora possam ocorrer por causas naturais, o ritmo atual de transformação está fortemente ligado às atividades humanas, como a emissão de gases de efeito estufa resultantes da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e agropecuária intensiva. Tais mudanças provocam impactos diretos sobre a biodiversidade, a agricultura, os recursos hídricos e a saúde humana (EMBRAPA, 2023).

Os gases do efeito estufa, mencionados no parágrafo anterior, são uma realidade na cidade de Belo Horizonte; uma vez que esta, sendo uma metrópole, possui alto fluxo de emissão desses gases que interferem no padrão do clima. Cita-se que em Belo Horizonte, a poluição atmosférica tem como principal fonte o setor de transportes. Dados do Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) apontam que, já em 2007, os veículos automotores foram responsáveis por aproximadamente 66% das emissões na capital mineira, com destaque para automóveis a gasolina (32%) e a diesel (22%) (O TEMPO, 2015a). Esse cenário persistiu ao longo dos anos: em 2016, estimativas da Secretaria Municipal de Meio Ambiente indicaram que o setor de transportes (incluindo veículos leves, ônibus, caminhões e aeronaves) representava cerca de 71% das emissões totais de GEE de Belo Horizonte (O TEMPO, 2016).

Além dos veículos, outras fontes relevantes contribuem para a deterioração da qualidade do ar na capital e na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Atividades industriais e mineradoras, como refinarias e siderúrgicas, são responsáveis por elevados níveis de emissão de material particulado (MP10), muitas vezes superiores aos limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Um estudo de 2023 revela que a Refinaria Gabriel Passos, localizada em Betim, emite concentrações de poluentes que chegam a ser quatro vezes superiores ao recomendado pela OMS, tornando o ar da região uma das maiores preocupações ambientais do estado (CLIMAINFO, 2023).

Outra fonte importante de emissão atmosférica é o setor de resíduos sólidos e esgoto. Ainda segundo os dados do Inventário de 2007, cerca de 18% das emissões de GEE da cidade eram provenientes do tratamento e disposição de resíduos, em especial pela liberação de metano em aterros sanitários e pela decomposição de matéria orgânica (O TEMPO, 2015a).

A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) também identificou outras fontes relevantes de poluentes atmosféricos em Belo Horizonte e cidades vizinhas, como Contagem e Betim. Entre elas estão a queima de gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural em residências e comércios, a operação de motores de aeronaves, a circulação ferroviária (notadamente da MRS Logística), e queimadas urbanas e periurbanas, que contribuem com a emissão de óxidos de nitrogênio (NO₂), dióxidos de enxofre (SO₂) e compostos orgânicos voláteis (COVs), (FEAM, 2019).

Portanto, é possível observar que a poluição do ar em Belo Horizonte resulta de um conjunto de atividades concentradas principalmente nos setores de transporte, industrial, resíduos e energia. Esses dados reforçam a importância do desenvolvimento de políticas públicas integradas e eficazes para o controle da emissão de poluentes e a promoção de um ambiente urbano mais saudável.

Para além da citação das diversas fontes de poluição atmosférica em junção com levantamentos já trazidos neste trabalho, como a irregular urbanização da capital mineira e a intensa redução de árvores nas últimas décadas, pode-se levantar a hipótese de correlação com as ilhas de calor.

3.5.1 Ilhas de Calor

As atividades humanas associadas ao fluxo natural de energia promovem alterações significativas no balanço de radiação nas áreas urbanas, ocasionando a formação das chamadas ilhas de calor. Essas áreas são caracterizadas por apresentarem temperaturas mais elevadas do que as regiões circundantes, resultado direto dos processos de urbanização. Conforme destaca Assis (2010), esse padrão térmico configura uma “cidade quente” que se diferencia termicamente do ambiente rural mais fresco que a circunda, representando uma integração dos diversos microclimas urbanos gerados pela intervenção humana e pelas transformações no uso do solo. Conforme Vooght (2004), o termo Ilha de Calor refere-se ao fenômeno de aquecimento característico das áreas urbanas, perceptível tanto na atmosfera quanto na superfície terrestre, quando comparadas às regiões não urbanizadas de seu entorno. Trata-se de uma alteração climática não intencional, resultante do processo de urbanização, que modifica as propriedades físicas da superfície e da atmosfera local, favorecendo a elevação das temperaturas nas cidades.

De forma mais detalhada, o balanço de energia e de radiação nas áreas urbanas sofre alterações em decorrência da substituição das superfícies naturais por pavimentação e edificações, que passam a armazenar parte da energia solar incidente. Essa energia, que em condições naturais seria utilizada na evaporação da umidade do solo, acaba contribuindo para o aquecimento do ambiente urbano, fazendo com que as cidades apresentam temperaturas mais elevadas do que as regiões periféricas (SOUZA; MASSAMBANI, 1992; AYOADE, 2011). Outrossim, a diminuição da ventilação, o aumento da emissão de calor proveniente de atividades humanas e a redução da cobertura vegetal configuram-se como fatores determinantes na intensificação do fenômeno das ilhas de calor urbanas (ANDRADE, 2005, p. 82). Outra característica marcante do fenômeno é a elevada capacidade de absorção da radiação solar, durante o dia, pelas superfícies formadas pelos materiais urbanos, seguida da liberação gradual dessa energia no período noturno, o que modifica a dinâmica climática tanto diurna quanto noturna (SOUZA; MASSAMBANI, 1992, p. 16). Adiante, novamente conforme Voogt (2004), as propriedades das superfícies urbanas variam de acordo com fatores como o período do dia, o nível de umidade, a cor dos materiais e o grau de exposição à radiação solar, os quais influenciam de maneira expressiva o comportamento térmico das

áreas urbanas. Nesse sentido, a natureza do material superficial determina os valores de albedo e de calor específico, que afetam a absorção e o armazenamento de energia. Superfícies com albedo elevado refletem maior quantidade de radiação solar, absorvendo menos calor e, portanto, aquecendo-se mais lentamente; já aquelas com alto calor específico necessitam absorver mais energia para elevar sua temperatura (AYOADE, 2011, p. 52).

Dessa forma, o conceito de ilha de calor urbano e suas razões são fundamentais para compreender as dinâmicas térmicas locais e seus impactos sobre o conforto ambiental, a qualidade do ar e a saúde das populações urbanas, especialmente em grandes centros como Belo Horizonte.

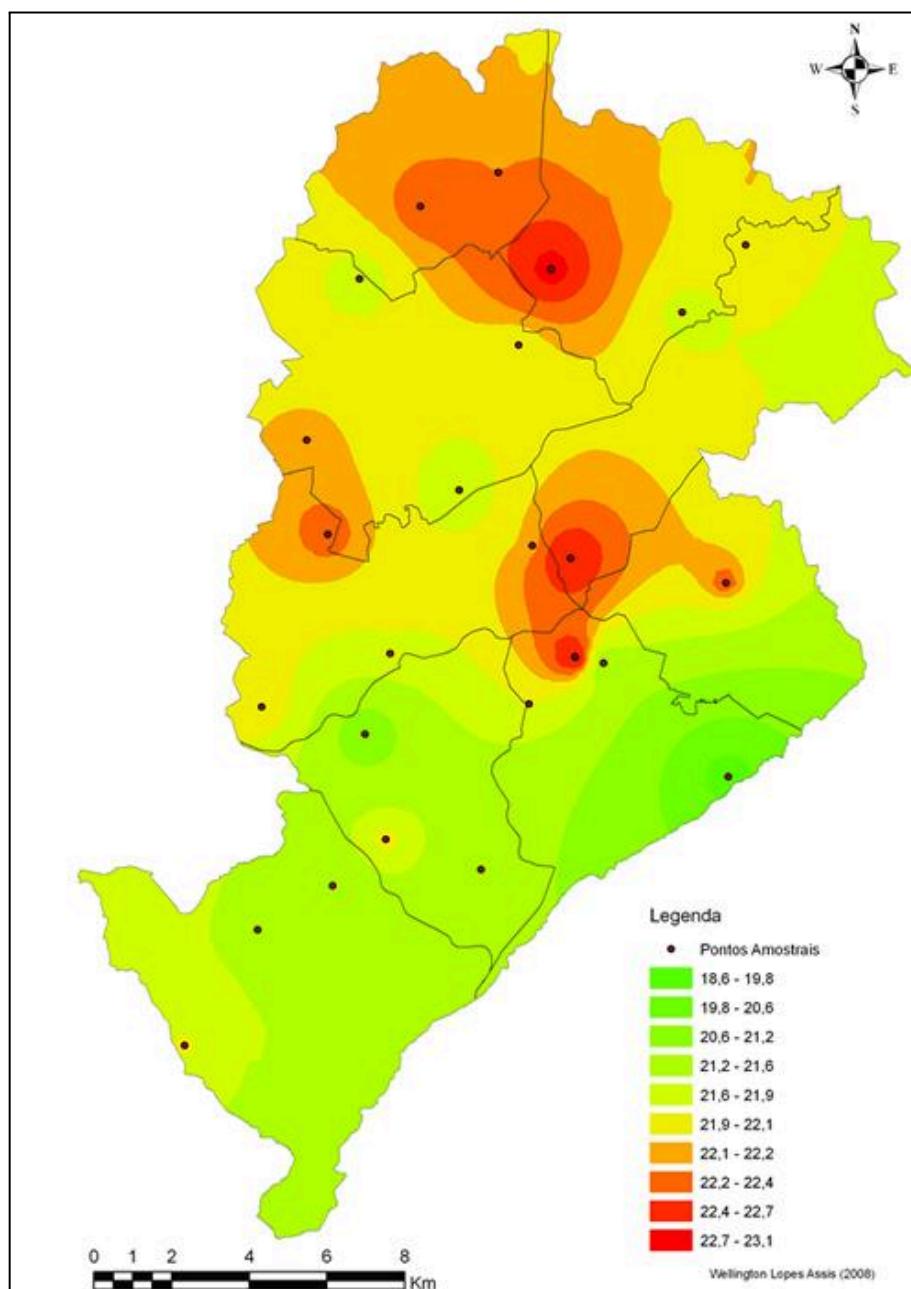
Na capital mineira, estudos sobre o clima urbano evidenciam a presença de diversas ilhas de calor, que correspondem a áreas com temperaturas significativamente superiores em relação às regiões vizinhas. Essas formações resultam principalmente da urbanização intensiva, da impermeabilização do solo, da verticalização e da escassez de cobertura vegetal, fatores que modificam o balanço de radiação e o fluxo de energia na cidade.

Segundo Assis (2010), as ilhas de calor de Belo Horizonte podem ser compreendidas como “arquipélagos térmicos”, formados por porções do espaço urbano em que o aumento da temperatura é sistematicamente observado, tanto nos períodos secos quanto nos chuvosos. Entre os principais bolsões de calor identificados destacam-se:

- **O Hipercentro da cidade e pontos da periferia da região central**, onde, apesar da presença de sombras projetadas pelos edifícios altos durante o dia, ocorre intensa retenção de calor, reduzindo a eficiência do resfriamento noturno e elevando a temperatura média local;
- **A Região de Venda-Nova e Norte**, apontadas como umas das áreas mais quentes de Belo Horizonte, com registros de temperatura que chegam a ultrapassar 37 °C, resultado do adensamento populacional, pavimentação contínua e presença reduzida de vegetação; e
- **As regiões Noroeste e Pampulha**, que também apresentam condições favoráveis à intensificação do calor urbano, com grande extensão de áreas impermeabilizadas, baixa presença de arborização e forte densidade construtiva.

A Figura 9, publicado pela UFMG (2011) e abordando o trabalho de Assis (2010), trás o mapa de Belo Horizonte com as ilhas - ou arquipélagos - da capital, citadas nos tópicos anteriores.

Figura 9 - Ilhas de Calor em Belo Horizonte



Fonte: UFMG (2011)

Essas ilhas de calor representam um desafio para a gestão urbana, pois estão diretamente relacionadas à perda de conforto térmico, à piora da qualidade do ar e ao aumento da vulnerabilidade socioambiental em períodos de calor extremo. O conhecimento dessas

dinâmicas, conforme salienta Assis (2010), é essencial para subsidiar políticas públicas voltadas à adaptação climática e ao planejamento ambiental urbano.

É importante ressaltar que para o mapeamento dessas ilhas de calor, que serão abordados adiante, é essencial se apoiar em ferramentas oferecidas pelo geoprocessamento e sensoriamento remoto. O geoprocessamento compreende um conjunto de métodos e técnicas voltados ao tratamento, análise e visualização de dados georreferenciados, permitindo a geração de informações espaciais estruturadas e embasadas em diferentes fontes. Conforme Câmara et al. (1996), tais dados devem contemplar características espaciais (como localização e extensão), não espaciais (atributos descritivos) e temporais, o que exige critérios rigorosos na sua coleta e processamento. Já o sensoriamento remoto consiste na aquisição e interpretação de imagens de satélite ou sensores aéreos para mapear, monitorar e analisar fenômenos ambientais, com destaque para uso da vegetação, temperatura de superfície e alterações de uso do solo (Jensen, 2000a; Novo, 2008).

A aplicação dessas ferramentas é crucial no contexto urbano, pois permite identificar padrões espaço-temporais pouco perceptíveis ao olho nu. Por exemplo, o mapeamento de ilhas de calor, a análise de cobertura vegetal e o monitoramento da expansão urbana são realizadas por meio de sensoriamento remoto em sinergia com Sistemas de Informação Geográfica (GIS) — componentes centrais do geoprocessamento (Câmara et al., 1996). Tais análises possibilitam o cruzamento de camadas temáticas — como temperatura, vegetação e uso do solo —, oferecendo subsídios para o planejamento urbano e ambiental.

Autores como Jensen (2000b) destacam que o sensoriamento remoto possibilita a avaliação de recursos naturais e anuais de superfície por meio de interpretação espectral, gerando informações valiosas para a governança ambiental. Além disso, o geoprocessamento permite a modelagem de cenários urbanos e a identificação de vulnerabilidades, sendo amplamente utilizado em estudos de planejamento urbano, gestão de recursos, monitoramento de desmatamento e análise de qualidade do ar.

3.5.2 Ondas de Calor

As ondas de calor representam um fenômeno meteorológico extremo de grande relevância, caracterizado por períodos prolongados de temperaturas anormalmente elevadas que persistem por dias ou até semanas, excedendo significativamente as médias históricas para uma determinada região e época do ano (IPCC, 2021). Essa definição abrange não apenas as temperaturas máximas diárias, mas também as temperaturas mínimas noturnas elevadas, que dificultam o resfriamento do ambiente e do corpo humano, agravando os impactos fisiológicos (Meehl & Tebaldi, 2004).

A intensidade de uma onda de calor é geralmente avaliada pela magnitude do desvio das temperaturas em relação à média e pela sua duração (Perkins-Kirkpatrick & Lewis, 2020). No entanto, é fundamental compreender que o conceito de onda de calor não se restringe apenas aos valores termométricos. Fatores como a umidade do ar, a velocidade do vento e a exposição solar direta interagem para determinar a sensação térmica e o estresse fisiológico percebido, o que pode exacerbar os riscos à saúde, mesmo em temperaturas que, por si só, não seriam consideradas extremas (Vecellio et al., 2018).

A frequência, intensidade e duração das ondas de calor têm sido comprovadamente influenciadas pelas mudanças climáticas antropogênicas. O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre tem levado a um aquecimento gradual do planeta, tornando os eventos extremos de calor mais prováveis e severos (IPCC, 2021; Hoegh-Guldberg et al., 2018).

Diante do exposto, observa-se que as ondas de calor já constituem uma realidade no contexto urbano de Belo Horizonte. O estudo de caso referente ao ano de 2023 evidencia essa condição, uma vez que foram registradas quatro ondas de calor ao longo do ano, ocorridas nos meses de agosto, setembro, novembro e dezembro (ITATIAIA, 2023). Durante a onda de calor de setembro, a cidade atingiu a maior temperatura já registrada em sua série histórica, com 38,6 °C no dia 25 daquele mês, superando o recorde anterior de 38,4 °C registrado em 7 de outubro de 2020 (G1, 2023).

Além disso, o ano de 2023 foi considerado o mais quente da história de Belo Horizonte (TEMPO, 2023), o que reforça a gravidade da intensificação dos eventos térmicos extremos.

Em razão dessas condições, pela primeira vez desde sua fundação em 1909 — e desde a adoção da atual denominação em 1978 — o CEFET-MG suspendeu suas atividades presenciais de ensino no dia 26 de setembro de 2023, em função das elevadas temperaturas registradas na capital.

Outro episódio inédito relacionado às altas temperaturas ocorreu no mês de novembro, também marcado por uma onda de calor, quando foi registrada a dilatação e posterior ruptura do piso no Campus 2 (Nova Gameleira) do CEFET-MG, conforme ilustrado na Figura 10 (G1, 2023). Esses fatos demonstram não apenas a intensidade dos eventos térmicos, mas também sua capacidade de afetar diretamente a infraestrutura e o funcionamento das instituições públicas.

Figura 10 - Dilatação piso do Campus Nova Gameleira



Fonte: G1 (2023)

Seguindo as abordagens climáticas para o ano de 2023, destaca-se a atuação do fenômeno El Niño desde o mês de junho, conforme indicado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024). Esse fenômeno climático natural caracteriza-se pela elevação anômala das temperaturas superficiais no Pacífico Tropical, geralmente acompanhada de alterações nos

ventos alísios e na circulação da pressão atmosférica (NOAA, s.d.; COSTA, 2025). Sob condições típicas, esses ventos sopram de leste para oeste ao longo do equador, impulsionando águas quentes rumo ao Pacífico Ocidental; durante a fase de El Niño, o enfraquecimento desses ventos permite a acumulação de águas mais aquecidas no Pacífico Oriental, desencadeando impactos climáticos de escala global — tais como alterações nos padrões pluviométricos, elevação das temperaturas em regiões distantes e ocorrência de secas ou chuvas extremas (NOAA; EMBRAPA, 2024). No contexto brasileiro, observa-se que esse fenômeno está associado à diminuição das chuvas nas regiões Norte e Nordeste, maior ocorrência de precipitação no Sul e intensificação das secas na Amazônia, além de elevar o risco climático em áreas urbanas densamente ocupadas (COSTA; INPE, 2023). Ainda, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI 2024) informou que o evento de El Niño 2023-24 figura entre os cinco mais intensos já registrados, reforçando sua importante correlação com episódios de calor extremo, estudado neste presente trabalho. Assim, é plausível correlacionar as intensas ondas de alta temperatura registradas ao longo de 2023 como mais uma influência do fenômeno descrito.

A Tabela 1 resume os principais episódios de El Niño, La Niña e condições neutras no período 1950–2023 com base no índice multivariado da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA/PSL, s.d.), mostrando a variabilidade do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO) que influencia o clima da América Latina e do Brasil.

Tabela 1 - Episódios ENSO 1950 - 2023

| Período | Fase ENSO |
|-------------|-----------|
| 1950 | La Niña |
| 1951 | El Niño |
| 1952 | Neutro |
| 1953 | El Niño |
| 1954 - 1956 | La Niña |
| 1957 | Neutro |
| 1958 | El Niño |

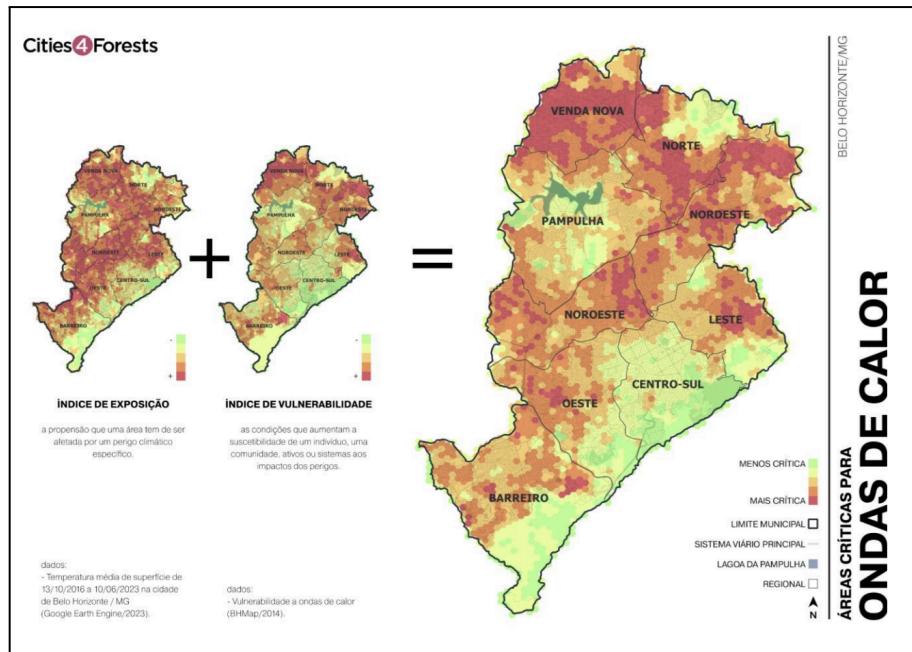
| Período | Fase ENSO |
|----------------|------------------|
| 1959-1961 | Neutro |
| 1962 | La Niña |
| 1963-1965 | Neutro |
| 1966 | El Niño |
| 1967-1970 | Neutro |
| 1971 | La Niña |
| 1972 | Neutro |
| 1973 | El Niño |
| 1974-1976 | La Niña |
| 1977 | El Niño |
| 1978-1979 | Neutro |
| 1980 | El Niño |
| 1981-1982 | Neutro |
| 1983 | El Niño |
| 1984-1986 | Neutro |
| 1987-1988 | El Niño |
| 1989 | La Niña |
| 1990-1991 | Neutro |
| 1992 | El Niño |
| 1993 -1994 | Neutro |
| 1995 | El Niño |
| 1996-1997 | Neutro |
| 1998 | El Niño |
| 1999-2001 | La Niña |
| 2002 | Neutro |

| Período | Fase ENSO |
|----------------|------------------|
| 2003 | El Niño |
| 2004-2006 | Neutro |
| 2007 | El Niño |
| 2008 | La Niña |
| 2009 | Neutro |
| 2010 | El Niño |
| 2011-2012 | La Niña |
| 2013-2015 | Neutro |
| 2016 | El Niño |
| 2017-2020 | Neutro |
| 2021-2022 | La Niña |
| 2023 | El Niño |

Fonte: (NOAA/PSL, s.d.)

Por fim, diante do que foi levantado acerca da relação entre mudanças climáticas, contexto urbano, ilhas de calor e ondas de calor, pode se levantar a hipótese que durante os períodos de ondas de calor, ocorre uma intensificação das regiões que possuem ilhas de calor, trazendo agravamentos piorados da situação urbana. Outrossim, a partir do que foi escrito sobre a relação da caracterização do clima urbano e o processo de urbanização, o presente trabalho demonstra a correlação entre os impactos causados em diferentes regiões de Belo Horizonte, durante os episódios de ondas de calor e o desigual processo de planejamento urbano na capital mineira. A Figura 11 da PBH (2025), demonstra as áreas da cidade com maior vulnerabilidade durante os períodos de ondas de calor.

Figura 11 - Áreas Críticas Para ondas de Calor em Belo Horizonte



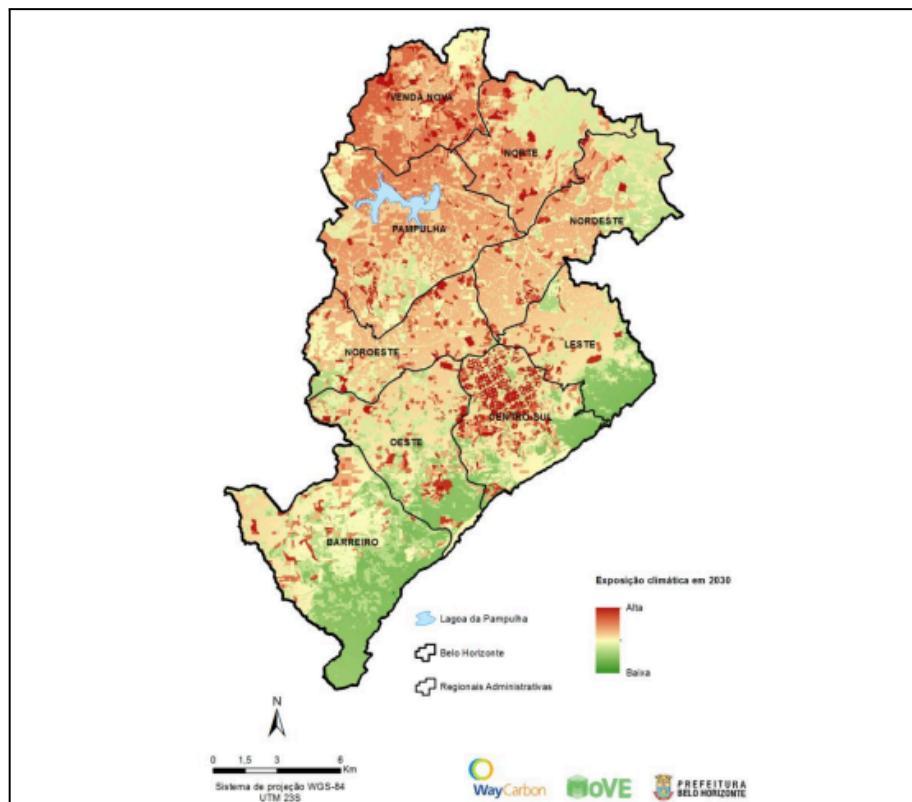
Fonte: PBH (2025)

Conforme apresentado na figura anterior, Belo Horizonte apresenta diversas áreas classificadas como críticas em relação à ocorrência de ondas de calor. Ao estabelecer um comparativo com a Figura 9, que ilustra as ilhas de calor mapeadas por Assis (2010), observa-se uma sobreposição significativa entre as regiões de maior vulnerabilidade térmica e aquelas identificadas como ilhas de calor urbanas. Destacam-se, nesse contexto, as regionais Venda Nova, Norte, Noroeste, além de setores das regiões Pampulha e Central, que apresentam concentração de áreas com elevado acúmulo térmico, conforme o mapeamento do autor. No entanto, é importante ressaltar que as zonas de vulnerabilidade às ondas de calor não se restringem apenas aos locais identificados como ilhas de calor. Outras regiões do município também evidenciam suscetibilidade térmica, o que reforça a influência de fatores urbanísticos, topográficos e ambientais na ampliação dos impactos climáticos em escala local, sobretudo, ressalta-se as áreas que possuem grandes adensamentos populacionais e pela baixa renda.

De forma complementar, o estudo elaborado pela empresa WayCarbon (2016), a serviço da Prefeitura de Belo Horizonte, apresenta projeções de cenários futuros relacionados à ocorrência de ondas de calor em Belo Horizonte, para o ano de 2030. A pesquisa contempla análises detalhadas sobre a exposição da cidade ao evento extremo de temperatura (Figura

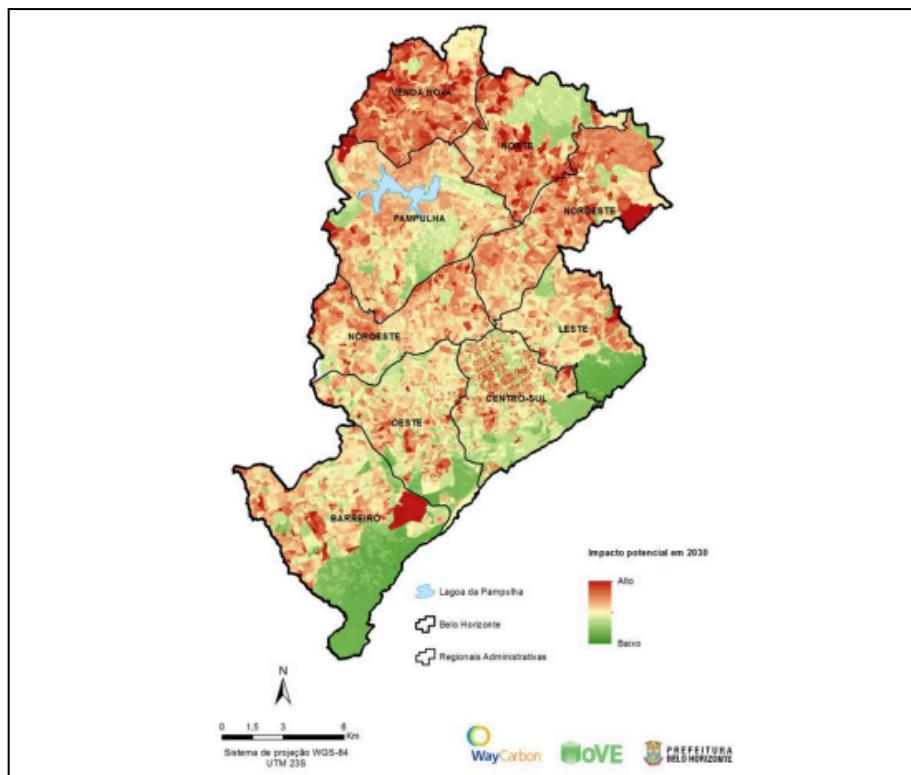
12), considerando fatores como a formação e intensificação das ilhas de calor urbanas e os padrões de ventilação que influenciam a dissipação térmica no ambiente urbano. Além disso, o estudo aborda o impacto potencial das ondas de calor sobre a população (Figura 13), evidenciando a susceptibilidade diferenciada entre as regiões da cidade, especialmente nas áreas com maior densidade populacional e menor cobertura vegetal.

Figura 12 - Exposição às ondas de calor em 2030



Fonte: WayCarbon (2016)

Figura 13 - Impacto Potencial às ondas de calor em 2030



Fonte: WayCarbon (2016)

Conforme apresentado nas figuras anteriores referentes ao cenário projetado para o ano de 2030, observa-se que, no mapa de exposição ao calor (Figura 12), a Regional Venda Nova concentra os maiores valores do indicador, configurando-se como a área de maior vulnerabilidade térmica futura. As Regionais Norte e Nordeste também se destacam entre as mais afetadas, apresentando condições significativas de exposição ao calor extremo. Além disso, o estudo aponta a Região Central de Belo Horizonte como uma zona de elevada suscetibilidade, reflexo da intensa urbanização e da reduzida presença de áreas verdes. No cenário de impacto potencial (Figura 13), a distribuição espacial dos resultados apresenta forte correspondência com o mapa de exposição, evidenciando as mesmas regiões como as mais vulneráveis ao fenômeno climático. As projeções reforçam, ainda, que os locais já identificados como ilhas de calor urbanas tendem a apresentar intensificação dos efeitos térmicos durante os eventos de onda de calor, ampliando os riscos socioambientais e de saúde pública para a população residente nessas áreas.

3.5.3 Racismo Ambiental: Diferentes Impactos na Mesma Cidade

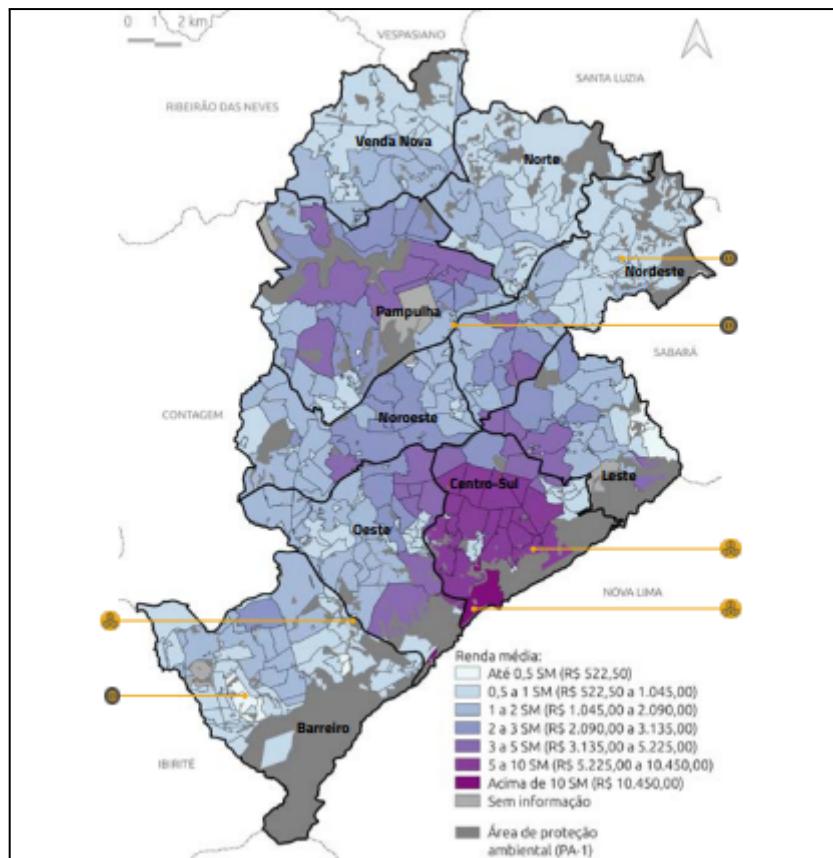
O racismo ambiental refere-se à distribuição desigual dos impactos ambientais negativos, que afetam de forma desproporcional populações vulneráveis — especialmente comunidades negras, indígenas e de baixa renda —, as quais são mais expostas a riscos ambientais e menos beneficiadas pelas políticas públicas de proteção e saneamento. Segundo Herculano (2008, p. 11), “o racismo ambiental ocorre quando grupos raciais ou étnicos são deliberadamente ou sistematicamente colocados em áreas poluídas, degradadas ou perigosas, em função de seu baixo poder político e econômico”.

Diante do exposto, o racismo ambiental se manifesta claramente nos grandes centros urbanos brasileiros, onde populações de baixa renda enfrentam desproporcionalmente condições adversas no contexto climático. Segundo Silva (2024), há disparidades econômicas e raciais na exposição às altas temperaturas e na falta de áreas verdes, o que acentua vulnerabilidades sanitárias nessas comunidades.

Em Belo Horizonte, evidenciam-se fortes assimetrias urbanas que intensificam os impactos de eventos de calor extremo em regiões menos favorecidas. Áreas com uso e ocupação do solo irregular, alta densidade demográfica, pouca arborização e zoneamento desordenado apresentam temperaturas mais elevadas em comparação com bairros planejados e onde há uma oferta maior de espaços verdes, o que agrava o desconforto térmico e os riscos à saúde (MENDONÇA; ASSIS, 2003; PAES, 2022; Projeto OSUBH, 2024). Estudos indicam que a cobertura vegetal varia de forma desigual em Belo Horizonte, influenciada por fatores socioeconômicos, o que contribui para núcleos de calor urbano mais intensos em regiões periféricas (PAES, 2022). Essa realidade reforça que o planejamento urbano inadequado não é apenas uma limitação estética ou funcional, mas um fator determinante de vulnerabilidade climática, exigindo políticas públicas orientadas para mitigação térmica e justiça ambiental.

Para além dos mapas apresentados - e os que serão apresentados neste trabalho - que evidenciam as áreas da capital mais suscetíveis às ondas de calor e os locais de formação das ilhas de calor, além das regiões que mais esquentam, um levantamento apresentado no Instituto Nossa BH (2021), apresenta as rendas médias por região na cidade de Belo Horizonte, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Renda Média de Belo Horizonte Por Região



Fonte: Instituto Nossa BH (2021)

Ao relacionarmos a Figura 14 com a Figura 11, evidencia-se a correlação direta entre a desigualdade socioeconômica e a vulnerabilidade climática de ondas e ilhas de calor no contexto urbano da capital mineira. Observa-se que as regiões de maior renda, especialmente a Centro-Sul, seguidas por áreas específicas da Pampulha e Oeste, concentram os bairros com menores índices de exposição às ondas de calor, caracterizados por elevada cobertura vegetal, melhor infraestrutura urbana e padrões construtivos que favorecem o conforto térmico. Em contrapartida, as regiões periféricas, como Norte, Nordeste, Venda Nova, Leste e áreas pontuais do Barreiro e da região Noroeste, apresentam as menores rendas médias e se sobrepõem às zonas mais críticas de calor urbano, evidenciadas no mapa da Figura 11. Essas áreas são marcadas por alta densidade construtiva, reduzida arborização e maior impermeabilização do solo, fatores que intensificam a absorção e retenção de calor. Tal padrão confirma o fenômeno da injustiça climática urbana, no qual as populações de baixa renda e maior vulnerabilidade social são também as mais expostas aos impactos ambientais.

negativos. Assim, as ondas de calor em Belo Horizonte configuram-se não apenas como um problema climático, mas como uma manifestação espacial das desigualdades socioeconômicas e territoriais históricas da cidade. Ademais, os locais de região que configuram Ilhas de Calor, sobretudo as regiões de Venda Nova, Norte e Noroeste, estão inseridas em regiões economicamente menos favorecidas.

Um episódio notório evidencia de forma concreta a injustiça climática e a desigualdade socioespacial em Belo Horizonte. Em novembro de 2023, durante uma intensa onda de calor que afetou a cidade, o morador do bairro Lindeia, localizado na Regional Barreiro, Helton Júnior, realizou um experimento empírico para demonstrar o desconforto térmico enfrentado diariamente pelos usuários do transporte coletivo. O morador utilizou um termômetro portátil dentro de um ônibus da linha metropolitana 1270, veículo sem sistema de ar-condicionado, e registrou uma sensação térmica de até 51 °C no interior do coletivo. Segundo a reportagem do jornal *O Tempo* (2023), próximo ao assento do motorista a temperatura atingiu 44 °C, enquanto o piso registrou 49 °C. Passageiros relataram que, durante os horários de pico, a situação torna-se ainda mais crítica, uma vez que a superlotação reduz a ventilação interna, intensificando o calor e o mal-estar.

Esse episódio revela como os impactos das ondas de calor urbanas afetam de maneira desproporcional as populações de menor renda, que dependem do transporte público e residem em regiões periféricas da cidade. Ressalta-se que a linha 1270 integra o sistema de ônibus metropolitanos, que atende majoritariamente bairros e municípios (que circundam a capital) economicamente desfavorecidos, e que, ainda hoje, opera sem climatização adequada. Assim, situações como essa demonstram que o aquecimento urbano e a deficiência na adaptação climática do transporte público não apenas ampliam o desconforto térmico, mas também reforçam as desigualdades ambientais e sociais na capital mineira. Helton Júnior, protagonista do caso, foi eleito vereador em 2024, aos 24 anos, com 8.013 votos pelo Partido Social Democrático - PSD - (CÂMARA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2025).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos postos, foram utilizados dados de temperatura mínima, média e máxima da superfície de estações meteorológicas do INMET distribuídas no estado de Minas Gerais para a identificação da onda de calor atuante no período. Tais dados foram tratados estatisticamente em gráficos e dispostos em mapas com a utilização de técnicas de análise espacial no software QGIS 3.40.12. O período de análise do estudo da onda de calor, tendo sido compreendido entre os dias 23 e 28 (cinco dias) do mês de setembro do ano de 2023 (Estado de Minas, 2023).

Entretanto, a análise e coleta dos dados iniciou-se sete dias até sete dias depois do período mencionado acima, ou seja, para fins de análise da atmosfera e seu comportamento sinótico em período anterior e posterior ao evento climático discutido neste trabalho.

Para a identificação, avaliação e correlação das ilhas de calor em Belo Horizonte, trabalhou-se com técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), utilizando a faixa espectral termal da banda 10 do satélite Landsat 8 que registra a temperatura dos objetos em superfície, demonstrando a variação térmica ao longo da área de estudo. Essas informações também foram dispostas em mapas georreferenciados pelo programa QGIS. Em razão da resolução temporal do satélite LandSat 8 ser de 16 dias, as imagens utilizadas não coincidiram com o período da onda de calor. A imagem mais próxima foi do dia 22 de setembro, um dia antes do início da elevação das temperaturas. Após o evento, a próxima passagem do satélite foi em dia nublado na capital, não sendo possível a utilização da imagem. Assim, a imagem que permitiu avaliar as temperaturas no período posterior foi do dia 24 de outubro de 2023. Ressalta-se que essa cena utilizada coincidiu com dias de temperaturas elevadas em Belo Horizonte só não sendo caracterizado como onda de calor em razão dos poucos dias quentes seguidos. De toda forma, foi relevante para demonstrar a temperatura de superfície registrada por sensores satelitais em dias quentes e correlacionar com os impactos de uma onda de calor.

Ademais, foram avaliadas imagens de satélites meteorológicos, cartas sinóticas e boletins meteorológicos do INMET e do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CEPTEC), assim como do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para a identificação de possíveis fenômenos climáticos atuantes no período.

4.1 Dados de Temperaturas

Para a realização da análise, os dados das estações meteorológicas automáticas localizadas em Belo Horizonte (Cercadinho e Pampulha) e na Região Metropolitana (Ibirité e Florestal), disponíveis no portal do INMET foram avaliadas separadamente para análise estatísticas. Foram selecionadas as tabelas contendo as temperaturas máximas e mínimas correspondentes ao período da onda de calor, compreendido entre 23 e 28 de setembro de 2023, bem como dos sete dias anteriores e posteriores (15 de setembro a 5 de outubro de 2023), com o objetivo de avaliar o comportamento da curva de temperatura apresentada nos gráficos elaborados.

Posteriormente, os dados foram organizados em planilhas do Microsoft Excel, nas quais foram destacados os maiores valores de temperatura máxima e os menores valores de temperatura mínima registrados diariamente. A partir dessas informações, foram gerados gráficos representativos, possibilitando a análise do comportamento térmico e do perfil das variações de temperatura observadas em cada estação ao longo do período investigado.

Os mesmos procedimentos descritos para o ano de 2023, referentes à análise do comportamento térmico durante o período da onda de calor, foram aplicados aos anos de 2020, 2021, 2022, 2024 e 2025. Essa etapa teve como objetivo realizar um comparativo entre os anos, considerando o mesmo intervalo temporal, a fim de identificar tendências e padrões de variação climática observados nas estações meteorológicas. Dessa forma, foi possível comparar os dados e evidenciar o comportamento atípico das temperaturas elevadas registradas no ano de 2023.

Por fim, elaborou-se um gráfico comparativo das temperaturas máximas registradas entre os anos de 2020 e 2025, considerando as mesmas estações meteorológicas e o mesmo período de análise. Essa etapa teve como finalidade evidenciar o comportamento térmico observado em Belo Horizonte durante o ano de 2023, permitindo a comparação com os demais anos e a análise de possíveis variações e tendências de aumento das temperaturas na região.

4.2 Análise Térmica de Minas Gerais

Com base nos dados de temperaturas máximas obtidos pelas estações automáticas do INMET para o estado de Minas Gerais, foram elaborados mapas de interpolação por meio da técnica IDW (*Inverse Distance Weighted*), utilizando o software QGIS. Inicialmente, os dados foram organizados em planilhas, nas quais passaram por uma avaliação preliminar para identificação de possíveis inconsistências ou falhas. Posteriormente, as informações foram georreferenciadas e representadas pontualmente ao longo do território mineiro.

Para cada dia analisado, aplicou-se o método de interpolação proposto, possibilitando a visualização da distribuição espacial das temperaturas máximas e, consequentemente, a identificação da onda de calor atuante no período estudado.

Ao todo, foram selecionados dez dias, compreendidos entre 20 e 30 de setembro de 2023. Esse recorte inclui três dias anteriores ao evento, os cinco dias de duração da onda de calor e dois dias posteriores. A escolha desse intervalo teve como objetivo permitir a observação da evolução e do avanço da mancha térmica no estado ao longo do período analisado.

4.3 Análise Térmica de Superfície de Belo Horizonte

Para o mapeamento das temperaturas de superfície no município de Belo Horizonte, foi utilizada a Banda 10 (banda termal) do satélite *Landsat 8*, responsável por registrar a radiação térmica emitida pelos objetos presentes na superfície terrestre. A partir dessa informação, foi possível gerar mapas representando a variação espacial da temperatura de superfície na área de estudo.

O processamento das imagens foi realizado no software QGIS, com o emprego de técnicas de PDI. As cenas utilizadas correspondem ao mês de setembro de 2023 e o mês de outubro para correlação com dias quentes em Belo Horizonte — e foram obtidas por meio da plataforma do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Conforme mencionado anteriormente, os dados utilizados foram obtidos a partir do satélite *Landsat 8*, cuja resolução temporal é de 16 dias, ou seja, ele gera novas imagens a cada 16 dias. Em função desse intervalo, durante a onda de calor de setembro de 2023 não foi possível

extrair informações referentes ao período de 23 a 28 do mês em questão. Além disso, nas demais datas de ondas de calor registradas ao longo de 2023 também se identificaram incompatibilidades com o sistema do satélite, o que inviabilizou a obtenção das imagens desejadas.

Diante dessas limitações, optou-se por analisar as imagens correspondentes ao dia anterior ao início da onda de calor de setembro, 22 de setembro — último dia com imagem disponível dentro do ciclo de revisita —, bem como aquelas referentes ao dia 24 de outubro de 2023. A escolha desta última data justifica-se pelo fato de outubro ter registrado temperaturas elevadas, conforme será demonstrado nos tópicos seguintes, e pela sua proximidade temporal com a anomalia climática de setembro, já que o excesso de nebulosidade na data anterior impedia a extração adequada dos dados. Em 24 de outubro de 2023, a temperatura máxima atingiu 34,5 °C e a mínima foi de 20,5 °C, conforme dados da Estação Pampulha disponibilizados pelo INMET (2025).

Ademais, as temperaturas desse período apresentam semelhança com os valores observados durante os dias da onda de calor de setembro, conforme registrado por diferentes estações meteorológicas que serão apresentadas posteriormente. Em síntese, a escolha do dia 22 de setembro permite estabelecer um parâmetro comparativo da situação térmica de Belo Horizonte imediatamente antes do episódio de calor extremo iniciado em 23 de setembro.

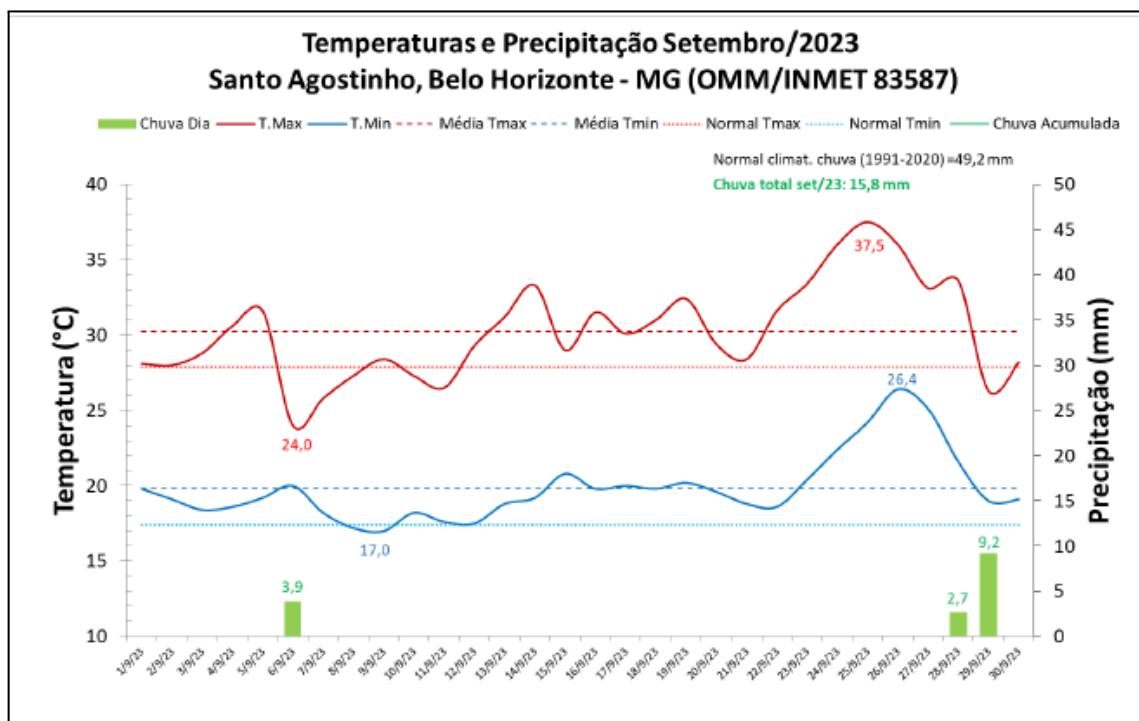
Por fim, na análise do mapa referente ao dia 24 de outubro, foram traçadas linhas de perfil térmico em áreas que apresentaram temperaturas significativamente elevadas. Essas regiões coincidem com zonas classificadas como Ilhas de Calor Urbanas (ICU) em Belo Horizonte, conforme o mapeamento realizado por Assis e Abreu (2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Registros da Onda de Calor

A Figura 15 apresenta o balanço do mês de setembro de 2023, em que está registrado o comportamento da temperatura ao longo do mês, a partir da medição da estação Santo Agostinho, apresentada pelo relatório mensal do INMET; dessa forma, a média da temperatura máxima registrada foi de 30,3 °C, ou seja, 2,4 °C acima da média climatológica de 27,9 °C para o mês de setembro (INMET, 2023). Ainda de acordo com o balanço, a temperatura máxima mais alta atingiu 37,5 °C, registrada no dia 25 — um recorde em toda a série histórica (de 1910 até hoje). Já a menor máxima para o mês foi 24,0 °C, observada no dia 6.

Figura 15 – Gráfico contendo as temperaturas máximas, mínimas e precipitação (chuva), da estação convencional, com suas respectivas normais climatológicas (1991-2020).



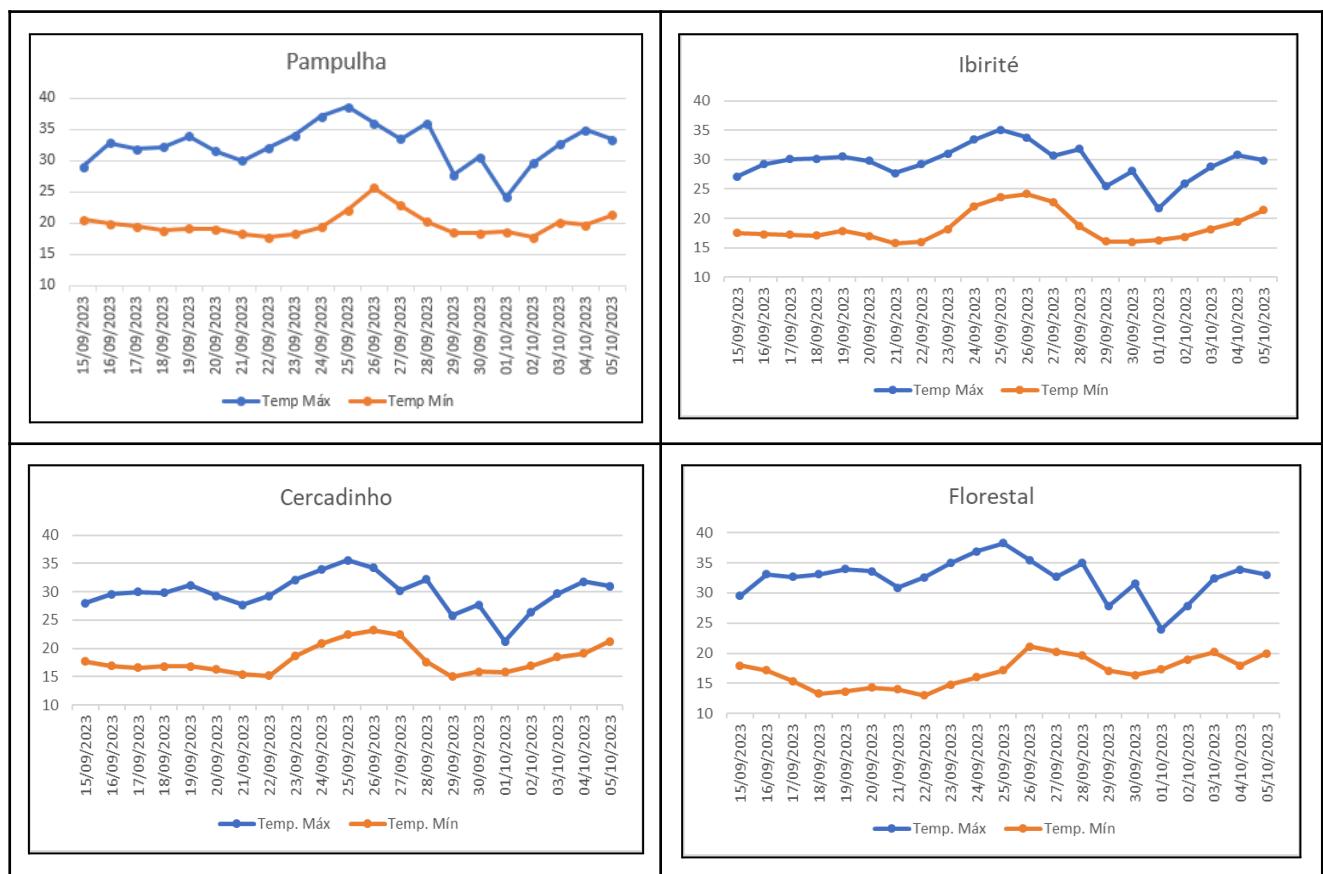
Fonte: (INMET, 2023)

Ainda em destaque para a Figura 15, é possível ver que gráfico apresenta o desvio significativo observado durante o episódio da onda de calor em comparação com os demais dias do mês. Em especial, verifica-se que os registros de temperatura — tanto máximas

quanto mínimas — sofreram variações marcantes, como a elevação das mínimas, com seu ápice no dia 27 de setembro, registrando 26,4 °C. Tal comportamento aponta para uma redução da amplitude térmica noturna e uma menor capacidade de resfriamento após o pôr-do-sol, características típicas de um evento extremo de calor. Outrossim, o gráfico demonstra o aumento de 8,6% nas médias de temperaturas máximas no mês, como citado no parágrafo anterior.

Por outro lado, a Figura 16 retrata medições de temperatura nas estações de Pampulha, Cercadinho, Ibirité e Florestal, considerando o período de sete dias antes, os cinco dias do fenômeno climático e sete dias depois do período da onda de calor. Na coleta desses dados, descritos abaixo, a Estação Santo Agostinho não consta registros na plataforma do INMET.

Figura 16 – Gráficos contendo as temperaturas máximas e mínimas das estações automáticas.



Fonte: Autor (2025)

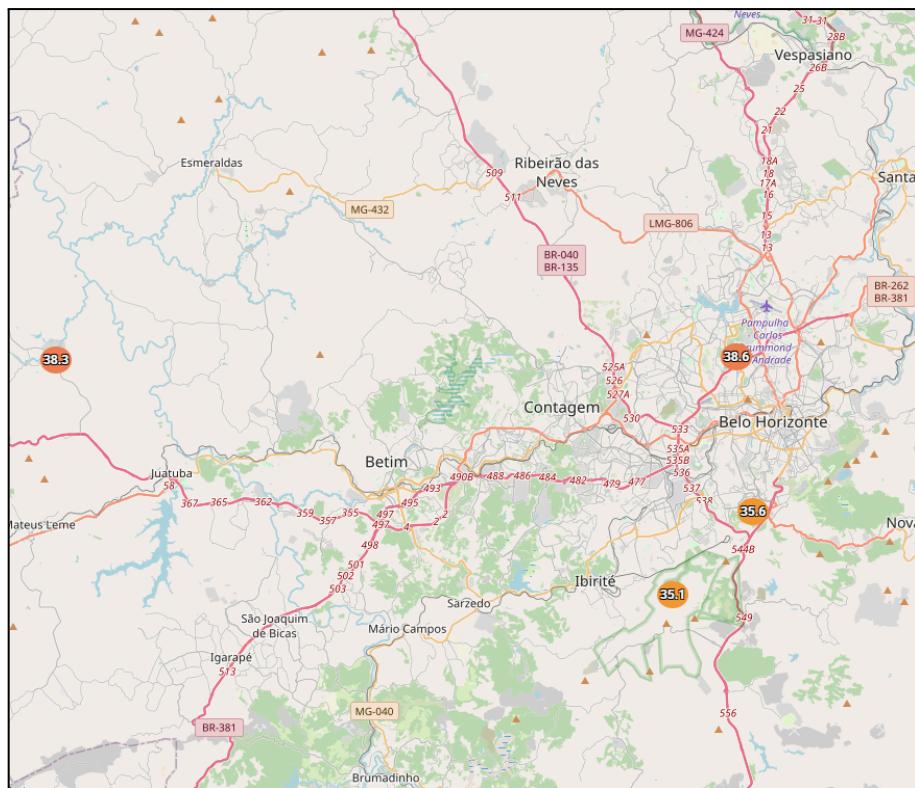
O objetivo de monitorar diferentes estações — duas em Belo Horizonte (Pampulha e Cercadinho) e duas na região metropolitana (Florestal e Ibirité) — foi possibilitar o registro, a

análise e a comparação de dados meteorológicos simultâneos em múltiplos pontos da Grande Belo Horizonte. Dessa forma, torna-se possível identificar interferências locais específicas para cada região das estações automáticas, considerando variáveis como altitude, grau de urbanização no entorno, arborização, tráfego de veículos, uso e ocupação do solo, zoneamento, dentre outros fatores.

Conforme apresentado na Figura 16, observa-se, no recorte temporal analisado, uma variação expressiva nas temperaturas máximas e mínimas durante o período correspondente à onda de calor, entre os dias 23 e 28 de setembro de 2023. Nota-se, em todas as estações analisadas, um comportamento térmico atípico, caracterizado pela elevação acentuada das temperaturas máximas, assim como das mínimas, expressando a redução da amplitude térmica diária. Ademais, verifica-se que, nos primeiros dias do mês de outubro — presente até o dia 5 deste mês —, as temperaturas voltam a apresentar tendência de elevação, embora com valores inferiores aos observados no evento extremo anterior. Essa retomada do aquecimento está associada às altas temperaturas registradas no mês de outubro, como cita o balanço médio do mês, em que a média da temperatura máxima foi de 30,9 °C, valor é 2,2°C acima da climatologia para o mês, que é de 28,7°C (INMET, 2023).

A Figura 17 apresenta a localização das estações meteorológicas na Região Metropolitana de Belo Horizonte no dia mais quente registrado em setembro de 2023 — dia 25 daquele mês — e os respectivos valores de temperatura máxima captados em cada estação.

Figura 17 – Mapa das Localizações das Estações Automáticas



Fonte: INMET (2025)

Conforme consta na figura acima, as quatro estações automáticas estão distribuídas em diferentes regiões da Grande Belo Horizonte, podendo dessa forma registrar temperatura em diferentes pontos da metrópole e arredores. A estação automática que registrou maior temperatura máxima foi a da região da Pampulha, com 38,6 °C para o dia mais quente histórico - 25 de setembro.

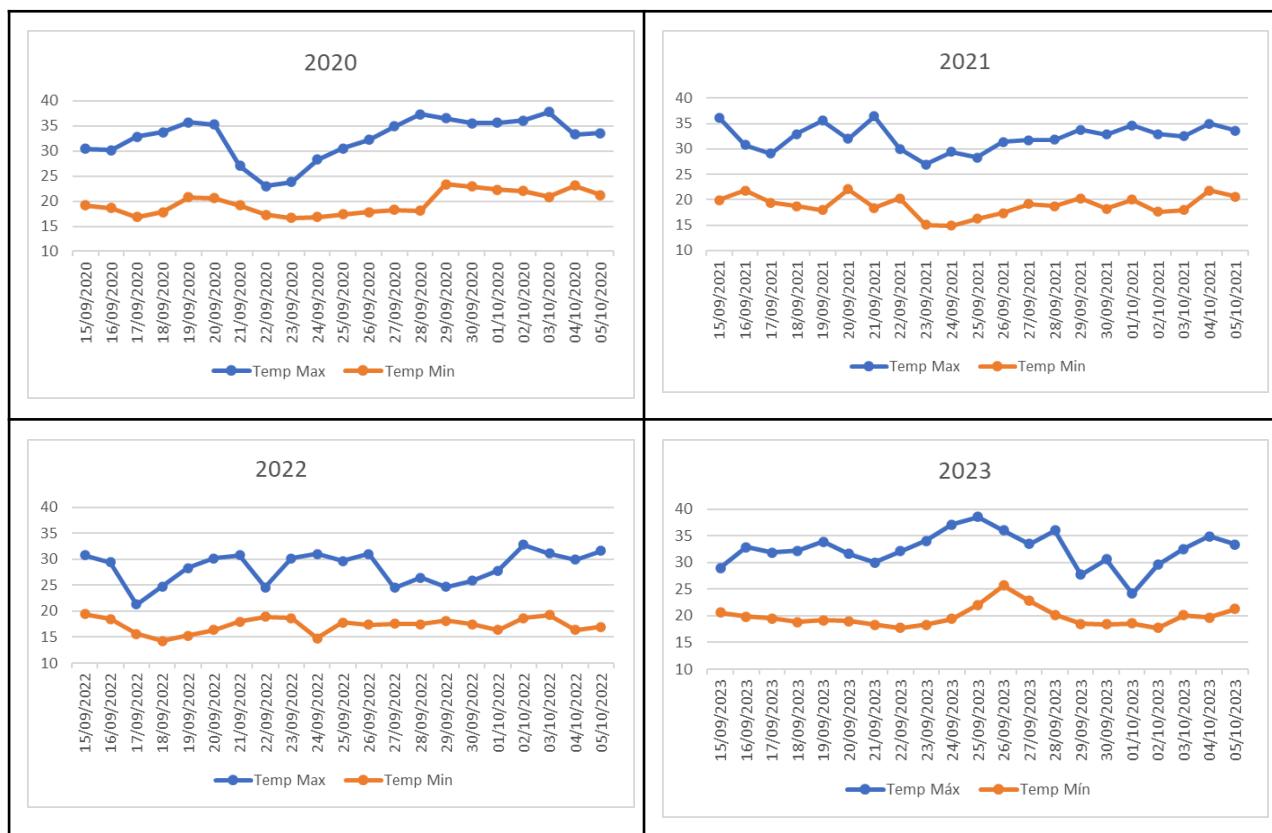
5.1.1 Históricos de Medição

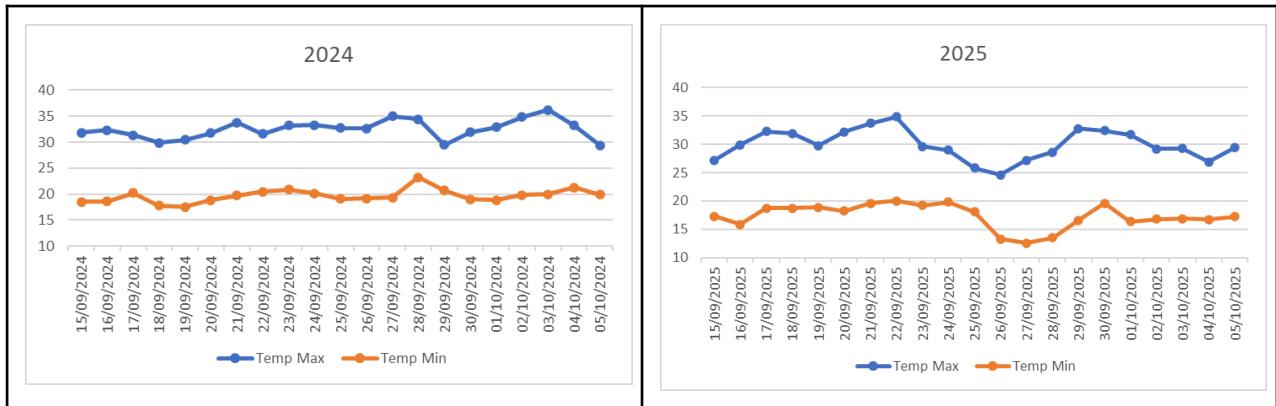
Com o propósito de analisar e comparar as temperaturas durante o episódio de onda de calor — bem como nos dias imediatamente anteriores e posteriores —, foram coletados dados desde o ano de 2020 para cada estação automática. Esse recorte temporal permite observar não apenas os valores absolutos, mas também a tendência de aumento de temperatura para cada ano.

5.1.1.1 Estação Pampulha

A Estação Automática da Pampulha, situada nas dependências do campus da UFMG - Região Norte -, nas proximidades da Avenida Carlos Luz e do Anel Rodoviário, localiza-se em uma área com grande presença da vegetação do campus, em uma altitude de 854,02 metros (INMET, 2025). Conforme registro do INMET (2025), essa estação anotou a maior temperatura da série histórica da cidade de Belo Horizonte em 25 de setembro de 2023, indicando uma máxima de 38,6 °C. A Figura 18 demonstra o comparativo de temperaturas máximas e mínimas entre o ano de 2020 e 2025, para o mesmo intervalo de dias.

Figura 18 - Análises de Temperaturas Máximas e Mínimas 15/09 a 05/10 (2020 - 2025) - Estação Pampulha





Fonte: Autor (2025)

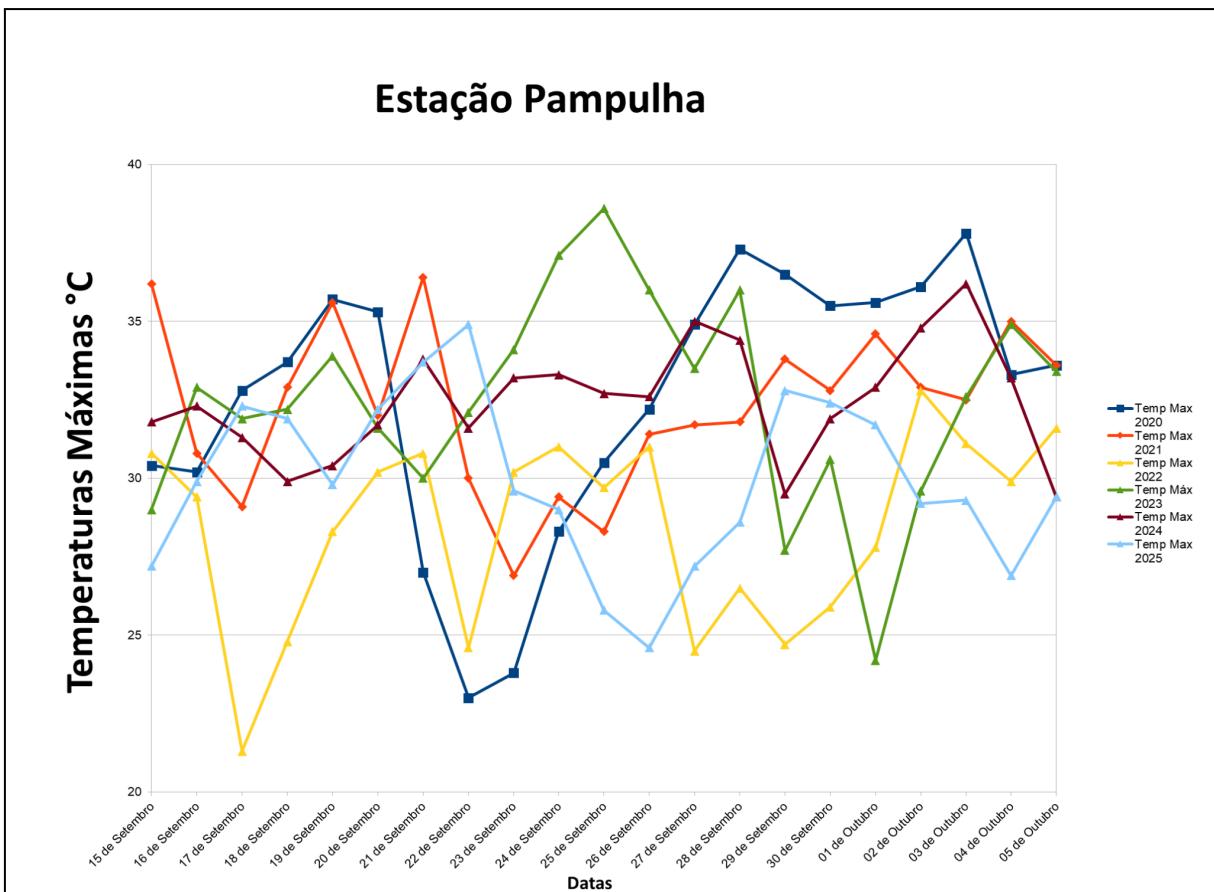
A análise comparativa dos gráficos revela variações significativas no comportamento térmico entre os cinco anos observados, evidenciando tanto oscilações sazonais quanto tendências de aquecimento em determinados períodos. No ano de 2020, nota-se um padrão de flutuações acentuadas nas temperaturas máximas, com uma queda expressiva entre os dias 20 e 22 de setembro, seguida por uma elevação abrupta a partir do dia 25, atingindo valores superiores a 35 °C. As temperaturas mínimas oscilam entre 16 °C e 23 °C, apresentando maior estabilidade após o dia 28, o que indica a atuação de uma massa de ar quente persistente sobre a região.

Destaca-se que, dentro do intervalo analisado, Belo Horizonte registrou recordes históricos de temperatura no ano de 2020. No dia 3 de outubro de 2020, a capital mineira atingiu 37,8 °C, valor que, até então, configurava-se como o maior da série histórica, conforme reportado pela CNN Brasil (2020). Poucos dias depois, em 7 de outubro, o recorde foi novamente superado, quando a cidade registrou 37,9 °C, conforme noticiado pelo jornal O Tempo (2020). Nesse sentido, é relevante pontuar que, globalmente, 2020 foi um dos anos mais quentes já registrados, estando entre os três anos mais quentes registrados historicamente (ONU, 2025), dessa forma, as temperaturas extremas na capital mineira se deu principalmente por resultado de uma massa de ar muito quente e seco sobre a região, combinada com baixa umidade do ar, que impulsionou aplicações e ondas de calor no sudeste (R7, 2020). Esse recorde foi superado no ano de 2023, durante o período da onda de calor estudada neste trabalho. Dessa forma, verifica-se que os anos de 2020 e 2023 constituem marcos climáticos relevantes para o entendimento da intensificação térmica na capital mineira.

Para o ano de 2021, nota-se uma distribuição mais irregular das máximas, com poucos picos acima de 35 °C em alguns dias e quedas pontuais, sugerindo episódios de instabilidade atmosférica. As mínimas se mantiveram em torno de 15 °C a 22 °C, com pequenas variações diárias, contendo temperaturas mais amenas que no ano anterior. No ano de 2022, as temperaturas máximas oscilaram em valores mais amenos, ultrapassando 32 °C uma única vez, o que indica um período com menor amplitude térmica em relação a 2020 e 2021, não tendo um registro de temperatura máxima superior a 35 °C. As menores temperaturas mínimas registradas apresentaram comportamento estável, entre 16 °C e 19 °C, com menor variabilidade diária. No ano de 2023, objeto de estudo desta monografia, observa-se o comportamento mais extremo de toda a série, onde registrou-se o dia mais quente medido na história da cidade, com a máxima de temperatura de 38,6 °C no dia 25/09, como já citado. Ademais, em 2023 constatou a maior temperatura mínima do registro feito ao longo dos cinco anos, no dia 26/09, com 25,7 °C. No gráfico referente a 2024, as temperaturas retornam a um padrão menos extremo, com máximas ultrapassando os 35 °C de forma muito pontual e com mínimas inferiores a 25 °C e, por último, em 2025, as temperaturas máximas se mantêm dentro de um intervalo mais moderado, com valores máximos da temperatura máxima inferiores a 35 °C e com o maior valor da temperatura mínima do gráfico de 20 °C.

A Figura 19 demonstra um gráfico com as temperaturas máximas registradas entre 2020 e 2025, entre os dias 15 de setembro e 05 de outubro, em que é possível notar o destaque para as máximas dos anos de 2020 e 2023, assim como as temperaturas máximas mais amenas nos anos de 2022 e 2025.

Figura 19 - Temperaturas Máximas na Estação Pampulha (2020 - 2025)

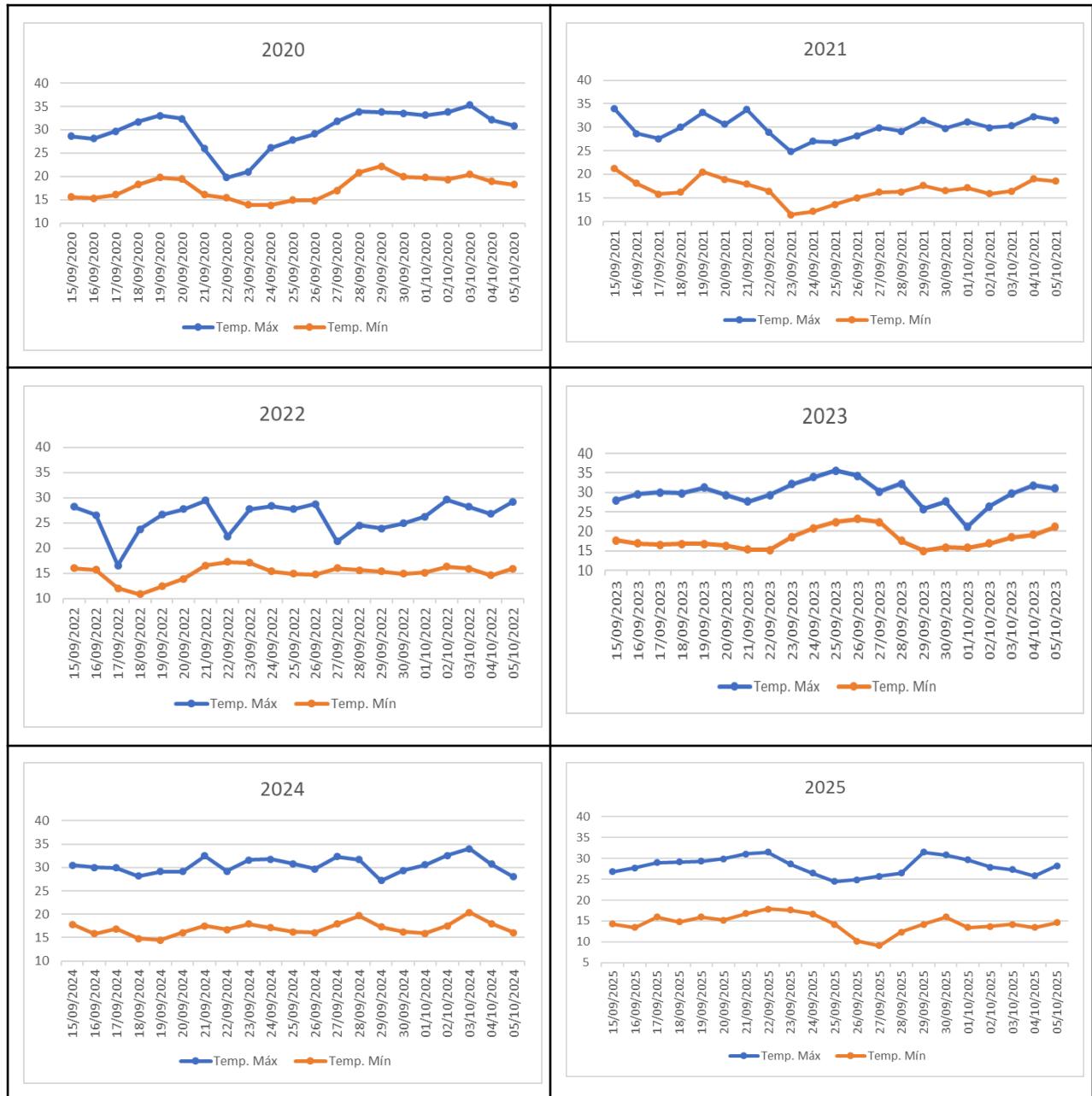


Fonte: Autor (2025)

5.1.1.2 Estação Cercadinho

A Estação Automática Cercadinho está situada no bairro Buritis, região Oeste da capital mineira, alocada dentro da Estação Ecológica Estadual do Cercadinho. O local consiste em uma área aberta, de vegetação rasteira, em proximidade à malha urbana densamente ocupada. Sua altitude é de 1.199,55 metros (INMET, 2025). No dia mais quente já registrado em Belo Horizonte, 25 de setembro de 2023, essa estação registrou uma temperatura máxima de 35,6 °C, conforme boletim técnico do INMET (2025). A Figura 20 demonstra o comparativo de temperaturas máximas e mínimas entre o ano de 2020 e 2025, para o mesmo intervalo de dias.

Figura 20 - Análises de Temperaturas Máximas e Mínimas 15/09 - 05/10 (2020 - 2025) - Estação Cercadinho



Fonte: Autor (2025)

Em 2020, as temperaturas máximas oscilaram entre 21 °C e 35 °C, apresentando uma queda acentuada a partir de 20 de setembro, seguida de uma elevação progressiva a partir do dia 24, que resultou em estabilidade das máximas a partir de 28 de setembro, contendo um pico da mesma no início de outubro. As temperaturas mínimas variaram entre 14 °C e 22 °C, registrando oscilações entre os dias 18 e 26 de setembro e, a partir desta data, uma elevação

gradativa, estabilizando-se em torno de 20 °C. No ano seguinte, 2021, observou-se um comportamento mais regular, com temperaturas máximas variando entre 24,8 °C e 33,9 °C, sem oscilações abruptas, embora se destaquem picos de aquecimento nos dias 15, 18 e 21 de setembro, intercalados por quedas térmicas pontuais nos dias 17 e 25. Após esse período, as temperaturas mantiveram-se relativamente estáveis até o início de outubro. As temperaturas mínimas de 2021 oscilaram entre 11 °C e 21 °C, com valores mais elevados nos dias 15 e 19 de setembro e uma queda acentuada de aproximadamente 10 °C no dia 23, seguida por leve aumento térmico no início de outubro.

No ano de 2022, as temperaturas máximas apresentaram valores mais amenos em comparação aos anos anteriores, variando entre 16,5 °C e 29,6 °C, e exibindo grande variabilidade ao longo do período observado. Entre os dias 16 e 17 de setembro, verificou-se uma queda acentuada de 10 °C, seguida por um pico de aquecimento no dia 21. No entanto, essa elevação foi interrompida por nova redução no dia 22, sucedida por alguns dias de relativa estabilidade até uma nova queda visível em 27 de setembro. A partir desse ponto, as temperaturas máximas mantiveram-se em níveis mais moderados, com uma discreta elevação no início de outubro. As temperaturas mínimas, por sua vez, variaram entre 10,8 °C e 17,2 °C, apresentando queda perceptível entre os dias 17 e 20 de setembro, seguida de um ligeiro aumento entre os dias 21 e 23. Após esse intervalo, as mínimas permaneceram relativamente constantes, indicando um período de estabilidade térmica e baixa amplitude de variação no final da série analisada.

No ano de 2023, período central de análise deste estudo, as temperaturas apresentaram pouca variação entre os dias 15 e 23 de setembro, intervalo que antecede a onda de calor registrada na capital mineira. Durante o evento extremo, observa-se no gráfico uma acentuada elevação das temperaturas máximas, com pico no dia 25 de setembro, data que corresponde ao registro histórico da estação meteorológica do Cercadinho, onde foi alcançada a marca de 35,6 °C. Ainda que tenha ocorrido uma ligeira redução no penúltimo dia da onda de calor (27 de setembro), as temperaturas permaneceram acima dos 30 °C, evidenciando a persistência do calor intenso. Após o término do evento, a partir de 28 de setembro, verificou-se uma queda gradual das temperaturas máximas, atingindo 21,2 °C em 1º de outubro, seguida por uma nova tendência de elevação nos dias subsequentes. As temperaturas mínimas, por sua vez,

mantiveram-se relativamente estáveis ao longo do período analisado, com notável elevação durante a onda de calor, quando os valores ultrapassaram os 20 °C, indicando noites mais quentes e menor perda térmica — características típicas do fenômeno das ilhas de calor urbanas.

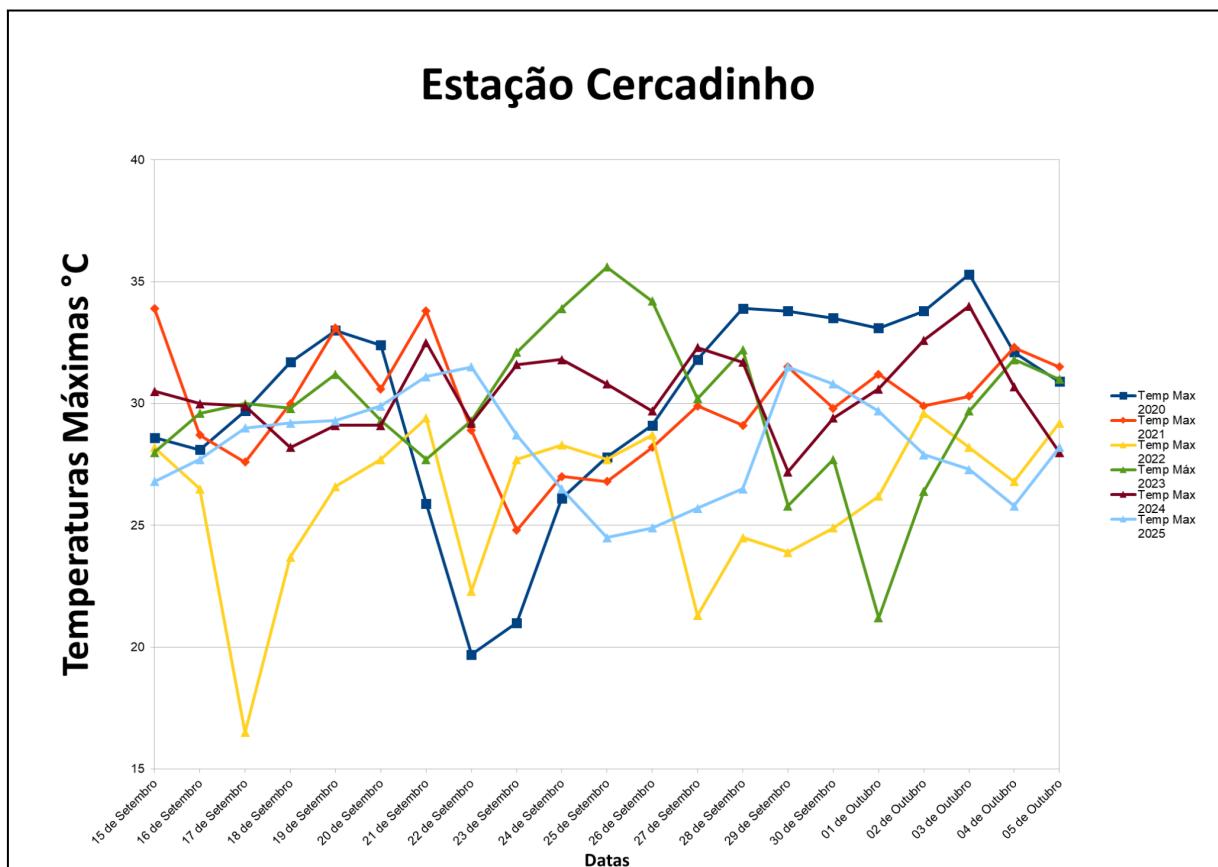
No ano de 2024, observa-se que as temperaturas apresentaram comportamento mais ameno em relação ao ano anterior, considerando o mesmo período de análise. As temperaturas máximas oscilaram entre 27,2 °C e 34 °C, com variações mais significativas registradas nos dias 21 e 27 de setembro, quando se verificou uma discreta elevação térmica. Em seguida, ocorreu uma queda no dia 29 de setembro, sucedida por nova ascensão das máximas até o início de outubro. Nos últimos dias do período analisado, as temperaturas voltaram a apresentar tendência de declínio, indicando um retorno gradual à estabilidade térmica. As temperaturas mínimas, por sua vez, variaram entre 14,5 °C e 20,4 °C. Destacam-se picos pontuais nos dias 28 de setembro e 3 de outubro de 2024, enquanto, nos demais dias, os valores permaneceram relativamente constantes, dentro de uma faixa térmica estável que evidencia menor amplitude diária.

No ano de 2025, as temperaturas máximas apresentaram valores mais amenos em comparação aos anos anteriores, variando entre 24,5 °C e 31,5 °C, com poucos registros acima dos 30 °C ao longo do período analisado. Observa-se um declínio acentuado das temperaturas máximas após o dia 22 de setembro, que se estende até 29 do mesmo mês, seguido por uma tendência de redução gradual nos dias subsequentes, indicando um comportamento mais estável e menos extremo. As temperaturas mínimas, por sua vez, atingiram os menores valores de toda a série temporal, quando comparadas aos anos anteriores, variando entre 9,1 °C e 17,9 °C. Nota-se uma queda a partir de 23 de setembro, com normalização em torno do dia 30, momento em que as temperaturas voltam a apresentar um padrão estável, evidenciando condições climáticas mais brandas e de menor amplitude térmica diária em relação aos períodos anteriores.

A Figura 21 apresenta o comportamento das temperaturas máximas registradas entre 2020 e 2025, no intervalo de 15 de setembro a 5 de outubro. Observa-se que os anos de 2020 e 2023 se destacam pelos maiores valores de temperatura máxima, seguindo o mesmo padrão da Estação Pampulha, mesmo que com valores pouco inferiores no registro, enquanto os anos de

2022 e 2025 evidenciam condições mais amenas, com menores picos térmicos ao longo do período analisado.

Figura 21 - Temperaturas Máximas na Estação Cercadinho (2020 - 2025)



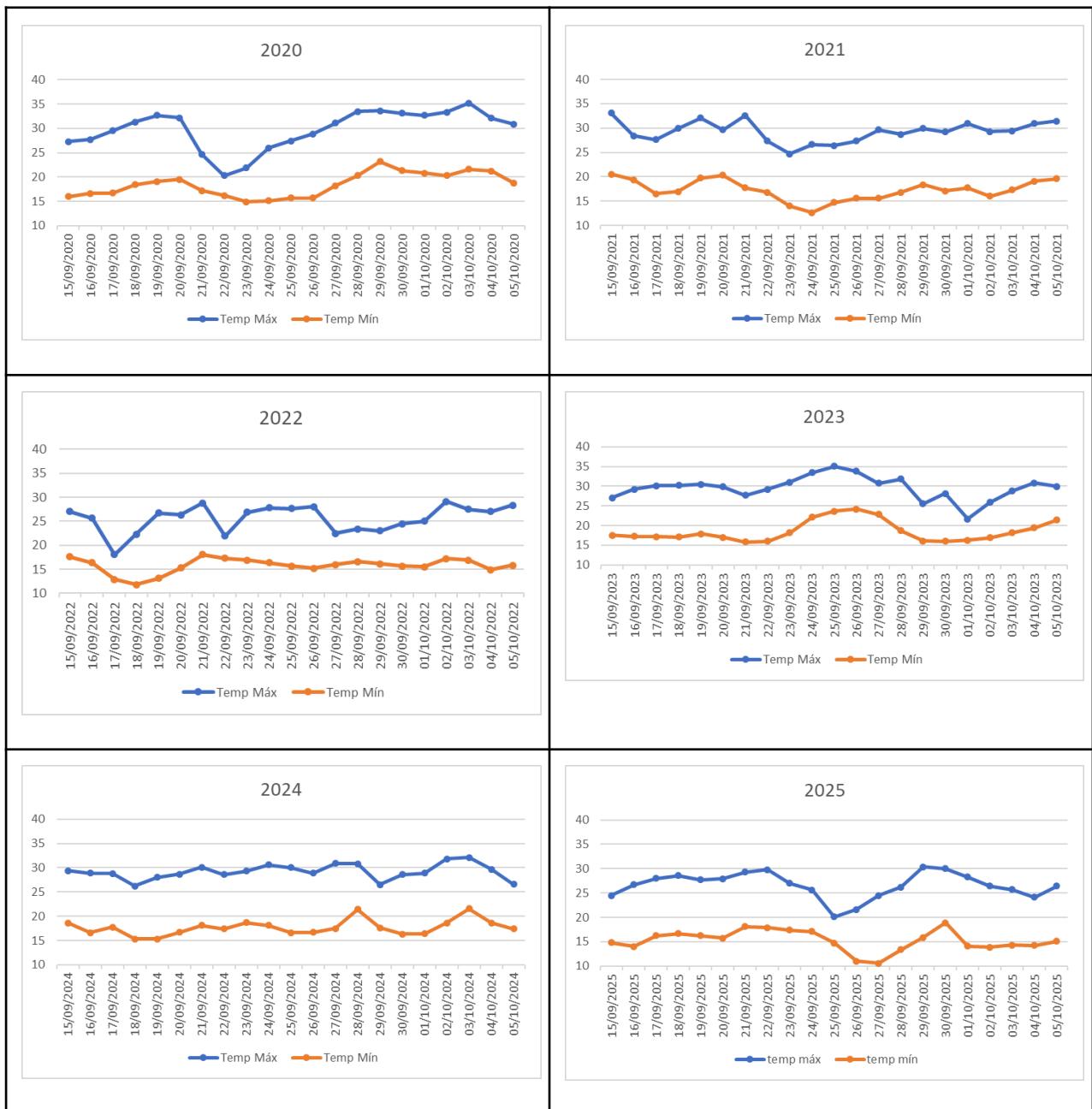
Fonte: Autor (2025)

5.1.1.3 Estação Ibirité

A Estação Meteorológica Automática de Ibirité está localizada no interior do Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, situado na Região Metropolitana de Belo Horizonte, nas proximidades do bairro Barreiro, ao sudoeste da capital mineira. A estação encontra-se a uma altitude de 1.198,82 metros (INMET, 2025) e está inserida em uma área de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, característica que confere ao local elevada relevância ecológica e diversidade de formações vegetais (REDE GLOBO, 2016). O entorno da estação é composto predominantemente por vegetação rasteira e de baixa densidade. No dia mais quente registrado em Belo Horizonte (25 de setembro de 2023), essa estação da região metropolitana registrou uma temperatura máxima de 35,1 °C, conforme boletim técnico do

INMET (2025). A Figura 22 demonstra o comparativo de temperaturas máximas e mínimas entre o ano de 2020 e 2025, para o mesmo intervalo de tempo.

Figura 22 - Análises de Temperaturas Máximas e Mínimas 15/09 - 05/10 (2020 - 2025) - Estação Ibirité



Fonte: Autor (2025)

Assim como observado nos demais anos analisados, os dados de 2020 registrados na Estação Ibirité evidenciam uma queda acentuada das temperaturas máximas a partir de 20 de

setembro, alcançando o valor mínimo de 20,3 °C em 22 de setembro. Após esse declínio, verifica-se uma progressiva recuperação térmica, com as máximas retornando a valores acima de 30 °C a partir de 27 de setembro, culminando no pico de 35,2 °C, que corresponde à maior temperatura máxima registrada no período - dos períodos analisados nessa estação, esse dia registrou maior temperatura máxima. Esse comportamento confirma que, em 2020, ocorreram episódios de temperatura extrema dentro da janela analisada. As temperaturas mínimas, por sua vez, oscilaram entre aproximadamente 15 °C e 23 °C, apresentando um aumento expressivo a partir de 27 de setembro e mantendo-se relativamente estáveis, próximas de 20 °C, após o pico observado em 29 de setembro.

No ano de 2021, as temperaturas máximas apresentaram variações expressivas, oscilando entre 24,7 °C e 33,1 °C. O pico térmico ocorreu em 21 de setembro, seguido por uma queda acentuada, após a qual se observa um período de menores oscilações e uma tendência gradual de elevação das máximas nos dias posteriores. As temperaturas mínimas variaram entre 12,6 °C e 20,5 °C, apresentando oscilações até 20 de setembro. Em seguida, ocorreu uma redução contínua das mínimas até 24 de setembro, quando os valores atingiram seus menores registros dentro do período analisado. A partir dessa data, verificou-se uma tendência de aumento, indicando o início de um processo de estabilização e aquecimento gradual.

No ano de 2022, observa-se um comportamento marcado por diversas oscilações térmicas, com temperaturas máximas predominantemente inferiores a 30 °C, variando entre 18 °C e 29 °C. No início do período, as máximas apresentaram tendência de queda, atingindo seu menor valor em 17 de setembro. A partir dessa data, registrou-se uma elevação, seguida de nova redução em 22 de setembro e, posteriormente, outra subida, que culminou em mais um declínio em 27 de setembro. Após essa sequência de flutuações, ocorreu um curto intervalo de relativa estabilidade, com poucas oscilações ao longo de quatro dias. Com a elevação registrada em 2 de outubro, as temperaturas máximas passaram a apresentar tendência de aumento. As temperaturas mínimas, por sua vez, iniciaram o período em queda, até alcançarem seu valor mais elevado (18,1 °C) em 21 de setembro. Após esse pico, as mínimas mantiveram-se com pequenas variações e comportamento predominantemente estável, indicando menor amplitude térmica no final do intervalo analisado.

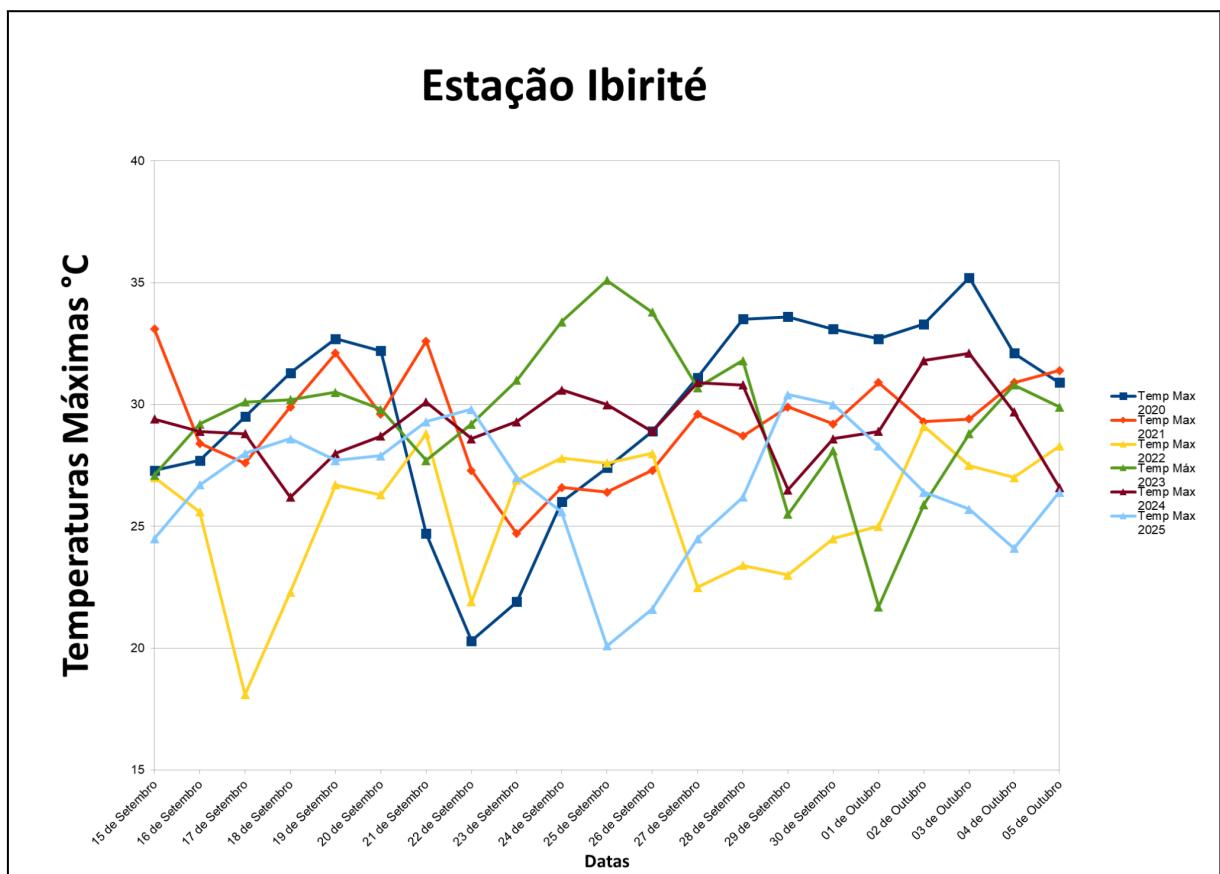
No ano de 2023, foco central deste estudo, as temperaturas máximas oscilaram entre 21,7 °C e 35,1 °C, sendo este último valor registrado em 25 de setembro, data que corresponde ao dia mais quente da história de Belo Horizonte. O gráfico evidencia uma tendência clara de elevação das temperaturas máximas nos dias que antecederam a onda de calor, iniciada em 23 de setembro, seguida por uma queda discreta após o pico do dia 25. Observa-se ainda um novo aumento em 28 de setembro, último dia da onda de calor. Após o encerramento desse evento climático, verifica-se uma redução das temperaturas máximas, com oscilações moderadas, até atingir-se o menor valor registrado em 1º de outubro. A partir dessa data, as máximas voltam a apresentar tendência de elevação, indicando o restabelecimento gradual do padrão térmico típico do período. O comportamento das temperaturas mínimas apresentam oscilações discretas até o dia inicial da onda de calor, no dia 23 de setembro, quando houve elevação da curva até o dia final da onda, quando a curva volta a ter poucas oscilações e com uma tendência de crescimento no início de outubro. Tal comportamento corrobora com a tese que durante os períodos de ondas de calor a elevação das temperaturas mínimas é registrada. As temperaturas mínimas oscilam entre 15,8 °C e 24,2 °C.

Já no ano de 2024, houveram poucas oscilações nas temperaturas máximas e mínimas, tendo as máximas variando entre 26,2 °C e 32,1 °C e as mínimas oscilando entre 15,3 °C e 21,6 °C. Notoriamente, esse ano apresentou temperaturas mais amenas que o ano anterior, com as maiores temperaturas deste ano, dentro do período analisado, no início de outubro. As temperaturas mínimas registraram picos acima dos 20 °C apenas nos dias 28 de setembro e 3 de outubro.

Por fim, no ano de 2025, as temperaturas foram mais amenas do que anos anteriores, tendo as temperaturas máximas variando entre 20,1 °C e 30,4 °C e as mínimas entre 10,6 °C e 18,9 °C. Nota uma queda notável nas temperaturas máximas, sendo o menor valor no dia 25 de outubro e, após esse dia, um comportamento de ascensão e com pico máximo no dia 29 do mesmo mês, onde foi o único dia do período analisado que a máxima chegou acima dos 30 °C. As temperaturas mínimas registram comportamentos de temperaturas de oscilações, com uma queda a partir do dia 25 de setembro e com nova ascensão no dia 28 do mesmo mês. O auge das temperaturas mínimas se deu no último dia de setembro e, após esse dia, as temperaturas apresentaram uma queda e seguindo sem grandes oscilações.

A Figura 23 apresenta o comportamento das temperaturas máximas registradas em cada ano no intervalo entre 15 de setembro e 3 de outubro. Observa-se que os anos de 2020 e 2023 se destacam por apresentarem os valores mais elevados ao longo do período analisado. Em particular, nota-se que, na Estação Ibirité, a temperatura máxima registrada em 3 de outubro de 2020 superou aquela aferida no dia historicamente mais quente de 2023 (25 de setembro). Isso se decorre de fatores específicos associados às características da estação, como altitude, nível de urbanização do entorno, fluxo e concentração de poluentes atmosféricos e outros elementos que influenciam a retenção e dissipação de calor. Em contrapartida, os anos de 2022 e 2025 apresentaram as temperaturas máximas mais amenas, refletindo condições térmicas menos extremas no período comparado.

Figura 23 - Temperaturas Máximas na Estação Ibirité (2020 - 2025)

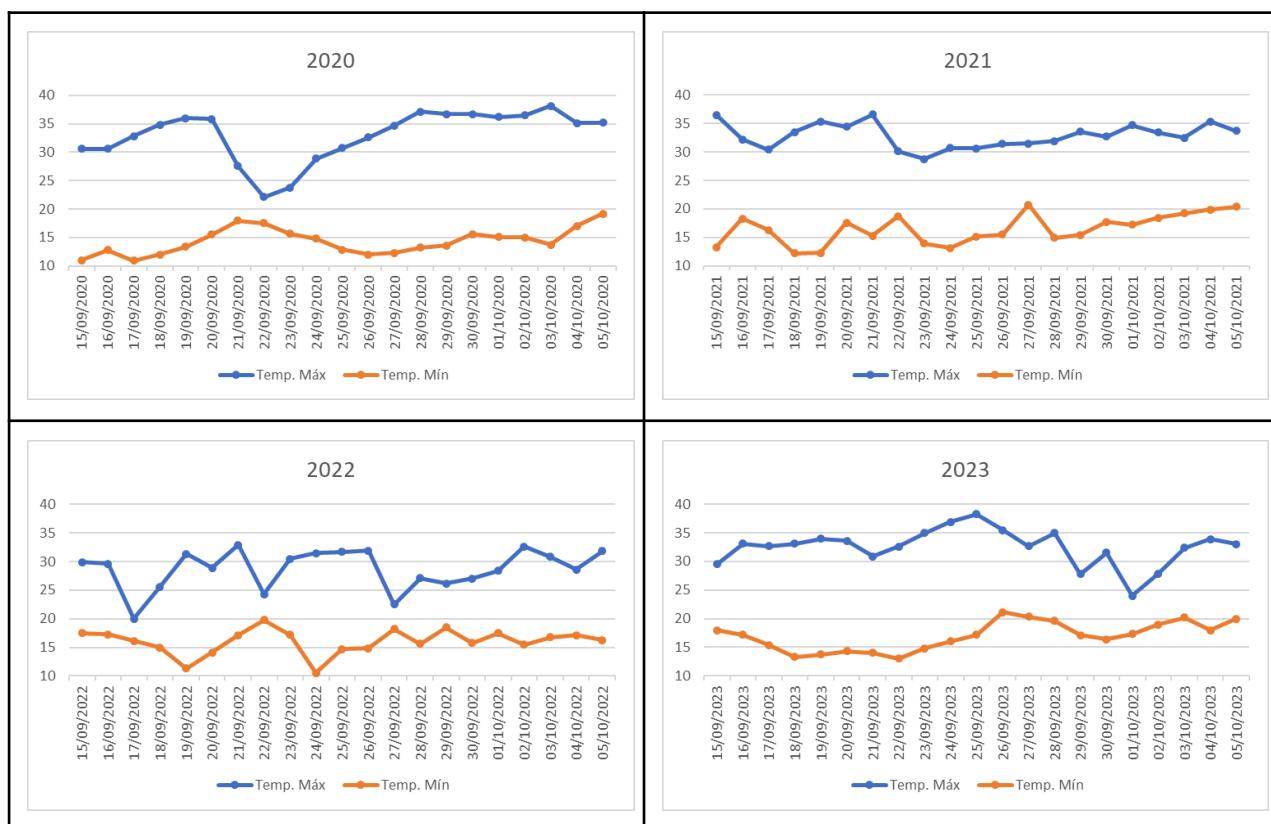


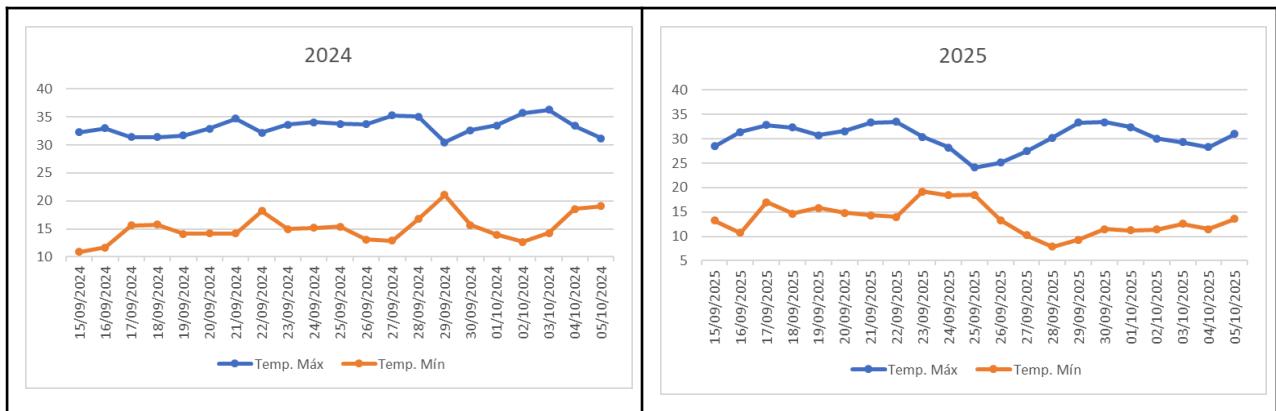
Fonte: Autor (2025)

5.1.1.4 Estação Florestal

Por fim, a Estação Meteorológica Automática de Florestal está localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, nas dependências da Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Campus Florestal, a uma altitude de 753,50 metros (INMET, 2025). A área onde se encontra a estação apresenta características de transição entre o meio urbano e uma zona de mata mais densa, sendo circundada por edificações e instalações da própria universidade, além de fragmentos de vegetação nativa. No dia 25 de setembro de 2023, data em que foi registrada a maior temperatura da história de Belo Horizonte, a estação de Florestal também apresentou valores expressivos, atingindo a temperatura máxima de 38,3 °C, conforme dados disponibilizados pelo boletim técnico do INMET (2025). A Figura 24 demonstra o comparativo de temperaturas máximas e mínimas entre o ano de 2020 e 2025, para o mesmo intervalo de tempo.

Figura 24 - Análises de Temperaturas Máximas e Mínimas 15/09 - 05/10 (2020 - 2025) - Estação Florestal





Fonte: Autor (2025)

No ano de 2020, as temperaturas máximas iniciaram o período analisado acima dos 30 °C, ultrapassando os 35 °C a partir de 19 de setembro. Nos dias subsequentes, verificou-se uma queda acentuada, com o valor mínimo atingindo 22,1 °C, representando uma redução superior a 10 °C em curto intervalo temporal. A partir de 25 de setembro, as máximas voltaram a superar os 30 °C, alcançando novamente valores acima de 35 °C em 28 de setembro. Nos dias seguintes, mantiveram-se elevadas, culminando no pico de 38,1 °C em 3 de outubro, o valor mais alto registrado no período. Assim, observa-se que 2020 apresenta ampla variabilidade térmica, com predomínio de temperaturas máximas elevadas e oscilações expressivas ao longo da série. As temperaturas mínimas apresentaram um aumento progressivo entre os dias 19 e 25 de setembro, comportamento que acompanha parcialmente o período de queda acentuada das temperaturas máximas. Após esse intervalo, observaram-se poucas oscilações significativas, com as mínimas mantendo um padrão relativamente estável e indicando uma tendência de elevação no início de outubro. No período analisado, os valores de temperatura mínima variaram entre 10,9 °C e 19,2 °C.

No ano de 2021, a temperatura máxima no primeiro dia do período analisado situava-se acima de 35 °C, seguida por uma queda acentuada, atingindo uma redução de aproximadamente 5 °C em 17 de setembro. Após esse declínio, observa-se uma nova elevação, com as máximas voltando a ultrapassar os 35 °C em 21 de setembro. Em seguida, registrou-se outra queda expressiva, superior a 5 °C, fazendo com que as temperaturas máximas ficassem abaixo de 30 °C em 23 de setembro. Nos dias posteriores, a série apresenta oscilações menos pronunciadas, mas revela uma tendência gradual de elevação. Assim como observado nas temperaturas máximas, as temperaturas mínimas em 2021 também apresentaram oscilações ao longo do

período analisado, variando entre 12,2 °C e 20,7 °C. No início da série, os valores se iniciam em patamares mais baixos, mas se elevam rapidamente, passando a apresentar um comportamento relativamente estável nos dias subsequentes, ainda que com picos pontuais de aumento. O episódio mais expressivo ocorre entre 27 de setembro e 1º de outubro, quando as mínimas atingem seus valores mais altos dentro do intervalo. Após esse período, observa-se uma redução das temperaturas mínimas, seguida por uma nova tendência de elevação.

No ano de 2022, as temperaturas máximas apresentaram valores mais amenos em comparação aos anos anteriores, não ultrapassando os 35 °C e variando entre 20 °C e 32,9 °C. Apesar de menos extremas, as máximas exibiram intensa variabilidade, com sucessivas oscilações de queda e elevação ao longo de todo o período entre 15 de setembro e 5 de outubro. De maneira semelhante, as temperaturas mínimas também mostraram grande amplitude de variação, oscilando entre 10,5 °C e 19,8 °C. Em alguns momentos, máximas e mínimas aproximaram-se significativamente, como ocorreu em 17 de setembro (20 °C e 16,1 °C) e em 27 de setembro (22,5 °C e 18,2 °C), indicando redução da amplitude térmica diária nesses dias. Assim, 2022 destaca-se como o ano com maior instabilidade térmica dentro do conjunto analisado, apresentando o maior número de oscilações tanto nas temperaturas máximas quanto nas mínimas.

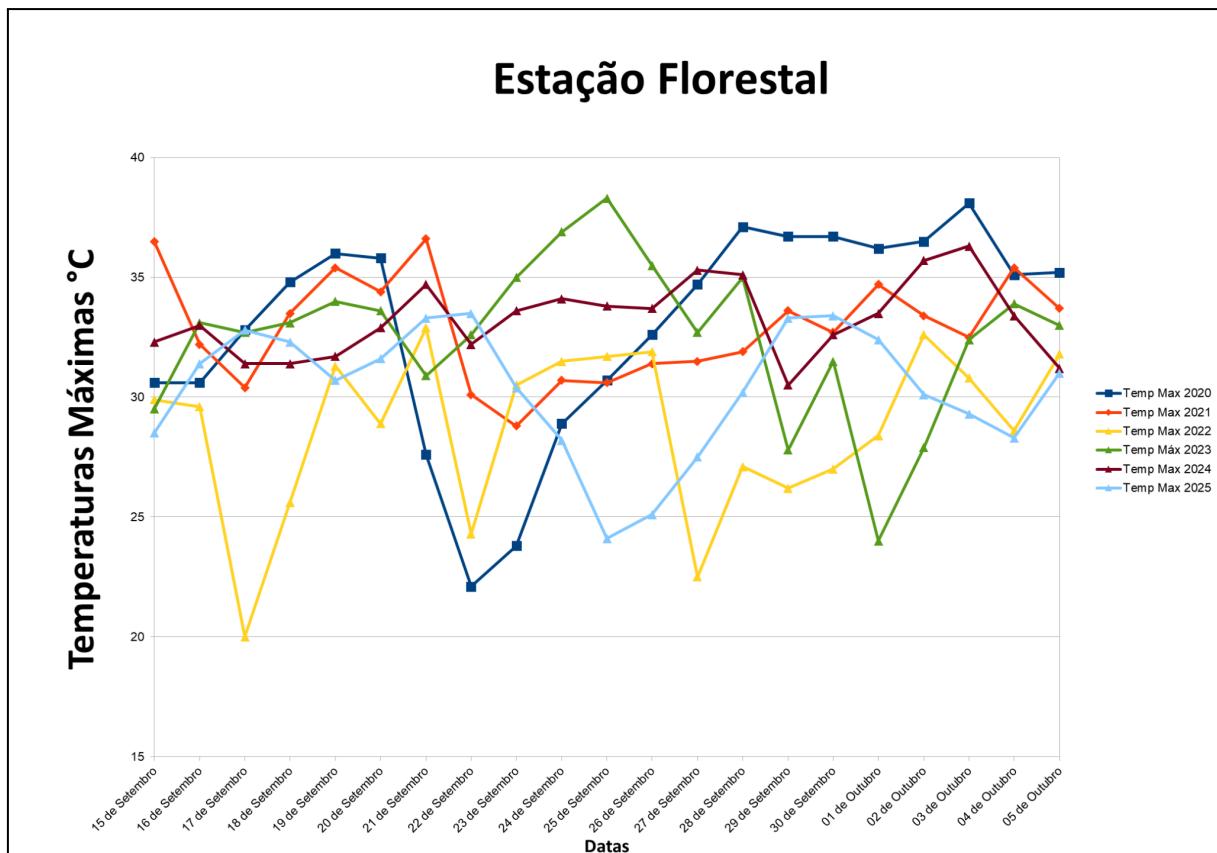
No ano de 2023, observa-se que as temperaturas máximas já se encontravam acima dos 30 °C a partir de 16 de setembro, período que antecede a onda de calor. Com o início desse evento, as máximas ultrapassam 35 °C, atingindo o pico de 38,3 °C em 25 de setembro, data marcada como o dia mais quente já registrado em Belo Horizonte. Na Estação Florestal, a curva de temperatura máxima apresentou queda para 32,7 °C no dia anterior ao encerramento da onda, mas voltou a subir, registrando 35 °C em 28 de setembro, último dia do evento. Após o término da onda de calor, as temperaturas passaram a oscilar em trajetória de declínio até o início de outubro, quando a curva voltou a apresentar tendência de elevação. As temperaturas mínimas mantiveram-se em níveis relativamente amenos e com poucas oscilações acentuadas até o início da onda de calor, onde atingiu 21,1 °C em 26 de setembro, o valor mais elevado nas mínimas do período. Após o término do fenômeno, as mínimas retornaram a patamares mais suaves, variando predominantemente entre 15 °C e 20 °C, com tendência de elevação no início de outubro.

Em 2024, as temperaturas apresentaram menor variabilidade e se mantiveram em patamares mais amenos quando comparadas ao ano anterior, registrando apenas quatro dias com máximas acima de 35 °C. A menor máxima do período ocorreu em 29 de setembro, quando o valor atingiu 30,5 °C. Em relação às temperaturas mínimas, observa-se que iniciaram o período abaixo de 15 °C nos dois primeiros dias, passando, em seguida, a exibir poucas oscilações significativas. Destacam-se dois picos: um pontual em 22 de setembro e outro, mais expressivo, em 29 de setembro, quando a mínima alcançou 21,1 °C. Após essa data, a curva das mínimas apresentou declínio, voltando a demonstrar tendência de elevação no início de outubro, acompanhando o comportamento sazonal característico do período.

No ano de 2025, as temperaturas máximas apresentaram comportamento mais ameno em comparação ao ano anterior, não ultrapassando os 35 °C ao longo do período analisado. O valor mais baixo das máximas foi registrado em 25 de setembro, quando a temperatura atingiu 24,1 °C, diferenciando-se do menor valor da temperatura mínima desse mesmo dia em apenas 5,6 °C, o que indica redução da amplitude térmica diária. Após esse ponto mínimo, a curva das máximas mostrou elevação gradual, estabilizando-se em seguida. Por sua vez, as temperaturas mínimas apresentaram grande variabilidade, oscilando entre 7,9 °C e 19,2 °C. Observou-se um período de estabilidade em valores mais elevados entre 23 e 25 de setembro, seguido por uma queda acentuada, com registros abaixo de 10 °C. Nos dias finais do intervalo, as mínimas voltaram a apresentar leve aumento, encerrando o período com tendência de estabilidade.

A Figura 25 ilustra a variação das temperaturas máximas registradas entre 2020 e 2025, no período compreendido entre 15 de setembro e 5 de outubro. Nota-se que os anos de 2020 e 2023 apresentaram os maiores valores de temperatura máxima, seguindo tendência semelhante à observada nas estações anteriores. Em contraste, os anos de 2022 e 2025 se destacam por exibirem condições mais amenas, caracterizadas por picos térmicos menos elevados ao longo do intervalo analisado. Ressalta-se ainda que, na Estação Florestal, a temperatura registrada no dia recorde de calor de 2023 superou em apenas 0,1 °C o valor medido em 3 de outubro de 2020. Essa proximidade entre os registros pode ser explicada por diversos fatores, como o grau de urbanização do entorno, o fluxo de veículos e outras características ambientais e antrópicas que influenciam o comportamento térmico local.

Figura 25 - Temperaturas Máximas na Estação Ibirité (2020 - 2025)



Fonte: Autor (2025)

Diante do exposto, observa-se que as quatro estações meteorológicas apresentaram comportamentos térmicos específicos ao longo dos anos, influenciados por características locais, como topografia, regime de ventos, grau de urbanização e níveis de emissão de poluentes, entre outros fatores. Ademais, em todos os casos, nota-se que o ano de 2023 se destacou: as curvas dos maiores valores de temperaturas máximas de cada dia revelaram um padrão consistente de elevação durante os dias da onda de calor, acompanhado pelos menores valores de temperatura mínima no período analisado, evidenciando de forma clara a ocorrência e a intensidade desse evento climático extremo.

Por fim, o período compreendido entre 15 de setembro e 5 de outubro corresponde à transição do inverno para a primavera em Belo Horizonte, sendo majoritariamente inserido nesta última estação. No fim do inverno, o clima caracteriza-se por baixa umidade relativa, elevado número de dias ensolarados e grande amplitude térmica, condições que podem favorecer

episódios de maior aquecimento. Já no início da primavera, ocorre a elevação gradual das temperaturas e a retomada da umidade atmosférica.

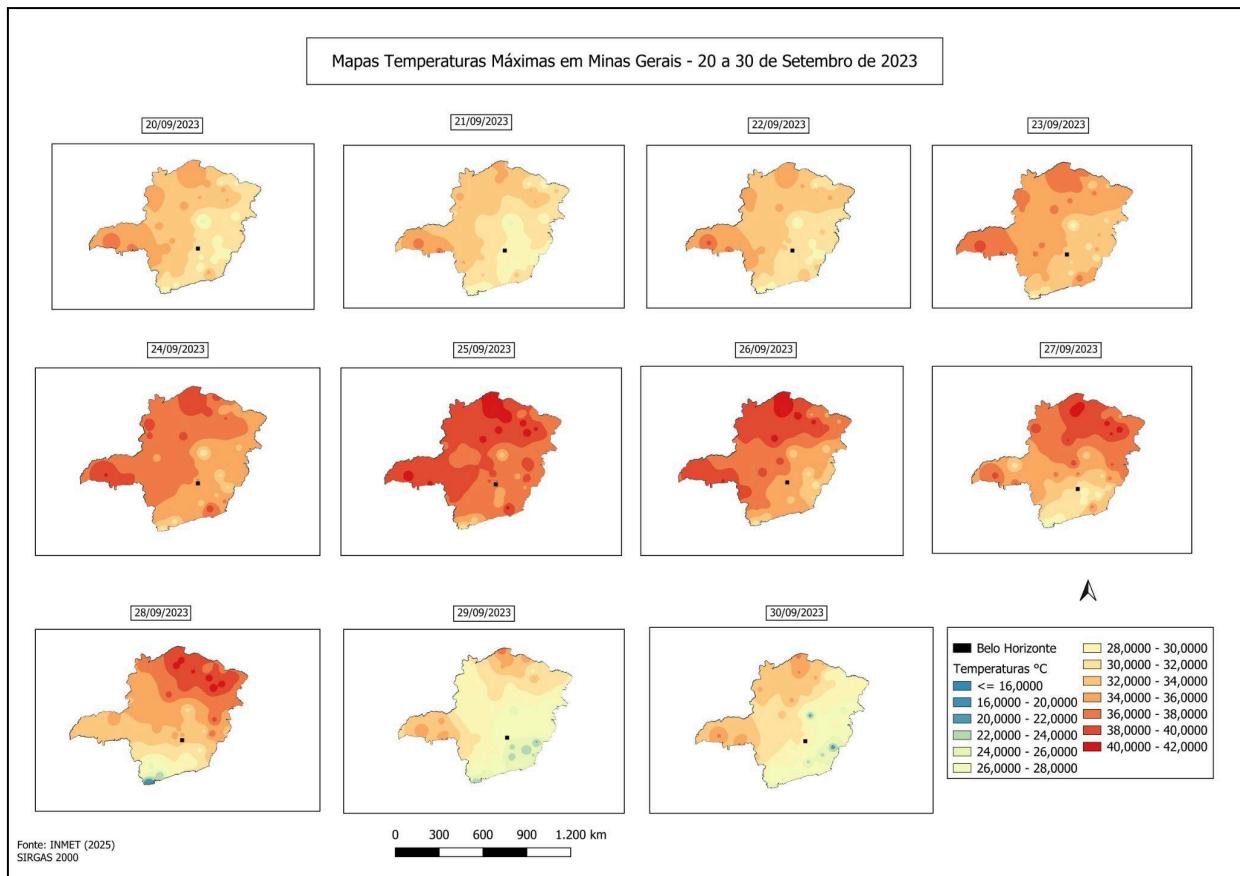
5.2 Análise Térmica de Minas Gerais

A onda de calor que atingiu Minas Gerais em setembro de 2023 esteve entre os eventos extremos mais significativos registrados no estado naquele ano. De acordo com a Climatempo (2023), o episódio se intensificou entre os dias 25 e 27 de setembro, quando Minas Gerais concentrou as maiores temperaturas do Brasil, com destaque para o município de São Romão, no Noroeste mineiro. Nessa localidade, as máximas alcançaram 43,5 °C, 43,0 °C e 42,8 °C em dias consecutivos, valores muito acima do esperado para o período.

Além dos recordes de São Romão, o relatório aponta que diversas regiões mineiras registram temperaturas iguais ou superiores a 40 °C, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia compilados pela Climatempo (2023). O evento foi descrito como um período em que o calor estava “muito acima do normal”, caracterizado por ar seco, forte insolação e ausência de sistemas meteorológicos capazes de reduzir as temperaturas. Esse comportamento evidencia não apenas a gravidade do episódio, mas também a crescente recorrência de extremos térmicos na região, com implicações diretas para a saúde da população, a segurança hídrica e a dinâmica agrícola do estado.

A Figura 26, reúne mapas realizados através de dados interpolados das temperaturas máximas registradas no estado de Minas Gerais no período anterior da onda de calor, durante e depois do fenômeno climático, no intervalo de tempo entre os dias 20 e 30 de setembro de 2023.

Figura 26 - Mapa de Temperaturas Máximas em Minas Gerais 20/09/2023 - 30/09/2023



Fonte: Autor (2025)

A comparação entre os mapas meteorológicos do estado de Minas Gerais permite observar de forma clara a evolução e intensificação do fenômeno térmico extremo que atingiu grande parte da região Sudeste do Brasil. Antes do evento, entre os dias 20 e 22 de setembro, as condições atmosféricas apresentavam-se relativamente estáveis e com um padrão térmico ainda moderado, caracterizado por temperaturas máximas predominantemente entre 24 °C e 30 °C, com algumas áreas pontuais alcançando faixas ligeiramente superiores. O comportamento espacial indica valores mais elevados no Triângulo Mineiro, Noroeste e Norte do estado, mas ainda sem a presença de núcleos de calor intenso. De modo geral, tratando-se de um período pré-onda de calor, grande parte do território mineiro apresentava condições térmicas típicas de transição para o final do inverno e início da primavera, com variação relativamente suave entre as regiões e ausência de manchas representativas de calor extremo.

Contudo, nos dias correspondentes à ocorrência da onda de calor — entre 23 e 28 de setembro de 2023 —, observou-se uma mudança significativa nos padrões atmosféricos. A atuação persistente de um sistema de alta pressão, associado à subsidênci a de massas de ar seco e estável, inibiu a formação de nuvens e reduziu drasticamente os índices de umidade relativa do ar. Esse bloqueio atmosférico impediu o avanço de frentes frias e favoreceu o acúmulo de calor ao longo dos dias, resultando em uma elevação expressiva das temperaturas em praticamente todo o território mineiro. Destaca-se a alta temperatura na região do Triângulo Mineiro, no Norte de Minas e Noroeste do estado.

A partir do período de início da onda de calor, no dia 23 de setembro, os mapas demonstram o estabelecimento da onda de calor, com intensificação progressiva das temperaturas em diversas regiões do estado, sobretudo aquelas que já estavam com uma temperatura acima antes do período em questão. Entre os dias 23 e 28 de setembro, nota-se ampla predominância de valores acima de 34 °C, estendendo-se de forma contínua pelo Triângulo Mineiro, Noroeste, Norte, Alto Paranaíba e Jequitinhonha, chegando a superar 38 °C e 40 °C em diversas localidades — especialmente entre os dias 24 e 27. O auge do evento ocorre entre 25 e 27 de setembro, quando extensas áreas do interior mineiro atingem as maiores temperaturas do período, destacando-se a formação de núcleos vermelhos ainda mais intensos no mapa, indicando calor excepcional e atmosféricamente persistente. Esse conjunto de dias evidencia a instalação plena da onda de calor no estado, com forte amplitude espacial e elevada intensidade térmica. Como já citado neste Estado da Arte, o recorde térmico em Belo Horizonte se deu no dia 25 do mês de setembro, dia em que o mapa do estado mais possui manchas de tom vermelho, ou seja, dia em que se registrou as maiores temperaturas máximas em Minas Gerais.

Ademais, ainda no período da extremidade térmica, observa-se que as regiões anteriormente identificadas como mais vulneráveis aos extremos térmicos mantiveram-se sob condições críticas de aquecimento. Entretanto, verifica-se também o avanço da mancha térmica para novas porções do território estadual, especialmente na região central de Minas Gerais. Essa área concentra importantes centros urbanos, dentre os quais se destaca Belo Horizonte, capital do estado e objeto de estudo deste trabalho. Adiante, no último dia da onda de calor, observa-se uma redução das temperaturas máximas em grande parte do estado, especialmente

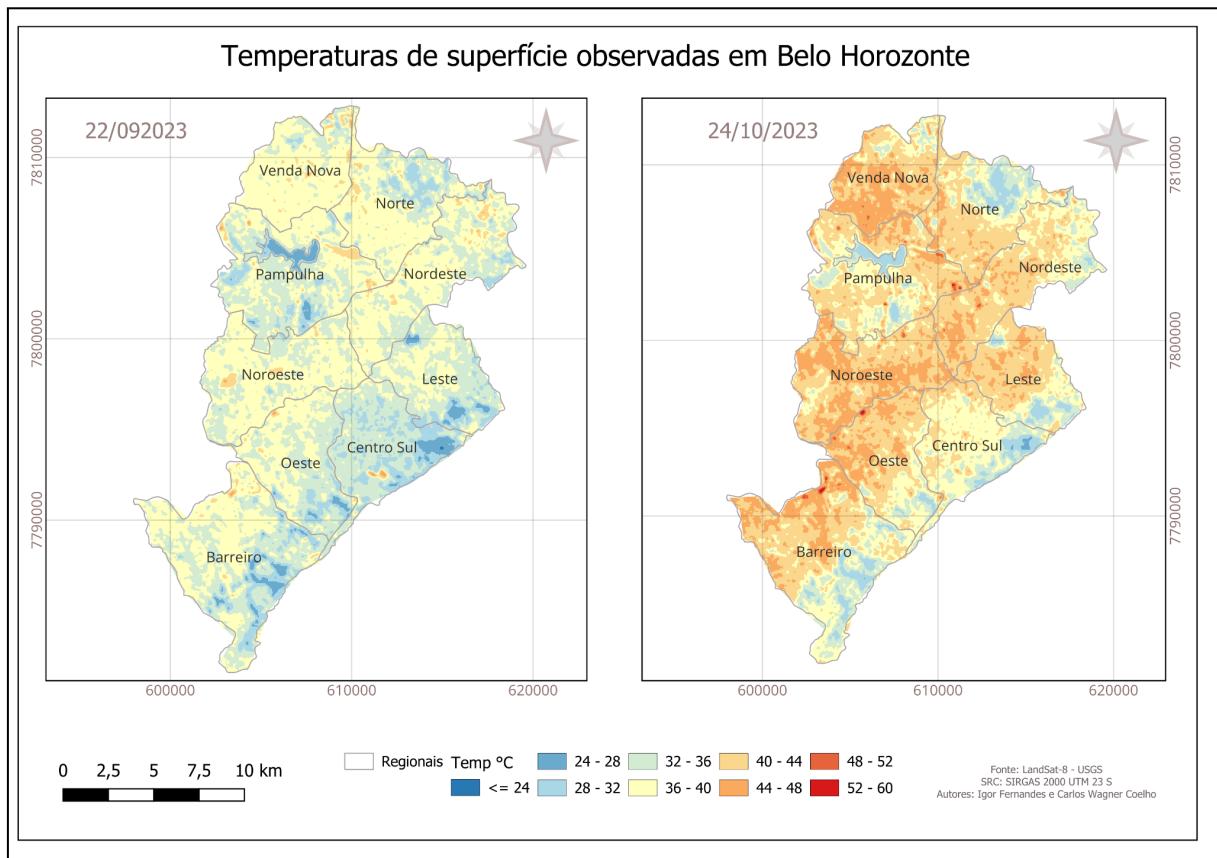
no Sul de Minas e uma amenizada no Triângulo Mineiro. Entretanto, as regiões Norte e do Jequitinhonha ainda apresentavam valores significativamente elevados, mantendo condições de aquecimento extremo.

Nos dias 29 e 30 de setembro, observou-se uma redução considerável das temperaturas máximas, marcando o período após a onda de calor. Os mapas mostram a substituição das tonalidades vermelhas e alaranjadas intensas por cores mais amenas, com predominância de faixas entre 24 °C e 30 °C, além de pequenas áreas abaixo de 26 °C, especialmente no Sul, Zona da Mata e partes do Centro-Sul. Embora ainda existam regiões no Norte e Noroeste com valores um pouco mais elevados, o padrão geral indica um declínio expressivo do calor extremo, aproximando as temperaturas de condições mais próximas da normalidade para o final de setembro. Essa transição evidencia o rompimento do bloqueio atmosférico que sustentou a onda de calor nos dias anteriores.

5.3 Análise Térmica de Belo Horizonte

Conforme descrito no item 4.3, a análise térmica da superfície de Belo Horizonte se deu em duas ocasiões distintas, nos dias 22 de setembro e 24 de outubro de 2023, como apresenta a Figura 27, em forma de um comparativo da temperatura da superfície térmica de Belo Horizonte em ambas as datas.

Figura 27 - Comparativo de Temperaturas de Superfície em Belo Horizonte (22/09 e 24/10 de 2023)



Fonte: Autor (2025)

Em uma análise inicial, observa-se que, no dia 22 de setembro de 2023 — data imediatamente anterior ao início da elevação das temperaturas associada à onda de calor — a temperatura máxima registrada em Belo Horizonte foi de 29,3 °C, enquanto a mínima atingiu 15,2 °C, conforme dados do INMET (2025). Nesse mesmo dia, a temperatura de superfície apresentou predominantemente tons de azul claro e azul escuro, correspondendo às classes 24–28 °C, além de áreas em amarelo claro, representando a faixa 36–40 °C.

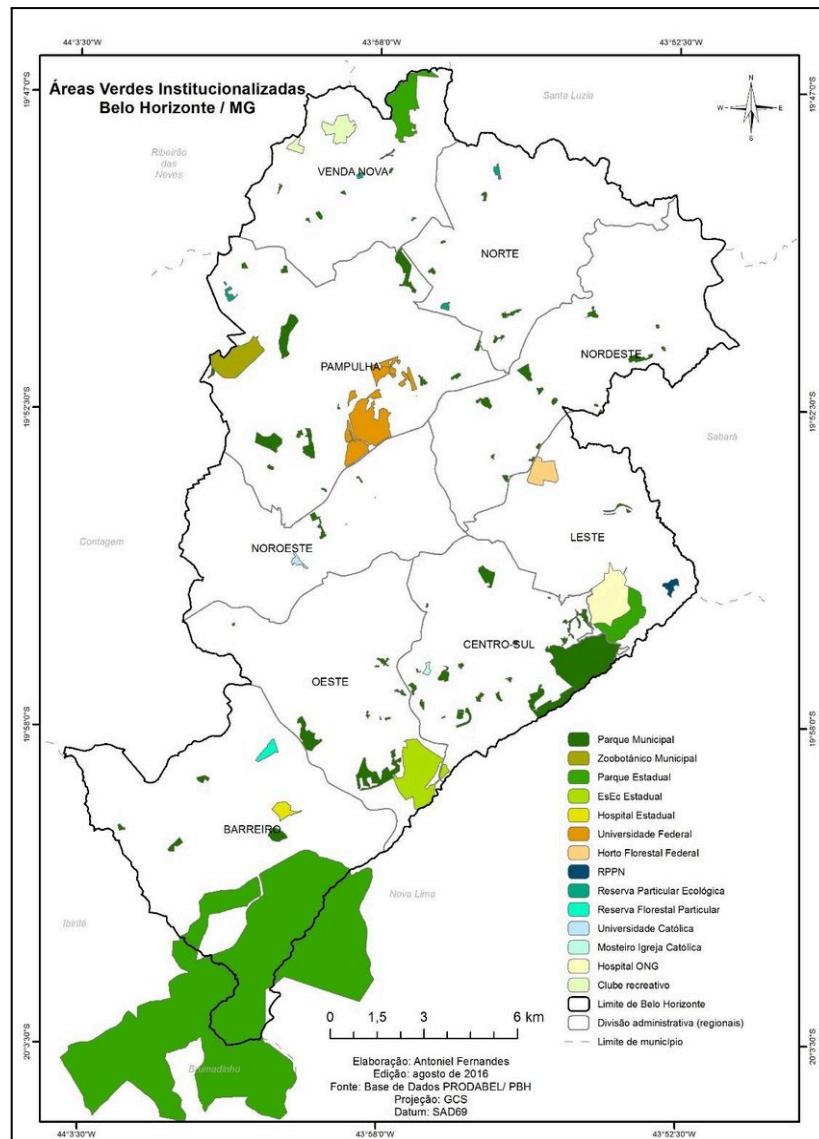
Destaca-se que o aquecimento superficial é influenciado por um conjunto de fatores geoambientais e antrópicos, tais como altitude e topografia, características do material de superfície, presença de áreas verdes e grau de impermeabilização urbana. Ademais, como mencionado anteriormente, o mês de setembro tende a apresentar temperaturas mais elevadas

em Belo Horizonte, especialmente sob a influência do fenômeno El Niño, que intensifica episódios de calor na região sudeste do país.

Observa-se também que as áreas com temperaturas de superfície mais amenas concentram-se em regiões próximas a manchas de vegetação, como parques e corredores verdes, em zonas de maior altitude, bem como nas proximidades da Lagoa da Pampulha, cujo corpo d'água contribui para a moderação térmica local. O destaque de regional com superfície térmica mais amena é da região Centro Sul, que segundo Ribeiro (2024), a região Centro-Sul de Belo Horizonte continua sendo a mais economicamente valorizada da capital, com bairros como Savassi e Santo Agostinho apresentando os preços de m² mais elevados.

A Figura 28 demonstra áreas verdes institucionalizadas da cidade de Belo Horizonte, onde é possível analisar a relação de temperatura amena, evidenciadas na figura anterior, e a presença de arborização.

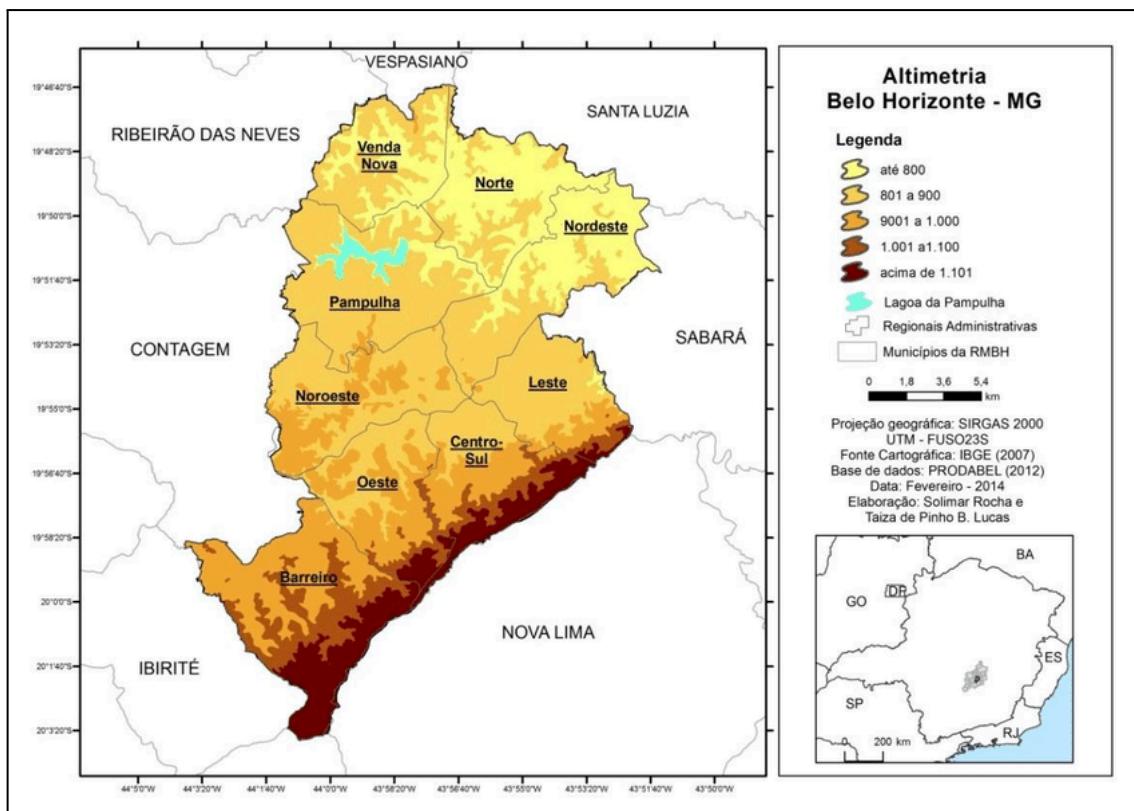
Figura 28 - Áreas Verdes Institucionalizadas em Belo Horizonte



Fonte: Fernandes e Caldeira (2016)

Ademais, a Figura 29 apresenta o mapa de altimetria de Belo Horizonte, permitindo estabelecer uma correlação direta com os padrões térmicos observados na Figura 27. De modo geral, áreas situadas em maiores altitudes tendem a registrar temperaturas de superfície mais amenas, enquanto regiões mais baixas são frequentemente associadas a valores térmicos mais elevados.

Figura 29 - Mapa Hipsométrico em Belo Horizonte



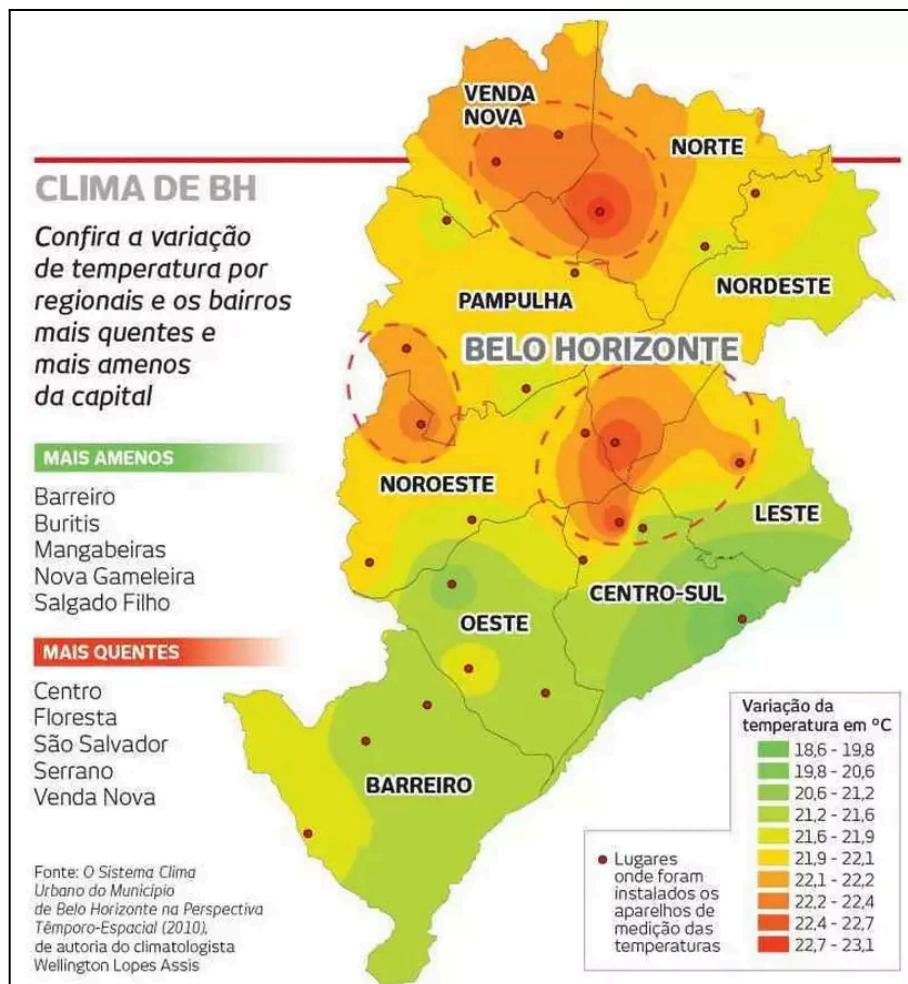
Fonte: Souza & Santos (2015)

Adiante, ainda retratando sobre a Figura 27 - porém sobre o dia 24 de outubro de 2023 -, como já dito, o maior valor de temperatura máxima no dia foi de 34,5 °C e o menor valor de temperatura mínima se deu em 20,5 °C, registrados na Estação Pampulha e se assemelhando com valores de temperatura do período analisado da onda de calor do mês de setembro. Nesse sentido, observa-se um quadro de intenso aquecimento superficial, marcado pela predominância de classes térmicas elevadas. Grande parte da área urbana passa a apresentar temperaturas dentro das faixas 36–40 °C e, majoritariamente, entre 40–44 °C mesclado com 44 - 48 °C, evidenciando um aquecimento extenso e contínuo.

Nesse contexto, as faixas em tom laranja mais intenso, correspondentes ao intervalo de 44 a 48 °C, estão distribuídas de forma mais expressiva nas superfícies das regionais Venda Nova, Noroeste e Barreiro. Nas regionais Nordeste, Leste e Norte, essas áreas de maior aquecimento também estão presentes, porém com menor continuidade espacial em comparação às primeiras.

Em diante, ao se comparar com o mapa das ilhas e arquipélagos de calor na capital, elaborado por Assis e Abreu (2010), é possível correlacionar a intensificação dessas regiões nos dias de altas temperaturas e de grande aquecimento superficial em Belo Horizonte. A Figura 30 apresenta as regionais da cidade que possuem tal fenômeno climático-urbano.

Figura 30 - Ilhas de Calor nas Regionais de Belo Horizonte

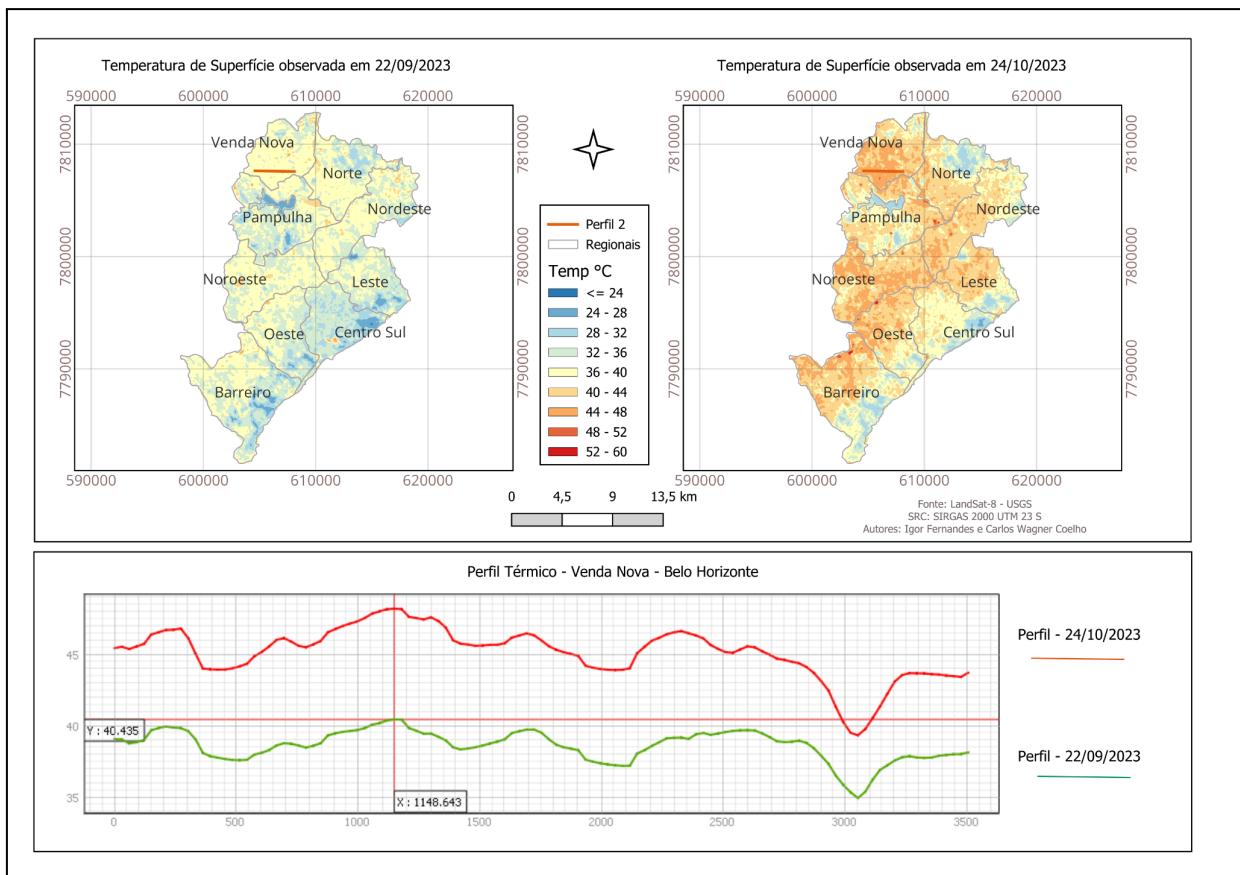


Fonte: Revista Encontro (2020)

Notoriamente, conforme consta na figura acima e comparando com a Figura 27, é indispensável relacionar a intensificação de temperaturas nos locais que possuem arquipélagos de calor na cidade de Belo Horizonte. Sobretudo, as regionais Venda Nova, o limite da regional Noroeste com a Pampulha e a periferia da região do Hipercentro em encontro com a regional Nordeste demonstram temperaturas superficiais mais altas.

Ainda discorrendo sobre as regionais que tiveram maiores temperaturas de superfície, foram feitos cortes de perfil em determinadas regiões, afim de se estabelecer uma comparação entre o dia 22 de setembro e 24 de outubro de 2023. A Figura 31 demonstra o corte de perfil na região de Venda Nova.

Figura 31 - Corte de Perfil Venda Nova



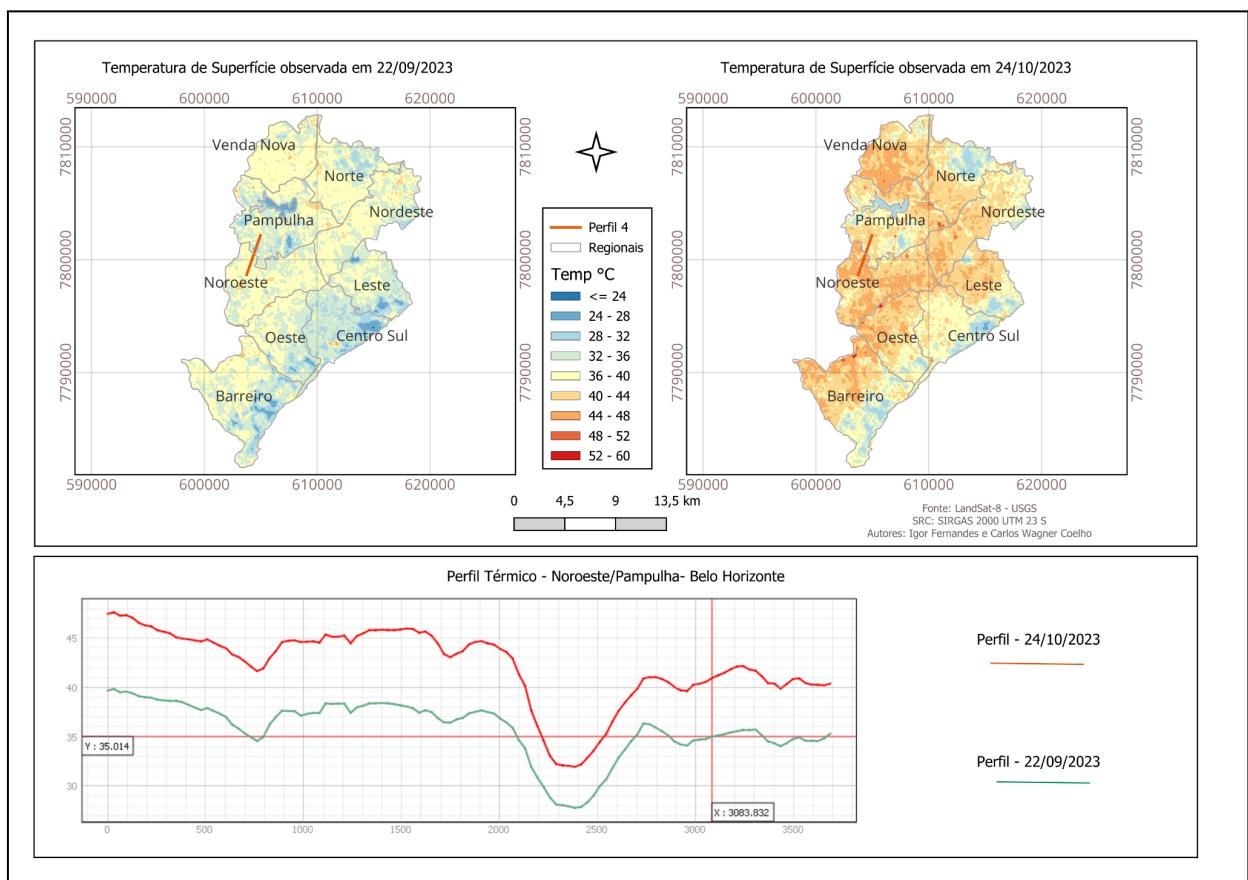
Fonte: Autor (2025)

A Regional Venda Nova caracteriza-se por apresentar uma das maiores concentrações populacionais de Belo Horizonte. Segundo dados do Censo do IBGE (2010), essa regional abriga 262.183 habitantes distribuídos em 42 bairros (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2025). Como discutido anteriormente, trata-se de uma área que reúne diversos fatores favoráveis ao aumento da temperatura de superfície, tais como alto adensamento construtivo, elevada impermeabilização, baixa altitude e insuficiência de cobertura vegetal. Por essa razão, Venda Nova é reconhecida como uma das regionais periféricas mais suscetíveis à formação de ilhas de calor urbanas.

A imagem analisada ilustra esse comportamento térmico, evidenciando setores onde a temperatura de superfície excede 45 °C, o que reforça o intenso processo de aquecimento que atinge a regional.

Ademais, foi feito o Corte de Perfil em outra área que registra altas temperaturas e está inserida dentro de uma ICU. A Figura 32 mostra o comportamento nas divisas entre a região Noroeste e Pampulha.

Figura 32 - Corte de Perfil Noroeste/Pampulha



Fonte: Autor (2025)

Como discutido ao longo deste trabalho, o limite entre as regionais Noroeste e Pampulha — região que faz divisa com o município de Contagem — configura-se como um importante arquipélago de calor urbano. Essa área, composta por bairros como Alípio de Melo, Glória, São Salvador, Coqueiros, Novo Glória, entre outros, apresenta elevada vulnerabilidade climática, especialmente durante períodos de temperaturas extremas.

O perfil térmico apresentado evidencia uma queda acentuada nos valores de temperatura em ambos os dias analisados, resultado direto da influência do Parque Municipal Ursulina de Andrade Mello, localizado no bairro Castelo (regional Pampulha). A expressiva cobertura arbórea presente no parque promove um resfriamento localizado, comprovando, mais uma vez, o papel central dos espaços verdes na mitigação do calor urbano e na melhoria do conforto térmico.

Cabe destacar que o parque situa-se em um bairro de padrão socioeconômico elevado, conforme evidenciado no mapa de renda média de Belo Horizonte (Figura 14). Tal área faz divisa imediata com bairros economicamente menos favorecidos, que apresentam maiores temperaturas de superfície e menor resiliência aos eventos de calor extremo. Dessa forma, o perfil térmico analisado permite observar de maneira clara como regiões com menor renda tendem a aquecer mais intensamente quando comparadas a áreas de maior poder aquisitivo, as quais dispõem de infraestrutura urbana e ambiental mais adequada para mitigar os efeitos das altas temperaturas. A Figura 33 apresenta de forma mais próxima a diferença de temperatura na superfície das áreas mencionadas anteriormente.

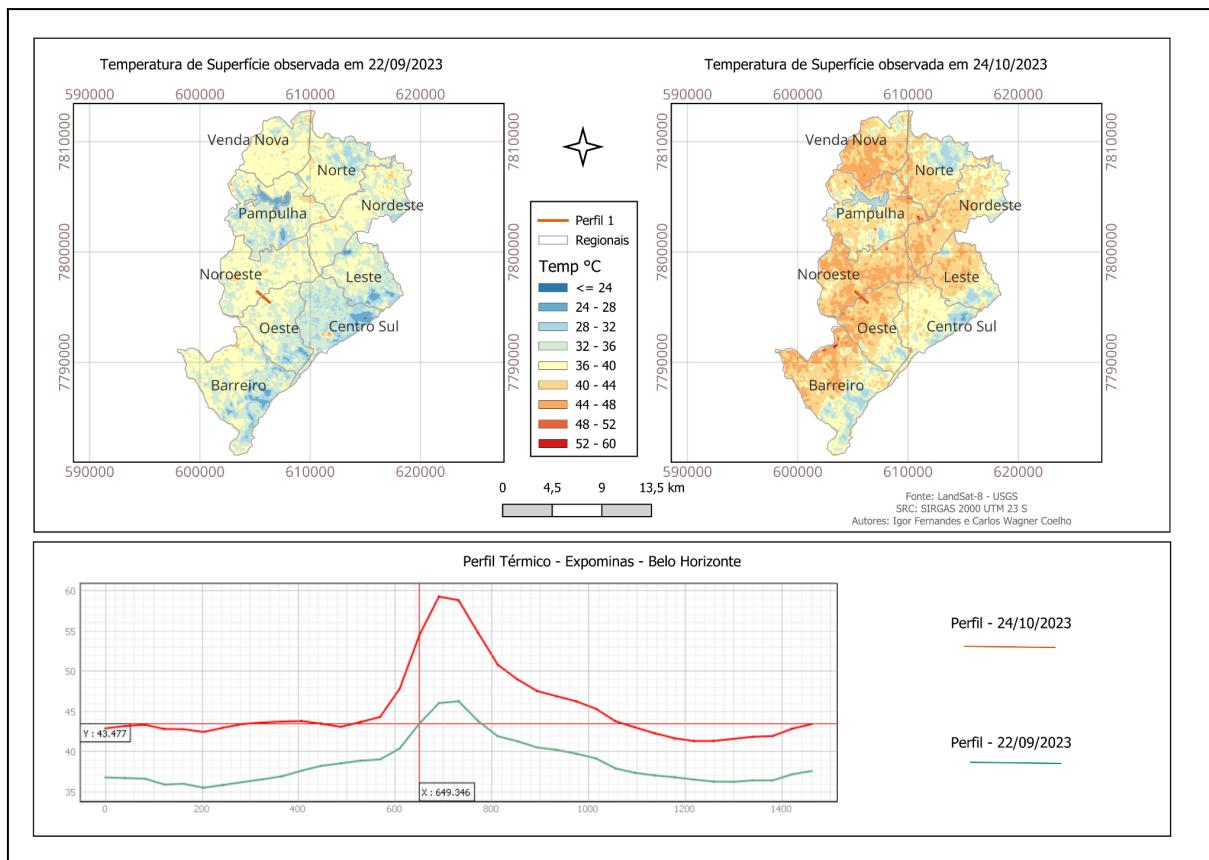
Figura 33 - Divisa Regionais Noroeste e Pampulha



Fonte: Autor (2025)

É importante salientar que, conforme já mencionado ao longo deste trabalho, a arquitetura exerce influência direta na absorção de calor e, consequentemente, na medição da temperatura superficial. Nos mapas analisados de Belo Horizonte — especialmente no dia 24 de outubro, que representa um episódio de calor extremo — observam-se áreas destacadas em vermelho, correspondentes a temperaturas entre 52 °C e 60 °C, devido a características do material de construção que compõe determinadas edificações urbanas. Como exemplo do que foi dito, a Figura 34 mostra como há um aumento agudo no corte de perfil térmico no Expominas, situado na região oeste da capital, no bairro do Gameleira.

Figura 34 - Corte de Perfil Expominas



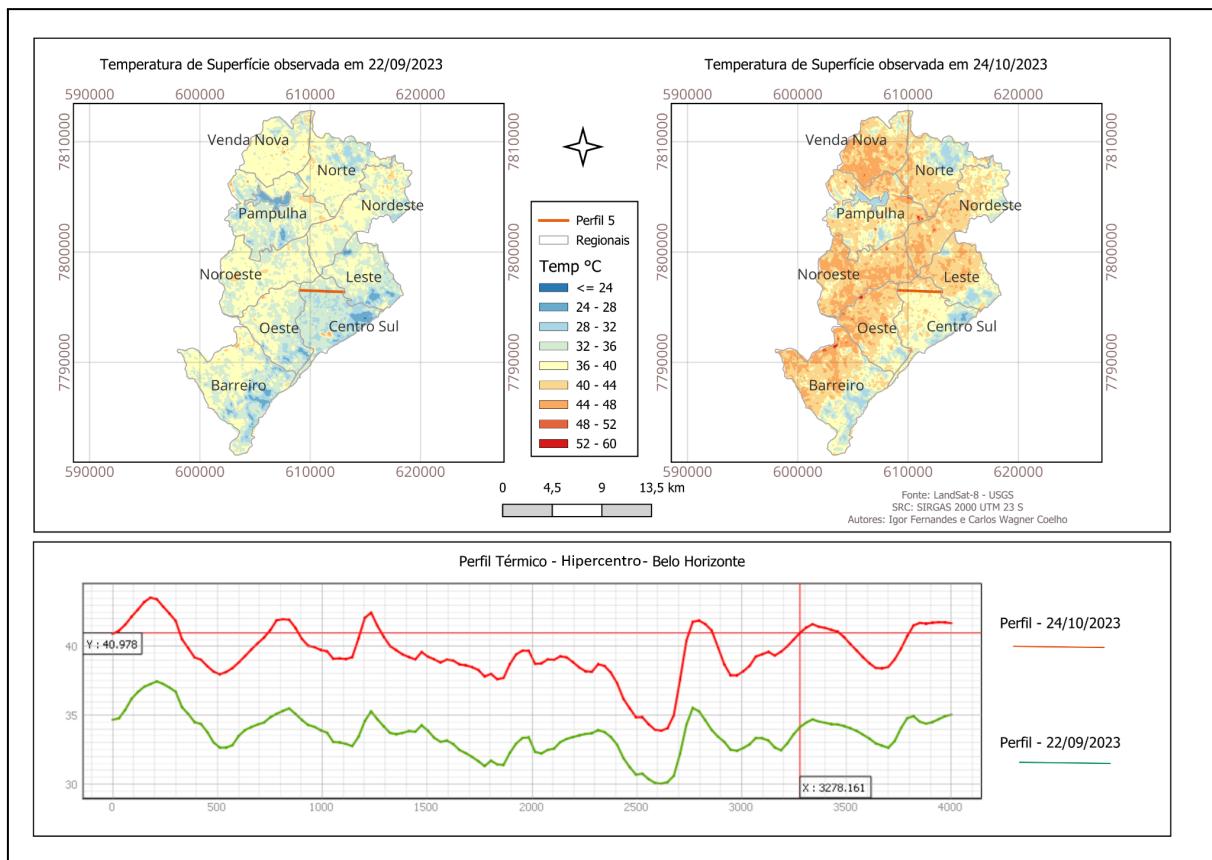
Fonte: Autor (2025)

Diante do exposto na imagem apresentada, observa-se no perfil térmico um aumento expressivo da temperatura superficial na área onde se localiza o Expominas. Esse comportamento está diretamente relacionado ao fato de que sua cobertura é composta por estruturas metálicas, conforme informado pelo escritório responsável pelo projeto, Gustavo Penna Arquiteto & Associados (PENNA et al., 2025). As coberturas metálicas, por serem excelentes condutoras térmicas, apresentam elevada capacidade de absorver e transferir calor, intensificando dessa forma o aquecimento da superfície.

Assim, evidencia-se o papel determinante dos materiais empregados nas superfícies construídas em ambientes urbanos, especialmente durante períodos de ondas de calor ou em áreas inseridas em ilhas de calor urbano. A depender das propriedades térmicas do material, a superfície pode atingir temperaturas significativamente elevadas, contribuindo para o desconforto térmico local e para a intensificação desses fenômenos climáticos.

Adiante, a Figura 35 apresenta o perfil transversal da região do Hipercentro de Belo Horizonte, área inserida em uma ilha de calor devido ao intenso fluxo de veículos, ao elevado adensamento urbano, à predominância de superfícies impermeabilizadas e à intensa circulação de pessoas. Esses fatores, combinados, contribuem significativamente para o aumento da temperatura superficial e para a intensificação do desconforto térmico local.

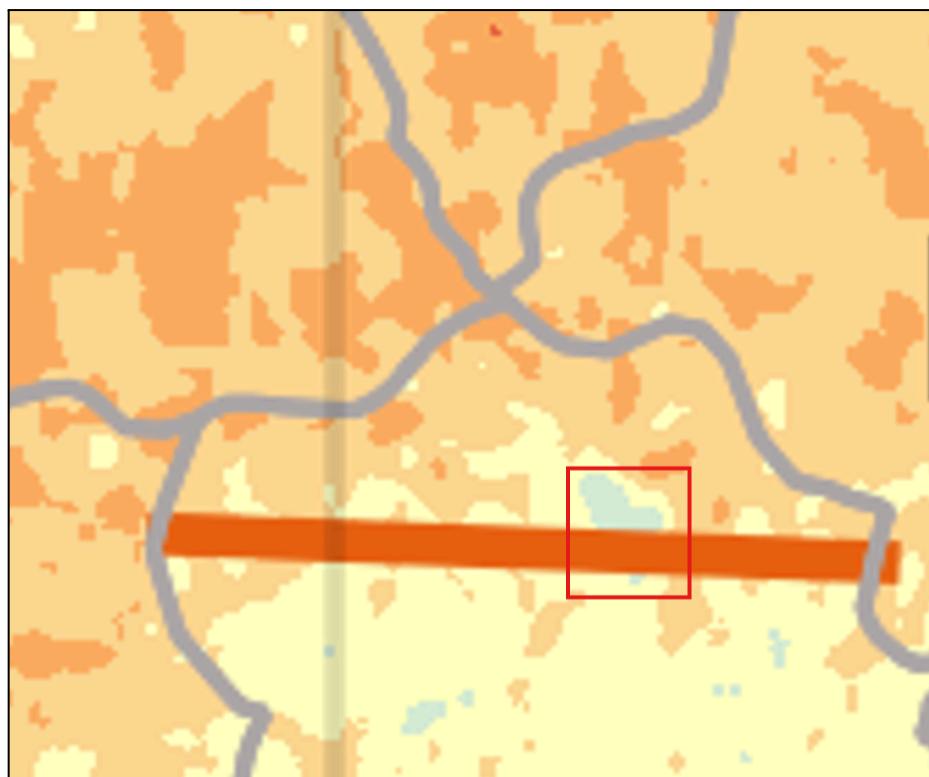
Figura 35 - Corte de Perfil Hipercentro



Fonte: Autor (2025)

Conforme apresentado na figura acima, as temperaturas de superfície no dia de calor intenso mostram-se significativamente elevadas, com destaque para a queda acentuada registrada na área correspondente ao Parque Municipal, localizado na Avenida Afonso Pena e caracterizado por sua expressiva cobertura arbórea. Esse comportamento reforça, mais uma vez, que a presença de áreas verdes inseridas no tecido urbano desempenha papel fundamental no provimento de alívio térmico. A Figura 36 mostra a diferença da temperatura da área do parque em relação ao seu entorno.

Figura 36 - Região Hipercentro de Belo Horizonte



Fonte: Autor (2025)

6 CONCLUSÕES

Diante do exposto neste Estado da Arte, torna-se evidente que Belo Horizonte enfrenta múltiplos desafios relacionados aos fenômenos climáticos, os quais se manifestam com intensidade crescente no contexto das grandes cidades. O planejamento urbano, nesse sentido, desempenha papel central na forma como a metrópole responde aos efeitos das ondas de calor, que têm se tornado um problema recorrente, especialmente nas áreas de menor poder aquisitivo. Nessas regiões, observa-se a carência de ações estruturadas, como investimentos em arborização, ampliação de áreas verdes e implementação de uma logística mais equilibrada de uso e ocupação do solo. Ademais, fica evidente que a capital mineira deixa de lado seu título histórico de “cidade jardim” quando a gestão do planejamento municipal adequado deixa de ser uma pauta prioritária na administração pública.

Além disso, as áreas com maior propensão à formação de ilhas de calor apresentam agravamento significativo durante episódios de altas temperaturas. Em geral, essas condições estão diretamente associadas a características do planejamento urbano local, tais como elevados níveis de impermeabilização, padrões construtivos densos, carência de espaços vegetados e intenso fluxo de veículos. Assim, os estudos analisados reforçam que a vulnerabilidade urbana ao calor extremo é um fenômeno multidimensional, estreitamente vinculado às decisões de ordenamento territorial e às desigualdades socioespaciais presentes em Belo Horizonte.

Diversos fatores contribuem para que determinadas áreas da cidade se tornem mais vulneráveis aos efeitos negativos dos fenômenos climáticos, como características topográficas, padrões de ventilação ou densidade construída. Entretanto, o elemento que mais intensifica a desigualdade na exposição e nos impactos desses eventos — evidenciando a chamada injustiça climática — está associado às questões estruturais previamente discutidas. Tais questões reforçam que o racismo ambiental constitui uma consequência direta do profundo histórico de desigualdade social presente no Brasil. Dessa forma, as grandes cidades brasileiras acabam por refletir e reproduzir processos de segregação socioespacial, demonstrando que as problemáticas sociais do país manifestam múltiplas facetas, inclusive no campo climático.

Nesse cenário, a resposta de Belo Horizonte aos desastres associados ao clima — como ondas de calor, chuvas intensas e movimentos de massa — evidencia a necessidade de integração entre gestão de risco e gestão estratégica no âmbito do planejamento urbano. Enquanto a gestão de risco está relacionada às ações de prevenção, mitigação e preparação frente a eventos extremos já reconhecidos, como sistemas de alerta, mapeamento de áreas vulneráveis e planos de contingência, a gestão estratégica refere-se à incorporação estrutural da adaptação climática nas políticas urbanas de longo prazo. A fragilidade dessa articulação na capital mineira contribui para a permanência de um modelo urbano que responde de forma reativa aos eventos climáticos anormais.

Adiante, destaca-se também que este trabalho alcançou múltiplas finalidades, conforme estabelecido em seus objetivos iniciais. Buscou-se compreender a relação entre a onda de calor de setembro de 2023 e a intensificação das ilhas de calor urbanas em Belo Horizonte, correlacionando tais eventos com o uso e ocupação do solo e com o planejamento urbano vigente. Ademais, a pesquisa permitiu discutir e evidenciar hipóteses acerca dos fatores que ampliam os impactos das ondas de calor nos grandes centros urbanos. Os resultados obtidos confirmam a tese norteadora do estudo: ondas de calor agravam significativamente as ilhas de calor urbanas, afetando com maior severidade as regiões não planejadas, de menor renda e com escassez de áreas verdes — revelando padrões estruturais de vulnerabilidade climática profundamente enraizados no território belo-horizontino.

Por fim, as possibilidades de intervenção urbana capazes de mitigar os efeitos das ondas de calor e das ilhas de calor são amplas e multifacetadas. Como evidenciado ao longo deste trabalho, áreas com maior cobertura vegetal apresentam temperaturas mais amenas e melhor conforto térmico para seus habitantes, enquanto regiões sem áreas verdes enfrentam condições climáticas muito mais extremas. À luz de uma democracia consolidada desde a promulgação da Constituição de 1988, torna-se incoerente a persistência dessas desigualdades no espaço urbano, sobretudo quando seus efeitos recaem majoritariamente sobre populações vulneráveis. Assim, revela-se democraticamente contraditório que, em uma mesma cidade e sob o mesmo fenômeno climático, grupos separados por poucos quilômetros estejam expostos a riscos tão distintos para sua saúde, bem-estar e qualidade de vida.

7 RECOMENDAÇÕES

7.1 Câmara Municipal

Para as recomendações, é indispensável a ação do poder público na atuação acerca de questões climáticas na cidade. Nessa perspectiva, no dia 04 de novembro de 2023, o vereador Helton Júnior discorreu sobre ações na cidade de Belo Horizonte que visam a melhoria do enfrentamento climático na cidade.

O vereador destaca inicialmente o Projeto de Lei (PL) 235/2025, de sua autoria, que propõe a climatização das escolas públicas de Belo Horizonte com o objetivo de promover a adaptação climática nesses ambientes. Ele ressalta que a medida não se limita à instalação de aparelhos de ar-condicionado, podendo envolver intervenções urbanísticas e arquitetônicas potencialmente mais eficientes do que soluções exclusivamente artificiais. Entre essas alternativas, incluem-se a implementação de telhados verdes, melhorias nos sistemas de ventilação das salas de aula, a escolha adequada das cores utilizadas nas edificações e a ampliação da disponibilidade de salas, de modo a garantir maior conforto térmico para estudantes e profissionais da educação. Até o momento, o projeto foi aprovado em primeiro turno no plenário da Câmara Municipal.

Em uma segunda abordagem, o vereador destaca a relevância da educação ambiental como ferramenta para conscientizar a população sobre os riscos climáticos. Ele observa que a compreensão das questões ambientais ainda carece de maior democratização, refletindo-se nas demandas recebidas em seu gabinete. Como exemplo, menciona que moradores de regiões mais privilegiadas costumam solicitar o aumento da arborização em seus bairros, enquanto residentes de áreas menos favorecidas muitas vezes demandam a remoção de árvores de seus locais de moradia, por acreditarem, por exemplo, que essas estruturas prejudicam o calçamento ou a utilização do espaço. Nesse sentido, o vereador enfatiza que o fortalecimento da educação ambiental nas periferias é essencial para mobilizar a população diante dos desafios climáticos contemporâneos. Isso porque parte dos moradores dessas regiões ainda carece de maior compreensão sobre os princípios que orientam a construção de cidades sustentáveis, o que se reflete em solicitações que, por vezes, contrariam práticas ambientalmente adequadas — como pedidos de impermeabilização de áreas que poderiam

desempenhar funções importantes de infiltração e manutenção de cobertura vegetal. Dessa forma, por meio da educação ambiental, a população tende a desenvolver uma compreensão mais ampla sobre os princípios que orientam uma cidade ambientalmente sustentável, superando concepções baseadas em modelos urbanos tradicionais e pouco compatíveis com os desafios climáticos atuais.

Outrossim, o vereador — formado em Gestão Pública pela UFMG — destaca a viabilidade econômica e as possibilidades de captação de recursos para viabilizar as medidas anteriormente mencionadas. Ele observa que Belo Horizonte dispõe de mapeamento e propostas elaboradas por diferentes frentes municipais que abordam problemáticas climáticas; contudo, o financiamento necessário para sua implementação ainda constitui um desafio. O parlamentar menciona que, em 2025, foram realizadas tentativas de obtenção de recursos junto ao Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG) e ao Consulado Britânico, que disponibiliza fundos internacionais voltados à agenda ambiental e climática e busca incentivar projetos locais alinhados a esse propósito. Além disso, Helton ressalta que a articulação com os demais vereadores é essencial para a consolidação de iniciativas relacionadas à adaptação e mitigação dos impactos climáticos no município.

Por fim, o vereador apresentou um caso prático de destinação de recursos, por meio de emendas impositivas, para uma escola localizada no bairro Lindeia, na região do Barreiro, totalizando aproximadamente R\$ 200 mil destinados à climatização do ambiente educacional. Ele ressalta que diversas escolas do município enfrentam limitações estruturais para a adaptação climática, especialmente relacionadas às instalações elétricas. Por essa razão, foram realizadas visitas técnicas a diferentes instituições com o objetivo de identificar quais possuíam melhores condições para receber, de forma efetiva e segura, as intervenções propostas. Ademais, o vereador destaca que as emendas parlamentares são recursos restritos, o que limita a possibilidade de climatizar todas as escolas apenas com orçamento de gabinete. Contudo, foi estabelecido um acordo com a Secretaria Municipal de Educação prevendo que, ao longo da vigência do Plano Plurianual de Ação Governamental (PPAG), sejam climatizados os ambientes do terceiro ciclo estudantil e, até o término do Plano Municipal de Educação, os demais ciclos. A iniciativa pretende transformar a escola contemplada em uma referência para as demais unidades da rede municipal, sensibilizando a Prefeitura e os demais

vereadores quanto à relevância da climatização das escolas — medida que possui caráter simultaneamente social e ambiental. Isso porque o ambiente escolar pode, muitas vezes, oferecer um refúgio climático mais adequado do que o próprio local de moradia de grande parte dos estudantes.

7.2 Gerência do Clima

No dia 11 de novembro de 2025 foi realizada uma entrevista com Ana Paula Barbosa Vitor Oliveira Marques, gerente do clima da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belo Horizonte (Gclim-SMMA). A gestora é formada em Engenharia Civil, possui doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos e conta com longa trajetória na administração pública municipal, atuando diretamente em políticas ambientais e climáticas. Conforme relatado por Ana Paula, Belo Horizonte consolidou-se como uma das referências nacionais no enfrentamento às mudanças climáticas, desenvolvendo políticas públicas voltadas à temática desde 2006, ano em que foi instituído o Comitê de Mudanças Climáticas e Ecoeficiência. Com a promulgação de nova legislação em dezembro de 2024, o comitê passou a denominar-se Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas (COMCLIMA-BH), ampliando seu escopo e fortalecendo a governança climática municipal.

Segundo a gestora, o COMCLIMA-BH coordena uma série de estudos e iniciativas estratégicas, como o Estudo de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas (2016), fundamental para orientar ações de adaptação e mitigação; os Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa, elaborados desde 2009; e o Plano Local de Ações Climáticas (PLAC-BH), lançado em 2022, que apresenta estratégias climáticas estruturadas em linguagem acessível à população. Destacou-se também o estudo publicado em 2025 sobre áreas prioritárias para implementação de Soluções Baseadas na Natureza (SBN), que identifica zonas críticas da cidade para eventos como ondas de calor, alagamentos, inundações e demais riscos associados ao clima.

Ana Paula ressaltou ainda que, com a recente mudança de governo municipal, foi instituída a Coordenadoria Especial do Clima, vinculada ao gabinete do prefeito Álvaro Damião (União Brasil), com o objetivo de intensificar a articulação entre as diversas secretarias que atuam de forma transversal nas ações climáticas, reconhecendo que grande parte dos desafios ambientais e climáticos extrapola o âmbito exclusivo da Secretaria de Meio Ambiente. No

campo da mitigação, foram mencionadas ações como a ampliação da malha cicloviária, o incentivo ao transporte público — especialmente com a criação de faixas exclusivas para ônibus — e o lançamento, em 2025, do Plano Municipal de Arborização Urbana (PMAU), que busca democratizar a arborização na cidade, promover conforto térmico nas regionais e garantir o monitoramento público dos plantios.

Quanto às medidas específicas para enfrentamento das ondas de calor, a gestora destacou a implantação de refúgios climáticos, estruturas equipadas com bebedouros e dispositivos de nebulização destinados à oferta de alívio térmico à população em dias críticos, além de oferecer sombreamento e um banco para descanso. Está previsto a construção dos pontos de refúgio climático em todas as regionais da cidade, visando a democratização do serviço, possuindo como critério os locais de maior circulação de pessoas, locais públicos como praças e parques, por fim em áreas de ilhas de calor ou de maior vulnerabilidade para ondas de calor. Atualmente, no Hipercentro - local de ilha de calor - dispõe de dois pontos de refúgio climático, localizados na rua Carijós e na rua Olegário Maciel. Além disso, encontra-se em desenvolvimento o Protocolo de Calor, que deverá estabelecer diretrizes de alerta, comunicação de risco e recomendações voltadas à proteção da saúde pública durante episódios de extremo calor, uma vez que, conforme cita Ana Paula, há o monitoramento da PBH no Sistema Único de Saúde (SUS) e que nos dias de extremo calor, nota-se um aumento de casos de atendimentos médicos.

Em outra perspectiva, a gerente do clima também enfatiza a importância das ações de educação climática desenvolvidas no município, destacando que grande parte da população ainda não comprehende plenamente a gravidade dos impactos associados aos períodos de altas temperaturas, especialmente no que se refere aos riscos à saúde pública. Ana Paula ressalta, igualmente, a necessidade de ampliar o quadro de profissionais capacitados para atuar no enfrentamento dos efeitos climáticos decorrentes das ondas de calor e da intensificação das ilhas de calor urbanas em Belo Horizonte. Além disso, reforça a relevância de uma participação mais ativa da comunidade acadêmica nas iniciativas conduzidas pelo poder público municipal, de modo a fortalecer a produção de conhecimento aplicado e subsidiar decisões técnicas e estratégicas voltadas à adaptação e mitigação climática.

Por fim, destaca-se um conjunto de desafios característicos das grandes cidades brasileiras — e presente também em Belo Horizonte — relacionado às vilas e favelas que carecem de arborização, planejamento urbano adequado e infraestrutura mínima para garantir conforto térmico. Nessas áreas, as condições construtivas frequentemente agravam os efeitos das altas temperaturas, uma vez que muitas residências não possuem janelas, o que compromete a ventilação interna, e diversos telhados são confeccionados com materiais que apresentam elevada capacidade de absorção de calor. Soma-se a isso o fato de que, devido à alta densidade e à reduzida disponibilidade de espaço, torna-se particularmente desafiador para a administração municipal implementar ações de arborização, exigindo soluções inovadoras e adaptadas à realidade desses territórios. Outro ponto ressaltado por Ana Paula refere-se às condições de trabalho dos profissionais catadores, que atuam tanto em via pública, expostos diretamente ao sol em dias de calor extremo, quanto em galpões que apresentam intenso aquecimento, em decorrência de suas características arquitetônicas e de ventilação insuficiente. Esses fatores ampliam a vulnerabilidade desse grupo às condições climáticas extremas.

8 REFERÊNCIAS

ALVES, M. Após derrubar 7.326 árvores em um ano, Belo Horizonte foi a capital que mais esquentou em 2024. Disponível em:

<<https://www.brasildefato.com.br/2024/04/20/apos-derrubar-7-326-arvores-em-um-ano-belo-horizonte-foi-a-capital-que-mais-esquentou-em-2024/>> Acesso em: 4 jul. 2025.

AMORIM, M. C. C. Ilhas de calor urbanas: causas, impactos e estratégias de mitigação nas cidades brasileiras. Revista Brasileira de Climatologia, v. 17, p. 135– 153, 2020. Disponível em: AMORIM, M. C. C.; CÂMARA, V. P. Ilhas de calor urbanas: causas, impactos e estratégias de mitigação. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 5, p. 2041– 2056, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/247518>. Acesso em: 14 mai. 2025.

ANDRADE, H. O Clima Urbano –Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. Finisterra, XL, 80, 2005, pp. 67-91.

ANDRADE, Mário de. Poesias completas. 7. ed. São Paulo: Martins, 1987.

Assis, W. L., & Abreu, M. L. (2009). Mudanças climáticas locais no município de Belo Horizonte ao longo do século XX. In D. J. Hogan, & E. Marandola Jr. (Org.), População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais (p. 249-275). Brasília: NEPO-Unicamp, Campinas & UNFPA.

ASSIS, W. L.; ABREU, M. L. O clima urbano de Belo Horizonte: análise tópico- espacial do campo térmico e hídrico. Revista de Ciências Humanas, Viçosa, 2010.

ASSIS, Wellington Lopes. O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tópico-espacial. 2010. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 15^a edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

Belo Horizonte (MG) | Cidades e Estados | IBGE. Disponível em:
[<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte.html>](https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte.html).

BRASIL. Ato Institucional nº 3, de 5 de fevereiro de 1966. Fixa datas para as eleições de 1966, dispõe sobre as eleições indiretas e a nomeação de prefeitos das capitais dos Estados e dá outras providências. *Legislação informatizada – Câmara dos Deputados*, 07 fev. 1966. Disponível em:

<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/atoins/1960-1969/atoinstitutional-3-5-fevereiro-1966-363627-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 16 dez. 2025.

BRASIL DE FATO MG. *Uma das últimas áreas verdes de BH, Mata do Planalto está em risco*, 11 jul. 2025. Disponível em:

<https://www.brasildefato.com.br/2025/07/11/uma-das-ultimas-areas-verdes-de-bh-mata-do-planalto-esta-em-risco/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Regiões de Influência das Cidades – REGIC 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://regioes-de-influencia-das-cidades.html>. Acesso em: 2 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). *El Niño 23-24 é um dos cinco mais fortes já registrados, diz Organização Meteorológica Mundial*. 05 mar. 2024. Disponível em:
<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/03/el-nino-23-24-e-um-dos-cinco-mais-fortes-ja-registrados-diz-organizacao-meteorologica-mundial>. Acesso em: 24 set. 2025.

BRITANNICA. *Belo Horizonte — History, Population & Facts*. Encyclopædia Britannica, 2025. Disponível em: <https://www.britannica.com/place/Belo-Horizonte>. Acesso em: 16 dez. 2025.

BURIGO, Artur. **BH vê temperatura subir 3°C neste século em meio a crescimento desordenado**. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 25 set. 2025. Disponível em:
<https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2025/09/bh-ve-temperatura-subir-3c-neste-seculo-em-meio-a-crescimento-desordenado.shtml>. Acesso em: 24 out. 2025.

CÂMARA, Gilberto. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, J. S. de. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE, 1996.

CÂMARA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Perfil do vereador Helton Junior. Belo Horizonte. Disponível em:
<https://www.cmbh.mg.gov.br/vereadores/helton-junior#:~:text=Helton%20Junior%20foi%20eleito%20vereador,novos%20eleitos%20na%20capital%20mineira>. Acesso em: 11 nov. 2025.

CARVALHO, Flávia Cristina Pinto de. *Enquadramentos jornalísticos sobre o conceito “Cidade Jardim” nos 100 anos de Belo Horizonte*. Monografia (Especialização) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. Disponível em:
<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/55046>. Acesso em: 16 dez. 2025.

CNN BRASIL. *Com 37,8 °C, BH bate recorde histórico de calor em 110 anos*. São Paulo, 3 out. 2020. Disponível em:
<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/com-37-8c-bh-bate-recorde-historico-de-calor-em-110-anos/>. Acesso em: 3 nov. 2025.

COSTA, José de Araújo. O Fenômeno El Niño e as Secas no Nordeste do Brasil. Revista do Instituto Federal da Bahia, v. 1, n. 1, 2023.

CLIMATEMPO. Resumo da onda de calor de setembro de 2023. 28 set. 2023. Disponível em:
<https://www.climatetempo.com.br/noticia/2023/09/28/resumo-da-onda-de-calor-de-setembro-de-2023-2418>. Acesso em: 18 nov. 2025.

CLIMAINFO. *Siderurgia e mineração fazem qualidade do ar na Grande BH ser quatro vezes pior que o tolerável pela OMS*, 06 jul. 2023. Disponível em: <https://climainfo.org.br/2023/07/06/siderurgia-e-mineracao-fazem-qualidade-do-ar-na-grande-bh-ser-quatro-vezes-pior-que-o-toleravel-pela-oms/>. Acesso em: 16 dez. 2025

FERREIRA, Daniele Gomes; SAD, E.; KATZSCHNER, Lutz. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 9, n. supl. 1, p. 255-270, 1 out. 2017.

DE BELO HORIZONTE, P.; ICLEI. Plano Local de Ação Climática de Belo Horizonte (MG). [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2022/12/plac-belo-horizonte-compressed.pdf>>.

DIA. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2023/09/24/bh-tem-dia-mais-quente-do-ano-e-registra-371oc-neste-domingo.ghtml>>. Acesso em: 4 jul. 2025.

NASCIMENTO, Dênis Duarte do *et al.* *Microclimas na Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais*. Disponível em: [https://www.ufmg.br/estacaoecologica/portfolio-item/microclimas-na-estacao-ecologica-da-u](https://www.ufmg.br/estacaoecologica/portfolio-item/microclimas-na-estacao-ecologica-da-universidade-federal-de-minas-gerais/)
niversidade-federal-de-minas-gerais. Acesso em: 16 dez. 2025.

EMBRAPA. El Niño e La Niña na agricultura do sul do Brasil. Moacir A. Berlato e Denise Cybis Fontana. Disponível em:
<https://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/agromet/elninolanina/elnino2.html>. Acesso em: 24 set. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. O que são as mudanças climáticas? Ater+ Digital, 2023. Disponível em: <https://gerais.terpdigital.com.br/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

ESTADO DE MINAS. BH teve temperaturas acima da média histórica em setembro, diz Inmet. Estado de Minas, 4 out. 2023. Disponível em: <https://www.inmet.gov.br/teve-temperaturas-acima-da-media-historica-em-setembro-diz-inmet.shtml>. Acesso em: 2 jun. 2025. Acesso em: 4 jul. 2025.

EM – ESTADO DE MINAS. *Em 7º lugar a “cidade jardim” de Minas enfrenta desafios em arborização*, 20 abr. 2025. Disponível em:
<https://www.em.com.br/emfoco/2025/04/20/em-7o-lugar-a-cidade-jardim-de-minas-enfrenta-desafios-em-arborizacao/>

EVOLUÇÃO DA URBANIZAÇÃO EM BELO HORIZONTE (1918-2000) E RELAÇÕES ESPACIAIS COM OS INDICADORES SÓCIODEMOGRÁFICOS. Cadernos do Leste, [S. l.], v. 10, n. 10, 2010. DOI: 10.29327/249218.10.10-7. Disponível em:
<https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/12795>. Acesso em: 22 nov. 2025.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. FEAM atualiza inventário de emissões atmosféricas de BH, Contagem e Betim. 22 out. 2019. Disponível em:
<https://www.ief.mg.gov.br/web/feam/w/feam-atualiza-inventario-de-emissoes-atmosfericas-de-bh-contagem-e-betim->. Acesso em: 3 jul. 2025.

FERNANDES, Antoniel Silva; CALDEIRA, Altino Barbosa. *Análise espacial das áreas verdes de Belo Horizonte (MG)*. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 11, n. 3, p. 73-92, 2016. DOI: 10.5380/revsbau.v11i3.63418. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Mapa-das-Areas-Verdes-Institucionalizadas-de-Belo-Horizonte-MG-Figure-3-Map_fig2_331214131. Acesso em: 21 nov. 2025.

FERREIRA, Daniele G.; ASSIS, Wellington L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, vol. 9, supl. 1, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/1931/193153411002/html/>. Acesso em: 18 dez. 2025.

G1 MINAS GERAIS. *Dia mais quente da história de BH: temperatura recorde sobe 1,5 °C na capital em 11 anos*, 25 set. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2023/09/25/dia-mais-quente-da-historia-de-bh-temperatura-recorde-sobe-15oc-na-capital-em-11-anos.ghtml>. Acesso em: 16 dez. 2025.

GOMES, Marco Aurélio A. de Filgueiras. Belo Horizonte: a cidade planejada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. p. 45.

HERCULANO, Selene. *O clamor por justiça ambiental e contra o racismo ambiental*. Revista Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, v. 3, n. 1, p. 1-20, jan./abr. 2008.

HOEGH-GULDBERG, O. Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. In: MASSON-DELMOTTE, V. (Ed.). Global warming of 1.5°C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: World Meteorological Organization, 2018.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Tabela de Estações – A521. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A521>. Acesso em: 24 nov. 2025

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Balanço climático de setembro de 2023 em Belo Horizonte*. Brasília, 2023. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Balan%C3%A7o-BH_setembro2023_rvsd.pdf. Acesso em: 25 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Balanço climatológico de outubro de 2023 em Belo Horizonte*. Brasília, 2023. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Balan%C3%A7o_outubroBH-rvsd.pdf. Acesso em: 13 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Catálogo de estações automáticas. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoaut>. Acesso em: 13 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Estação Automática – A521: Pampulha/MG. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A521>. Acesso em: 13 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Estação Automática – A535: Ibirité (Rola Moça)/MG. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A521>. Acesso em: 13 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Estação Automática – A555: Florestal/MG. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A521>. Acesso em: 13 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Estação Automática – F501: Cercadinho/MG. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A521>. Acesso em: 13 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Mapas meteorológicos. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/>. Acesso em: 13 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Normais climatológicas do Brasil: 1991–2020*. Brasília, DF: INMET, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 27 out. 2025.

INSTITUTO NOSSA BH. *Mapa das desigualdades: Belo Horizonte e Região Metropolitana de Belo Horizonte – 14 municípios*. Belo Horizonte: Instituto Nossa BH, 2021. 71 p.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Urban Areas. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX). Relatório Especial dos Grupos de Trabalho I e II do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. (p. 5).

IPCC. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>.

ITATIAIA. Quantas ondas de calor BH teve em 2023? Entenda o fenômeno meteorológico. Belo Horizonte: Rádio Itatiaia, 13 dez. 2023. Disponível em: <https://em-2023-entenda-o-fenomeno-meteorologico>. Acesso em: 01 jun. 2025.

JACOBI, P. R.; PERES, U. D. Urban Environmental Management and Governance. disP - The Planning Review, v. 52, n. 2, p. 26–34, 2 abr. 2016.

JENSEN, John R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2000

KELLEN NOGUEIRA VILHENA. Parque municipal de Belo Horizonte - História e memória. DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals), 1 dez. 2005.

MEEHL, G. A., & Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heatwaves in the 21st century. *Science*, 305(5686), 994-997.

MENDONÇA, Roxane Sidney Resende de; ASSIS, Eleonora Sad de. **Conforto térmico urbano: estudo de caso do bairro Floresta de Belo Horizonte, MG.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 45–63, jul./set. 2003. ISSN 1415-8876. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3448>. Acesso em: 13 out. 2025.

Moradores denunciam desmatamento em área de Mata Atlântica de BH. Disponível em: <<https://www.cmbh.mg.gov.br/comunica%C3%A7%C3%A3o/not%C3%ADcias/2021/04/moradores-denunciam-desmatamento-em-%C3%A1rea-de-mata-atl%C3%A2ntica-de-bh>. Acesso em: 4 jul. 2025.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Metrópole: o que é, tipos, exemplos.** UOL, 2025. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/metropole.htm>. Acesso em: 16 dez. 2025.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). What are El Niño and La Niña? Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/ninonina.html>. Acesso em: 24 set. 2025.

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. *Past ENSO events*. Disponível em: https://psl.noaa.gov/enso/past_events.html. Acesso em: 17 dez. 2025.

NOGUEIRA, Fábio José Marçal; CAMARGO, Pedro Luiz Teixeira de. Desafios urbano-ambientais e a formação de Belo Horizonte: planejamento, impactos e gestão. *Revista Cerrados*, [S. l.], v. 23, n. 01, p. 159–185, 2025. DOI: 10.46551/rc24482692202507. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/8664>. Acesso em: 24 set. 2025.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Blucher, 2008.

O TEMPO. *Belo Horizonte bate novo recorde e tem dia mais quente da história, com 38,4 °C.* Belo Horizonte, 7 out. 2020. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/belo-horizonte-bate-novo-recorde-e-tem-dia-mais-quente-da-historia-com-38-4-c-1.2395888>. Acesso em: 3 nov. 2025.

O TEMPO. *BH chega a 50 °C: passageiro mede sensação térmica em ônibus e calor surpreende; veja.* Belo Horizonte, 14 nov. 2023. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/bh-50-c-passageiro-medem-sensacao-termica-em-onibus-e-calor-surpreende-veja-1.3275642>. Acesso em: 11 nov. 2025.

O TEMPO. Poluição aumenta 22% em BH. 14 jul. 2015a. Disponível em: <https://www.o-tempo.com.br/ambiente/poluicao-aumenta-22-em-bh-14-jul-2015a.html>. Acesso em: 3 jul. 2025.

O TEMPO. Transporte é o que mais polui. 18 ago. 2016. Disponível em: <https://www.o-tempo.com.br/ambiente/transporte-e-o-que-mais-polui-18-agosto-2016.html>. Acesso em: 3 jul. 2025.

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.

OLIVEIRA, Lorrane. Belo Horizonte: uma cidade planejada que se tornou metrópole. Portal Good News, [S. l.], 28 jan. 2024. Disponível em: <https://portalgoodnews.com/belo-horizonte-uma-cidade-planejada-que-se-tornou-metropole/>. Acesso em: 24 set. 2025.

ONDA. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2023/09/26/devido-a-onda-de-calor-cefet-em-bh-suspende-aulas-presenciais-no-periodo-da-tarde.ghtml>>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ONU. *Relatório OMM: 2020 foi um dos três anos mais quentes de sempre*, 2025. Disponível em: <https://unric.org/pt/relatorio-omm-2020-foi-um-dos-tres-anos-mais-quentes-de-sempre/>. Acesso em: 17 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. Heatwaves and health: guidance on warning-system development. Geneva: World Meteorological Organization & World Health Organization, 2015. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/resources/library/heatwaves-and-health>. Acesso em: 04 mai. 2025.

PAES, Bárbara Rodrigues dos Santos. Belo Horizonte: percebendo a cidade a partir da vegetação urbana. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/items/d734739b-83d9-4d27-94fb-55112fc8cc4b>. Acesso em: 16 out. 2025.

PENNA, Gustavo; BAMBOZZI, Norberto; SILVA, Ana Paula; MOREIRA, Wilson Bernardi; LANDINEZ, David; RODRIGUES, Mayra; MASSAHUD, Ana Rita; PENNA, Laura; CARNEIRO, Letícia; CARAM, Laura; COURI, Juliana. *Centro de Feiras e Exposições Expominas – Belo Horizonte (MG)*. In: **Gustavo Penna Arquiteto & Associados (GPA&A)**. Disponível em: <https://www.gustavopenna.com.br/expominas>. Acesso em: 21 nov. 2025.

Perkins-Kirkpatrick, S. E., & Lewis, S. C. (2020). Increasing trends in regional heatwaves. *Nature Communications*, 11(1), 3357.

PIVETTA, Marcos. Efeito das ilhas de calor urbano esquenta até cidades de médio e pequeno porte. *Revista Pesquisa FAPESP*, São Paulo, 31 ago. 2023. Atualizado em 25 set. 2023. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/efeito-das-ilhas-de-calor-urbano-esquenta-ate-cidades-de-medio-e-pequeno-ponte/>. Acesso em: 16 out. 2025.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. *Análise de áreas prioritárias para implementação de SbN – Relatório Final*. Belo Horizonte: SMMA / WRI Brasil, 2025. Disponível em:

https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/meio-ambiente/2025/sbn_p4_relatorio-final.r06_2025.pdf. Acesso em: 6 nov. 2025.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Venda Nova. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/venda-nova>. Acesso em: 27 nov. 2025.

PROJETO MANUELZÃO (UFMG). *Após derrubar 7.326 árvores, BH foi a capital que mais esquentou, avalia especialista*, 22 abr. 2024. Disponível em: <https://manuelzao.ufmg.br/bh-foi-a-capital-que-mais-esquentou-em-2023/>. Acesso em: 18 dez. 2025.

PROJETO OSUBH. Desigualdade urbana e distribuição espacial da mortalidade por calor em cidades brasileiras – caso de Belo Horizonte. UFMG, 2024. Disponível em: <https://osubh.medicina.ufmg.br/projetos/desigualdade-urbana-e-distribuicao-espacial-da-mortalidade-por-calor-em-cidades-brasileiras/>. Acesso em: 16 out. 2025.

R7. BH registra 37 °C e bate novo recorde de calor em menos de 10 dias, 28 set. 2020. Disponível em: <https://noticias.r7.com/minas-gerais/bh-registra-37c-e-bate-novo-recorde-de-calor-em-menos-de-10-dias-28092020.html>. Acesso em: 17 dez. 2025.

REDE GLOBO. Parque da Serra do Rola-Moça tem vegetação de Cerrado e Mata Atlântica. Globo Minas, 2016. Disponível em: <https://redeglobo.globo.com/globominas/terrademinas/noticia/2016/03/parque-da-serra-do-rola-moca-tem-vegetacao-de-cerrado-e-mata-altantica.html>. Acesso em: 13 out. 2025.

RENATO. As cidades e o aquecimento global: desafios para o planejamento urbano, as engenharias e as ciências sociais e báscicas. *Journal of Urban Technology and Sustainability*, v. 3, n. 1, p. 4–17, 2020.

REVISTA ENCONTRO BH. *Saiba quais são os bairros mais quentes de BH*. Belo Horizonte, 11 set. 2020. Disponível em: <https://www.revistaencontro.com.br/canal/revista/2020/09/saiba-quais-sao-os-bairros-mais-quentes-de-bh.html>. Acesso em: 11 nov. 2025.

RIBEIRO, Bárbara. *Pesquisa revela quais bairros de BH têm m² mais caro; confira o ranking*. **O Tempo**, Belo Horizonte, 30 abr. 2024. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/mobile/economia/pesquisa-revela-quais-bairros-de-bh-tem-mais-caros-confira-o-ranking-1.3506899>. Acesso em: 21 nov. 2025.

RIBEIRO, C. Quantas ondas de calor BH teve em 2023? Entenda o fenômeno meteorológico. Disponível em: <<https://www.itatiaia.com.br/cidades/2023/12/13/quantas-ondas-de-calor-bh-teve-em-2023-entenda-o-fenomeno-meteorologico>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

SANTOS, Milton. A cidade como centro de região. Salvador: Progresso, 1959.

SILVA, G.C. Aspects of the urban environment in Brazil. Introductory note. *Environnement Urbain / Urban Environment*, n. Volume 4, 9 set. 2010.

SALLES, Renata de Leorne. *Interações interclasses em território heterogêneo: efeitos da mistura social no bairro Caiçara, em Belo Horizonte*. 2025. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025. Disponível em:

https://bib.pucminas.br/teses/CienciasSociais_RenataDeLeorneSalles_31644_TextoCompleto.pdf. Acesso em: 16 DEZ. 2025.

SILVA, Hosana Gomes da. *Disparidades econômicas e raciais na exposição às altas temperaturas e áreas verdes no Brasil*. [Relatório de pesquisa], Fundação Getulio Vargas, 2024. Disponível em:

<https://repositorio.fgv.br/items/c1935109-f8e1-416b-a02b-91b4bba2c67a>. Acesso em: 11 nov. 2025

SIQUEIRA, R. A. A influência da urbanização na amplitude térmica da cidade de Belo Horizonte. Cadernos do Leste, v. 16, n. 16, 2016.

SIQUEIRA, C. A. de. Estudo microclimático de recortes urbanos vegetados em Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado) – UFMG, 2014.

SOUZA, A. L. F. ; MASSAMBANI, O. Ilha de calor urbana na região metropolitana de São Paulo. São Paulo, SP. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. 1992.

SOUZA, Maria Cristina da Silva. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. Revista de Geografia Agrária, v. 6, n. 12, p. 17– 29, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/1931/193153411002/html>. Acesso em: 27 jun. 2025.

SOUZA, Thiago B.; SANTOS, Maria Helena D. Mapa hipsométrico de Belo Horizonte (MG) – Figura 1. In: *Geotecnologias aplicadas ao planejamento urbano*, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-Hipsometrico-de-Belo-Horizonte-Fonte-d-e-dados-Belo-Horizonte-2012_fig1_307691262. Acesso em: 24 nov. 2025.

TRANSITE – Laboratório de Estudos Urbanos. Belo Horizonte além da Contorno. Disponível em: <https://transite.fafich.ufmg.br/belo-horizonte-alem-da-contorno/>. Acesso em: 27 jun. 2025.

TUNES, Ana Luíza. Ilhas de calor: um problema urbano. *Tunes Ambiental*, 18 out. 2018. Disponível em: <https://tunesambiental.com/ilhas-de-calor-um-problema-urbano/>. Acesso em: 24 set. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG). Tese alerta sobre tendência de mudança na temperatura. [Belo Horizonte, MG], 21 fev. 2011. Disponível em: <https://www.ufmg.br/online/arquivos/018284.shtml>. Acesso em: 13 out. 2025.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **UNISDR Annual Report 2014**. Geneva, 2014, 66 p.

VECELLIO, D. J.; WOLF, S. T.; CHEUNG, S. S. The effects of humidity and vapor pressure on thermoregulation and comfort: an experimental review. *Journal of Applied Physiology*, v. 125, n. 2, p. 522-535, 2018.

VOOGT, J. A. *Urban Heat Island: Hotter Cities*. North Port: Action Bioscience, 2004. Disponível em: <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>. Acesso em: 11 nov. 2025.

WALKER, José. *Os 121 anos de BH*. Caminhada, 15 dez. 2018. Disponível em: <https://caminhada.org/2018/12/15/os-121-anos-de-bh/>. Acesso em: 24 set. 2025. Parque Municipal Américo Renné Giannetti. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/fundacao-de-parques-e-zoobotanica/informacoes/parques/parque-municipal-americoo-renne-giannetti>>.

WAYCARBON. *Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas do município de Belo Horizonte: relatório final*. Belo Horizonte: WayCarbon, 2016. Disponível em: <https://www.waycarbon.com.br>. Acesso em: 13 out. 2025.