UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Thamiris Gatti Souza

Análise da vulnerabilidade socioambiental e as dinâmicas climáticas intrínsecas: O Caso de Muriaé (MG)

Juiz de Fora
2026

Thamiris Gatti Souza

Análise da vulnerabilidade socioambiental e as dinâmicas climáticas intrínsecas: O Caso de Muriaé (MG)

Defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento e Meio Ambiente.

Aprovada em 21 de agosto de 2026.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Guimarães Andrade
Coorientadora: Profa. Dra. Cássia de Castro Martins Ferreira

Juiz de Fora
2026

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Souza, Thamiris Gatti .
Análise da vulnerabilidade socioambiental e as dinâmicas climáticas : o caso de Muriaé (MG) / Thamiris Gatti Souza. -- 2026.
150 p. : il.

Orientador: Ricardo Guimarães Andrade
Coorientadora: Cássia de Castro Martins Ferreira
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2026.

1. Ilhas de calor urbanas. 2. Vulnerabilidades socioambiental. 3. Sensoriamento remoto. 4. Análise hierárquica de prioridade. 5. Justiça climática. I. Andrade, Ricardo Guimarães, orient. II. Ferreira, Cássia de Castro Martins, coorient. III. Título.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

THAMIRIS GATTI SOUZA

Título: "Análise da Vulnerabilidade Socioambiental e as Dinâmicas Climáticas intrínsecas: O Caso de Muriaé (MG)"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento e Meio Ambiente.

Aprovada em 21/08/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Guimarães Andrade - Orientador e Presidente da Banca
Universidade Federal de Juiz de Fora

Profa. Dra. Cássia de Castro Martins Ferreira - Coorientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Wadson Sebastiao Duarte da Rocha - Membro titular externo
Embrapa

Dr. Marcos Cicarini Hott - Membro titular externo
Embrapa

Juiz de Fora, 24/08/2026.

Documento assinado eletronicamente por **MARCOS CICARINI HOTT**, **Usuário Externo**, em 24/08/2026, às 16:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Wadson Sebastião Duarte da Rocha**, **Usuário Externo**, em 24/08/2026, às 17:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Guimarães Andrade**, **Usuário Externo**, em 25/08/2026, às 07:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Cassia de Castro Martins Ferreira**, **Coordenador(a)**, em 27/08/2026, às 18:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **3167918** e o código CRC **73EB686E**.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade e pela possibilidade de chegar até aqui, agradeço também aos meus pais e ao meu irmão por todo apoio desde o início da minha vida acadêmica e por não medirem esforços pra que eu chegasse onde cheguei.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio e colaboração, ao meu namorado por sempre estar ao meu lado me incentivando e apoiando. Agradeço também ao meu orientador Ricardo Guimarães Andrade e a minha coorientadora Cássia de Castro Martins Ferreira por toda orientação e contribuição para o presente trabalho.

Também agradeço ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil por toda estrutura e apoio.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A urbanização acelerada vem gerando transformações importantes no ambiente urbano e impactando diretamente a qualidade de vida das populações. Diante desse contexto, estudos indicam a influência da crescente urbanização na formação das Ilhas de Calor Urbanas (ICU), além da desigualdade socioeconômica atrelada ao desconforto ambiental. A falta de planejamento e a rápida mudança da paisagem rural para urbana têm gerado uma série de problemas ambientais relacionados não somente à pluviosidade, como também ao aumento das temperaturas do ar extremas, com a maior frequência das ondas de calor, denotando alerta de mudanças climáticas. Assim, o objetivo deste projeto foi compreender o comportamento térmico do município de Muriaé (MG) e relacioná-lo com o índice de vulnerabilidade socioambiental, para entender o impacto nas populações mais vulneráveis. Por meio do sensoriamento remoto, foram utilizadas imagens de satélite, nas bandas TIRS, Multispectral e RGB. As bandas RGB e Multispectral foram aplicadas na classificação supervisionada do uso e ocupação do solo; e a TIRS, na identificação das Ilhas de Calor de Superfície, juntamente com o método de transectos móveis. Foi elaborado também, através de dados ambientais da CPRM, de uso e ocupação do solo e dados sociodemográficos e econômicos, por setores censitários do IBGE, o índice de vulnerabilidade socioambiental de Muriaé. Em suma, realizou-se o cruzamento desses dados com as informações térmicas, a fim de compreender as relações existentes entre as desigualdades climáticas intraurbanas e as populações mais vulneráveis socioambientalmente.

Palavras-chave: Ilhas de Calor Urbanas; Vulnerabilidade socioambiental; Sensoriamento Remoto.

Abstract

Accelerated urbanization has driven significant transformations in the urban environment, directly impacting the population's quality of life. In this context, studies point to the influence of growing urbanization on the formation of Urban Heat Islands (UHI), as well as socioeconomic inequality linked to environmental discomfort. The lack of planning and the rapid shift from rural to urban landscapes have triggered a series of environmental issues related not only to rainfall patterns, but also to rising extreme air temperatures and more frequent heat waves—signaling a climate change alert. Thus, this project aimed to understand the thermal behavior of the municipality of Muriaé (MG) and relate it to the socio-environmental vulnerability index to assess the impact on the most vulnerable populations. Using remote sensing, satellite imagery in the TIRS, Multispectral, and RGB bands was utilized. The RGB and Multispectral bands were applied to the supervised classification of land use and land cover, while TIRS was used to identify Surface Urban Heat Islands alongside the mobile transect method. Additionally, using environmental data from CPRM, land use and land cover maps, and sociodemographic and economic data by IBGE census tracts, Muriaé's socio-environmental vulnerability index was developed. In short, these datasets were cross-referenced with thermal information to understand the relationships between intra-urban climate inequalities and the most socio-environmentally vulnerable populations.

Keywords: Urban Heat Islands; Socio-environmental vulnerability; Remote Sensing.

Lista de figuras

Figura 1 – Gráficos dos indicadores dos Limites Planetários. 19
Figura 2 – Conceitos químicos relacionados aos Limites Planetários. 20
Figura 3 – Variáveis do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social. 30
Figura 4 – Indicadores, subíndices e IVS do Brasil (200 e 2010). 32
Figura 5 – Metodologia de preparação do Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas. 33
Figura 6 – Indicadores do Índice de Vulnerabilidade à Ilhas de Calor (IVIC). 34
Figura 7 – Fluxograma Metodológico . 44
Figura 8 - Mapa de Localização do município de Muriaé . 46
Figura 9 – Mapa Litológico de Muriaé . 48
Figura 10 – Mapa Pedológico de Muriaé . 50
Figura 11 - Mapa de Padrões de Relevo de Muriaé . 52
Figura 12 - Mapa de Risco de Movimento de Massa em Muriaé . 54
Figura 13 – Mapa de Risco de Inundação de Muriaé. 55
Figura 14 - Mapa de Setores Censitários de Muriaé 58
Figura 15 - Distribuição de pesos conforme importância na Análise Hierárquica de Prioridade 73
Figura 16- Matriz Recíproca Positiva 74
Figura 17- Mapa de percentual de suscetibilidade à movimentos de massa por setor censitário em Muriaé 84
Figura 18 - Mapa de percentual de suscetibilidade à inundação por setor censitário em Muriaé 86
Figura 19 - Mapa de padrão de ocupação às margens do Rio Muriaé 88
Figura 20 - Mapa de declividade do Município de Muriaé 90
Figura 21 - Mapa de percentual de declividade por setor censitário em Muriaé 91
Figura 22 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo de Muriaé 93
Figura 23 - Mapa de percentual de vegetação por setor censitário em Muriaé 94
Figura 24 - Mapa de percentual de proximidade com rodovias por setor censitário em Muriaé 96
Figura 25 - Mapa de vulnerabilidade etária (crianças e idosos) por setor censitário em Muriaé 99

Figura 26 - Mapa de vulnerabilidade por taxa de analfabetismo por setor censitário em Muriaé 102
Figura 27 - Mapa de vulnerabilidade por inadequação do saneamento por setor censitário em Muriaé 104
Figura 28 - Mapa de vulnerabilidade por chefia feminina no domicílio por setor censitário em Muriaé 106
Figura 29 - Mapa de vulnerabilidade de renda do responsável pelo domicílio por setor censitário em Muriaé 108
Figura 30 - Matriz de decisão, Razão de Consistência e Pesos dos critérios do Índice de Vulnerabilidade Ambiental 110
Figura 31 - Matriz de decisão, Razão de Consistência e Pesos dos critérios do Índice de Vulnerabilidade Social 111
Figura 32 - Matriz de decisão, Razão de Consistência e Pesos dos critérios do Índice de Vulnerabilidade Social 112
Figura 33- Mapa de Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Muriaé 113
Figura 34 - Mapa de Índice de Vulnerabilidade Social de Muriaé 116
Figura 35 - Mapa de Índice de Vulnerabilidade Socioambiental de Muriaé 119
Figura 36 - Mapa das rotas do transecto móvel em Muriaé 123
Figura 37 - Relatório de aferição de temperatura do termômetro fixo 126
Figura 38 - Temperaturas coletadas pela estação meteorológica automática de Muriaé 127
Figura 39 - Mapa de relação entre a temperatura médias dos setores censitários e a temperatura dos pontos do transecto móvel 133
Figura 40 - Mapa de Temperatura de Superfície de Muriaé 135 - 02/05/2026
Figura 41 - Mapa de relação espacial entre o índice de vulnerabilidade socioambiental e a temperatura média dos setores censitários 138

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Principais satélites e suas aplicações . 42
Tabela 2 – Tabela expositiva das datas de inundações e respectivos locais atingidos 56
Tabela 3 – Classificação de nível de vegetação mediante porcentagem 63
Tabela 4 - Variáveis de Saneamento Básico 69
Tabela 5 – Matriz de comparação dos critérios do índice de vulnerabilidade ambiental 76
Tabela 6 – Matriz de comparação dos critérios do índice de vulnerabilidade social 77
Tabela 7 – Matriz de comparação dos critérios do índice de vulnerabilidade socioambiental 79
Tabela 8 – Classes de suscetibilidade a movimentos de massa por setor censitário 85
Tabela 9 – Classes de suscetibilidade a inundação por setor censitário 87
Tabela 10 – Classes de porcentagem de declividade por setor censitário 92
Tabela 11 – Classes de porcentagem de vegetação por setor censitário 95
Tabela 12 – Classes de proximidade com rodovias por setor censitário 97
Tabela 13 – Classe de vulnerabilidade etária por setor censitário 100
Tabela 14 – Classes de vulnerabilidade por taxa de analfabetismo por setor censitário 103
Tabela 15 – Classes de vulnerabilidade por inadequação do saneamento por setores censitários 105
Tabela 16 - Classes de vulnerabilidade por chefia feminina por setor censitário 107
Tabela 17 – Classes de vulnerabilidade pela renda do responsável por setor censitário 109
Tabela 18 – Classes de vulnerabilidade ambiental por setor censitário 114
Tabela 19– Classes de vulnerabilidade social por setor censitário 117
Tabela 20– Classes de vulnerabilidade socioambiental por setor censitário 120
Tabela 21- Pontos de coleta do transecto móvel realizado em Muriaé 124

SUMÁRIO

1 Introdução 11

1.1 Justificativa 14

1.2 Objetivo 15

1.2.1 Objetivo Geral 15

1.2.2 Objetivos específicos 15

2 Revisão Bibliográfica 15

2.1 Antropoceno e mudanças globais 16

2.2 A produção do espaço 20

2.3 Racismo Ambiental, Iniquidade Arbórea e Justiça Climática 24

2.4 Índices de Vulnerabilidade Socioambiental 29

2.4.1 Índice Paulista de Vulnerabilidade Social 30

2.4.2 Índice de Vulnerabilidade Social do IPEA 31

2.4.3 Índice de Vulnerabilidade Municipal da Fundação Fiocruz 32

2.4.4 Índice de Vulnerabilidade às Ilhas de Calor 34

2.4.5 Índice de Vulnerabilidade de Paracatu 35

2.5 Ilhas de calor em médias e pequenas cidades 36

2.6 Histórico e evolução do Sensoriamento Remoto e aplicação no clima urbano 39

3 Metodologia 43

3.1 Definição e caracterização da área de estudo 44

3.2 Aquisição e Pré-Processamento de imagens de satélite e dados espaciais 59

3.2.1 Pré-Processamento das imagens de satélite 59

3.2.2 Classificação supervisionada de uso e ocupação do solo e validação 60
3.3 Elaboração do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental 61
3.3.1 Construção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental 61
3.3.2 Construção do Índice de Vulnerabilidade Social 64
3.3.2.1 Tratamento e Processamento de Dados Espaciais do IBGE 71
3.4 Integração e Ponderação Multicritério 73
3.5 Análise Térmica Urbana 80
3.5.1 Metodologia dos transectos móveis 80
3.5.2 Sensoriamento remoto aplicado à imagem termal 82
4 Resultados e Discussão 83
4.1 Mapeamento da vulnerabilidade ambiental 83
4.2 Mapeamento da vulnerabilidade social 98
4.3 Resultados da aplicação da Análise Hierárquica de Prioridade (AHP) 109
4.4 Resultado do Índice de Vulnerabilidade Ambiental 112
4.5 Resultado do Índice de Vulnerabilidade Social 115
4.6 Resultado do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental 118
4.7 Resultado dos Transectos Móveis 122
4.8 Resultados dos mapas térmicos e relações com o Índice de Vulnerabilidade Socioambiental 134
5 Considerações finais 140

1. Introdução

O cenário global contemporâneo distancia-se consideravelmente de um ambiente seguro para a existência não só do ser humano, mas de toda espécie viva terrestre. Inúmeros estudiosos, de várias áreas do conhecimento, alertam para o colapso ambiental que as ações humanas estão gerando, dada a sua proporção e escala temporal, ou seja, eventos que naturalmente ocorriam em centenas a milhares de anos, ocorrem em espaços de tempo curtos, consequentemente o homem tornou-se uma força geológica no planeta (Crutzen,2002; Rockstrom *et al*., 2009; IPCC,2023; Steffen *et al.*2007), para tanto surge o termo “Antropoceno” cunhado por Crutzen em 2002, porém contestado em 2022 pela criação do termo “Capitaloceno”, estabelecido por Moore o qual surge enquanto questionamento a narrativa anterior, colocando em pauta a crise ecológica ocorrida dada a importância do modelo de produção capitalista no modo de exploração da natureza.

Esse modelo de exploração da natureza também impulsionou a intensa urbanização que se iniciou a partir da Revolução Industrial, ocorrida no século XVIII, primeiramente na Inglaterra e posteriormente nos demais países, até chegar nos continentes “conquistados” como América e África. No final do século XX houve um intenso processo de urbanização no Brasil, entretanto os órgãos públicos responsáveis pelo planejamento tanto, urbano, territorial quanto ambiental, não conseguiram acompanhar esse crescimento com êxito.

Criaram-se assim, cidades com uma ocupação irregular marcante, que é uma característica da maioria das cidades brasileiras e frequentemente associada a pobreza (Santos, 2005) denotando a força implícita do modo de produção capitalista sobre a produção do espaço, haja vista que o espaço é um produto social (Lefebvre, 1974).

A falta de planejamento e a rápida mudança da paisagem rural para urbana geraram uma série de problemas ambientais relacionados não somente à pluviosidade, como também ao aumento das temperaturas do ar e de superfície, associada a maior frequência das ondas de calor (Perkins-Kirkpatrick e Lewis, 2020), denotando alerta de mudanças climáticas.

Outrossim, a arquitetura urbana a qual forma grandes cânions urbanos com seus cada vez mais altos edifícios dificultando a circulação natural dos ventos

(Alvarez, 2004). Além dos materiais utilizados na construção civil, que em grande parte possuem baixo albedo e alta emissividade, um tráfego constante de veículos automotores, uma supressão contínua da vegetação, “conduzem a modificações dos elementos climáticos, como a temperatura, a umidade relativa do ar e a direção e velocidade dos ventos” (Dorigon, 2015, p.28), igualmente promove um aumento da temperatura urbana em detrimento a área rural. Transformando-a num verdadeiro “oásis inverso” e a este fenômeno dá-se o nome de Ilha de Calor Urbana (ICU) (Gartland e Gonçalves, 2010).

> La isla de calor o isla térmica urbana consiste en que las ciudades suelem ser, especialmente de noche, más cálidas que el medio rural o menos urbanizado que las rodea. Singularmente, el área urbana que presenta temperaturas más elevadas suele coincidir con el centro de las ciudades, allí donde las construcciones y edificios forman un conjunto denso y compacto (...). (GARCÍA, 1991, apud DORIGON, 2015, p.28).

A discussão sobre o clima urbano remete a décadas atrás. Destaca-se o trabalho mais expoente neste campo no Brasil, desenvolvido na década de 70, pelo geógrafo Carlos Augusto Figueiredo Monteiro (1976), que formulou a teoria do Sistema Clima Urbano (S.C.U). Essa teoria relaciona-se com a Teoria Geral dos Sistemas proposta por Bertalanffy (1975), e caracteriza o S.C.U. como um sistema complexo, entre os fatores naturais e antrópicos existentes no meio urbano, que são capazes de modificar o clima em escalas consideravelmente menores, como os microclimas.

As variações no uso, cobertura e ocupação do solo, assim como o próprio relevo num município não seguem uma homogeneidade e, portanto, ao longo do perímetro municipal é possível identificar microclimas urbanos, que são porções de um dado espaço, que de acordo com suas características geomorfológicas, de uso e cobertura do solo influenciam tanto na temperatura do ar, de superfície, como também na sensação de conforto térmico (Ferreira, 2014).

Igualmente, ao perpassar pelo processo de urbanização a vegetação nativa é a primeira a sofrer as consequências, sendo incisivamente suprimida, mesmo com seu papel vital para o desenvolvimento sustentável bem como para os seres humanos (Zhao *et al.,* 2013) , sendo de suma importância na sensação de conforto térmico, bem estar físico e mental. As áreas vegetadas são importantes locais de infiltração da água, capazes de diminuir o escoamento superficial e o estrangulamento dos sistemas de drenagem, além disso, “as áreas verdes mais

densamente arborizadas são mais efetivas na redução da temperatura” (Pinheiro, Moura, Marcelino, 2023, p. 3).

No entanto, para além da supressão vegetacional, há outro fator de igual importância na análise sobre a vegetação e o clima: o racismo ambiental e a iniquidade arbórea derivada dos processos de urbanização desigual e forte especulação imobiliária. Tal iniquidade é evidenciada por processos históricos e sociais, como demonstram Guerrero *et al, 2021:*

> Apesar de cada realidade ser construída de diversos aspectos e singularidades, os trabalhos têm indicado uma tendência: que as áreas arborizadas são menos presentes e acessíveis em comunidades com maior presença de imigrantes, famílias de baixa renda, menores níveis de escolaridade e em bairros com residências com menores áreas e padrões construtivos simplificados.(Guerrero *et al,* 2021, p. 38).

Além disso, dado ao contingente populacional, a impermeabilização quase completa do solo é uma realidade dos locais periféricos, com isso o acesso às áreas arborizadas torna-se seletivo e desigual, o que compromete, consequentemente, o bem-estar e a saúde dessa população, evidenciando assim a vulnerabilidade e injustiça ambiental existente.

Segundo Conti (2005) tratando-se das mudanças climáticas, sob a perspectiva do racismo ambiental evidencia -se como as comunidades marginalizadas são desproporcionalmente afetadas pelos eventos extremos. Tornam-se, portanto, importante a aplicação de Índices de Vulnerabilidade Socioambiental conjuntamente a estudos sobre Ilhas de Calor e potencial de aquecimento, para que assim, seja evidenciada a desproporcionalidade dos efeitos sentidos pela população e também onde há a maior necessidade de investimento e atuação por parte do poder público.

Diante disso, torna-se necessário o uso de ferramentas capazes de evidenciar tais disparidades. Logo, a aplicação do sensoriamento remoto na identificação tanto de microclimas urbanos, quanto das ilhas de calor, e através da aquisição da temperatura de superfície por bandas do infravermelho termal de satélites, este método se consagra com grande valia (Gallo, Alvarez, Garçon, 2013). Sendo assim, nota-se a grande importância do sensoriamento remoto para o desenvolvimento de pesquisas voltadas para esta área.

Entrementes, trabalhos sobre o clima urbano e/ou formação de ilhas de calor urbano, ou mesmo sensações de desconforto térmico gerado pelas mudanças climáticas em total vigor, eram comuns as grandes metrópoles ou grandes cidades,

como as capitais, onde se encontra um maior contingente populacional e, portanto, uma maior modificação no uso e ocupação do solo, assim como uma maior supressão da vegetação. No entanto, nos últimos anos, destaca-se, segundo Amorim (2019); Souza *et al* (2024); Dorigon (2015); Vianna (2018); Teixeira e Amorim (2017); Porangaba (2015); Cardoso (2015); Amorim, Dubreuil, Cardoso (2015) entre outros, que cidades de pequeno e médio porte também apresentam diferenças significativas de temperatura do ar e potencial de aquecimento dentro do município, indicando pois que as mudanças no Sistema Clima Urbano vão para além das grandes cidades.

Assim, quanto ao recorte espacial deste estudo, a área urbana de Muriaé - MG, com uma ocupação que ocorre desde o ano de 1819. Porém, nos anos de 1939 e 1951, com a construção das rodovias BR 356 e BR 116 respectivamente, transformando o município em um entroncamento rodoviário, seu crescimento urbano mostrou-se exponencial (Ferreira, 2022).

Do mesmo modo, com a expansão urbana acelerada, consequentemente, os passivos ambientais acompanharam com significativa supressão da vegetação nativa, forte impermeabilização do solo próximo às planícies de inundação do Rio Muriaé e crescimento de loteamentos residenciais, estes mais intensamente a partir do ano de 2010, expressando uma diferença de uso e ocupação do solo mais clara. Para além disso, diante do relevo predominantemente depressional e com clima tropical de inverno seco, esta porção do território brasileiro possui temperaturas do ar elevadas durante grande parte do ano (Souza *et al., 2024),* o que somado à expansão urbana acelerada culmina em um ambiente de especial interesse para análises climáticas.

1.1 Justificativa

Diante do cenário atual climático e ambiental, estudos indicam profunda relação entre crescimento urbano e formação das Ilhas de Calor Urbano (ICU) (Santana, 2014). A substituição das áreas verdes por superfícies impermeáveis, que é uma característica marcante no ambiente urbano, contribui expressivamente para o aumento das temperaturas do ar e da superfície nesta área. Isso impacta diretamente na sensação de conforto térmico, em especial para as populações mais vulneráveis, evidenciando as desigualdades socioeconômicas existentes e pertinência de estudos que abordam a dinâmica social e ambiental das cidades.

Ademais, tornam-se necessários estudos que compreendam, analisem e sirvam de base para políticas públicas que mitiguem efeitos colaterais de sua própria ineficiência de planejamento no passado.

1.2 Objetivo

1.2.1 Geral: Identificar a vulnerabilidade socioambiental da área urbana de Muriaé e relacioná-la com as áreas de formação de Ilhas de Calor Urbanas, a fim de evidenciar se as disparidades socioeconômicas expõem populações vulneráveis ao desconforto térmico e aos riscos ambientais de forma desproporcional.

1.2.2 Específicos:

- Diagnosticar o padrão espacial da vulnerabilidade socioambiental da área urbana de Muriaé;
- Identificar e analisar a variabilidade térmica e áreas de maior concentração térmica urbana (ICU);
- Avaliar a relação entre a espacialidade da vulnerabilidade socioambiental e as Ilhas de Calor Urbanas;
- Discutir os resultados à luz da justiça climática e do planejamento urbano/ambiental;

2. Revisão bibliográfica

Este capítulo, tem como objetivo contribuir para o entendimento dos conceitos que embasam o presente estudo, de forma linear e clara. Assim, os temas aqui abordados serão o conceito de Antropoceno e as mudanças globais suas principais causas e efeitos, tanto ambientais quanto para preservação da vida.

Em seguida, será discutida a produção do espaço e suas nuances relacionadas ao modo de produção vigente; articulando-se à justiça ambiental, ao racismo ambiental, a iniquidade arbórea e o índice de vulnerabilidade socioambiental. Pois são conceitos chaves para identificação de territórios mais expostos aos riscos climáticos. Também será discutida a formação das Ilhas de Calor Urbanas, em específico, em cidades de pequeno e médio porte.

Além disso, serão apresentados os fundamentos do sensoriamento remoto, sua história e evolução, suas aplicações com foco na área ambiental, com destaque para sua importância para as análises climáticas.

2.1 Antropoceno e mudanças globais

O ser humano mostrou-se capaz de modificar o meio em que vive em escala espacial e temporal extraordinárias (De Moura *et al.,* 2021), processos antes que "naturalmente" levariam centenas a milhares de anos para ocorrerem, são realizados na mesma magnitude em tempo recorde (Peloggia, 2005). Diante dessas morfodinâmicas antrópicas, Crutzen (2002) propõe a denominação de uma nova Era Geológica, o Antropoceno, devido à influência humana sobre os processos geológicos dominantes. Assim como ele, Naredo (2002) afirma:

> [...] e la mera extracción o sobrexplotación de riquezas naturales preexistentes, llevando incluso las producciones de la fotosíntesis hacia el deterioro progresivo de los bienes fondo que las sustentan. Así, el término "producción" se acuñó y popularizó como parte del discurso económico dominante, para encubrir el doble daño ambiental que acarrea el comportamiento de la civilización industrial, por extracción de recursos y emisión de residuos. (Naredo, 2002, p. 12).

No mesmo escopo da magnitude da ação antrópica no meio terrestre, Artaxo (2014) complementa:

> A dominação dessa espécie humana está sendo de tal modo importante que está influenciando algumas componentes críticas do funcionamento básico do sistema terrestre. Entre elas, o clima e a composição da atmosfera. (Artaxo, 2014, p. 15).

Logo, o Antropoceno criou novas dinâmicas terrestres, novos ecossistemas, como o ecossistema urbano, com sua peculiar ecologia, que exige grande quantidade de recursos para manter sua infraestrutura e também exerce uma pressão significativa no meio ambiente.

O que afeta diretamente a relação entre o homem e a natureza, consequentemente acentua as disparidades socioambientais e a exposição ao risco ambiental de algumas comunidades às mudanças globais.

O Antropoceno traz consigo também toda mudança sistêmica no dominó das ações antrópicas. Entretanto, não se pode falar sobre esta nova era geológica sem entender o contexto no qual ela se impõe, adentra-se, portanto, o modelo de produção adotado no século XVIII após a Revolução Industrial.

O modelo de produção capitalista, delineado pela Revolução Industrial, traz consigo uma forma predatória de exploração não somente da força de trabalho da classe mais subalterna, mas também do meio ambiente como traz Sposito (1988).

> O início da industrialização entendida aqui como traço da sociedade contemporânea, como principal atividade econômica e principal forma através da qual a sociedade se apropria da natureza e transformava marcou de forma profunda e revolucionou o próprio processo de urbanização. (Sposito, 1988,p. 48).

Versa sobre isso, que atividades humanas consideradas essenciais para perpetuação do sistema capitalista exercem de forma exacerbada uma pressão ecológica sobre o planeta. Criam-se ambientes altamente antropizados, sendo o principal as áreas urbanas, estas como nível máximo da modificação humana sobre a superfície do planeta, elucidado por Sposito (1988) no trecho:

> A cidade recebeu diretamente as consequências do rápido crescimento populacional imprimido pela revolução industrial, e sofreu, a nível de estruturação de seu desempenho interno, muitas transformações (Sposito, 1988, p. 55).

Com a falta de planejamento das cidades, o próprio Estado não conseguiu dar conta de políticas públicas a fim de controlar esse avanço. Sem a elaboração de planejamentos e regulamentações, Sposito (1988) elenca que a falta de poder do Estado foi fundamental para a classe dominante realizar seus investimentos imobiliários, além da clara especulação imobiliária.

Com as ações antrópicas em escala e magnitude proporcional a eventos geológicos, o planeta Terra vem respondendo através das mudanças globais, com a ocorrência cada vez maior de eventos extremos, aumento dos níveis do mar, formação de ilhas de calor cada vez mais acentuadas, entre outros sintomas causados pela pressão sofrida pelo meio ambiente e que atinge e compromete, significativamente, a manutenção da vida no planeta.

Diante da guinada exponencial desses fenômenos e suas consequências, vários são os órgãos, organizações e instituições que estudam e monitoram essas mudanças e também estipulam limites claros para a manutenção da vida terrestre.

Tem-se como exemplo mais geral o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o qual elabora periodicamente relatórios sobre a escalada das mudanças climáticas, além de estabelecer limites e metas. Tendo em

mente a contribuição inequívoca do ser humano para a atual situação planetária, o O Relatório sobre Mudanças Climáticas do IPCC para o ano de 2023 aponta:

> As atividades humanas, principalmente através das emissões de gases de efeito estufa, inequivocamente causaram o aquecimento global [...] s decorrentes do uso insustentável de energia, do uso da terra e da mudança no uso da terra, dos estilos de vida e dos padrões de consumo e produção entre regiões, entre países e dentro deles, e entre indivíduos. (IPCC, 2023, p. 20)

Enfaticamente, há a discussão sobre a emissão de dióxido de carbono e sua forte contribuição para o aquecimento global.

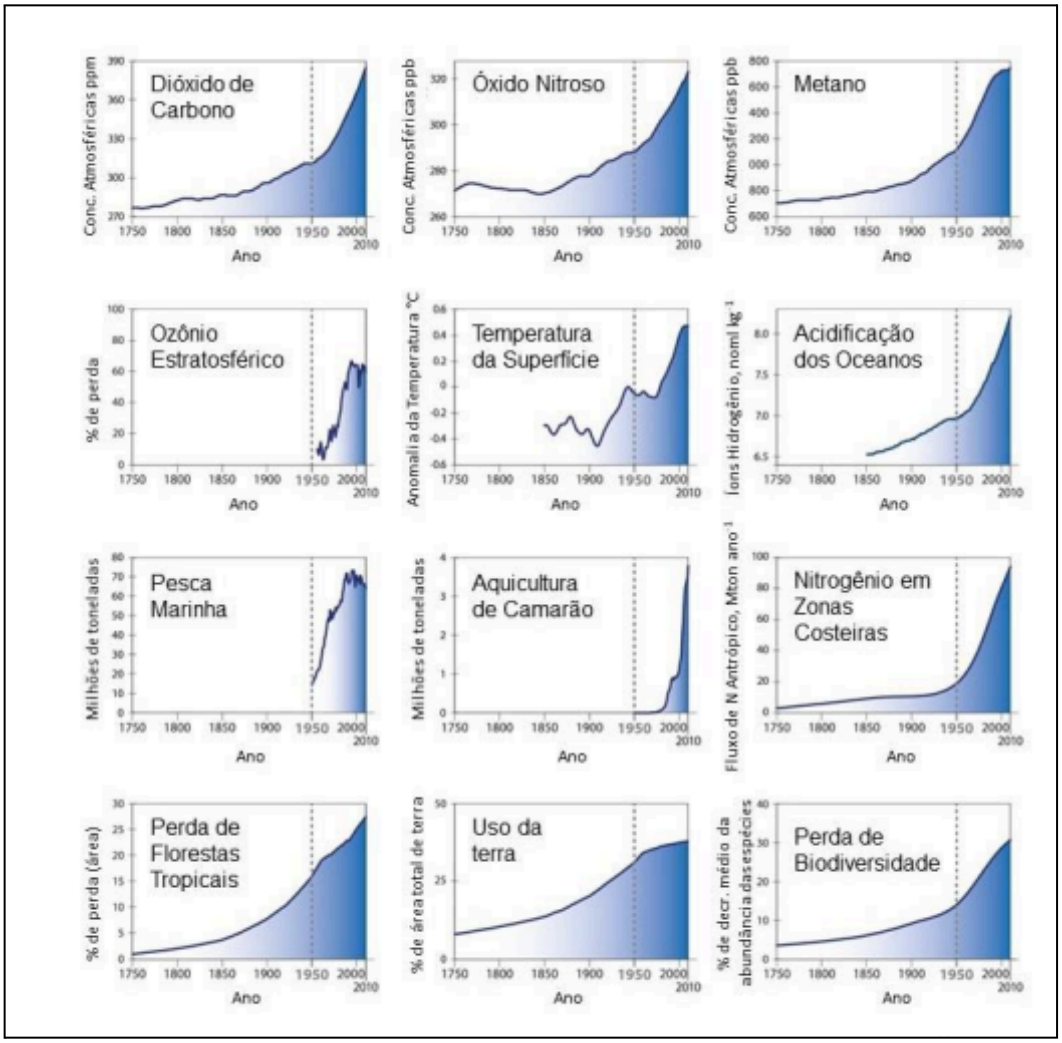
> A limitação do aquecimento global causado pelo homem requer emissões líquidas zero de CO2. As emissões acumuladas de carbono até atingir as emissões líquidas zero de CO2 e o nível de redução das emissões de gases de efeito estufa nesta década determinam em grande parte se o aquecimento pode ser limitado a 1,5ºC ou 2ºC. (IPCC, 2023, p.36).

Dito isso, dentro do período de anos de 1999 a 2003 foi elaborado pelo Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP) gráficos indicando o período da “Grande aceleração” que em resumo buscava explicar o Sistema Terrestre e a pressão antrópica, e assim autores como Steffen *et al.*(2007)*;* Zalasiewicz *et al* (2011); Crutzen (2002), discutiram e elencaram alguns indicadores da “Grande Aceleração”, assim como dos Limites Planetários, este segundo introduzido por Rockstrom *et al*. (2009) propõe:

> Os limites definem o espaço operacional seguro para a humanidade em relação ao sistema terrestre e estão associados aos subsistemas ou processos biofísicos do planeta. [...] Se esses limites forem ultrapassados, subsistemas importantes podem mudar para um novo estado (Rockstrom *et al*., 2009, p. 472).

A fim de facilitar o monitoramento dos principais causadores e modificadores do ecossistema planetário e que contribuem para o aumento do efeito estufa, primeiramente seguem os gráficos com a definição dos indicadores e também o comportamento, com o aumento progressivo destes ao longo dos anos (Figura 1) e tabela adaptada de Mahaffy (2014) com o conceito químico de alguns dos Limites Planetários descritos (Figura 2).

Figura 1 - Gráficos dos indicadores dos Limites Planetários



Fonte: Silva, Arbilla adaptada de Steffen *et al* (2007)

Figura 2 - Conceitos químicos relacionados aos Limites Planetários

Limite Planetário	Conceitos químicos
Mudança climática	Interação eletromagnética da radiação com a matéria, espectroscopia infravermelha, termoquímica, aerossóis, isótopos, estado da matéria, reações de combustão
Acidificação dos oceanos	Química ácido-base, equilíbrio, solubilidade, estequiometria, especiação química
Depleção da camada de ozônio	Fotoquímica, cinética química, termoquímica, catálise, espectroscopia ultravioleta
Fluxos de nitrogênio e fósforo	Especiação química, estequiometria, solubilidade e precipitação, equilíbrio químico, estados da matéria
Aerossóis	Estados da matéria e equilíbrio de fases, termoquímica, química ácido-base, cinética química
Uso da água	Equilíbrio químico, reações iônicas, solubilidade e precipitação, estados da matéria

Fonte: Silva, Arbilla adaptada de Mahaffy (2018)

Portanto, o Antropoceno (a “Época dos Humanos”) pode ser visto desde um ponto de vista apenas geológico ou, em uma forma mais ampla, como um conceito que envolve o meio ambiente, a química, a biologia, a cultura, a economia e as relações políticas e econômicas (Silva; Arbilla, 2018) o que mostra os variados níveis em que o ser humano consegue modificar o planeta, no curto espaço temporal em que se encontra nele.

2.2 A produção do espaço

O capitalismo é um dos autores das relações que permeiam o espaço e como ele emerge e se consolida, relações sociais intrínsecas ao modelo de produção capitalista moldam os espaços, sejam eles urbanos ou rurais. São distribuídos “inconscientemente” espaços, territórios e lugares de acordo com os níveis estratificados concernentes às classes sociais existentes, assim como de acordo com o desenho pressuposto do capital, onde aplica-se e onde retira-se o mesmo, moldando a realidade espacial dos centros urbanos e de forma menos incisiva no meio rural.

Não obstante, para o presente trabalho torna-se importante a elucidação da forma em que se dá a produção do espaço, como ele se forma, quais são as relações que desenham o território. É necessário, pois, buscar o entendimento das relações que denotam espaços tão próximos, mas tão distantes economicamente e

socialmente, o qual é continuamente exemplificado por imagens muito utilizadas por professores de geografia nas aulas em que trabalham a desigualdade econômica drástica, a qual tem de um lado um condomínio fechado de alto padrão dividido por um muro com um aglomerado subnormal (antiga favela).

Outrossim, é necessário entender para além do contexto mundial de produção do espaço, mas também o caso específico do Brasil, pois nenhum país viveu o capitalismo e consequentemente a urbanização da mesma forma. Assim, inicialmente será trabalhado o contexto da produção do espaço de forma mais abrangente na esfera mundial e posteriormente na esfera nacional.

Dessa forma, entende-se o espaço como produto também social e, portanto, moldado através das relações de poder existentes e que Lefebvre (1974) aponta que

> El espacio social contiene y más o menos asigna los lugares apropiados a: (i) las relaciones sociales de reproducción — a saber, las relaciones biofisiológicas entre los sexos, las edades, con la específica organización familiar; (2) las relaciones de producción, i.e. a la división del trabajo y su organización, y por tanto a las funciones sociales jerarquizadas. (Lefebvre, 1974, p. 91).

E diante disso, Lefebvre (1974) discorre sobre como a prática espacial, ou seja, como o espaço se forma está diretamente relacionado à prática social, a qual está ligada às práticas políticas e o poder do Estado, assim como a questão social e cultural intrínsecas.

> Además, la práctica espacial consiste en una proyección «sobre el terreno» de todos los aspectos, elementos y momentos de la práctica social, separándolos y sin abandonar durante un solo instante el control global: es decir, realizando la sujeción del conjunto de la sociedad a la práctica política, al poder del Estado.(Lefebvre, 1974, p.69).

Quanto às relações de poder e a relação do Estado acerca da responsabilidade pelo contexto de formação do espaço urbano, Santos et al ((2017) traz a relação da segregação espacial, sob a perspectiva da desigualdade e a produção da urbanização.

> A desigualdade do espaço se manifesta nos processos de produção da urbanização sob três vetores principais: a) segundo aspectos econômicos, no acesso a oportunidades e na concentração de riquezas; b) segundo aspectos sociais, quanto aos recursos do Estado e a crônicos problemas de educação e de mobilidade social; e c) segundo aspectos espaciais, no que se refere à acessibilidade da urbanização e seus benefícios e à provisão de serviços básicos, como acesso à água potável e saneamento, que são pouco qualificados e mais caros para os mais pobres.(Santos *et al.*, 2017, p.433).

Outrossim, dentro da esfera não somente da produção do espaço, mas na concepção e vivência do mesmo é possível identificar, sem muito esforço, o que concerne nas relações de poder e renda atrelado ao capital imobiliário que promove a diversidade de padrões. Laschefski e Costa (2008, p.01) elucidam: “Os resultados refletem, frequentemente, as prioridades de determinados grupos de influência, muitas vezes contraditórias entre si, revelando, assim, as relações de poder neste campo”. “A urbanização pode, então, ser compreendida como um fenômeno que se encontra, crescentemente, sob a influência do capital portador de juros.” (Sanfelici, 2013, p.28)

E quando se toca no termo de padrões ligados ao espaço se abre um leque de variados sentidos, em especial diante do processo concebido por Mike Davis (2006) que entende que o avanço da urbanização tem sido acompanhado pelo aumento da pobreza urbana e pela proliferação das favelas em escala global, a ponto de se considerar a substituição do termo “urbanização” por “favelização”.

E que Milton Santos (2005) também contribui nesta área com ênfase no Brasil, ao afirmar que a ocupação irregular marcante é uma característica da maioria das cidades brasileiras e está atrelada com a crescente associação com a pobreza.

Atrelado a isto está o padrão de renda, padrão estrutural familiar, padrão construtivo, padrão dos arruamentos, muitas vezes até o padrão topográfico está atrelado ao espaço de interesse do mercado imobiliário, como afirma Ferreira (2019) a população mais pobre tende a ocupar encostas e locais de geologia íngreme, áreas suscetíveis a inundação, lixões, entre outros, que não são considerados momentaneamente de interesse imobiliário, trazendo uma maior vulnerabilidade ambiental para essa parcela da população.

Não obstante, ao tratar de padrões espaciais, Sposito (1988, p.68) afirma “ Ter uma residência individualizada cercada de espaços era sinal de prestígio social, só possível para os mais ricos”, ou seja, a fala da autora concerne na identificação do perfil/padrão da periferia, a qual é caracterizada por um amontoado desordenado e sem espaços onde vivem os mais subalternos da sociedade, tornando o acesso a terra restrito.

Importante salientar também a responsabilidade do Estado no planejamento e desenvolvimento dos espaços, tendo em vista que este é o facilitador do

desenvolvimento econômico, e diante disso Lefebvre (1974) argumenta sobre a responsabilidade estatal e seus cúmplices na produção do espaço.

> Así pues, puede decirse que el espacio contiene esos múltiples entrecruzamientos en lugares asignados. En cuanto a las representaciones de las relaciones de producción, que engloban las relaciones de poder, también se efectúan en el espacio, y el espacio contiene las representaciones en los edificios, los monumentos, las obras de arte, etc. Las expresiones frontales, a menudo brutales, de estas relaciones no impiden completamente los aspectos clandestinos y subterráneos; no hay poder sin cómplices y sin policía. (Lefebvre, 1974, p. 92).

O espaço é produzido e produto de complexas relações sociais que permeiam o espaço físico em si, e é interessante elencar também nesta discussão a atuação da parcela com menor poder "social e econômico" que por mais que sua influência seja diminuta se comparada com os grandes atores e detentores de capital, também exercem seu poder na criação de territórios dentro destes espaços, conduzidos por discursos de contrapoder e pertencimento, ou seja discursos esses que ultrapassam a dimensão social e econômica e adentram a dimensão cultural, diante disso Bryant e Bailey (1997) afirmam.

> A capacidade dos atores mais fracos de resistir aos seus pares mais poderosos está ligada às grandes dificuldades que os atores mais poderosos enfrentam ao buscar exercer controle sobre o ambiente de outros. (Bryant e Bailey, 1997, p. 43).

Assim, Sposito (1988, p.14) afirma que "A cidade na sua origem não é por excelência o lugar de produção, mas o da dominação", e esta dominação intelectual, econômica, social acaba por produzir o espaço urbano criando regras implícitas de ordenamento territorial, zoneamento espacial e também social, e que foi um tema trabalhado no início desta discussão sobre a produção do espaço, as diferenças nítidas existentes entre bairros ou até mesmo regiões das cidades.

E diante disso, o planejamento territorial, ambiental e urbano se torna peça chave para produção do espaço, pois é uma forma, mesmo que em teoria, eficaz para se combater as maiores disparidades e desigualdades relacionadas ao uso e ocupação do solo urbano. Portanto, o planejamento vem como uma válvula de mitigação para a dominação e especulação imobiliária clara que ocorre nos centros urbanos e que afetam, de forma cruel a população de menor provimento aquisitivo, que consequentemente são "empurradas" para as áreas mais desvalorizadas

geologicamente e infraestruturalmente, aumentando mais ainda a vulnerabilidade socioambiental desta população.

2.3 Racismo Ambiental, Iniquidade arbórea e Justiça Climática

Adiante segue-se o traçado lógico dos temas, aprofundando-se e afunilando os conhecimentos e estudos já existentes, como um escopo geral do que já foi produzido e que servirá como base para este trabalho. Sendo assim, após o entendimento de como se dá a produção do espaço com seus múltiplos fatores de influência, adentra-se, portanto, na concepção de justiça ambiental e os demais campos que dela nascem e se cobrem de divisões naturais.

Para, Herculano (2008) a justiça ambiental é:

> Por 'Justiça Ambiental' entenda-se o conjunto de princípios que asseguram que nenhum grupo de pessoas, sejam grupos étnicos, raciais ou de classe, suporte uma parcela desproporcional das consequências ambientais negativas de operações econômicas, de políticas e programas federais, estaduais e locais, bem como resultantes da ausência ou omissão de tais política (Herculano, 2008, p. 2).

Dessa maneira entende-se, pois que o conceito de justiça ambiental nasce junto da tomada de consciência das classes menos favorecidas e os movimentos sociais concernentes a elas que clamam pela igualdade, ou pelo menos proporcionalidade dos ônus advindos dos fenômenos ambientais, ou mesmo das condições ambientais a que são sujeitas pela produção do espaço, e, portanto, tornando esta população vulnerabilizada, seja por sua condição social ou etnia. Diante disso, Acselrad (2002) traz a seguinte afirmação:

> Nos anos 70, sindicatos preocupados com saúde ocupacional, grupos ambientalistas e organizações de minorias étnicas articularam-se para elaborar em suas pautas respectivas o que entendiam por "questões ambientais urbanas (Acselrad, 2002, p.16).

Esse conceito surge nos Estados Unidos, onde na década de 80 movimentos sociais com a participação de grupos étnicos específicos, iniciaram uma onda de protestos relacionados à maior exposição destes a riscos ambientais derivados de depósitos de lixo tóxico e passivos de indústrias químicas.

Diante da concepção de etnia, cunhou-se o termo racismo ambiental, onde estes grupos específicos sofrem com a desigualdade dos passivos ambientais

derivados de sua localização espacial, seja em áreas com maior risco de inundação ou deslizamento de terra, ou seja perto de empreendimentos considerados perigosos para o ser humano, Bullard (2000) conceitua o termo como sendo o racismo ambiental um conceito que se refere à desigualdade racial na distribuição dos riscos ambientais e dos impactos negativos sobre as populações minoritárias .

Não obstante, quando se trata do racismo ambiental, é interessante identificar com este liga-se naturalmente ao racismo estrutural, presente no íntimo da sociedade e que diante de vários cenários sociais molda até mesmo o espaço, produzindo um espaço segregado. Que para além disso, continua a vulnerabilizar determinados grupos étnicos de forma que estes ocupem locais mais suscetíveis a altos riscos ambientais. Monteiro *et al.*(2023) apontam que

> O racismo ambiental é uma manifestação e desdobramento do racismo estrutural, pois reflete a maneira como as desigualdades raciais se entrelaçam com questões ambientais, resultando em impactos desfavoráveis sobre determinados grupos raciais. (Monteiro *et al. ,*2023, p. 118-119).

Enquanto Abreu (2013) destaca na realidade brasileira o seguinte conceito sobre o racismo ambiental:

> O problema do preconceito e do racismo no Brasil já extrapolou as questões raciais e étnicas e se alastrou não apenas no convívio social, mas também na vida política no país e nas decisões governamentais. A motivação para exclusão de brasileiros têm as mais variadas nuances, seja cor da pele, local de nascimento, tipo de trabalho ou ausência deste, local de residência, escolaridade, conta bancária, e, o que se destaca, a questão ambiental (Abreu, 2013, p. 91).

Dessa forma, infere-se que independentemente da realidade a ser trabalhada o racismo ambiental existe e é latente nos mais diversos países do mundo, cabe pensar em como nos dias atuais com as mudanças climáticas em voga e acontecendo num ritmo cada vez mais acelerado, essas comunidades marginalizadas são atingidas de forma desproporcional por estes eventos (Conti, 2005).

Além disso, Isaguirre-Torres e Maso (2023) destacam que há uma diferença entre os passivos ambientais ao tratar-se do desenvolvimento econômico de cada país, evidenciando o poder do capital sobre a proporcionalidade dos riscos ambientais.

> Enquanto grandes potências assumem uma agenda verde e ecológica dentro de seus países, ou mesmo financiam políticas nacionais para se adaptar a um clima mais quente, outros países sofrem, em geral ao Sul, com impactos socioambientais decorrentes das mudanças climáticas (Isaguirre-Torres e Maso, 2023, p. 461).

Ao entender que o racismo ambiental não está ligado somente a etnia, mas sim numa série de características elencadas acima por Abreu (2013), e que juntas mostram a vulnerabilidade social e econômica como principais geradoras de desigualdades estruturais e espaciais, Monteiro *et al.* (2023) salientam a importância do combate à desigualdade social como sendo essencial para o desenvolvimento sustentável de uma nação.

Portanto, não se pode falar sobre racismo ambiental sem falar sobre a desigualdade social latente e que molda o espaço e a ocupação deste por diferentes grupos sociais. Sendo assim, estudos apontam que grupos com menor poder aquisitivo estão associados a determinada cor de pele ou etnia, sendo esses grupos muitas vezes marginalizados estruturalmente. Dessa forma, entende-se que para a diminuição do racismo ambiental existente é necessário um combate a desigualdade social.

De forma a complementar a discussão sobre desigualdade social e seu papel fundamental na vulnerabilidade socioambiental, Jubilut e Martuscelli (2019) afirmam.

> As vulnerabilidades podem ser entendidas como a “qualidade de estar numa situação desprivilegiada e/ou desempoderada em função de características pessoais ou do entorno(social/situacional) e em que se pode sofrer algum dano (físico, moral ou de direitos), necessitando de proteção específica ou peculiar. (Jubilut, Martuscelli, 2019, p. 872).

Diante das vulnerabilidades intrínsecas ao racismo ambiental e a desigualdade socioeconômica, torna-se importante estudos sobre o efeito das mudanças climáticas para essa população. Atualmente com um maior número de eventos extremos, aumento da temperatura planetária, aumento do nível do mar, entre outros, que acabam por afetar toda a sociedade humana, mas de forma mais intensa os grupos mais vulneráveis, estes que não possuem uma capacidade de resiliência à essas mudanças que ocorrem cada vez de forma mais acelerada.

As mudanças climáticas têm sido discutidas em diversas conferências, reuniões e comissões especiais com o intuito de encontrar formas de mitigar seus efeitos ou mesmo atrasar o ímpeto do aquecimento global e suas severas consequências para a vida terrestre, haja vista que segundo IPCC (2023).

> Estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C. É provável que o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual. (IPCC, 2023, p. 7).

Logo, inúmeros documentos são elaborados sobre o tema. Porém, os Relatórios de mudanças climáticas elaborados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) destacam-se por sua abrangência.

O IPCC é um órgão coparticipativo entre a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) que atua em escala mundial, fundado em 1988, a partir de preocupações acerca do aumento contínuo da emissão de gases do efeito estufa e o aquecimento global. E tem como objetivo principal a informação sobre as mudanças climáticas que vêm ocorrendo, os impactos que elas podem gerar e os meios de mitigação e adaptação a elas.

Isso é possível mediante pesquisa e compilação de informações realizada através da literatura científica avaliada por pares de todo mundo, ou seja, o IPCC é um órgão que não conduz pesquisas próprias. Cientistas voluntários, separados em 3 grupos de trabalho (Ciência física das mudanças climáticas; Impactos, adaptação e vulnerabilidades; Mitigação das mudanças climáticas) escrevem relatórios com as informações compiladas de forma clara e abrangente a fim de contribuir para a gestão pública.

A frequência dos relatórios emitidos é variável, por exemplo, os Relatórios de Avaliação são emitidos em ciclos de 6/7 anos, são os mais importantes e, portanto, o último relatório emitido foi o que abrange o 6º ciclo (AR6) correspondente aos anos de 2021-2023. Entre esses ciclos podem ser emitidos alguns Relatórios Especiais, ou mesmo atualizações metodológicas para a medição da emissão de gases do efeito estufa para os próprios países calcularem.

Sendo assim, o IPCC consolida-se como sendo um importante órgão de análise ambiental relacionado a mudanças climáticas para este presente trabalho, portanto, serão analisados e elencados alguns trechos de relatórios emitidos por ele, a fim de embasar esta pesquisa.

Outra pauta importante a ser destacada é a da culpabilização mundial pelo caos climático ocorrido, como se o termo “homem” ameniza-se a culpa dos grandes

empreendimentos que são os principais responsáveis pelas grandes quantidades de lixo produzido e emissão de gases do efeito estufa.

Assim, Rodrigues (2023) faz a seguinte pontuação: “não são todos os homens os culpados pela crise socioambiental em que nos metemos, mas sim aqueles que gerem ou geriram nos últimos três séculos o modo de produção capitalista” (Rodrigues, 2023, p. 29).

Outrossim, na mesma pauta das mudanças climáticas a Organização das Nações Unidas (ONU) criou objetivos para o desenvolvimento sustentável, compondo a Agenda 2030 com 17 objetivos sucintos. Sendo o 13º intitulado “Ação contra a Mudança Global do Clima”, o qual segundo Monteiro *et al.* (2023) trata precisamente sobre as mudanças climáticas, redução das emissões de gases do efeito estufa e o fortalecimento da capacidade de adaptação das comunidades/grupos mais vulneráveis, para que as ações de enfrentamento desta questão, sejam justas a fim de não perpetuar ou mesmo agravar desigualdades e o racismo ambiental.

No entanto, o mesmo autor aponta a escassez das informações sobre as políticas e ações desenvolvidas para o combate ao racismo ambiental e as medidas para proteção dessa população mais vulnerável, sugerindo a existência de lacunas na pauta da justiça ambiental.

Ao tratar-se do Clima Urbano num escopo geral da geografia física, trata-se puramente de sua dimensão física, não menos importante. Porém não adentra-se na criticidade de análise de dados físicos ou tendências dos mesmos. Estudos que tratem de índices de vulnerabilidade, iniquidade arbórea e racismo ambiental são escassos no meio acadêmico.

Torna-se, portanto, necessários estudos que aprofundem as análises do clima urbano para além da sua dimensão física, que sejam abrangidas também as relações de vulnerabilidades existentes nos espaços ocupados pela população e como o clima versa sobre isso, quais entendimentos críticos se tiram do que está sendo mostrado pelos dados brutos.

Em relação a isso, pode-se elencar alguns fatores que se relacionam de forma básica com as sensações de conforto ou desconforto térmico sentido pelo ser humano, através da locação de microclimas diversos dentro de uma mesma cidade, como destaca (Ferreira, 2014): presença e o tipo de vegetação, impermeabilização do solo, materiais usados nas construções, padrão construtivo e presença de corpos

d’água. Sendo assim, pode-se afirmar que o clima urbano está ligado ao tipo de uso e ocupação do solo que por consequência se relaciona a condições de vulnerabilidades existentes na sociedade.

Ao se pensar sobre vulnerabilidade e clima, são vários os problemas que podem ser analisados, dado à diversidade de fenômenos que ocorrem através da relação entre esses dois, Monteiro (1976) elenca:

> Poluição do ar, ilha de calor, inundações no espaço urbano, dentre outras formas, assumem destaque nos climas urbanos, refletindo, com isso, peculiaridades do clima da cidade. (Monteiro, 1976, p.124).

Todos esses problemas climáticos gerados através da modificação do ambiente natural, como destacado anteriormente nas discussões acerca de justiça ambiental e racismo ambiental, possuem maior peso para uma parcela da população, a qual por diversos fatores torna-se mais vulnerável às mudanças climáticas. E é por meio dessa análise que surgem os índices de vulnerabilidade socioambiental.

2.4 Índices de Vulnerabilidade Socioambiental

Os índices de vulnerabilidade socioambiental são diversos, alguns já possuem dados padrão e outros são definidos de acordo com a realidade estudada, como apontam Malta *et al.* (2017).

> A questão da vulnerabilidade é complexa e cada situação, população vulnerável e região possui a necessidade de uma informação específica, e por esse motivo existem diversos índices, cada um desenvolvido para uma determinada realidade, com objetivos e utilizações diversas (Malta et al, 2017, p. 3934).

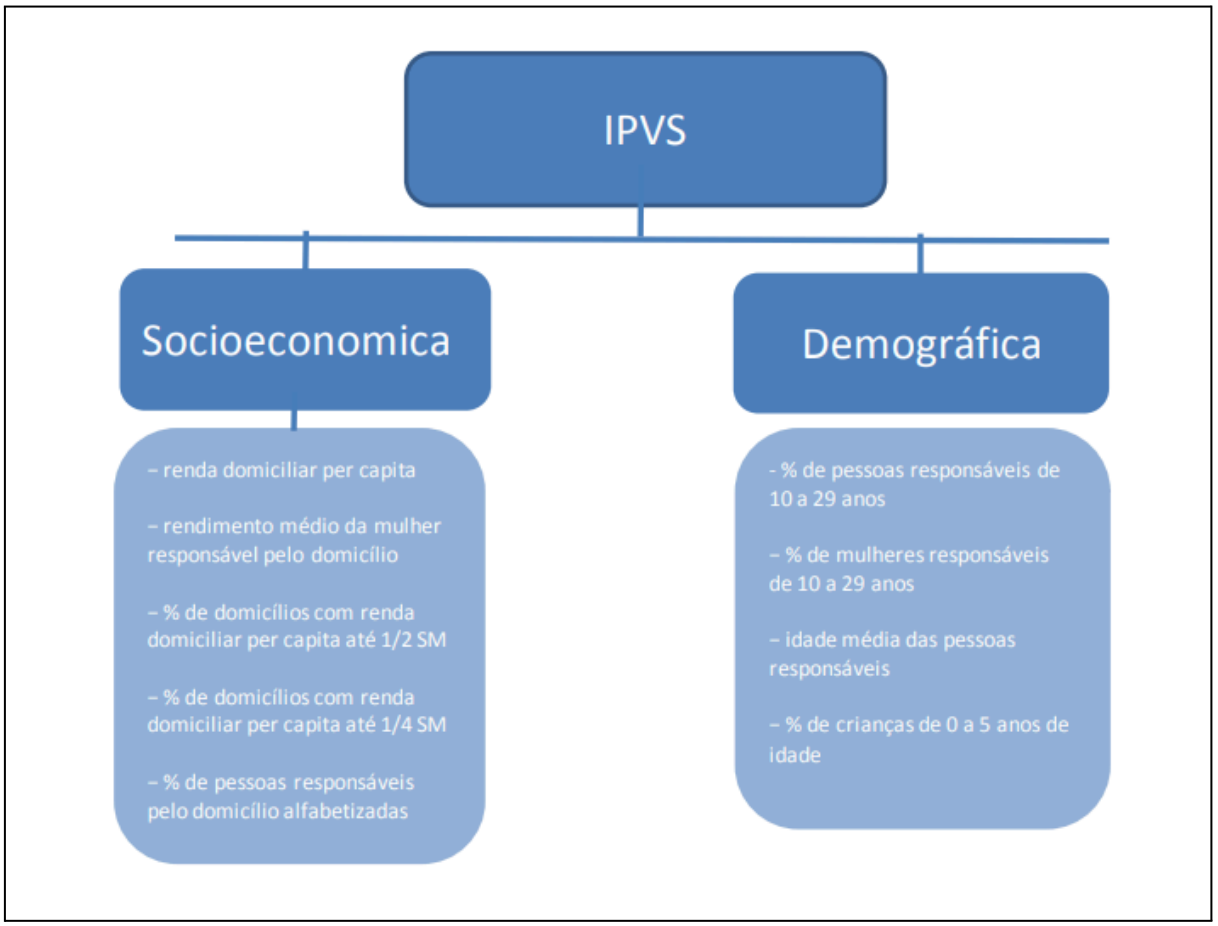
Como há alguns índices pré-definidos, vale destacar os mais utilizados nas pesquisas acadêmicas e salientar que o presente estudo os tomará como base, porém não como fim em si, pois se tratando de uma cidade de menor porte é mais coerente a escolha de dados específicos que consigam transmitir a realidade estudada. Assim, alguns índices escolhidos como base serão: Índice Paulista de Vulnerabilidade Social, Índice de Vulnerabilidade Social do IPEA, Índice de Vulnerabilidade Municipal da Fundação Fiocruz e Índices de vulnerabilidade socioambiental construído pelas universidades.

2.4.1 Índice Paulista de Vulnerabilidade Social

Um dos índices de vulnerabilidade mais usado é o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social, que foi criado no ano de 2004 pelo SEADE em conjunto com a assembleia legislativa de São Paulo, com o objetivo de identificar dentro do território municipal diferentes níveis de vulnerabilidade social para possibilitar a intervenção governamental precisa, utilizando-se dos dados do Censo Demográfico.

Através das variáveis socioeconômicas e demográficas, o índice divide-se em seis faixas de vulnerabilidade entre nenhuma e a muito alta. Utilizando-se do recorte espacial dos setores censitários, as variáveis escolhidas para a elaboração deste índice são divididas entre socioeconômicas e demográficas como destacadas na Figura 03.

Figura 3 - Variáveis do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social



Fonte: IPVS (2010)

Esse índice é utilizado, principalmente, para o mapeamento das vulnerabilidades e a disponibilização através da plataforma GeoSampa. Importante destacar que, como é um índice baseado no Censo demográfico, sua frequência e

atualização dependem da realização dos Censos. Outrossim, dentro de sua metodologia, há a comparação entre os censos de 2000 e 2010.

2.4.2 Índice de Vulnerabilidade Social do IPEA

Importante destacar que a principal diferença deste índice com o anterior, é que este foi criado pensando em abrangência nacional, construído pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada em conjunto com a Fundação João Pinheiro e também o PNUD. E a sua escala de atuação não se baseia no recorte espacial dos setores censitários, mas sim numa escala maior, a municipal.

Este índice utiliza dados do Censo Demográfico, mais especificamente, 16 indicadores especificados na Figura 04 a seguir, para conseguir dividir o índice em uma faixa de 5 tipos de vulnerabilidade entre a muito baixa e a muito alta. Entretanto, este índice é focado na parte social e não na ambiental.

Figura 4 - Indicadores, subíndices e IVS do Brasil (2000 e 2010)

Indicadores, subíndices e IVS do Brasil (2000 e 2010)

Brasil		2000	2010
Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)		0,446	0,326
IVS Infraestrutura Urbana	**IVS Infraestrutura Urbana**	0,351	0,295
	a) Percentual de pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados	8,91	6,12
	b) Percentual da população que vive em domicílios urbanos sem serviço de coleta de lixo	8,88	2,98
	c) Percentual de pessoas que vivem em domicílios com renda *per capita* inferior a meio salário mínimo e que gastam mais de uma hora até o trabalho no total de pessoas ocupadas, vulneráveis e que retornam diariamente do trabalho	10,33	10,33
IVS Capital Humano	**IVS Capital Humano**	0,503	0,362
	a) Mortalidade até 1 ano de idade	30,57	16,7
	b) Percentual de crianças de 0 a 5 anos que não frequentam a escola	76,21	56,85
	c) Percentual de pessoas de 6 a 14 anos que não frequentam a escola	6,89	3,31
	d) Percentual de mulheres de 10 a 17 anos de idade que tiveram filhos	3,51	2,89
	e) Percentual de mães chefes de família, sem fundamental completo e com pelo menos um filho menor de 15 anos de idade, no total de mães chefes de família	14,66	17,23
	f) Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais de idade	13,63	9,61
	g) Percentual de crianças que vivem em domicílios em que nenhum dos moradores tem o ensino fundamental completo	49,86	30,39
	h) Percentual de pessoas de 15 a 24 anos que não estudam, não trabalham e possuem renda domiciliar *per capita* igual ou inferior a meio salário mínimo (2010), na população total dessa faixa etária	15,4	11,61
IVS Renda e Trabalho	**IVS Renda e Trabalho**	0,485	0,32
	a) Proporção de pessoas com renda domiciliar *per capita* igual ou inferior a meio salário mínimo (2010)	48,39	32,56
	b) Taxa de desocupação da população de 18 anos ou mais de idade	13,82	7,29
	c) Percentual de pessoas de 18 anos ou mais sem fundamental completo e em ocupação informal	48,71	35,24
	d) Percentual de pessoas em domicílios com renda *per capita* inferior a meio salário mínimo (de 2010) e dependentes de idosos	3,41	2,42
	e) Taxa de atividade das pessoas de 10 a 14 anos de idade	9,28	7,53

Fonte: IPEA (2015)

2.4.3 Índice de Vulnerabilidade Municipal da Fundação Fiocruz

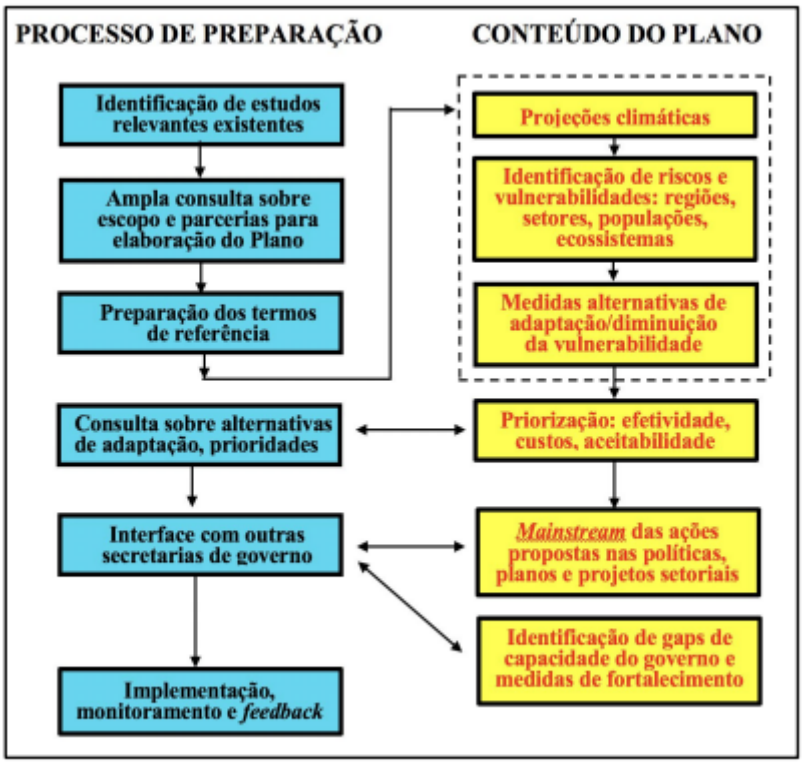
Índice de Vulnerabilidade Municipal da Fundação Fiocruz, para avaliação das vulnerabilidades frente às mudanças climáticas, foi publicado assim, o relatório final do projeto 'Mapa de Vulnerabilidade da População do Estado do Rio de Janeiro aos Impactos das Mudanças Climáticas nas Áreas Social, Saúde e Ambiental'.

Para este índice a FioCruz adotou a metodologia inspirada no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), instituído pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud) e o Guia metodológico do WWF.

> Cujo cálculo leva em consideração componentes de saúde, ambiente e sociais, como números de casos de doenças infecciosas influenciadas pelo clima, renda e acesso da população a trabalho e habitação, além das características de cobertura vegetal e da fauna. (Instituto Oswaldo Cruz, 2011).

O objetivo principal da criação deste índice, é servir como base para a elaboração do plano de adaptação às mudanças climáticas, e para isso o levantamento de informações sociais e ambientais foi imprescindível. Segue, na figura 05, a metodologia adotada.

Figura 5 - Metodologia de preparação do Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas



Fonte: Margulis (2017)

Por fim, em cumprimento com o objetivo proposto pelo índice, foram elencadas as medidas de adaptação para cada variável do índice, sendo elas: medidas de adaptação para os recursos hídricos, para saúde humana, para drenagem urbana, para deslizamentos, para rodovias, para zona costeira e para a agenda verde.

2.4.4 Índice de Vulnerabilidade às Ilhas de Calor

Este índice, possui a escala territorial municipal e foi projetado para a cidade de São Paulo, a construção dele visa a integração entre as dimensões sociais, econômicas e ambientais frente à exposição ao fenômeno de ilhas de calor urbanas (Siqueira; Dibo; Giannotti, 2017). O objetivo deste índice é identificar os territórios mais vulneráveis, mediante os componentes de capacidade de adaptação, exposição ao risco e sensibilidade, e, portanto, mapear as áreas mais prioritárias para a implementação de estratégias de mitigação.

Nesta metodologia, as ilhas de calor foram mapeadas através do uso de imagem termal adquirida através da banda TIRS do satélite Landsat 8 e posteriormente, foram cruzadas com os indicadores socioeconômicos coletados no Censo 2010 - IBGE.

Por fim, seguem abaixo na figura 6, as variáveis definidas pelos autores, juntamente com as referências utilizadas para cada uma:

Figura 6 - Indicadores do Índice de Vulnerabilidade à ilhas de calor (IVIC)

Componente	Indicadores	Referências
Capacidade de adaptação	Porcentagem de domicílios com água da rede geral	(Fernandez, Bucaram & Renteria, 2015; Weis, Agostini, Roth, Gilmer, Schill, Knowles & Blyther, 2016)
	Porcentagem de domicílios com lixo coletado	(Fernandez *et al.*, 2015)
	Porcentagem de domicílios com esgoto	(Fernandez *et al.*, 2015)
	Porcentagem de pessoas alfabetizadas	(Weis *et al.*, 2016)
	Acessibilidade aos hospitais: número de hospitais a serem atingidos dado um tempo de viagem de 60 minutos	(Inostroza *et al.*, 2016)
Exposição	Temperatura da Superfície Terrestre	(Inostroza *et al.*, 2016)
Sensibilidade	Porcentagem de pessoas residentes com até 11 anos (crianças)	(Fernandez *et al.*, 2015; Inostroza *et al.*, 2016)
	Porcentagem de pessoas residentes com mais de 65 anos (idosos)	(Fernandez *et al.*, 2015; Inostroza *et al.*, 2016)
	Porcentagem de famílias com responsáveis do sexo feminino	(Fernandez *et al.*, 2015)

Fonte: Siqueira-Gay; Dibo; Giannotti (2017).

Posteriormente à identificação dos territórios prioritários, foram pensadas as ações mitigadoras: implantação e conservação de parques e espaços verdes, plantio de árvores e telhados verdes; preservação de corpos d'água; design e forma urbana; utilização de materiais e superfícies.

2.4.5 Índice de Vulnerabilidade de Paracatu

Salientando que o presente estudo é sobre uma cidade de pequeno a médio porte, o trabalho de Rezende (2016) traz uma metodologia interessante e robusta para este recorte espacial. Integrando dimensões físicas e sociais na criação de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade socioambiental no município de Paracatu (MG), que possui atualmente 94.023 habitantes.

Para criação do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental, inicialmente criou-se 3 índices de "base", são eles: Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA), Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e por fim Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA), a partir da média ponderada dos dois anteriores. Importante ressaltar que esses índices foram calculados tendo por base a escala dos setores censitários elaborados pelo IBGE, como afirma Rezende (2016).

> Consideramos a mesma viável, uma vez que oportunizou uma análise integrada de variáveis ambientais e sociais, a partir de técnicas estatísticas multivariadas e SIG no contexto dos setores censitários da área urbana culminando na elaboração de mapas sínteses (Rezende, 2016, p.168).

O primeiro índice adotou critérios relacionados ao meio físico e ao adensamento urbano através de níveis de padrões de ocupação, também considerou a litologia, pedologia, declividade, cobertura vegetal, proximidade a cursos d'água, rodovias e áreas de mineração. Para a classificação do adensamento urbano foi realizado vetorização manual em SIG de acesso livre, e os demais dados foram adquiridos de órgãos públicos e calculados a partir da abordagem da maioria zonal de acordo com Barbosa (1997), Nascimento (2011), Crepani (2001). A declividade obtida através do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de 30 metros, foi calculada e categorizada em áreas planas mais propensas a inundações e áreas íngremes mais propensas a movimentos de massa.

Para o segundo índice os critérios escolhidos foram: proporção de idosos, nível de escolaridade, responsáveis pelo domicílio, acesso e condições de saneamento básico e infraestrutura residencial, todos coletados na plataforma SIDRA do IBGE. Os dados sociais foram classificados dentro de uma escala de peso de 0 a 1, no qual valores mais próximos de 1 expressam maior grau de vulnerabilidade.

Para criação desses dois índices e para elaboração do terceiro foi utilizado o método AHP e SIGs de acesso livre, como reforçado pela autora "o Sistema de

Informação Geográfica - SIG é o que possui maior capacidade de processamento e análise de dados espaciais" (Rezende, 2016, pág. 27). O primeiro é um método de tomada de decisão multicritério que ajuda na classificação de níveis e distribuição de pesos às variáveis pertinentes à pesquisa acadêmica realizada. E o segundo é um software capaz de georreferenciar as informações dos critérios adotados para posterior análise.

2.5 Ilhas de calor em médias e pequenas cidades

No tocante a este trabalho, o fenômeno analisado é a formação de ilhas de calor no município de Muriaé. A Ilha de Calor Urbana é definida pela diferença entre a temperatura do ambiente urbano para o rural, principalmente durante a noite, devido à diferença de potencial de resfriamento natural do ambiente (Gartland, 2010). Porém, a maioria dos estudos relacionados a esta diferença eram realizados em cidades de grande porte. No entanto, a posteriori estudos identificaram a ocorrência do mesmo fenômeno em cidades de pequeno e médio porte, denotando assim que a forma como se dá a construção urbana impacta diretamente na formação deste evento.

Segundo, Amorim (2019) em um estudo sobre os métodos e técnicas de análise de ilhas de calor urbanas afirma que:

> O interesse pelos estudos do clima urbano tem aumentado não apenas porque a maior parte da população brasileira e mundial vive nas cidades, mas também pelo processo de degradação desses ambientes e seus efeitos na qualidade de vida dos citadinos. (Amorim, 2019, p.22).

Esse fenômeno se dá primordialmente devido a diferença populacional da área urbana para rural, com a área urbana sendo altamente adensada, assim por consequência há uma supressão da vegetação, os materiais usados na construção civil e na infraestrutura urbana, com grande quantidade de concreto e asfalto, que possuem alta capacidade de absorção de calor são capazes de gerar um maior aquecimento contribuindo no aumento da temperatura urbana.

Outro fato importante a ser elencado é a própria dinâmica urbana, com seu intenso fluxo de veículos automotores, assim como com a presença de indústrias, além da própria arquitetura urbana, com prédios altos que formam verdadeiros cânions urbanos, dificultando a circulação natural dos ventos (Alvarez, 2004) aprisionando assim o calor.

Como destacado por Monteiro (1976)

> O organismo urbano, do ponto de vista da radiação, constitui a própria superfície terrestre no contexto do SCU. É todo esse organismo, através das diferentes formas de uso do solo e estrutura urbana, que passa a exercer os efeitos decisivos de reflexão, absorção e armazenamento térmico; efeitos de atrito na ventilação etc. (Monteiro, 1976, p.22).

O Sistema Clima Urbano é composto por variáveis importantes que coexistem e influenciam entre si, e na transformação da energia recebida em calor, tanto sensível, quanto latente. Diante disso, após a modificação do ambiente rural para o urbano há uma modificação da dinâmica de troca de energia, pois o desmatamento altera o albedo e também a temperatura de superfície, o que culmina em modificações na dinâmica de trocas de energia entre a superfície a baixa atmosfera (Sheil e Murdiyarso, 2009). Outrossim, Bastiaanssen et al. (1998) afirmam que:

> Os processos da superfície terrestre são de suma importância para a redistribuição de umidade e calor no solo e na atmosfera. As trocas de fluxos radiativos, de calor e de umidade afetam o desenvolvimento da biosfera e as condições físicas de vida na Terra (Bastiaanssen et al., 1998, p.198).

Dessa forma, o balanço de energia torna-se pertinente para análises climáticas regionais, principalmente quando se trata da identificação de microclimas dentro de uma mesma cidade. O modelo de balanço de energia proposto por Bastiaanssen et al. (1998), o qual criou o algoritmo SEBAL, para o cálculo do balanço de energia através do sensoriamento remoto, faz a análise de como a radiação solar é distribuída e transformada na superfície terrestre (Sales;Sales;Mendonça, 2022).

Este algoritmo “possibilita analisar a interação entre as variáveis ambientais e a superfície, bem como, identificar também efeitos decorrentes das atividades antrópicas” (Sales, Sales, Mendonça, 2022, p. 3094). Segue o algoritmo e as variáveis calculadas:

Equação (1)

$$Rn=LE+H+G+S$$

Em que:

Rn é o saldo de radiação (quantidade de energia solar recebida)

H é o fluxo de calor sensível (calor transferido pelo ar e que eleva a temperatura ambiente)

G é o fluxo de calor do solo (energia que aquece o solo)

LE é o fluxo de calor latente (energia utilizada na evaporação da água, relacionada à umidade do ambiente)

Vale destacar que enquanto o balanço de energia calcula quanta energia total está disponível, a partição de energia informa como essa energia é dividida.

A radiação, portanto, impacta diretamente na formação das ilhas de calor, haja vista que toda esta troca de calor sensível e latente está ligada ao aquecimento e resfriamento dos ambientes e materiais presentes nele. O ambiente urbano, portanto, de acordo com sua estrutura e dinâmica possui maior potencial de aquecimento em relação à área rural. E com isso, estudos como os de Amorim *et al* (2019); Souza *et al* (2024); Dorigon (2015); Vianna (2018); Teixeira e Amorim (2017); Porangaba (2015); Cardoso (2015); Amorim, Dubreuil, Cardoso (2015) entre outros mostram tais diferenças.

Da mesma forma, vale destacar a diferença entre a Ilha de calor Urbana para Ilha de Calor de Superfície, pois enquanto a primeira pode ser medida através de transectos móveis *in loco* que aferem a temperatura do ar, como uma das metodologias para sua identificação, a segunda é baseada nas temperaturas adquiridas através de sensores termais acoplados em satélites, no entanto, por mais que a segunda não seja a medição, de fato, da temperatura no local, a temperatura dos alvos captados pelos satélites influenciam diretamente na temperatura do ambiente.

Não obstante, é válido destacar que a Ilha de Calor Urbana é sentida durante o dia, porém identificada de forma mais precisa durante o período noturno, pois assim é possível uma aferição térmica mais precisa, tendo em vista que não há radiação direta do sol na superfície terrestre, como afirma Amorim (2019).

> Estas diferenças entre as características das ilhas de calor de superfície e atmosférica, neste horário, têm a sua origem na natureza da superfície urbana “vista” pelo sensor do satélite. Neste caso, as temperaturas dizem respeito aos diferentes tipos de telhados, as copas das árvores, as estradas, sem que se tenham informações sobre as superfícies verticais. (Amorim, 2019, p. 35).

De forma complementar, é pertinente entender que as Ilhas de Calor Urbanas possuem alguns níveis de intensidade devido às diferenças de temperaturas encontradas entre a área urbana e a rural, dessa forma, García Fernández (1996,apud Amorim, 2019, p. 25) definiu a intensidade e a magnitude das ilhas

de calor levando em consideração as diferenças térmicas entre o meio rural e o urbano registradas por meio dos seguintes parâmetros: ilha de calor de fraca magnitude, quando as diferenças entre os pontos mais quentes e mais frios variam de 0ºC a 2ºC; de média magnitude, quando variam de 2ºC a 4ºC; de forte magnitude quando variam de 4ºC a 6ºC; e de muito forte quando superiores a 6ºC.

2.6 Histórico e evolução do Sensoriamento Remoto e aplicação no clima urbano

O sensoriamento remoto baseia-se na identificação da superfície terrestre através de sensores que irradiam energia ou captam a energia emitida pelo planeta Terra (Florenzano, 2007). É realizado através de sensores acoplados a satélites que orbitam o planeta enquanto captam imagens, informações ambientais terrestres e marítimas, inclusive militares, as quais “relata-se que foram as primeiras aplicações do Sensoriamento Remoto” (Figueiredo, 2005, p. 2).

E através delas há uma infinidade de aplicações, principalmente para área ambiental, haja vista que diante da evolução tecnológica intrínseca a este campo, é possível nos dias atuais identificar, de acordo com o satélite utilizado para análise:

- Índices de qualidade de vegetação, da água, da temperatura de superfície,
- Avanço do desmatamento,
- Acompanhamento da pegada de carbono e queimadas,
- Expansão de fronteiras agrícolas e urbana e muitas outras aplicações caras ao meio ambiente e em consequência, caras à manutenção da vida na Terra.

Para além da definição e aplicação do sensoriamento remoto, é válido entender sua história e evolução tecnológica. Por se tratar de uma captação de imagem, os primórdios do sensoriamento remoto encontram-se no surgimento das câmeras fotográficas, por se tratarem das primeiras captações de imagens. Posteriormente, iniciou-se o uso desta ferramenta na esfera militar, com as primeiras imagens sendo captadas por pombos correios, em seguida balões, aviões e por fim os satélites (Figueiredo, 2005).

Diante disso, houve, sem dúvidas, uma evolução tecnológica no que diz respeito às câmeras fotográficas e as resoluções de pixel ao longo dos anos.

Imagens que eram adquiridas a centímetros ou metros, passaram a ser adquiridas de forma remota no exterior do planeta. O satélite passou, portanto, a ser o principal meio de captação de imagens de sensoriamento, haja vista seu custo mínimo após o lançamento, operando 24h por dia durante toda sua vida útil (Figueiredo, 2005).

O primeiro satélite lançado foi no ano de 1957 (Sputnik -1) pela Rússia, até então União Soviética, dando início a corrida espacial e sua progressiva evolução de tecnologias advindas do período da Guerra Fria.

Juntamente com o avanço dos sensores espectrais houve o avanço de inúmeras tecnologias acopladas aos satélites, como os sistemas de telemetria, processamento de dados e lançamento para o espaço, que em suma demandam custo alto do início do processo de formulação até o lançamento deste equipamento, no entanto, já em órbita o satélite tem o custo mínimo, compensando portanto sua demanda de custo a priori.

Assim, vale destacar que o principal meio para realização do sensoriamento remoto atualmente é o satélite. Posto isso, para o uso na geociências Steffen (2011) destaca:

> De modo geral os sistemas imageadores orbitais, para aplicações em Geociências, têm órbitas de pequena inclinação com relação aos meridianos, isto é, órbitas do tipo quase-polar. Esse tipo de órbita associado ao seu período de rotação faz com que o satélite passe sempre "voando" de norte para sul na parte da Terra que está iluminada pelo Sol, [...] quando as condições de iluminação são as mais adequadas para a aquisição de imagens. Um efeito desse tipo de órbita, combinado com a rotação da Terra, é que o satélite passa sobre uma região diferente da Terra em cada rotação, voltando depois de um período de vários dias, denominado período de revisita, a passar sobre a mesma região. Esta característica orbital é muito importante porque permite a aquisição de imagens periódicas de uma mesma região, o que é muito conveniente para analisar fenômenos temporais ou obter imagens sem nuvens (Steffen, 2011, p. 9).

Dentre eles há uma diversidade quanto aos sensores presentes, a escala temporal, a resolução espacial e as aplicações possíveis para cada um, são diversificados também quanto a gratuidade ou não de seus dados.

Há uma série de satélites mais utilizados nas pesquisas acadêmicas ambientais, pode-se elencar a série Landsat lançada pela NASA em 1972 e que possui boa resolução espacial (30m) e temporal para análises de uso e cobertura da terra, além de possuir sensores térmicos; o Sentinel lançado pela Copernicus em 2014 que possui melhor resolução espacial (10m), o que favorece análises um tanto mais detalhadas, porém possui baixa resolução temporal em relação ao anterior;

outro satélite que despontou para a utilização no campo das análises ambientais é o CBERS- 4, fruto de uma parceria sino-brasileira e que possui uma resolução de variável de até 8/2m no RGB e no Pancromático.

Destaca também a atuação do MODIS (Terra/Aqua) lançado em 1999 com boa cobertura temporal para análises de temperatura de superfície, mas com resolução temporal mais grosseira de 250m a 1Km; por fim o satélite NOAA também é comumente utilizado em estudos ambientais devido a sensores que captam qualidade do ar, incêndios e variações climáticas, entretanto sua resolução espacial não é válida para o presente estudo.

Um dos campos com maior aplicação do sensoriamento remoto é o acadêmico, consequentemente, satélites de acesso livre são mais utilizados em detrimento aos pagos. Com intuito de facilitar compreensão, segue tabela (Tabela 01) com os principais satélites de acesso livre utilizados atualmente, suas especificações e aplicações:

Tabela 01 - Principais satélites e suas aplicações

Satélite	Data de lançamento	Especificações	Aplicações
Landsat 8	11 de fevereiro de 2013	Sensor OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor)	Monitoramento ambiental, agricultura, silvicultura, mapeamento de recursos naturais
Sentinel-2	23 de junho de 2015 (2A) e 7 de março de 2017 (2B)	Sensor MSI (MultiSpectral Instrument)	Monitoramento da vegetação, cobertura do solo, áreas costeiras, desastres naturais
CBERS-4	7 de dezembro de 2014	Câmeras WFI (Wide Field Imager), MUX (Multispectral Scanner) e MUX (Multispectral Scanner)	Agricultura, monitoramento ambiental, desmatamento, recursos hídricos
MODIS (Terra e Aqua)	18 de dezembro de 1999 (Terra) e 4 de maio de 2002 (Aqua)	Sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	Monitoramento da cobertura de nuvens, temperatura da superfície do mar, aerossóis atmosféricos, biomassa
NOAA-20	18 de novembro de 2017	Sensor VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)	Monitoramento do clima, temperatura da superfície do mar, incêndios florestais, qualidade do ar

Fonte: Autora (2026)

O satélite Landsat 8 possui características que mais se adequam a análise ambiental sobre o clima urbano e a formação de ilhas de calor urbano que são o cerne do trabalho sobre a avaliação do clima e suas vulnerabilidades em Muriaé. O Landsat 8 lançado em 2013 pela NASA\USGS, de acesso gratuito, detém um tempo de revisita de 16 dias e possui dois sensores principais:

- **OLI (Operational Land Imager):** possui 9 bandas espectrais, dentro do visível, infravermelho próximo e SWIR (infravermelho de ondas curtas) com 30 metros de resolução;
- **TIRS (Thermal Infrared Sensor):** sensor infravermelho térmico com 100 metros de resolução.

Em complementação, o satélite CBERS-4 também desponta como um satélite robusto para análises ambientais em níveis de resolução menores, destacando o monitoramento ambiental, e boa resolução para elaboração de mapas de uso e cobertura do solo.

3. Metodologia

A fim de facilitar o entendimento da metodologia aplicada neste trabalho, segue abaixo o fluxograma (Figura 7) com as etapas logicamente dispostas e que serão detalhadas posteriormente:

Figura 7 - Fluxograma Metodológico



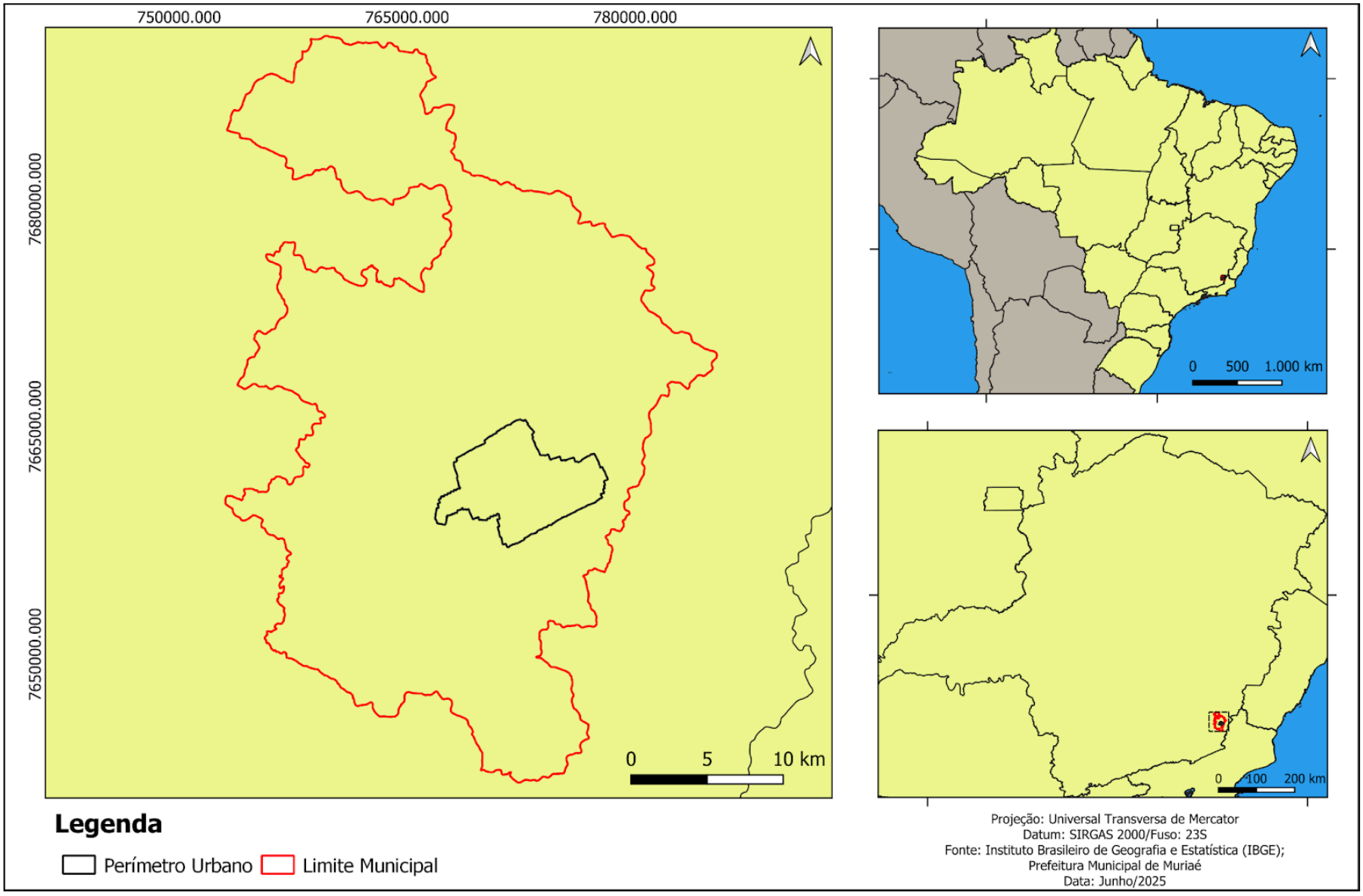
Fonte: Autora (2026)

3.1 Definição e caracterização da área de estudo

O município de Muriaé, localizado na mesorregião da Zona da Mata Mineira, constitui o recorte espacial do presente trabalho, possuindo uma área de 841,693

Km² da qual 49,949 Km² pertencem a área urbana. O município é caracterizado de médio porte e sua população total é de 104.108 habitantes, dos quais 93.320 residem na área urbana (IBGE, 2022). Segue abaixo o mapa de localização da área de estudo representado pela Figura 8.

Figura 8 - Mapa de Localização do município de Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Quanto ao clima, o município possui clima do tipo Aw da classificação de Köppen, com invernos secos e verões úmidos (REBOITA *et al.,* 2015), em que predominam temperaturas médias acima de 18 ºC. Apresenta fortes chuvas convectivas no período do verão, resultando num elevado índice de inundações e alagamentos. Em oposição, os invernos são caracterizados por baixa umidade, precipitações significativamente menores e alta insolação.

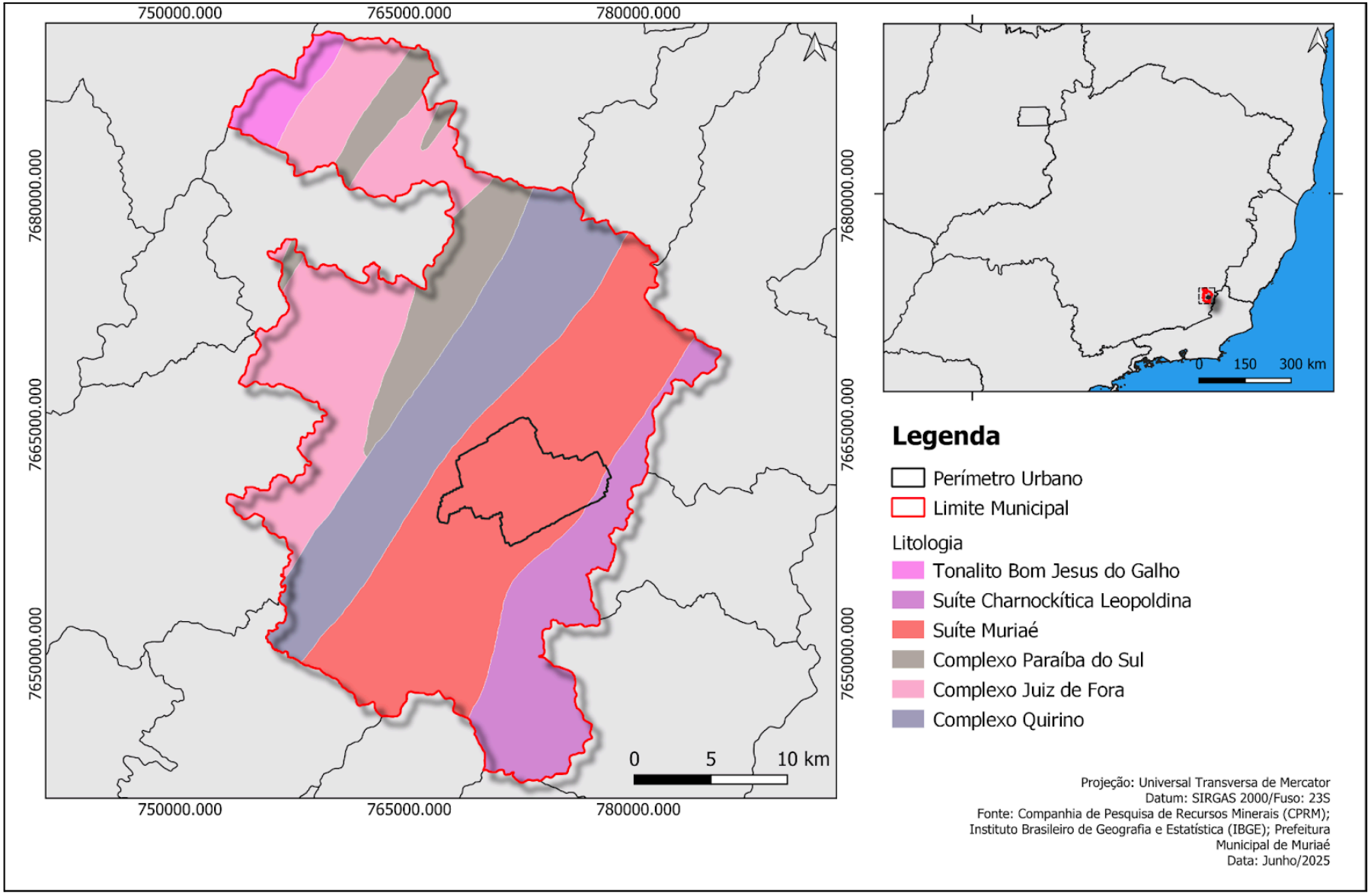
Os autores também destacam que “o estado de MG está inserido num clima de monção” (REBOITA *et al.,* 2015, p. 207) que está relacionado às circulações atmosféricas sazonais. Onde o verão é impactado com o Sistema de Ascensão do Atlântico Sul (ASAS) o que facilita a advecção do ar úmido e o inverno é influenciado pela diminuição da atividade convectiva, composto portanto pelo sistema de alta pressão.

Essas características climáticas impactam diretamente a vegetação e a disponibilidade hídrica do município, e também se relacionam com a urbanização e os fatores a ela inerentes, culminando em temperaturas do ar mais elevadas durante as estações.

Diante do escopo deste estudo, que visa a elaboração de um índice de vulnerabilidade socioambiental, a análise do contexto litológico, pedológico e demais contextos ambientais são importantes. Portanto, o município de Muriaé está localizado geograficamente na mesorregião da zona da mata, com sua bacia principal sendo a do Rio Muriaé, o qual é um importante afluente do Rio Paraíba do Sul. Sua litologia é composta por 6 unidades rochosas diferentes divididas entre duas classes de rochas, as ígneas e as metamórficas.

As unidades são: Suíte Muriaé, Complexo Paraíba do Sul, Complexo Juiz de Fora, Unidade Charnockítica Leopoldina, Complexo Quirino e Corpo Tonalito Bom Jesus do Galho; essas unidades são linearmente paralelas no sentido Nordeste/Sudoeste, sendo a área urbana composta majoritariamente pela Suíte Muriaé (98%) e uma pequena porção pela Unidade Charnockítica Leopoldina (2%) no extremo leste, como mostrado pelo mapa a seguir na Figura 9:

Figura 9 - Mapa Litológico de Muriaé

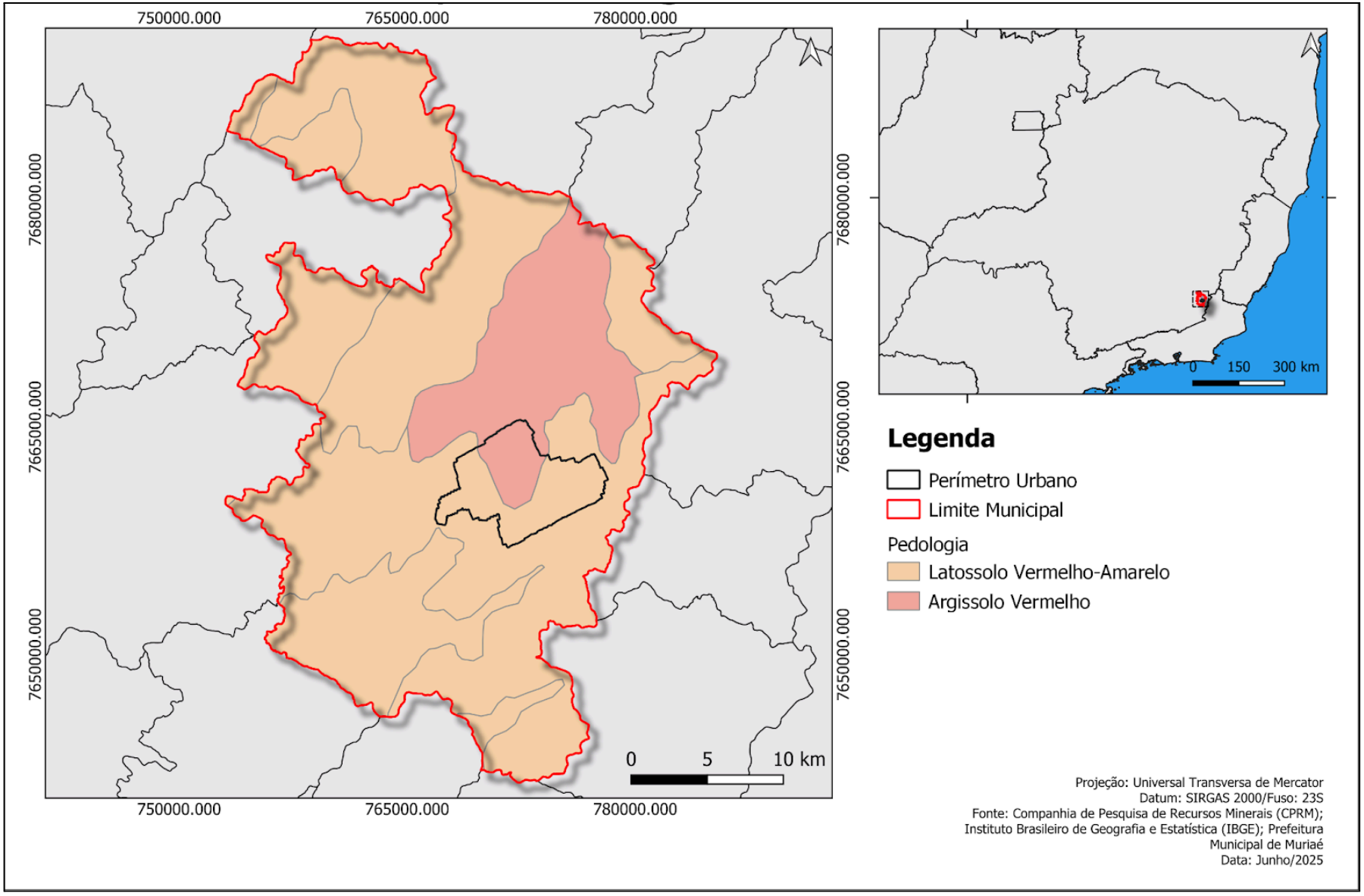


Fonte: Autora (2026)

Essas rochas são formadas, respectivamente, de granitoide de origem plutônica. E charnockito para granulito, metanorito de origem metamórfica regional e plutônica (CPRM), todas formadas no Éon Proterozoico.

Quanto a pedologia, o município é composto, em sua maioria, por Latossolo Vermelho - Amarelo (68%) e uma parte composta por solo Podzólico Vermelho - Escuro (Argissolo) (32%), o qual se encontra presente na parte norte da área urbana. Segue abaixo o mapa pedológico na Figura 10.

Figura 10 - Mapa Pedológico de Muriaé

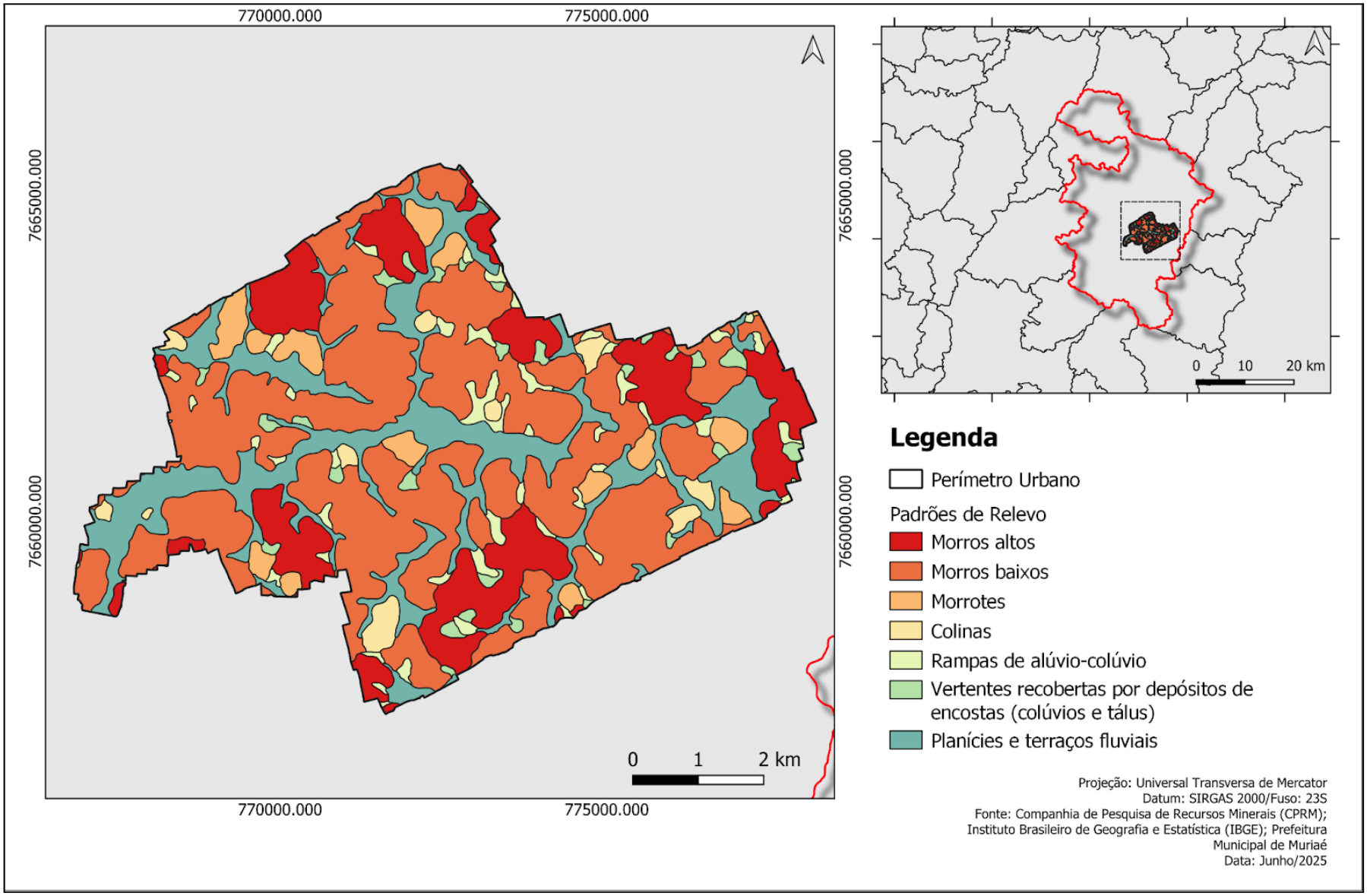


Fonte: Autora (2026)

Embora a maior parte da área urbana seja composta pela Suíte Muriaé, uma rocha plutônica que denota maior resistência ao intemperismo, observa-se a formação de solos de significativa profundidade, como o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Argissolo. De forma geral, a composição mineralógica da rocha-mãe é determinante para o tipo de solo formado no processo de pedogênese

Geomorfologicamente, o município está situado, conforme Neto e Silva (2024, p.8), “no regime de depressão interplanáltica Rio Pomba-Muriaé”, uma área deprimida caracterizada por colinas côncavo-convexas e serras pontuais que denotam morfologia mais elevada, com altitudes médias de 230m (CPRM). Segue o mapa de padrão de relevo do município na Figura 11.

Figura 11 - Mapa de Padrões de Relevo de Muriaé

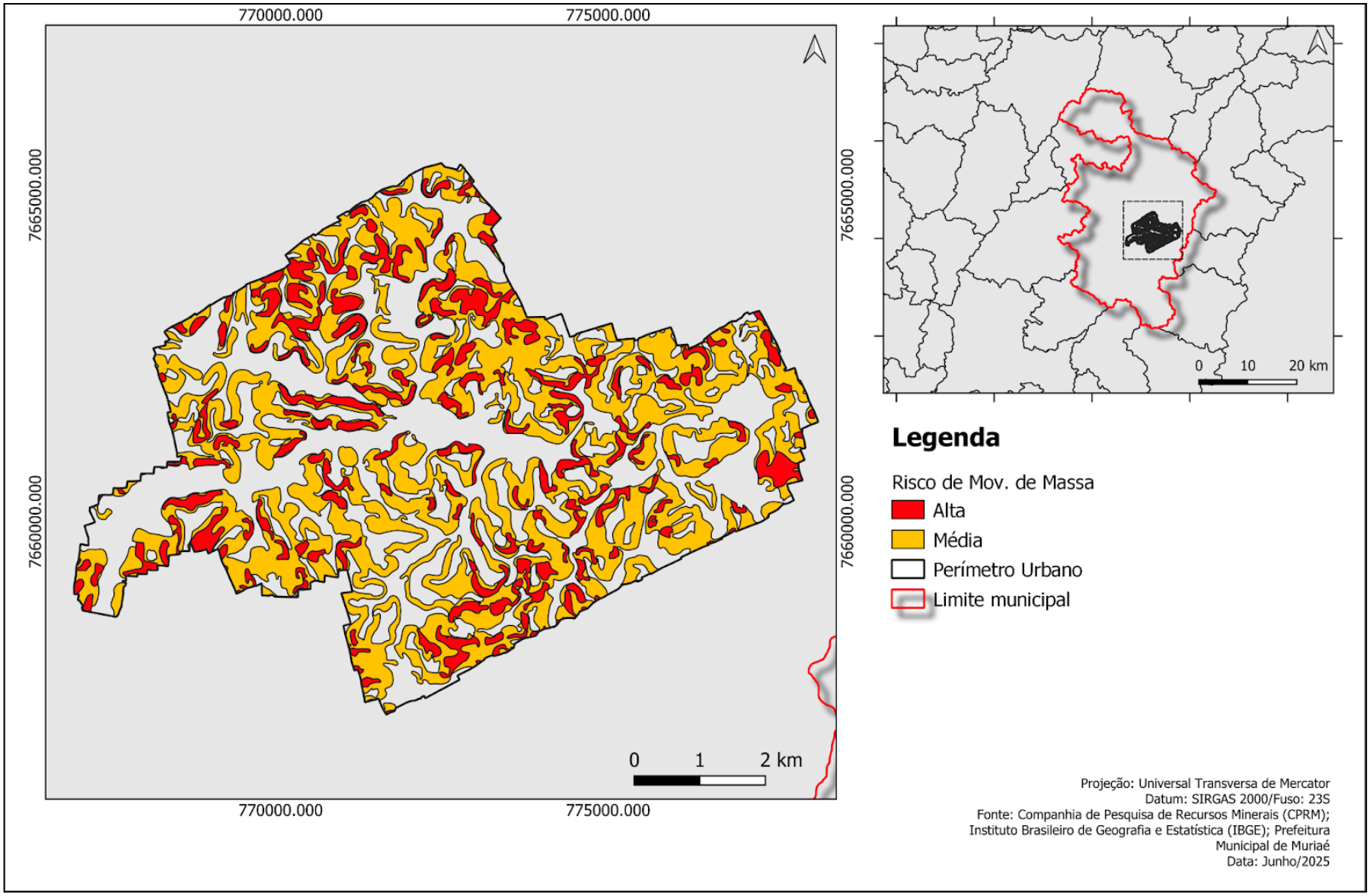


Fonte: Autora (2026)

Quanto ao padrão do relevo elaborado pela CPRM, a área urbana é composta por colinas (2,42%), morros altos (18,54%), morros baixos (47,26%), morrotes (5,18%), planícies e terraços fluviais (20,54%), rampas de alúvio/colúvio (3,81%), vertentes cobertas por depósito de encosta (2,25%).

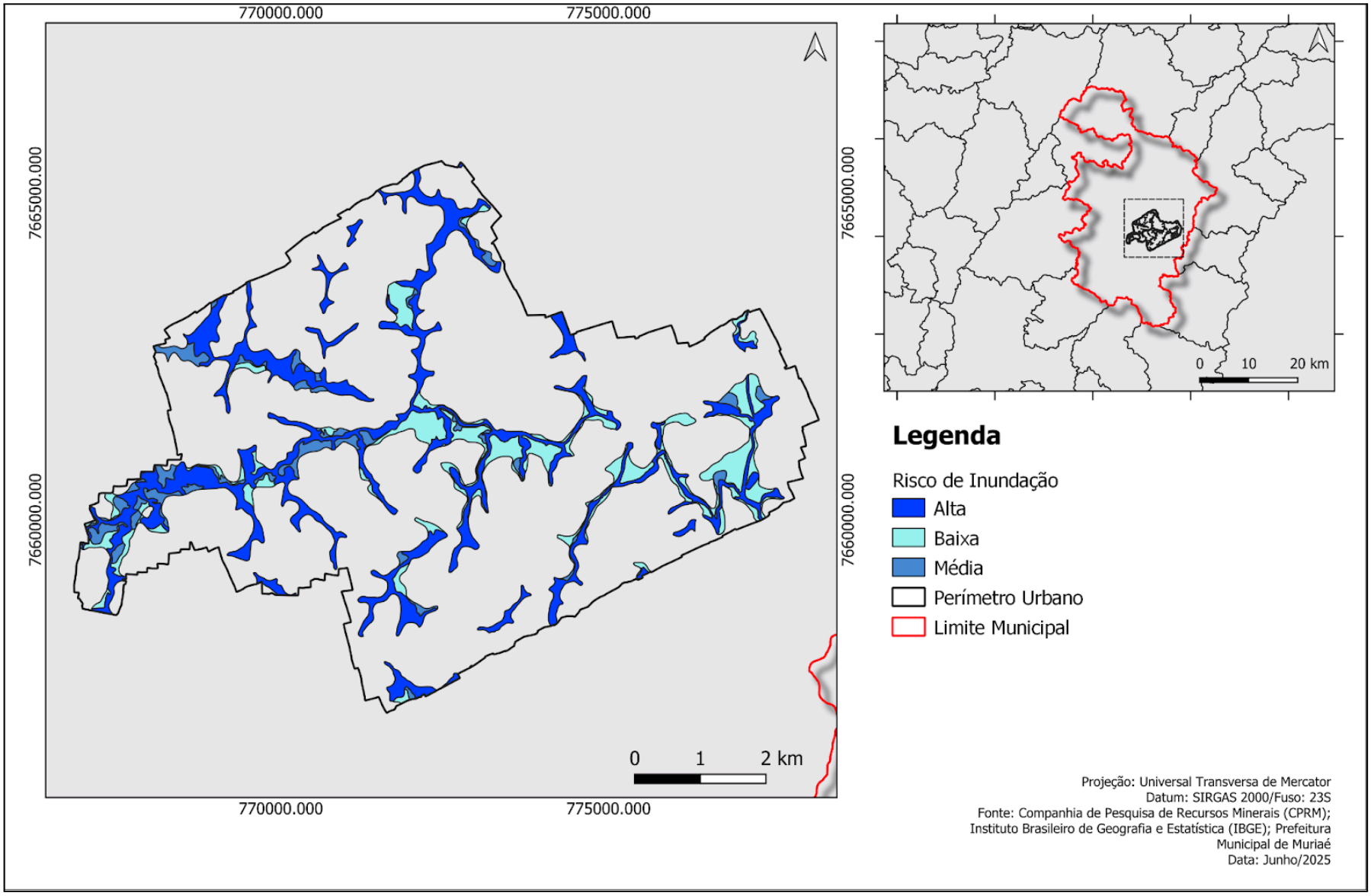
Para elaboração do índice de vulnerabilidade socioambiental, que é um dos objetivos propostos pelo presente trabalho, os dados de probabilidade de movimentos de massa e risco de inundação, disponibilizados pela CPRM, são importantes e são apresentados a seguir nas Figuras 12 e 13, respectivamente:

Figura 12 - Mapa de Risco de Movimento de Massa em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Figura 13 - Mapa de Risco de Inundação de Muriaé



Fonte: Autora (2026)

A susceptibilidade de movimento de massa é categorizada em Alta, Média e Baixa,com as seguintes distribuições percentuais: Alta (14%), Média (43%) e Baixa (42%). Destaca-se que cada categoria receberá um peso na construção do índice de vulnerabilidade.

A bacia do Rio Muriaé e a cidade de Muriaé sofrem com episódios frequentes e significativos em relação a enchentes e inundações, que trazem prejuízos às famílias residentes na planície de inundação. Segue abaixo tabela 2 com as datas de inundações e respectivos locais:

Tabela 02 - Tabela expositiva das datas de inundações e respectivos locais atingidos.

Período	Locais Atingidos
13 de Março de 1926	Porto, Praça do Rosário, Rua do Rosário (Rua Cel. Marciano Rodrigues e Rua Barão do Monte Alto), Av. Monteiro de Castro, Rua da Armação (Av. Constantino Pinto).
1946	Porto, Praça do Rosário, Rua do Rosário (Rua Cel. Marciano Rodrigues e Rua Barão do Monte Alto), Av. Monteiro de Castro, Rua da Armação (Av. Constantino Pinto).
Dezembro de 1960	Prainha, Rua Belizário e Rua Oswaldo Cruz.
01 de Fevereiro de 1979	Prainha, Rua Capitão Felisberto, Rua Belizário e Rua Oswaldo Cruz.
Janeiro de 1997	Prainha, Rua Capitão Felisberto, Rua Belizário e Rua Oswaldo Cruz.
04, 10, 16 e 25 de Janeiro de 2007	Santana, Franco-Suíço, José Cirilo, Napoleão, Dornelas, União, São José, Barra, Centro, Porto, Encoberta e trecho da rodovia federal BR-356.
17 e 26 de Dezembro de 2008 e 01 de Janeiro de 2009	Santana, Franco-Suíço, José Cirilo, Napoleão, Dornelas, União, São José, Barra, Centro, Porto, Encoberta e trecho da rodovia federal BR-356.
Primeira quinzena de Janeiro de 2012	Santana, Franco-Suíço, José Cirilo, Napoleão, Dornelas, União, São José. Barra, Centro, Porto, Encoberta e trecho da rodovia federal BR-356.
Dezembro de 2013	Rua Santa Rita e Rua José de Abreu. Bairros Dornelas, Barra, Safira e Bico Doce.
2015	Casos isolados.
Março de 2018	Bairros Patrimônio São José e Barra (Prainha).

Fonte: Ligeiro da Matta e Senna (2020)

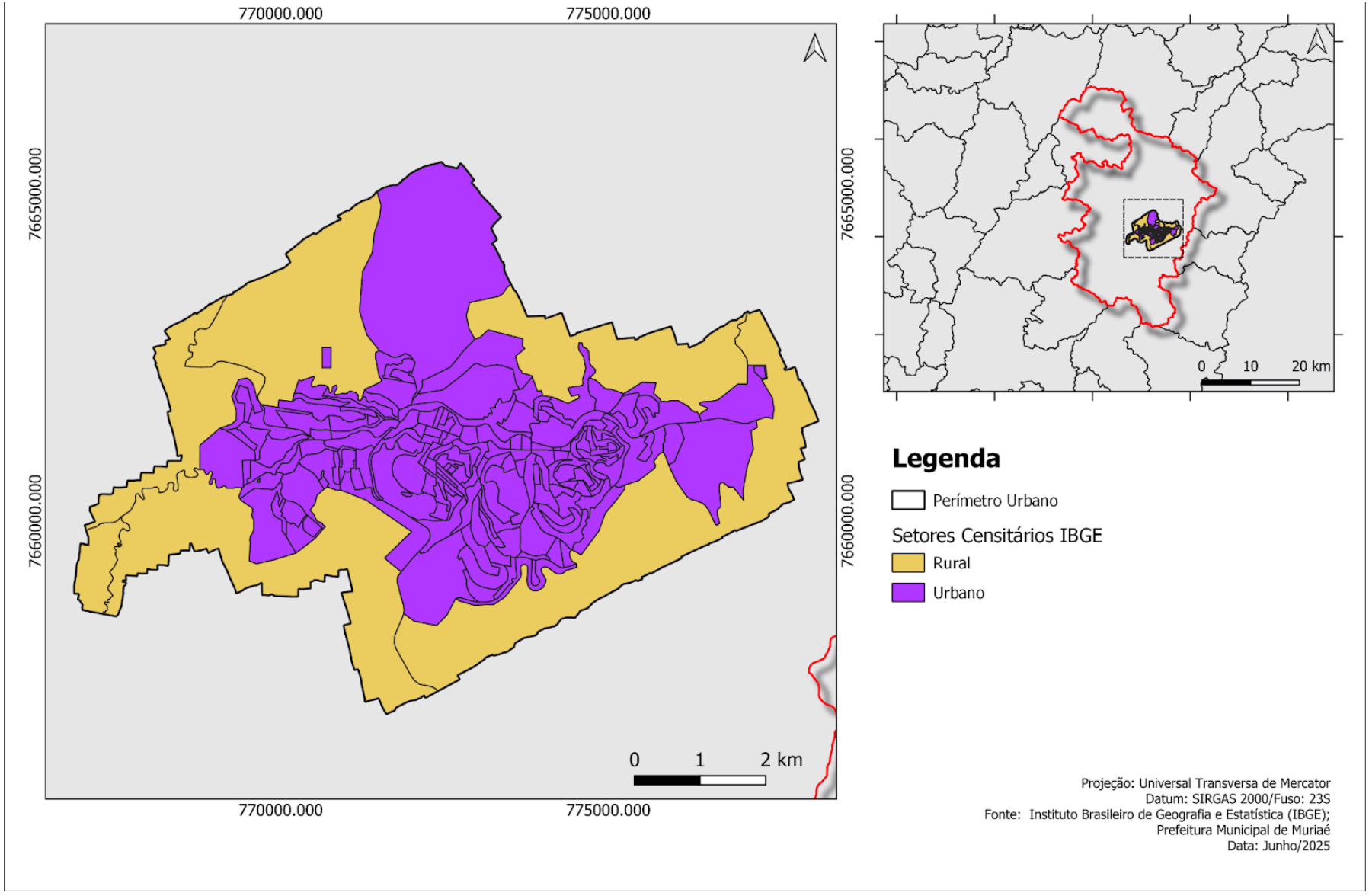
Devido a essa recorrência, foi criado o Sistema de Alerta Hidrológico do rio Muriaé (SAH- Muriaé) no ano de 2014. Porém, o foco deste trabalho, é a análise de suscetibilidade de inundação na área urbana, que igualmente aos movimentos de massa é dividida em: Alta (12,85%), Média (26,31%) e Baixa suscetibilidade (60,82%).

Para finalizar a caracterização do município, é importante destacar o limite territorial que será usado para identificar e processar os dados ambientais, econômicos e de temperatura neste estudo: os Setores Censitários do IBGE.

Os setores censitários são a menor divisão territorial do IBGE a cálculo socioeconômico e, portanto, são a menor escala de representação dentro de um

município, tanto na área urbana como na rural, que é possível analisar e identificar possíveis cenários de vulnerabilidade. Posteriormente serão elencados dados específicos para elaboração do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental do Município de Muriaé, segue o mapa com os setores censitários da área de estudo (área urbana) de Muriaé na Figura 14.

Figura 14 - Mapa de Setores Censitários de Muriaé



Fonte: Autora (2026)

3.2 Aquisição e Pré-processamento de imagens de satélite e dados espaciais

Num segundo momento, o sensoriamento remoto se configura como importante parte deste estudo, haja vista a capacidade alta de identificação de dados ambientais. Seguindo o objetivo deste trabalho, primeiramente foram coletadas imagens de satélites. O ano escolhido foi o de 2025 e 2026 as imagens adquiridas em 2025 pertencem às bandas RGB e Multispectral e a TIRS (termal) do ano de 2026, com a data mais próxima ao trabalho de campo realizado.

Os critérios escolhidos para definição dos satélites foram a disponibilidade temporal e a resolução. Assim, para este estudo optou-se pelo satélite CBERS 4A, para análise de uso e cobertura do solo, e o LANDSAT 8 para análise da temperatura de superfície, o primeiro lançado em 2014 e monitorado pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial com imagens obtidas de forma gratuita pelo site do INPE; enquanto o segundo foi lançado no ano de 2013 e é acompanhado pela NASA, suas imagens são obtidas gratuitamente através do site *USGS Earth Explorer* .

O satélite CBERS 4A possui bandas do visível (RGB) e do infravermelho próximo (IVP) na resolução espacial de 8 metros. Já a banda TIRS, possui resolução de 100 metros.

3.2.1 Pré- Processamento das imagens de satélite

Após aquisição das imagens de satélite foi realizado o pré-processamento destas a fim de corrigir possíveis interferências atmosféricas.

Dentro do SIG Quantum GIS (QGIS) na versão 3.28, iniciou-se o pré-processamento, através da aba “Propriedades” com a correção geométrica com a definição do DATUM Sirgas 2000 e da Projeção UTM 23S. Em seguida é feita a correção radiométrica da imagem, com o ajuste do contraste e o brilho e posteriormente a remoção dos ruídos decorridos das condições atmosféricas.

Depois desses ajustes é realizado, através da ferramenta “Extrair” o recorte do raster de acordo com a área de interesse (máscara), a fim de facilitar o processamento dos dados, tendo em mente que imagens em formato TIFF são pesadas.

Importante salientar que os dados vetoriais da área de interesse, incluindo os limites municipais, urbanos e censitários foram adquiridos tanto pela plataforma do

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quanto por contato direto com a Prefeitura Municipal de Muriaé.

3.2.2 Classificação supervisionada de uso e ocupação do solo e validação

Após a obtenção e as correções pertinentes dos dados, a etapa de classificação supervisionada de uso e ocupação do solo foi realizada no software QGIS 3.28. Dito isso, foram definidas classes para obtenção das amostras, sendo elas: vegetação, área urbana, pastagens, corpo d'água. Este universo de classes foi escolhido a fim de identificar a presença de vegetação/área permeável dentro de cada setor censitário.

Foram coletadas 10 amostras por classe, totalizando 40 amostras. Este número foi determinado através de testes realizados previamente, garantindo precisão no algoritmo e evitando confusão nas classificações.

Em seguida a esta coleta foi utilizado o plugin *Dzetsaka* para a classificação supervisionada, pois ele cruza os dados da imagem raster e as amostras coletadas empregando modelos como Gaussiano e Random Forest. O modelo a ser utilizado na classificação foi definido de acordo com o melhor desempenho. Sendo este o modelo Gaussiano.

Além disso, para validação dos dados de uso e cobertura, foi aplicado o Coeficiente *Kappa* para análise de confiabilidade/concordância da classificação. Para isso, foi utilizada a "Verdade de Campo", que consiste em amostras georreferenciadas coletadas *in loco,* que reproduzem com exatidão as classes.

Após essa etapa, é possível aplicar a ferramenta *r.kappa* que calcula, através de uma matriz de confusão o Índice Kappa, que possui uma escala de 0 a 1, e delineia a confiabilidade da classificação, sendo que valores acima de 0,7 indicam uma ótima confiabilidade.

Com a classificação realizada, obteve-se um índice kappa de : 0,9396%

Em seguida foi feita a vetorização, ou seja, a transformação dos dados matriciais (*raster*) já classificados pelo plugin, para dados do tipo *shapefile*, para a realização da quantificação da área de cada classe levantada e o cálculo de porcentagem de vegetação por setor.

3.3 Elaboração do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental

3.3.1 Construção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental

As variáveis ambientais trabalhadas neste estudo baseiam-se no trabalho de Rezende (2016), o qual adota o padrão de ocupação urbana, litologia, pedologia, declividade, cobertura vegetal, proximidade a cursos d'água, proximidade com rodovias e áreas mineradoras para a construção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Paracatu.

No entanto, devido às diferenças geoambientais existentes entre as cidades, as variáveis escolhidas para compor o índice de vulnerabilidade ambiental da cidade de Muriaé foram adaptadas. As duas cidades encontram-se dentro da mesma região geográfica (Sudeste), porém possuem diferenças significativas em relação ao relevo, à dimensão da área urbana e ao clima predominante, segundo a classificação de Köppen.

Assim, optou-se por adaptar as variáveis para melhor representação da vulnerabilidade ambiental de Muriaé. Foram selecionadas as variáveis: percentual de risco a movimentos de massa, percentual de risco à inundação, declividade, presença de vegetação e proximidade com as rodovias. Ressalta-se que as variáveis foram trabalhadas dentro da escala dos setores censitários.

a) Variáveis de suscetibilidade de Movimentos de Massa e Inundação

Para a construção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Muriaé, inicialmente foram coletados os dados municipais de suscetibilidade a Movimentos de Massa e suscetibilidade a Inundação para obter o percentual de risco de cada setor censitário a estes eventos.

Para isso, realizou-se o cruzamento de dados entre a área total do setor e as áreas suscetíveis, conforme apresentado no ordenamento metodológico abaixo:

1. Aquisição de dados de suscetibilidade junto à CPRM/SBG;
2. Delimitação dos setores censitários urbanos junto ao IBGE;
3. Recorte das camadas vetoriais de suscetibilidade na área urbana;
4. Cálculo da área total de cada setor censitário;
5. Aplicação da ferramenta "Diferença" para o cálculo das áreas de interseção entre os setores e as áreas suscetíveis;

6. Cálculo do percentual de suscetibilidade de cada setor censitário através da calculadora de atributos.

Com os resultados, foram elaborados dois mapas, um para suscetibilidade de movimentos de massa e outro para inundação. Para as duas variáveis foram utilizadas 5 classes de suscetibilidade: Muito baixa (< 10%), Baixa (10% a 30%), Média (30% a 50%), Alta (50% a 70%), Muito Alta (> 70%).

Para a definição das classes considerou-se a tipologia do solo encontrado na cidade, que predominantemente encontra-se sob domínio de latossolo vermelho amarelo, caracterizado por ser um solo profundo e bem desenvolvido, além de também ser considerado o padrão de relevo presente, que é composto por planícies de inundação e terraços fluviais assim como morros baixos.

b) Variável de declividade

Nesse sentido, outra variável ambiental importante a ser considerada para compor o índice é a declividade, uma vez que exerce considerável influência nas ocorrências de movimentação de massa, escorregamentos de talude, entre outras instabilidades que afetam os terrenos.

A classificação utilizada para a declividade é baseada em Mascaró (1994) com adaptação para o escopo analisado. Assim, declividades menores que 2% estão atreladas a cenários de inundações, enquanto cenários em que o sítio possui mais de 30% de declividade deve ser evitado para construção civil (Lombardo e Freitas, 2013).

Dessa forma, a declividade foi separada em 5 classes de acordo com o percentual de declividade: Muito baixa (<2%), Baixa (2% a 7%), Média (7% a 15%), Alta (15% a 30%) e Muito Alta (> 30%).

Para classificar os setores censitários pela declividade, foi realizada a estatística zonal da maioria, em que cada setor foi classificado conforme declividade predominante.

c) Variável de percentual de vegetação

A variável de vegetação foi calculada no software QGIS*,* através da classificação supervisionada da imagem do satélite CBERS 4A com resolução de 8 metros do ano de 2025, o que facilitou o mapeamento das áreas verdes presentes

dentro da área urbana. Foram definidas 4 classes de amostras: Vegetação arbórea, Pastagem, Área Urbana e Curso d'água.

As duas primeiras foram consideradas como área permeável, pois a pastagem contém vegetação rasteira e/ou arbustiva. O processo foi realizado no plugin *Dzetsaka,* a partir da coleta de 10 amostras de cada classe adotando-se o método Gaussiano.

Após esta etapa, foi realizado o cálculo diferencial entre a área do setor censitário e a área ocupada neste por vegetação/pastagem, sendo possível assim calcular o percentual de cobertura vegetal por setor censitário.

Para classificação do percentual, foram estabelecidos limites para cada classe, estes foram baseados em Rezende (2016) e seguem na tabela 03 abaixo:

Tabela 03 -Classificação de nível de vegetação mediante porcentagem

Vegetação	Porcentagem (%)
Alta	> 60%
Média	>30 a 60%
Baixa	> 5 a 30%
Muito Baixa	> 5%

Fonte: Rezende (2016)

d) Variável de proximidade com rodovias

Muriaé é caracterizado também por ser um entroncamento rodoviário, sendo traspassado pelas rodovias BR 265, 356 e 116, dessa forma, há um impacto direto na forma em que a cidade se configura espacialmente e também na relação territorial existente nas proximidades desses locais.

Diante disso, as rodovias também foram consideradas na construção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental. Para classificação da influência exercida pela rodovia foi considerado um buffer 10 vezes maior que a faixa de domínio da rodovia, que se encontra entre 15 a 30 metros de extensão a partir do eixo da rodovia (DNIT, 2025).

Tendo em vista os impactos diretos e indiretos das mesmas, mediante análises realizadas com alguns valores diferentes de buffer, o valor de 300 metros mostrou-se mais adequado para classificação das vulnerabilidades, evitando a homogeneização de resultados perante buffers de mais de 1km, além de destacar

setores diretamente influenciados pela rodovia, que em buffers menores não conseguiram boa margem de análise.

A classificação quanto à proximidade foi dividida em 5 categorias: Muito baixa (<20%), Baixa (20% a 40%), Média (40% a 60%), Alta (60% a 80%) e Muito Alta (> 80%).

3.3.2 Construção do Índice de Vulnerabilidade Social

O índice de vulnerabilidade social foi elaborado através da junção de variáveis sociais coletadas pelo Censo de 2022 e disponibilizadas na plataforma SIDRA/IBGE. O Censo é composto por um número muito grande de informações sociais, porém, para definição do IVS, foi necessário diminuir o universo amostral de informações, elencando variáveis dentro do contexto da pesquisa. Além disso, como este índice tem por referência o estudo realizado por Rezende (2016), alguns dos índices usados pela pesquisadora também foram usados neste trabalho.

Para o índice de vulnerabilidade social, foram definidas 5 variáveis a fim de identificar os setores censitários mais vulneráveis socialmente, a partir do estudo dos índices de vulnerabilidade social (IVS): Índice Paulista de Vulnerabilidade Social, Índice de Vulnerabilidade Social do IPEA, Índice de Vulnerabilidade à Ilhas de Calor. A definição delas passou pelo estudo dos índices sociais mais usados, os quais possuem variáveis em comum, e a partir da análise delas foram estabelecidas as 5 variáveis principais para identificação de vulnerabilidade, que giram em torno do capital humano, renda e trabalho e infraestrutura de moradia, sendo elas: idade acima de 60 anos e menor que 14 anos, alfabetização, mulheres responsáveis pelo domicílio, saneamento básico e renda do responsável pela moradia.

Para elaboração do IVS, as variáveis definidas foram calculadas e normalizadas segundo o método Min-Max, de modo que a escala de vulnerabilidade de cada uma esteve entre 0 e 1. Os valores mais próximos de 1 indicam maior vulnerabilidade, em detrimento dos valores mais próximos de 0 que apresentam menor vulnerabilidade.

Destaca -se que a normalização foi realizada de duas maneiras conforme os dados analisados, as variáveis que possuem relação direta com a vulnerabilidade como: Idade, Alfabetização, Mulheres responsáveis pelo domicílio e Saneamento básico; foi aplicada a normalização direta. Já a variável de cálculo da média de

renda do responsável pelo domicílio, aplicou-se a fórmula inversa, pois quanto maior a renda, menor a vulnerabilidade e vice-versa.

a) Idade - crianças e idosos

Dentro da variável Idade, buscou-se levantar a população mais vulnerável em relação às adaptações necessárias dentro do cenário de mudanças climáticas em cerne. Tanto as crianças, quanto os idosos fazem parte deste grupo, por possuírem um sistema imunitário ainda em formação, ou enfraquecido, respectivamente. Tornando-os um grupo não só mais frágil organicamente, como também, mais dependente. Diante disso, o escopo que esta variável abrangeu foi escolhido mediante o Estatuto da Criança e Adolescente (ECA) que prevê que a infância vai até 12 anos de idade a partir da lei Lei Federal n° 8.069/90 (Brasil, 1990), e segundo o Estatuto da Pessoa Idosa que estipula a idade de 60 anos como grupo de idoso, através da Lei nº 10.741/2003 (Brasil, 2003). Conforme embasamento legislativo, foram definidas as variáveis representativas destes grupos populacionais dentro do Censo 2022.

Frente a isso, foi utilizado o plugin IBGE - Censo, disponível no Qgis para importação dos dados definidos. Este plugin possui as tabelas de Alfabetização, Básico, Característica de Domicílio - Parte 1, 2 e 3, Cor ou Raça, Demografia, Parentesco e Óbitos. Neste plugin, as tabelas estão em shapefile e é possível baixar somente as variáveis definidas.

Para Idade, foram selecionadas as seguintes variáveis dentro da tabela de Demografia do IBGE:

- V0001: População Total do setor
- V1031: 0 a 4 anos
- V1032: 5 a 9 anos
- V1033: 10 a 14 anos
- V1040: 60 a 69 anos
- V1041: 70 anos ou mais

Vale destacar que, mesmo o Estatuto da Criança e Adolescente sendo adotado como um dos parâmetros para delimitação da infância, o presente trabalho, estabeleceu o grupo de 10 a 14 anos da tabela do IBGE, pois engloba a parcela dos

12 anos, que não está presente na variável V1032, e também engloba a primeira adolescência.

Para calcular o quantitativo deste grupo mais vulnerável dentro do setor censitário, foi necessária a aplicação desta equação, na calculadora de campo da Tabela de atributos do Qgis:

Equação 1- Proporção de crianças e idosos

$$Pci = \frac{C+I}{Pt}$$

onde:

- *Pci* = proporção de crianças e idosos;
- *C* = população de 0 a 14 anos;
- *I* = população com 60 anos ou mais;
- *Pt* = população total do setor censitário.

Em que a variável *C* corresponde a soma das variáveis V1031, V1032 e V1033; e a variável *I* equivale à soma de V1040 e V1041.

b) Alfabetização

A variável de alfabetização é um importante indicador de vulnerabilidade, visto que o analfabetismo compromete o indivíduo em várias áreas da vida pessoal e cotidiana, pois dificulta a inserção no mercado de trabalho formalizado, ao acesso às informações e também à comunicação. Tornando-os, uma população mais dependente e com menor renda, apresentando portanto, menor capacidade adaptativa. Essa variável está presente no IVS Paulista, no IPEA e no IVS de Paracatu (Rezende, 2016).

Visto a importância da mesma, foram definidas as seguintes variáveis para composição do escopo de Alfabetização:

- V00901: Pessoas de 15 anos ou mais que não sabem ler e escrever.
- V00900: Pessoas de 15 anos ou mais que sabem ler e escrever.

Elas também foram retiradas do plugin do IBGE mediante escala territorial trabalhada neste estudo e em formato shapefile. A variável de pessoas que sabem ler foi necessária para o cálculo, pois é a partir da soma dela que temos o universo

completo de pessoas dentro do setor censitário. Assim, foi realizada a seguinte equação, também na calculadora de campo da Tabela de Atributos:

Equação 2 - Proporção de analfabetos

$$Pa = \frac{A}{A+L}$$

onde:

- *Pa*= proporção de analfabetos;
- *A*= pessoas analfabetas;
- *L*= pessoas alfabetizadas.

Em que *A* corresponde a variável V00901 e *L* à V00900.

c) Mulheres Responsáveis pelo Domicílio

Outra variável usada em demasia nos IVS analisados, é a porcentagem de mulheres responsáveis pelo domicílio. A questão de gênero na monoparentalidade e responsabilidade pelo lar, expõe a população do sexo feminino a maiores dificuldades, seja por possuir dupla/tripla jornada de trabalho, seja na diferença salarial existente entre homens e mulheres, tudo isso concerne em uma disparidade orçamentária e adaptativa, em relação a lares em que as mulheres não possuem a função de criação e sustento integral dos dependentes. O que consequentemente, torna este grupo estatisticamente mais vulnerável.

Diante disso, através da tabela de Parentesco também presente no plugin, foi calculada a porcentagem das mulheres chefes de família por setor censitário, conforme variáveis a seguir:

- V00001 : Total de Domicílios Particulares Permanentes Ocupados
- V01063: Pessoa responsável pelo domicílio, Sexo feminino

A equação para o cálculo da porcentagem deste grupo por setor censitário é apresentada a seguir:

Equação 3 - Proporção de Mulheres Responsáveis pelo Domicílio

$$Pm = \frac{M}{D}$$

onde:

- *Pm*= proporção de mulheres responsáveis pelo domicílio;
- *M*= mulheres responsáveis;
- *D*= domicílios.

Sendo a variável *M* correspondente a variável V1063 e o *D* a variável V00001.

d) Saneamento Básico

O saneamento básico é uma importante variável para indicação de vulnerabilidade social, como o próprio nome já trata, é uma condição básica que deve ser garantida a toda população, mas, que não abrange a totalidade brasileira.

Segundo a Lei Federal nº 14.026/2020 (Brasil, 2020) o saneamento básico engloba o abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; também a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Estes, quando oferecidos de forma precária, expõem a população a vetores de doenças e contaminações, gerando um risco à saúde pública, tornando a população que não possui acesso adequado à ele, em situação de maior vulnerabilidade social (Plansab, 2014).

Este indicador é usado no IVS do IPEA, de Paracatu e também no índice de vulnerabilidade às ilhas de calor (Siqueira-Gay; Dibo; Giannotti, 2017). As variáveis definidas para abranger o saneamento neste índice de vulnerabilidade social seguem abaixo na tabela 04, divididas nos três pilares descritos acima:

Tabela 04 - Variáveis de Saneamento Básico

Abastecimento de Água	
V00201	Água não chega encanada ao domicílio
V00001	Total de Domicílios Particulares Permanentes Ocupados
Esgotamento sanitário	
V00312	Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é fossa rudimentar ou buraco
V00313	Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é vala
V00314	Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é rio, lago, córrego ou mar
V00315	Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é outra forma
V00316	Destinação do esgoto inexistente, pois não tinham banheiro nem sanitário
Coleta de lixo	
V00399	Lixo queimado na propriedade
V00400	Lixo enterrado na propriedade
V00401	Lixo jogado em terreno baldio, encosta ou área pública
V00402	Outro destino do lixo: Características do Domicílio

Fonte: Autora (2026)

Estes dados também foram importados diretamente no Qgis, pelo plugin Censo IBGE. Para obter o quantitativo de pessoas sem o acesso adequado ao saneamento básico, foi realizado o cálculo de proporção de cada uma das áreas do saneamento, segue abaixo as equações:

Equação 4 - Proporção de domicílios sem abastecimento adequado de água

$$Pa = \frac{Da}{D}$$

onde:

- *Pa*= proporção de domicílios sem abastecimento adequado de água;
- *Da*= domicílios que não recebem água encanada;
- *D*= domicílios.

Equação 5 - Proporção de domicílios com esgotamento sanitário inadequado

$$Pes = \frac{Ei}{D}$$

onde:

- *Pes*= proporção de domicílios com esgotamento sanitário;

- *Ei*= domicílios com destinação incorreta do esgoto;
- *D= domicílios.*

Sendo a variável *Ei* composta pela soma das variáveis V00312, V00313, V00314, V00315 e V00316; e a variável D representa a V00001.

Equação 6 - Proporção de domicílios com coleta de resíduos inadequada

$$Pl = \frac{Li}{D}$$

onde:

- *Pl*= proporção de domicílios com coleta de resíduos inadequada;
- *Li*= domicílios com destinação incorreta do lixo;
- *D*= domicílios.

Sendo a variável *Li* referente a soma das variáveis V00399, V00400, V00401 e V00402; enquanto *D* representa a variável V00001.

Equação 7 - Proporção de domicílios com saneamento básico inadequado

$$Psb = \frac{Pa+Pes+Pl}{3}$$

onde:

- *Psb*= proporção de domicílios com saneamento básico inadequado;
- *Pa*= proporção de domicílios sem abastecimento adequado de água;
- *Pes*= proporção de domicílios com esgotamento sanitário inadequado;
- *Pl*= proporção de domicílios com coleta de resíduos inadequada.

e) Renda média do responsável

Sabe-se que o fator de renda é um importante indicativo de vulnerabilidade, visto que o valor da renda impacta diretamente na capacidade de adaptação e suporte em relação às mudanças climáticas, através do poder de aquisição de bens e serviços para mitigação do desconforto térmico aos dependentes familiares. Além de influenciar no padrão construtivo da habitação, o que está ligado também à capacidade de resiliência às mudanças climáticas.

Este indicador também é comumente utilizado no IVS, que para este trabalho foram usados como referência o IVS Paulista, o IPEA e o IVS de Paracatu, denotando sua importância para classificação de vulnerabilidade social. O fator de

renda, porém, não se encontra disponível no plugin do IBGE, e, portanto, foi necessário baixá-lo diretamente do site no formato .csv, o qual posteriormente foi unido ao shapefile de setores censitários, para cálculo de proporção.

A variável usada para o cálculo da renda é apresentada a seguir:

- V06004: Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis com rendimentos;

Para o cálculo da renda do responsável, foi necessário aplicar a equação abaixo, para normalização dos valores:

Equação 8 - Normalização da renda média do responsável pelo domicílio

$$Rn = 1 - \frac{Rm - Rmin}{Rmax - Rmin}$$

onde:

- *Rn*= renda normalizada;
- *Rm*= valor médio da renda do responsável pelo domicílio (V06004);
- *Rmin*= menor valor do universo de dados;
- *Rmax*= maior valor do universo de dados.

3.3.2.1 Tratamento e Processamento de Dados Espaciais do IBGE

Os dados oriundos do Censo Demográfico realizado pelo IBGE podem, devido à natureza dos dados e dos locais coletados, sofrer sigilo por parte do órgão segundo a Lei Federal 5.534/68 (Brasil, 1968), com intuito de preservar a identidade dos habitantes dos setores. Outrossim, os próprios moradores podem se recusar a responder todas as perguntas, o que gera falha na coleta de dados e no universo amostral subsequente.

Desse modo, na etapa de tratamento dos dados foram identificados setores nulos *(NULL)* dentro das variáveis definidas para o IVS, sendo identificadas especificidades dentro de cada variável. E a partir de análise (Rezende,2016; Siqueira-Gay, Dibo, Giannotti, 2017; Tobler, 1970), foram estabelecidas duas formas de sanar este empecilho, conforme particularidades encontradas.

A primeira forma é desconsideração do setor conforme análise de critérios de: volume de habitações, localização dos setores no contexto urbano, natureza das edificações presentes e a natureza da variável analisada. A segunda forma é a média aritmética dos setores vizinhos limítrofes, essa maneira de atribuir valor aos dados nulos, também foi realizada conforme análise dos critérios definidos anteriormente concomitantemente à aplicação da primeira lei da geografia, que estabelece que “todas as coisas estão relacionadas com todas as outras, mas as coisas mais próximas estão mais relacionadas do que coisas distantes.” (Tobler, 1970).

Dos 178 setores que compõem a área urbana, 4 não possuem qualquer dado do censo, e em todas as variáveis eles se encontram nulos. Eles foram identificados como: Delegacia da Polícia Militar de Muriaé, Penitenciária Dr. Manoel Martins Lisboa Júnior, Casa de Assistência aos idosos Lédia Tanus Braz e Obra Unida Lar Ozanam. Frente a natureza dessas áreas e o sigilo aplicado pelo órgão federal, estes setores foram desconsiderados em relação ao índice de vulnerabilidade social.

Outrossim, o setor censitário 314390605000166, que se encontra em uma área de transição de características mistas entre urbano e rural, apresentou dados discrepantes em relação a proporção estabelecida conforme a metodologia de Tobler, por essa razão foi estabelecido que o mesmo seria desconsiderado do Índice de Vulnerabilidade Social.

As variáveis de Idade, Alfabetização e Saneamento apresentaram dados nulos em setores com adensamento habitacional considerável, e conforme a análise realizada, foi utilizada metodologia da proximidade com a média dos setores vizinhos para composição dos dados faltantes por coluna, a fim de minimizar os erros no processo de normalização e classificação de vulnerabilidade. Os dados nulos foram estimados e arredondados, conforme regra universal, como trata-se de domicílios e pessoas, os números são da classe dos inteiros.

Após o tratamento dos dados, foram criados os mapas de vulnerabilidade para cada variável definida, seguindo a classificação de quebras naturais proposta por Jenks, a qual foi estabelecida por minimizar as diferenças internas e maximizar a diferença entre os setores, é uma técnica comum na cartografia quando há números muito próximos e com pouca variação entre si.

Posteriormente a normalização, seguindo a metodologia aplicada no índice de vulnerabilidade ambiental, foi criada uma coluna com a classificação de níveis de

vulnerabilidade, em uma escala de 1 a 5 entre Muito Baixa e Muito Alta Vulnerabilidade conforme a classificação pré-existente, para aplicação do método Análise Hierárquica de Prioridade e a elaboração do IVS.

3.4 Integração e Ponderação Multicritério

A análise dos mapas preliminares ocorreu como um pré-requisito para a atribuição dos pesos em cada uma de suas respectivas classes.

Para identificar os setores censitários mais vulneráveis ambientalmente em Muriaé, foram aplicados pesos conforme o método de Análise Hierárquica de Prioridade (AHP), preconizado por Saaty em 1990 e amplamente usado para identificação de fragilidades ambientais e base para planejamentos ambientais. Os pesos são dados conforme tabela criada pelo mesmo autor, o qual define cada peso segundo grau de importância, segue abaixo a tabela representada pela figura 15:

Figura 15 - Distribuição de pesos conforme importância na Análise Hierárquica de Prioridade

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância Equiparada	Contribuição equiparada para o objetivo.
3	Importância Moderada	Um objetivo ligeiramente favorável em detrimento de outro.
5	Importância Forte	Um objetivo fortemente favorável em detrimento de outro.
7	Importância Muito Forte	Um objetivo muito fortemente favorável em detrimento de outro; domínio demonstrado na prática.
9	Importância Absoluta	É a maior ordem de afirmação possível de um objetivo em detrimento de outro.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos sucessivos	Possível necessidade de se interpolar julgamentos numéricos.

Fonte: Adaptado de Carvalho e Mingoti (2005) apud Pinese Júnior e Rodrigues (2012)

Este método compara par a par cada critério definido pelo pesquisador como fator importante na análise da vulnerabilidade, é criada portanto uma tabela de comparação com todos os critérios de maneira cartesiana, onde o eixo x e y possuem a mesma informação e são comparados desta maneira, formando uma matriz matemática, como exemplificado pela figura 16 a seguir:

Figura 16 - Matriz Recíproca positiva

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ 1/a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & \dots & a_{ij} \end{bmatrix}$$

Fórmula 1: Matriz Recíproca Positiva.

Fonte: Pinese (2012)

Os pesos são definidos pelo pesquisador, justificando-se através da análise dos mapas dos critérios escolhidos e referência a priori de cada variável. No que tange a escolha dos pesos, foram escolhidos conforme influência dentro do escopo da vulnerabilidade ambiental e social, levando em conta o território analisado e os dados socioeconômicos definidos. A sequência lógica desta metodologia é apresentada a seguir:

- **Etapas do método AHP:**
  Estágio 01 - Estruturação da Hierarquia de Decisão
  - ➔ Estruturação da hierarquia;

  Estágio 02 - Construção da Matriz de Comparação Pareada
  - ➔ Construção da matriz;
  - ➔ Verificações de consistência;
  - ➔ Definir o valor da importância relativa (peso) de cada fator;

  Estágio 03 - Priorização das Alternativas e Definição das Classes de Vulnerabilidade
  - ➔ Priorização das alternativas;
  - ➔ Classificação final.

A cidade de Muriaé é conhecida pelas grandes enchentes em que casas são submersas pelas águas do Rio Muriaé, destaque este que fez com que o Rio Muriaé seja monitorado 24h, durante o período chuvoso, pela CPRM/SGB desde o ano de 2014 (RIGeo, 2024) com a implementação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Muriaé (SAH-Muriaé), colocando assim a variável de inundação como a principal e de maior peso para elaboração do índice de vulnerabilidade, com o peso de 1.

Logo em seguida a variável vegetação foi considerada como segunda mais importante para o índice, pois a vegetação desempenha papéis essenciais, no que diz respeito ao conforto humano, seja ele no âmbito psicológico/emocional contribuindo para o bem estar e o lazer, sendo no âmbito ambiental contribuindo para amenização de altas temperaturas, criando áreas de sombreamento, melhorando a qualidade do ar e consequentemente gerando maior conforto térmico (Paiva e Lacerda, 2017), portanto, devido ao seu grau de importância foi dado o peso 3 na escala Saaty.

A terceira variável dentro da classificação de pesos foi a declividade, a qual está diretamente ligada tanto às inundações, quanto à ocorrência de movimentos de massa. A área de estudo é composta majoritariamente por baixas declividades, ou seja, com favorecimento a inundações, cerca de 41% da área. Diante disso, foi dado o peso 5 a essa variável dentro do modelo AHP de Saaty.

A quarta variável a compor o índice é a Suscetibilidade a Movimentos de Massa, que conforme dados da CPRM/SGB, a área urbana de Muriaé possui 52,25% de sua área com alto e muito alto risco, porém, é válido ressaltar que o território, como elencado anteriormente, não possui declividades acentuadas, o que torna eventos de movimentação pouco recorrentes. Contudo, com a ocorrência cada vez maior de eventos extremos, essa variável tornou-se imprescindível na elaboração do índice de vulnerabilidade, recebendo o peso 7 na classificação.

Por fim, a última variável considerada para criação do índice foi a Proximidade com Rodovias, considerando que a cidade é berço de três entroncamentos rodoviários e que as rodovias exercem considerável pressão urbana, devido a necessidade de impermeabilização do solo, com fragmentação vegetacional considerável, além de ruídos e vibrações e o aumento a exposição aos riscos em suas margens, esta variável mostrou-se importante para o índice, assim como demonstrado em estudos de Rezende (2016). Diante disso, a mesma recebeu o peso 9 dentre a classificação. Segue abaixo a tabela 05 com a distribuição dos pesos para IVA:

Tabela 05 - Matriz de comparação dos critérios do índice de vulnerabilidade ambiental

Variáveis	Inundação	Vegetação	Declividade	Mov. de Massa	Rodovias
Inundação	1	3	5	7	9
Vegetação	1/3	1	3	5	7
Declividade	1/5	1/3	1	3	5
Mov. de massa	1/7	1/5	1/3	1	3
Rodovias	1/9	1/7	1/5	1/3	1

Fonte: Autora (2026)

A metodologia de análise hierárquica (AHP) também foi utilizada para elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social e igualmente o IVA, as variáveis receberam pesos mediante a prioridade definida para cada uma. A prioridade definida para cada variável perpassou pela análise de cada variável dentro do escopo socioeconômico ligado a capacidade de adaptação e mitigação frente às condições climáticas.

No capitalismo, a renda é um dos pilares fundamentais para acesso a bens e serviços, além de ser determinante no padrão construtivo das edificações, o que diante das mudanças climáticas, se torna uma forte variável de capacidade de adaptação das famílias e mitigação às condições ligadas ao desconforto térmico e aos eventos extremos mais frequentes (IPCC, 2023; IPEA, 2015; Rezende, 2016; IVS Paulista). Nesse caso, a variável Renda do Responsável pelo Domicílio foi definida como a de maior importância no contexto social, recebendo o peso 1 dentro da metodologia AHP.

A segunda variável classificada como de maior relevância para o IVS, foi a de saneamento básico, que logo abaixo da renda, torna-se um dos principais fatores de vulnerabilidade social. O acesso a água encanada, esgotamento sanitário e coleta de lixo adequada é fundamental para saúde humana (Plansab, 2014), e que em eventos climáticos extremos, colocam a população em maior condição de exposição a vetores e contaminações. Deste modo, essa variável recebeu o peso 3.

Logo em seguida, a variável definida como prioridade de cálculo foi a de Mulheres Responsáveis pelo Domicílio. O gênero influencia na condição de habitabilidade e também na adaptabilidade do lar, tendo em vista a desigualdade salarial existente, além da maior ocorrência de monoparentalidade nesses domicílios, o que por consequência diminui o aporte de renda e capacidade de

resiliência dessas famílias, em condições de desconforto térmico. Para esta variável, estabeleceu-se o peso 4.

Como crianças e idosos são grupos de pessoas mais vulneráveis, o maior volume deles no setor censitário indica uma vulnerabilidade social mais alta, eles possuem uma maior fragilidade no que se diz respeito à saúde e na capacidade de resiliência térmica. Assim, esta variável ficou definida como a quarta prioridade quanto à classificação AHP, com o peso 5.

A alfabetização abre oportunidades para o crescimento econômico e é um indicador clássico quanto à vulnerabilidade social, pois o acesso à educação é fundamental para a melhoria das condições de trabalho, com mão de obra qualificada, proporcionando maior crescimento econômico de uma população, além de ser importante para a composição da autonomia pessoal. Sendo importante para interpretação de mensagens e alertas advindos de eventos que possam prejudicá-los, e portanto, a mesma recebeu o peso 7. Segue abaixo a tabela 06 com a matriz de comparação dos pesos estabelecidos para o IVS:

Tabela 06 - Matriz de comparação dos critérios do índice de vulnerabilidade social

Variáveis	Renda Média do Responsável	Saneamento Básico	Mulheres Chefe de Família	Crianças e Idosos	Taxa de analfabetismo
Renda Média do Responsável	1	3	4	5	7
Saneamento Básico	1/3	1	2	3	5
Mulheres Chefe de Família	1/4	1/2	1	2	4
Crianças e Idosos	1/5	1/3	1/2	1	3
Taxa de analfabetismo	1/7	1/5	1/4	1/3	1

Fonte: Autora (2026).

O Índice de Vulnerabilidade Socioambiental da cidade de Muriaé foi construído baseado na integração dos dados ambientais e sociais especificados anteriormente. Ele prevê a integração do índice de vulnerabilidade social e ambiental por meio de ambiente SIG.

Contudo, a criação do mesmo, não foi realizada somente a partir da soma dos valores obtidos, mas sim, a partir da análise científica e aplicação do método utilizado nos índices anteriores, a fim de manter o rigor metodológico e incorporar corretamente a importância dada a cada variável.

A vulnerabilidade ambiental foi obtida através da junção ponderada das variáveis responsáveis pela fragilidade ambiental dos setores, como: risco a movimentos de massa e inundação, percentual de declividade, presença de vegetação e proximidade com rodovias. Enquanto a vulnerabilidade social foi composta pelas variáveis: vulnerabilidade etária, taxa de analfabetismo, saneamento básico inadequado, mulheres chefes de domicílio e renda média do responsável pelo domicílio.

Os riscos ambientais perpassam pela esfera do socioeconômico e vice-versa, porém, segundo Olímpio e Zanella (2017, p. 102) “os fatores sociais como renda, gênero, acessos aos serviços, moradia e participação política podem acentuar sua predisposição à ocorrência de danos de diferentes magnitudes”. Diante disso, surge o conceito de capacidade de adaptação e mitigação de riscos, em que os índices analisam a aptidão social que as áreas de estudo possuem em mitigar as adversidades ambientais.

Sejam elas intrínsecas aos locais habitados, como por exemplo, inclinação do terreno e consequentemente maior risco a movimentos de massa e/ou inundação, ou mesmo riscos advindos dos microclimas que existem dentro do centro urbano e as adversidades climáticas pungentes nos dias atuais.

Sendo assim, a condição de vulnerabilidade se dá pela condição de se estar numa situação desprivilegiada em relação às condições do entorno e pessoais, colocando a vida desta população em risco de danos tanto físicos quanto morais (Jubilut e Marstucelli, 2019). Ou seja, o risco ambiental pode existir de forma igual para grupos socioeconômicos distintos, porém a forma e a intensidade em que ele atravessa ambos, é diferente.

Frente a isso, foi utilizada a metodologia AHP para definição do grau de importância da vulnerabilidade social e ambiental. Entende-se, pois, que a condição de adaptabilidade se sobrepõe às condições ambientais, dessa forma a matriz de comparação gerada, coloca a variável social com o peso 1 e a ambiental com o peso 2; apresenta-se abaixo a matriz de comparação na tabela 07:

Tabela 07 - Matriz de comparação dos critérios do índice de vulnerabilidade socioambiental

Variáveis	Índice de Vulnerabilidade Social	Índice de Vulnerabilidade Ambiental
Índice de Vulnerabilidade Social	1	2
Índice de Vulnerabilidade Ambiental	1/2	1

Fonte: Autora (2026)

Assim, após análise e distribuição de pesos, o método AHP precisa ser qualificado pela Razão de Consistência, na qual é medida a consistência lógica dos pesos atribuídos, validando a aplicação destes. Essa etapa é essencial para validar todo o processo AHP. A Razão de Consistência é obtida através desta fórmula:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

RC = Razão de Consistência
IC = Índice de Consistência
IR = Índice Aleatório

A Razão de Consistência, por definição, considera válido o método que apresenta um valor de consistência abaixo de 10%. Há mais de uma forma de realizar este cálculo, mas para este estudo optou-se pelo site “Sistema Online AHP” que calcula a Razão de Consistência, o valor dos Vetores de Prioridade além de gerar um gráfico para melhor visualização dos resultados, tudo isso de maneira automática após a inserção dos pesos na tabela existente no site.

Com os valores de prioridade calculados a partir da matriz Saaty, iniciou-se a etapa de cálculo do índice de vulnerabilidade Ambiental e Social, através da álgebra de mapas.

Para esta etapa criou-se uma coluna com a classificação numérica das variáveis elencadas, na escala de 1 a 5, conforme metodologia AHP. Em seguida, os arquivos vetoriais foram convertidos em raster a partir desta coluna de classificação. Somente assim, através da Calculadora Raster foi possível aplicar a fórmula da álgebra de mapas. Multiplicando o raster já classificado com o valor do Vetor de Prioridade, como apresentado pelas fórmulas a seguir:

$IVA = (P_{in} \cdot In) + (P_{veg} \cdot Veg) + (P_{dec} \cdot Dec) + (P_{mm} \cdot MM) + (P_{rod} \cdot Rod)$

$IVS = (P_{rn} \cdot Rn) + (P_{sa} \cdot Sa) + (P_{m} \cdot M) + (P_{ci} \cdot Ci) + (P_{a} \cdot A)$

$IVSA = (P_{s} \cdot Vs) + (P_{a} \cdot Va)$

3.5 Análise Térmica Urbana

3.5.1 Metodologia dos transectos móveis

O presente estudo buscou uma complementaridade entre o índice de Vulnerabilidade Socioambiental e as condições microclimáticas existentes na área urbana de Muriaé, a fim de identificar territórios com maiores temperaturas que culminam em ambientes de desconforto térmico e vulnerabilidade para a população.

Nesse contexto, além do uso da Imagem da Banda Termal do satélite Landsat, a metodologia de transectos móveis mostrou-se a mais adequada para esta avaliação, com vasta aplicação no campo da climatologia urbana. Autores de referência utilizam este método em seus trabalhos, tais como Amorim (2019), Ferreira (2014) entre outros, que fornecem uma robusta aplicação metodológica e confiabilidade no processo realizado.

O transecto móvel é um trajeto pré-definido realizado dentro da área urbana, em um período de tempo de aproximadamente 1 hora, em que termômetros são utilizados para medição da temperatura do ar em pontos específicos do itinerário (estacionário) e tem como objetivo identificar a variabilidade térmica existente numa mesma cidade, diante das mudanças de uso e ocupação do solo. E para verificação dos dados, é colocado um termômetro fixo.

A metodologia aplicada foi dividida em 5 etapas:

- Análise do uso e ocupação do solo;
- Planejamento de rota;
- Definição dos pontos de coleta de amostras;
- Monitoramento em ponto fixo;
- Execução de procedimento em campo.

Para análise do uso e ocupação do solo foi utilizada a classificação realizada a partir do satélite CBERS 4A e visitas *in loco,* para identificação dos padrões construtivos, tipo de uso e nível de adensamento. Logo após a primeira etapa,

devido a escala espacial trabalhada, definiu-se o automóvel como meio de transporte mais adequado. E em seguida foi realizado o planejamento das rotas, estas foram traçadas em eixo X/Y: Norte/Sul e Leste Oeste, totalizando 2 rotas de atuação.

Para este trabalho foram utilizados três termômetros cedidos pelo Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora (Labcaa): 1 termômetro fixo da marca Ellitech RC-5+ e 2 Termo-Higro-Anemômetros da marca Akrom/ KR875**.** O termômetro fixo foi acoplado dentro de uma estrutura de isopor contendo pequenos furos, e suspenso do chão em uma haste de aproximadamente 1,40m, para evitar interferência de agentes climáticos indesejados na coleta de temperatura, como ventos fortes e radiação solar direta, caso a pesquisa seja realizada durante o período diurno, e de interferências da dissipação de calor ocorrida durante a noite.

Os pontos de coleta de amostras foram definidos através da análise do uso e ocupação adquirido por meio de imagem de satélite, variedade no padrão construtivo e de uso do solo, além de viabilidade para estacionar o veículo com segurança durante o transecto. Perante á isso, foram definidos 14 pontos amostrais para cada rota traçada.

Como o presente estudo visa a identificação de ilhas de calor urbanas, a metodologia de transecto móvel foi aplicada no período noturno, pois neste período o termômetro não sofre incidência da radiação solar, conseguindo medir as localidades que possuem maior dificuldade de dissipação de calor, e que por conseguinte formam as Ilhas de Calor.

A data de aplicação do método foi no dia 18 de abril de 2026 iniciando-se às 19h15 com o posicionamento do termômetro fixo na residência localizada na Av. Cecília Meireles, 820 - São Gotardo. Em contrapartida os transectos móveis iniciaram às 19h30 e finalizaram 20h30, totalizando 1h de coleta de dados, este período é considerado ideal para o transecto devido a pouca amplitude térmica durante o trajeto.

A coleta foi realizada por duas equipes concomitantemente, e os veículos foram compostos por um motorista e um responsável pela aferição e anotação da temperatura em caderneta de campo, dividida em quatro colunas:

- Identificação numérica do ponto;

- Horário de aferição;
- Localização;
- Observações.

Posteriormente, esta caderneta foi tabulada e acoplada ao Sistema de Informações Geográficas, para associação das temperaturas com as coordenadas geográficas dos pontos de coleta, possibilitando a espacialização da temperatura para posterior interpolação e análise climática.

3.5.2 Sensoriamento remoto aplicado à imagem termal

Para análise do clima urbano proposto neste trabalho, foram utilizados dois métodos: os transectos móveis e a aquisição de imagem térmica. O primeiro consegue capturar a temperatura do ar, enquanto o segundo é a média ponderada da temperatura dos alvos na superfície do pixel, de 100m de resolução. Ambos conseguem identificar setores dentro do território que possuem maior temperatura em detrimentos dos demais, caracterizando não só microclimas próprios, como também ilhas de calor dentro da área estudada.

A escala espacial utilizada no presente trabalho possibilitou o uso das imagens térmicas disponibilizadas pelo satélite Landsat. A resolução da banda TIRS é de 100m e aproximadamente 95% dos setores apresentam tamanhos superiores a esta resolução. Desta maneira, iniciou-se o processo de aquisição, correção e processamento da imagem termal do Landsat 8.

No site USGS *Earth Explorer* foi importada a imagem térmica do Landsat 8-9 *Collection 2 (Level 2)*, que possui a temperatura de superfície pré-processada,na data de 02 de maio de 2026, data mais próxima do transecto móvel realizado e em seguida, a banda 10, composta pelo sensor infravermelho térmico, foi adicionada ao SIG para a correção dos dados.

O Landsat possui um outro modelo de temperatura, os valores são calculados em Kelvin, assim foi necessário realizar a correção da temperatura, para que a mesma ficasse em Celsius (padrão brasileiro), conforme a equação aplicada dentro da calculadora raster, segue abaixo a equação:

Equação 9 - Cálculo de conversão de temperatura de Kelvin (K)para Celsius (°C)

$$LST = (DN \times 0,00341802 + 149) - 273,15$$

onde:

- *LST*= temperatura da Superfície Terrestre em graus Celsius (°C);
- *DN*= valor Digital original do pixel da banda termal;
- 0,00341802 = fator multiplicativo de escala (USGS, 2024);
- 149= fator aditivo de ajuste (offset);
- 273,15 = constante de conversão de temperatura Kelvin para Celsius.

Após a conversão realizada, foram elaborados 3 mapas de temperatura de superfície: um com imagem termal para identificação das ilhas de calor dentro do território analisado, o segundo com a média da temperatura de superfície e a temperatura dos pontos de coleta do transecto e um terceiro com a média de temperatura dos setores censitários, para correlação entre a vulnerabilidade socioambiental e temperaturas mais elevadas.

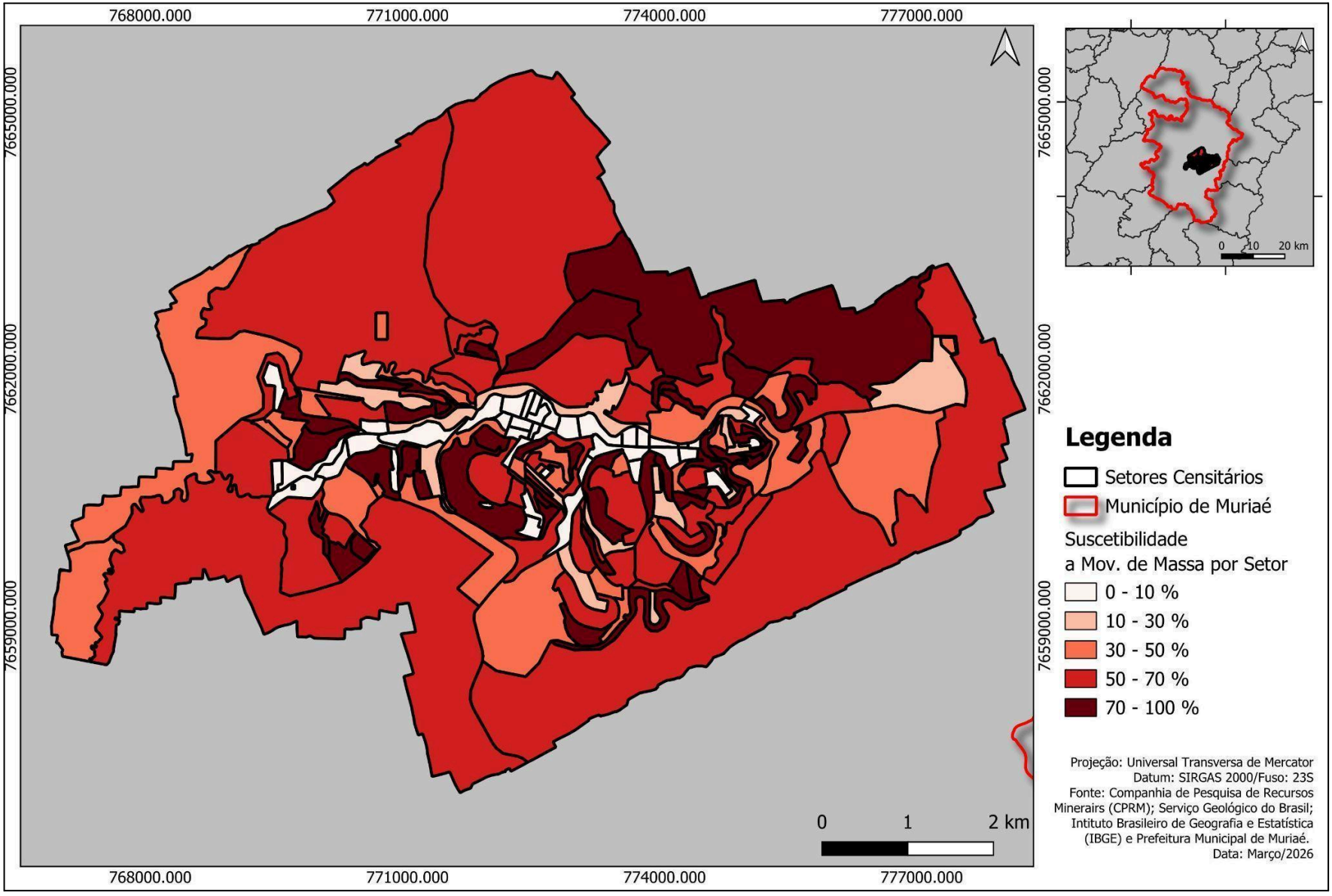
Para identificação da média da temperatura, foi necessária a realização do cálculo de estatísticas zonais, presente no SIG dentro de Análise de Raster. Posteriormente ao cálculo, foi necessário realizar a conversão do arquivo raster (matricial) para vetorial.

4. Resultados e Discussão

4.1 Mapeamento da vulnerabilidade ambiental

A área urbana de Muriaé é composta por 178 setores censitários, de acordo com o mapa de suscetibilidade a movimento de massa: 51 setores possuem Muito Alta suscetibilidade, 42 possuem Alta suscetibilidade, 27 possuem média suscetibilidade, 16 possuem baixa suscetibilidade e 42 possuem muito baixa suscetibilidade, conforme mapa (Figura 17) e tabela 08 a seguir:

Figura 17 - Mapa de percentual de suscetibilidade à movimentos de massa por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Tabela 08 - Classes de suscetibilidade a movimentos de massa por setor censitário

Classe de Susceptibilidade	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muito Alta	51	28,65%
Alta	42	23,60%
Média	27	15,17%
Baixa	16	8,99%
Muito Baixa	42	23,60%

Fonte: Autora (2026)

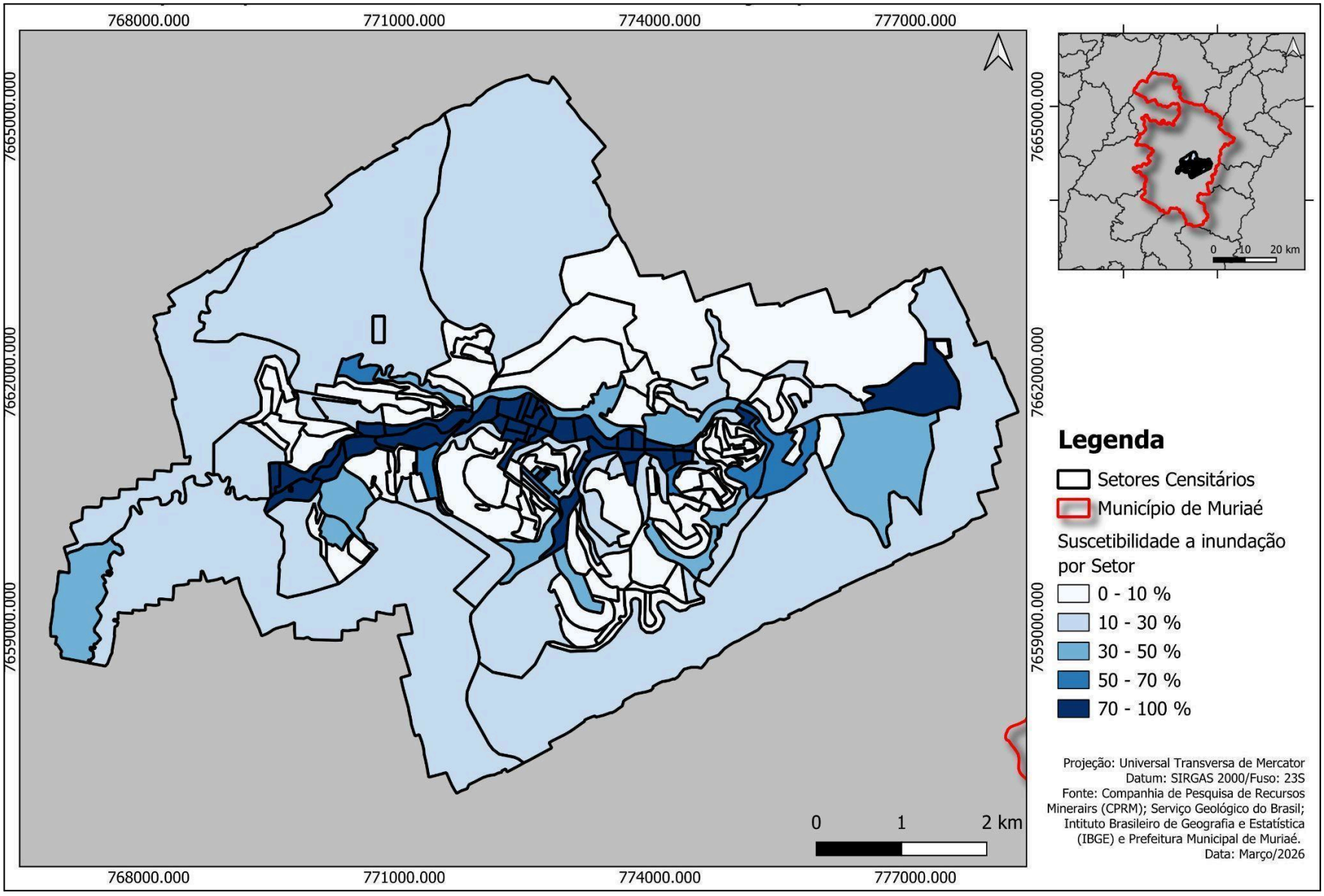
Diante do mapa (Figura 17) e da tabela 08 é possível identificar que 52,25% do território urbano de Muriaé é composto por alto e muito alto risco de movimentação de terra, colocando considerável parte da população em vulnerabilidade ambiental.

Este dado aponta que considerável parte da cidade possui necessidade de obras de engenharia para contenção de taludes e construção de drenagem adequada. Visto que é uma cidade em expansão, este dado torna-se importante para tomada de decisão pelo poder público, auxiliando na aprovação de futuros loteamentos, ou mesmo na fiscalização de obras e encostas.

Outrossim, perante o histórico do município em relação a inundações e com elevada suscetibilidade (Guimarães e Penha, 2009; Ligeiro da Mata e Senna, 2020), buscou-se compreender a dinâmica da suscetibilidade a inundação na escala dos setores censitários, entendendo não só o risco, mas também o perfil da população atingida, que será trabalhado no Índice de Vulnerabilidade Social.

A variável de suscetibilidade à inundação foi dividida também em cinco classes: Muito Baixa (< 10%), Baixa (10 a 30%), Média (30 a 50%), Alta (50 a 70%) e Muito Alta (70 a 100%). Abaixo segue o mapa de percentual de suscetibilidade a inundação por setor (Figura 18) a tabela 09 com a quantidade de setores com cada classe de suscetibilidade:

Figura 18 - Mapa de percentual de suscetibilidade à inundação por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Tabela 09 - Classes de suscetibilidade a inundação por setor censitário

Classe de Susceptibilidade	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muito Alta	37	20,79%
Alta	6	3,37%
Média	12	6,74%
Baixa	29	16,29%
Muito Baixa	94	52,81%

Fonte: Autora (2026)

Apesar de o município ter ocorrências de inundações e alagamentos, sendo monitorado constantemente pela CPRM, mais da metade do território possui risco muito baixo e baixa suscetibilidade à inundação. Porém, vale destacar o padrão de ocupação das margens do Rio Muriaé.

A maioria das casas são construídas muito próximas da calha do rio, o que faz com que eventos pequenos de extravasamento da calha causem inundações. Seguem imagens de alguns pontos da cidade em que a ocupação margeia o leito do rio Muriaé, na Figura 19:

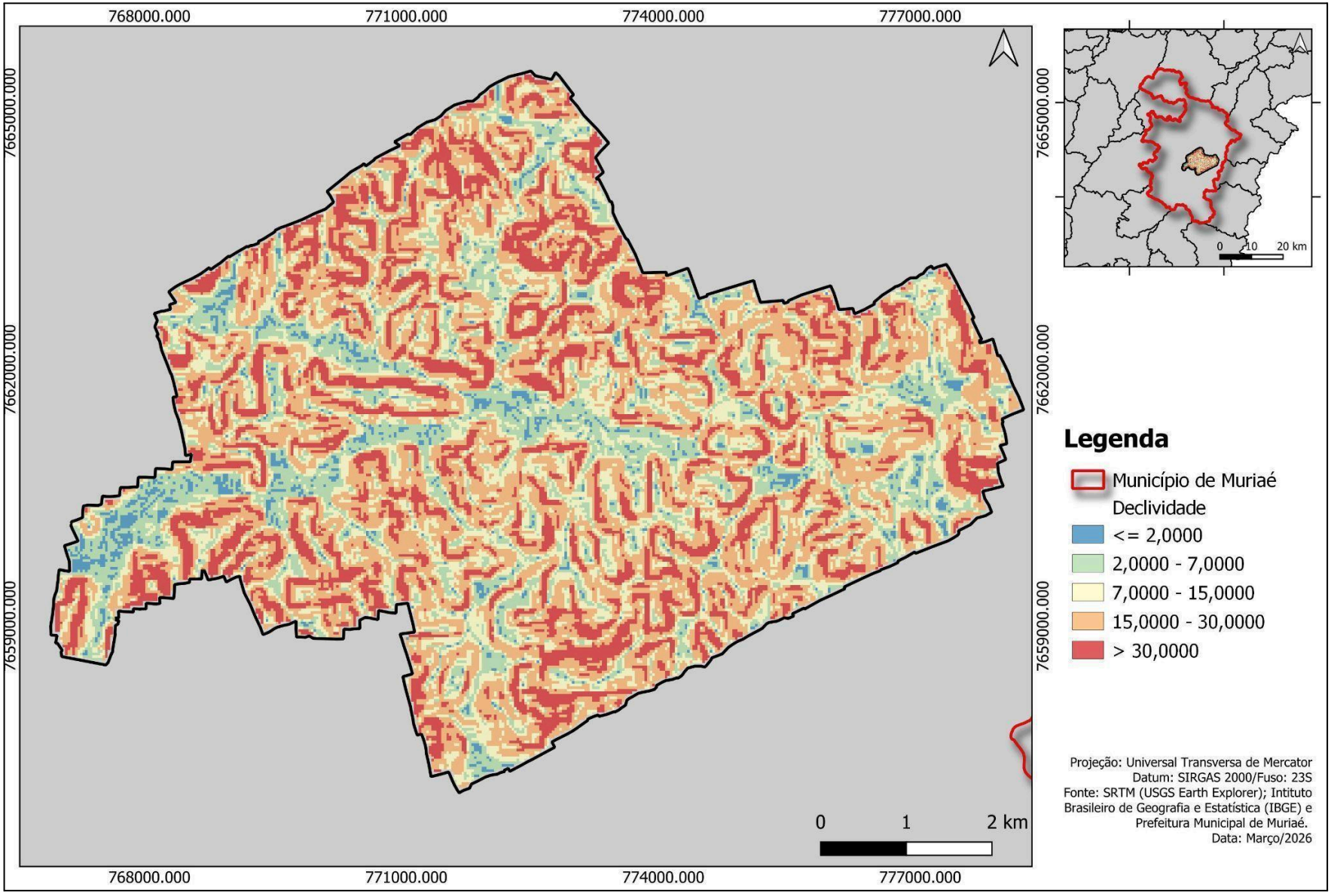
Figura 19 - Mapa de padrão de ocupação às margens do Rio Muriaé



Fonte: Autora (2026)

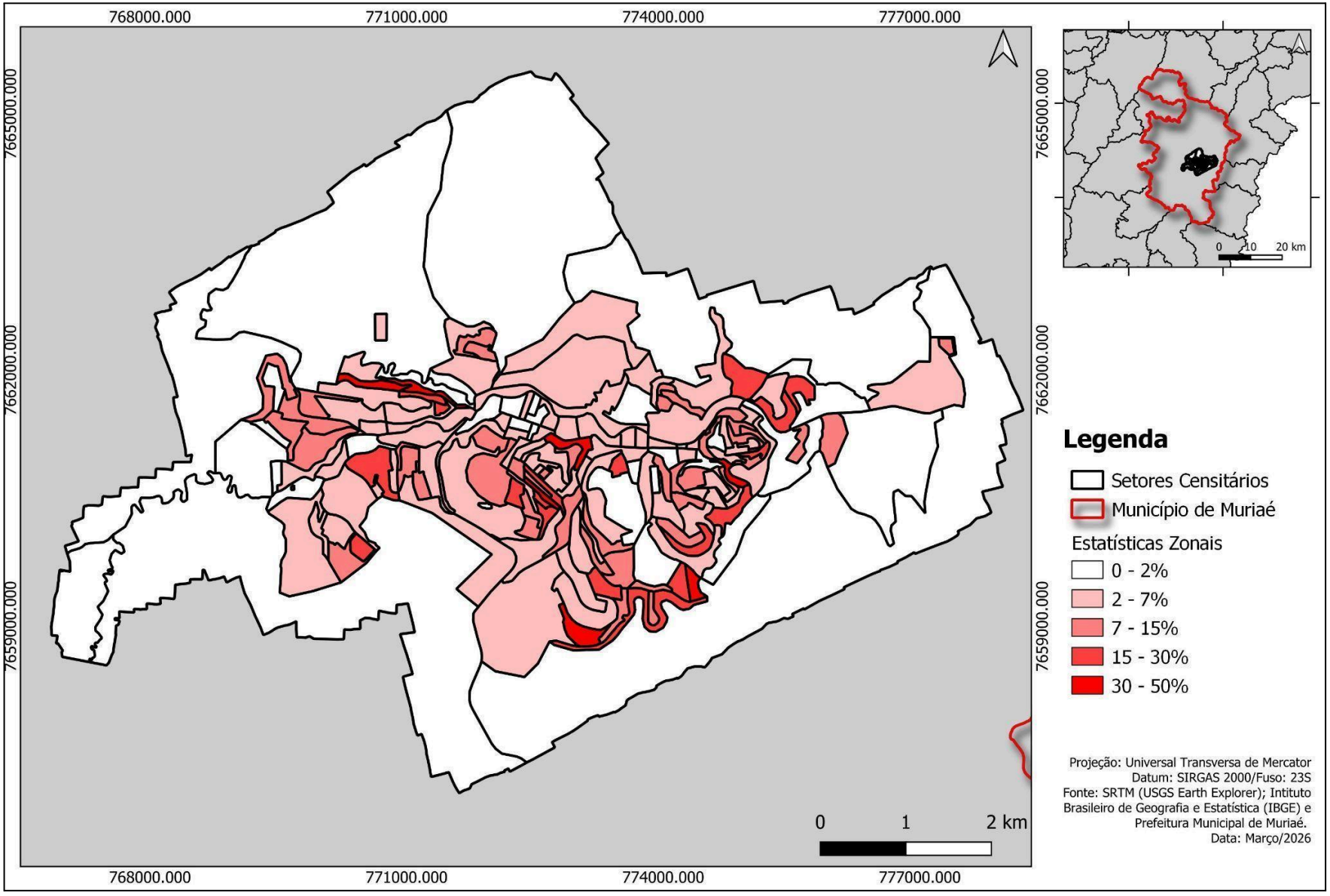
Ao analisar o mapa de declividade é possível identificar que a cidade de Muriaé não possui grande parte do território entre as declividades Muito Altas e Altas, sendo possível observar essa baixa predominância no mapa de declividade por setor censitário. Para auxílio de análise segue o mapa de declividade e o mapa de percentual de declividade por setor censitário (Figura 20 e 21) a tabela 10 com os percentuais:

Figura 20 - Mapa de declividade de Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Figura 21 - Mapa de percentual de declividade por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Tabela 10- Classes de porcentagem de declividade por setor censitário

Declividade	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muito Alta	7	3,93%
Alta	18	10,11%
Média	44	24,72%
Baixa	73	41,01%
Muito Baixa	36	20,23%

Fonte: Autora (2026)

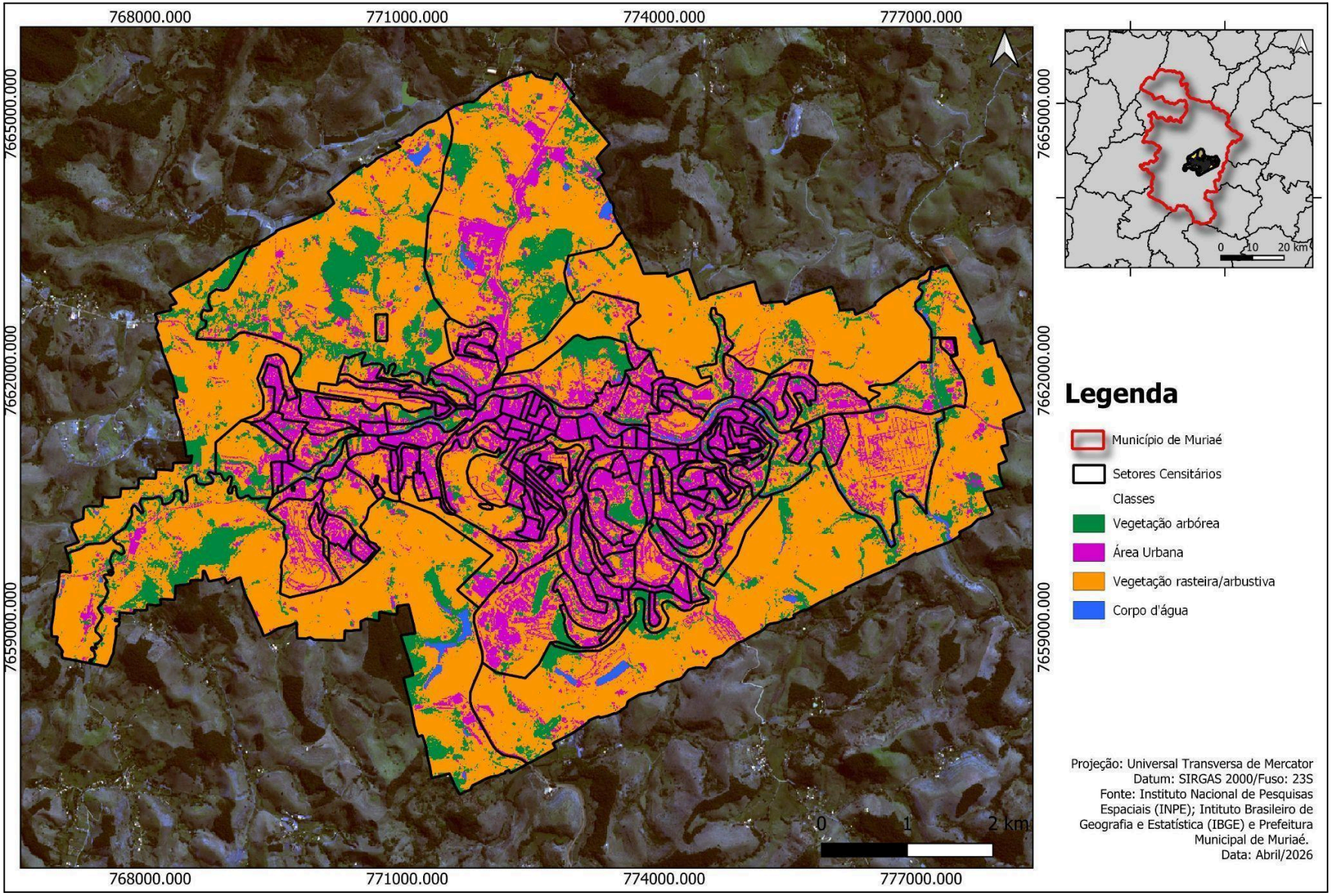
Conforme mapa de classificação e tabela, identificou-se que a maioria dos setores censitários estão na classificação de Baixa declividade (41,01%), enquanto 14,04% encontram-se entre as declividades Altas e Muito Altas. Vale destacar que os setores censitários com a maior presença de declividades superiores a 15% encontram-se predominantemente nos setores ao sul da rodovia BR 356 que divide a área urbana entre norte e sul, setor este em que se encontra a maior parcela de ocupação da cidade.

Com a elaboração do mapa de declividade ratifica-se a afirmação de Neto e Silva (2024) sobre o município se encontrar dentro de uma depressão interplanáltica. O que corrobora também com o percentual de declividade em cada setor censitário.

Segundo, Crepani (2001) as áreas em que a densidade de vegetação se encontra menor que 30% é indicativo de vulnerabilidade, haja vista, que o solo sem vegetação é mais exposto às intempéries climáticas tornando-o mais frágil a processos erosivos que culminam no desgaste progressivo do terreno, com formação de caminhos preferenciais até o processo de voçorocamento, ou mesmo com a maior infiltração de água no terreno, que em sua forma mais crítica se dá com o escorregamento de taludes.

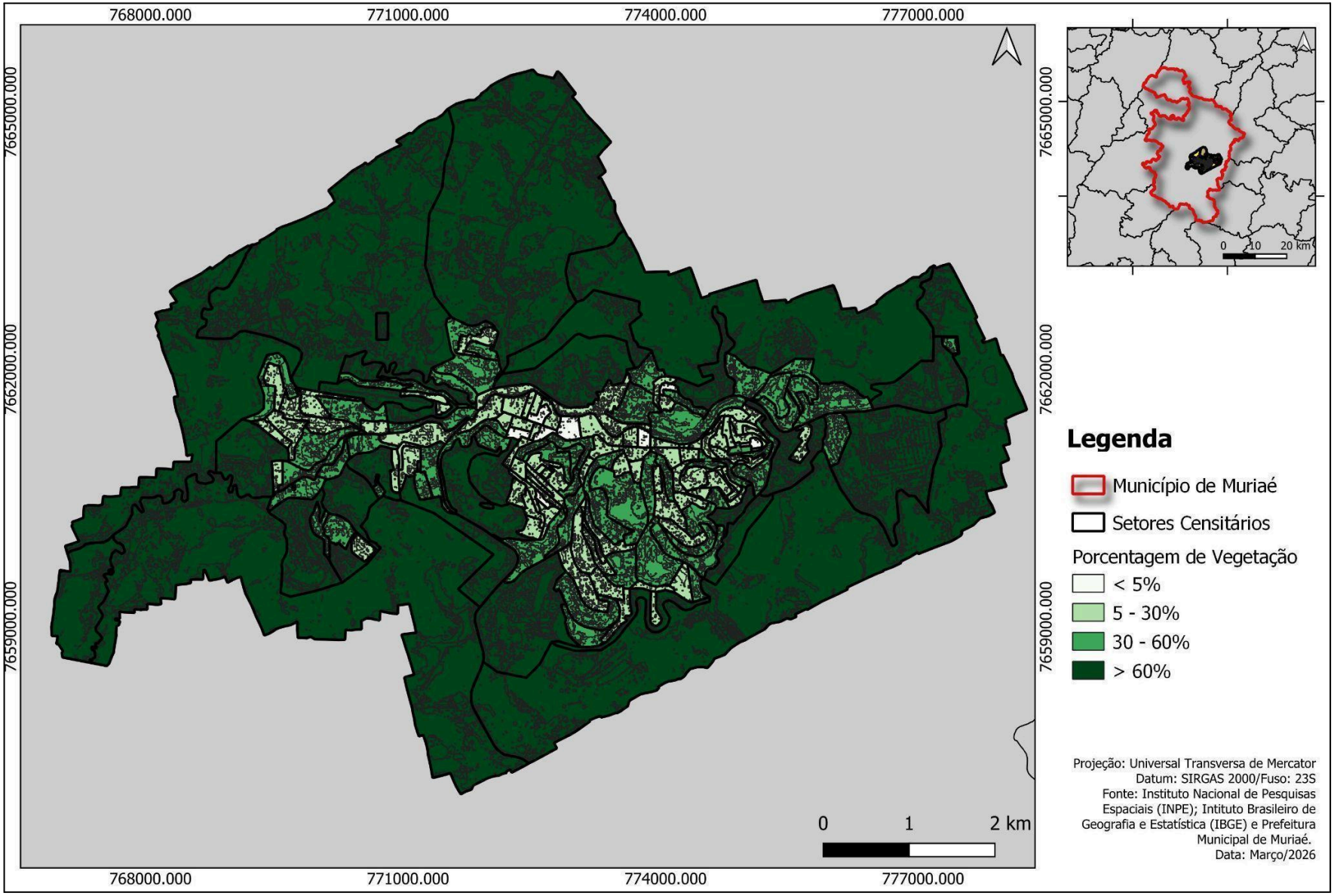
A presença de vegetação contribui com sombreamentos e auxilia no processo de resfriamento do ambiente, sendo portanto, importante no conforto térmico e na formação de microclimas mais amenos dentro do território, o que a torna uma importante variável ambiental a ser incluída na criação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental. A seguir, nas figuras 22 e 23 têm-se os mapas de uso e cobertura do solo, assim como o mapa de presença de vegetação por setor censitário.

Figura 22 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo em Muriaé - CBERS 4A



Fonte: Autora (2026)

Figura 23 - Mapa de percentual de vegetação por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Em complementação aos mapas de presença de vegetação e porcentagem da mesma por setor, foi elaborada a tabela 11, com a quantificação dos setores conforme porcentagem de vegetação presente. A análise da tabela a seguir mostra que a maior parte dos setores censitários, 46,63%, de Muriaé possuem uma baixa porcentagem de vegetação presente, corroborando com microclimas mais desconfortáveis termicamente. Interessante destacar que estes setores encontram-se mais concentrados no centro da cidade e em alguns bairros periféricos.

Somente 17,42% do território possui alta presença de vegetação, um número consideravelmente pequeno diante da extensão do território urbano, e estes setores correspondem a áreas bem menos adensadas, com uma característica mais próxima à ruralidade. Segue a tabela 11 com as quantificações de presença de vegetação.

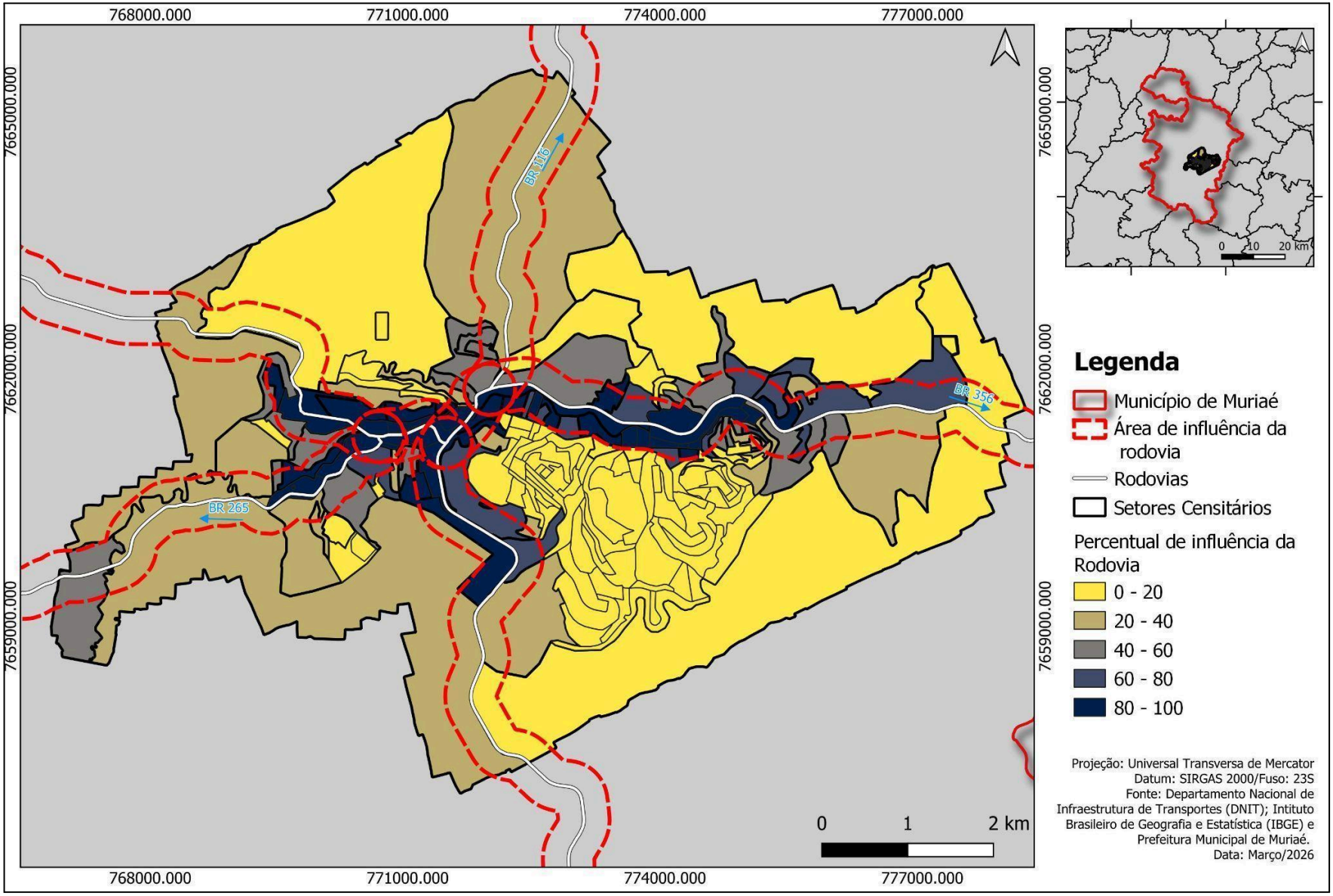
Tabela 11 - Classes de porcentagem de vegetação por setor censitário

Vegetação	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Alta	31	17,42%
Média	56	31,46%
Baixa	83	46,63%
Muito Baixa	8	4,49%

Fonte: Autora (2026)

Mediante análise do mapa de proximidade com rodovias identifica-se que a área urbana possui três entroncamentos rodoviários visíveis e que a própria área urbana acompanha o traçado dessas vias, como apresentado no mapa da figura 24.

Figura 24 - Mapa de percentual de proximidade com rodovias por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Rodovias se caracterizam por serem vias de trânsito rápido, e desde a sua construção exercem significativa pressão no ambiente ao redor, os impactos são diversos, desde ambientais aos de mobilidade urbana. No quesito ambiental as rodovias são prejudiciais tanto para fauna quanto para flora, com o aumento de acidentes entre veículos e animais domésticos e silvestres, além do desmatamento, da vibração/trepidação do terreno, poluição da água e assoreamento de rios próximos, além da poluição sonora, visual e aquática.

Para além disso, as rodovias impactam diretamente no trânsito das demais vias próximas e também na locomoção dos pedestres, sendo necessárias construções de passarelas, para evitar acidentes, sendo que estes ocorrem com maior frequência devido a “facilidade” de se atravessar na pista e não nos espaços corretos, mas que demandam maior tempo de travessia.

Ao analisar as rodovias que cortam a área de estudo foram contabilizadas somente 1 passarela de travessia de pedestres, na altura da “Ponte da Barra” próximo aos bairros Barra e Dornelas, evidenciando a falta de acessibilidade existente, pois essas construções possuem considerável importância para mobilidade urbana no que tange a diminuição de acidentes e atropelamentos em vias de trânsito rápido como rodovias, principalmente para crianças e idosos.

De acordo com o mapa e com a tabela 08 a seguir é possível identificar 36 setores com muito alta influência das rodovias em detrimento à 88 com baixa influência, apesar do contraste significativo, 36 setores na classificação mais alta é um número significativo, ocupando a segunda maior porcentagem do território urbano. O que torna o olhar sobre as rodovias e seus impactos importante nas avaliações públicas no que tange a área ambiental e suas vulnerabilidades. Segue a tabela 12 com as classes e porcentagens:

Tabela 12 - Classes de proximidade com rodovias por setor censitário

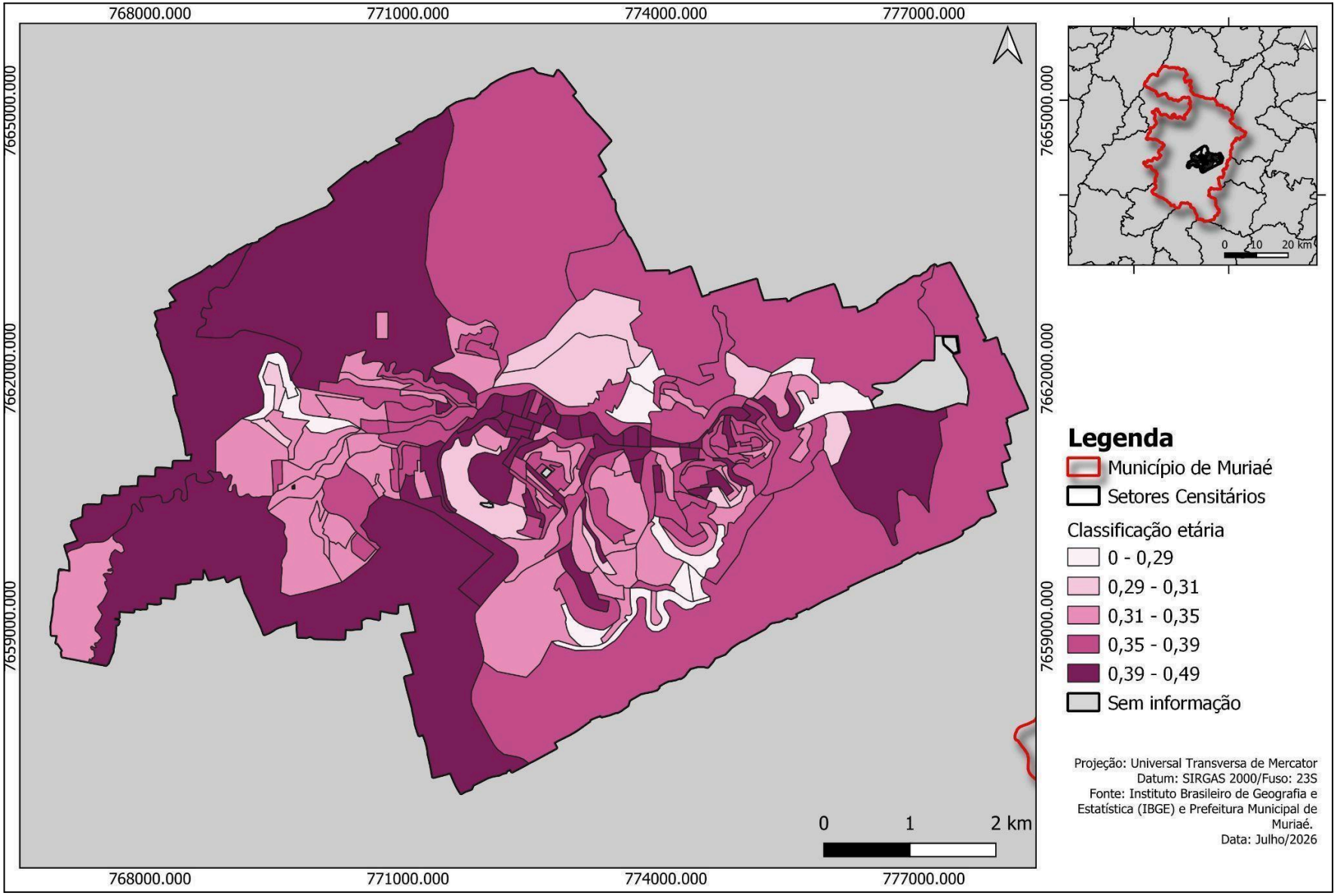
Rodovias	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muito Alta	36	20,22%
Alta	16	8,99%
Média	20	11,24%
Baixa	18	10,11%
Muito Baixa	88	49,44%

Fonte: Autora (2026)

4.2 Mapeamento da vulnerabilidade social

A primeira variável social, de vulnerabilidade etária, que contabilizou a proporção de crianças e idosos dentro dos setores censitários, foi dividida em 5 classes de vulnerabilidade, entre muito baixa à muito alta, segue abaixo o mapa (Figura 25) desta classificação, juntamente com a tabela 13 de porcentagem de cada classe dentro da área de estudo.

Figura 25 - Mapa de vulnerabilidade etária (crianças e idosos) por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Tabela 13 - Classe de vulnerabilidade etária por setor censitário

Crianças e Idosos	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muito Alta	44	24,72%
Alta	56	31,46%
Média	53	29,78%
Baixa	10	5,62%
Muito Baixa	10	5,62%
Sem informação	5	2,81%

Fonte: Autora (2026)

Através do mapa e da tabela, evidencia-se que a área urbana de Muriaé possui, a maioria dos setores (56,18%) com alta e muito alta vulnerabilidade etária, o que indica que o território possui um grande volume de pessoas na faixa etária entre: menor que 14 anos e maior que 60 anos.

Por meio da análise do mapa, identificou-se que os setores em maior escala (Muito Alta) dentro desta classificação, localizam-se, em maioria, nas áreas que correspondem a bairros centrais com maior adensamento populacional.

Porém, há a presença de setores com esta classificação em regiões periféricas, concentrando mais a oeste da área urbana. Esta região, de caráter transitório entre urbano e rural, vem crescendo com o parcelamento de solo e a criação de pequenos “sítios” na região, o que consequentemente está, aos poucos, aumentando a população residente.

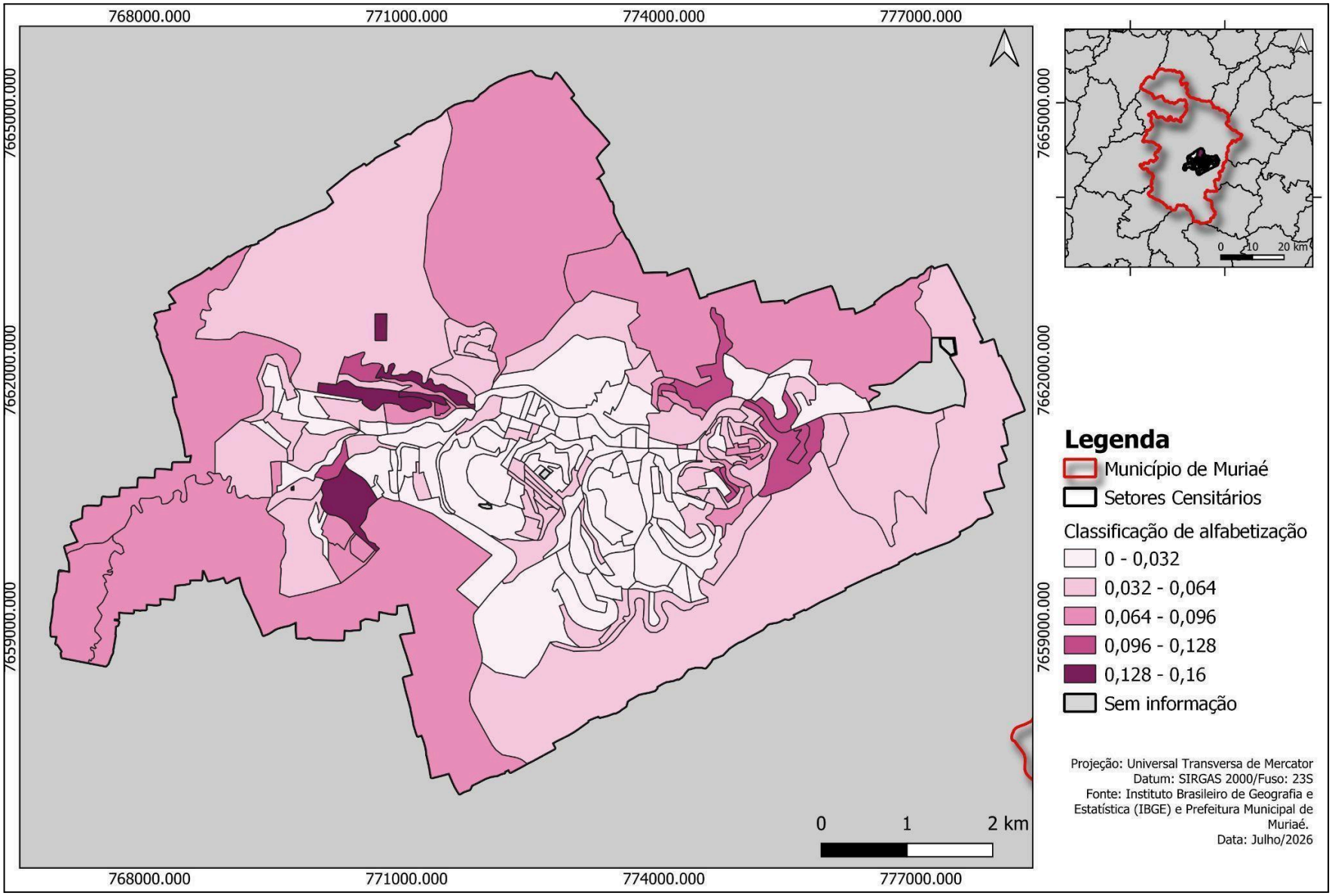
Identifica-se também que a área de estudo, possui relevante vulnerabilidade em relação ao indicador Idade, com 85,96% da sua população identificada entre Média à Muito Alta vulnerabilidade, sendo composta por 153 setores dos 178 totais analisados, enquanto isso, 20 setores possuem Muito Baixa e Baixa vulnerabilidade, somando 11,24% do território.

Nesse cenário, identifica-se que grande parte da população urbana do município de Muriaé possui dificuldades em relação à termorregulação corporal, devido seu sistema imunológico mais fraco e/ou mais comprometido por condições de saúde pré-existentes.

O mapeamento da taxa de analfabetismo por setor censitário revelou que a área urbana de Muriaé possui uma taxa de analfabetos consideravelmente baixa, indicando um acesso à educação por grande parte da população, como indicado

pelo IBGE (2022) em que a porcentagem da escolarização se encontra em 98,96%. Abaixo, apresenta-se na figura 26 o mapa desta variável e em seguida a tabela de porcentagem:

Figura 26 - Mapa de vulnerabilidade por taxa de analfabetismo por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Tabela 14 - Classes de vulnerabilidade por taxa de analfabetismo por setor censitário

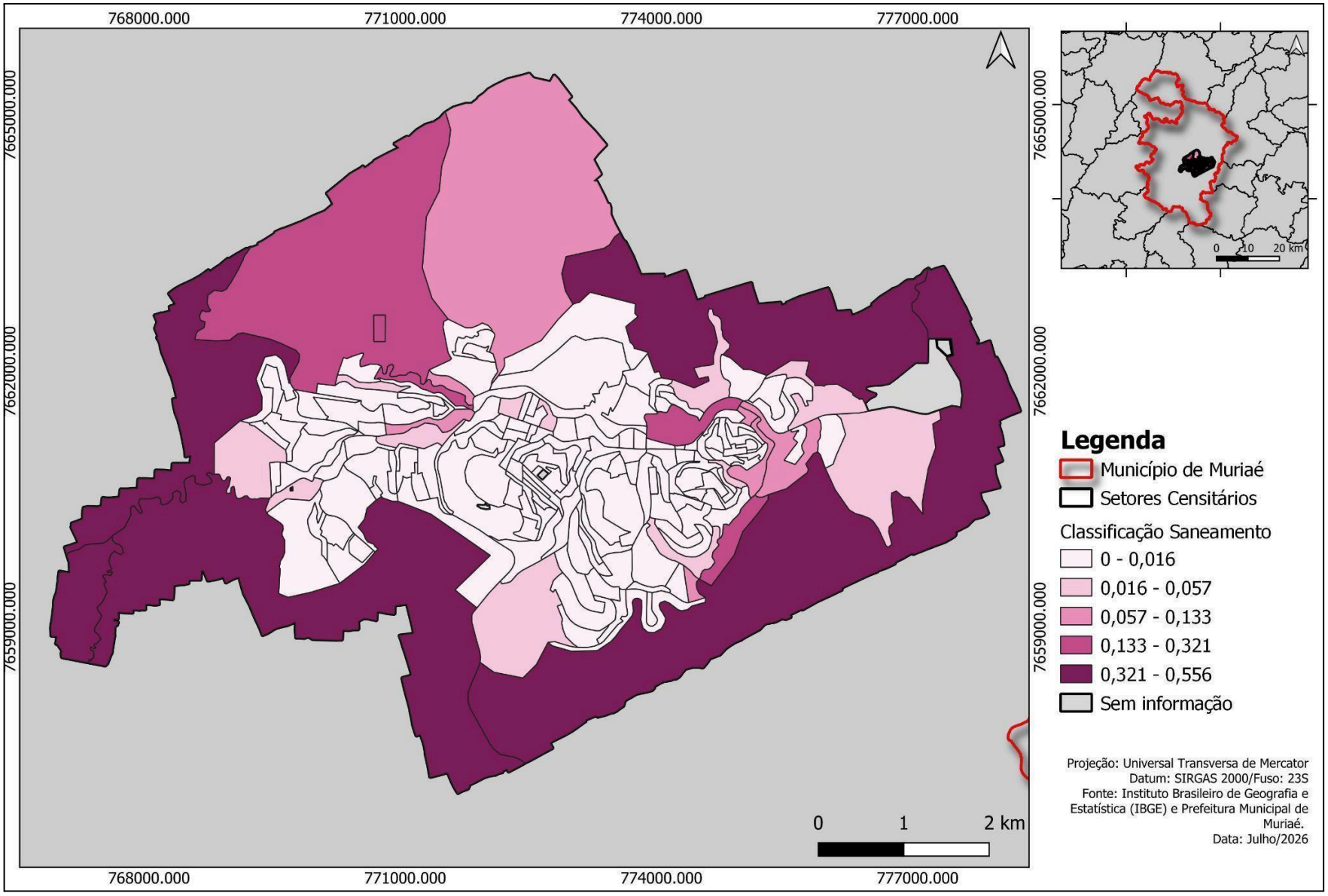
Taxa de analfabetismo	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muito Alta	5	2,81%
Alta	10	5,62%
Média	22	12,36%
Baixa	56	31,46%
Muito Baixa	80	44,94%
Sem informação	5	2,81%

Fonte: Autora (2026)

Somente 8,43% dos setores possuem muito alta e alta vulnerabilidade, em contrapartida com 76,40% dos setores com baixa e muito baixa. Ressalta-se a localização periférica dos setores em que se encontram o maior número de pessoas sem letramento, reforçando Abreu, 2013 afirmando que também a escolaridade é um fator de exclusão socioambiental. Logo, a mesma é um indicativo importante da segregação socioeconômica existente no município. Os demais setores encontram-se em média vulnerabilidade, o que concerne a 12,36%.

A variável de saneamento contemplou três pilares: água, esgoto e coleta de lixo, e a partir do cálculo destes, foi gerada a escala de vulnerabilidade por inadequação de saneamento básico. A área urbana definida pela Prefeitura Municipal de Muriaé apresenta setores que mesclam características urbanas e rurais, como zonas de transição, estas por sua vez, foram identificadas com muito alta vulnerabilidade em relação às condições sanitárias, como apresentado na figura 27 seguir:

Figura 27 - Mapa de vulnerabilidade por inadequação do saneamento por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Diante da análise do mapa, identifica-se também que os setores que apresentam alta vulnerabilidade em saneamento encontram-se também em setores mais periféricos da cidade, em contraponto a região central encontra-se com os níveis mais baixos dentro da escala de classificação.

Apesar do destaque visual dos setores com muito alta e alta vulnerabilidade, estes compõem somente 5,62% de todos os 178 setores analisados, em números inteiros, são apenas 10 setores. Já os setores com baixa e muito baixa vulnerabilidade ocupam a porcentagem de 87,64% do território, indicando que o Departamento Municipal de Saneamento Urbano (Demsur) consegue atender de forma eficiente a maioria da população. Segue abaixo a tabela 15 com a classificação e suas respectivas porcentagem:

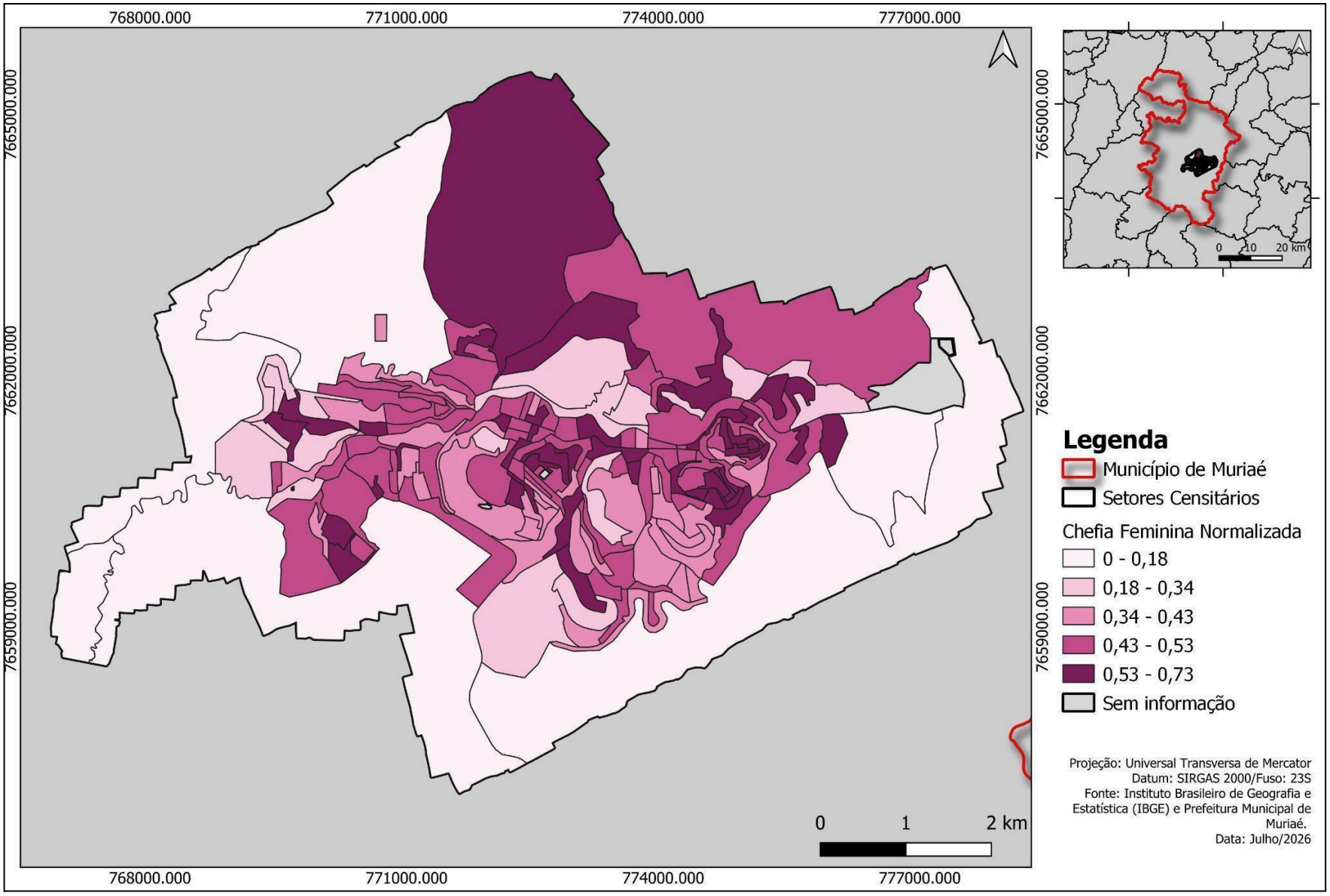
Tabela 15- Classes de vulnerabilidade por inadequação do saneamento por setores censitários

Saneamento Básico	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muito Alta	5	2,81%
Alta	5	2,81%
Média	7	3,93%
Baixa	12	6,74%
Muito Baixa	144	80,90%
Sem informação	5	2,81%

Fonte: Autora (2026)

A questão de gênero é um indicador usado em (Rezende, 2016; IPEA; IVS Paulista e Siqueira-Gay, Dibo, Giannotti, 2017) e que indica vulnerabilidade socioeconômica e adaptativa. Núcleos familiares chefiados por mulheres são mais expostos à desigualdade de renda, muitas vezes pela monoparentalidade. Na área de estudo há um número expressivo de setores que possuem mulheres como responsáveis pelo domicílio, sendo ao todo 114 de 178 ao todo. Segue abaixo mapa representado pela figura 28 e tabela 16 com o quantitativo de setores por classificação:

Figura 28 - Mapa de vulnerabilidade por chefia feminina no domicílio por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Tabela 16 - Classes de vulnerabilidade por chefia feminina por setor censitário

Mulheres Chefes de Família	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muito Alta	47	26,40%
Alta	67	37,64%
Média	36	20,22%
Baixa	17	9,55%
Muito Baixa	6	3,37%
Sem informação	5	2,81%

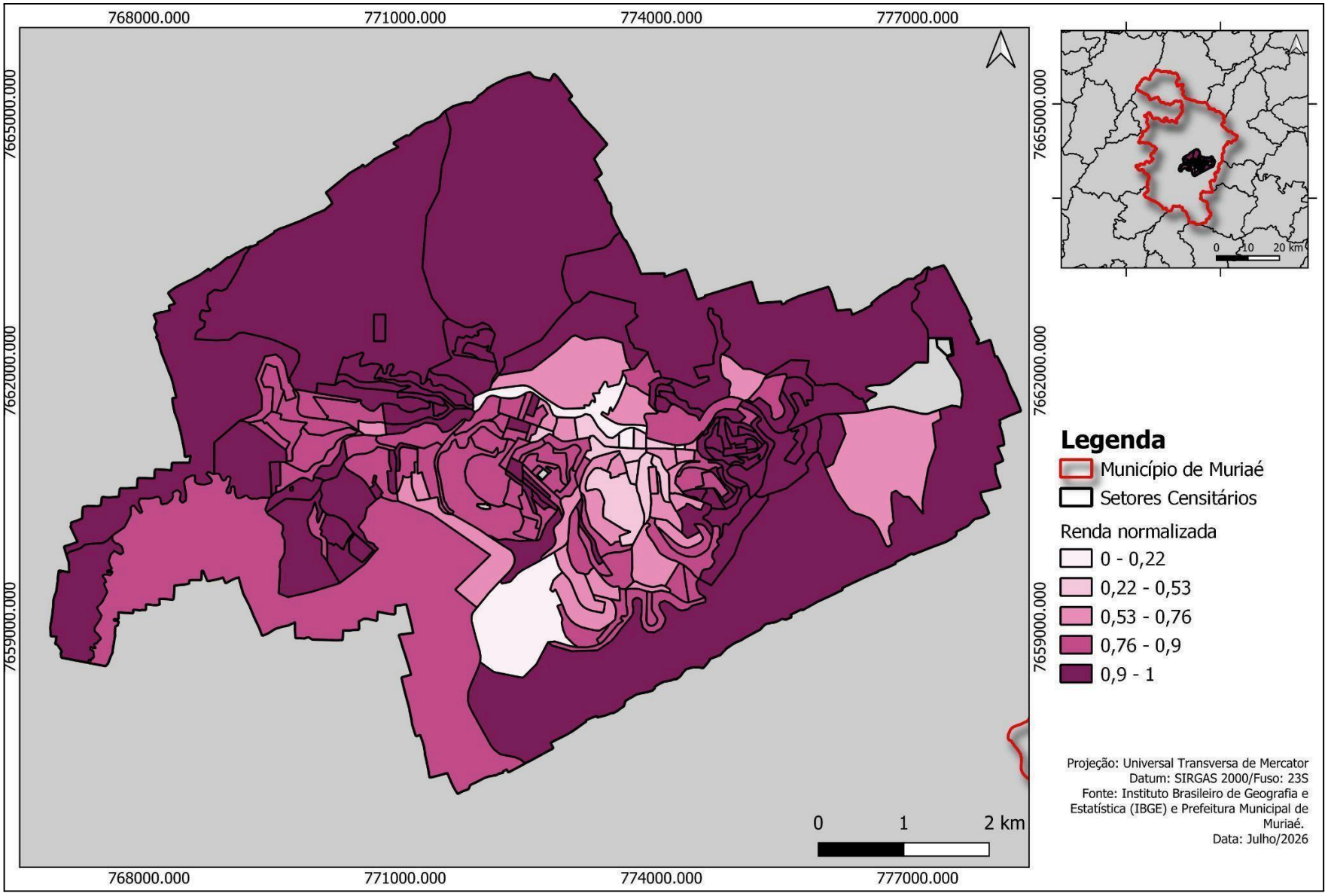
Fonte: Autora (2026)

Conforme análise dos resultados, verifica-se a muito alta e alta vulnerabilidade, compondo 64,04% dos setores analisados, ou seja, mais da metade dos setores urbanos de Muriaé possuem mulheres como chefes de família nos domicílios. Entretanto, a espacialização desta variável em relação às demais é notavelmente mais homogênea no território, tanto em setores periféricos, quanto centrais.

Apesar desta característica, identifica-se que a maioria dos setores com uma classificação muito alta encontra-se em bairros mais distantes dos setores centrais. Por outro lado, 23 setores correspondendo a 12,92% possuem baixa e muito baixa vulnerabilidade, ficando 36 (20,22%) setores com média vulnerabilidade.

A última variável definida para compor o IVS, a renda média do responsável pelo domicílio, foi um importante indicador para identificar os setores com maiores condições de resiliência e adaptabilidade frente às condições ambientais e às mudanças climáticas. A renda é o fator norteador da capacidade de um domicílio mitigar os efeitos do desconforto térmico e os resultados obtidos apresentam-se na figura 29 e na tabela 17, a seguir:

Figura 29 - Mapa de vulnerabilidade de renda do responsável pelo domicílio por setor censitário em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Tabela 17 - Classes de vulnerabilidade pela renda do responsável por setor censitário

Renda Média do Responsável	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muito Alta	75	42,13%
Alta	60	33,71%
Média	26	14,61%
Baixa	9	5,06%
Muito Baixa	4	2,25%
Sem informação	5	2,81%

Fonte: Autora (2026)

A renda foi calculada e normalizada a fim de identificar os setores em que a renda mais se aproxima do salário mínimo da época (R$1.212,00) e as que mais se distanciam, haja vista que o valor mínimo do setor foi de aproximadamente 1 salário mínimo (1.217,00). Salienta-se que a maioria (75,84%) dos setores apresentam vulnerabilidade altas em relação à renda, grande parte destes setores, por sua vez, estão inseridos em bairros de localização periférica, como os bairros do Porto, São Joaquim, Joanópolis, União, Aeroporto, Gaspar e Marambaia.

Nos setores localizados na região central e no bairro da Gávea, o nível de vulnerabilidade é muito baixo a baixo. Porém, destaca-se que a grande maioria da população vive sob condições de considerável vulnerabilidade, pois ao somar a média vulnerabilidade com a alta e muito alta, tem-se o somatório de 90,45% da população com dificuldades de acesso a bens e serviços intrínsecos à mitigação, adaptação e sensibilidade ao desconforto gerado pelas altas temperatura e aos eventos climáticos oriundos da mesma.

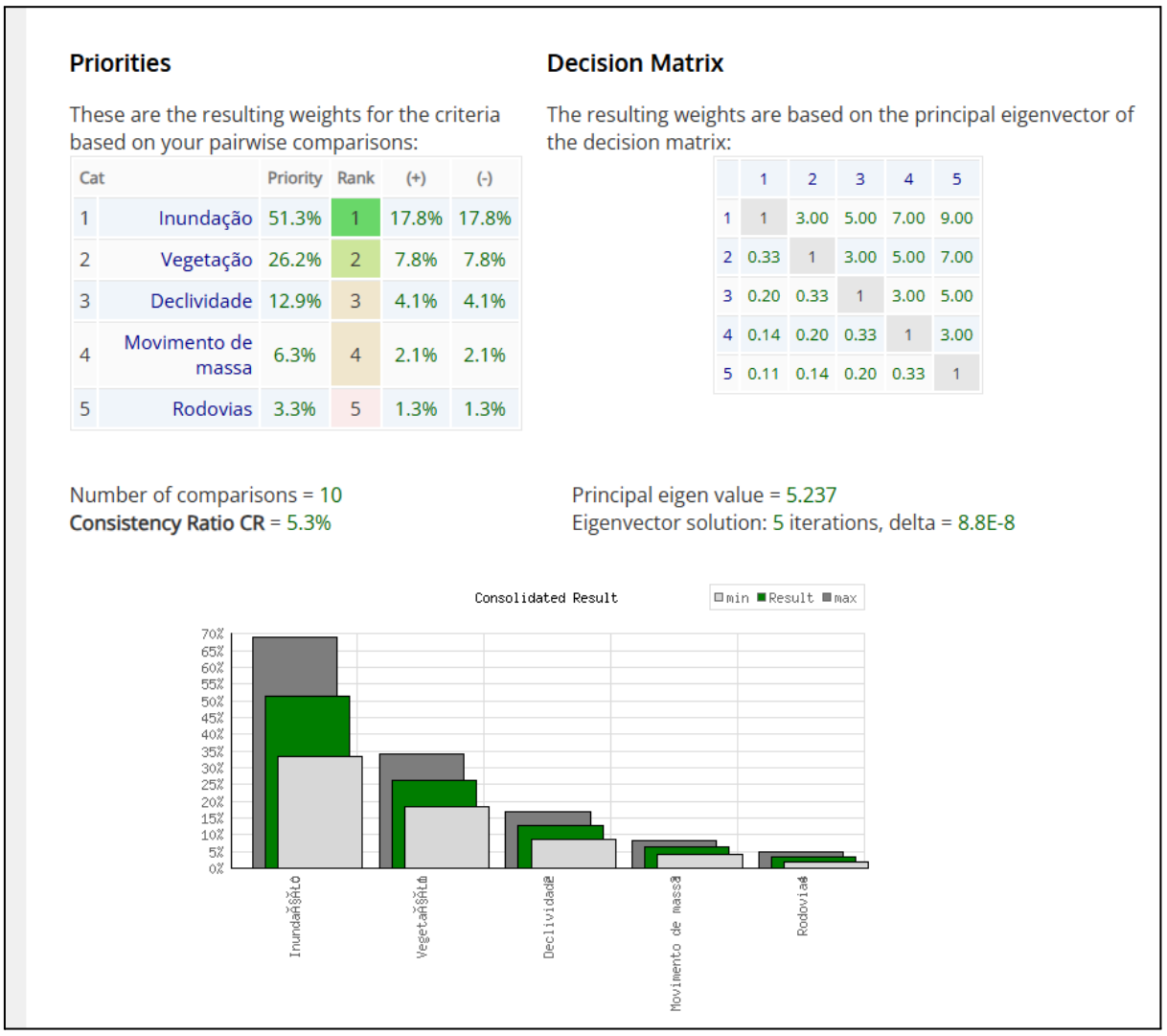
4.3 Resultados da aplicação da Análise Hierárquica de Prioridade (AHP)

Logo em seguida a aplicação da equação dentro dos pesos definidos para as variáveis e para os índices, o resultado obtido foi de uma Razão de Consistência de 5,3%, para Vulnerabilidade Ambiental, 3,1% para Vulnerabilidade Social e 0,0% para socioambiental. O que mostra que os pesos aplicados corresponderam à uma boa Razão de Consistência, denotando a possibilidade de continuação do método, tendo em vista os bons resultados obtidos.

Além da aplicação dos pesos e o cálculo da Razão de Consistência, o método calcula o Vetor de Prioridade de cada critério em comparação ao outro, sendo este o valor a ser multiplicado dentro da calculadora raster para criação do Índice de

Vulnerabilidade. O resultado da Razão de Consistência e Vetor de Prioridade do Índice de Vulnerabilidade Ambiental, Social e Socioambiental seguem abaixo na figura 30, 31 e 32:

Figura 30 - Matriz de decisão, Razão de Consistência e Pesos dos critérios do Índice de Vulnerabilidade Ambiental



Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons:

Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	Inundação	51.3%	1	17.8%	17.8%
2	Vegetação	26.2%	2	7.8%	7.8%
3	Declividade	12.9%	3	4.1%	4.1%
4	Movimento de massa	6.3%	4	2.1%	2.1%
5	Rodovias	3.3%	5	1.3%	1.3%

Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix:

	1	2	3	4	5
1	1	3.00	5.00	7.00	9.00
2	0.33	1	3.00	5.00	7.00
3	0.20	0.33	1	3.00	5.00
4	0.14	0.20	0.33	1	3.00
5	0.11	0.14	0.20	0.33	1

Number of comparisons = 10
Consistency Ratio CR = 5.3%

Principal eigen value = 5.237
Eigenvector solution: 5 iterations, delta = 8.8E-8

Fonte: Autora (2026)

Figura 31 - Matriz de decisão, Razão de Consistência e Pesos dos critérios do Índice de Vulnerabilidade Social

Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons:

Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	Média da Renda do Responsável pelo Domicílio	49.1%	1	13.7%	13.7%
2	Saneamento Básico	22.9%	2	4.8%	4.8%
3	Mulheres Responsáveis pelo Domicílio	14.4%	3	3.0%	3.0%
4	Idade	9.2%	4	2.3%	2.3%
5	Alfabetização	4.4%	5	1.5%	1.5%

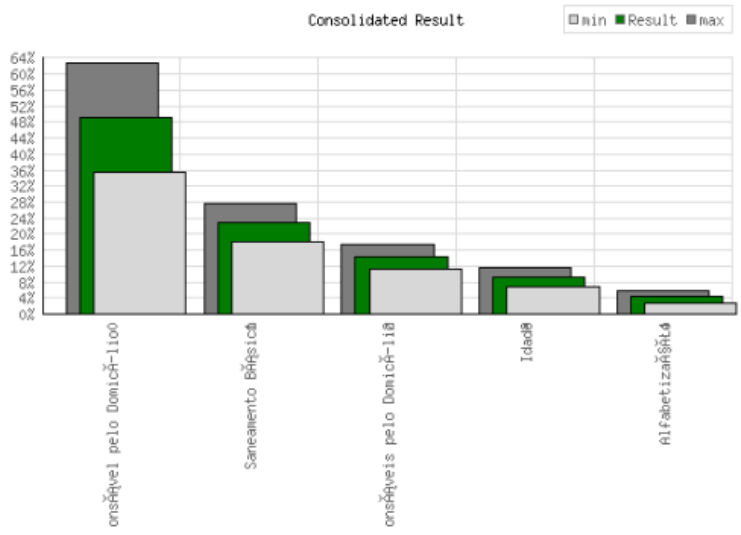
Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix:

	1	2	3	4	5
1	1	3.00	4.00	5.00	7.00
2	0.33	1	2.00	3.00	5.00
3	0.25	0.50	1	2.00	4.00
4	0.20	0.33	0.50	1	3.00
5	0.14	0.20	0.25	0.33	1

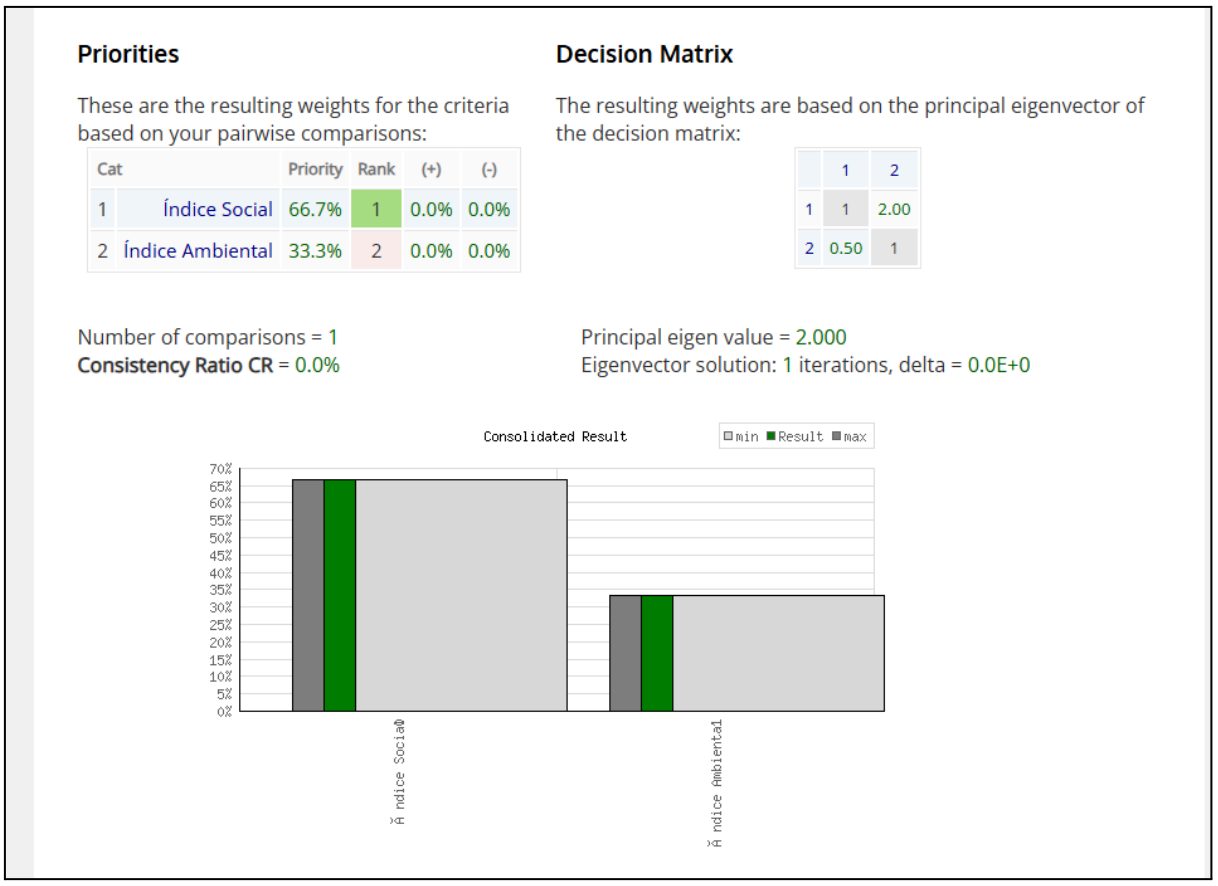
Number of comparisons = 10
Consistency Ratio CR = 3.1%

Principal eigen value = 5.138
Eigenvector solution: 4 iterations, delta = 5.1E-8



Fonte: Autora (2026).

Figura 32- Matriz de decisão, Razão de Consistência e Pesos dos critérios do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental



Fonte: Autora (2026)

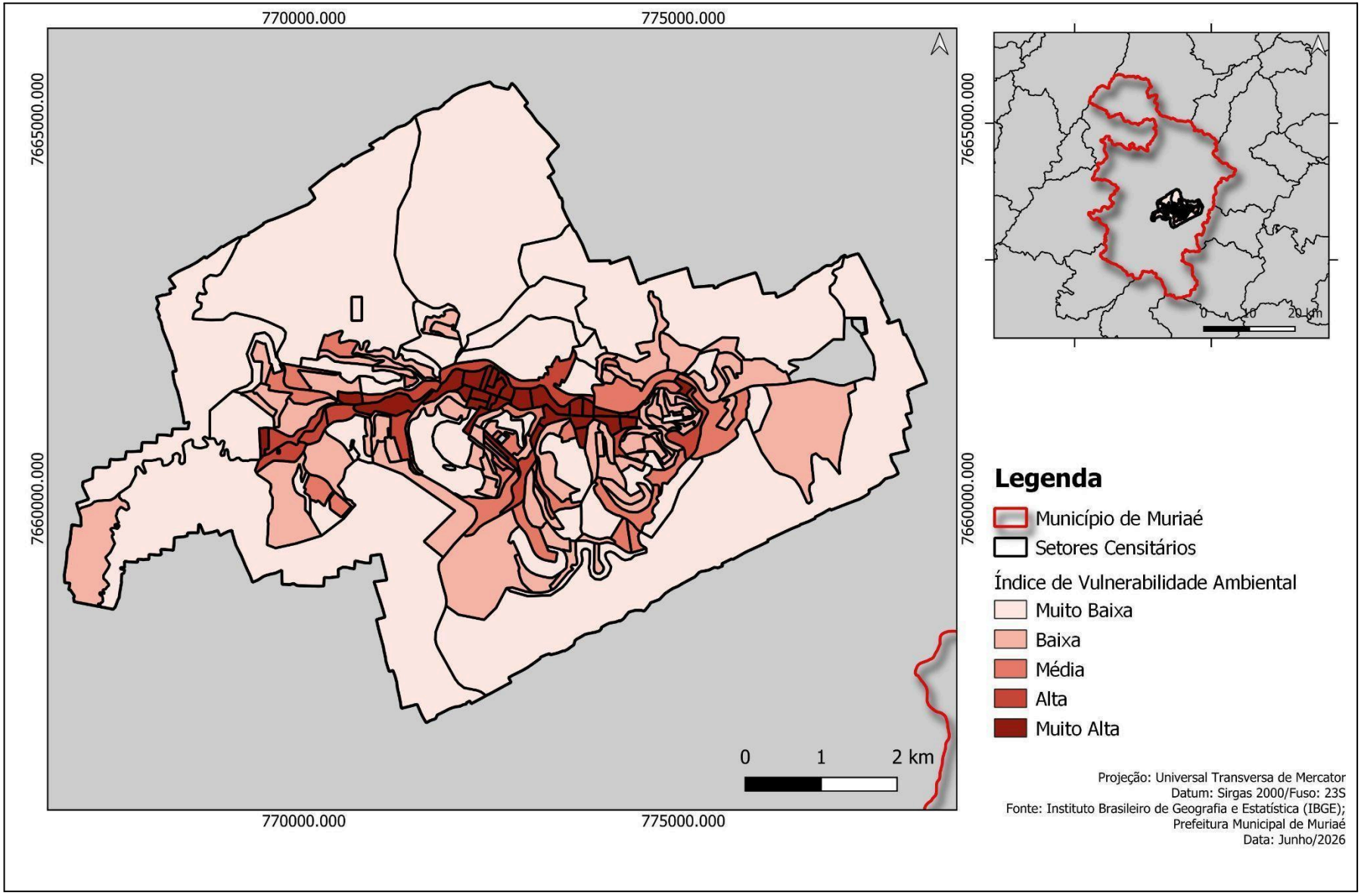
4.4 Resultado do Índice de Vulnerabilidade Ambiental

A álgebra de mapas foi realizada conforme a equação abaixo, dentro da calculadora de raster no software Qgis:

$$IVA = (51.3 \cdot In) + (26.2 \cdot Veg) + (12.9 \cdot Dec) + (6.3 \cdot MM) + (3.3 \cdot Rod)$$

Após a álgebra de mapas, obteve-se o Índice de Vulnerabilidade Ambiental dos setores censitários. Foram 5 classes de vulnerabilidade: Muito baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta. Considerando o peso dado a 5 variáveis, o mapa criado a partir da álgebra desses pesos coincidiu com a dinâmica escolhida, como mostra a figura 33 a seguir:

Figura 33 - Mapa de Índice de Vulnerabilidade Ambiental de Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Ao observar o mapa, percebe-se uma gradualidade dos setores mais vulneráveis ambientalmente para os menos vulneráveis, conforme há um distanciamento dos riscos com maiores pesos, como inundação e presença de vegetação. Frente a isso, é importante salientar que os setores em que a mancha de urbanização é mais presente, são os setores com maior vulnerabilidade, denotando que o adensamento urbano é um fator importante em tornar os territórios mais vulneráveis.

Historicamente, tal como as cidades não só brasileiras, mas do mundo, as primeiras ocupações foram às margens dos rios principais, e com Muriaé não foi diferente. Observa-se nos mapas de uso e cobertura do solo e também nos mapas de índice de vegetação e por fim, no mapa de índice de Vulnerabilidade ambiental, que há uma faixa de adensamento urbano concentrada nos setores mais próximos do rio Muriaé, que diminui progressivamente mediante o distanciamento do leito do rio.

Assim, os setores censitários com menor vulnerabilidade encontram-se na periferia do traçado urbano, nota-se concomitantemente que estes também são setores com maior área agregada, áreas maiores de cobertura vegetal e consequentemente com maior permeabilidade do solo, além de estarem mais distantes do leito do Rio Muriaé, que é o responsável pelo maior peso na escala determinada.

Entretanto, identificam-se setores censitários “distantes” das margens do rio com muito alta e alta vulnerabilidade ambiental, mas que possuem fatores de alto risco no quesito declividade e movimentos de massa e baixa porcentagem de vegetação, indicando que o AHP conseguiu calcular as demais variáveis conforme os pesos atribuídos a elas.

Para melhor compreensão do território, foi quantificada a porcentagem de setores pelas classes definidas de vulnerabilidade, conforme a tabela 18 a seguir:

Tabela 18 - Classe de vulnerabilidade ambiental por setor censitário

IVA	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muita Alta	31	17,42%
Alta	11	6,18%
Média	25	14,04%
Baixa	73	41,01%
Muito Baixa	38	21,35%

Fonte: Autora (2026)

Dos 178 setores censitários analisados, destaca-se que 41,01% , quase metade do território, é composto por baixa vulnerabilidade ambiental, enquanto 21,35% possui muito baixa vulnerabilidade ambiental, juntos somam 62,36% dos setores com classes de menor vulnerabilidade. Contudo, 17,42% vivem num contexto de muito alta vulnerabilidade e 6,18% em nível alto, somando 23,6% do território em que as famílias estão expostas a uma maior vulnerabilidade ambiental. Enquanto 14,04% da população encontra-se em média vulnerabilidade.

O índice de vulnerabilidade ambiental é um importante mediador de políticas públicas, com a elaboração deste índice é possível identificar os setores que necessitam de maior intervenção pública para mitigação dos efeitos dos riscos ambientais mais latentes em cada setor.

A própria identificação do quantitativo das variáveis ambientais contribui para melhor direcionamento das intervenções em cada setor, segundo as carências ambientais de cada um, seja em diminuição de riscos atrelados a inundação, ou mesmo na contenção de encostas onde o risco de movimento de massa é mais presente, também na construção de respiros urbanos, locais onde a natureza consegue lugar em meio a urbanização feroz.

Contribui também para implementação de políticas de mobilidade urbana voltadas a amenização dos impactos gerados pelas rodovias, com a criação de passarelas e com o plantio de árvores dentro do limite *non aedificandi* pertencente ao DNIT, entre outras medidas possíveis para melhorar a qualidade de vida da população mais vulnerável.

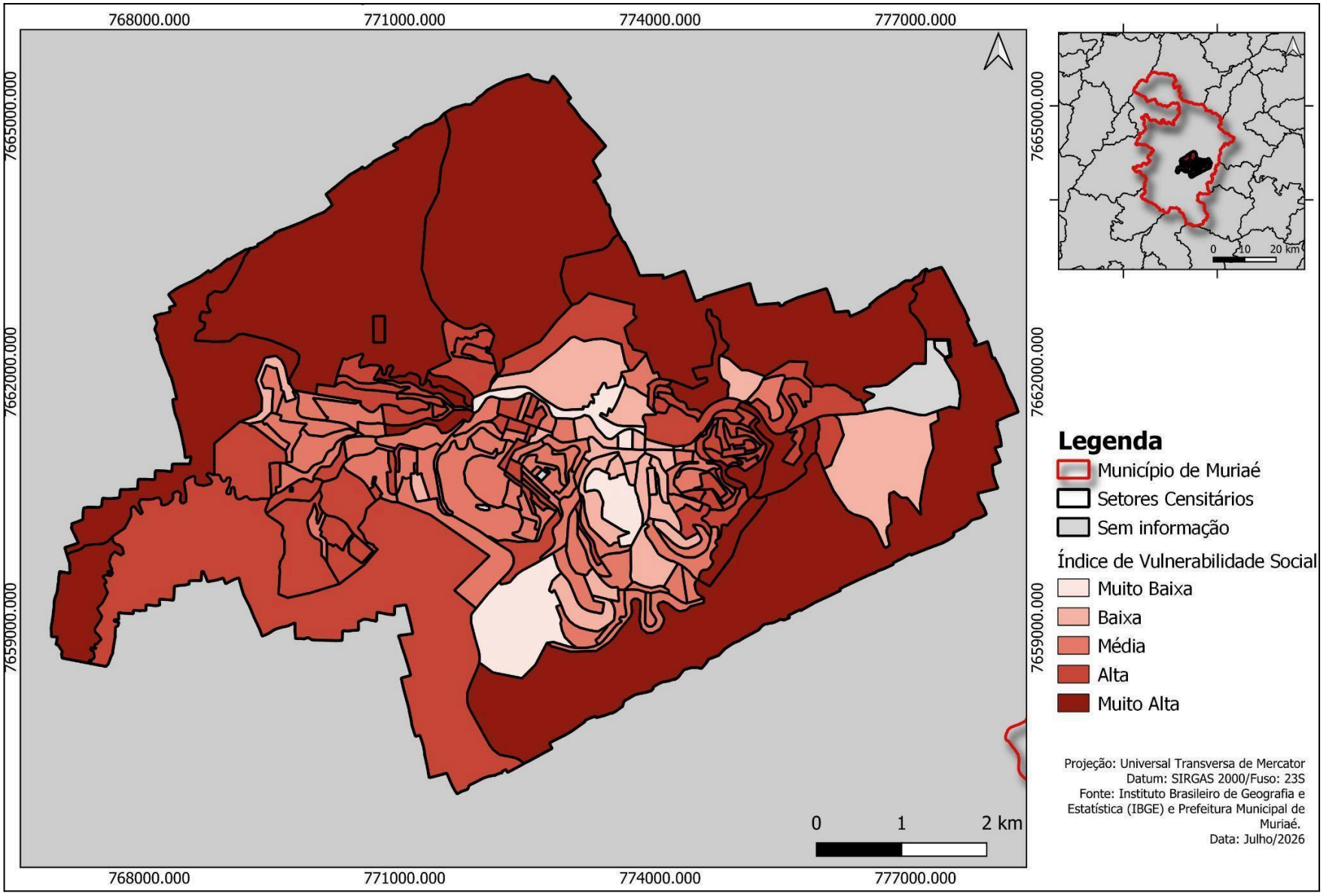
4.5 Resultado do Índice de Vulnerabilidade Social

O Índice de Vulnerabilidade Social também foi classificado em 5 níveis de escala: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto, a partir da equação:

$$IVS = (49{,}1 \cdot Rn) + (22{,}9 \cdot Sa) + (14{,}4 \cdot M) + (9{,}2 \cdot Ci) + (4{,}4 \cdot A)$$

Este índice considerou a soma de todas as variáveis conforme o peso atribuído a elas, por meio do AHP. Além do mapa, foi gerada a tabela de porcentagem de setores censitários conforme nível de vulnerabilidade. Abaixo seguem a figura 34 representando o mapa e a tabela 19:

Figura 34 - Mapa de Índice de Vulnerabilidade Social de Muriaé



Fonte: Autora (2026)

Tabela 19 - Classes de vulnerabilidade social por setor censitário

IVS	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muita Alta	15	8,43%
Alta	69	38,76%
Média	60	33,71%
Baixa	24	13,48%
Muito Baixa	5	2,81%
Sem informação	5	2,81%

Fonte: Autora (2026)

Ao analisar o mapa nota-se uma distribuição periférica dos setores com muito alta vulnerabilidade e alta vulnerabilidade, corroborando com Abreu (2013) que afirma que a exclusão no Brasil já ultrapassou campos étnicos e adentrou campos socioeconômicos, influenciando também nos locais de residência. Sendo possível identificar a periferização da vulnerabilidade social. Dentre os 178 setores analisados, 15 encontram-se com muito alta vulnerabilidade e 69 em alta vulnerabilidade, totalizando 84 (47,19%) setores censitários mais sensíveis socioeconomicamente.

Outrossim, identifica-se na espacialização das vulnerabilidades uma concentração dos setores com média vulnerabilidade na porção oeste do território, onde o padrão de ocupação é mais próximo das características centrais, porém, não é a região central, no quesito socioeconômico, como explicita o mapa acima.

Interessante observar que grande parte do padrão espacial dos setores com média vulnerabilidade estão entre regiões com muito alta vulnerabilidade e baixa e muito baixa, indicando setores de transição entre as áreas. Ao todo são 60 setores de nível médio, correspondendo a 33,71% do território.

Já os setores com baixa e muito baixa vulnerabilidade encontram-se mais concentrados na região central da cidade, salvo alguns setores mais afastados. Esta espacialização denota a concentração de renda e acesso a bens e serviços, além de melhor estruturação urbana, na área central. O que torna a população destes setores menos vulneráveis socioeconomicamente e com maior capacidade de adaptabilidade. Estes setores equivalem a 16,29% do território, indicando minoria frente ao total analisado.

O índice de vulnerabilidade social consegue captar as variações socioeconômicas, onde concentra-se o capital e as melhores condições de serviços

públicos e as áreas em que se encontra a população mais vulnerável no quesito demográfico e econômico do território, neste trabalho, essas populações foram identificadas a partir da renda, do gênero do chefe de família, do acesso ao saneamento básico, o nível de escolarização e a idade da população mais vulnerável organicamente e portanto mais dependente.

A soma desses fatores, conforme ponderação AHP conseguiu mapear nuances geográficas claras, que correspondem a processos sociais históricos de espacialização do capital e relações de poder (Lefebvre, 1974), em adição a isso identifica-se também o processo de urbanização sem planejamento e a criação de áreas de ocupação irregular (Santos, 2005) com menor a infraestrutura urbana e o acesso a bens e serviços.

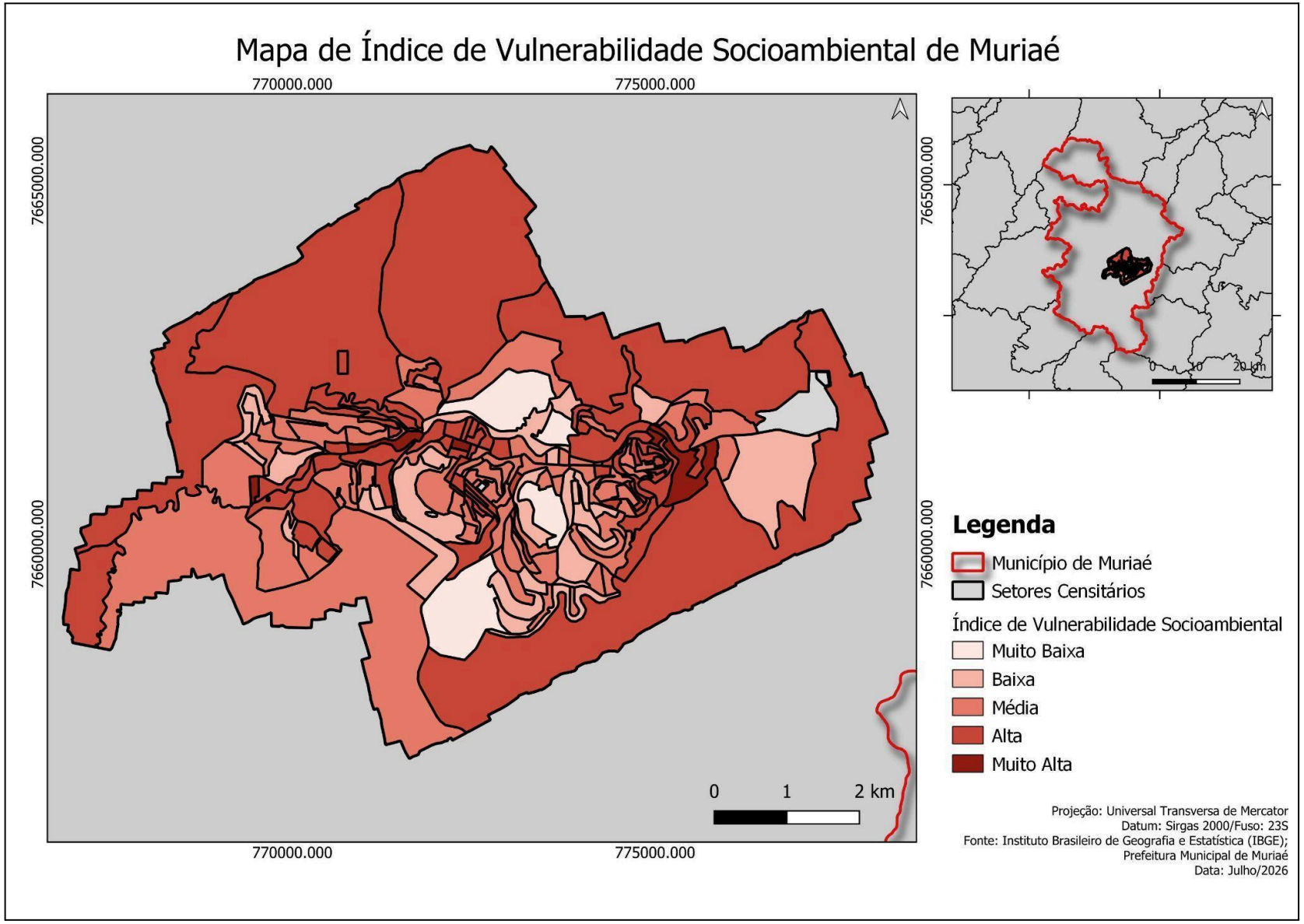
Salienta também, que o mapeamento deste índice corrobora para a identificação de setores, áreas e regiões que precisam de maior intervenção de políticas públicas, seja na promoção de acesso a educação, a oficinas e cursos para aprimoramento profissional, infraestrutura urbana e de serviços, a fim de melhorar a condição de vida dessas populações, através da melhoria da renda, da construção de equipamentos públicos comunitários que prestem suporte a esta população.

4.6 Resultado do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental

O resultado do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental se apresenta na figura 35 conforme equação abaixo:

$$IVSA = (66{,}7 \cdot Vs) + (33{,}3 \cdot Va)$$

Figura 35 - Mapa de Índice de Vulnerabilidade Socioambiental de Muriaé



Fonte: Autora (2026)

O quantitativo de cada nível de classificação por setor censitário consta na tabela 20 abaixo:

Tabela 20- Classes de vulnerabilidade socioambiental por setor censitário

IVS	Quantidade de Setores	Porcentagem (%)
Muita Alta	5	2,81%
Alta	73	41,01%
Média	64	35,96%
Baixa	27	15,17%
Muito Baixa	4	2,25%
Sem informação	5	2,81%

Fonte: Autora (2026)

O resultado do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental foi gerado através da soma ponderada dos índices de vulnerabilidade social e ambiental. Essa interpolação de resultados gerou um mapa capaz de identificar as áreas mais vulneráveis dentro da região urbana do município e mapear o quantitativo de cada nível de vulnerabilidade.

Observa-se uma heterogeneidade de vulnerabilidades, mas com padrões espaciais conexos com os pesos atribuídos nos critérios estabelecidos para cada índice, com ponderação maior para o índice social, mediante conceito de adaptabilidade e mitigação (IPCC, 2023); assim verifica-se os setores com alta vulnerabilidade nas regiões periféricas, em que aparecem com muito alta vulnerabilidade social, correspondendo á 43,82% dos setores urbanos.

Nota-se também a presença de alta e muito alta vulnerabilidade nos setores localizados em uma faixa central, onde localiza-se os setores que possuem conexão com as áreas de inundação que receberam o maior peso na classificação ambiental, porém identifica-se que mesmo a região central da cidade possuindo muito alto risco de inundação, a mesma foi identificada com baixo e muito baixo risco socioambiental. Ou seja, a variável social não elimina o risco ambiental, porém consegue minimizar a vulnerabilidade da população residente nestes setores, que possui maior capacidade de resiliência às questões ambientais existentes no local.

Importante salientar os setores que são calculados com muito alta vulnerabilidade socioambiental e sua espacialização no contexto urbano. Essas áreas prioritárias estão localizadas em regiões de periferia ou de muito alta

vulnerabilidade de inundação, denotando que o espaço urbano brasileiro é capitalizado e, portanto, moldado conforme relações de poder, idade, gênero, organização familiar e relações de produção (Lefebvre, 1974).

Os setores com muito baixa e baixa vulnerabilidade se fazem presentes em toda a área urbana (17,42%), apesar de centralizado na região mais central, o índice mostrou a relação entre os dois fatores determinantes, sendo possível identificar setores com alta vulnerabilidade social, que ficaram com baixa vulnerabilidade socioambiental, haja vista que ambientalmente apresentam-se com muito baixa vulnerabilidade ambiental dentre os critérios analisados.

Em suma, verifica-se que uma área urbana bem heterogênea, em que ambientalmente e socialmente, os setores divergem em escalaridade extrema, mas que interpolados apresentaram uma vulnerabilidade socioambiental conforme junção estatística. Este índice, por outro lado, traz luz aos locais que necessitam de mais ou menos investimentos públicos em relação à mitigação de riscos, sejam eles ambientais ou sociais, que podem ser melhor direcionados através da análise dos mapas dos índices separados.

Dentro deste contexto, é necessário evidenciar a necessidade de intervenções nos setores de planície de inundação do Rio Muriaé, que apresentaram maioria de setores com alta e muito alta vulnerabilidade socioambiental, indicando a baixa capacidade desta população de conseguir diminuir os impactos destes eventos. Ademais, outros setores identificados com alta e muito alta vulnerabilidade, como no extremo leste da área mais adensada e também na região que comporta os bairros Safira e Planalto, apresentam uma necessidade de intervenção em relação, principalmente a criação de espaços verdes, respiros urbanos, a fim de diminuir o risco quanto a baixa vegetação e permeabilidade desses locais, como também a risco geomorfológico, pois esses setores apresentaram os níveis mais altos em relação a declividade e movimentos de massa.

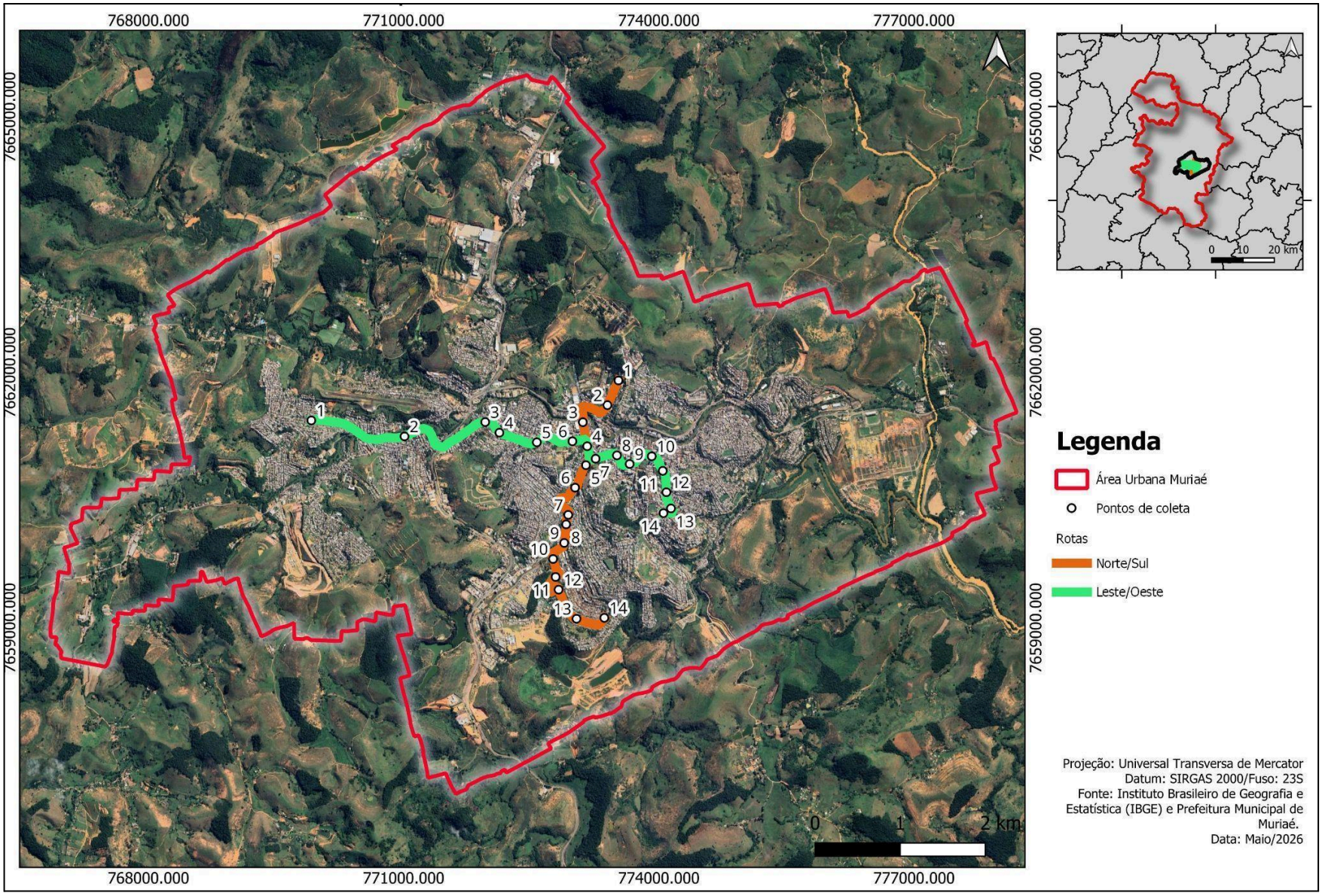
Ademais, vale destacar os setores de transição na borda da área urbana, que obtiveram o nível alto de vulnerabilidade socioambiental, estes setores, apresentam baixa população e por serem setores transitórios entre o urbano/rural e aglomerados irregulares, possuem baixa infraestrutura urbana e de renda também, o que foi identificado no mapa de índice de vulnerabilidade social. Que através da interpolação dos dados obteve o nível alto de vulnerabilidade socioambiental.

Com este mapeamento de vulnerabilidade é possível o cruzamento dos dados socioambientais com os dados termais, que analisaram as áreas com maiores temperaturas tanto de superfície, quanto às temperaturas do ar, o que concerne ao objetivo desta pesquisa, que é analisar se as áreas mais vulneráveis sofrem com as altas temperaturas e com o desconforto térmico, tendo em mente a pouca capacidade de resiliência desta população.

4.7 Resultados dos Transectos Móveis

Após as análises realizadas para definição das rotas dos transectos e dos pontos de coleta de temperatura, conforme mapa a seguir na Figura 36, deu-se início o procedimento metodológico:

Figura 36 - Mapa das rotas do transecto móvel em Muriaé



Fonte: Autora (2026)

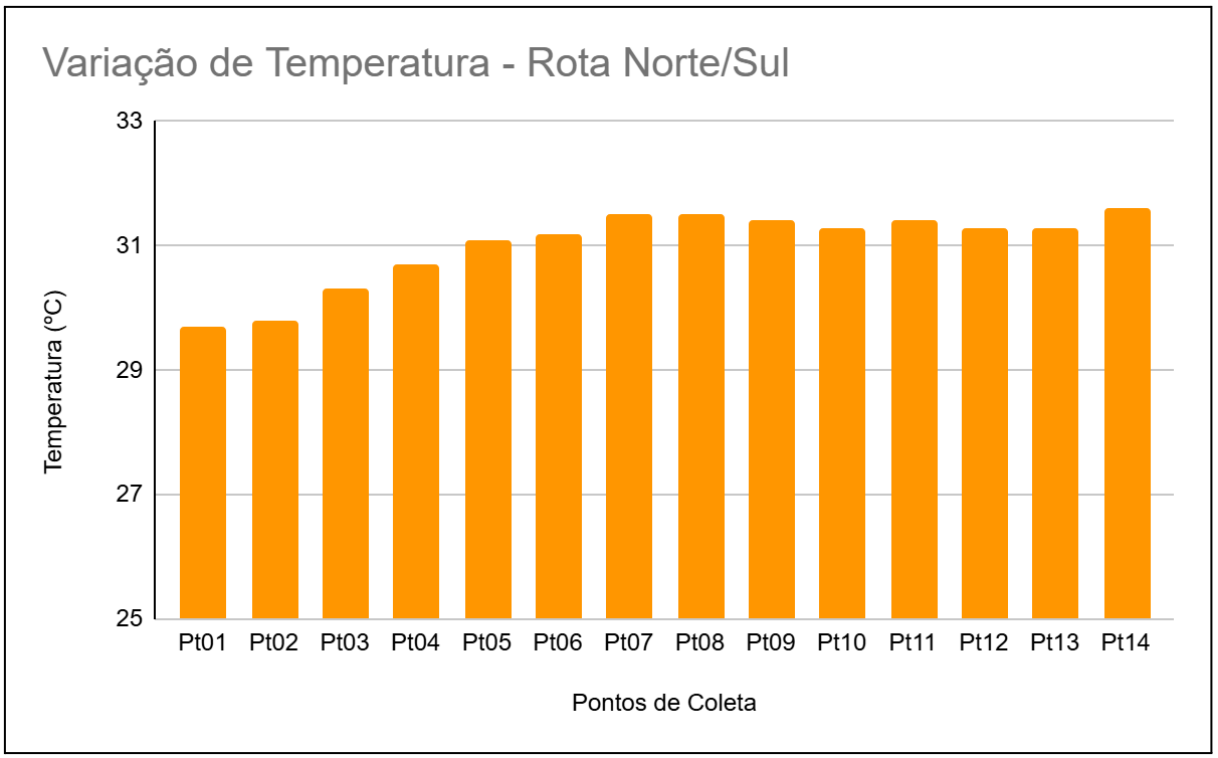
Ao longo de 1h de aferição térmica em campo, obteve-se a temperatura dos 14 pontos de coleta definidos, que estão tabulados (tabela 21) e trabalhados nos gráficos 01 e 02:

Tabela 21 - Pontos de coleta do transecto móvel realizado em Muriaé

TRANSECTO MÓVEL (18/04/2026)					
Rota Norte/Sul			Rota Leste/Oeste		
Pontos	Temperatura	Horário	Pontos	Temperatura	Horário
Pt01	29.7	19h39	Pt01	30.9	19h36
Pt02	29.8	19h43	Pt02	30.5	19h42
Pt03	30.3	19h51	Pt03	29.5	19h47
Pt04	30.7	19h55	Pt04	30.1	19h50
Pt05	31.1	19h58	Pt05	30.6	19h54
Pt06	31.2	20h02	Pt06	30.7	19h58
Pt07	31.5	20h07	Pt07	31.1	20h05
Pt08	31.5	20h15	Pt08	31.4	20h09
Pt09	31.4	20h18	Pt09	31.3	20h12
Pt10	31.3	20h21	Pt10	31.8	20h18
Pt11	31.4	20h24	Pt11	30.7	20h22
Pt12	31.3	20h28	Pt12	30.7	20h25
Pt13	31.3	20h31	Pt13	30.7	20h28
Pt14	31.6	20h35	Pt14	30.4	20h30

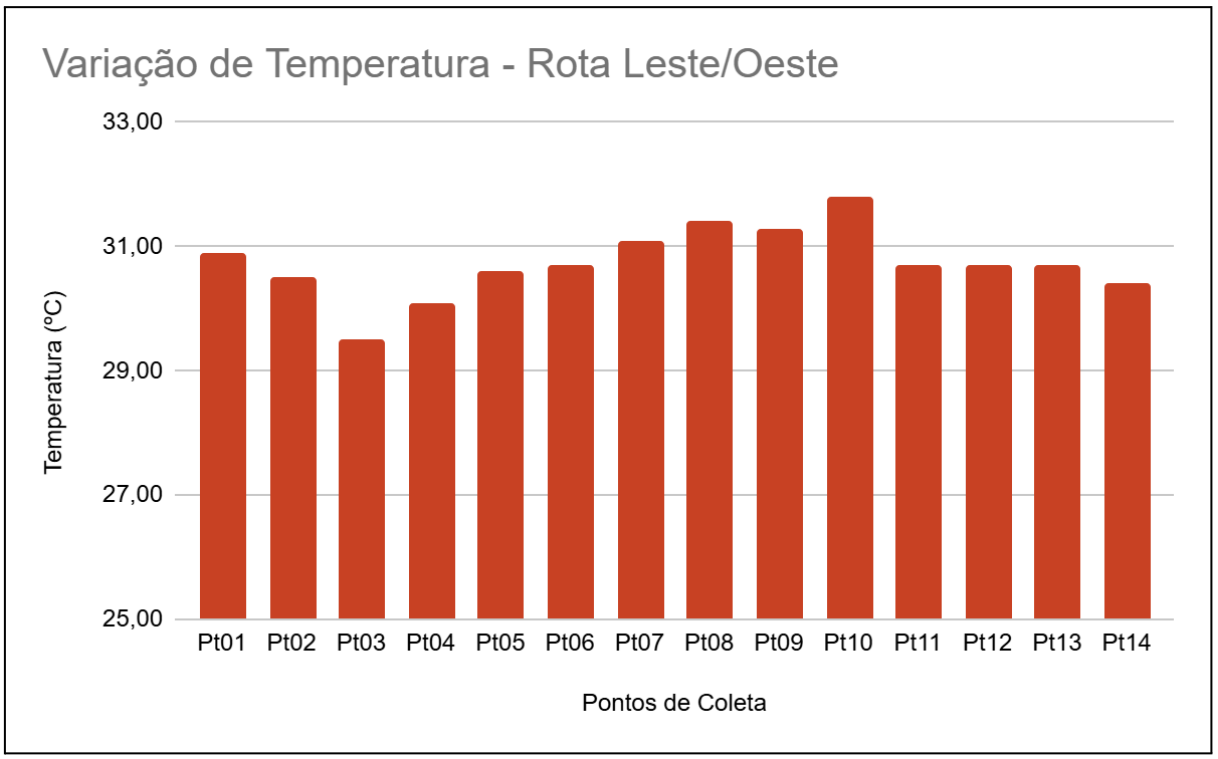
Fonte: Autora (2026)

Gráfico 1 - Variação de Temperatura - Rota Norte/Sul



Fonte: Autora (2026)

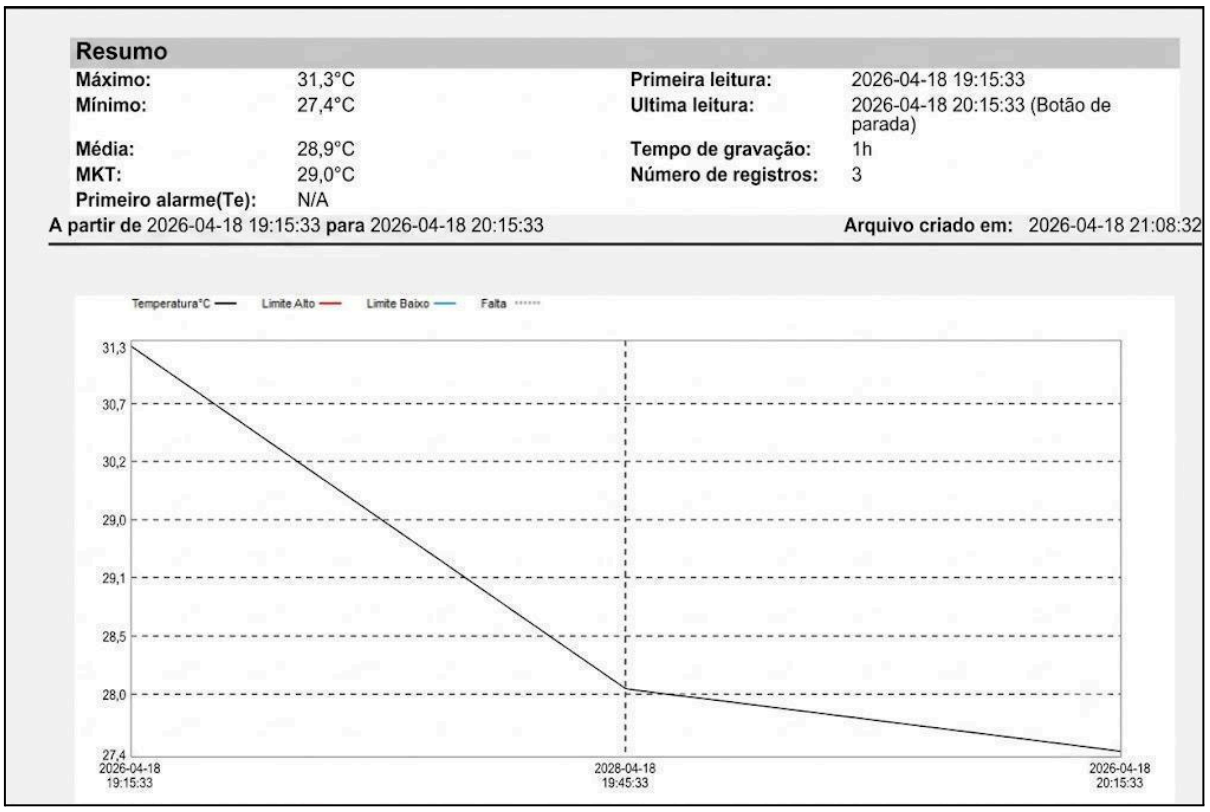
Gráfico 2 - Variação de Temperatura - Rota Leste/Oeste



Fonte: Autora (2026)

Além da temperatura coletada nos pontos amostrais, o termômetro fixo coletou a temperatura durante todo o tempo do trajeto e automaticamente foi gerado um relatório com a variação da temperatura no intervalo de tempo trabalhado, como apresentado na Figura 37 a seguir:

Figura 37 - Relatório de aferição de temperatura do termômetro fixo



Fonte: Ellitech RC-5+ (2026)

Este relatório é importante para o método utilizado, pois ele normaliza as temperaturas coletadas em campo, visto que ele é a referência estável durante a execução do transecto. Em complementação, foi utilizada a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) presente no município, para também balizar as temperaturas coletadas. A estação meteorológica A517 coleta a temperatura no intervalo de 1 hora e gera uma tabela com dados tanto de temperatura, quanto de umidade, ponto de orvalho, pressão, velocidade e direção dos ventos, radiação e precipitações.

Como o presente estudo trabalha, em específico, com os dados de temperatura, estes foram compilados em uma tabela específica que é apresentada a seguir pela Figura 38:

Figura 38 - Temperaturas coletadas pela estação meteorológica automática de Muriaé

Estação Meteorológica Automática de Muriaé - A517 (INMET)				
Data	Hora (UTC)	Temp. Ins. (C)	Temp. Max. (C)	Temp. Min. (C)
18/04/2026	0	22,4	23,1	22,4
18/04/2026	100	21,7	22,4	21,7
18/04/2026	200	21,3	21,7	21,2
18/04/2026	300	20,6	21,3	20,6
18/04/2026	400	20,3	20,7	20,2
18/04/2026	500	19,9	20,4	19,8
18/04/2026	600	19,6	20	19,5
18/04/2026	700	19	19,6	19
18/04/2026	800	19,2	19,2	18,9
18/04/2026	900	18,6	19,2	18,4
18/04/2026	1000	18,8	18,8	18,3
18/04/2026	1100	21,1	21,1	18,8
18/04/2026	1200	24,9	24,9	21,1
18/04/2026	1300	28,2	28,2	24,8
18/04/2026	1400	29,5	29,6	26,8
18/04/2026	1500	31,3	31,5	29,5
18/04/2026	1600	31,2	32,3	29,7
18/04/2026	1700	33,6	33,6	31,3
18/04/2026	1800	32,3	33,6	31,9
18/04/2026	1900	31,3	33	31,3
18/04/2026	2000	29	31,4	29
18/04/2026	2100	26,8	29,1	26,8
18/04/2026	2200	25,8	26,8	25,8
18/04/2026	2300	25,1	25,8	25,1

Fonte: INMET (2026)

O transecto móvel foi realizado tendo por base 2 estações fixas, uma acoplada no mesmo dia do transecto e a outra uma estação automática de controle do INMET. As duas com endereços distantes, mas que conseguiram aferições muito próximas, o que favoreceu a análise dos dados coletados pelos termômetros móveis.

A rota Norte/Sul perpassou por áreas com alta densidade arbórea no início de seu trajeto, mesclando com áreas pouco vegetadas dos bairros centrais, mas com áreas com média densidade de vegetação, mas que apresentou um comportamento térmico noturno intrigante, tendo em mente, que o ambiente com maior área vegetada eventualmente será resfriado mais rapidamente, entretanto, não é só a vegetação que conta para a circulação e resfriamento do ar. A altitude é um fator

importante, e o transecto Norte/Sul termina em uma região de fundo de vale, cercada por relevo côncavo que dificulta a circulação dos ventos. Além disto, o último ponto registrado pelo responsável foi colocado a observação de que havia uma movimentação significativa de pessoas e automóveis devido a finalização de um evento religioso perto do local da coleta, o que influencia diretamente na temperatura do ar no local, com a queima de combustível fóssil e presença maior de pessoas.

Mesmo diante dessas questões, foi possível identificar uma oscilação clara da temperatura conforme variações no padrão de ocupação, altitude, presença de vegetação e padrão construtivo.

O segundo transecto, de Oeste a Leste também conseguiu capturar as diferenças ambientais existentes entre os bairros percorridos. Nesta rota foram coletados pontos em locais próximo de cursos d'água, vários pontos no centro da cidade e também em bairros de altitude elevada. Todas essas nuances foram capturadas pelas aferições realizadas, para além disso, neste transecto a ilha de calor urbana central mostrou-se mais evidente em detrimento ao transecto Norte/Sul, por adentrar mais o território central.

Rota Norte/Sul:

A rota Norte/Sul do transecto móvel perpassou por 4 bairros distintos: Gávea, Centro, Safira e João XXIII. No que tange ao uso e ocupação destes, o primeiro e último bairro são majoritariamente de uso residencial, o segundo bairro possui o uso voltado predominantemente ao comércio e serviços enquanto o terceiro bairro perpassado é de ocupação mista, tendo tanto ocupação residencial quanto comércios e serviços.

O primeiro bairro possui altitude média de 220m e se localiza próximo ao rio principal que corta a cidade de Leste a Oeste, nesta área há a presença de uma lagoa em seu centro, o que tende a favorecer o resfriamento do ar nas áreas próximas. É um bairro de padrão de classe média alta, com a presença de casas esparsas, com áreas vegetadas consideráveis, que constam na classificação de vegetação, como alta e padrão construtivo alto. Neste bairro, os pontos coletados foram de número: Pt1 e Pt2, com as seguintes temperaturas: 29,7ºC e 29,8ºC.

O segundo bairro desta rota está em uma altitude média de 205m e é composto majoritariamente por grandes empreendimentos de serviços e comércio,

como a rodoviária e prefeitura municipal, supermercados de grande porte, hotéis, postos de gasolina e comércios menores. É uma área pouco vegetada, sendo consideravelmente impermeabilizada e adensada por construções, além de possuir um fluxo mais intenso de veículos. Alguns pontos de temperatura coletados possuem proximidade com o rio principal, como o ponto de coleta: Pt3, ao todo, neste trecho foram coletados os pontos Pt3, Pt4, Pt5, com as respectivas temperaturas: 30,3ºC, 30,7ºC e 31,10ºC.

O terceiro bairro detém uma altitude média de 210m e é composto por uma mistura do uso do solo, como mencionado anteriormente, além de ser um bairro com prevalência de classe média baixa. Os locais em que foram coletadas as temperaturas estão dispostos dentro de uma faixa de via rápida, a qual possui maior alargamento de via. Esta área também é composta por comércios do tipo oficinas e lojas de material de construção. É uma área com presença de vegetação média, segundo classificação ambiental realizada. Os pontos coletados neste bairro foram: Pt7, Pt8, Pt9 que apresentaram as seguintes temperaturas: 31,5ºC, 31,5ºC e 31,4ºC.

Por fim, o último bairro dentro da rota Norte/Sul encontra-se em uma altitude média de 220m e possui zoneamento residencial, com casas de 1 a 2 pavimentos e vegetação considerável em comparação com os bairros Safira e Centro. É um bairro em que a temperatura da superfície não se destaca como alta, segundo Souza et al., 2024, porém há uma diferença de temperatura de superfície e temperatura do ar. Portanto, foram coletadas as temperaturas : 31,3ºC, 31,4ºC, 31,3ºC, 31,3ºC e 31,6ºC nos pontos Pt10, Pt11, Pt12, Pt13 e Pt14, através da análise do relevo é possível identificar que este bairro localiza-se em um vale côncavo, o que dificulta a circulação dos ventos e favorece o retardamento do resfriamento.

Somado a isso, no último ponto coletado, o responsável pela aferição indicou uma observação importante: a temperatura foi coletada em local com grande fluxo de pessoas e automóveis devido a finalização de rito religioso próximo. O que favorece o aumento no valor da temperatura do ar coletado.

Rota Oeste/Leste

A rota Oeste/Leste perpassou por 5 bairros: Cardoso de Melo, Dornelas, Barra, Centro e São Francisco. Bairros estes com padrões diferentes de ocupação e uso do solo, além de altitudes distintas e adensamento urbano diverso. Quanto ao

uso do solo, o primeiro bairro possui zoneamento residencial em sua maioria, com poucos comércios existentes. O segundo bairro já possui uma mescla de uso do solo, em que se concentra tanto o uso residencial quanto o uso comercial, de pequeno a médio porte, com a presença de supermercados, padarias, lojas e restaurantes.

O terceiro bairro também possui padrão misto de uso do solo, sendo composto também por comércio e serviços, bem como pelo uso residencial. O bairro chamado centro, que remete a literalidade da sua posição na cidade, possui seu uso voltado para comércio e serviços, apesar de possuir parte residencial. O último bairro do transecto apresenta o uso majoritariamente residencial do solo. As características individuais de cada um segue abaixo:

O primeiro bairro do transecto fica em uma altitude média de 230m e se localiza próximo a rodovia BR - 356 que corta a cidade. O Cardoso de Melo dispõe do uso residencial do solo, em sua maioria, com um padrão construtivo de classe média, sua porcentagem de vegetação no local onde foi coletada a temperatura, segundo classificação, se enquadra no valor médio, indicando, moderadamente, um equilíbrio entre o espaço construído e o espaço vegetado. Foi coletado 1 ponto neste bairro (Pt1) com a temperatura de 30,9ºC.

No segundo bairro, com altitude média de 200m foi coletado também um ponto (Pt2), próximo ao rio principal que corta a cidade, na localização em que a temperatura foi medida constatou-se a interferência tanto da água, quanto da vegetação presente nas proximidades, destacando uma diferença de 4 décimos a menos que a temperatura do primeiro ponto, a temperatura coletada foi 30,5ºC . Porém, é válido elencar que a medição foi realizada próxima a um empreendimento de maior porte, devido às dificuldades encontradas em campo.

O terceiro bairro em que o transecto perpassou, está em uma altitude de 210m e nele, foram coletados 4 pontos, dentre os quais é possível observar a influência do adensamento urbano e a pouca vegetação, da mesma forma que é possível identificar corredores de ventos (cânions urbanos) e como a ventilação é importante para o resfriamento do ar.

O ponto 3 que foi o primeiro a ser coletado no bairro Barra, apresentou uma temperatura de 29,5ºC, ele se localiza em um entroncamento de ruas próximas ao encontro de dois rios na cidade, o Rio Muriaé e o Rio Fumaça, além de ser uma área próxima a vias de trânsito rápido (BR-356 e BR-116) e possuir proximidade com

equipamento público de lazer (pracinha), facilitando o escoamento dos ventos e melhorando o resfriamento do ar. Já o segundo ponto coletado (Pt4) de temperatura 30,1ºC, ainda no mesmo bairro, consegue demonstrar a interferência do adensamento urbano que se segue por grande parte do bairro Barra e continua no bairro central.

Visto que os dois últimos pontos coletados, Pt5 e Pt6, também apresentaram temperaturas mais elevadas, atingindo o valor de 30,6ºC e 30,7ºC, em detrimento ao primeiro ponto coletado, pois o bairro é composto não só por residências, mas por comércios e serviços que faz com que haja também um maior fluxo de pessoas e veículos no local, além de os pontos subsequentes estarem mais próximos do bairro Centro, o qual apresentou os maiores valores de aferição.

O bairro central em Muriaé concentra seu uso do solo em comércios e serviços, tendo uma taxa menor de uso residencial, como elencado na primeira rota, que também passou por ele. Possui uma altitude média de 210m. A segunda rota coletou mais amostras de temperatura na área central, o que permitiu um maior detalhamento microclimático deste setor urbano. O Centro é altamente adensado, e com fluxo intenso de veículos e de pessoas, no entanto, possui algumas praças de recreação, uma das quais serviu como ponto de coleta.

Os pontos coletados neste bairro foram os Pt7, Pt8, Pt9, Pt10 e Pt11, com as respectivas temperaturas: 31,1ºC, 31,4ºC, 31,3ºC, 31,8ºC e 30,7ºC. Com isso, vale destacar a influência destes fatores na diminuição da capacidade de resfriamento do ar à noite, caracterizando uma ilha de calor urbana.

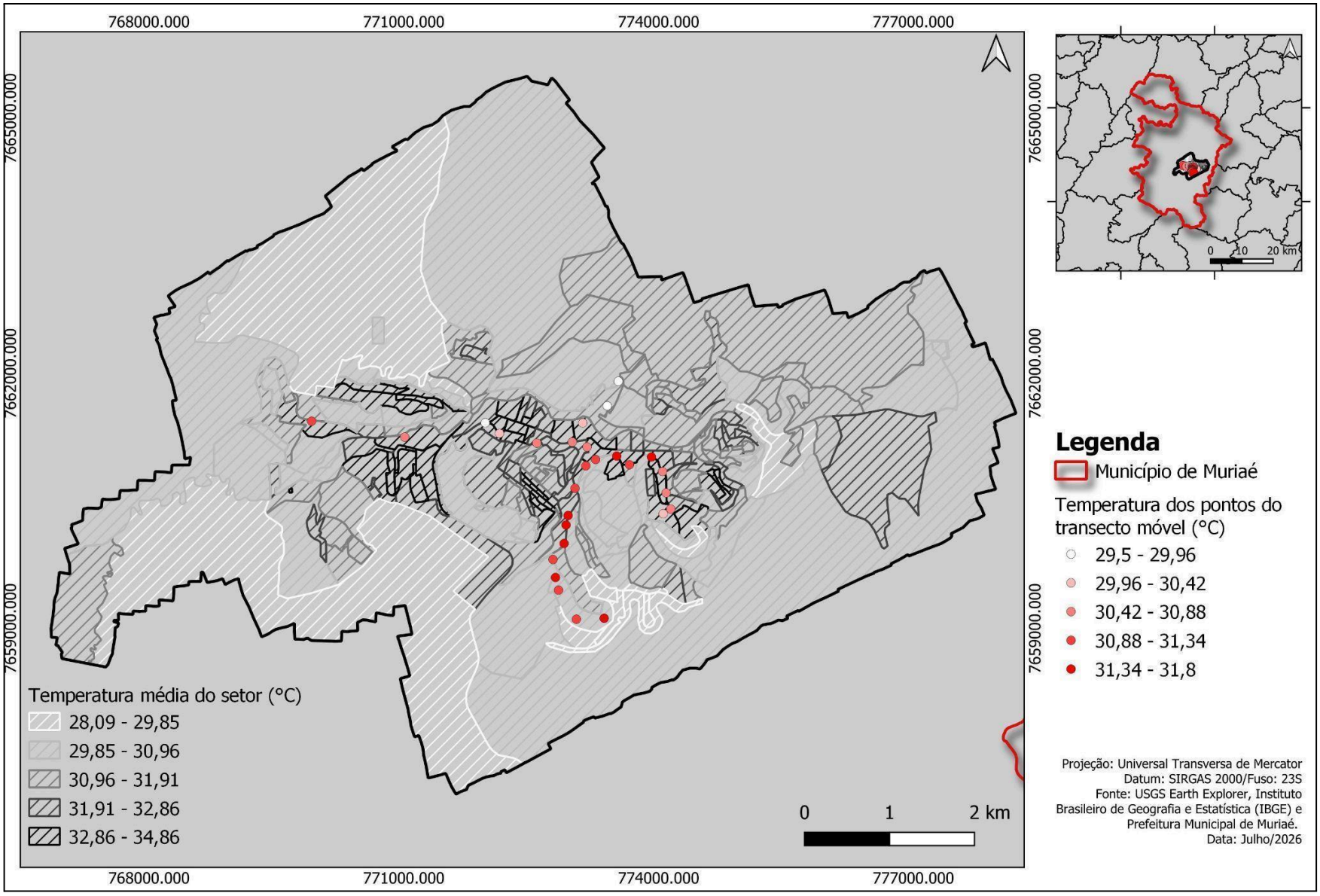
O último bairro percorrido, é o que possui a maior altitude, com média de 260m, soma-se a isso um adensamento menor que o bairro central e o bairro da Barra, sendo em grande parte residencial, com poucos comércios. É um bairro de classe média alta, com padrão construtivo próximo ao bairro Gávea e João XXIII da primeira rota. Dentro da classificação de vegetação ele se encontra na alta porcentagem o que correlaciona-se com as temperaturas coletadas no local, as quais foram: 30,7 ºC, 30,7 ºC e 30,4 ºC, nos pontos Pt12, Pt13 e Pt14.

Em suma, os resultados obtidos nos dois transectos realizados, apontam a influência das características do ambiente construído na temperatura do ar da cidade. Os bairros mais centrais apresentaram valores de temperatura mais elevados em detrimento aos bairros mais afastados, porém as medições evidenciaram a influência geomorfológica e de padrão construtivo nas temperaturas.

Importante destacar a importância de cursos d'água e maior presença de vegetação como mitigadores de temperatura, contribuindo de forma considerável no resfriamento do ar noturno.

A fim de complementar a metodologia utilizada, segue o mapa (figura 39) de realação entre a temperatura média de superfície dos setores censitários e os pontos aferidos no transecto móvel realizado:

Figura 39 - Mapa de relação entre a temperatura média dos setores censitários e a temperatura dos pontos do transecto móvel



Fonte: Autora (2026)

A espacialização ilustrada no mapa evidencia aassociação existente entre os setores com maiores temperaturas médias e as aferições com os maiores picos de temperatura. O que corrobora a relação entre o uso e ocupação do solo, as variáveis ambientais e os microclimas criados dentro do espaço urbano.

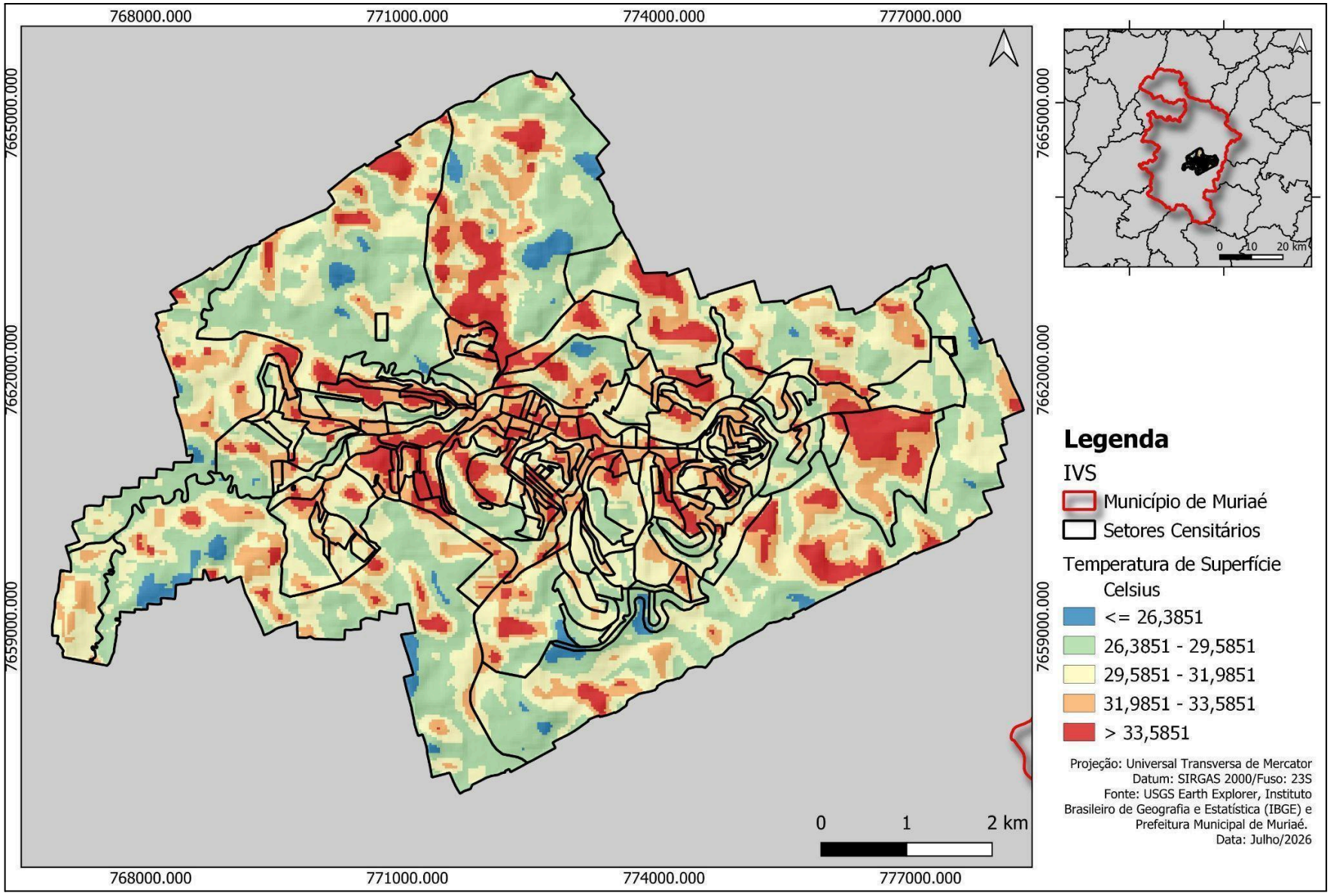
As maiores temperaturas do ar aferidas por meio do transecto móvel encontram-se no eixo central da cidade, já identificado com as maiores temperaturas médias, além dele também foram identificadas altas temperaturas noturnas nos Pts 07, 08, 09 e 10 da rota norte/sul, onde o uso do solo é composto majoritariamente por oficinas e comércios, com a presença massiva de coberturas de telhados do tipo telha metálica e laje, além de extensa pavimentação asfáltica e falta de vegetação arbórea na via.

Foi possível identificar a influência dos corpos d'água na regulação térmica urbana, pois os pontos aferidos mais próximos a eles, obtiveram um menor valor de temperatura noturno, mesmo estando em setores com as maiores médias diurnas. Porém, ao analisar os valores obtidos verificou-se uma boa relação entre as temperaturas do ar e da superfície. Desta maneira, apesar das especificidades metodológicas, quanto a resolução espacial do satélite, as datas e os horários de coleta distintos, não comprometeram o diagnóstico de correspondência existente, reforçou a existência de influências socioambientais nos microclimas presentes na cidade.

4.8 Resultados dos mapas térmicos e relações com o Índice de Vulnerabilidade Socioambiental

O primeiro mapa foi utilizado para identificação das ilhas de calor de superfície, pois a imagem térmica é realizada através de sensores que captam a energia emitida pelos objetos, conseguindo identificar as regiões com maiores temperaturas de superfície. Segue abaixo, na figura 40 o mapa com a imagem térmica da área urbana de Muriaé, adquirida no dia 02/05/2026.

Figura 40 - Mapa de Temperatura de Superfície de Muriaé - 02/05/2026



Fonte: Autora (2026)

Verifica-se no mapa que as temperaturas coletadas pelo sensor TIRS variaram de valores inferiores 26°C até superiores a 33 °C, apresentando uma amplitude térmica maior que 7°C. Essa variação indica a presença de ilhas de calor na superfície urbana de Muriaé (Amorim, 2019), apesar da distribuição das altas temperaturas estar presente por toda área de estudo, alguns locais específicos apresentaram concentrações de altas temperaturas.

No eixo central da área urbana, identifica-se uma mancha contínua de alta temperatura, acompanhando os setores com mais alto adensamento urbano, que acompanham a faixa da rodovia BR - 356. Interessante destacar, que é notável também a mancha contínua acompanhando o traçado da rodovia BR-116, ao norte da área urbana, indicando que esses locais apresentam características que aumentam as temperaturas de seu entorno, como a alta pavimentação asfáltica e o desmatamento na faixa de domínio.

No setor a extrema direita, composto por um loteamento em consolidação há a presença considerável de solo exposto, culminando em um hotspot, devido maior aquecimento do solo exposto em contato com a radiação direta. Além destes, setores a oeste da cidade, que não fazem confrontação direta com as rodovias, também apresentaram altas temperaturas, deve-se a isso, como observado nos demais mapas ambientais, a pouca presença de vegetação, o adensamento urbano, além do padrão construtivo desses setores.

Nota-se também a presença de bairros, adensados e consolidados que apresentam baixa temperatura de superfície, pois possuem maiores áreas com presença de vegetação, um padrão construtivo divergente da área central e das periferias, que somados a outras variáveis ambientais obtiveram os valores mais baixos, evidenciando a presença de microclimas dentro de uma mesma área urbana (Ferreira, 2014).

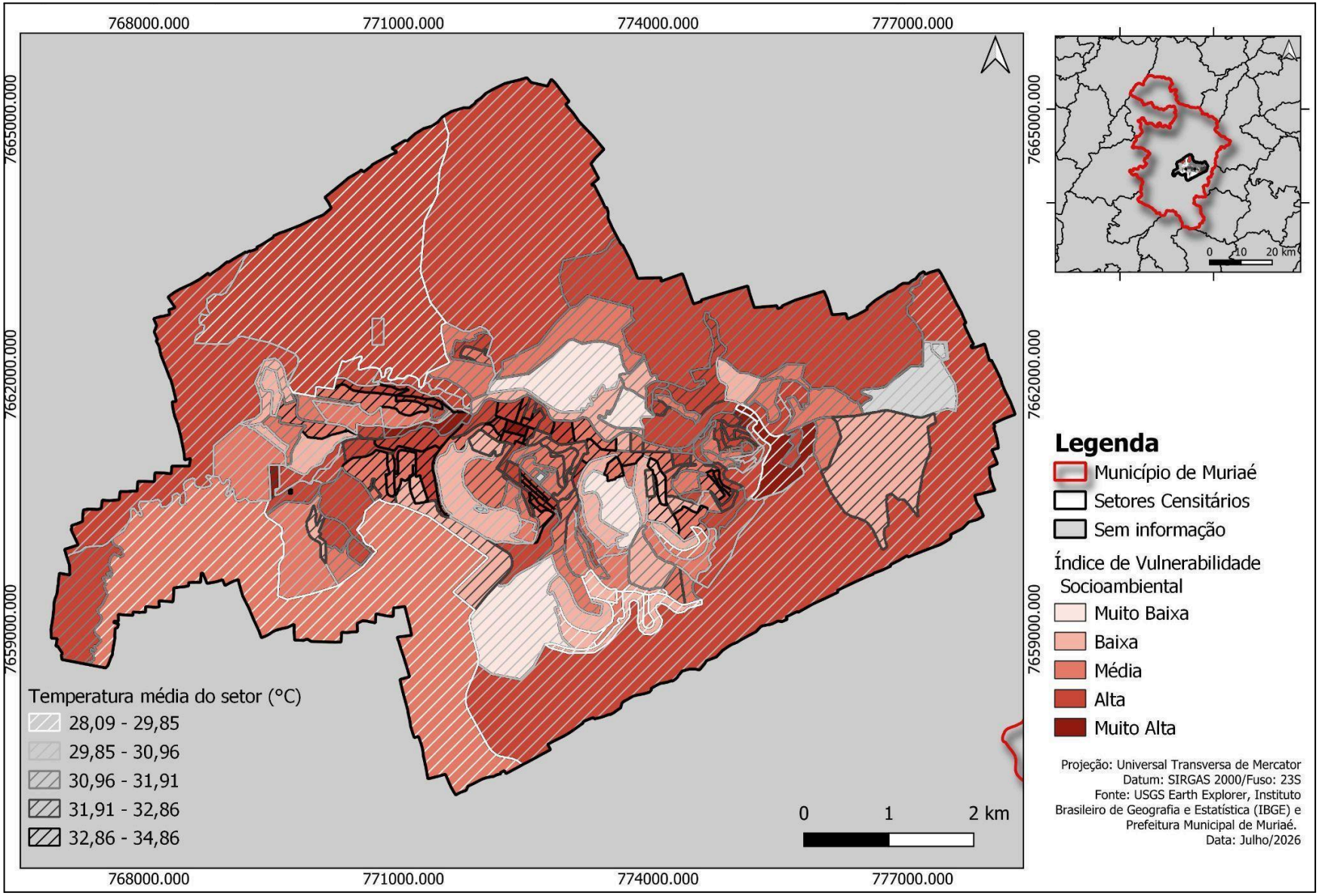
A partir da análise da imagem termal revela a presença de setores mais quentes em locais específicos da cidade, em contraste com as menores temperaturas nos setores de borda. Estes possuem uma urbanização menor, sendo setores de transição entre urbano e rural, com maior presença de vegetação densa, além de pouca impermeabilização, e que por sua vez são capazes de promover maior sombreamento e evapotranspiração, consequentemente tornando as áreas

menos quentes, corroborando com Pinheiro, Moura e Marcelino (2023) sobre a efetividade das áreas verdes na redução da temperatura.

No mais, nota-se na área urbana de Muriaé, pontos importantes de análise quanto ao desconforto térmico, tendo em mente que as altas temperaturas influenciam na sensação de conforto térmico, bem-estar e contribuem para saúde humana, torna-se importante não somente identificar essas áreas, mas interpolá-las ao índice de vulnerabilidade socioambiental a fim de mapear os setores que precisam de um olhar mais cuidadoso por parte dos órgãos públicos.

O segundo mapa foi realizado a partir da média de temperatura por setor censitário, calculada através da estatística zonal (Rezende,2016), sobreposta ao mapeamento do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental. Como mostra a figura 41.

Figura 41 - Mapa de relação espacial entre o índice de vulnerabilidade socioambiental e a temperatura médias dos setores censitários



Fonte: Autora (2026)

No mapa verifica-se que a média termal dos setores varia entre 28,09 °C a 34,86 °C, uma diferença de mais de 6,5 °C.

A partir da análise deste mapa de agregação de temperatura e vulnerabilidade, verificou-se interrelações entre os setores mais vulneráveis e as maiores temperaturas médias, indicando no espaço urbano a relação entre a vulnerabilidade e o desconforto térmico (Siqueira-Gay, Dibo e Giannotti, 2017).

Os setores com maiores temperaturas se concentram no eixo central, em setores periféricos a leste e também a oeste. Eles são representados pela hachura mais escura, indicando valores entre 32,86 °C e 34,86 °C. Estas temperaturas são encontradas em setores com muito alta à muito baixa, porém é evidente no mapa que os locais mais vulneráveis concentram as altas temperaturas.

Ante a relação encontrada no mapa acima, verifica-se que a distribuição espacial da temperatura na área estudada não é democraticamente distribuída, revelando a existência de iniquidades climáticas entre os setores e que evidenciam a desproporcionalidade climática frente às condições socioeconômicas, expondo a população mais vulnerável a cenários mais intensos de desconforto térmico.

É neste ponto que se consagra a justiça ambiental colocada por Herculano (2008), em que nenhum grupo em razão de etnia, renda e classe social tenha uma carga desproporcional do ônus ambiental. Soma-se a esta questão também, a contribuição de Isaguirre-Torres e Maso (2023) quando trata da influência do capital sobre a proporcionalidade dos riscos ambientais.

Observa-se também, além da justiça climática, o racismo ambiental presente, que no contexto brasileiro, é mais amplo do que puramente o conceito de etnia, ele abrange também a renda, na escolaridade, tipo de trabalho e local de residência. E na realidade da cidade de Muriaé torna-se notável esta exclusão, na qual os setores mais vulneráveis socioambientalmente, compostos pelas áreas de inundação e periferias com maiores declividades e risco a movimentos de massa, ou seja, desvalorizados pelo mercado imobiliário, sofrem com as condições desproporcionais dos fenômenos ambientais e climáticos.

Porém, é possível identificar no mapa áreas com altas temperaturas (acima de 31,9°C) que possuem uma baixa vulnerabilidade socioambiental. Retomando a ideia de que a variável social não exclui o risco, mas é na capacidade de adaptação e mitigação dele que as disparidades residem. Utilizado em mais de um índice

socioambiental, o índice de capacidade de adaptação é um importante indicador da vulnerabilidade, pois indica o baixo acesso à bens e serviços que são capazes de diminuir os riscos ambientais e climáticos.

Importante trazer à luz da discussão a influência do tipo de vegetação, impermeabilização do solo, materiais utilizados nas construções e o padrão construtivo na distribuição de microclimas diversos na cidade, correlacionando-se com os setores com maiores temperaturas de superfície. E conjuntamente a isso a identificação dessa associação com a vulnerabilidade social.

Portanto, frente ao exposto, a pesquisa conseguiu, dentro das limitações inerentes, alcançar seu objetivo de investigação. O mapeamento integrado realizado expôs as disparidades socioambientais existentes e sua relação com as ilhas de calor encontradas, que são fruto de um histórico de produção capitalista, no qual imperam os interesses imobiliários do capital segregando a população mais vulnerável à locais periféricos e com maiores riscos ambientais, demonstrando a desigualdade quanto à exposição ao calor e ao desconforto térmico.

Diante da identificação das iniquidades climáticas existentes dentro do território urbano de Muriaé, torna-se mais assertivo para os órgãos públicos a identificação dos setores prioritários quanto a intervenções para mitigação das vulnerabilidades.

5.Considerações finais

A presente pesquisa buscou analisar a dinâmica climática e as relações desta com a vulnerabilidade socioambiental na área urbana do município de Muriaé, na zona da mata mineira, através da integração entre sensoriamento remoto, dados sociodemográficos e econômicos provenientes do Censo 2022, modelagem AHP e realização de transectos móveis *in loco.*

Esta abordagem promoveu a criação de 3 índices que abordam: vulnerabilidade ambiental, social e socioambiental. Na construção do primeiro índice foi possível mapear os setores censitários desde as mais baixas às mais altas vulnerabilidades ambientais. Os critérios ambientais revelaram que grande parte da área urbana 52,25% possui alta suscetibilidade à movimentação de massa, em contraponto com 24,16% do território com alta vulnerabilidade à inundação, que é um problema recorrente da cidade. Através da análise do uso do solo e do mapeamento da presença de vegetação, identificou-se que a área mais adensada

da cidade possui significativa supressão vegetacional, culminando em locais de maiores temperaturas.

O índice de vulnerabilidade social conseguiu mapear os setores censitários com as maiores vulnerabilidades socioeconômicas em relação à educação, renda, gênero, saneamento básico e população de crianças e idosos. A variável de renda correspondeu ao critério de maior importância dentro da análise, que obteve como resultado 75,84% dos setores analisados com alta vulnerabilidade de renda. Somou-se a isso, com número expressivo de alta vulnerabilidade, as variáveis de mulheres chefes de família (64,04%) e variável etária (56,18%), essas variáveis obtiveram um valor expressivo de setores em alta e muito alta vulnerabilidade, em que se destacou a periferização desta parcela mais vulnerável socioeconomicamente.

A interpolação dos índices ambiental e social culminou no índice de vulnerabilidade socioambiental, que a partir do método AHP, com as devidas ponderações, identificou os setores mais vulneráveis da cidade de Muriaé. Esses locais se encontram especializados na região próximo ao leito do rio Muriaé e nas periferias com alto adensamento populacional. Essa relação foi capaz de evidenciar que a vulnerabilidade socioambiental não se limita aos eventos ou do risco ambiental existente no local, mas sim da capacidade resiliência da população ali residente, através de potencial de adaptação e mitigação frente às intempéries.

Para além do escopo socioambiental, a pesquisa também mapeou, por meio de imagem termal de satélites e transectos móveis, as temperaturas de superfície e do ar na área urbana. A imagem termal do Landsat conseguiu identificar uma amplitude térmica maior que 7 °C, indicando a presença de locais mais quentes dentro do meio urbano, que se apresentaram, em grande maioria, no eixo contínuo central, próximo as rodovias presentes na cidade e em setores com intenso adensamento e solo exposto.

Já os transectos realizados captaram uma amplitude térmica de 2,3 °C, durante o período noturno. Através deles foi possível entender a dinâmica climática da cidade e a influência geomorfológica, a presença de corpos d’água e também a influência do tipo de ocupação e o padrão construtivo na determinação do resfriamento noturno. Em que áreas com maior adensamento e impermeabilização do solo retiveram mais calor.

O cerne desta pesquisa, foi a sobreposição do índice socioambiental com as áreas mais quentes identificadas através de sensores termais e o transecto. A partir da análise desta sobreposição verificou-se que a exposição ao calor na cidade não é democrática, configurando um cenário claro de iniquidade climática e racismo ambiental. Os setores com os maiores riscos socioambientais, caracterizados pela baixa renda da população local, muito alta vulnerabilidade a movimentos de massa e risco de inundação, registraram as maiores temperaturas médias por setor.

Portanto evidenciou-se que a população com menor aporte socioeconômico sofre mais com o ônus climático, sofrendo em maior proporção com o desconforto térmico, possuindo menor acesso a bens e serviços de mitigação e adaptação a cenários climáticos extremos. Salienta-se, que os setores centrais, apesar de possuírem as mais altas temperaturas, foram identificados com muito baixa e baixa vulnerabilidade, a partir da alta capacidade adaptativa e de resiliência a partir das condições socioeconômicas desta parcela da população.

Os resultados desta pesquisa servem como base para a implementação de ações pelo poder público, pois foi capaz de identificar e mapear os setores mais prioritários às ações de mitigação de vulnerabilidades, sejam elas no escopo social e/ou ambiental. O trabalho também serve de subsídio para avaliações de planejamento urbano, territorial e ambiental, direcionando obras públicas e equipamentos públicos a fim de sanar a carência dos setores mais necessitados e criar um ambiente urbano mais justo, equitativo e que promova um maior bem-estar para a população muriaeense.

Vale destacar porém, as limitações deste estudo tanto em relação às datas divergentes dos dados de temperatura, quanto em relação aos dados provenientes do censo, que por questões institucionais e da própria dinâmica da pesquisa, não detinha de todos os dados integrais, sendo necessário o tratamento de dados e a atribuição de valores conforme metodologia consagrada.

Embora, essas limitações não tenham comprometido os resultados da pesquisa, há apontamentos para aprofundamento em trabalhos futuros:

- Maior escala temporal dos dados, realizando mais transectos móveis e também utilizando uma linha temporal maior do satélite termal;
- Incorporação de dados socioeconômicos e ambientais, contemplando um maior escopo de vulnerabilidades existentes;

- Utilização de softwares para melhoria da resolução espacial das imagens a fim de maximizar os resultados térmicos.

Referências bibliográficas

ACSELRAD, Henri. Justiça ambiental e construção social da sustentabilidade. **Revista Proposta**, Rio de Janeiro, ano 30, n. 92, p. 14-22, mar./maio 2002.

ALVAREZ, I. A. **Qualidade do Espaço Verde Urbano: Uma Proposta de Índice de Avaliação**. 2004. 2096f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba, 2004.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise**. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], v. 15, p. 29-45, 2019.

AMORIM, Margarete; DUBREUIL, Vincent; CARDOSO, Renatta. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29-45, 2015.

ARTAXO, Paulo. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?. **Revista Usp**, n. 103, p. 13-24, 2014.

BARBOSA, C.C.F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento.** 1997.157 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 1997)

BASTIAANSSEN, Wim GM et al. Um algoritmo de balanço de energia de superfície de sensoriamento remoto para a terra (SEBAL). 1. Formulação. **Journal of hydrology** , v. 212, p. 198-212, 1998.

BRASIL. **Lei nº 5.534, de 14 de novembro de 1968**. Dispõe sobre a obrigatoriedade de prestação de informações estatísticas e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1968. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5534.htm. Acesso em: 27 jul. 2026.

BRASIL. **Lei nº 8.069, de 13 de julho de 1990**. Dispõe sobre o Estatuto da Criança e do Adolescente e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8069.htm. Acesso em: 27 jul. 2026.

BRASIL. **Lei nº 10.741, de 1º de outubro de 2003**. Dispõe sobre o Estatuto da Pessoa Idosa e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2003. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.741.htm. Acesso em: 27 jul. 2026.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 27 jul. 2026.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **PLANSAB: Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2014. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab. Acesso em: 27 jul. 2026.

BRYANT, Raymond L.; BAILEY, Sinead. **Third world political ecology**. Psychology Press, 1997.

BULLARD, Robert D.; JOHNSON, Glenn S. Environmentalism and public policy: Environmental justice: Grassroots activism and its impact on public policy decision making. **Journal of social issues**, v. 56, n. 3, p. 555-578, 2000.

CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente - SP**. 2015. 137f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

CONTI, José Bueno. **Considerações sobre as mudanças climáticas globais**. *Revista do Departamento de Geografia*, [S. l.], v. 16, p. 70-75, 2005.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL.Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Muriaé - MG. Muriaé,2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14943>. Acesso em: 11 de Junho de 2025.

CREPANI,E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CRUTZEN, Paul J. **O "antropocene"**. Em: *Journal de Physique IV (proceedings)*. Les Ulis, France: EDP Sciences, 2002. p. 1-5.

DAVIS, Mike. Planeta favela. Boitempo Editorial, 2006.

DE MOURA, Mirella Nazareth; JUNIOR, Antônio Pereira Magalhães; FELIPPE, Miguel Fernandes. As nascentes antropogênicas como expressões da materialidade do Antropoceno e do Tecnógeno. **Cadernos do Leste,** v. 21, n. 21, 2021.

DE PAIVA, Verônica Belo; DE LACERDA, Hiatiane Cunha. A importância da vegetação urbana na Sustentabilidade das cidades: caso de Águas Claras-DF. (2017)

DE SOUZA ABREU, Ivy. Biopolítica e racismo ambiental no Brasil: a exclusão ambiental dos cidadãos. **Opinión Jurídica**, v. 12, n. 24, p. 87-99, 2013.

DORIGON, L. P. **Clima urbano em Paranavaí/PR: análise do espaço intraurbano**. 2015. 121f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. Manual de climatologia aplicada: clima, medio ambiente y planificación. **Madrid: Editorial síntesis, S.A.,** 1996. 285p.

FERREIRA, C.C.M. **Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos**. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 14, p. 50-75, jan./jul. 2014.

FERREIRA, Diogo Cruz et al. CORRELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE EXPANSÃO URBANA E A POLÍTICA HABITACIONAL EM MURIAÉ, CIDADE MÉDIA DE MINAS GERAIS. **Interfaces Científicas-Humanas e Sociais**, v. 9, n. 3, p. 453-468, 2022.

FERREIRA, Frederico. Irregularidade da posse da terra urbana, invasão de domicílios e espaço metropolitano. **Revista EURE-Revista de Estudios Urbano Regionales**, v. 45, n. 136, 2019.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **São Paulo,** 2005.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de textos, 2007.

GALLO, Bruna Cristina; ALVAREZ, Ivan André; GARÇON, Edlene Aparecida Monteiro. Comparação entre temperatura de superfície e presença de vegetação viária em dois bairros de Campinas-SP. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 16, 2013.

GARTLAND, Lisa; GONÇALVES, H. **Ilhas de calor**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. p. 9-10.

GUERRERO, João Vitor Roque; CAICHE, Daniel Tonelli; MORATO, Rubia Gomes; KAWAKUBO, Fernando Shinji; MATAVELI, Guilherme Augusto Verola. De quem é o verde urbano? Uma análise geotecnológica da iniquidade arbórea de São Carlos, SP. **Revista UNG – Geociências**, v. 20, n. 2, p. 37-51, 2021.

GUIMARÃES, Nelson Avelar; PENHA, Julierme Wagner da. Mapeamento das áreas de risco de inundação com a utilização do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente: estudo de caso em Muriaé. **Revista Agrogeoambiental**, *[S. l.]*, v. 1, n. 2, 2009. DOI: 10.18406/2316-1817v1n2200976. Disponível em:

https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/76. Acesso em: 7 ago. 2026.

HERCULANO, Selene. O clamor por justiça ambiental e contra o racismo ambiental. **Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente**, v. 3, n. 1, p. 1-20, 2008.

IBGE.2022.Censo Demográfico de 2022. Link: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/muriae.html

INSTITUTO OSWALDO CRUZ (IoC / Fiocruz). **Índice indica vulnerabilidade de municípios do Rio às mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Fiocruz, [s.d.]. Disponível em: *https://www.ioc.fiocruz.br/noticias/indice-indica-vulnerabilidade-de-municipios-do-rio-mudancas-climaticas*. Acesso em: [15 de julho 2025].

COSTA, Marco Aurélio; MARGUTI, Bárbara Oliveira (org.). **Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros**. Brasília, DF: Ipea, 2015. 77 p. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/4381. Acesso em: 18 jul. 2025.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

ISAGUIRRE-TORRES, Katya Regina; MASO, Tchenna Fernandes. As lutas por justiça socioambiental diante da emergência climática. **Revista Direito e Práxis,** v. 14, n. 01, p. 458-485, 2023.

JUBILUT, Liliana Lyra; MARTUSCELLI, Patrícia Nabuco. Os Conceitos de Humanitarismo e Vulnerabilidades: delimitação, uso político, sinergias, complementaridades e divergências. **Direito Humanos e Vulnerabilidade e Direito Humanitário. Boa Vista: Editora da UFRR**, p. 863, 2019.

JÚNIOR, José Fernando Pinese; RODRIGUES, Silvio Carlos. O método de análise hierárquica–AHP–como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 4-26, 2012.

LASCHEFSKI, Klemens; COSTA, Heloisa Soares de Moura. Segregação social como externalização de conflitos ambientais: a elitização do meio ambiente na APA-Sul, Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, p. 307-322, 2008.

LEFEBVRE, Henri. **La producción del espacio**. Madrid: Capitán Swing Libros, 2013 [1974].

LIGEIRO DA MATTA, Maria Vitória; DE SENA, Vinícius Henrique. Áreas afetadas por inundações no município de Muriaé, em Minas Gerais: orientação estrutural de terrenos rochosos como um dos controladores do escoamento hídrico. **REVISTA CIENTÍFICA DA FAMINAS**, *[S. l.]*, v. 15, n. 1, 2020. Disponível em: https://periodicos.faminas.edu.br/index.php/RCFaminas/article/view/445. Acesso em: 7 ago. 2026.

LOMBARDO, M. A.; FREITAS, M. I. C.de. **Riscos e vulnerabilidades: teoria e prática no contexto luso- brasileiro.** São Paulo. 2013. 249p. ISBN 978-85-7983-436-3.

Mahaffy, P. G. Telling Time: Chemistry Education in the Anthropocene Epoch. Journal of Chemical Education 2014, 91, 463. [CrossRef]

MALTA, Fernanda Siqueira; COSTA, Eduarda Marques da; MAGRINI, Alessandra. Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 3933-3944, 2017.

MARGULIS, S., 2017. Por que Estados, Municípios e Cidades tem que se adaptar às Mudanças Climáticas? WWF (World Wildlife Fund, Brasil). Brasília, Dezembro de 2017, 73p.

MASCARÓ, Juan Luis. Manual de loteamentos e urbanização. Porto Alegre: Sagra, 1994.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181 p. (Série Teses e Monografias, 1).

MONTEIRO, Rhadson Rezende et al. RACISMO AMBIENTAL, JUSTIÇA AMBIENTAL E MUDANÇAS CLIMATICAS NO BRASIL: UMA ANÁLISE DOS RELATÓRIOS ANUAIS DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTAVEL. **Revista em Favor de Igualdade Racial**, v. 6, n. 3, p. 117-132, 2023.

NAREDO, José Manuel. Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva. **Polis. Revista Latinoamericana**, n. 2, 2002.

NASCIMENTO, J.A.S., **Vulnerabilidade a eventos climáticos extremos na Amazônia:** uma visão integrada na bacia do rio Acre. 2011. 185f. Tese (Doutorado Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE/ Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro-RJ, 2011.

NETO, Umberto Alves; SILVA, Thiago Pinto da. CARACTERIZAÇÃO MORFOTECTÔNICA DA DEPRESSÃO INTERPLANÁLTICA RIO POMBA-MURIAÉ NA FOLHA ITALVA (RJ).. In: **Anais do XVI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica e IX Congresso Fluminense de Pós-Graduação.** Anais...Campos dos Goytacazes(RJ) UENF, 2024. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/xvi-confict-ix-conpg-445276/847023-CARACTERIZACAO-MORFOTECTONICA-DA-DEPRESSAO-INTERPLANALTICA-RIO-POMBA-MURIAE-NA-FOLHA-ITALVA-(RJ). Acesso em: 13/12/2024

OLÍMPIO, Amália Maria Queiroz de; ZANELLA, Maria Elisa. Mapeamento e análise da vulnerabilidade socioambiental da Região Metropolitana de Fortaleza. *In*: COSTA, Maria Clélia Lustosa; ZANELLA, Maria Elisa (org.). **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2017. p. 101-131.

PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia,** v. 16, p. 24-31, 2005.

PERKINS-KIRKPATRICK, S. E.; LEWIS, S. C. Increasing trends in regional heatwaves. **Nature communications**, v. 11, n. 1, p. 3357, 2020.

PINHEIRO, Renato Torres; MOURA, Dieyson Rodrigues de; MARCELINO, Dianes Gomes. Densidade arbórea e sombreamento nas áreas verdes das quadras residenciais de Palmas, Tocantins. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 2, p. e71225, 2023.

PORANGABA, G. F. O. **O clima urbano das cidades do interior do estado de São Paulo: uma análise do campo térmico de Assis, Cândido Mota, Maracaí e Tarumã**. 2015. 345f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

REBOITA, M.S.; RODRIGUE, M.; SILVA, L.F.; ALVES, M.A. Aspectos climáticos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 17, dez. 2015.

REZENDE, Patrícia Soares et al. Metodologia para avaliação da vulnerabilidade socioambiental: estudo da cidade de Paracatu (MG). 2016.

REZENDE, Patrícia Soares et al. Metodologia para avaliação da vulnerabilidade socioambiental: estudo da cidade de Paracatu (MG). 2016.

ROCKSTRÖM, Johan et al. A safe operating space for humanity. **nature**, v. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009.

RODRIGUES, Theófilo. Bases conceituais para uma sociologia da sustentabilidade: capitaloceno, justiça ambiental e racismo ambiental. **O Social em Questão**, v. 1, n. 55, p. 287-314, 2023.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, v. 48, 1990. pp. 9-26.

SALES, Renata Silva Barreto; SALES, D. S.; MENDONÇA, José Carlos. Balanço de energia e ilhas de calor no perímetro urbano de Campos dos Goytacazes, RJ: Um estudo de caso. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 06, p. 3093-3105, 2022.

SANFELICI, Daniel. Financeirização e a produção do espaço urbano no Brasil: uma contribuição ao debate. **EURE (Santiago),** v. 39, n. 118, p. 27-46, 2013.

SANTANA, Níckolas Castro. **Investigação de Ilhas de Calor em Brasília: Análise Multitemporal com Enfoque na Cobertura do Solo**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 6, p. 1044-1054, 2014.

SANTOS, Alexandre Pereira et al. O lugar dos pobres nas cidades: exploração teórica sobre periferização e pobreza na produção do espaço urbano Latino-Americano. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 9, n. 3, p. 430-442, 2017.

SANTOS, Milton. A urbanização brasileira. São Paulo: Edusp, 2005.

SHEIL, Douglas; MURDIYARSO, Daniel. Como as florestas atraem a chuva: uma análise de uma nova hipótese. **Bioscience** , v. 59, n. 4, p. 341-347, 2009.

SILVA, Cleiton M.; ARBILLA, Graciela. Antropoceno: os desafios de um novo mundo. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1619-1647, 2018.

SIQUEIRA-GAY, Juliana; DIBO, Ana Paula Alves; GIANNOTTI, Mariana Abrantes. Vulnerabilidade às Ilhas de Calor no Município de São Paulo: uma abordagem para a implantação de medidas mitigadoras na gestão urbana. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 6, n. 2, p. 105-123, 2017.

SOUZA, T. G. et al. **ANÁLISE MICROCLIMÁTICA NO MUNICÍPIO DE MURIAÉ-MG: Uma abordagem aplicada ao cálculo de potencial de aquecimento**. In: SOUTO, Raquel Dezidério et al. *Anais da VII Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro (JGEOTEC 2024)*. Rio de Janeiro: Editora IVIDES, 2024. p. 396-401. Disponível em: https://doi.org/10.5281/zenodo.14261710. Acesso em:03 de abril de 2024.

SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão et al. Capitalismo e urbanização [em linha]. 1988.

STEFFEN, Carlos Alberto; SOLAR, RADIAÇÃO. Introdução ao sensoriamento remoto. **Divisão de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE, São José dos Campos São—SP. Available online: http://www.**

inpe. br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila. htm (acesso em 30 de maio de 2025), 2011.

STEFFEN, Will et al. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. **Ambio-Journal of Human Environment Research and Management**, v. 36, n. 8, p. 614-621, 2007.

TEIXEIRA, Danielle Cardozo Frasca; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ilhas de calor: representações espaciais de cidades de pequeno porte por meio de modelagem. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online),** v. 21, n. 1, p. 239-256, 2017.

TOBLER, Waldo R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. Economic geography, v. 46, n. sup1, p. 234-240, 1970.

USGS. *Landsat 8-9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide*. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Version 2.0, 2024.

VIANNA, Yan Carlos Gomes; DE FORA-MG, JUIZ. **Modelagem e identificação de ilhas de calor em Ubá-MG**. 2018. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Programa de Pós-graduação em Geografia–Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora.

VON BERTALANFFY, Ludwig. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.

ZALASIEWICZ, Jan *et al.* The Anthropocene: a new epoch of geological time? **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 369, n. 1938, p. 835-841, 13 mar. 2011. DOI: 10.1098/rsta.2010.0339

ZHAO, X. J. et al. Analysis of a winter regional haze event and its formation mechanism in the North China Plain. Atmospheric Chemistry and Physics, v. 13, n. 11, p. 5685-5696, 2013.