UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia

Débora Couto de Assis

# INTERAÇÃO ENTRE FATORES ESPACIAIS E TIPOS DE TEMPO NA ORGANIZAÇÃO DAS UNIDADES CLIMÁTICAS EM JUIZ DE FORA – MG

Belo Horizonte
2022

Débora Couto de Assis

# INTERAÇÃO ENTRE FATORES ESPACIAIS E TIPOS DE TEMPO NA ORGANIZAÇÃO DAS UNIDADES CLIMÁTICAS EM JUIZ DE FORA – MG

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim

Belo Horizonte
2022

A848i
2022

Assis, Débora Couto de.

Interação entre fatores espaciais e tipos de tempo na organização das unidades climáticas em Juiz de Fora – MG [manuscrito] / Débora Couto de Assis. – 2022.

224 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Carlos Henrique Jardim.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2022.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Bibliografia: f. 214-224.

1. Climatologia urbana – Juiz de Fora (MG) – Teses. 2. Temperatura – Teses. I. Jardim, Carlos Henrique. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Geografia. III. Título.

CDU: 551.58(815.1)

Ficha catalográfica elaborada por Elisabete Quatrini Vieira – CRB6 2210

Biblioteca “Vitória Pedersoli”, Instituto de Geociências da UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

# FOLHA DE APROVAÇÃO

**INTERAÇÃO ENTRE FATORES ESPACIAIS E TIPOS DE TEMPO NA ORGANIZAÇÃO DAS UNIDADES CLIMÁTICAS EM JUIZ DE FORA – MG**

**DÉBORA COUTO ASSIS**

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia 14 de junho de 2022, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

**Cássia de Castro Martins Ferreira**

UFJF

**Edson Soares Fialho**

UFV

**Janise Bruno Dias**

UFMG

**Wellington Lopes Assis**

IGC/UFMG

**Carlos Henrique Jardim -** Orientador

UFMG

Belo Horizonte, 14 de junho de 2022.

Documento assinado eletronicamente por **Carlos Henrique Jardim**, **Professor do Magistério Superior**, em 16/06/2022, às 10:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Wellington Lopes Assis**, **Professor do Magistério Superior**, em 16/06/2022, às 11:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Janise Bruno Dias**, **Professora do Magistério Superior**, em 17/06/2022, às 12:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Cássia de Castro Martins Ferreira**, **Usuário Externo**, em 20/06/2022, às 12:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Edson Soares Fialho**, **Usuário Externo**, em 27/06/2022, às 08:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1498359** e o código CRC **3A6C6D67**.

**Referência:** Processo nº 23072.231913/2022-41 SEI nº 1498359

*A minha querida avó Neuza do Carmo (in memoriam), que me ensinou a encarar com leveza as adversidades da vida*

## AGRADECIMENTOS

Apesar de carregar a autoria deste trabalho, ele é fruto de contribuições de muitas pessoas, que me ajudaram direta ou indiretamente, tanto para construção da pesquisa propriamente dita, quanto na minha trajetória de formação nestes últimos cinco anos. Por isto, gostaria de registrar aqui os meus sinceros agradecimentos.

A Deus, meu guia e fonte inesgotável de força.

Aos meus pais Cleber e Mary e aos meus irmãos Isadora e Gabriel, que são meu alicerce e propósito, eu sei que juntos superamos qualquer dificuldade. Amo vocês!

À minha companheira Raiane, que está ao meu lado desde o início de tudo, que compreendeu a distância quando precisei me mudar para Belo Horizonte e até mesmo minhas ausências ainda que na presença. Sem você não seria possível e, mesmo se fosse, não teria a menor graça.

À minha querida tia Cleia, grande amiga e conselheira, que me apoiou desde a inscrição, acompanhou cada etapa dessa jornada, compartilhou os momentos mais difíceis e aqueles de alegria. Essa conquista é nossa tia!

Às minhas amigas, Daiane Oliveira e Franciele Pimentel, presentes que a GEO09 e o LabCAA me trouxeram. Hoje cada uma em um canto, mas ligadas em pensamento e na torcida pelo sucesso umas das outras. Preciso confessar que essa distância tornou essa caminhada mais difícil, mas sei que independentemente da distância não tenho dúvida de que estarão sempre ao meu lado

Aos novos belo-horizontinos, meu maninho Rogério e o Wallacinho, que logo que cheguei em BH também se mudaram para a cidade e tornaram a vida nessa selva de pedra mais leve e animada.

Aos amigos da pós, Max Paulo, Izabela Mendes, Denise Marques, Lilian Machado, Amanda Ribeiro e Andrea Leite, companheiros indispensáveis na frente de batalha da pós-graduação, sempre com uma palavra amiga e abertos à troca de conhecimento, aprendo muito com vocês.

Aos amigos, Paulo e Beth Moreira, Claudia e Waltencyr, Camilo e família e à empresa União Transporte Interestadual de Luxo – UTIL, que permitiram a instalação dos sensores para coleta de dados em campo por quase um ano em suas dependências. Sempre muito acolhedores e entusiasmados com o trabalho nos dias em que precisava verificar os equipamentos e fazer backup dos dados.

Aos amigos da Secretaria do Patrimônio da União (SPU), principalmente nas figuras da Ramille Soares e Jessica Vianna, que abriram as portas do projeto da URGEO-MG, que foi um divisor de águas na minha trajetória, me fazendo mergulhar com tudo de volta ao Geoprocessamento. Aprendi muito com vocês e com meus parceiros Lucas Saliba e Guilherme do Nascimento, que também se tornaram bons amigos.

Aos colegas do Centro de Inteligência Territorial, principalmente ao Felipe Nunes, que foi um grande incentivador, que acreditou no meu trabalho e foi compreensivo nos momentos em que precisei de me dedicar aos compromissos acadêmicos.

Ao Centro de Sensoriamento Remoto e ao Laboratório de Gestão de Serviços Ambientais, liderados pelos professores Britaldo Soares Filho, Raoni Rajão e Sonia Ribeiro, sinto-me honrada em fazer parte da equipe e contribuir no desenvolvimento de pesquisas, que certamente trazem importantes contribuições às políticas ambientais do Brasil. A oportunidade de trabalhar junto desta equipe foi transformadora, tanto no desenvolvimento de novas habilidades no âmbito do geoprocessamento e modelagem de sistemas ambientais, quanto na ampliação de perspectivas, que me mostraram que é possível transpor a fronteira da academia e construir uma ciência aplicada a soluções aos problemas da sociedade.

Ao Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental - LabCAA/UFJF, que cedeu parte dos dados de monitoramento de campo, principalmente ao Thiago Alves, que organizou o material e prontamente me encaminhou, o que foi fundamental para detalhamento das unidades na região central e intermediações.

Ao Yan Viana, também colega do LabCAA e Geógrafo responsável pela coleta de dados da estação meteorológica do INMET alocada na UFJF, que me auxiliou no processo de calibração dos sensores junto da estação oficial de referência.

À Carolina Campos Eduardo, colega da Geografia, que me cedeu a base de dados e documentação do mapeamento Geomorfológico de Juiz de Fora, executado junto da Prefeitura.

À Laura Assis e à Gabriela Alkmin, pelo trabalho minucioso na revisão e formatação de todo o texto.

Aos professores Wellington Assis, Janise Bruno, Edson Fialho, Fábio Sanches e Adriana Monteiro, que prontamente aceitaram o convite para compor a banca e certamente terão contribuições valiosas. E principalmente à professora Cássia

Ferreira, que além de compor a banca, me orientou desde o segundo período da graduação até a conclusão do mestrado. Sem dúvidas, este trabalho também é fruto da trajetória que tive no Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LabCAA) e da admiração e carinho que tenho.

Ao professor Carlos, que sem me conhecer confiou no meu trabalho e me incentivou em todos os momentos. Não houve um só dia em que o professor me deixou desacreditar da nossa proposta. Para além orientação, admiro muito seu trabalho, pelo seu compromisso e ética profissional.

À UFMG, pelas oportunidades de atuação em projetos de pesquisas, que permitiram o meu desenvolvimento enquanto Geógrafa e Pesquisadora. Encerro essa experiencia transformada.

A todos, a minha mais sincera gratidão.

“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”. (GUIMARÃES ROSA, 1994)

## RESUMO

O município de Juiz de Fora se destaca como polo regional, atraindo pessoas de toda a região da Zona da Mata. No entanto, mesmo sendo uma importante cidade mineira, carece de estudos que caracterizem a distribuição espacial climática, uma vez que ainda existem limitações técnico-instrumentais que dificultam esse tipo de diagnóstico. Nesse sentindo, o trabalho teve como objetivo, desenvolver um método capaz de identificar e caracterizar as unidades climáticas de Juiz de Fora, a partir da relação dos atributos atmosféricos com a dinâmica das massas de ar, tipos de tempo, relevo e uso e cobertura da terra, articulada em diferentes níveis escalares (espacial e temporal). A pesquisa considerou a ação de processos naturais e antrópicos, através de bases cartográficas e dados meteorológicos, com uso de técnicas estatísticas e de análises espaciais, para que fossem traçadas as unidades climáticas do município sob diferentes condições de tempo. Os procedimentos metodológicos foram estruturados em três momentos, sendo estes: revisão teórica, aquisição e tratamento dos dados e, por fim, métodos de análise dos dados e de síntese. Os resultados obtidos da análise regional demonstraram a função determinante do relevo na configuração do clima regional, com temperaturas mais baixas e maiores totais de precipitação entre os municípios de Lavras, Barbacena e Juiz de Fora. Os controles topoclimáticos, como relevo e uso e cobertura da terra em Juiz de Fora, em determinadas circunstâncias, se sobrepõe à dinâmica regional e local do clima. Com relação aos sistemas atmosféricos, concluiu-se que no período monitorado (de 20/07/2019 à 13/06/2020), os sistemas mais atuantes no município foram: mTa e mPa, os quais correspondem a mais de 50% dos dias analisados. Sobre os métodos utilizados, constatou-se que o modelo de estimativa de temperatura do ar se mostrou uma ferramenta válida para compreensão da realidade termodinâmica da área de estudo. Por fim, o mapeamento de unidades por combinação se mostrou capaz de delinear zonas com o comportamento climático geral do município através de processos computacionais. Além disso, executou-se mapeamento por análise multicritério, o qual permitiu a incorporação de mais variáveis ainda não incluídas na análise por combinação.



**Palavras-chave:** Unidades climáticas. Tipos de tempo. Estimativa de temperatura do ar. Juiz de Fora - MG.

## ABSTRACT

The city of Juiz de Fora stands out as a regional pole, attracting people from the entire Zona da Mata region. Despite being an important city in Minas Gerais, it lacks studies that characterize its spatial climatic distribution, as there are still technical-instrumental limitations that hinder this kind of diagnosis. The purpose of this work was to develop a method capable of identifying and characterizing the climatic units of Juiz de Fora, based on the relationship between atmospheric attributes and the dynamics of air masses, types of weather, relief and land use and cover, articulated in different scalar levels (spatial and temporal). The development of this research began with an investigation considering the action of natural and anthropic processes, through cartographic bases and meteorological data, using statistical and spatial analysis techniques, in order to define the climate units of the city under different weather conditions. The methodological procedures were structured on three levels, which are: theoretical review, data collection and treatment, and data analysis and synthesis methods. The results obtained from the regional analysis have displayed the decisive role of relief in the configuration of the regional climate, with lower temperatures and higher rainfall totals between the cities of Lavras, Barbacena, and Juiz de Fora. Topoclimatic controls, such as relief and use and land cover in Juiz de Fora in Juiz de Forain certain circumstances, overlap with the regional and local climate dynamics. Regarding the atmospheric systems, it has been concluded that, within the monitored period (from July 20, 2019, to June 13, 2020), the most active systems in the city were: mTa (Tropical Atlantic mass) and mPa (Polar Atlantic mass), which correspond to over 50% of the analyzed days. Regarding the used methods, it has been discovered that the air temperature estimate template has become a valid tool to understand the thermodynamic reality of the studied area. At last, mapping units per combination enabled the definition of zones with the general climate behavior of the city through computer processes. In addition, mapping was carried out via multicriteria analysis, which allowed incorporating other variables that have yet to be added to the analysis per combination.



**Keywords:** Climate Units. Weather Types. Air Temperature Estimate. Juiz de Fora-MG.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escalas climáticas ..... 33

Figura 2 - Características do Sistema clima Urbano (SCU). ..... 35

Figura 3 - Sistema Clima Urbano, subsistemas e canais de percepção ..... 38

Figura 4 - Mapa de potencial de aquecimento das 35 regiões urbanas de Juiz de Fora elaborado por Pimentel e Ferreira (2019). ..... 39

Figura 5 - Mapa de sensação térmica na região urbana do Centro de Juiz de Fora, nos períodos de manhã e tarde. ..... 41

Figura 6 - Refletância de telhas cerâmicas frescas e revestimentos metálicos frescos. ..... 42

Figura 7 - Perfil de velocidade do vento em diferentes localidades. ..... 43

Figura 8 - Condições de sombreamento no ponto de controle localizado no encontro da rua Halfeld e av. Getúlio Vargas observado no trabalho de Assis (2016) ..... 44

Figura 9 - Ilustração dos componentes de radiação em um campo aberto, canyon urbano e cálculos de FVC ..... 45

Figura 10 - Imagem do céu visível com lente olho de peixe. ..... 46

Figura 11 - Localização do Município de Juiz de Fora- MG. ..... 53

Figura 12 - Evolução da mancha urbana de Juiz de Fora. ..... 57

Figura 13 - Macrozonas de expansão e contenção urbana. ..... 61

Figura 14 - Altimetria do município de Juiz de Fora. ..... 65

Figura 15 - Morfologia do Município de Juiz de Fora. ..... 66

Figura 16 - Mapa de orientação de vertentes. ..... 68

Figura 17 - Mapa de declividade do município de Juiz de Fora. ..... 70

Figura 18 - Uso e Cobertura da Terra de Juiz de Fora. ..... 73

Figura 19 - Balanço hídrico sequencial, com excedente e déficit hídrico de 01/07/2019 a 01/07/2020. ..... 76

Figura 20 - Gráficos com resultados das Normais Climatológicas. ..... 77

Figura 21 - Grupo de gráficos com informações dos elementos temperatura média (A), máxima média (B), mínima média (C), precipitação (D), dias com precipitação (E) e umidade relativa (F). Fonte: elaborado pela autora. ....80

Figura 22 - Grupo de gráficos com informações de descontinuidades têmporo-espaciais de Temperatura média (G), máxima (H), mínima (I) e precipitação (J). ....82

Figura 23 - Esquema operacional dos procedimentos. ....84

Figura 24 - Abrigos meteorológicos utilizados em campo. ....88

Figura 25 - Identificação dos pontos de controle (UFMG) em campo. ....89

Figura 26 - Localização dos pontos de controle. ....90

Figura 27 - Datalogger HT-500, Instrutherm. ....91

Figura 28 - Datalogger HOBO UA-001-64 (a esquerda) e suporte e abrigo de isopor (a direita). ....92

Figura 29 - Procedimentos executados para obtenção da temperatura de superfície através das imagens do Landsat 8, de acordo com Pavão (2016) ....98

Figura 30 - Procedimentos executados para seleção dos tipos de tempo. ....105

Figura 31 - Interpoladores testados ....110

Figura 32 – Ilustração da aplicação da técnica de polígonos de Voronoi ou Thiessen. ....112

Figura 33 - Fluxograma dos procedimentos para cálculo da temperatura do ar estimada. ....113

Figura 34 - Polígonos de Voronoi criado a partir dos pontos de controle urbano. ....114

Figura 35 - Polígonos de Voronoi criado a partir dos pontos de controle próximos a cursos d'água. ....114

Figura 36 - Método de validação cruzada Leave-One-Out (LOOVCV). ....117

Figura 37 - Procedimentos para elaboração o esboço de unidades topo climáticas. ....122

Figura 38 - Classificação dos sistemas atmosféricos atuantes durante o monitoramento e coleta de dados em campo. ....129

Figura 39 - Percentual de ocorrências dos sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 23 de julho de 2019 ao dia 13 de junho de 2020 ....140

Figura 40 - Sistemas atmosféricos atuantes, no período de monitoramento e coleta de dados de campo. ..... 141

Figura 41 - Gráficos de temperatura média, máxima e mínima por dia de monitoramento. ..... 146

Figura 42 - Gráficos de umidade média, máxima e mínima por dia de monitoramento ..... 147

Figura 43 - Mapas de temperatura de superfície em diferentes condições atmosféricas. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação da mPa ..... 150

Figura 44 -Temperatura do ar estimada sob quatro tipos de tempo. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação da MPA. ..... 155

Figura 45 -Mapas de temperatura do ar obtidas pelo CHELSA, nos meses de agosto, outubro, janeiro e maio de 2019 ..... 159

Figura 46 - Temperatura média do ar em Juiz de Fora, para os meses entre julho e setembro de 2019..... 162

Figura 47 - Mapa com esboço das unidades topoclimáticas. ..... 165

Figura 48 - Mapas de entrada na análise de combinatória para geração das unidades climáticas. Mapa A - Uso e Ocupação da Terra; Mapa B - Morfologia ... 168

Figura 49 - Mapas de temperatura média por parcela sob diferentes tipos de tempo. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação do MPA. ..... 170

Figura 50 - Esboço das unidades climáticas por combinação. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação do MPA..... 172

Figura 51 - Resultado da análise multicritério. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação da mPa ..... 176

Figura 52 -Planos de informação utilizados na análise multicritério. ..... 177

Figura 53 - Mapa das unidades climáticas do município de Juiz de Fora, sob atuação da mTa ..... 179

Figura 54 - Áreas verdes no município de Juiz de Fora ..... 185

Figura 55 -Fragmentos da folha topográfica. e da imagem aérea do Google Earth, com eixos delimitadores da formação horst e gráben, desenho sem escala . 186

Figura 56 - Mapa das unidades climáticas do município de Juiz de Fora, sob atuação da mTa no mês de outubro de 2019..... 194

Figura 57 - Mapa das unidades climáticas do município de Juiz de Fora, sob atuação de sistemas frontais e da ZCAS no mês de janeiro de 2020 ..... 199

Figura 58 - Mapa das unidades climáticas do município de Juiz de Fora, sob atuação do MPA, no mês de maio de 2020. ..... 207

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Categorias taxonômicas da organização geográfica do Clima e suas articulações com o Clima Urbano. ..... 34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área de evolução da mancha urbana.....55

Tabela 2 - Proporção de feições morfológicas .....67

Tabela 3 - Distribuição de orientação de vertentes em área. .....67

Tabela 4 - Distribuição da declividade em Juiz de Fora. .....69

Tabela 5 - Uso da Terra em Juiz de Fora, em área.....74

Tabela 6 - Valores médios dos elementos registrados pelas das estações meteorológicas escolhidas. .....78

Tabela 7 - Características das estações meteorológicas convencionais escolhidas.86

Tabela 8 – Número de falhas nas estações de Juiz de Fora-MG, Lavras-MG, Coronel Pacheco - MG, Barbacena-MG e Cordeiro-RJ, entre 1961 e 2018. .....86

Tabela 9 - Descrição dos pontos de controle. .....91

Tabela 10 – Correlação entre os dados coletados e da estação meteorológica do INMET. .....93

Tabela 11 - Fatores de ajuste aplicados para ajuste dos dados coletados aos da estação meteorológica do INMET. .....93

Tabela 12 - Fonte e descrição de dados espaciais e tabulares fornecidos pela Prefeitura de Juiz de Fora. .....96

Tabela 13 - Fonte e descrição de dados espaciais e tabulares fornecidos por outras fontes.....96

Tabela 14 - Data e horário das imagens de satélite LANDSAT 8 utilizadas.....97

Tabela 15 - Contagem de ocorrências dos sistemas atmosféricos atuantes no período de monitoramento.....107

Tabela 16 - Relacionamento entre classe de uso da Terra e pontos de controle de temperatura do ar extrapolada .....112

Tabela 17 - Fatores de arrefecimento aplicado nas proximidades de corpos hídricos nos meses de monitoramento. .....115

Tabela 18 - Recategorização da morfologia.....119

Tabela 19 - Recategorização do Uso e cobertura da Terra .....120

Tabela 20 - Categorização da temperatura do ar estimada .....120

Tabela 21 - Classes e notas atribuídas ao plano de informação de Uso e cobertura da terra ..... 124

Tabela 22 - Classes e notas atribuídas ao plano de informação de morfologia do relevo ..... 124

Tabela 23 - Classes e notas atribuídas ao plano de informação de Orientação das vertentes..... 124

Tabela 24 - Classes e notas atribuídas ao plano de informação de altitude ..... 125

Tabela 25 - Classes e notas do plano de informação de temperatura de superfície. ..... 125

Tabela 26 - Classes e notas do plano de informação de temperatura do ar estimada. ..... 125

Tabela 27 - Pesos atribuídos por plano de informação para o mapeamento das unidades climáticas. ..... 126

Tabela 28 - Resultados da validação para os meses de agosto e outubro de 2019 ..... 160

Tabela 29 - Resultados da validação para os meses de janeiro e maio de 2020.... 161

Tabela 30 - Descrição das classes do mapa de unidades topoclimáticas..... 166

Tabela 31 - Descrição das unidades mapeadas, por análise combinatória ..... 174

Tabela 32 - Características das unidades climáticas sob atuação da mTa, no mês de agosto de 2019..... 180

Tabela 33 - Características das unidades climáticas sob atuação da mTa, no mês de outubro de 2019 ..... 192

Tabela 34 - Características das unidades climáticas sob atuação das ZCAS e sistemas frontais, no mês de janeiro de 2020 ..... 200

Tabela 35 - Características das unidades climáticas sob atuação do Anticiclone Polar Migratório, em maio de 2020. ..... 205

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| APM | Anticiclones Polares Migratórios |
| ASAS | Alta subtropical do Atlântico Sul |
| CES/JF | Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora |
| CHELSA | *Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas* |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EVA | Etileno Acetato de Vinila |
| FBDS | Fundação Brasileira Desenvolvimento Sustentável |
| FE | Frente Estacionária |
| FF | Frente Fria |
| FO | Frente Oclusa |
| FVC | Fator de Visão do Céu |
| GOES | *Geostationary Operational Environmental Satellite* |
| GTP | Sistema Geossistema, Território e Paisagem |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDW | *Inverse distance weighted* |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| JF Legis | Sistema com as Leis, os Decretos, as Portarias e suas alterações de Juiz de Fora. |
| LABCAA | Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental |
| LI | Linha de Instabilidade |
| LOOCV | Validação cruzada *Leave-One-Out* |
| LOOCV | *Leave-One-Out* |
| LPI | Local polynomial interpolation |
| MDT | Modelo Digital do Terreno |
| mPa | Massa Polar Atlântica |
| mTa | Massa Tropical Atlântica |
| MZC | Macrozona de Requalificação e Contenção Urbana |
| MZE | Macrozona de Expansão do Desenvolvimento Urbano |
| MZQ | Macrozona de Consolidação e Qualificação Urbana |
| MZR | Macrozona de Requalificação e Estruturação Urbana |
| NDVI | Índice de Vegetação da Diferença Normalizada |
| NOOA | *National Oceanic and Atmospheric Administration* |
| PDP | Plano Diretor Participativo |
| PJF | Prefeitura de Juiz de Fora |
| RBF | *Radial basis function* |
| REBIO | Reserva Biológica |

| | |
|---|---|
| RMC | Região Metropolitana de Curitiba |
| RPPN | Reserva Particular do Patrimônio Natural |
| SCU | Sistema Clima Urbano |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SISPLAN - PJF | Sistema Municipal de Planejamento do Território - Prefeitura de Juiz de Fora |
| SQL | *Standard Query Language* |
| SRTM | *Shuttle Radar Topography Mission* |
| TGS | Teoria Geral dos Sistemas |
| UCs | Unidades de Conservação |
| UFJF | Universidade Federal de Juiz de Fora |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| USGS/NASA | *United States Geological Survey/ National Aeronautics and Space Administration* |
| UTC | Tempo Universal Coordenado |
| UTM | Universal Transversa de Mercator |
| XLSX | Extensão de saída de arquivo de planilha Excel |
| ZCAS | Zona de Convergência do Atlântico Sul |
| ZCOU | Zona de Convergência de Umidade |

**SUMÁRIO**


**INTRODUÇÃO ..... 22**

**CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ..... 27**

**1.1 Paisagem e abordagem Geossistêmica ..... 27**

**1.2 Da climatologia às definições escalares ..... 30**

**1.3 O Clima Urbano ..... 35**

**1.4 Unidades climáticas e controles naturais ..... 47**

**CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ..... 52**

**2.1 Caracterização socioespacial de Juiz de Fora ..... 52**

**2.2 Caracterização ambiental de Juiz de Fora ..... 64**

***2.2.1 Relevo ..... 64***

***2.2.2 Vegetação ..... 71***

***2.2.3 Clima – Características Gerais ..... 74***

***2.2.4 Clima – Dinâmica regional ..... 78***

**CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS ..... 83**

**3.1 Revisão teórica ..... 85**

**3.2 Aquisição e tratamento dos dados ..... 85**

***3.2.1 Dados meteorológicos de estações institucionais ..... 85***

***3.2.2 Dados meteorológicos coletados em campo ..... 87***

***3.2.3 Dados Cartográficos ..... 94***

***3.2.4 Análise dos dados ..... 101***

*3.2.4.1 Análise dos dados das estações meteorológicas ..... 102*

*3.2.4.2 Análise dos dados de campo ..... 103*

***3.2.5 Análise de síntese ..... 103***

*3.2.5.1 Seleção dos Tipos de tempo ..... 103*

*3.2.5.2 Temperatura e componentes da Paisagem ..... 108*

*3.2.5.3 Temperatura do ar estimada ..... 111*

*3.2.5.4 Mapeamento das unidades climáticas ..... 118*

3.2.5.4.1 Síntese por combinação ..... 118

3.2.5.4.2 Síntese por análise multicritério ..... 123

**CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 128**

**4.1 Análise sinótica ..... 128**

***4.1.1 Resultados do monitoramento de campo ..... 141***

**4.2 Termodinâmica especializada ..... 148**

***4.2.1 Temperatura de Superfície ..... 148***

***4.3.2 Temperatura do ar estimada ..... 152***

**4.3 Unidades Climáticas ..... 161**

***4.3.1 Esboço das unidades climáticas ..... 161***

***4.3.2 Unidades climáticas por análise de combinatória ..... 167***

***4.3.3 Unidades climáticas por análise de multicritério ..... 174***

*4.3.3.1 Sob atuação da mTa, em agosto de 2019 ..... 178*

*4.3.3.2 Sob atuação da mTa, em outubro de 2019 ..... 191*

*4.3.3.3 Sob atuação de sistemas frontais e ZCAS, em janeiro de 2020. ..... 197*

*4.3.3.4 Sob atuação do mPa, em maio de 2020 ..... 204*

**CONCLUSÃO ..... 211**

**REFERÊNCIAS ..... 214**

## INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades está relacionado ao aumento do número de moradias associado a ocupação da terra ordenada sob a lógica dos agentes de produção do espaço, em que investimentos de infraestrutura são conduzidos para áreas de maior interesse econômico em detrimento de regiões menos valorizadas. Nesse sentido, paisagens naturais são alteradas por estruturas urbanas e rurais sem que os impactos das modificações sejam devidamente avaliados, sejam eles positivos ou negativos.

Para além das mudanças na esfera urbana, as atividades agropastoris tiveram papel relevante nas cidades mineiras tanto na economia quanto nas proliferações de áreas degradadas, uma vez que grandes fragmentos de mata Atlântica cederam lugar para pastagem e lavoura, principalmente do café, no caso do município de Juiz de Fora.

De acordo com o Anuário Estatístico de Juiz de Fora de 2005, a microrregião teve a maior parte de suas florestas nativas (Mata Atlântica) devastada pelas atividades de cafeicultura e criação de áreas de pastagens, resultando na fragmentação desse domínio. Partes desses fragmentos se encontram, nos dias de hoje, em regeneração no limite entre a malha urbana e áreas rurais. Porém, a existência de Unidades de Conservação (UCs), é insuficiente para uma proteção efetiva da cobertura florestal, assim como não garante as condições necessárias para restabelecimento das relações ecológicas outrora existentes nessa região.

Assim, revela-se que as atividades humanas geram disfunções de difícil gestão e correção, além de expor a população menos favorecida a condições de vulnerabilidade, uma vez que essa parcela da sociedade é induzida a se estabelecer nos espaços mais degradados da cidade.

Nesse sentido, faz-se necessário entender os elementos e fatores que compõem a dinâmica climática e ambiental diante das modificações ocorridas, para que a estruturação e planejamento da cidade ocorram de forma eficiente, tanto no diagnóstico quanto na mitigação dos impactos negativos resultantes das alterações.

Ribeiro (1993) destaca que o fenômeno climático é resultado da inter-relação de trocas energéticas recíprocas e interdependentes de fenômenos de natureza diversas. Essas trocas estão diretamente relacionadas à entrada de energia através da radiação e como as superfícies respondem à recepção dessas ondas curtas e

irradiam para atmosfera em forma de ondas longas. Neste processo pode-se destacar a relevância das propriedades físicas dos elementos que cobrem as superfícies.

Portanto, revela-se que a modificação do uso da terra traz consequências tanto em áreas urbanas, uma vez que a troca de fragmentos florestais por áreas de pastagem, solo exposto ou até mesmo por coberturas impermeabilizantes pode acarretar a potencialização de processos erosivos, assim como o aumento da vulnerabilidade de áreas de riscos, as quais possuem grande representatividade na realidade urbana de Juiz de Fora.

Os efeitos na dinâmica climática são evidentes, uma vez que as alterações na cobertura da terra trazem consigo modificações no balanço de energia devido à modificações das propriedades físicas dos elementos que compõem a paisagem alterada. O albedo é uma delas, visto que as áreas urbanizadas são repletas de objetos com baixíssimos valores de albedo, melhor condutividade térmica e conservação de calor, sendo então mais susceptíveis ao aquecimento.

Além disso, a impermeabilização da superfície também está atrelada à ocorrência de impactos associados ao subsistema hidrometeórico, em eventos extremos como o que ocorreu no dia 24 de dezembro de 2018, em que houve chuva intensa com registro de 56 mm em uma hora (INMET,2019), provocando alagamentos em diversos pontos do município de Juiz de Fora (CHUVA, 2019). Esse tipo de evento meteorológico está associado às ocupações irregulares, canalização de cursos d'água, impermeabilização do solo etc. Estas ocorrências podem acarretar problemas urbanos de ordem sociais e econômicas, uma vez que enchentes trazem consigo perdas materiais e até mesmo de vidas, além da intensificação da proliferação de doenças.

De acordo com Oliveira (2021), os impactos hidrológicos têm aumentado com o passar dos anos em Juiz de Fora devido ao aumento de áreas impermeabilizadas, o que demanda maior vazão dos sistemas de drenagem, os quais já se encontram defasados. Oliveira (2021) ainda afirma que o aumento de impactos se encontra nas regiões em que foram observados maior crescimento populacional.

Nesse sentido, destaca-se que diversas enfermidades da sociedade estão associadas à questão da qualidade socioambiental. Sem minimizar os aspectos endógenos, os fatores externos ao corpo humano estão no cerne de muitas moléstias, sendo responsáveis pelo agravamento da insalubridade a que a população está exposta. Mendonça, Borox e Paula (2000) diz que a saúde humana é fortemente

influenciada pelo clima, pois as condições térmicas de dispersão (ventos e poluição) e de umidade do ar exercem destacada influência sobre a manifestação de muitas doenças, epidemias e endemias humanas.

Mas é importante destacar que as intervenções antrópicas também trazem impactos positivos à sociedade, uma vez que proporcionam acesso a bens e serviços, condições de saneamento e agilidade no transporte. Porém, para que isso ocorra de maneira eficiente e com equidade, faz-se necessário conciliar alterações sem eliminar processos naturais atrelados à biodiversidade, formação de solos, reposição de águas dos aquíferos e conservação de áreas naturais. Para que isso seja possível é indispensável o planejamento participativo que considere avaliações e diagnóstico das possíveis alterações, para que sejam implantadas ações de arrefecimento.

A respeito da importância da compreensão climática para a sociedade, evidencia-se a função que a mesma desempenha nas atividades agrícolas, pois assim como são estudados os perfis ideais de conforto térmico humano, existem também pesquisas dedicadas à investigação de condições ótimas para desenvolvimento de atividades agrícolas e de pecuária. Como ressalta Bergamaschi e Matzenauer (2014, p.33), “a temperatura do ar é um dos principais fatores determinantes da fenologia das plantas”, exercendo papel fundamental na distribuição espaço-temporal das espécies.

Diante desse contexto verifica-se a necessidade de estudos dedicados à compreensão da dinâmica climática em diferentes escalas, de maneira a subsidiar o planejamento territorial, bem como de pesquisas de outros campos do conhecimento que tem o clima como fator de relevância. No caso do município de Juiz de Fora, revela-se que mesmo sendo uma importante cidade mineira, ainda carece de estudos que caracterizem a distribuição espacial climática, uma vez que ainda existem limitações técnico-instrumentais que dificultam esse tipo de diagnóstico.

Atualmente, com o avanço das tecnologias, equipamentos de monitoramento meteorológicos precisos têm se tornado mais acessíveis. Desse modo, são possíveis trabalhos de monitoramento contínuos que permitam investigações mais fiéis aos fenômenos climáticos de escalas locais, topo e microclimáticas. Além disso, faz-se necessário destacar o papel desempenhado pelas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na integração sistêmica de mapeamentos de variáveis climatológicas e fatores de controle naturais e antrópicos.

Amparado nestas questões, o trabalho teve como propósito desenvolver um arcabouço metodológico para capaz de apoiar a identificação e caracterização de unidades climáticas no município de Juiz de Fora. Para isto, a construção desta pesquisa orientou-se a partir dos seguintes objetivos:

Objetivo geral: desenvolver um método capaz de identificar e caracterizar as unidades climáticas de Juiz de Fora, a partir da relação dos atributos atmosféricos com a dinâmica das massas de ar, tipos de tempo, relevo e uso e cobertura da terra, articulada em diferentes níveis escalares (espacial e temporal);

Objetivos específicos:

a) Monitoramento da temperatura do ar e umidade relativa do ar em diferentes pontos amostrais distribuídos no município;

b) Experimentação de técnicas de espacialização de dados de temperatura do ar;

c) Investigação numérica a respeito da atuação dos elementos do meio físico na configuração de zonas térmicas diferenciadas, para identificação de padrões dos elementos que compõem as superfícies rurais e urbanas;

d) Traçar possíveis zonas de influência da área urbana na configuração das zonas climáticas adjacentes;

e) Construção e ponderação das camadas de entrada do modelo de unidades climáticas através de análises da contribuição das variáveis;

f) Elaboração da carta de unidades climáticas a partir da identificação das realidades locais, mesoclimáticas e topoclimáticas.

Consideraram-se como premissas norteadoras das hipóteses da pesquisa as considerações de Jardim (2007), que afirma que a relação entre as características de uso da terra e morfologia do relevo, influenciadas pela sucessão de tipos de tempo, são fundamentais para explicação das variações de temperatura do ar. Nesse sentido:

a) Esses fatores se alternam em termos de escala de influência, conforme se modificam as condições de tempo meteorológico ou tipos de tempo, daí a necessidade de identificar e caracterizar sua dinâmica de encadeamento e sucessão;

b) A combinação dos fatores de controle de superfície e a sucessão nos tipos de tempo podem refletir na organização espacial do clima ou unidades climáticas, o que leva à adoção de modelos dinâmicos de representação da realidade.

A partir destas premissas, têm-se as seguintes hipóteses:

a) Sob condições de instabilidade atmosférica as áreas rurais tendem a apresentar comportamento térmico semelhante às estruturas urbanas, considerando

a obstrução parcial da radiação solar pela elevada nebulosidade e redistribuição do baixo saldo radiativo pelo vento;

b) A temperatura do ar pode ser inferida a partir da combinação de dados amostrais de temperatura sob diferentes tipos de tempo, com as características do relevo e de uso da terra, tendo em vista que o clima é resultado de uma combinação dinâmica entre a atmosfera e os fatores de superfície.

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, além da introdução. O primeiro capítulo traz a revisão teórica, alicerce da construção dos métodos, assim como análise e discussão dos resultados. Neste capítulo discutiu-se: “A paisagem e abordagem Geossistêmica”; “A climatologia e suas definições escalares”; “Unidades Climáticas e controles naturais” e “O clima urbano”. No capítulo 2 fez-se uma caracterização da área de estudo, que contemplou aspectos socioespaciais e ambientais de Juiz de Fora.

Em seguida, no capítulo 3, apresentaram-se os materiais e métodos construídos e utilizados. Este capítulo foi subdivido em três seções sendo estas: revisão teórica, aquisição e tratamento dos dados e, por fim, métodos de análise dos dados e de síntese, no que se refere à construção das cartas de unidades climáticas.

No capítulo 4 tem-se a apresentação dos resultados e discussão, divididos em dois momentos, o primeiro com o contexto do clima regional em que Juiz de Fora está inserida e as articulações dos diferentes níveis escalares. No segundo, com a análise local e topoclimática da área, incorporando os dados monitorados em campo à análise sinótica do período de coleta. Ainda nesta parte foi feita espacialização dos resultados termodinâmicos, utilizados na delimitação das unidades climáticas por combinação e análise multicritério.

Por fim, no capítulo 5, apresentam-se as conclusões obtidas juntos às confirmações e/ou refutações das hipóteses apresentadas

# CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1 Paisagem e abordagem Geossistêmica

Na busca de subsídio para análise climática, assim como da definição das unidades climáticas de Juiz de Fora, encontrou-se no conceito de Paisagem sob a abordagem Geossistêmica o arcabouço teórico-metodológico capaz de auxiliar na compreensão do fenômeno climático. Isto se deve à perspectiva holística trazida pelo conceito em que a paisagem é constituída por materiais, processos, funções e estrutura, que englobam inúmeras variáveis, que combinadas auxiliam no entendimento da complexidade do sistema climático.

O conceito de paisagem é muito utilizado em diversos segmentos da sociedade, difundido tanto pelo senso comum quanto nos meios científicos. Sendo assim, é possível que o conceito se modifique muito em cada uma dessas visões.

As primeiras referências a paisagem são de, aproximadamente, 1000 a.C., referência esta apresentada no “Livro dos Salmos”, que descreve um olhar para a cidade de Jerusalém (METZGER, 2001). Atualmente, o conceito disseminado de paisagem significa “Extensão de território e de seus elementos que se alcança num lance de olhar; panorama, vista” ou ainda “Desenho, quadro, gravura, foto ou qualquer outra manifestação artística cujo tema principal é a representação de uma paisagem, geralmente de lugares campestres” segundo o dicionário Michaelis (2011).

No contexto científico, no início do século XIX, Alexander Von Humboldt foi o primeiro a utilizar o termo paisagem, conceituando esta em sua essência como a “característica total de uma região terrestre”, de acordo com Metzger (2001). Humboldt, em suas observações em campo, caracterizava as diferenças paisagísticas e fazia descrição dos espaços de determinada região. Assim, oferecia a ideia da paisagem pautada nas experiências de mundo de cada um, tendo cada indivíduo sua visão de paisagem.

Desde Alexander Von Humboldt, o conceito de paisagem foi sendo reformulado e reestruturado até os dias atuais, modificando antigas visões e introduzindo novos questionamentos no conceito de paisagem. Tiveram também contribuições de diversas escolas do pensamento geográfico que ajudaram na evolução do termo. Em geral, há variadas referências designadas ao termo paisagem

que evidenciam o espaço, a geopolítica, a aparência e a conjuntura histórica que o termo traz consigo.

As ciências geográficas utilizaram-se do termo “paisagem” como seu objeto de análise, tendo grande destaque nos estudos apresentados desta ciência. Ciência esta que foi de suma importância em sua evolução, atribuindo a ele novos significados e perspectivas. A Geografia Tradicional (1870-1950) coloca a paisagem em evidência dentro de seus estudos (CORREA, 2008), sendo as escolas geográficas francesa e alemã a colocar o termo em evidência e exercerem grande influência na geografia brasileira.

A partir da década de 1940, a paisagem passou a ser estudada em caráter mais quantitativo, devido à afirmação de uma Geografia Teorética Quantitativa, pautada no raciocínio hipotético dedutivo e baseada numa visão de mundo cartesiana.

Outra concepção discutida em geografia é a Ecologia da Paisagem, termo este criado no século XX por Carl Troll, o qual trazia uma perspectiva horizontal e escalar. Posteriormente, usou o termo Geoecologia, que era pautado nas análises de unidades de paisagem juntamente com os processos ecológicos existentes (TROPPMAIR; GALINA, 2006). Troll considerava que a Geoecologia era a ligação da Biologia (ecologia) com a Geografia (paisagem). A geografia tinha a preocupação de pensar na paisagem incluindo o homem, com seus aspectos econômicos e culturais, e não somente as paisagens naturais, privilegiando paisagens transformadas em escala pequena (Macroescala). O termo Ecologia da Paisagem foi criado após quatro anos do termo Ecossistema ter sido introduzido por Tansley em 1935.

Neste contexto teórico-metodológico-histórico, também o conceito de Sistema ganha relevância, sendo difundido por Karl Ludwing von Bertalanffy em 1937 e remetendo principalmente às diversas ocupações humanas, trazendo bases para a conceituação de uma Teoria Geral do Sistema. O “Sistema é um conjunto de elementos inter-relacionados com um objetivo comum” (BERTALANFFY, 1977).

Bertalanffy trouxe críticas às ideias de um mundo dividido em áreas e dizia que cada elemento sozinho faz parte de um todo, mas que quando reunidos estabelecem uma unidade, desenvolvendo características diferentes quando estes componentes estão sozinhos das características que podem desenvolver quando fazem parte de um todo.

São exemplos de sistemas os carros, uma empresa, uma escola, pois um elemento não realiza a função sozinha, necessita da interação com um todo para exercer seu papel.

Os sistemas se dispõem de leis e características comuns, independentemente de onde se encontram. De acordo com Uhlmann (2002)

> Sistema é uma entidade que tem a capacidade de manter um certo grau de organização em face de mudanças internas ou externas, composto de um conjunto de elementos, em interação, segundo determinadas leis, para atingir um objetivo específico. (UHLMANN, 2002)

Essa visão do todo fez a Teoria Geral dos Sistemas se expandir para as diversas áreas do conhecimento. A biologia foi uma das primeiras ciências a empregar a Teoria Geral dos Sistemas em 1935, quando o britânico A.C. Tansley elabora o termo ecossistema (TROLL, *apud* GREGORY, 1992). Este conceito traz a ideia de unidade entre organismos e é considerado ainda hoje um conceito relevante para a biologia. O conceito ecossistema não possui escala definida e nem obrigatoriamente uma grandeza espacial.

Já o termo Geossistema tem ganhado cada vez mais relevância nas ciências geográficas. De acordo com Bertrand (1972), o Geossistema “é resultado da combinação dinâmica, portanto, instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”. A interpretação do termo Geossistema também corresponde aos métodos de interpretação da paisagem, do desenvolvimento, uso e conservação do espaço geográfico, homogeneidade de seus componentes, estruturas, fluxos e relações.

O termo Geossistema foi usado pela primeira vez por V.B. Sotchava na Geografia Russa, em 1960, e difundido pela escola francesa na mesma década. A teoria Geossistêmica surge através da necessidade de a ciência geográfica enfrentar a dinâmica, a abordagem em várias escalas e a interdisciplinaridade que se encontram no meio. Sotchava define os Geossistemas como uma unidade escalar natural, gerada pelas interrelações e interdependências existentes entre seus atributos formadores e que podem ou não estabelecer conexões com a esfera socioeconômica. É na esfera natural que estabelece conexão com a esfera antrópica, com uma estrutura multiescalar concebida por um sistema bilateral de classificação, de Geomeros (estruturas homogêneas) e Geocoros (estruturas heterogêneas).

Bertrand (1972) também faz contribuições sobre Paisagem, pautando-se também na perspectiva dos Geossistemas como um sistema natural, porém com uma classificação unilateral estabelecida em escalas predefinidas, sendo essas classes: Zona, Domínio, Região, Geossistemas, Geofácie e Geotopo.

Assim, estabelece-se o Sistema GTP, Geossistema, Território e Paisagem, sendo que o primeiro se debruça sobre os aspectos naturais, o segundo em aspectos políticos e o último sobre aspectos naturais.

Os conceitos de Geossistemas têm reflexos na geografia brasileira, que alguns autores apontam como um sistema natural que se manifesta em grandes áreas. Chistofoletti (1999) também o define como sistema natural, porém com conexões com a esfera socioeconômica, enfatizando os processos de fluxos de matéria e energia.

Ainda no âmbito brasileiro, Monteiro (1978) define os Geossistemas como sistema singular, complexo, em que interagem os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, ou seja, fenômenos socioeconômicos estão incluídos dentro do funcionamento do sistema, entretanto, mais tarde o autor vem a refletir que ainda era um conceito em construção no Brasil (MONTEIRO, 2003).

Nesse sentido, pautando-se na abordagem Geossistêmica, o clima é componente elementar em sua constituição, assim como o clima deve ser entendido como um sistema que estabelece reações estruturais com os sistemas bioquímicos e social, além da ação de forças externas (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Portanto, como o objetivo desse trabalho aplica-se à compreensão da dinâmica climática do município juiz-forano, é necessário discutir os pressupostos da climatologia uma vez que, com base nas próprias definições de Monteiro, o clima pode ser entendido como um sistema, como por exemplo o sistema clima urbano.

## 1.2 Da climatologia às definições escalares

A climatologia, muitas vezes, é confundida com a meteorologia, apesar de por um longo período fazerem parte de um só ramo de conhecimento da atmosfera terrestre. A meteorologia, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), trata da dimensão física da atmosfera, ou seja, se debruça sobre os fenômenos meteorológicos de maneira individualizada, sem a preocupação de relacioná-los. Em

contrapartida, a Climatologia aborda os elementos e fenômenos climáticos de maneira espacializada.

A Climatologia se divide em duas correntes teóricas, uma destas é denominada Climatologia tradicional, a qual incorpora dados médios, sejam eles mensais ou anuais, o que possivelmente mascara as condições reais da atmosfera.

Apesar de ser ligeiramente precipitado, Sorre (1984) afirma que a definição tradicional se prendia ao uso excessivo de médias aritméticas, tornando-se pouco precisa, ao passo que apreciava a atmosfera como uma unidade estática. Com este pensamento, Max Sorre apresentou novas perspectivas acerca da pesquisa em climatologia, sugerindo uma nova análise baseada em dados diários, contribuindo para o reconhecimento dos principais mecanismos que regem o funcionamento da circulação geral da atmosfera e dos eventos climáticos excepcionais.

A definição de “tempo” não pode passar despercebida quando se trata da temática do clima. Tempo é o estado atmosférico de um determinado momento, enquanto o clima de certo lugar é a síntese de seus tempos atmosféricos em dado período (AYOADE, 1991; SILVA; RIBEIRO, 2004). Esta concepção está atrelada a uma linha mais tradicional da climatologia, sendo importante ressaltar que existem outros autores, como Monteiro (1969), que possuem uma perspectiva diferente, que entende clima como uma sucessão de tipos de tempo. De acordo com Monteiro (1969):

> Por coerência com a noção de “sucessão” de que se reveste o caráter geográfico do clima. Porque só o encadeamento dos estados atmosféricos mostra os “tipos” esquematizados na análise meteorológica precedente, em suas perspectivas reais, revestidas em suas infinitas gradações e facetas. Também, é pela sucessão que se percebem as diferentes combinações dos elementos climáticos entre si e suas relações com os demais elementos do quadro geográfico. É a sequência que conduz ao ritmo, e o ritmo é a essência da análise dinâmica.” (MONTEIRO, 1969, p.13).

Outros autores, a exemplo de Geiger (1990), Monteiro (1971) e Mendonça e Danni-Oliveira (2007), que se apropriaram da concepção de Max Sorre, propõem a concepção da “Climatologia Dinâmica”, indicando o ritmo como elemento indispensável à compreensão do clima e dos mecanismos que regem seu funcionamento. No Brasil, as maiores referências acerca desta abordagem estão presentes nos trabalhos de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro: “Análise Rítmica em Climatologia” (1971), “A climatologia do Brasil ante a renovação atual da

Geografia: Métodos em questão” (1973) e “Teoria e clima urbano” (1976), voltadas para a climatologia, sobretudo esta última com a análise do clima urbano.

Pedelaborde (1957,1970) também é adepto à teoria sorreana de uma perspectiva mais dinâmica da climatologia, porém, diferentemente de Monteiro, o autor francês reflete a partir do paradigma da totalidade quando em estudos e sínteses dos tipos de clima na bacia parisiense.

Incorporando as novas perspectivas trazidas por Sorre (1984) e Pedelaborde (1957,1970), foi possível desenvolver uma teoria capaz de interpretar a complexidade e heterogeneidade da cidade através de uma concepção de clima dinâmico, superando a ideia de clima como construto meteorológico que simplesmente se sobrepõe à cidade.

O clima é um sistema formado por subsistemas ao mesmo tempo em que integra outros sistemas de níveis hierárquicos maiores, portanto a questão escalar é fundamental para estabilidade dos sistemas. Dessa forma, verifica-se a importância da escala para a compreensão climática.

De acordo com Ribeiro (1993), a escala consiste em um referencial definido arbitrariamente a partir do objetivo de análise de fenômeno estudado. Assim, existem diferentes estruturas escalares para compreensão de fenômenos climáticos.

Monteiro e Mendonça (2003), por exemplo, apresentam 7 espaços climáticos categorizados com escalas cartográficas de tratamento diferentes. Definem-se 3 níveis interativos, sendo esses Macroclimático, Mesoclimático e Microclimático, e são esses níveis que subsidiaram a concepção da proposta taxonômica de Monteiro e Mendonça (2003), como observado no Quadro 1.

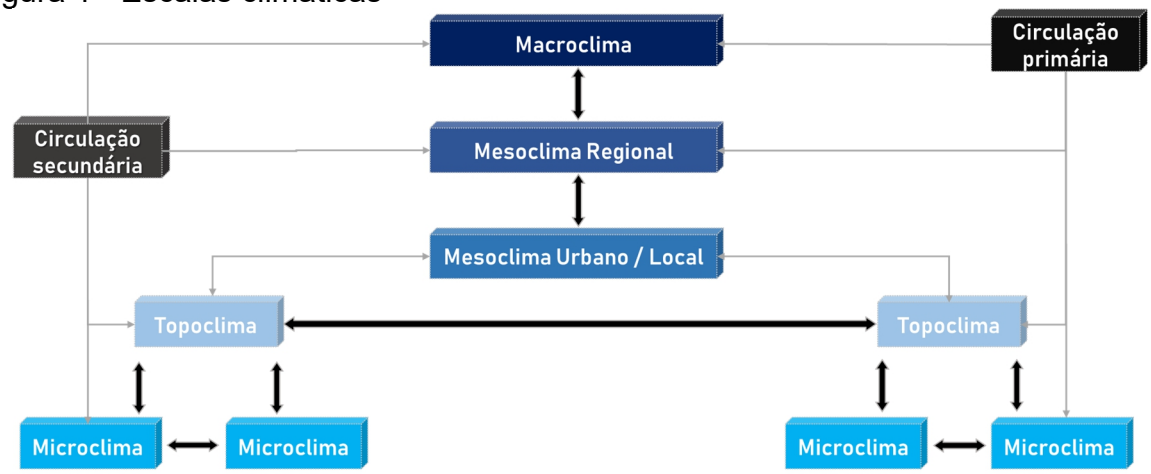
O macroclima é concebido a partir da macroescala, a qual abrange grandes áreas, sendo estas determinadas por fatores geográficos como latitude, correntes marítimas, continentalidade/maritimidade, altitude e atuação de massas de ar. Assim, como aponta Ayoade (1991), está “relacionada com os aspectos dos climas de amplas áreas da Terra e com os movimentos atmosféricos em larga escala”.

Pela proposição de Monteiro e Mendonça (2003), os mesoclimas englobam cidade grande, bairros ou subúrbios de uma grande metrópole, visualizados nos compartimentos morfológicos, termos de várzeas, espigão central, colinas periféricas etc. É partindo deste nível que este trabalho pretende fazer apontamentos sobre o município de Juiz de Fora e assim fará uso de tomadas de campo em diferentes pontos de controle, como recomenda Monteiro e Mendonça (2003).

Já no último nível tem-se o microclimático, o qual pode estar atrelado a ambientes internos de edificações, ou seja, preocupa-se “com o estudo do clima próximo à superfície ou de áreas muito pequenas” (AYOADE, 1991).

A partir dos níveis anteriormente explicados, determinam-se as ordens de grandeza e diferentes espaços climáticos, que segundo Monteiro e Mendonça (2003), são: Zonal, Regional, Sub-regional, Local, Mesoclimas, Topoclima e Microclimas. Na figura 1 a seguir, é possível observar o fluxograma com a hierarquia das unidades climáticas e os fatores de organização, destacados como circulação primária e circulação secundária, as quais podem ser entendidas como latitude e centros de ação atmosférica e sistemas meteorológicos (sinóticos), respectivamente.

Figura 1 - Escalas climáticas




Fonte: Adaptado de Assis (2010).

O trabalho aqui apresentado perpassa principalmente os espaços climáticos mesoclimáticos e inferiores, claro que guardando as devidas referências com as escalas superiores.

O topoclima é entendido como uma derivação do clima local que se deve à rugosidade do terreno, que tem como consequência a energização diferenciada do mesmo, seja devido à forma, tamanho ou exposição do terreno à radiação solar durante o período diurno (RIBEIRO,1993).

Já os microclimas se definem “através da magnitude das trocas gasosas e energéticas entre as feições ou estruturas particularizadas (inclusive objetos, plantas e animais) dispostas na superfície da Terra e o ar que as envolve”. Portanto, faz-se necessário o estudo das variações do ambiente urbano, nos mais diversos níveis, tais

como bairros, ruas, casas e ambientes internos. A ação ecológica natural, associada aos fenômenos urbanos, constitui o conjunto complexo de inter-relações que produzem o clima urbano (LOMBARDO, 1985).

Monteiro e Mendonça (2003) fazem apontamentos sobre as escalas de análises do clima urbano no momento em que destaca as questões de ordem de grandeza e graus de organização. Dessa forma, o autor afirma que as unidades espaciais do clima estão interligadas às unidades geomorfológicas, porém destaca que essa repartição taxonômica não objetiva colocar limites absolutos a cada unidade morfoclimática (Quadro 1).

Quadro 1- Categorias taxonômicas da organização geográfica do Clima e suas articulações com o Clima Urbano.

| **Ordens de grandeza** | **Unidades de superfície** | **Escalas cartográficas de tratamento** | **Espaços Climáticos** | **Espaços Urbanos** | **Estratégias de abordagem** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | **Meios de** observação | **Fatores de organização** | **Técnicas de análise** |
| II | (milhões de Km) | 1:45.000.000<br>1:10.000.000 | Zonal | - | Satélites Nefanálises | Latitude Centros de ação atmosférica | Caracterização geral comparativa |
| III | (milhões de Km) | 1:5.000.000<br>1:2.000.000 | Regional | - | Cartas sinóticas Sondagens aerológicas | Sistemas meteorológicos (Circulação secundária) | Redes transectos |
| IV | (centenas de Km) | 1:1.000.000<br>1:500.000 | Sub-Regional | Megalópole<br>Grade área metropolitana | Rede meteorológica de superfície | Fatos geográficos | Mapeamento sistemático |
| V | (dezenas de Km) | 1:250.000<br>1:100.000 | Local | Área metropolitana<br>Metrópole | Posto meteorológico<br>Rede complementar | Integração geológica Ação antrópica | Análise espacial |
| VI | (centenas de m) | 1:50.000<br>1:25.000 | Mesoclima | Cidade grande bairro ou subúrbio de metrópole | Registro móveis (Episódios | Urbanismo | Especiais |
| - | Dezenas de metros | 1:10.000<br>1:5.000 | Topoclima | Pequena cidade<br>Subúrbio da cidade | (Detalhe) | Arquitetura | |
| - | Metros | 1:2.000 | Microclima | Grande edificação Habitação<br>Setor de Habitação | Baterias de instrumentos especiais | Habitação | |

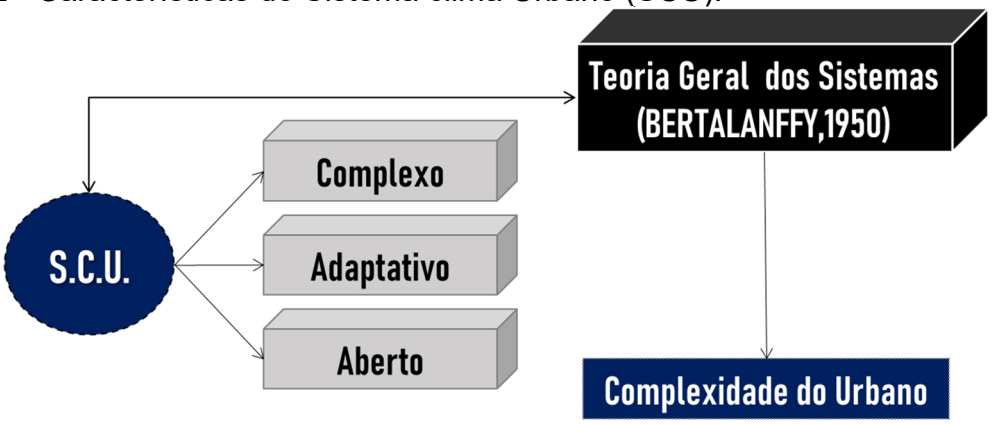
Fonte: Adaptado de Monteiro e Mendonça (2003).

## 1.3 O Clima Urbano

O clima é resultado de diversas interações, tanto de todos os elementos atmosféricos quanto dos aspectos socioambientais, portanto Monteiro (1976) concebe a teoria do clima urbano a partir da integração de sua concepção teórica do clima e da Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1977).

Nesta investigação optou-se como recorte teórico epistemológico a Teoria do Clima Urbano criada por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro em sua tese intitulada “Teoria e clima urbano” e publicada em 1976. Neste sentido, a seguir serão apresentadas as características norteadoras dessa teoria e para facilitar a construção do texto será adotada a sigla SCU para o Sistema Clima Urbano, como pode ser observado na figura 2.

Figura 2 - Características do Sistema clima Urbano (SCU).




Fonte: Elaborado pela autora.

O sistema clima urbano é um sistema complexo, aberto e adaptativo, que ao receber energia do ambiente maior no qual se insere, transforma-se substancialmente, a ponto de gerar uma produção exportada ao ambiente. Destaca-se que isto ocorre apenas nos casos em que de fato existe clima urbano. Na maioria das cidades de pequeno porte não há clima urbano e, portanto, capacidade para transformar o meio no qual se encontra. Isto porque uma cidade de pequeno porte é muito mais influenciada do que influenciadora diante do contexto ao seu redor. Em contrapartida, cidades de grande porte como São Paulo e Belo Horizonte apresentam condições para exportar poluição, calor e água poluída para outras

cidades e, ao mesmo tempo, recebem produtos resultantes de impactos negativos de outras cidades também.

A opção pela Teoria Geral dos Sistemas (T.G.S.) se deve à complexidade dos fenômenos urbanos e sua riqueza associativa (MONTEIRO, 2003). Monteiro (2003) apresenta as características de sua teoria e é o que justifica a escolha da T.G.S como recorte teórico-metodológico através de 5 elementos, definidos em: “Pragmatismo”, “Dinamismo”, “Consistência”, “Empirismo” e “Modelismo”.

Explica-se o primeiro item analisando a sua responsabilidade profissional de buscar soluções para os problemas vivenciados pelo Homem. Assim, diante da realidade da natureza artificializada em função das demandas humanas de vivência, tem-se a constituição do clima urbano, o qual possui uma dinâmica diferente do natural, portanto faz-se necessário compreender os possíveis efeitos de sua instalação. Neste sentido, destaca-se a capacidade da T.G.S. de admitir perguntas e gerar respostas (MONTEIRO, 2003).

O “Dinamismo” se justifica pelo fato de o autor adotar a perspectiva Sorreana de climatologia dinâmica, a qual é inerente à realidade urbana. Assim, destaca-se a capacidade da T.G.S de ser capaz de trabalhar tanto por indução quanto por dedução. Esta característica também destaca o elemento “Empirismo”, o qual afirma que a teoria clima urbano deve se considerar como uma experimentação empírica, o que demanda a possibilidade de dedução e indução da T.G.S. (MONTEIRO, 2003).

A “Consistência” constitui-se na capacidade do SCU de abarcar tanto os elementos mais complexos quanto os mais singulares, ou seja, será a ligação do que é nomotético e do que é ideográfico. Assim, o sistema cuida da sua aplicabilidade nas mais diversas regiões. Para contemplar essa característica, a T.G.S. apresenta sua eficácia em compreender a realidade como um todo, além da sua estrutura e funcionalidade (MONTEIRO, 2003).

Por fim, tem-se o “Modelismo”, no qual Monteiro (2003) evidencia a necessidade de mapeamento e diagramação do clima urbano, a qual é completamente possível dentro da T.G.S.

Monteiro (2003, p.19) traz em seu texto enunciados que norteiam a concepção de sua teoria, a conceituação de clima urbano é uma das mais citadas em trabalhos acadêmicos brasileiros da área, nela o consagrado pesquisador define o clima urbano como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”. Neste sentido, o crescimento urbano pode afetar um ou mais elementos

do clima local, sendo necessário compreender as relações dos fenômenos termodinâmicos do ar dentro da cidade com os elementos que constituem o urbano, necessário à habitação humana.

O SCU não pretende definir, por rígidos critérios, o que se considera urbano, devido a vastidão de possibilidades de cidades, as quais variam em forma, estrutura, idade, dentre outras características (MONTEIRO,2003).

Sendo assim, a teoria pondera que a cidade possui uma capacidade de integração aos níveis superiores, mas também permite se decompor em pequenas partes como setores, bairros, ruas, casas e até mesmo ambientes internos. Desta forma é possível investigar diferentes formas de atividades dentro do SCU, pois em cada recorte é viável verificar elementos que inferem na configuração do sistema como um todo (MONTEIRO, 2003).

Apesar de toda inter-relação na constituição do SCU com a cidade, Monteiro (2003) assegura que o mesmo não oferece margem para que seja confundido com o sistema da cidade, pois reconhece a legitimidade deste segundo. Neste sentido, afirma que deve ficar claro que a atmosfera trabalha como o “operador” do sistema, fornecendo os fluxos de energia. Em contrapartida, as atividades humanas não possuem essa função, mas têm atribuição salutar dentro do sistema, pois trabalham no processo de transformação da energia adquirida, transfigurando a estrutura urbana e, desta forma, estas atividades são consideradas o “operando” do sistema.

Desta maneira, possível ratificar o argumento na passagem em que o autor afirma que “Toda ação ecológica natural e as associações aos fenômenos da urbanização constituem o conjunto complexo sobre o qual o operador age” (MONTEIRO, 2003. p. 21).

Monteiro (2003) define que a entrada de energia no sistema é de natureza térmica, que tem origem do Sol. O autor ainda destaca que a configuração do urbano definirá como e quanto dessa energia será absorvida devido à capacidade de armazenamento, efeitos de atrito e a ventilação dessa estrutura.

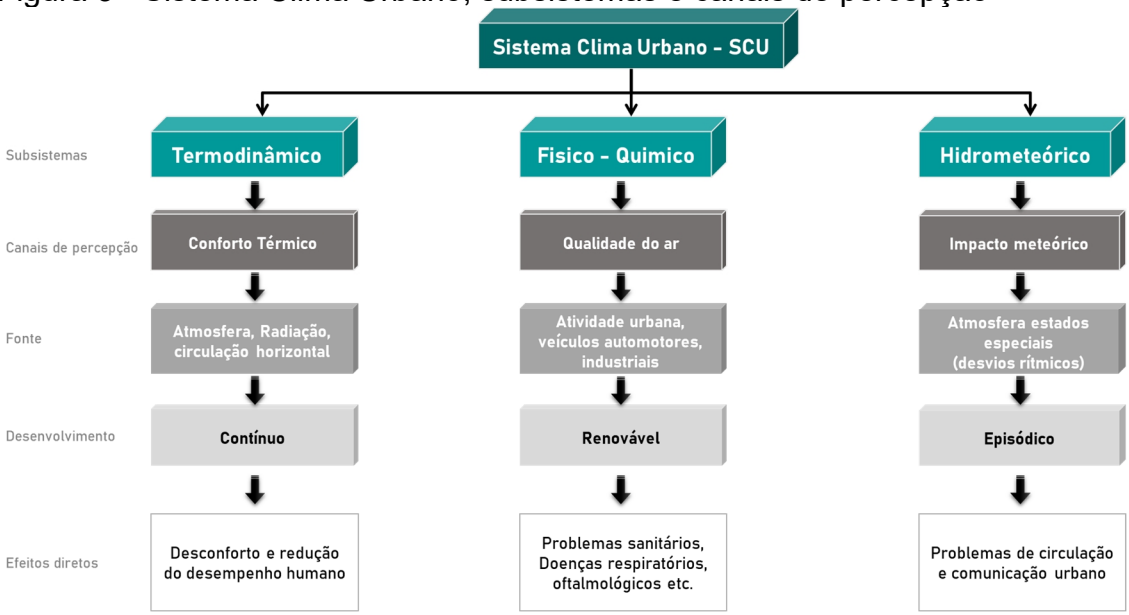
De acordo com Romero (1998), a radiação solar pode ser refletida e absorvida pelas superfícies opacas nas quais incide, sendo que o calor que incide é igual à soma dos fluxos absorvidos e refletidos. Portanto, a quantidade de absorção e reflexão dessa radiação está pautada nas características e forma das superfícies, ou seja, está relacionada com as propriedades termodinâmicas dos materiais, sendo expressas através do albedo, absorção e emissividade (OLIVEIRA, 1988).

O SCU também exige que a avaliação do processo de entrada de energia, especialmente dos processos de transmissão, não se apoie exclusivamente em concepções meteorológicas que levam em conta apenas os valores médios. Para que se alcance a complexidade do sistema, deve-se entender a questão climática a partir da perspectiva Sorreana, compreendendo o ritmo climático (MONTEIRO, 2003). O criador da teoria destaca o caráter sistêmico de compreensão do SCU, assim, há necessidade de análise integrada e inter-relacionada dos seus elementos constituintes, sendo a soma insuficiente para concepção do estudo do sistema.

Ademais, o SCU reconhece o potencial de intervenção do homem para desenvolver adaptações no sentido de mitigar as disfunções encontradas nos climas das cidades, destarte o planejamento ganha destaque nesse processo (MONTEIRO, 2003).

Monteiro (1976) define três subsistemas do SCU., como pode ser visualizado na figura 3 abaixo, o termodinâmico, o hidrometeórico e o físico-químico. A partir destes, a sua abordagem baseia-se nos canais de percepção humana do clima, através dos canais do conforto térmico, da qualidade do ar e de impactos meteóricos, dando sempre maior destaque à dimensão espacial horizontal em detrimento da vertical e temporal dos fenômenos.

Figura 3 - Sistema Clima Urbano, subsistemas e canais de percepção

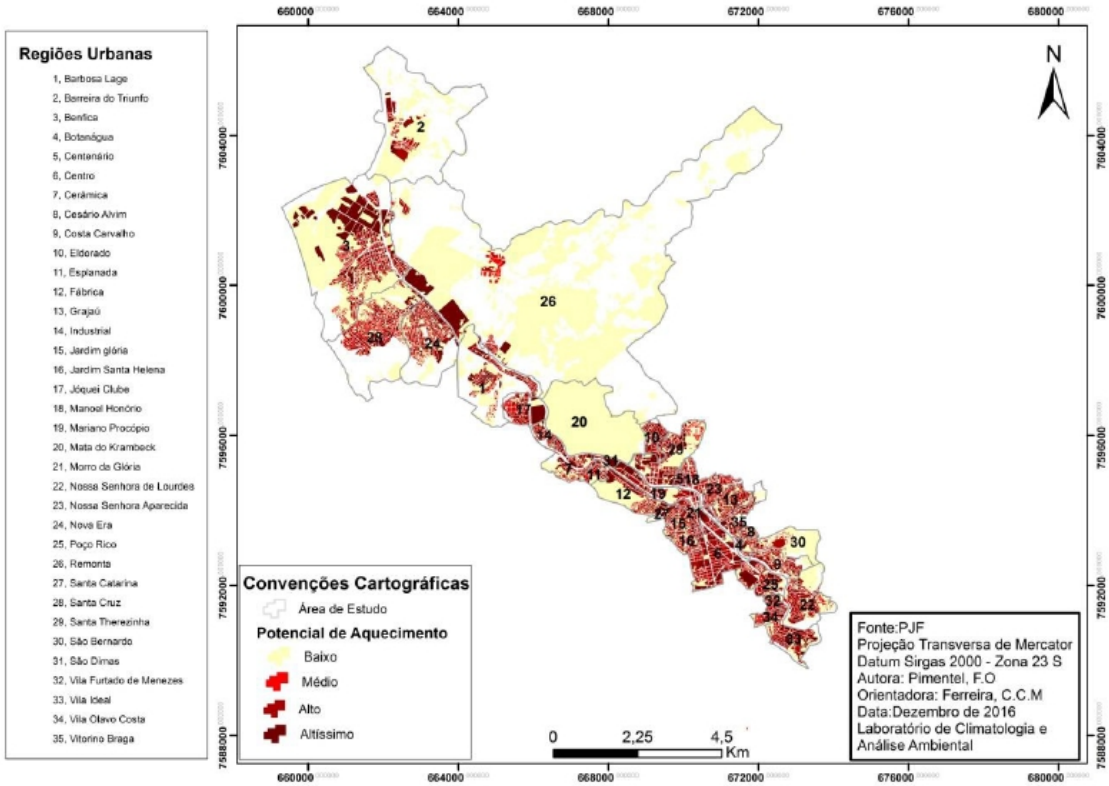



Fonte: Adaptado de Monteiro (1975)

Assim, como os objetos que compõem o urbano auxiliam na compreensão de dinâmica climática das cidades, a compreensão dos aspectos recorrentes das áreas rurais contribui para melhor análise de sua realidade térmica. Dessa forma, faz-se necessário dedicar à compreensão dos controles de superfície que constituem o urbano.

Existem alguns trabalhos que partem da abordagem teórico metodológica do Sistema Clima Urbano em Juiz de Fora, como o trabalho de Pimentel e Ferreira (2019) em que se avaliou o comportamento do clima urbano na cidade de Juiz de Fora- MG, com a avaliação de 35 regiões urbanas na cidade, através de um modelo que estima o potencial de aquecimento a partir das variáveis albedo, emissividade, massa construída e altura de edificações urbanas. Como resultado, as autoras identificaram áreas propensas a núcleos de calor, como é possível identificar na figura 4 nas áreas demarcadas na cor vermelha escura, evidenciando algumas áreas no extremo noroeste da área de estudo, em quem mesmo distante da área central da cidade, apresenta materiais com grande capacidade de aquecimento.

Figura 4 - Mapa de potencial de aquecimento das 35 regiões urbanas de Juiz de Fora elaborado por Pimentel e Ferreira (2019).



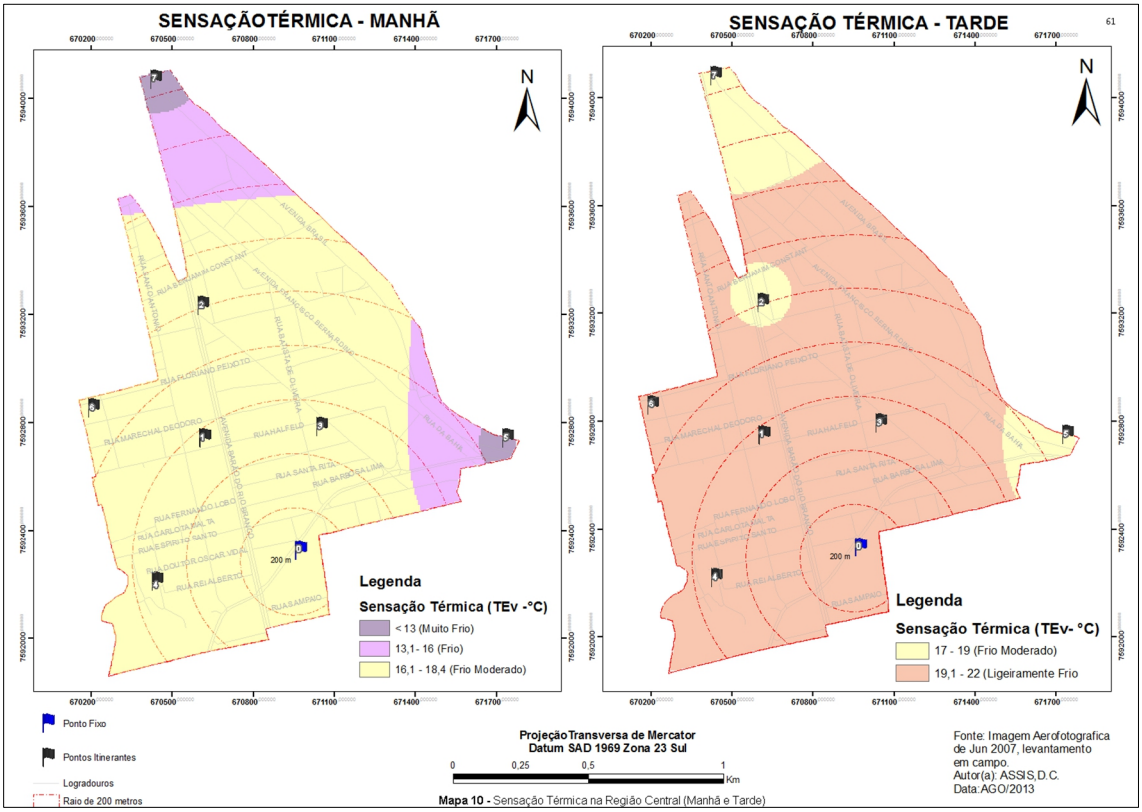

Fonte: Pimentel e Ferreira (2019).

Assis e Ferreira (2018), identificou padrões e processos relacionados ao uso-ocupação da terra e as relações estabelecidas com os elementos climáticos enquanto contribuição para formação de zonas de conforto térmico na região central de Juiz de Fora. Como resultado, observou-se diferentes zonas de conforto térmico dentro da região urbana do centro, sendo que algumas delas se apresentam desconfortáveis à população devido aos baixos valores de temperatura efetiva verificados, ou seja, sensação de frio, revelando a função da vegetação e dos corpos hídricos na diminuição das temperaturas (Figura 5).

Assis (2016) também investigou 11 regiões urbanas, além da região Centro, através da instalação de estações meteorológicas em pontos previamente escolhidos durante o período dos dias 11 a 23 de agosto de 2015. O trabalho resultou na identificação de conforto térmico atrelada às distintas condições de adensamento, denotando áreas sombreadas, o que pôde gerar atenuação na temperatura, além do vento, o qual possuiu uma função determinante nas condições de conforto e até mesmo desconforto.

No trabalho, Assis (2016) conclui que em muitos casos as áreas que sofrem com o sombreamento gerado pelas edificações apresentam maiores índices de desconforto, revelando diferentes situações durante o dia. Além do desconforto disto, têm-se os locais em que o desconforto é influenciado pelo vento, o que revela a necessidade de se verificar a formação de corredores de vento devido à presença maciça de edificações elevadas.

Figura 5 - Mapa de sensação térmica na região urbana do Centro de Juiz de Fora, nos períodos de manhã e tarde.




Fonte: Assis e Ferreira (2018).

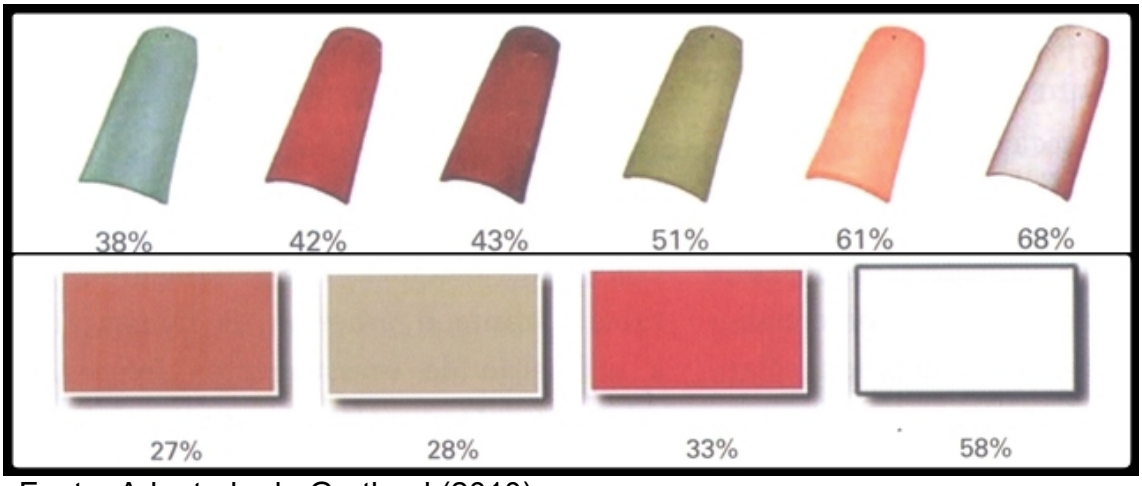
Dentro da infinidade de elementos que influenciam o clima urbano, existe o saldo da radiação que desempenha uma função essencial na troca de calor e de massas com a troposfera, uma vez que é o principal responsável pelo aquecimento do ar e da superfície, sendo de fundamental importância conhecer as propriedades dos materiais que constituem o meio. Uma delas é o albedo (refletância), que é uma propriedade física que os corpos possuem e que se caracteriza pela capacidade que os objetos apresentam de refletir a radiação solar que incide sobre eles. Esta pode variar de acordo com a cor e constituição, sendo que a reflexão máxima ocorrerá nos corpos de cor branca e o mínimo nos de cor preta, e de acordo com a inclinação (ou obliquidade) dos raios solares, ou seja, quanto maior essa inclinação, maior será o albedo.

Outra propriedade que os materiais que constituem o meio urbano têm é a emissividade, que determina qual é a resposta térmica definida pela temperatura superficial. A emissividade é a capacidade de um objeto emitir radiação, sendo que esta pode assumir o valor de 0 (refletida por um espelho) a 1,0 (corpo negro). Dessa forma, o albedo e a emissividade dos materiais das edificações estão diretamente

relacionados com a realidade térmica do urbano. Ou seja, quanto menor o Albedo e a Emissividade maior será o potencial daquela superfície em se aquecer e transmitir calor para o ar, em contrapartida, quanto maior o albedo e a emissividade do material, menor será o desempenho do mesmo para absorver a radiação, assim emitirá menos calor para o meio.

Gartland (2010) destaca que se deve ficar atento com o uso dos termos “refletivo”, “alto albedo”, “de cor clara” ou “branca” quando fazem referência a materiais frescos, ou seja, que podem condicionar o conforto térmico, visto que apenas essas características não garantem que o material permaneça fresco durante a exposição ao sol, pois para que isto ocorra este material deve ter como suas propriedades a alta refletância solar e a alta emissividade térmica. Assim, coberturas metálicas podem ter alto valor de albedo, e, portanto, elevado poder de reflexão, porém possuem baixíssima emissividade, não atuando como coberturas frescas (GARTLAND, 2010), como possível observar o comportamento da refletância nos materiais frescos na figura 6 a seguir:

Figura 6 - Refletância de telhas cerâmicas frescas e revestimentos metálicos frescos.



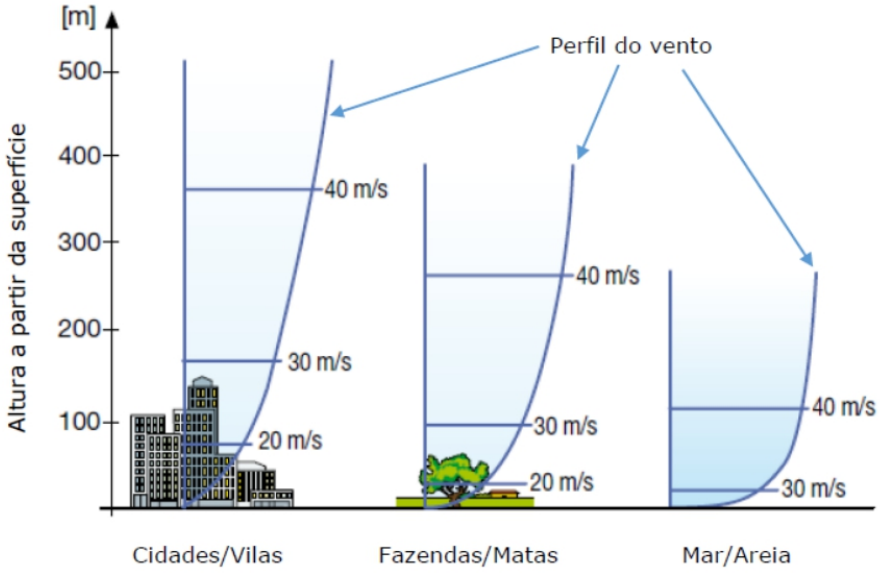

Fonte: Adaptado de Gartland (2010).

Com o avanço da urbanização as edificações tomaram conta do ambiente, o que culminou em consequências para o clima. Neste sentido, com a ampliação das construções temos o aumento imediato da massa construída, a qual é responsável pelo atraso da perda de calor para o meio. Isso se deve às propriedades relacionadas com inércia térmica, que, por sua vez, faz com que as edificações armazenem parte do calor durante o dia e dissipe-o à noite. Mais especificamente essa retenção do calor

está relacionada com as propriedades térmicas e a rugosidade desse ambiente construído (ASSIS,2016). Tso et al. (1990) afirmavam que existe uma relação direta entre o acréscimo da massa construída, a redução nas perdas térmicas convectivas e o aumento de temperatura nos centros urbanos.

Além da inércia térmica desempenhada pelo material de construção das edificações, estas atuam como barreiras físicas para a circulação do ar, formando os chamados *canyons* urbanos, os quais são formados por uma espécie de corredor de edificações elevadas, concentradas e separadas pelas vias de circulação (ASSIS,2016). As edificações podem atuar diminuindo a velocidade dos ventos, uma vez que as mesmas agem como obstáculos aos fluxos, deste modo observa-se que a velocidade dos ventos na zona rural é potencialmente maior que nos centros urbanos, como pode se observar na figura 7:

Figura 7 - Perfil de velocidade do vento em diferentes localidades.



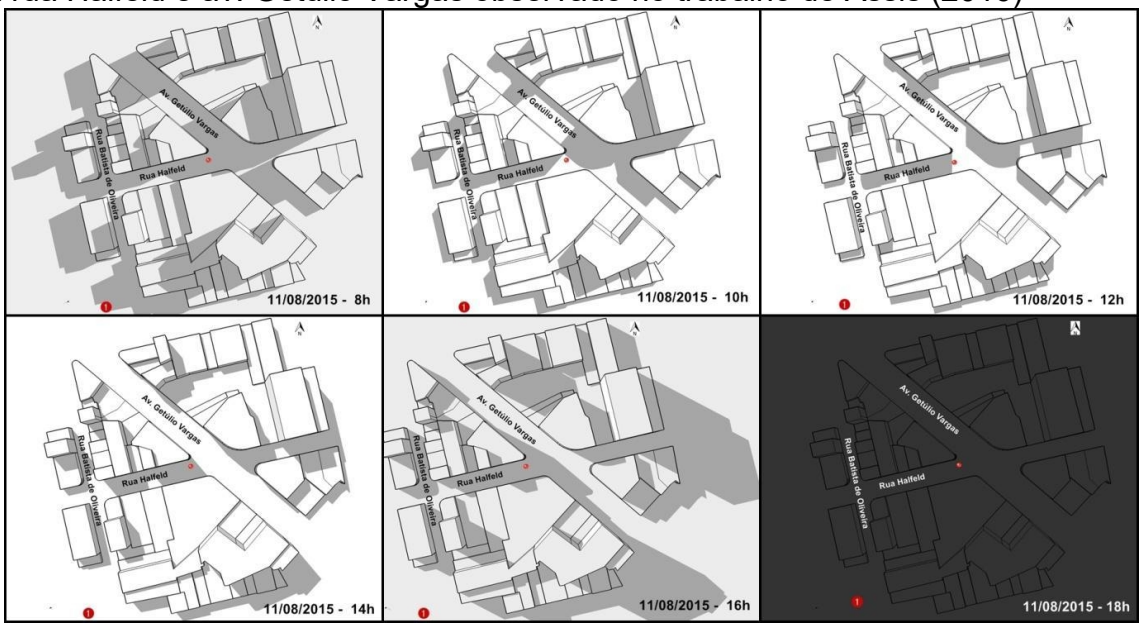

Fonte: Villena (2015).

Os *canyons* urbanos propiciam o aquecimento, pois restringem a emissão de ondas longas para a atmosfera, devido a geometria das edificações que reduzem o fator de visão do céu. Desta forma, a radiação recebida pode ficar aprisionada através de inúmeras reflexões dentro dos canyons e assim são formados diferentes microclimas nos mesmos, devido aos variados ângulos de energia solar, além das múltiplas condições de irradiação e propriedades térmicas dos materiais que constituem a massa edificada (ASSIS, 2016). Porém, também pode ocorrer o

contrário, a depender da orientação da fachada principal dos edifícios, ou seja, podem se formar *canyons* de sombreamentos, com áreas mais resfriadas.

Isto foi observado no trabalho de Assis (2016), em que um dos pontos de controle monitorado em Juiz de Fora - MG é cercado por inúmeras edificações que sombrearam o equipamento instalado praticamente durante todo o dia (Figura 8). No contexto do trabalho, apesar do ponto observado estar em uma das avenidas principais da cidade, adensada, com grande fluxo de veículos e pessoas, verificou-se temperatura mais baixa quando comparado a pontos com menos edificações. Este comportamento foi atrelado ao sombreamento, visto que por mais que a área concentre materiais com alto potencial de aquecimento, a área edificada funcionou como barreira para a entrada solar direta, portanto um aquecimento reduzido.

Figura 8 - Condições de sombreamento no ponto de controle localizado no encontro da rua Halfeld e av. Getúlio Vargas observado no trabalho de Assis (2016)

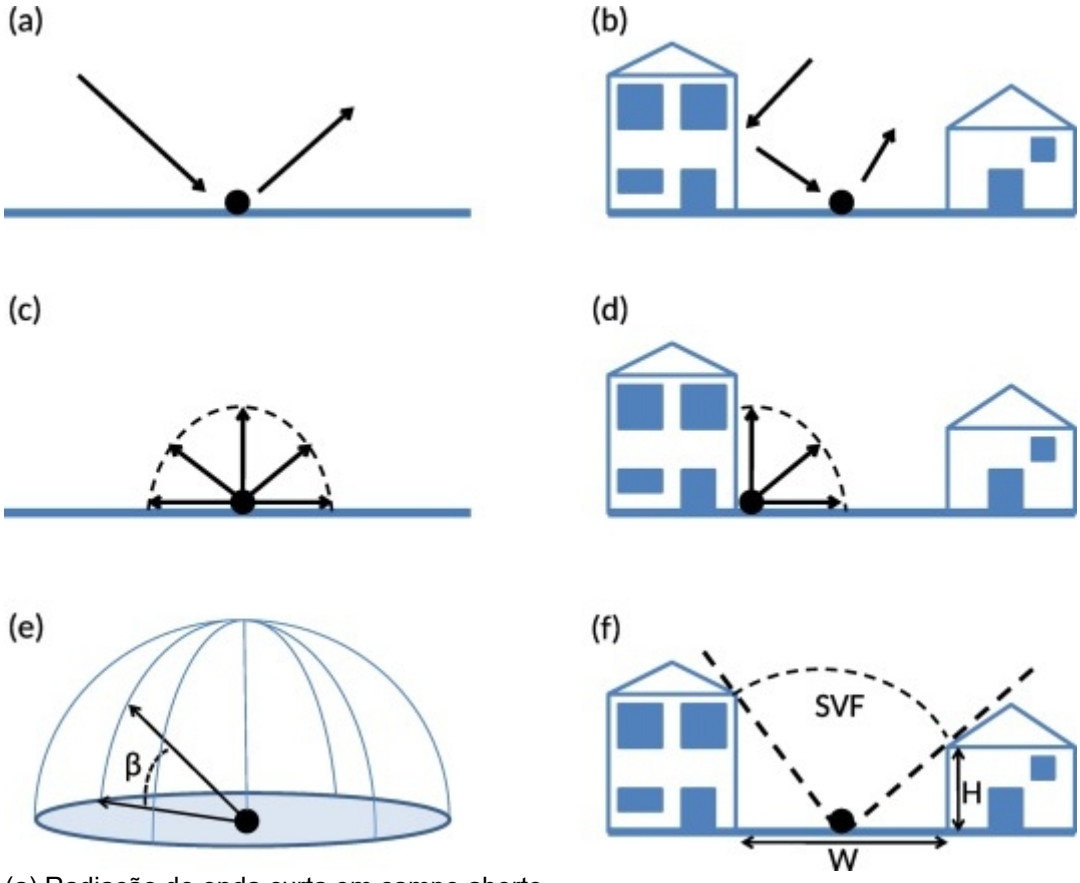



Fonte: Assis (2016).

Além dos aspectos de absorção, armazenamento de energia e difusão dos ventos, existem os fatores que influenciam a entrada de energia no sistema urbano. Neste caso, a configuração gerada pelas edificações traz mais dois elementos determinantes na formação dos microclimas dentro das cidades, sendo estes o sombreamento e o Fator de Visão do Céu (*Sky View Factor).* Ambos fazem uso de uma análise da cobertura do horizonte possível dentro dos *cânions* urbanos, sendo que a partir deste se visualiza os sombreamentos gerados pelos edifícios. O Fator de

Visão do Céu (FVC) está relacionado com a porção visível do céu, como pode ser observado na figura 9, a seguir.

Figura 9 - Ilustração dos componentes de radiação em um campo aberto, canyon urbano e cálculos de FVC

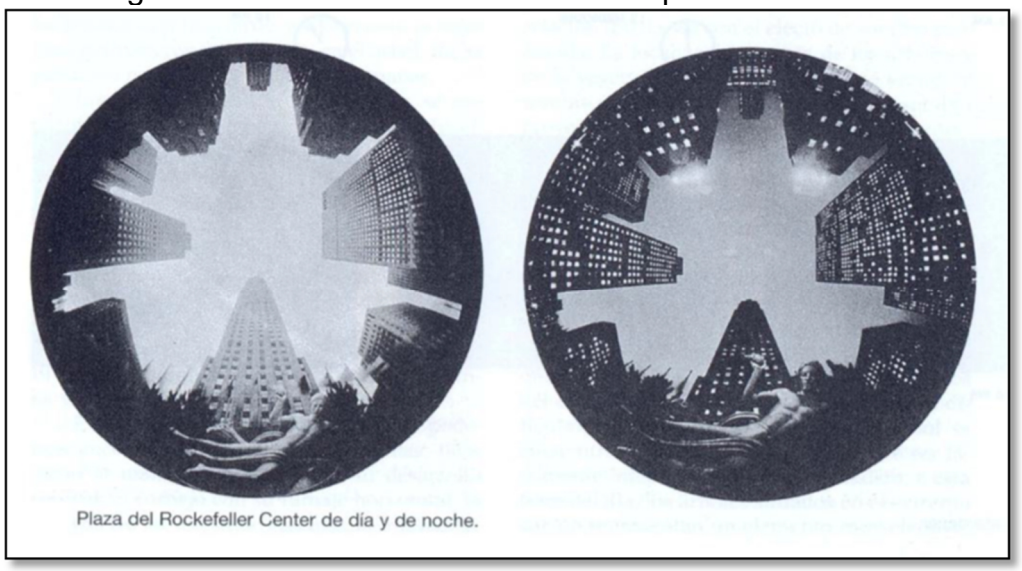



(a) Radiação de onda curta em campo aberto.
(b) Radiação de ondas curtas em um canyon urbano.
(c) Emissão de radiação de onda longa em campo aberto.
(d) Emissão de radiação de onda longa em um canyon urbano.
(e) FVC calculado em 3D; onde, β é o ângulo do ponto central até a altura máxima do obstáculo.
(f) FVC em um canyon urbano em 2D; onde W é a largura da rua e H é a altura do edifício.

Fonte: DIRKSEN, 2019.

O FVC é um parâmetro adimensional, que quantifica a seção de céu visível do local, o qual pode assumir valores entre 0 (zero) e 1 (um), sendo que quanto mais próximo de 1 maior a visibilidade do céu (CHAPMAN *et al.*, 2001). O FVC revela a relação geométrica existente entre a Terra e o céu e que representa a relação entre a área de céu obstruída e a área total da abóbada celeste visível, como é possível visualizar na figura 10.

Figura 10 - Imagem do céu visível com lente olho de peixe.




Fonte: OLGYAY, 1998.

Para Souza *et al.* (2005), a redução do FVC gera desconforto, seja pelo excesso de sombreamento ou pelo calor armazenado, gerando até mesmo uma necessidade de refrigeração artificial, o que pode ocasionar um aumento de consumo de energia elétrica. Destaca-se que apesar dos sistemas de refrigeração artificial refrigerarem o interior das edificações, estes aquecem o ambiente externo, pois seus motores ficam dispostos para fora das construções, descarregando ar quente.

Com relação ao desenho urbano que pode ser descrito pelo FVC ou ângulo de obstrução do horizonte em um dado ponto, verifica-se que a obstrução do horizonte está inteiramente relacionada ao potencial de trocas térmicas por radiação, sendo estas diretamente proporcionais (OKE, 1981). As edificações atuam como barreiras físicas para a radiação, determinando assim a quantidade que atingirá as superfícies, além de impossibilitar as trocas de ar, fazendo com que aquela determinada área permaneça aquecida.

Em contrapartida, o sombreamento da superfície favorece a manutenção do equilíbrio energético do ambiente, uma vez que acontece a interceptação da radiação solar direta e, posteriormente, ocorre a reemissão do calor que promoveria o aquecimento do ar (OMETTO, 1981).

## 1.4 Unidades climáticas e controles naturais

De acordo com o dicionário Michaelis (2011) a palavra unidade tem como uma de suas definições a “Ação combinada de diversos agentes com a mesma finalidade; identidade de propósito; concordância”, ou até mesmo “A qualidade ou estado do que constitui um todo, formado de partes ou elementos separados.” Nesse sentido, as unidades climáticas, assim como nos sentidos trazidos pelo dicionário, definem-se pela busca de concordância entre os elementos e controles climáticos na formação de porções com comportamentos similares. É necessário destacar que as unidades climáticas ganham ainda mais complexidade quando são consideradas as respostas dos elementos climáticos em diferentes condições de tempo.

Como, por exemplo, quando se observa o comportamento térmico dos componentes urbanos em condições de estabilidade atmosférica, de alta pressão, sob atuação da massa tropical atlântica. Nesse contexto é possível verificar que zonas mais densamente edificadas em cidades médias ou superiores possuem comportamento térmico diferenciado se comparado com as áreas menos adensadas. Porém, se considerado o mesmo cenário sob condições de instabilidade, baixa pressão e alta nebulosidade, é possível dizer que há uma tendência para que a distribuição térmica se homogenize, uma vez que a própria nebulosidade passa a atuar como barreira para a entrada de energia, que pode atuar na redução da absorção ou dissipação da radiação recebida.

Assim, como Jardim (2010) aponta, os tipos de tempo devem ser tomados como referencial na delimitação das unidades climáticas, uma vez que possuem caráter variável, podendo resultar em diferentes combinações de “interação entre a atmosfera e fatores de superfície, seja ela natural, agrícola ou urbanizada” (JARDIM, 2010).

Na climatologia brasileira há trabalhos de relevância que se propuseram a definir e espacializar unidades climáticas de diferentes recortes geográficos. Um primeiro trabalho a ser destacado é o realizado pelos professores Tarifa e Armani (2001), em que delimitaram os climas naturais e urbanos de São Paulo. Nessa pesquisa foram elaboradas cartas de unidades climáticas naturais e urbanas, através de análises integradas de mapas de pluviosidade médias, controles climáticos, observações topo e mesoclimáticas de campo, assim como mapas produzidos pelo

Laboratório de Climatologia do Departamento de Geografia da USP pelos autores Tarifa e Azevedo (2001)

Ainda para o estado de São Paulo, Jardim (2007) também elaborou cartas climáticas, mais especificamente para a bacia do rio Aricanduva no município de São Paulo, avaliando a influência de fatores geográficos de superfície na temperatura e umidade, com ênfase em aspectos dinâmicos de circulação local e topoclimática, observando a sucessão dos tipos de tempo e suas interações em área urbana.

Fialho (2010) elaborou uma carta de unidades topoclimáticas urbanas da Ilha do Governador no Rio de Janeiro, para isto pautou-se na proposta de Brandão (1996) e no trabalho anteriormente citado de Tarifa e Armani (2001). Como resultado observou três unidades climáticas determinadas pelo comportamento térmico, as quais se subdividem em três subunidades cada uma, a variar de acordo com a taxa de resfriamento, densidade demográfica, uso da terra, direção e velocidade do vento.

No recorte espacial de bacia hidrográfica, Ferreira (2012) também define unidades climáticas, porém nesse caso classifica grupos climáticos a partir de variáveis climáticas através de classificação multivariada suportada em lógica nebulosa, com objetivo de investigar a variabilidade espacial e temporal dos agrupamentos formados na sub-bacia do Rio Paraibuna, integrada à bacia do Rio Preto. Foram estabelecidas cinco classes através de análises diárias, mensais e sazonal.

Embasado na teoria do clima urbano de Monteiro (1976), Assis (2010) delimitou unidades climáticas urbanas na capital mineira, Belo Horizonte, através de dados coletados em campo sobrepostos a mapas de uso da terra, Modelo digital do Terreno (MDT) e densidade demográfica.

Ancorados em outra perspectiva teórica metodológica, porém com muitos pontos de conformidade, Ferreira et al. (2017) aplicaram uma metodologia alemã adaptada para construção de mapas climáticos, por meio do conceito de climatopos. Com uso de SIG, foram utilizadas bases de uso do solo e de aspectos geográficos (topografia e dados meteorológicos), para a delimitação de 8 climatopos.

Diante dos trabalhos aqui apresentados, é possível observar a relevância que controles naturais exercem na delimitação das unidades, sendo aspectos do relevo e vegetação de maior proeminência.

A vegetação possui importantes funções no meio urbano e através de suas atividades fisiológicas atua principalmente na atenuação da poluição atmosférica e

das temperaturas, conforto acústico e lumínico, além de gerar bem-estar físico e psíquico da população citadina. A ausência de áreas vegetadas atrelada a esta alteração da paisagem natural traz consigo mudanças nas condições climáticas.

Podemos entender, portanto, que uma das funções mais importantes da cobertura vegetal é o sombreamento. O mesmo tem a finalidade de amenizar o rigor térmico da estação quente no clima subtropical e durante o ano na região tropical (MASCARÓ, 1990) e auxiliar na redução da temperatura máxima do ar e da amplitude térmica durante o dia através da troca constante de calor sensível com o ar do sítio urbano.

A vegetação presente nas ruas, nos quintais particulares, nas praças, unidades de conservação e em áreas verdes, sejam de porte arbóreo ou herbáceo, podem contribuir em intensidades diferenciadas. Esta coopera para melhoria da ambiência urbana, podendo amenizar a radiação solar na estação quente e modificar a temperatura e a umidade relativa do ar do ambiente. Através do sombreamento gerado, reduz a carga térmica recebida pelos edifícios, veículos e pedestres; modifica a velocidade e direção dos ventos; quando em grandes quantidades interfere e influencia a frequência das chuvas, através da fotossíntese e da respiração reduzindo a poluição do ar (MASCARÓ, 1990).

Gomes e Amorim (2003) avaliaram diferenças térmicas e higrométricas existentes entre três pontos de coleta de dados, sendo que dois destes se tratavam de praças com diferentes densidades de arborização, na cidade de Presidente Prudente. Como resultado, os autores constataram que o ponto que possuía maior quantidade de indivíduos arbóreos apresentou melhores índices de conforto térmico humano.

Embora a vegetação possa atuar como zonas de arrefecimento de temperatura, devido ao sombreamento gerado, deve-se considerar os diferentes aspectos fisionômicos dela, pois há casos em que a vegetação pode atuar de maneira adversa, sendo ainda mais quentes do que áreas em que se espera encontrar temperaturas mais elevadas. Jardim e Galvani (2018), por exemplo, verificaram valores de temperatura do ar mais elevados em área de cerrado, no interior do Parque Nacional da Serra do Cipó, do que aqueles da área urbana de Belo Horizonte. Com destaque nos horários mais quentes do dia que, diferente do interior do ambiente de mata ciliar, apresenta valores de temperatura sempre mais baixos durante o dia e sensivelmente maiores no período noturno.

O papel da vegetação como controle climático é relativo. Em termos históricos e culturais, o ser humano seleciona tipos de vegetação (diante de milhões de espécies) que atendem finalidades como alimentação, remédios, conforto térmico e higrométrico etc. Em outras palavras, a função da vegetação é fundamentalmente ecológica (e não climático), com suporte para a comunidade vegetal da qual ela faz parte e para os ecossistemas associados.

Além da vegetação, os aspectos dos relevos também atuam como controle de superfície. Nesse sentido, a altitude tem uma ação sob a temperatura do ar, a qual normalmente decresce com a elevação da altitude numa proporção de aproximadamente 1 ºC/100m. Isto se justifica, pois razão adiabática seca (RAS) é de 0,65°C/100m e a razão adiabática úmida (RAU) é de 0,40°C/100m, são valores médios baseados na atmosfera padrão ISA (International Standard Atmosphere). Os valores de 1,0°C/100m (RAS) e a 0,6°C/100m (RAU), são utilizados exclusivamente para determinar a instabilidade, estabilidade ou neutralizada da parcela de ar em relação a variação da temperatura do entorno (razão ambiental).

Outra questão é que, em áreas de grandes altitudes, a vegetação se apresenta de forma mais espaçada, desta forma a radiação de onda curta não é interceptada, o que pode gerar o aumento da mesma (MASCARO, 1991).

Vale ressaltar que a morfologia do relevo irá influenciar na velocidade e direção dos ventos. Em áreas fechadas e abrigadas dos ventos, as variações serão maiores que em áreas expostas aos ventos. As correntes de vento diminuem a velocidade quando entram em contato com as rugosidades da superfície. Segundo Mascaró (1991), com o aumento da altitude a velocidade do vento também aumenta.

Outro fator considerado é a disposição das faces das vertentes do relevo, que influenciará na formação de microclimas, pois o balanço de energia será diferenciado. Neste sentido, Mendonça (1994) destaca que a variação da inclinação das vertentes do relevo associada à variação altimétrica e orientação desse desempenha uma função determinante na distribuição da energia luminosa das mesmas.

O terreno condiciona diferentes exposições à radiação solar direta e, também, ao acúmulo de ar frio durante o inverno. De acordo com Armani (2009), existe uma diferenciação dos terrenos voltados para o norte (no hemisfério Sul), os quais são mais ensolarados, tornando-se menos úmidos, pois interceptam mais energia do que os voltados para o sul (no hemisfério sul), os quais são mais sombreados e, portanto, mais úmidos (ARMANI, 2009).

Os corpos hídricos também possuem funções térmicas, segundo Ching (2010) grandes corpos d'água podem atuar como reservatórios de calor e amenizam as variações de temperatura, além de possuírem, geralmente, temperaturas menores que as da terra durante o dia e mais elevadas durante a noite, gerando brisas. Porém são, em sua maioria, mais quentes que a terra no inverno e mais frios no verão. Em climas quentes e secos, até mesmo os pequenos corpos d'água são desejáveis, psicológica e fisicamente, por seu efeito de resfriamento por evaporação (CHING, 2010).

As baixas temperaturas encontradas nas proximidades de corpos hídricos podem estar associadas ao que Oke (1978) apontou como excesso de calor latente pela diminuição do fluxo de calor sensível. Corpos d'água exercem um efeito imediato sob seu entorno, pois este possui um alto calor específico, retendo assim menos calor. Dessa forma, reduz as temperaturas extremas diurnas e estacionais. Devido à conversão de calor sensível em calor latente no processo de evaporação da água, grandes massas de água atuam de maneira a estabilizar temperaturas (ROMERO, 1998).

Além dos elementos naturais, os componentes antrópicos também exercem uma função determinante na composição do clima e possuem maior ocorrência no ambiente urbano. Neste caso, possuem uma dinâmica própria que pode ser explicada pela teoria do clima urbano, estabelecida por Monteiro (1976). Por isso, o item a seguir apresenta os principais aspectos dessa teoria, visto que existem conceitos importantes a respeito que auxiliarão na compreensão do contexto climático juiz-forano, uma vez que o município é composto de um mosaico complexo e heterogêneo paisagens rurais e urbanas.

# CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

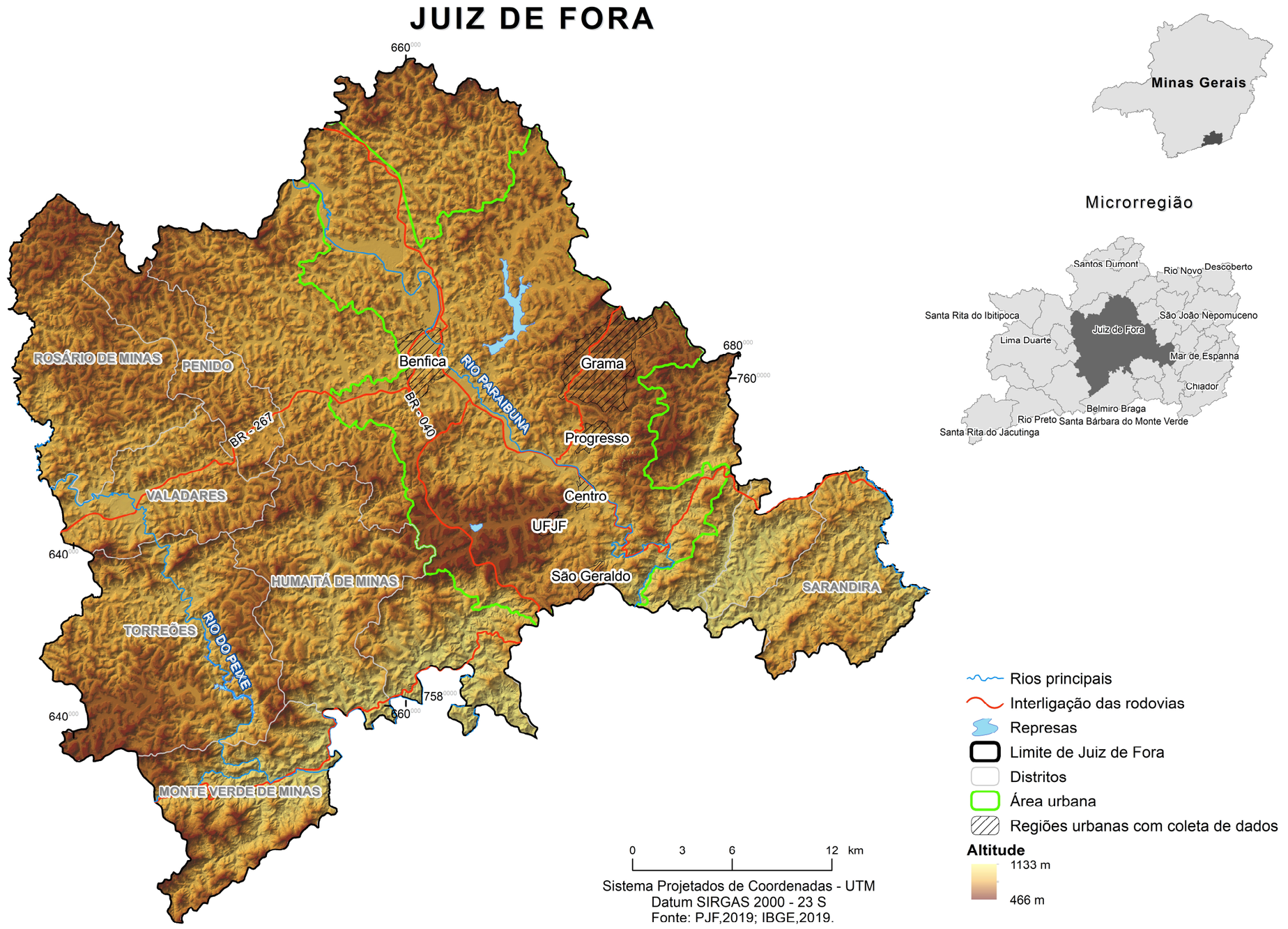
## 2.1 Caracterização socioespacial de Juiz de Fora

Juiz de Fora está localizada na zona da mata mineira, a 936,9 metros de altitude, e inserida na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Figura 11). O município possui extensão territorial de 1.435,7 km², com total de 516 mil habitantes, sendo que 98% de sua área é considerada urbana (IBGE,2010). A cidade possui relevância regional devido à função de prestadora de serviços para os municípios das proximidades, além de sua localização estratégica no eixo entre as capitais Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

O município se divide em quatro distritos, sendo estes: Juiz de Fora (sede), Torreões, Rosário de Minas e Sarandira, que compreendem uma extensão territorial de 725,975km², 374,5 km², 225,6 km$^2$ e 103,8 km², respectivamente.

A formação do município juiz-forano se deu com o processo de colonização do Brasil, no qual os bandeirantes, na exploração de novos territórios, buscavam recursos minerais e metais preciosos para coroa Portuguesa. Por volta do fim do século XVIII, foram encontradas jazidas de pedras preciosas no interior do estado Minas Gerais, promovendo a migração de inúmeras pessoas para essas localidades (BARBOSA, 2017).

Figura 11 - Localização do Município de Juiz de Fora- MG.




Fonte: elaborado pela autora.

A cidade de Juiz de Fora está entre as regiões mais povoadas do país, localizadas no litoral, e o interior de Minas Gerais, nas áreas de exploração de metais, tornando-se assim um local de passagem. Foi necessária, diante disso, a construção de duas estradas que proporcionassem o deslocamento dos viajantes: Caminho Novo e Estrada Nova. A estrada Caminho Novo ligava Vila Rica à cidade do Rio de Janeiro, enquanto a Estrada Nova conectava Vila Rica ao Estado do Rio através da cidade Paraty. (BARBOSA, 2017).

De acordo com Barbosa (2017), o primeiro caminho utilizado foi o Caminho Novo, porém, devido aos obstáculos naturais existentes, tratava-se de um trecho mais longo. Já a Estrada Nova, contava com estruturas que permitiram a transposição das barreiras existentes, tornando o deslocamento menos extenso e mais confortável, proporcionando um transporte mais eficiente na época. A efetivação desta nova rota, com traçado contornando a margem direita do Rio Paraibuna, propiciou o povoamento dessa margem.

Em meados do século XIX, com declínio da extração de minerais no interior de Minas Gerais, deu-se início à expansão da atividade cafeeira. Juiz de Fora, outrora conhecida como Vila de Santo Antônio do Juiz de Fora, já possuía relevância no contexto mineiro, sendo considerada a Princesa da província, com a maior arrecadação de impostos entre as demais sedes, além da economia cafeeira de destaque (OLIVEIRA, 2006). Devido aos solos férteis para a produção do café e uma grande quantidade de mão de obra escrava, a vila tomou proporções significativas, o que permitiu com que ela fosse elevada à categoria de cidade em 1856, com uma produção de café que se destacava no cenário nacional.

Com a popularização do café no Brasil e no exterior e a grande produção juiz-forana, a cidade se desenvolveu e atraiu investimentos para a região. A economia cafeeira deixou uma estruturada rede de transportes, um grande mercado consumidor, um setor financeiro desenvolvido e grande quantidade de mão de obra disponível. Com isso, foi possível a atração de investimentos industriais que decidiram, também pela localização, alocar suas indústrias na cidade. A cidade, então, começa a dar sinais de industrialização já no fim do século XIX, que mesmo após a abolição da escravatura continua sua expansão (BARBOSA, 2017).

Após a década de 1920 houve uma desaceleração na atividade industrial da cidade. Entre os motivos estão a estagnação de alguns setores da economia, a transferência da capital de Minas Gerais para Belo Horizonte, o que levou parte dos

recursos estaduais, a estagnação do crescimento de disponibilidade de energia elétrica, e as altas tarifas cobradas pela capital do país para exportação dos produtos da cidade (BARBOSA, 2017).

Pode-se dizer que Juiz Fora passou por três fases de grande mudança em sua história. A primeira foi com o advento dos processos de ocupação do território brasileiro, quando Juiz de Fora se tornava um lugar de passagem, o que deu início ao processo de urbanização da cidade. A segunda fase foi durante o período do café no Brasil, quando a cidade teve um *boom* de crescimento por conta da produção cafeeira. E a terceira fase foi quando a cidade se tornou industrializada no início do século XX.

O mapa de evolução da mancha permite visualizar os diferentes momentos de expansão da mancha urbana de Juiz de Fora desde 1883 (Figura 12). Os recortes temporais definidos pelo mapeamento mostram que alguns períodos se destacaram na expansão em área, como de 1976 a 1980, em que se observou um crescimento das manchas urbanas de 311.9 por ano, representando 9% do tamanho total da mancha urbana. Outro período de destaque foi entre 1991 a 2007, que possui em área 41.2% da mancha urbana, com 359.9 hectares de incremento de área por ano (Tabela 1).

Nesse sentido, verifica-se o movimento de expansão acelerada ocorrida nos períodos de destaque, assim como a bibliografia relacionada aponta como um momento crescimento das áreas urbanas brasileiras ordenado sob a lógica dos agentes de produção do espaço, em que os donos dos meios de produção se instalam nas áreas privilegiadas, em detrimento da maior parte da população que acaba por ocupar áreas inapropriadas. Assim, vê-se a maior distribuição espacial das manchas mais recentes na região sudoeste da área urbana, assim como na região do nordeste, porém em menores proporções.

Tabela 1 - Área de evolução da mancha urbana

| **Evolução da mancha urbana** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Período** | **Recorte temporal** | **Área (ha)** | **(%)** | **Área por ano (ha/ano)** |
| **Até1883** | 0 | 164.0 | 1.2% | - |
| **1883 a 1955** | 72 | 1941.8 | 13.9% | 27.0 |
| **1956 até 1963** | 7 | 1256.1 | 9.0% | 179.4 |
| **1964 até 1975** | 11 | 1656.2 | 11.9% | 150.6 |
| **1976 até 1980** | 4 | 1255.7 | 9.0% | 313.9 |
| **1981 até 1990** | 9 | 1646.3 | 11.8% | 182.9 |
| **1991 até 2007** | 16 | 5757.8 | 41.2% | 359.9 |
| **2007 a 2010/11** | 4 | 290.9 | 2.1% | 72.7 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda na figura 12, verifica-se que Juiz de Fora possui suas manchas de expansão urbana muito aglutinadas à região central da área urbana. Carvalho (2013) destaca o caráter diferenciado do processo de centralidade urbana de Juiz de Fora, visto que grande parte das cidades médias da região sudeste tem sua expansão em direção às periferias, propiciando os processos de conurbação. No caso desta cidade, têm-se o processo inverso, ou seja, cada vez mais o centro se adensa e se diversifica e, por consequência, se torna mais importante perante o restante do município (CARVALHO, 2013).

Figura 12 - Evolução da mancha urbana de Juiz de Fora.








Fonte: adaptado do Plano Diretor Participativo, 2018.

Atualmente, Juiz de Fora se destaca como polo regional, atraindo pessoas de toda a região da Zona da Mata, intensificando, principalmente, o fluxo de veículos automotores na região Central da cidade, já que segundo o Senatran (BRASIL, 2019), o município conta com um total de 274.565 veículos emplacados. Com este quantitativo de frota, o município ocupa o 4° lugar do Estado no total de número de veículos, ficando atrás apenas de Belo Horizonte, Uberlândia e Contagem, assumindo uma proporção de cerca de um carro para cada dois habitantes. Apesar do adensamento de veículos no município, vê-se que as estruturas de transporte não têm acompanhado a expansão do volume.

Segundo Tasca (2010), em termos urbanísticos, nas décadas de 80 e 90 houve um processo de verticalização do Centro e de seu entorno, em contraposição a um crescimento horizontalizado na periferia mais distante.

Entretanto, somente em 1938 é que se começou a pensar na estruturação da ocupação da terra na cidade, com a criação dos Códigos Tributários e de Obras (Decreto Lei n. 23), o qual, segundo Tasca (2010), surgiu não só a partir da demanda de normatizações sobre a ocupação da terra na cidade, com intuitos como o de regulamentar as edificações e de se estabelecerem regras mais precisas para a ocupação do solo na cidade, mas, sobretudo, para normatizar as edificações. Além disso, busca definir, mesmo que superficialmente, questões como desmembramento, arruamento, loteamento, embora não seja considerado um referencial de planejamento urbano (TASCA, 2010).

Tasca (2010) afirma que Juiz de Fora só foi conhecer uma nova legislação sobre o uso e ocupação do solo urbano em 1986, com as leis 6908/86, que dispõe sobre o Parcelamento do Solo; a 6909/86 sobre o Código de Edificações, e a 6910/86, sobre o Ordenamento do Uso e Ocupação do Solo. Estas novas normatizações, ainda vigentes, objetivam conduzir a ocupação do solo, que ocorreu de maneira desordenada e concentrada nas regiões centrais. Com estas leis, busca-se orientar o vetor de crescimento urbano para a região norte da cidade, na tentativa de atenuar os efeitos da urbanização e concentração desorganizada.

Passados alguns anos, Juiz de Fora viveu mais uma proposta de intervenção urbana dada pela proposição do plano diretor em 1996, que trazia um diagnóstico da cidade e uma perspectiva de organização da mesma para que fosse possível usufruir da sua capacidade de desenvolvimento. Dentre as propostas desse plano estavam os projetos de normatização do ordenamento e parcelamento do solo, destacando as

regiões que já sofriam com o adensamento urbano e as que ofereciam potencial de expansão e ocupação. Porém, com a mudança de governo, todo trabalho realizado não foi à frente e abdicou-se do plano diretor de 1996.

Somente nos anos 2000 concretizou-se a elaboração e aprovação de um plano diretor da cidade que, diferentemente do proposto em 1996, não trazia regulamentações a respeito do parcelamento do solo, fazendo com que o município se norteasse ainda sobre as leis 6909/86 e 6910/86.

Em 2013 a cidade iniciou a primeira revisão do plano diretor de 2000, o chamado plano diretor participativo, iniciado em 2013 com a portaria 08615/13, a qual instaurou o grupo de trabalho Executivo para elaboração da primeira revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora - PDDU/JF e a elaboração do Plano de Mobilidade Urbana de Juiz de Fora - PMU/JF.

O mais recente Plano Diretor de Juiz de Fora, instaurado pela Lei Complementar Nº 082, de 03 de julho de 2018, institui um diagnóstico da cidade associado às diretrizes de planejamento, considerando aspectos relevantes como desenvolvimento econômico, cultural e a qualidade de vida da população. Orienta ainda sobre a tomada de decisão do poder público e da iniciativa privada.

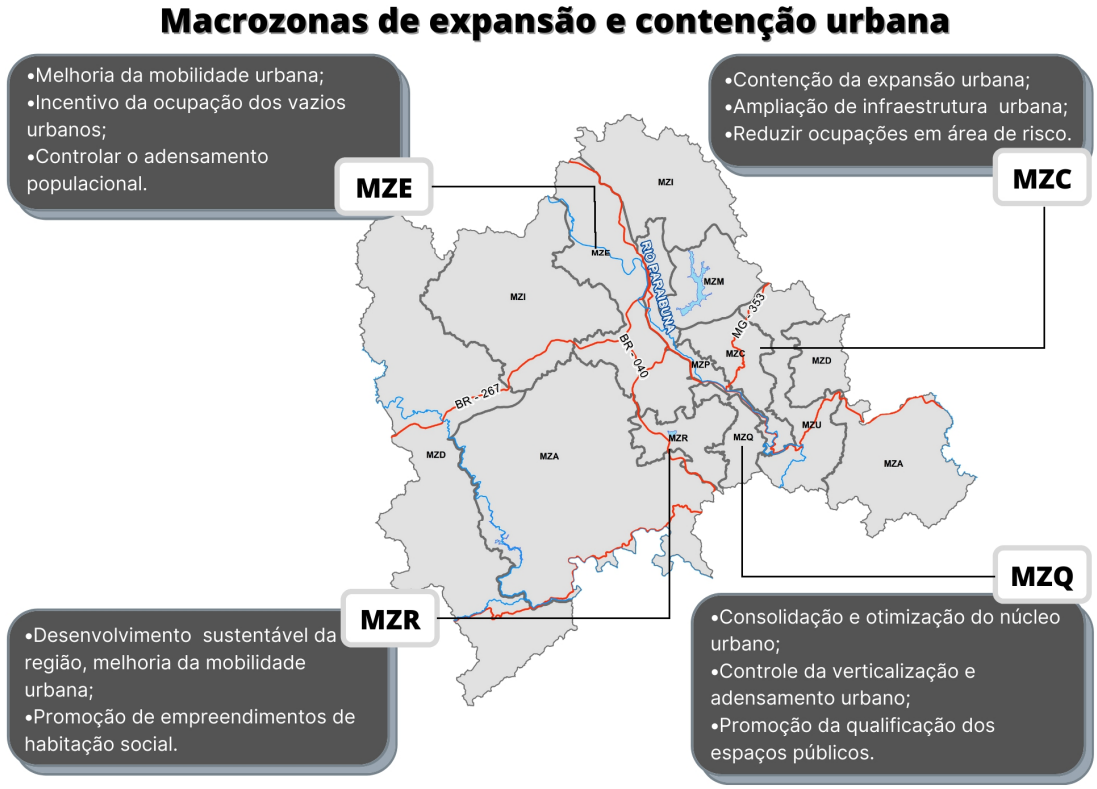
O estatuto das cidades, instituído pela Lei n° 10.257, de 10 de julho de 2001, define a obrigatoriedade dos municípios em elaborarem o Plano Diretor levando em conta sua realidade. Na cidade de Juiz de Fora, por ter mais de 20 mil habitantes, existe a obrigatoriedade de ter o Plano Diretor e o mesmo deve ser revisado a cada 10 anos.

O processo de expansão urbana de Juiz de Fora se deu de forma linear, inicialmente ocupando as margens do rio Paraibuna e posteriormente expandindo através das vertentes que limitaram o crescimento da mancha urbana em determinados locais (PJF, 2004). Um dos objetivos do Plano Diretor Participativo da cidade é controlar o uso e a ocupação do solo urbano, com medidas que limitem o crescimento em áreas de risco, estimulem o crescimento nos vazios urbanos, evitando o espraiamento de segmentos urbanos, além de incentivar a instalação próxima a locais com infraestrutura viária, fornecendo qualidade na utilização do espaço urbano pela população.

No Plano Diretor Participativo (PDP) de 2018, dividiu-se a área urbana da cidade em macrozonas que apresentam aspectos gerais parecidos dentro desses territórios e que as diferenciam das demais, como pode ser observado na figura 13 a

seguir. De acordo com PDP (2018), nas regiões Centro-Oeste e Norte, também definidas no PDP como Macrozona de Expansão do Desenvolvimento Urbano – MZE, há uma maciça ocupação residencial, intercalada por ocupações industriais e vazios urbanos. Além disso, essa região conta com a presença da linha férrea que exerce influência na organização do espaço local.

Figura 13 - Macrozonas de expansão e contenção urbana.




Fonte: elaborado pela autora.

Os objetivos previstos no PDP (2018) são melhorias na mobilidade urbana, incentivo da ocupação dos vazios urbanos, controle do adensamento populacional levando em consideração a infraestrutura local, melhorias na rede de comércio e serviços e incentivo na entrega de empreendimentos de habitação social.

A Região de Planejamento Centro e parte da Região de Planejamento Sul, denominada segundo o Plano Diretor de Macrozona de Consolidação e Qualificação Urbana – MZQ, são os locais de maiores densidades demográficas, concentração de prédios históricos e onde há a maior oferta de comércio e serviços. Os objetivos previstos no PDP (2018) são: consolidar e otimizar o núcleo urbano com o controle do processo de verticalização e adensamento urbano, promover a qualificação dos espaços públicos e do transporte coletivo, promover a entrega de empreendimentos de habitação social e consolidar essa região com povoamento e utilização multiclassista.

A região de planejamento Oeste, definida no PDP (2018) como Macrozona de Requalificação e Estruturação Urbana – MZR, conhecida como Cidade Alta, possui

uma grande relevância estratégica para a cidade devido à sua grande capacidade de expansão. Os objetivos previstos no PDP (2018) são o desenvolvimento sustentável da região, preservando seus recursos naturais, melhoras no sistema de mobilidade urbana, com destaque para a consolidação da Via São Pedro, controlar o adensamento populacional, melhorar a oferta de comércio e serviços, além de promover o fornecimento de empreendimentos de habitação social.

A chamada Macrozona de Requalificação e Contenção Urbana – MZC pelo Plano Diretor Participativo (2018) compreende as Regiões de Planejamento Nordeste, Leste e Sudeste. Estas regiões possuem relevo acidentado, intensa ocupação populacional e áreas de risco e vulnerabilidade social. São objetivos previstos no PDP (2018) ampliar a infraestrutura para a população residente, reduzir as ocupações populacionais nas áreas de risco, propiciar a recuperação de áreas degradadas, promover a requalificação urbana e conter a expansão urbana.

As demais macrozonas debruçam-se no sentido comum de sustentabilidade, recuperação das áreas degradadas e manutenção da qualidade ambiental.

O plano diretor aponta diretrizes importantes a respeito das áreas sugeridas para ocupação e instalação de infraestruturas que podem contribuir para valorização de determinadas áreas em detrimento de outras. Nesse sentido, as novas áreas ou regiões que sofrem com o processo de valorização promovido pelos agentes de produção do espaço se tornam mais atrativas à implementação de empreendimentos comerciais e moradias voltados, principalmente, para a população com maior poder de escolha.

O atendimento a esta população faz, de acordo com Rodrigues (2013), surgir novas centralidades na cidade. Nestas chamadas centralidades ocorrem a consolidação de áreas com o surgimento de supermercados, shoppings, hospitais, entre outros grandes estabelecimentos. Grandes estabelecimentos estes que representam uma pressão em seu entorno, gerando o aumento do valor da terra, com elevação dos impostos e do custo de vida local.

O aumento do valor da terra pressiona os estabelecimentos de menor porte, tornando-os muitas vezes inviáveis de serem praticados, expulsando a população com menor poder aquisitivo, culminando em uma reorganização espacial nestas localidades e próximas a elas. Em Juiz de Fora, esse processo de valorização de determinadas áreas, provocado pelos agentes de produção, ocorrem em diversas

regiões da cidade. Estas áreas, onde se mostra mais perceptível o processo de valorização, serão descritas em seguida.

A área central de Juiz de Fora, onde se inicia o processo de expansão urbana da cidade, vem perdendo ao longo do tempo suas características residenciais e imóveis antigos estão sendo demolidos e dando lugar a novas construções. Há uma intensa valorização do solo, sendo notável a intensificação do processo de verticalização na área central da cidade.

Outra área que sofreu intenso processo de valorização nos últimos anos foi o bairro Estrela Sul, localizado a sudoeste na área urbana. Nesta região foi construído o primeiro grande empreendimento comercial e de serviço da cidade, o Independência Shopping e, concomitante a ele, vários condomínios residenciais fechados voltados para o público das classes com maior poder aquisitivo foram construídos. Dois grandes hotéis ao lado do shopping, Grand Victory Hotel e o Independência Trade Office, também passaram a compor este eixo de valorização da cidade posteriormente.

No bairro Estrela Sul há uma faculdade relevante ao desenvolvimento da cidade, o CES/JF, e uma grande e variada rede de comércio e serviços voltados para atender a população residente em seu entorno.

Outra área da cidade que sofreu intensa valorização, principalmente do setor imobiliário, foi a região localizada no extremo oeste da cidade. Esses empreendimentos estão voltados para a moradia das classes de alta e média renda. Os condomínios residenciais estão localizados próximos a BR-040, o que facilita o deslocamento desses moradores com facilidade para outras regiões ou cidades.

A região próxima à Mata do Krambeck, zona norte na área urbana, tem vivenciado nos últimos anos a implementação de grandes empreendimentos imobiliários, tanto na esfera de habitação, quanto os atrelados à oferta de comércio e serviços, como a instalação do shopping Jardim Norte, uma grande rede de Loja de Departamento e a inauguração do Jardim Botânico da UFJF.

É importante salientar que nas cidades médias, como no caso de Juiz de Fora, os grandes empreendimentos imobiliários são atraídos pelo grande mercado consumidor e pelo baixo custo para implementação em relação às metrópoles. Esses empreendimentos valorizam o solo urbano e servem como atrativos para outros empreendimentos, além de selecionar a população que irá frequentar estes espaços.

## 2.2 Caracterização ambiental de Juiz de Fora

### *2.2.1 Relevo*

Juiz de Fora se caracteriza por apresentar grandes variações de altitudes, formação de inúmeros anfiteatros e planícies intermontanas. Segundo ROCHA (2005), a área municipal está situada sobre rochas variadas, com destaque para o Complexo Mantiqueira (norte) e Complexo Juiz de Fora (sudeste). Essas formações são separadas por um extenso sistema de falhas de empurrão, abrangendo uma grande variedade de rochas metamórficas de idade pré-cambriana, caracterizadas por alterações oriundas de significativas atividades tectônicas com relevo acidentado.

Com altitudes que chegam a 1100m nos pontos mais elevados, 670 a 750m no fundo do vale do Rio Paraibuna e níveis médios em torno de 800m, as porções mais elevadas do município encontram-se na região sudoeste e leste da área urbana, como pode ser visualizado no mapa altimétrico do município na figura 14.

De acordo com o mapeamento disponibilizado pela Prefeitura de Juiz de Fora, elaborado por Eduardo (2018), a morfologia de Juiz de Fora caracteriza-se por 38% de morros, caracterizados por um desnivelamento que varia de 100 a 200 metros, nos quais encontram-se feições íngremes com topos convexos e, portanto, vales mais encaixados. Em seguida, observa-se 33% com feições denominadas de degraus reafeiçoados, que consistem no desnivelamento de 200 a 400 metros, ao que se denominam zonas de transição de compartimentos com diferentes altitudes (Figura 14).

Em menores proporções ainda se tem as feições Colinas suaves e Colinas íngremes, com 6% do território cada uma, e Planície Fluvial e de Terraços que ocupam 7% e 5%, respectivamente. Por fim, têm-se os Degraus Escarpados com encostas íngremes, com desníveis acima de 400 metros, ocupando 3% da área do município. A distribuição destas feições pode ser verificada no mapa (Figura 15) e Tabela 2, a seguir

Figura 14 - Altimetria do município de Juiz de Fora.

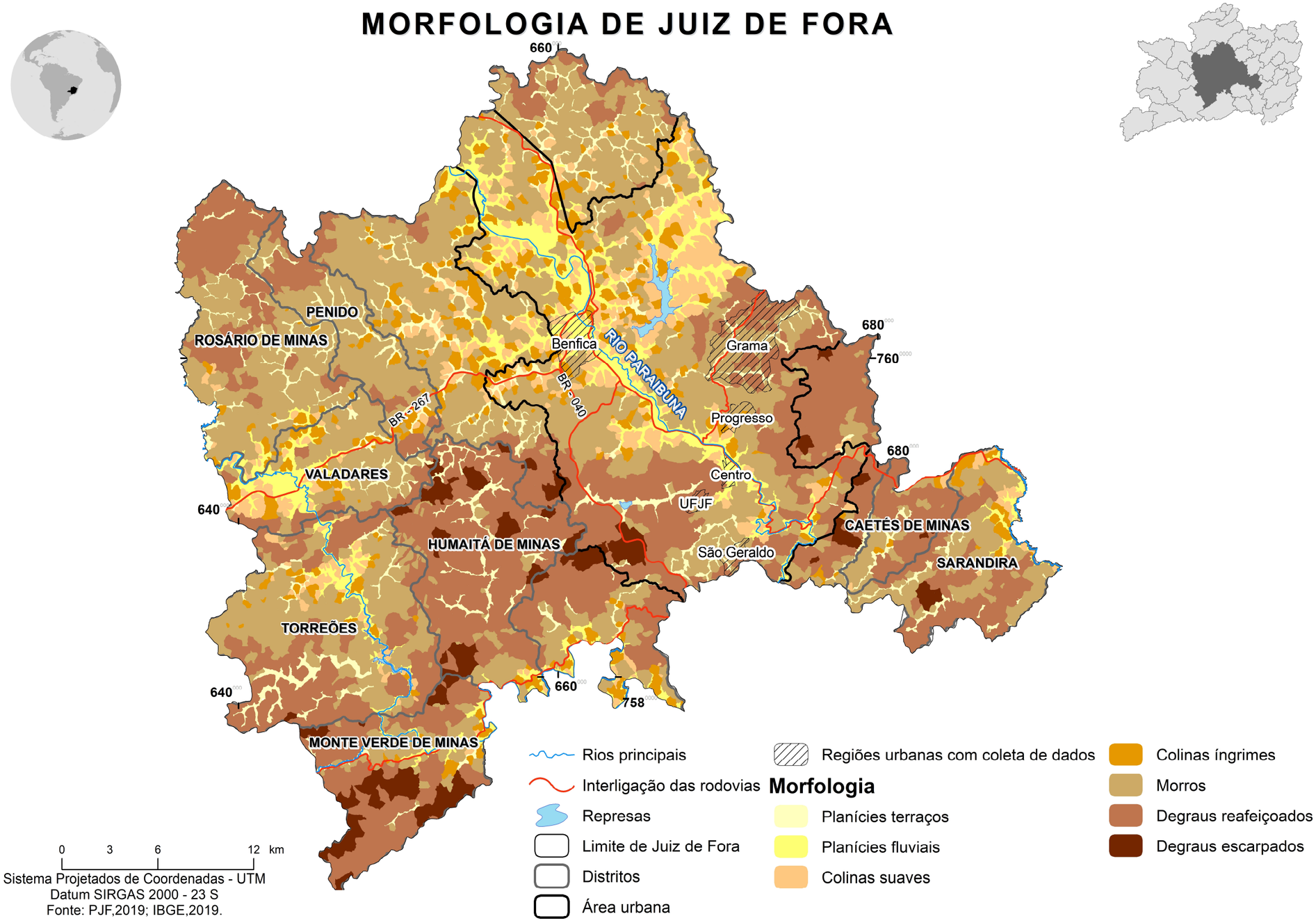







Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 15 - Morfologia do Município de Juiz de Fora.




Fonte Adaptado PJF (2018).

Tabela 2 - Proporção de feições morfológicas

| Morfologia | | |
|---|---|---|
| **Tipo** | **Área (ha)** | **(%)** |
| **Colinas Íngremes** | 8856.1 | 6% |
| **Colinas Suaves** | 9326.8 | 6% |
| **Degraus Escarpados** | 4971.7 | 3% |
| **Degraus Reafeiçoados** | 47501.1 | 33% |
| **Morros** | 55215.1 | 38% |
| **Planície Fluvial** | 10744.9 | 7% |
| **Planícies Terraços** | 7179.2 | 5% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação a orientação das vertentes é possível dizer que não há uma predominância de orientação, essas são distribuídas em proporções de área de maneira homogênea. Porém, é possível detectar alinhamentos com orientações, ou seja, mesmo que haja similaridade de área, existem diferenciações na distribuição espacial (Figura 16). Como, por exemplo, as parcelas do município que possuem orientações predominantes, como no eixo noroeste-sudeste da calha do rio Paraibuna, em que se verifica a orientação Leste/Nordeste.

Outro alinhamento percebido está no extremo norte dos distritos de Humaitá de Minas e Torreões, que é delimitado no mapa morfológico como degraus reafeiçoados, com a orientação sul/sudeste. No limite extremo sudeste da área urbana e no distrito de Caetés de Minas também é possível observar comportamento similar da orientação das faces do relevo (Tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição de orientação de vertentes em área.

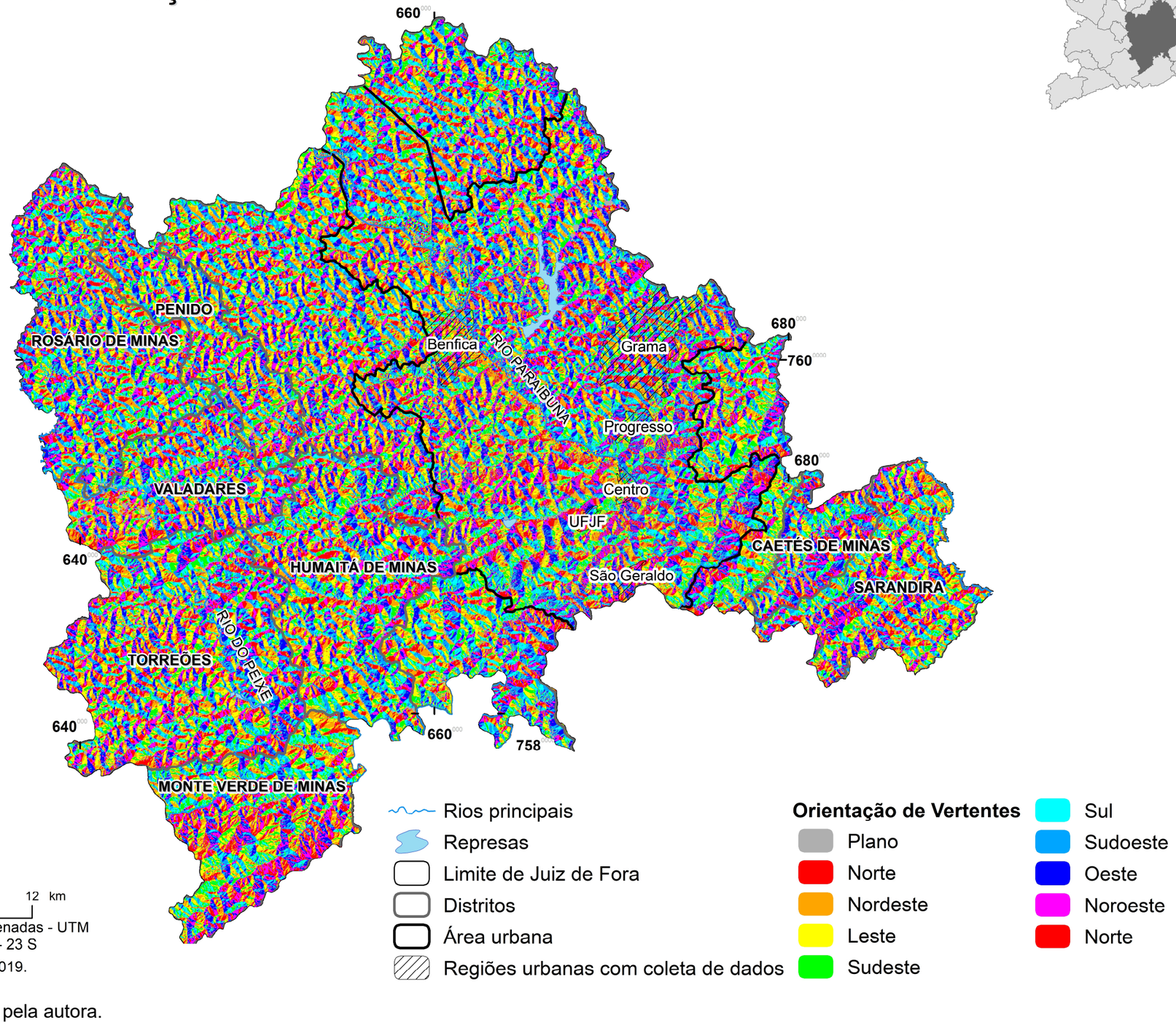
| Orientação de Vertentes | | |
|---|---|---|
| **Orientação** | **Área (ha)** | **(%)** |
| **Plano** | 12095.0 | 8.4% |
| **Norte** | 11563.5 | 8.1% |
| **Nordeste** | 19955.7 | 13.9% |
| **Leste** | 17288.9 | 12.1% |
| **Sudeste** | 15824.5 | 11.0% |
| **Sul** | 15353.9 | 10.7% |
| **Sudoeste** | 17940.5 | 12.5% |
| **Oeste** | 16979.9 | 11.8% |
| **Noroeste** | 16413.8 | 11.4% |

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 16 - Mapa de orientação de vertentes.








Fonte: elaborado pela autora.

Com relação aos aspectos de declividade do relevo do município, há significativa ocorrência de declividade superior a 20º, como pode ser observado na figura 17, o que de acordo com as definições da Embrapa (1979) caracteriza-se como relevo forte ondulado a escarpado. Cerca de 40% do município possui essa condição, a qual condiciona a distribuição de ocupação, uma vez que áreas declivosas estão mais susceptíveis a situações de risco quando estão ocupadas. Nesse caso, verifica-se que nas manchas urbanas visualizadas até 1963, na margem esquerda do rio Paraibuna, têm-se ocupações em área de alto declive, sendo essas classificadas até mesmo pela defesa civil como áreas de risco.

Já as áreas planas e suavemente onduladas cobrem entorno de 20% de Juiz de Fora (Tabela 4) principalmente nas margens dos rios Paraibuna, Peixe e Cágado, áreas que estão expostas a ocorrência de inundações como ocorrem na região norte da cidade, em que há ocupação das margens do rio principal (Figura 17).

Tabela 4 - Distribuição da declividade em Juiz de Fora.

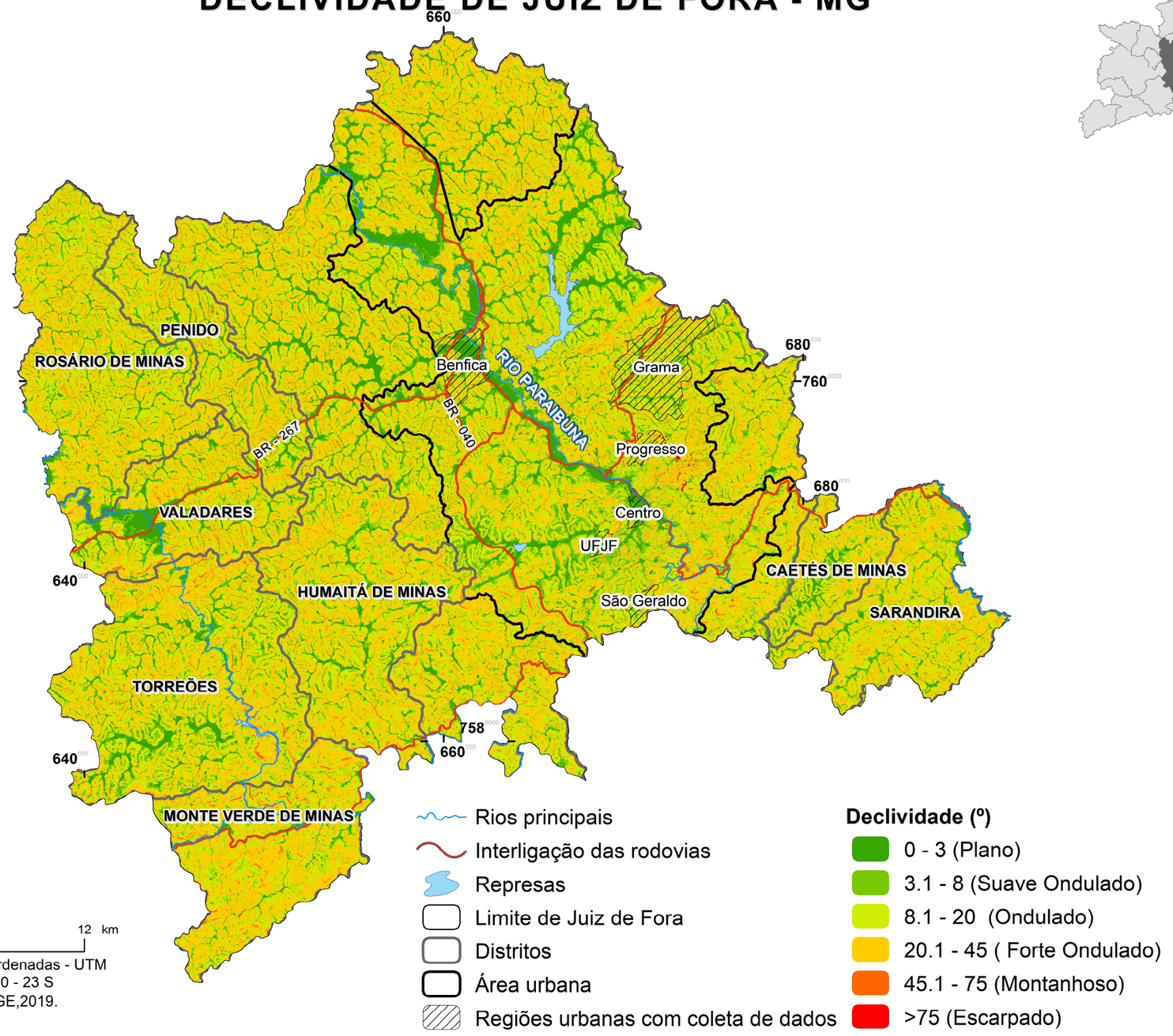
| Declividade | | | |
|---|---|---|---|
| **Declividade (graus)** | **Classe** | **Área (ha)** | **%** |
| **0 - 3** | Plano | 11257.1 | 7.8% |
| **3.1-8** | Suave ondulado | 17239.4 | 12.0% |
| **8.1- 20** | Ondulado | 56817.9 | 39.6% |
| **20.1 - 45** | Forte ondulado | 57536.5 | 40.1% |
| **45.1 -75** | Montanhoso | 511.0 | 0.4% |
| **>75** | Escarpado | 53.7 | 0.0% |

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 17 - Mapa de declividade do município de Juiz de Fora.








Fonte: elaborado pela autora

### *2.2.2 Vegetação*

A vegetação original do município é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (VELOSO & GÓES, 1982) ou Floresta Tropical Sub-perenefólia (Golfari, 1975), devido à dupla estacionalidade climática. Esta é caracterizada por um verão marcado por fortes chuvas e um inverno mais seco, que gera um déficit hídrico, levando parte da vegetação caducifólia a perder parte suas folhas. Sendo inserida no domínio de Mata Atlântica, a qual atualmente apresenta-se em apenas pequenos fragmentos de vegetação secundária desta vegetação original.

De acordo com o Anuário Estatístico de Juiz de Fora 2005, essa microrregião teve a maioria de sua floresta nativa (Mata Atlântica) devastada pelas atividades de cafeicultura e criação de áreas de pastagens. Tais atividades resultaram na fragmentação desse bioma que hoje está distribuído em manchas urbanas na cidade. Grande parte desses fragmentos encontra-se atualmente em regeneração dentro da malha urbana, contudo a existência de Unidades de Conservação (UCs) para a conservação dessas manchas remanescentes que estão aquém de constituir uma proteção efetiva da cobertura florestal que restou, assim como promover condições necessárias para uma dinâmica ecológica que restabeleça as relações ecológicas outrora existentes nessa região.

De acordo com o mapeamento do uso da terra do Mapbiomas para o ano de 2019, como pode ser visualizado na tabela 5, Juiz de Fora possui como classe predominante o uso de pastagem, com 47% do território, em seguida tem-se a floresta, que corresponde a 28.7% da extensão absoluta. Além das áreas claramente identificadas por pastagens, têm-se 17.9% de mosaico de Agricultura e Pastagem, o que demonstra a preponderância das pastagens no município.

Além disso, deve-se destacar a área edificada que ocupa 5.5 % da área total, porém esse percentual não se distribui de forma homogênea por todo o município, sendo concentrado em porções de Juiz de Fora, como é possível observar na Figura 18. Com menores expressividades, apresentam-se outros tipos de uso como outras áreas não vegetadas (0.3%), floresta plantada (0.3%), rios e lagos (0.3 %), formação savânica (0.01%) e afloramento rochoso (0.004%).

No que diz respeito aos aspectos pedológicos, não há um mapeamento em escala adequada. No entanto, tem sido constatado latossolos vermelho-amarelos álicos e distróficos, cambissolos e neossolos litólicos distróficos, e também gleissolos

e neossolos flúvicos. Fazem-se presentes também materiais de alteração, de composição areno-siltosa a argiloarenosa, os quais apresentam elevada propensão à erodibilidade (ROCHA, 2005)

Figura 18 - Uso e Cobertura da Terra de Juiz de Fora.








Fonte: Adaptado pela autora de Mapbiomas (2019)

Tabela 5 - Uso da Terra em Juiz de Fora, em área.

| Uso da Terra | | |
|---|---|---|
| **Classe** | **Área (ha)** | **%** |
| **Pastagem** | 67489.0 | 47.0% |
| **Floresta** | 41169.8 | 28.7% |
| **Mosaico de Agricultura e Pastagem** | 25687.8 | 17.9% |
| **Infraestrutura urbana** | 7962.1 | 5.5% |
| **Outras áreas não vegetadas** | 368.3 | 0.3% |
| **Floresta Plantada** | 386.5 | 0.3% |
| **Rio, Lago e Oceano** | 466.3 | 0.3% |
| **Outras classes** | 23.7 | 0.02% |

Fonte: Adaptado pela autora de Mapbiomas (2019).

### *2.2.3 Clima – Características Gerais*

Segundo TORRES (2006, p.162), “o clima de Juiz de Fora apresenta duas estações bem definidas: uma que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e outra de maio a setembro, mais fria e com menor presença de chuvas”. A época das chuvas concentra 83,9% das precipitações, enquanto a estação seca apenas 16,1%.

Conforme Brito (2013), as temperaturas mais elevadas são registradas sob a ação da Massa Tropical Atlântica (mTa) e as mais baixas sob a ação da Massa Polar Atlântica (mPa). De acordo com Cavalcanti (2009), um centro de ação de destaque na região sudeste é o anticiclone do Atlântico Sul, o qual, associado à Massa Tropical Atlântica, caracteriza os tipos de tempo mais recorrentes da região. Outro sistema atuante no Sudeste é o Anticiclone Polar e a massas Polares que também chegam com frequência à região durante todo o ano, mas principalmente no outono e inverno (CAVALCANTI, 2009).

De acordo com Neto (2005) e Nimer (1979), sistemas de baixa pressão, como os sistemas frontais, provocam situações de instabilidade acarretando aumento da nebulosidade e precipitação. Ainda pode-se observar a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), resultado de um corredor de umidade, caracterizados por dias seguidos de precipitação, no estado de Minas Gerais. De acordo com Cavalcanti *et al.* (2009), a ZCAS, atrelada ao escoamento convergente na baixa troposfera do sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central, é um elemento nas condições de instabilidade atmosférica presenciada no Sudeste. Outro fator que contribui para formação das ZCAS são os

jatos de baixos níveis, os quais transportam a umidade do sul da Amazônia para porções do sudeste brasileiro (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Além da ação dos sistemas de macro escala, em escala local, os fatores relacionados à morfologia e morfoestrutura do relevo possuem uma função de destaque na configuração climática do município de Juiz de Fora, como é comprovado por estudos relacionados à bacia do Rio Preto executados por Oliveira (2016).

Para caracterização climática geral do municipio foram utilizados os dados fornecidos pelas Normas climátologicas do INMET (2009, 2019), de 1961-1990 e 1981-2010. A partir gráficos presentes na figura 19 é possivel extrair informações a respeito das condições climáticas às quais o municipio de Juiz de Fora foi exposto no intervalo de 60 anos, sendo o recorte entre 1981 a 1990 de sobreposição entre os dados.

Sobre a temperatura média compensada, observa-se similaridade nos valores calculados, com duas condições bem definidas, uma com temperaturas mais elevadas entre Outubro a Abril, meses em que a temperatura possui valor muito similar nos dois períodos das normais climatológicas, com valor em torno de 19ºC, com pequenas variações nas casas decimais.

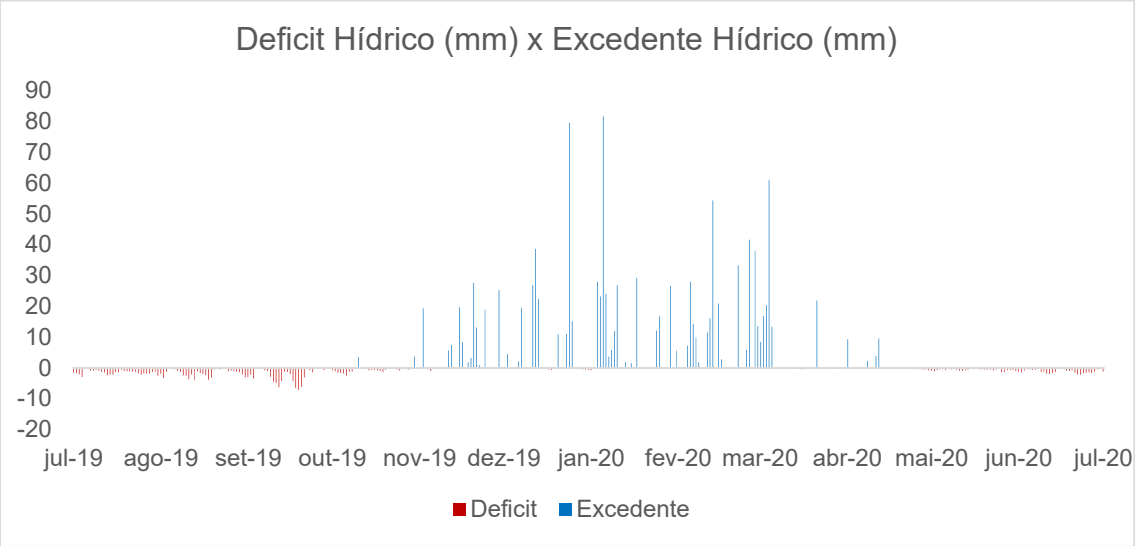
A temperatura mínima observada no período avaliado, também se distribui durante os meses de maneira similiar à média compensada, sendo o valor minimo registrado no mês de Julho, com 11.8ºC na normal 1990 e 12.5 ºC na de 2010. Já em relação à máxima, observa-se valores de 21.8ºC nos meses de Junho e Julho da normal de 2010 e 22.1ºC nos mesmos meses para a normal de 2010. Os valores máximos registrados foram no mês de fevereiro, 28ºC e 27.5ºC, nas nomais de 1990 e 2010, respectivamente.

A respeito da precipitação, a média do total acumulado variou entre 1597 mm e 1624 mm para as normais de 1990 e 2010. Os meses de maiores registros são os de janeiro e dezembro, os menores totais são verificados no mês de julho, sendo que na normal de 1990 a média do total acumulado foi de 23.2 mm, já na normal seguinte foi de 14.1mm.

Para avaliação dos períodos secos e úmidos do município é importante observar o balanço hídrico, para isto tem-se o gráfico de Déficit e Excedente hídrico do período de julho de 2019 a julho de 2020, para solo médio com capacidade de campo de 75 mm (Figura 19), período que se sobrepõe ao período estudado. No gráfico, é possível verificar que o período chuvoso vai de novembro a março, com os

maiores excedentes, sendo o máximo detectado de 81.60 mm, e o período seco de maio a outubro, sendo que neste período o mês mais seco foi setembro de 2019, com déficit máximo de 7.13 mm.

Figura 19 - Balanço hídrico sequencial, com excedente e déficit hídrico de 01/07/2019 a 01/07/2020.

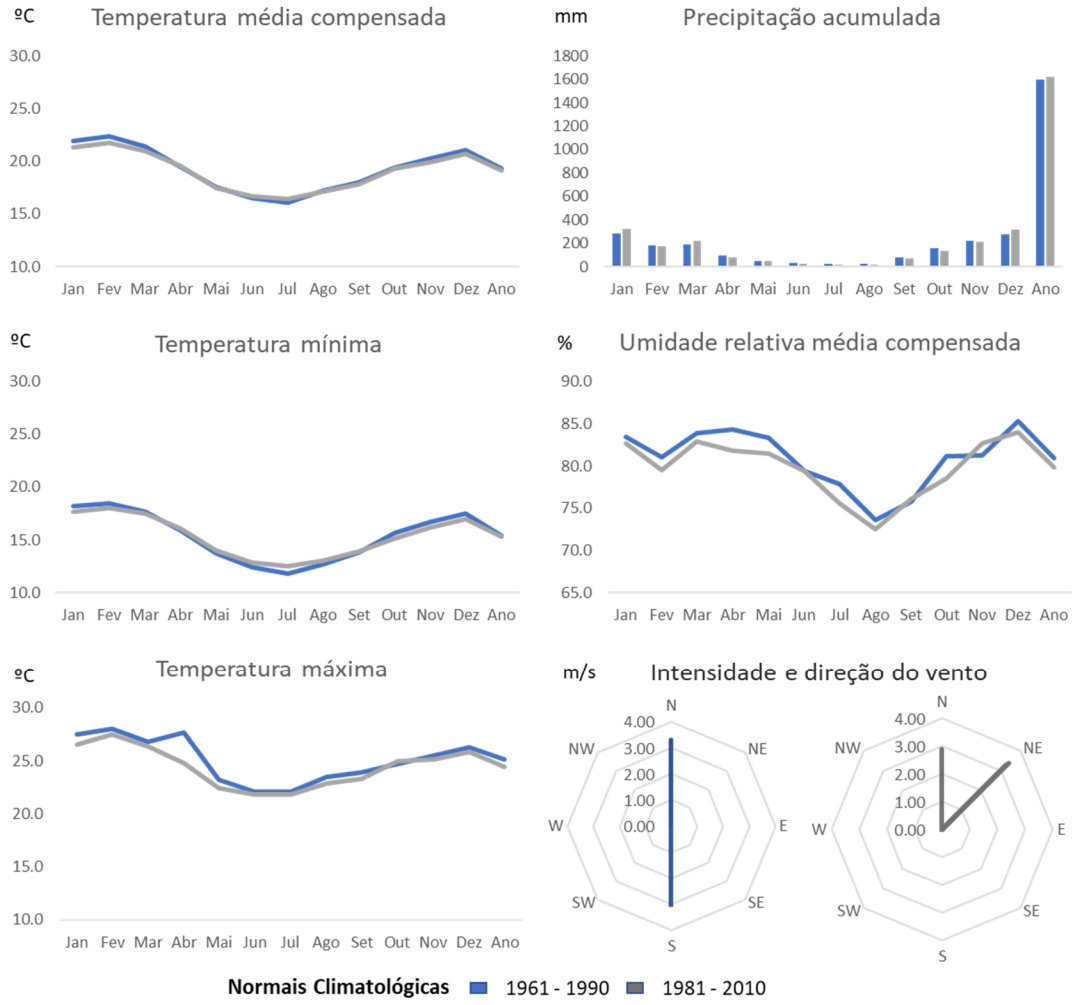



Fonte: Adaptado de SISDAGRO (2021).

A umidade relativa do ar acompanha as variações pluviométricas, porém é possível observar no gráfico de umidade média compensada (Figura 20) que os valores verificados na normal de 2010 são inferiores aos da normal anterior. As menores médias detectadas ocorreram em agosto, em contrapartida, em dezembro têm-se os maiores valores.

Com relação à direção e intensidade dos ventos, verifica-se que a direção predominante dos ventos em Juiz de Fora é Norte-Nordeste, com velocidade média de entorno de 3 m/s.

Figura 20 - Gráficos com resultados das Normais Climatológicas.




Fonte: elaborado pela autora.

### *2.2.4 Clima – Dinâmica regional*

Os resultados de análise regional trata-se dos primeiros resultados obtidos na pesquisa e já publicados nos anais do XIII ENANPEGE, realizado em São Paulo, em 2020.

Sendo assim, de acordo com Assis e Jardim (2020), através da análise da série histórica entre 1961 e 2018 dos municípios de Juiz de Fora, Lavras, Coronel Pacheco, Barbacena e Cordeiro, observou-se os valores médios dos elementos climáticos (Tabela 6).

Destaca-se Barbacena com temperaturas inferiores as demais localidades, em função de sua localização em área planáltica no divisor de águas das bacias do Rio Grande, Doce e Paraíba do Sul. A 1126 metros de altitude, o município está mais exposto aos fatores regionais, como as massas de ar atuantes.

Com relação às chuvas, têm-se valores inferiores aos das demais estações, com exceção de Cordeiro-RJ, podendo esse comportamento ser explicado pela posição a sotavento da vertente. Em contrapartida, Coronel Pacheco possui as médias de temperatura mais elevadas, mas com precipitação similar a Juiz de Fora, ambos em situação de barlavento em meio ao conjunto de vertentes limítrofes à bacia do Rio Paraíba do Sul (ASSIS; JARDIM, 2020).

Tabela 6 - Valores médios dos elementos registrados pelas das estações meteorológicas escolhidas.

| Município | Altitude (m) | T. média (°C) | T. mín. Méd. (°C) | T máx. Méd. (°C) | Umid. Méd. (%) | Precip. Méd. (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Juiz de Fora** | 940.0 | 19.3 | 15.5 | 24.9 | 78.3 | 1499.8 |
| **Lavras** | 918.8 | 20.1 | 15.2 | 27.1 | 77.9 | 1407.6 |
| **Coronel Pacheco** | 435.0 | 21.3 | 16.1 | 28.3 | 80.1 | 1429.9 |
| **Barbacena** | 1126.0 | 18.2 | 13.9 | 24.7 | 80.5 | 1347.8 |
| **Cordeiro** | 505.9 | 20.9 | 16.4 | 27.3 | - | 12152 |

Fonte: Organizado pela autora. INMET, 2019.

Observa-se no gráfico A (figura 21), que as temperaturas médias oscilaram entre 16.7°C e 24.0°C, sendo o menor valor no município de Barbacena e o maior em Coronel Pacheco. Com relação às temperaturas mínimas médias, os valores variaram 11.6°C e 19.3°C, tratando-se dos mesmos municípios citados anteriormente com extremos térmicos. Além disso, foram inferidos os dados de temperaturas máximas no gráfico C, o qual revela temperaturas entre 22.9°C e 30.5°C.

Sobre a umidade relativa do ar, os limites verificados variaram ente 65.2% a 88.8%, em Lavras e Coronel Pacheco, respectivamente. Diante desse resultado, destaca-se que a estação meteorológica de Coronel Pacheco se encontra instalada no vale do Ribeirão Liberdade, muito próxima a cursos d'agua.

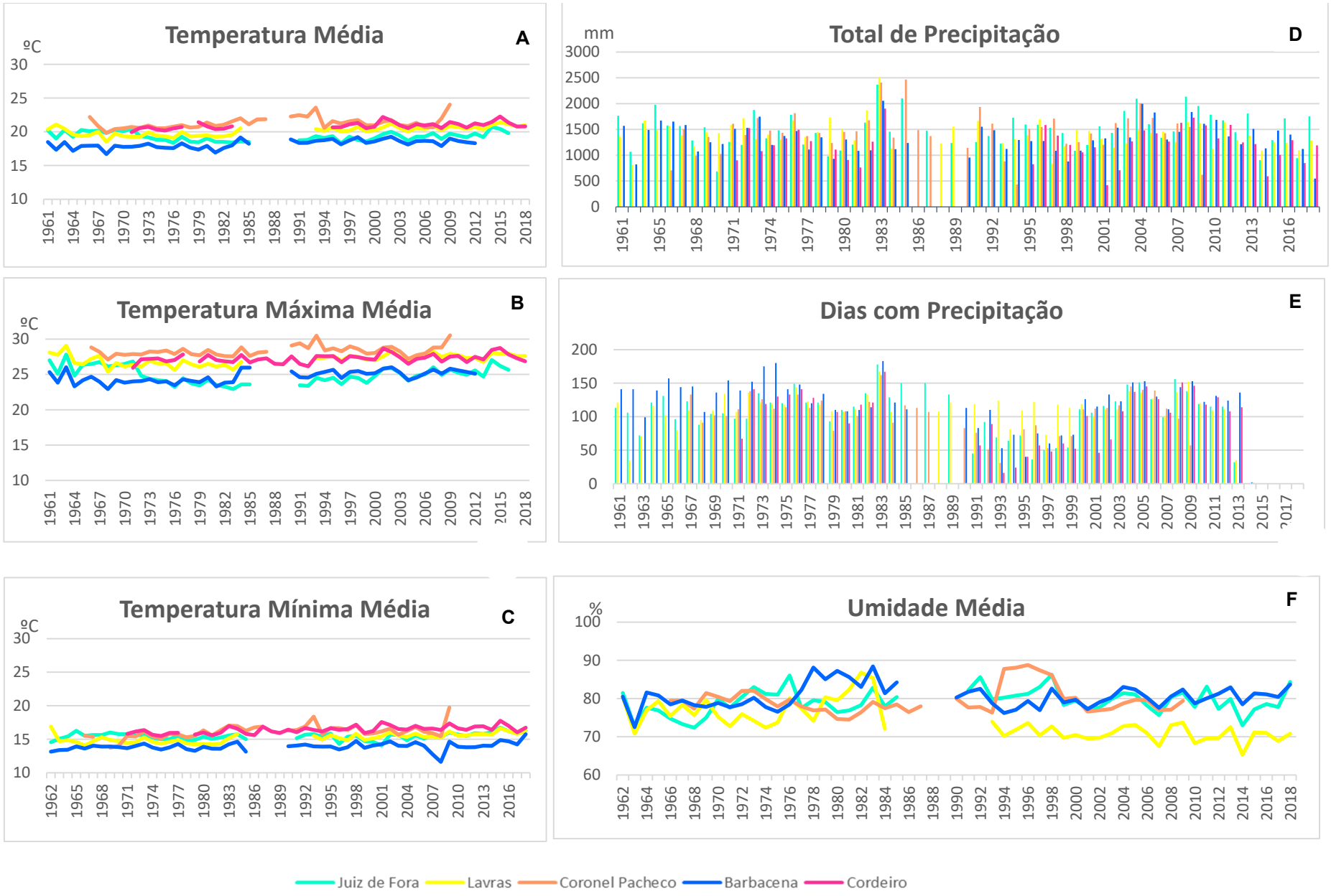
Apesar da oscilação observada, pode-se afirmar que os municípios apresentam totais significativos de precipitação, sendo Barbacena, Juiz de Fora e Lavras, as localidades que revelaram os maiores totais (Gráfico D – Figura 21). O maior valor identificado foi em 1983, com total de 2516 mm em Lavras, e o menor de 417 mm de chuva em Cordeiro, no ano de 2001.

Ainda sobre as chuvas, no gráfico E têm-se que os dados referentes aos totais de dias com precipitação apontam para elevada distribuição de chuvas nos municípios, com destaque para Barbacena, com maior registro no ano 1983, com total de 183 dias com chuva.

De acordo com Neto (2005) e Nimer (1979), sistemas de baixa pressão, como os sistemas frontais provocam situações de instabilidade acarretando aumento da nebulosidade e precipitação. Ainda se pode observar a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), resultado de um corredor de umidade caracterizado por dias seguidos de precipitação no estado de Minas Gerais.

Barbacena e Juiz de Fora destacam-se com as menores temperaturas médias registradas (Gráfico A – Figura 21), acompanhadas por alguns anos pelas médias de Lavras. Sobre Barbacena, há que se evidenciar que a mesma possui as temperaturas inferiores em relação aos demais municípios (Gráficos A, B e C – Figura 21), o que pode ser justificado pela sua posição na bacia do Rio Grande, entre as vertentes dos limites com as bacias do Rio Paraíba do Sul e Rio Piranga. Desta forma, observa-se a influência significativa do relevo, principalmente do fator altimétrico, o qual possui ação sobre a variação temperatura do ar, decrescendo com sua elevação numa proporção de aproximadamente 0.65°C a cada 100 metros de altitude (valor teórico). Isto se deve à rarefação do ar e, consequentemente, redução da pressão atmosférica.

Figura 21 - Grupo de gráficos com informações dos elementos temperatura média (A), máxima média (B), mínima média (C), precipitação (D), dias com precipitação (E) e umidade relativa (F). Fonte: elaborado pela autora.



Tanto Lavras quanto Juiz de Fora encontram-se em uma porção menos elevada em relação à Barbacena, porém, ainda sim, localizam-se em áreas de maior altitude diante de Cordeiro-RJ e Coronel Pacheco, as quais apresentaram temperaturas superiores nos valores médios, mínimos e máximos. Os municípios com temperaturas mais altas são observados nas porções mais rebaixadas da bacia do Rio Paraíba do Sul (Figura 21).

Com relação à umidade, figura 21- F, verifica-se uma oscilação entre os anos, relacionada à estreita relação deste elemento com a variável precipitação, cuja ocorrência está atrelada principalmente à dinâmica dos sistemas atmosféricos. Em contrapartida, Barbacena e Juiz de Fora, apesar de presenciarem oscilações, contém os maiores valores médios de umidade.

Nos gráficos “G”, “H”, “I” e “J” (figura 22) estão ilustradas as ocorrências de descontinuidades têmporo-espaciais. Através destes é possível checar a frequência com que os municípios analisados possuem maior atuação de controles em escalas inferiores, entendendo-se que, se em alguma localidade o comportamento dos elementos climáticos varia de maneira divergente do geral, enquadrados na mesma característica regional, seria um fato indicativo de ação de fatores de outras escalas.

Esses eventos também podem ser observados nos gráficos de “A” a “C”, nas variações interanuais, nos momentos em que as linhas que representam as variáveis climáticas se cruzam em sentidos opostos, como por exemplo no gráfico “B”, de temperatura média máxima no entorno dos anos de 1979 e 1982. O cruzamento destas linhas sinaliza que há processos de escalas inferiores em ação potencializadas diante do controle climático local naquele município, o que faz com que os valores de temperatura se diferenciem em relação ao observado nos demais anos.

Com relação às descontinuidades verificadas na temperatura média, verifica-se maior frequência de situações em que há desvios para diminuição das temperaturas em relação à dinâmica regional. Com essa realidade destaca-se o município de Juiz de Fora, o qual teve em sua totalidade casos de redução de temperatura diante do aumento das demais cidades.

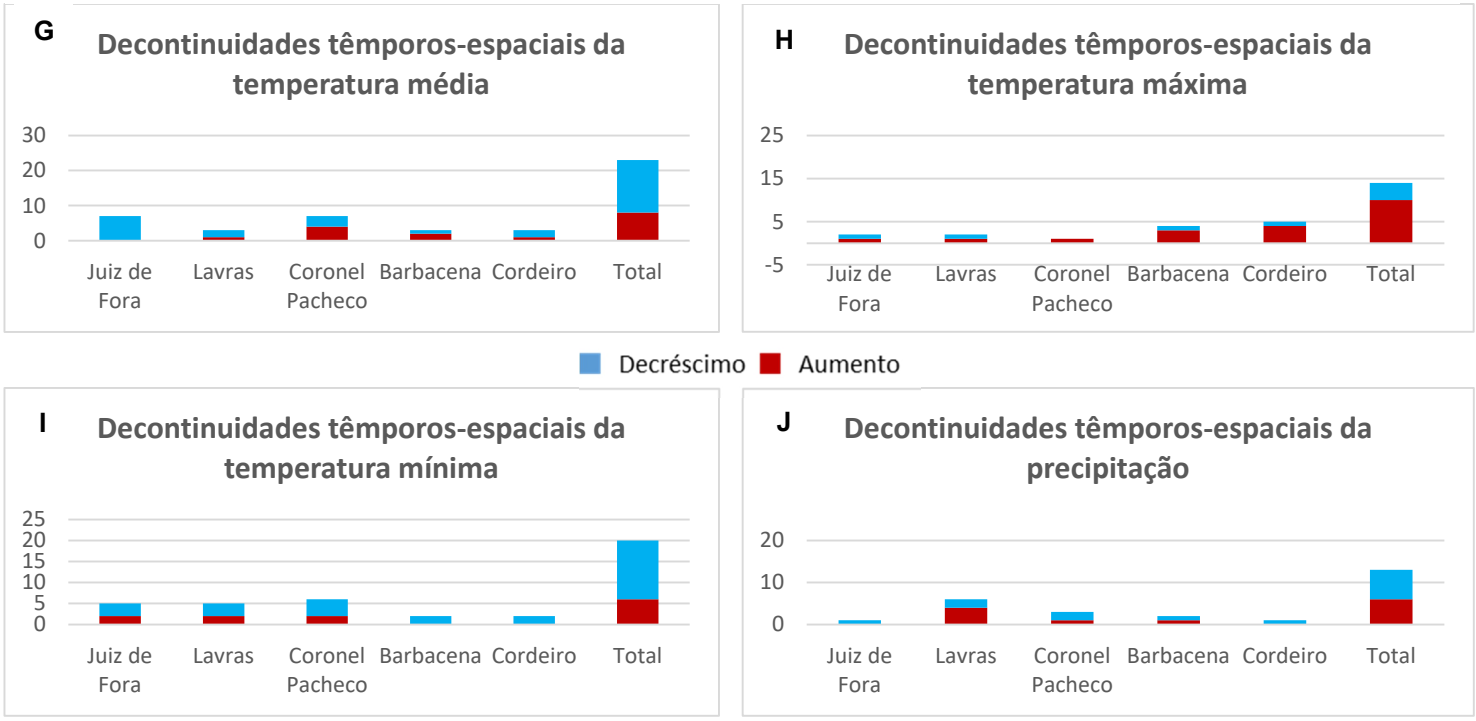
Essa condição pode ser parcialmente explicada através do mapa de orientação de vertentes (figura 16), onde visualiza-se que o município possui grande parte de suas vertentes orientadas para Sudeste. Por outro lado, as demais localidades possuem significativas porções para o quadrante Nordeste (destacar que

no hemisfério sul as vertentes inclinadas para norte recebem maior insolação do que as vertentes orientadas para sul).

De maneira geral, o maior número de ocorrências de descontinuidades é em relação às temperaturas médias (“G”). Em seguida, têm-se as temperaturas mínimas que se apresentam em maior concentração, com destaque para Coronel Pacheco, Juiz de Fora e Lavras, com desvios mais frequentes para diminuição das temperaturas. Lavras, por sua vez, também exibe evidência em relação à precipitação (“J”), com mais casos de menores totais de precipitação enquanto houve aumentos dos totais nos outros pontos (Figura 22).

Por fim, no gráfico (“I”), nota-se que as descontinuidades na temperatura máxima tiveram menos registros, Barbacena e Cordeiro foram os mais recorrentes e em Cordeiro, possivelmente justifica-se por seu posicionamento no vale, portanto em áreas mais rebaixadas da bacia do Paraíba do Sul, já Barbacena pode sofrer consequências da sua posição a sotavento.

Figura 22 - Grupo de gráficos com informações de descontinuidades têmporo-espaciais de Temperatura média (G), máxima (H), mínima (I) e precipitação (J).

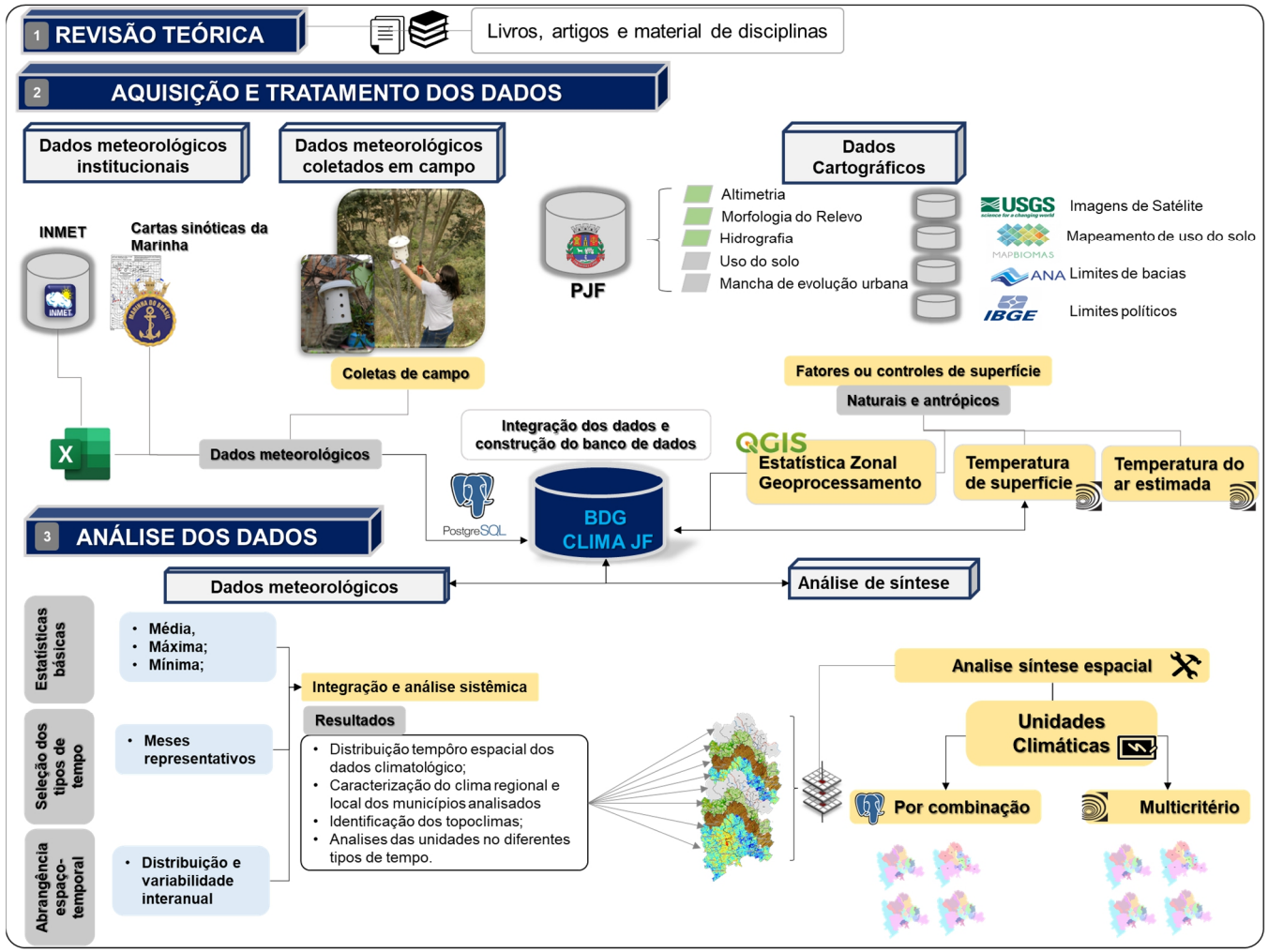



Fonte: Elaborado pela autora.

## CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desta pesquisa partiu de investigação envolvendo processos naturais e antrópicos, através de bases cartográficas e dados meteorológicos, com uso de técnicas estatísticas e de análises espaciais, para que sejam traçadas as unidades climáticas do município de Juiz de Fora em diferentes condições de tempo. Para elaboração dessa pesquisa, os procedimentos metodológicos foram estruturados em três momentos, sendo estes: revisão teórica, aquisição e tratamento dos dados e, por fim, métodos de análise dos dados e de síntese, no que se refere a construção das cartas de unidades climáticas. Cada um desses foi subdividido em subseções para encadear os processos desenvolvidos e facilitar o entendimento das etapas do trabalho. O esboço metodológico a ser executado pode ser visualizado na figura 23, a seguir.

Figura 23 - Esquema operacional dos procedimentos.




Fonte: Elaborado pela autora

## 3.1 Revisão teórica

A revisão teórica da pesquisa foi dedicada principalmente aos trabalhos sobre delimitação de unidades climáticas, aspectos sobre a paisagem e métodos estatísticos para avaliação de correlação entre os elementos físicos que compõem a área de estudo e as respostas climáticas. Essa priorização se deve ao fato de que os demais pontos trazidos na revisão já faziam parte da construção teórica de estudos feitos anteriormente (ASSIS, 2018; 2016), assim o exercício foi de atualização e aperfeiçoamento de tais temáticas. É valido destacar que essa atividade tem caráter contínuo e ocorre paralelamente às demais etapas de trabalho, uma vez que essa é alimentada pelas demandas encontradas no decorrer da pesquisa.

## 3.2 Aquisição e tratamento dos dados

O processo de aquisição e tratamento dos dados pode ser subdividido em três etapas, dados meteorológicos de estações institucionais, coleta e tratamento de dados meteorológicos coletados em campo e dados cartográficos.

### *3.2.1 Dados meteorológicos de estações institucionais*

Os dados meteorológicos foram utilizados para a definição das condições climáticas do município de Juiz de Fora no contexto local e regional. Para isso fez-se o uso dos dados de municípios nas proximidades que possuem estações do INMET. A definição dos municípios foi baseada em critérios de proximidades das estações meteorológicas próximas à Juiz de Fora, além da disponibilidade de dados para download imediato. Assim, foram definidas as estações sediadas nos municípios de Juiz de Fora, Coronel Pacheco, Lavras, Barbacena e Cordeiro (tabela 7).

Tabela 7 - Características das estações meteorológicas convencionais escolhidas

| Código | Município | UF | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Operação |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 83692 | Juiz de Fora | MG | -21,76 | -43,46 | 940,0 | 01/01/1910 |
| 83687 | Lavras | MG | -21,75 | -45,00 | 918,8 | 18/02/1911 |
| 83037 | Coronel Pacheco | MG | -21,55 | -43,26 | 435,0 | 01/01/1955 |
| 83689 | Barbacena | MG | -21,25 | -43,76 | 1126,0 | 09/06/1914 |
| 83718 | Cordeiro | RJ | -22,02 | -42,46 | 505,9 | 16/07/1971 |

Fonte: Organizado pela autora de INMET (2019).

Com os dados baixados, eles foram tabulados em planilhas de Excel, possibilitando buscar falhas no recorte temporal estudado e limitado ao período de 1961 a 2018. Destaca-se que em alguns períodos não existe completa sobreposição de dados em todas as estações estudadas e as falhas não foram preenchidas com objetivo de manter a originalidade dos dados, evitando possíveis ruídos acarretados pelas técnicas de preenchimento. Após organização dos dados, as falhas foram contabilizadas, para exclusão e seleção do recorte temporal com maior contiguidade e sobreposição entre os pontos (Tabela 8).

Tabela 8 – Número de falhas nas estações de Juiz de Fora-MG, Lavras-MG, Coronel Pacheco - MG, Barbacena-MG e Cordeiro-RJ, entre 1961 e 2018.

| Municípios | Período | Meses monitorados | Temperatura do ar (mensal) | | Umidade relativa do ar (mensal) | | Precipitação (mensal) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Nº falhas | % falhas | Nº falhas | % falhas | Nº falhas | % falhas |
| Juiz De Fora -MG | 1961-2018 | 673 | 613 | 9% | 607 | 10% | 641 | 5% |
| Lavras - MG | 1961-2018 | 697 | 589 | 15% | 584 | 16% | 618 | 11% |
| Coronel Pacheco - MG | 1966-2009 | 521 | 462 | 11% | 466 | 11% | 471 | 10% |
| Barbacena - MG | 1961-2018 | 690 | 552 | 20% | 617 | 11% | 631 | 9% |
| Cordeiro - RJ | 1971-2018 | 577 | 409 | 29% | * | * | 409 | 29% |

* Totalmente sem dados

Em seguida, as planilhas foram segmentadas por variável climática, sendo elas: temperatura média compensada, temperatura máxima média, temperatura mínima média, umidade, precipitação acumulada, dias de precipitação e velocidade e direção do vento.

Posteriormente foram elaborados os gráficos e aplicado um método de Assis e Jardim (2020), para verificação das descontinuidades apenas nos meses não falhados, em que foi observado quando os resultados de determinadas estações se comportam de maneira destoante dos demais pontos analisados, a fim facilitar a detecção de ritmos e padrões dos elementos estudados.

Para verificação das descontinuidades interanuais, dividiu-se o valor de cada ano pelo ano anterior e, dessa forma, foi possível obter o percentual de variação de um ano para o outro. Assim, se o resultado encontrado fosse maior que 1, houve aumento do valor da variável, caso contrário, se fosse menor que 1, ocorreu diminuição da temperatura com relação ao ano anterior.

Em seguida foi contabilizado em quantas estações ocorreram valores superiores e inferiores a 1. Com isso foi possível identificar o comportamento comum entre os pontos por ano, assim como as situações destoantes. E, por fim, foi feita a identificação dos municípios que se apresentaram de maneira discordante da maioria das cidades, ou seja, em 4 dos municípios houve registro de aumento dos valores e em 1 ocorreu diminuição, esse como ação discordante foi computado, o mesmo processo foi feito para o contrário,4 municípios com diminuição e 1 com aumento.

Para ilustração das informações trabalhadas, foram gerados gráficos com contabilização de ocorrências de descontinuidades por município. Estas demonstram que apesar dos fatores regionais atuantes, houve situações em que os aspectos locais sobressaíram, fazendo com que o município não acompanhasse as tendências dos demais.

Ainda em caráter generalista sobre o município, utilizou-se dos dados das normais climatológicas (1981-2010), além dos dados do INMET da estação automática para subsídio da análise sinótica e classificação dos tipos de tempo.

Para análise sinótica fez-se o uso das cartas sinóticas disponibilizadas pelo Centro de Hidrografia da Marinha, cartas diárias do horário das 12h UTC e 00h UTC, de cada dia de monitoramento. Além das análises anteriormente citadas, os dados da estação do INMET também foram utilizados para aferição dos dados coletados em campo e estimativa de temperatura do ar em áreas urbanas.

### *3.2.2 Dados meteorológicos coletados em campo*

Para coleta dos dados em campo utilizou-se o abrigo meteorológico do modelo proposto por Jardim (2018), o qual foi testado e verificado por Fialho e Celestino (2017), e que tem condições de resistir a monitoramento contínuo durante os 12 meses de coleta de dados. Com objetivo de melhorar o isolamento e estrutura do abrigo, que foi reformado com a adição de dois pratos plásticos na parte superior do abrigo e lâminas de isopor e E.V.A. entre os mesmos. Em seguida, os novos pratos

foram pintados na cor branca, para que a superfície tivesse menor absorção da radiação e o máximo de ventilação, com aberturas nas porções superior, inferior e laterais. Tais abrigos reformados podem ser visualizados na figura 24, a seguir.

Figura 24 - Abrigos meteorológicos utilizados em campo.



Fonte: Elaborado pela autora.

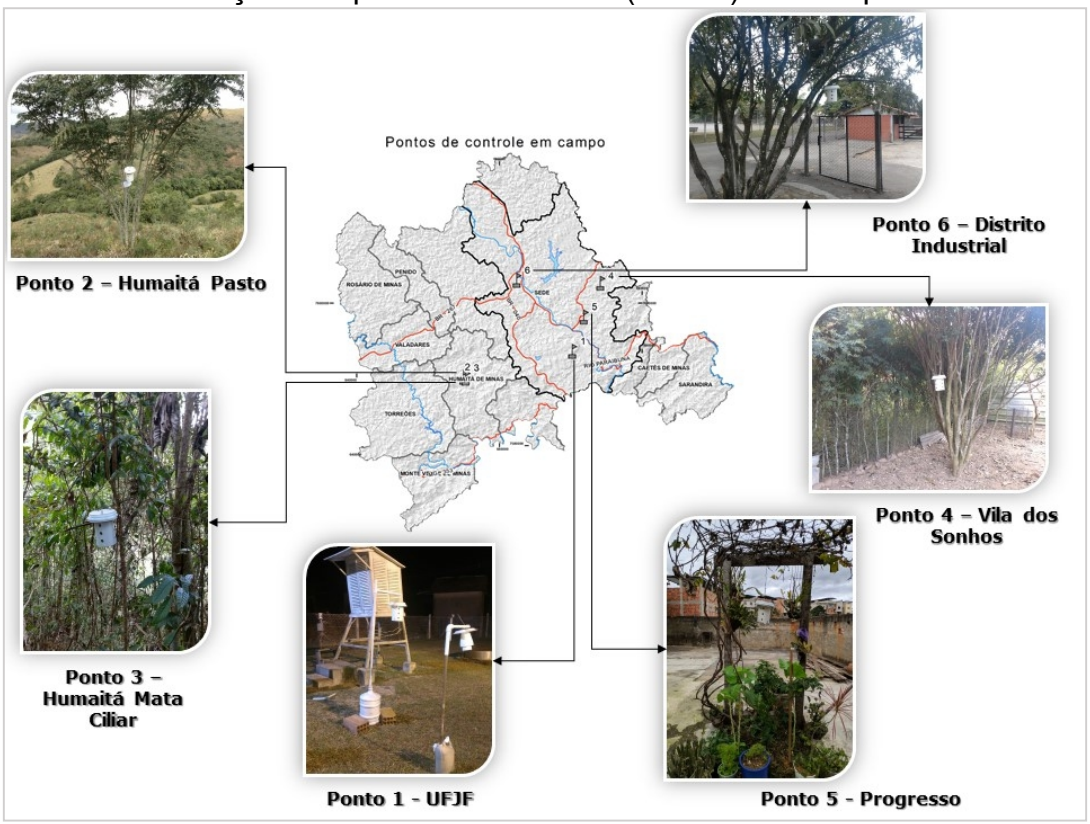
A escolha dos pontos de controle em campo baseou-se na disponibilidade de locais possíveis para instalação do equipamento em segurança, além da melhor distribuição espacial viável, em diferentes condições de uso e ocupação da terra. Dessa forma, foram distribuídos 6 pontos de controle pelo município de Juiz de Fora, sendo 4 pontos instalados dentro do perímetro urbano e 2 pontos em área rural. Entende-se como ponto de controle o local onde foram instalados os abrigos em campo.

O primeiro ponto instalado (Ponto 1), encontra-se junto da estação meteorológica do INMET para que os equipamentos utilizados fossem aferidos e corrigidos com dados oficiais, mas posteriormente à aferição o ponto foi removido e os dados do próprio INMET passaram a ser utilizados como ponto de controle. Dos pontos em área rural, um foi alocado em área de pastagem (Ponto 2) e outro em mata ciliar (Ponto 3), na busca de retratar duas situações comuns da zona rural juiz-forana.

Os pontos alocados na área urbana observaram os diferentes tipos de ocupação na cidade, sendo destacadas condições de regiões dominadas por uso residencial próximas a área central. O ponto 4 localiza-se no bairro Vila dos Sonhos, que apesar de encontrar-se dentro da área urbana, possui características mais semelhantes às encontradas nos pontos rurais, nas proximidades de um córrego de nome não identificado, com edificações muito esparsadas de uso residencial e lazer

circundada de fragmentos de vegetação e pastagem. Já o ponto 5 encontra-se no bairro Progresso, próximo a região central, porém caracterizada por uso residencial, de casas de padrão construtivo popular. Por fim, o ponto 6, no Distrito Industrial, o qual está distante da região urbana central, apesar de possuir grande relevância para o município, uma vez que se trata da região industrial. Nesse ponto o abrigo foi alocado no pátio de uma empresa que se dispôs a auxiliar nesse monitoramento. Os pontos de controle podem ser visualizados nas figuras 25 e 26, a seguir:

Figura 25 - Identificação dos pontos de controle (UFMG) em campo.




Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 26 - Localização dos pontos de controle.








Fonte: Elaborado pela autora.

O equipamento acoplado aos abrigos consiste em um Data Logger de Temperatura e Umidade, modelo HT-500, da marca *Instrutherm,* conforme figura 27. Os abrigos foram instalados de acordo com as especificações técnicas do fabricante, obedecendo a distância 1.5 metros da superfície do solo. Quando havia condições de instalação direta do abrigo, assim foi feito, quando não, utilizou-se um suporte confeccionado para essa finalidade, cumprindo a mesma condição de distância da superfície e com a utilização de materiais brancos ou pintados com a mesma cor.

Figura 27 - Datalogger HT-500, Instrutherm.




Fonte: site do fabricante.

O monitoramento iniciou-se no dia 19 de julho de 2019, após instalação de todos os pontos e eliminação dos dados de coleta anterior. O datalogger foi programado para registros de 1 em 1 hora, continuamente. Os dados foram monitorados de 60 em 60 dias, sendo que ao fim dos períodos os dados são coletados, armazenados e o equipamento é reprogramado para o novo período de coleta. As condições gerais dos pontos de controle podem ser observadas na tabela 9, a seguir:

Tabela 9 - Descrição dos pontos de controle.

| **Descrição dos Pontos de Controle** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ponto | Nome | Localidade | Tipo | Lat. | Long. | Altitude (m) | Inst. |
| **1** | UFJF | Estação Meteorológica do INMET, bairro Martelos | Urbano | -21.76 | -43.36 | 940 | 17/07/2019 |
| **2** | Humaitá Pasto | Sítio Mendes, distrito de Humaitá | Rural | -21.8 | -43.51 | 796 | 18/07/2019 |
| **3** | Humaitá Mata Ciliar | Sítio Mendes, distrito de Humaitá | Rural | -21.8 | -43.5 | 686 | 18/07/2019 |
| **4** | Vila dos Sonhos | Rua Diomar Monteiro, n°630, bairro Vila dos Sonhos | Urbano | -21.68 | -43.32 | 793 | 18/07/2019 |
| **5** | Progresso | Rua da Passagem, n° 86, bairro Progresso | Urbano | -21.72 | -43.34 | 759 | 18/07/2019 |
| **6** | Distrito Industrial | Ra Antônio Simão Firjam, n°240, bairro Distrito Industrial | Urbano | -21.68 | -43.44 | 686 | 22/07/2019 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Além desse monitoramento, estabeleceu-se uma parceria com o Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LABCAA), da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), que também tem trabalhado com monitoramento dos dados em campo. O monitoramento da equipe juiz-forana teve início dia 18 de dezembro de 2018. Dessa forma, a equipe juiz-forana cedeu dados de dois pontos que monitoram, sendo que o equipamento utilizado por ela é o *datalogger Hobo*, modelo UA-001-64 e o abrigo difere dos utilizados pela pesquisa que está se propondo. O equipamento e o abrigo podem ser visualizados na figura 28, a seguir:

Figura 28 - Datalogger HOBO UA-001-64 (a esquerda) e suporte e abrigo de isopor (a direita).




Fonte: Vianna (2018).

Os pontos de monitoramento consistem em um ponto no bairro Previdenciários (Ponto 7), em área urbana, porém com caráter residencial, já o segundo ponto localiza-se na região urbana Centro (Ponto 8), em uma das principais vias da área. Para garantir ajustagem entre os pontos monitorados por essa pesquisa e os dados da equipe parceira, também foi instalado um ponto com equipamento utilizado pelo LabCAA juntamente com a estação do INMET, simultaneamente ao momento de aferição do datalogger utilizado nessa pesquisa.

Para aferição, um modelo de cada *datalogger* utilizado nos monitoramentos foi instalado junto à estação meteorológica do INMET de Juiz de Fora, durante 71 dias.

Após coleta dos dados em campo, eles foram organizados e convertidos para o formato xlsx, assim calculou-se a correlação entre dos dados monitorados (Tabela 10).

Tabela 10 – Correlação entre os dados coletados e da estação meteorológica do INMET.

| Correlação entre os dados dos sensores utilizados | | |
|---|---|---|
| **Sensores** | **Temperatura** | **Umidade** |
| INMET x HT-500[1] | 0.89 | 0.92 |
| INMET x HOBO[2] | 0.95 | |
| HT-500[1] x HOBO[2] | 0.98 | |

[1] Datalogger HT-500, Instrutherm- UFMG; [2] Datalogger HOBO UA-001-64 - LabCAA-UFJF

Fonte: elaborado pela autora.

Em seguida inseridos no gestor de banco de dados livre PostgreSQL 11.3.1. Após inserção fez-se o cálculo das diferenças entre o dado registrado nos *dataloggers* supracitados e na estação do INMET, em seguida calculou-se a média por horário para todos os dias de monitoramento. Com os dados das diferenças médias por horário foi aplicado o ajuste para todos os pontos de coleta. Lembrando que foram aplicados ajustes diferentes para cada tipo de equipamento utilizado (Tabela 11).

Tabela 11 - Fatores de ajuste aplicados para ajuste dos dados coletados aos da estação meteorológica do INMET.

| Fator de ajuste dos sensores aos dados da estação INMET | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Horário** | **Temperatura HT-500[1]** | | **Temperatura HOBO[2]** | | **Umidade HT-500[1]** |
| 0h | 0.58 | - | 0.06 | - | 2.18 |
| 1h | 0.57 | | 0.00 | - | 1.75 |
| 2h | 0.48 | - | 0.04 | - | 1.23 |
| 3h | 0.43 | - | 0.08 | - | 0.96 |
| 4h | 0.45 | - | 0.12 | - | 0.66 |
| 5h | 0.34 | - | 0.13 | - | 0.61 |
| 6h | - 0.20 | - | 0.18 | | 0.26 |
| 7h | - 1.39 | - | 1.04 | | 3.25 |
| 8h | - 2.06 | - | 2.30 | | 5.16 |
| 9h | - 2.77 | - | 2.90 | | 6.69 |
| 10h | - 3.14 | - | 3.31 | | 6.13 |
| 11h | - 3.25 | - | 3.87 | | 5.77 |
| 12h | - 3.10 | - | 3.96 | | 3.28 |
| 13h | - 2.58 | - | 4.27 | | 1.63 |
| 14h | - 1.81 | - | 3.91 | - | 1.08 |

| Horário | Temperatura HT-500[1] | | Temperatura HOBO[2] | | Umidade HT-500[1] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15h | - | 0.91 | - | 3.30 | - | 3.37 |
| 16h | | 0.38 | - | 2.70 | - | 6.37 |
| 17h | | 1.23 | - | 0.88 | - | 7.80 |
| 18h | | 1.02 | | 0.07 | - | 6.83 |
| 19h | | 0.82 | | 0.08 | - | 5.01 |
| 20h | | 0.73 | | 0.07 | - | 4.20 |
| 21h | | 0.73 | | 0.01 | - | 3.97 |
| 22h | | 0.62 | | 0.00 | - | 3.21 |
| 23h | | 0.65 | - | 0.03 | - | 2.96 |

[1] Datalogger HT-500, Instrutherm- UFMG; [2] Datalogger HOBO UA-001-64 - LabCAA-UFJF

Fonte: elaborado pela autora.

### *3.2.3 Dados Cartográficos*

A elaboração dos mapas temáticos do contexto regional consistiu na utilização de técnicas de Geoprocessamento e cartografia digital, operadas no software ArcGis 10.5. Como o fator relevo possui preponderância na dinâmica climática da área estudada, foram elaborados mapas de altimetria, morfologia e orientação das vertentes. Para elaboração do mapa de altimetria e orientação das vertentes foi utilizada a imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), fornecida pela Embrapa com resolução de 90 metros, uma vez que a escala de análise permite maiores generalizações. Já o mapa de delimitação de bacias foi feito através da base de bacias hidrográficas de Otto, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA). Por fim, o material gerado foi agrupado e articulado para que as análises fossem realizadas de maneira a integrar a realidade climática observada com as características do meio físico.

Com objetivo de viabilizar a análise relacional entre os dados cartográficos da área de estudo e os dados de monitoramento de campo, foi estruturado um banco de dados geográfico composto por camadas em formato vetorial e tabular. Para aquisição dos dados oficiais junto aos órgãos competentes foi feita uma solicitação à Prefeitura de Juiz de Fora (PJF), a qual disponibilizou as bases cartográficas (Tabela 12).

Além das bases cedidas pela prefeitura, fez-se uso também de bases de dados de outras fontes de dados, como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por exemplo, com limites políticos e tabelas com os resultados do censo

demográfico de 2010. As demais fontes utilizadas podem ser observadas na tabela 13.

Para as análises na escala topoclimática, contemplando apenas o município de Juiz de Fora, optou-se por base de dados com escala de mais detalhes, quando disponível, como é o caso da hipsometria, disponibilizada pela prefeitura de Juiz de Fora, na escala de 5 m. Quanto ao uso e cobertura da terra, apesar do mapeamento disponibilizado pela prefeitura possuir um melhor detalhamento das classes, o mapa é obsoleto por ser de 2014. Dessa forma, optou-se pelo mapeamento do Mapbiomas, com resolução de 30 metros, devido à melhor resolução temporal com cobertura anual, de 1985 a 2020, a qual oferece a camada mais atualizada e coerente com o trabalho executado.

Uma das limitações do mapeamento de uso da terra do Mapbiomas na área de estudo é com relação aos cursos d'agua, que em muitos casos não são representados devido à resolução espacial. Como essa informação pode interferir no comportamento térmico, decidiu-se fazer uma melhoria na camada a partir do mapeamento de hidrografia do Fundação Brasileira Desenvolvimento Sustentável (FBDS), com resolução de 5 metros. Para isto, utilizaram-se as camadas de rios duplos, rios simples e massas d'água, as quais foram estampadas sob o raster de uso da terra do Mapbiomas.

Antes de unir estas camadas, foi feita uma adequação para remover os trechos de rios e córregos canalizados, visto que os cursos d'água quando canalizados perdem sua influência direta nos elementos climáticos, como na temperatura e umidade, os quais serão focos nesta pesquisa. Desta forma, foi feito um levantamento de córregos e rios canalizados no município, através do *JF Legis*, sistema de consulta à legislação municipal, que permite consultas de leis, decretos e portarias.

Neste sistema executaram-se consultas através de palavras-chave relacionadas à obras de canalização, a partir dos decretos, leis e portarias encontrados e foi possível identificar os nomes dos cursos d'agua e endereços das obras. Com estas informações, fez-se a busca utilizando a base de hidrografia da prefeitura, a qual possui a identificação dos nomes da maioria dos rios e córregos, além das imagens de satélite do Google Earth. Assim, quando foi possível identificar a canalização, fez-se a alteração da camada de hidrografia do FBDS e, após esse

tratamento, fez-se o mosaico entre a camada de uso da terra do Mapbiomas, com a hidrografia já adaptada.

Tabela 12 - Fonte e descrição de dados espaciais e tabulares fornecidos pela Prefeitura de Juiz de Fora.

| Dados espaciais e tabulares fornecidos pela Prefeitura de Juiz de Fora | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Tema** | **Descrição** | **Tipo** | **Escala/Resolução** | **Data** | **Fonte** |
| **Hidrografia** | Rede Hidrográfica com rios principais e secundários | Vetor | Não informado | 2014 | SISPLAN - PJF |
| **Evolução da mancha urbana** | Manchas urbanas em recortes temporais | Vetor | Não informado | 2016 | SISPLAN - PJF |
| **Áreas Verde** | Áreas verde no município de Juiz de Fora | Vetor | Não informado | 2014 | SISPLAN - PJF |
| **Hipsometria** | Modelo digital de elevação com resolução espacial de 5 metros | Matricial | 5 metros | 2014 | SISPLAN - PJF |
| **Morfologia** | Feições morfológicas do município de Juiz de Fora | Vetor | Não informado | 2018 | SISPLAN - PJF e EDUARDO |
| **Altimetria** | Curva de nível com equidistância de 5 metros | Vetor | 1:10000 | 2014 | SISPLAN - PJF |

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 13 - Fonte e descrição de dados espaciais e tabulares fornecidos por outras fontes.

| Dados espaciais e tabulares fornecidos por outras fontes | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Tema** | **Descrição** | **Tipo** | **Escala/ Resolução** | **Data** | **Fonte** |
| **Limites Políticos** | Limites setores censitário | Vetor | Não informado | 2017 | IBGE |
| | Limites dos Municípios | Vetor | Não informado | 2017 | IBGE |
| | Unidades Federativas | Vetor | Não informado | 2017 | IBGE |
| **Censo demográfico** | Resultados do censo demográfico, por setor Censitário | Tabela | Não se aplica | 2010 | IBGE |
| **Imagens de satélite** | Imagens se satélite | Matricial | 30 metros | 2019 | USGS/NASA |
| **Uso e cobertura da Terra** | Série histórica de uso da Terra | Matricial | 30 metros | 2020 | MAPBIOMAS |
| **Relevo** | Modelo digital de elevação gerado por imagens da missão SRTM | Matricial | 90 metros | 2013 | EMBRAPA |
| **Bacias hidrográficas** | Bacias hidrográficas de Otto | Vetor | Não informado | 2012 | ANA |
| **Hidrografia** | Hidrografia e Massa d'água | Vetor | 5 metros | 2013 | FBDS |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Normais Climatológicas** | Temperatura média compensada<br>Temperatura máxima<br>Temperatura mínima<br>Umidade relativa do ar<br>Precipitação acumulada<br>Intensidade do vento<br>Direção predominante do vento | Tabela | Não se aplica | 1961 - 1990/ 1981-2010 | INMET |

Fonte: Elaborado pela autora.

Para facilitar as operações, todas as bases espaciais foram reprojetadas para o sistema projetado de coordenadas UTM, com datum SIRGAS 2000, zona 23 sul. Após a reprojeção de toda base de dados, elas foram inseridas no banco de dados PostgreSQL com extensão PostGIS para operações espaciais.

Com objetivo de orientar a coleta e análise dos dados de campo, fez-se o uso de imagens termais do satélite Landsat 8, fornecido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) em conjunto com a NASA. No site da agência foram selecionadas imagens com a menor cobertura de nuvens nos dias de coleta de dados em campo para os meses dos sistemas atmosféricos mais representativos dentro da série analisada (Tabela 14).

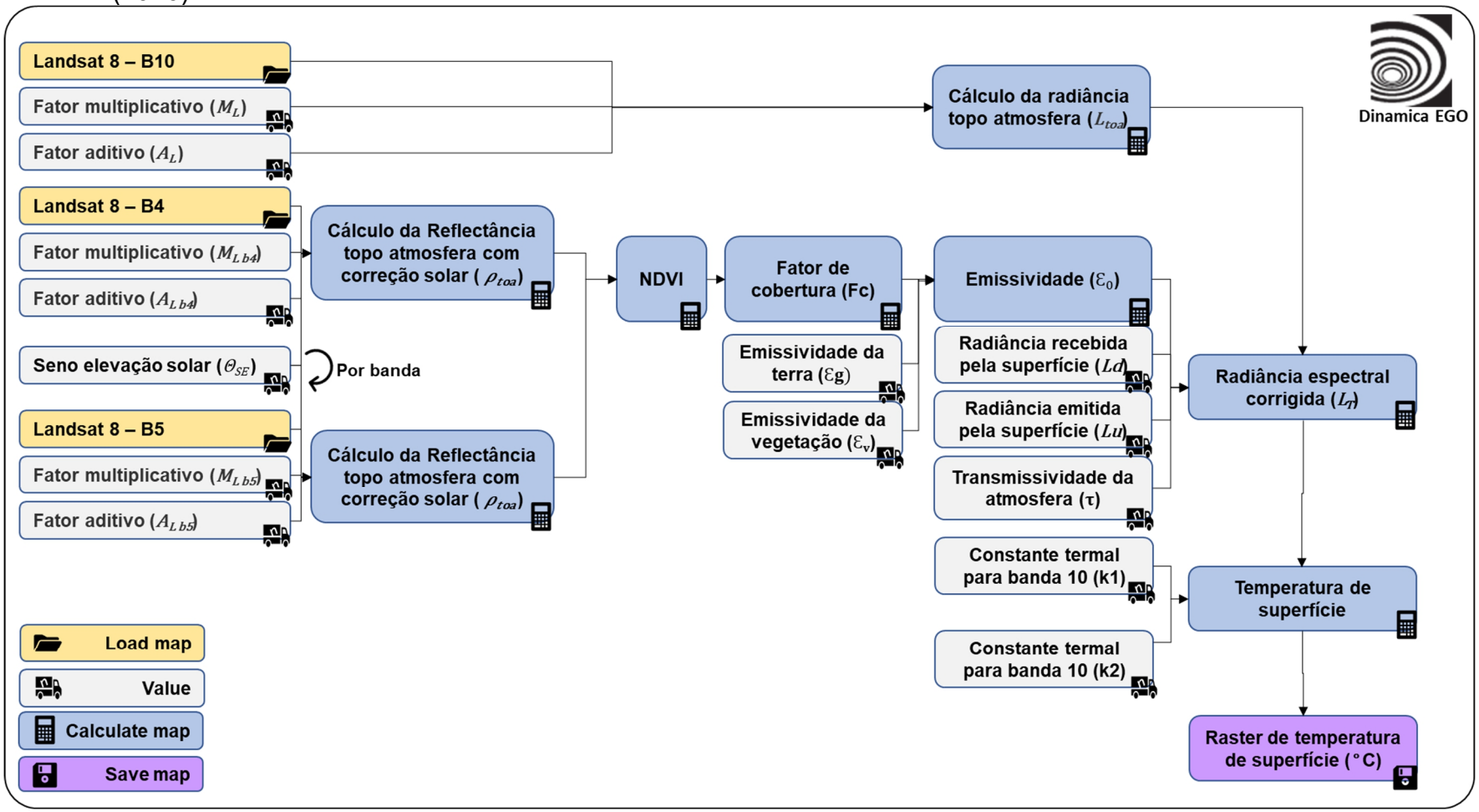
Tabela 14 - Data e horário das imagens de satélite LANDSAT 8 utilizadas.

| Data | Horário centro de cena | Cobertura de nuvens |
|---|---|---|
| 19/08/2019 | 12:51:45 | 7.93 |
| 06/10/2019 | 12:51:58 | 13.17 |
| 10/01/2020 | 12:51:47 | 19.86 |
| 01/05/2020 | 12:51:03 | 0.02 |

Fonte: elaborada pela autora.

No Dinamica EGO, construiu-se um simples modelo de elaboração dos mapas de temperatura de superfície com correção atmosférica, de acordo com o método de Pavão (2016), de maneira a padronizar os procedimentos para os quatro meses selecionados (Figura 29).

Figura 29 - Procedimentos executados para obtenção da temperatura de superfície através das imagens do Landsat 8, de acordo com Pavão (2016)




Fonte: elaborado pela autora.

De acordo com Pavão (2016), o primeiro passo foi o cálculo da radiância no topo da atmosfera, o qual é feito através da equação abaixo:

$$L_{toa} = M_L * Q_{cal} + A\mathcal{L}$$

Em que:

$L_{toa}$ = Radiância espectral no topo da atmosfera (W/m² srd μm);

$M_L$ = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda;

$Q_{cal}$ = Número digital (ND) do pixel;

$A_L$ = Fator aditivo reescalonado de radiância para a banda 10 ou 11 (0.1);

O fator multiplicativo, fator aditivo e constantes de calibração ($k_1$ e $k_2$) foram consultados no metadado que acompanha as imagens de satélite. Em seguida, calculou-se a reflectância no topo da atmosfera com correção solar, com as bandas 4 e 5, do vermelho e infravermelho próximo. Para isto, utilizou-se a seguinte equação:

$$\rho_{toa} = \frac{M_\rho Q_{cal} + A_\rho}{sen(\theta_{SE})}$$

Em que:

$\rho_{toa}$ = reflectância no topo da atmosfera (top of atmosphere);

$M\rho$ = fator multiplicativo (banda 4 ou banda 5);

$A\rho$ = fator aditivo (banda 4 ou banda 5);

$Qcal$ = valores quantizados e calibrados padrão dos pixels da banda 4 ou banda 5;

$sen(\Theta_{SE})$ = é o seno do ângulo zenital;

Os fatores multiplicativos, aditivos e o ângulo de elevação do sol, foram obtidos através do metadados disponibilizados junto das imagens. Em seguida, calculou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que indica condição da vegetação. Para isso, recorreu-se às imagens de sensores remotos, e o cálculo foi feito através da equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v}$$

Em que:

$P_v$ = reflectância da banda do infravermelho próximo (Reflectância da banda 5);

$P_{iv}$ = reflectância da banda do vermelho (Reflectância da banda 4);

Para corrigir a radiância da banda do infravermelho termal, é necessário o cálculo do fator de cobertura ($F_c$), emissividade ($\varepsilon_0$) e radiância espectral corrigida ($L_T$). Incialmente, calculou-se o Fator de Cobertura, definido por:

$$F_c = \left(\frac{NDVI - NDVI_{mín}}{NDVI_{máx} - NDVI_{mín}}\right)^2$$

Em que:

$NDVI\ máx$ = (NDVI máximo) possível igual a um (1);

$NDVI\ min$ = (NDVI mínimo) possível igual a um negativo (-1);

$NDVI$ = NDVI calculado anteriormente;

$F_c$ = Fator de cobertura;

Posteriormente, obtém-se a emissividade a partir da equação:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon v * Fc + \varepsilon g * (1 - Fc) * (1 - 1.174 * Fc) + 1.7372 * Fc * (1 - Fc)$$

Onde:

$\varepsilon_0$ = emissividade da superfície;

$\varepsilon v$ = emissividade da vegetação (de valor 0.985 por Pavão, 2016);

$\varepsilon g$ = emissividade do solo (de valor 0.960 por Pavão, 2016);

$Fc$ = fator de cobertura;

Por fim, corrige-se a Radiância Espectral da banda do espectro de infravermelho termal pela equação:

$$L_T = \frac{L_{toa} - L_u - (1 - \varepsilon_0) * L_d}{\varepsilon_0 * \tau}$$

Em que:

$L_T$ = Radiância Espectral corrigida (W.m-2 .sr-1. μm-1);

$L_{toa}$ = radiância espectral no topo da atmosfera (“Ltoa10”) (W.m-2 .sr-1. μm-1);

$\varepsilon_0$ = emissividade da superfície previamente calculada;

$L_u$ = radiância emitida pela superfície (W.m-2 .sr-1. μm-1);

$Ld$ = radiância recebida pela superfície (W.m-2 .sr-1. μm-1);

$\tau$ = Transmissividade da atmosfera;

Para obtenção da transmissividade ($\tau$) da atmosfera, acessou-se o site disponibilizado pela NASA (http://atmcorr.gsfc.nasa.gov.). Neste link é possivel obter correção atmosférica informando o ano, mês, dia, hora, minuto, além da latitude e longitude em graus decimais, disponíveis nos metadados das imagens.

Finalmente, calculou-se a Temperatura de superfície para cada mês selecionado a partir da equação:

$$T_s = \frac{K_2}{ln\left(\frac{K_1}{L_t} + 1\right)} - 273.15$$

Onde:

$T_s$ = Temperatura da Superfície (°C);

$K_1$ = constantes termais para banda 10 espectral do infravermelho termal;

$K_2$ = constantes termais para banda 10 espectral do infravermelho termal;

$L_t$ = radiância espectral corrigida (W.m-2.sr-1. μm-1);

### *3.2.4 Análise dos dados*

A análise dos dados foi segmentada em três instâncias, sendo elas dados das estações meteorológicas, dados de campo e síntese.

#### *3.2.4.1 Análise dos dados das estações meteorológicas*

Após coleta e tratamento dos dados das estações meteorológicas, foram aplicadas as estatísticas descritivas básicas como média, máxima e mínima. Estas medidas tem por objetivo resumir o conjunto de dados observados em um pequeno grupo de valores capazes de fornecer informações relevantes sobre os mesmos. Estas medidas descritivas são classificadas como medidas de localização, as quais indicam o ponto central, em que a maioria das observações ocorrem (PIANA, MACHADO; SELAU, 2013). Sendo assim, utilizou-se destas medidas para verificar os valores de maior recorrência, assim como amplitude dentre os dados observados. Em seguida, foram elaborados gráficos para ilustração e auxílio nas análises.

Para elaboração dos gráficos operou-se as seguintes etapas: verificação da variação interanual para cada uma das estações, identificação dos municípios que apresentaram comportamento diferenciado ao observado na escala regional, contagem de ocorrências da etapa anterior e composição dos gráficos.

Para verificação das descontinuidades interanuais, dividiu-se o valor de cada ano pelo ano anterior e, dessa forma, foi possível obter o percentual de variação de um ano para o outro. Assim, se o resultado encontrado fosse superior a 1, houve variação positiva, caso contrário, se fosse menor que 1, a variação seria negativa em relação ao ano anterior.

Em seguida, foram contabilizadas em quantas estações ocorreram valores superiores e inferiores a 1. Com isso, foi possível identificar o comportamento comum entre os pontos por ano, assim como as situações destoantes. E, por fim, foi feita a identificação dos municípios que se apresentaram de maneira discordante da maioria, ou seja, em 4 dos municípios houve registros de variação positiva e em 1 de variação negativa, sendo esse computado como ação discordante. O mesmo processo foi feito para o contrário, 4 municípios com diminuição e 1 com aumento.

Para ilustração das informações trabalhadas foram gerados gráficos com contabilização de ocorrências de descontinuidades por município. Estas demostram que apesar dos fatores regionais atuantes, houve situações em que os aspectos locais sobressaíram, fazendo com que o município não acompanhasse as tendências dos demais municípios.

#### *3.2.4.2 Análise dos dados de campo*

Os dados de campos coletados a cada 60 dias passaram pelos tratamentos de aferição e correção, de acordo com os processos anteriormente citados no item 3.2.2. Em seguida, foram aplicadas as estatísticas básicas descritas anteriormente, através das ferramentas de consultas SQL no banco de dados. Findo o procedimento anterior, os dados foram organizados em sequências horárias de 24 horas, em que foram extraídos os valores médios, máximos e mínimos. Para a análise, foram extraídos episódios distintos para visualização das condições de tempo mais representativas de Juiz de Fora nos dias de coleta, assim como as condições de exceção.

Além das médias, máximas e mínimas, foram trabalhados posteriormente os dados horários, de forma comparativa, atentando-se às condições de tempo e ambientais como relevo e uso e ocupação da terra, em que os pontos de controle estavam instalados. Posteriormente, foram aplicadas técnicas estatísticas para definição de ocorrência de determinadas situações favoráveis ou não ao desencadeamento de processos como: formação de ilhas de calor, conforto térmico e higrométrico, inversão térmica, dentre outros. Assim, busca-se entender a multiplicidade de climas gerados pela combinação dos elementos climáticos aos fatores de controle.

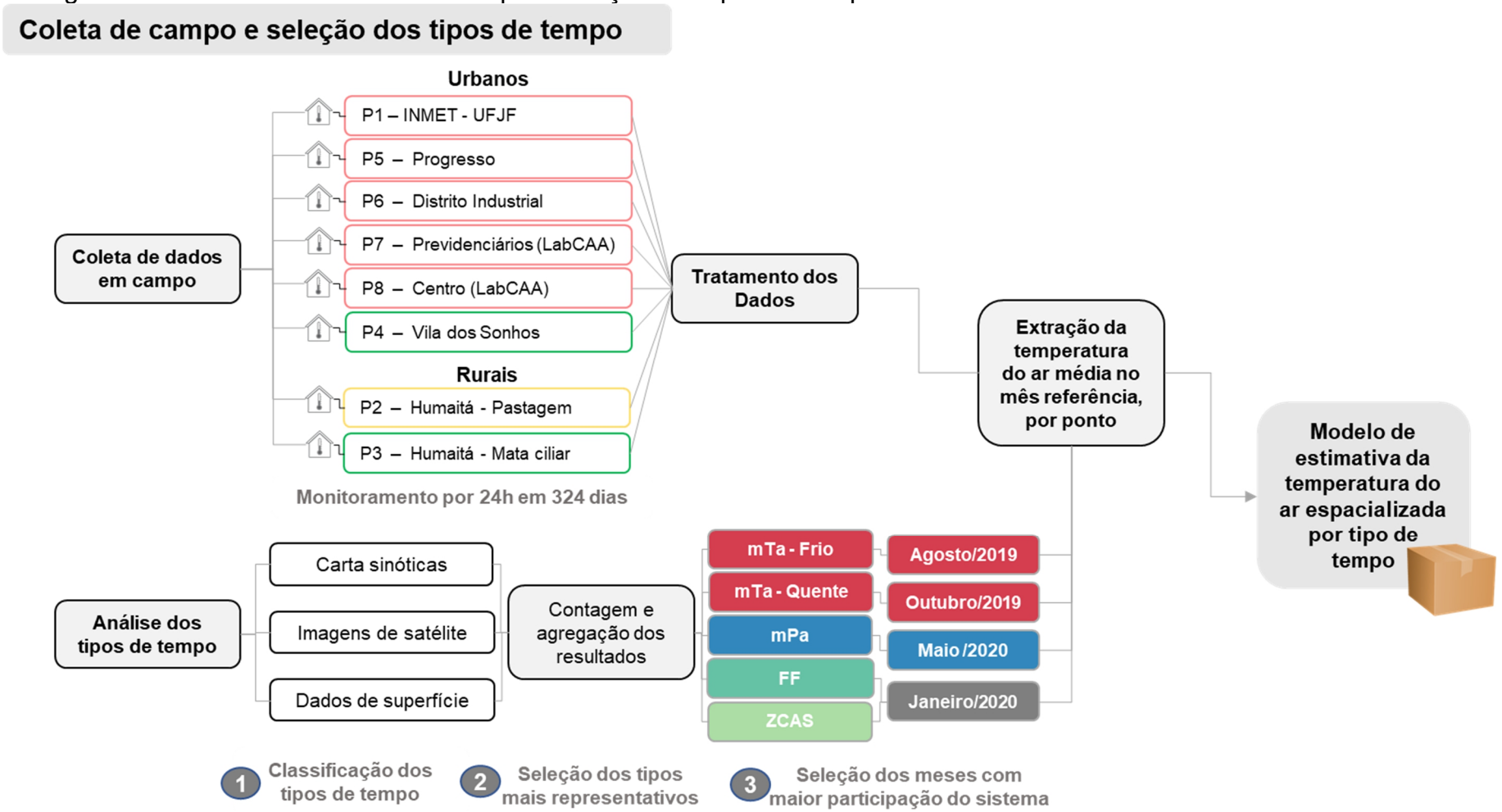
### ***3.2.5 Análise de síntese***

#### *3.2.5.1 Seleção dos Tipos de tempo*

Este trabalho tem como uma das propostas mapear unidades climáticas dos municípios de Juiz de Fora em diferentes tipos de tempo. Dessa forma, foi feita a classificação dos tipos de tempo para os 324 dias de monitoramento de campo, no intervalo dos dias 23 de julho de 2019 a 13 de junho de 2020.
A análise executada partiu da leitura das cartas sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil, imagens de satélite da missão GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), operado pela National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA e dados meteorológicos de superfície da estação

meteorológica do INMET do município (cód. 83692). A figura 30 organiza os processos executados.

Figura 30 - Procedimentos executados para seleção dos tipos de tempo.




Legenda: mTa - Massa Tropical Atlântica; mPa – Massa Polar Atlântica; FF – Frente Fria; ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul;

Fonte: elaborado pela autora.

Após a classificação, foi construído um mapa sinótico dos dias de monitoramento e, em seguida, executou-se a contagem e agregação dos resultados (Tabela 15), sendo possível assim a observação dos tipos mais recorrentes no período. Em seguida, selecionaram-se os meses que fossem representativos dos tipos de tempo mais expressivos do recorte analisado.

Destaca-se que para essa seleção foram excluídos os meses de julho de 2019 e junho de 2020, pois não foram completamente monitorados. Dessa forma, observou-se 5 tipos de maior atuação, sendo eles:

**1)** mTa – frio – seco – agosto/2019: presente em 30% dos dias de monitoramento, o primeiro tipo de tempo avaliado será sob atuação do mTa (Massa Tropical Atlântica), com baixa ocorrência de precipitação (14.4 mm) e temperatura mais baixas, entre 13.1°C e 21.1°C, sendo esse período com as menores médias de temperaturas observadas. O mês mais característico desse tipo de tempo no intervalo estudado foi agosto de 2019.

**2)** mTa – quente – seco – outubro/2019: devido à ocorrência em 30% no período abrangido pela coleta de dados em campo, optou-se pela observação de dois momentos sob atuação da mTa, o primeiro com caráter mais frio, detalhado no item 1, e o segundo com precipitação total de 97.4mm, temperaturas médias mais elevadas, variando entre 16.6° C e 24.9°C. O mês de outubro de 2019 foi o mais representativo desse tipo de tempo.

**3)** Frente Fria/ZCAS – quente – úmido – janeiro/2020: o mês de janeiro de 2020 foi o mais representativo do sistema frontal, com as frentes frias e a ação das ZCAS (*Zona de Convergência do Atlântico Sul*) no período de monitoramento. Neste mês observou-se um total de 357mm de precipitação e as temperaturas médias mensais mais elevadas de toda a pesquisa, com mínima média de 18.5°C e máxima de 25.7°C. O sistema frontal ocupou 13% de todos os dias de monitoramento, já a ação das ZCAS foram responsáveis por 10% do período.

**4)** mPa– frio – seco – maio/2020: com ação mais relevante dos Massa Polar Atlântica (mPa), o mês de maio de 2020, com temperaturas baixas, mínima média mensal de 13.8°C, máxima de 21.2°C e 21 mm de precipitação. As mPa participam com 25% do período temporal-cronológico abrangido pela coleta de dados, sendo o segundo sistema mais ativo na área de estudo.

Tabela 15 - Contagem de ocorrências dos sistemas atmosféricos atuantes no período de monitoramento.

| Mês | Tmáx (°C) | Tmín (°C) | Tméd (°C) | Precip (mm) | mTa | mPa | FF | FO | FE | LI | ZCAS | ZCOU | Inconclusivo | Soma |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Julho/2019 | 22.4 | 14.0 | 17.7 | 0.0 | 5 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| **Agosto/2019** | 21.1 | **13.1** | 16.4 | **14.4** | **13** | 8 | 3 | 0 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 31 |
| Setembro/2019 | 24.6 | 16.0 | 19.6 | 49.0 | 10 | 7 | 5 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| **Outubro/2019** | **24.9** | 16.6 | **20.2** | **97.4** | **13** | 4 | 0 | 2 | 2 | 5 | 0 | 2 | 3 | 31 |
| Novembro/2019 | 23.7 | 17.0 | 19.7 | 204.4 | 3 | 6 | 5 | 0 | 2 | 9 | 5 | 0 | 0 | 30 |
| Dezembro/2019 | 25.0 | 17.6 | 20.6 | 275.4 | 12 | 3 | 1 | 0 | 2 | 2 | 8 | 3 | 0 | 31 |
| **Janeiro/2020** | **25.7** | 18.5 | **21.2** | **357.0** | 3 | 3 | **6** | 0 | 2 | 6 | **10** | 0 | 0 | 30 |
| Fevereiro/2020 | 24.9 | 18.3 | 20.8 | 352 | 8 | 0 | 6 | 0 | 0 | 4 | 7 | 0 | 4 | 29 |
| Março/2020 | 23.9 | 17.2 | 19.8 | 196.6 | 5 | 13 | 5 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 31 |
| Abril/2020 | 22.2 | 15.8 | 18.4 | 30.8 | 9 | 16 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| **Maio/2020** | 21.2 | **13.8** | 16.9 | **21.0** | 10 | **15** | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 |
| Junho/2020 | 23.7 | 15.9 | 19.1 | 2.6 | 7 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | | | | | **98** | **82** | **41** | **2** | **25** | **30** | **34** | **5** | **7** | **324** |
| **Percentual de atuação** | | | | | **30%** | **25.3%** | **13%** | 1% | 8% | 9% | **10%** | 2% | 2% | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| mPa: Massa Polar Atlântica | FF: Frente Fria | ZCAS: Zona de Convergência do Atlântico S | FO: Frente Oclusa | Inconclusivo |
| mTa: Massa Tropical Atlântica | FE: Frente estacionária | ZCOU: Zona de Convergência de Umidade | LI: Linha de Instabilidade | |

Fonte: Elaborado pela autora.

*3.2.5.2 Temperatura e componentes da Paisagem*

Com objetivo de entender a relação entre os componentes da paisagem e a temperatura, utilizou-se da ferramenta de estatística zonal do QGIS 3.6. Para execução da mesma, foi gerado um grid com células de 30 metros (30x30) para toda a superfície do município, com a ferramenta *"criar grade",* do mesmo SIG. Em seguida, aplicou-se a ferramenta de estatística zonal cruzando o vetor do grid com os rasters de altimetria, orientação de vertentes, morfologia, uso e cobertura da terra e temperatura da superfície, cujas estatísticas calculadas foram de contagem, média, moda, mínima e máxima.

Para as variáveis de distribuição contínua, utilizaram-se os valores médios, já para as variáveis categóricas como uso e cobertura da terra e morfologia, foram feitos os cálculos de área de cada categoria do mapa por célula da grade. As áreas foram calculadas através da ferramenta histograma zonal no QGIS 3.6, a qual calcula um número de pixels de cada categoria por quadrante; de posse da quantidade de pixels, aferiu-se a área através da multiplicação do número de pixels pelo tamanho das células, que nesse caso é de 0.9 hectares.

Após os cálculos, as tabelas foram inseridas no banco de dados construído anteriormente, uma vez que se tratava de um grande número de células de difícil operação em outras ferramentas. Assim, após inseridas as tabelas, calculou-se o coeficiente de correlação de *Person* entre cada uma das variáveis e a temperatura de superfície.

Como resultado, encontraram-se diferentes valores de correlação, muito pouco significativos, o que já era de certa forma esperado, uma vez que determinadas variáveis guardam maiores relações com a temperatura do ar e não diretamente com a temperatura de superfície. Assim, na intenção de entender melhor a dinâmica existente com a temperatura do ar, buscou-se estabelecer as zonas de influência das estações de monitoramento em campo para que as mesmas equações de correlação fossem aplicadas.

Com objetivo de identificar as zonas homogêneas partindo dos valores de temperatura obtidos em campo, utilizou-se dos interpoladores espaciais, com testes de diferentes métodos que já foram utilizados por outras pesquisas em análises climáticas. Dessa forma, foram testados quatro métodos de interpolação, sendo

esses: Inverso quadrado da distância (IDW), Krigagem, Função da base radial (RBF) e Polinômio local (LPI). A aplicação de cada técnica pode ser visualizada na figura 31

Figura 31 - Interpoladores testados




Fonte: Elaborado pela autora.Entretanto, observou-se que os resultados apresentaram algumas limitações, com uma distribuição da temperatura diferente da realidade esperada. Então investigou-se se seria possível estimar temperatura do ar, a partir de outras variáveis.

A partir dos resultados das aplicações dos cálculos de correlação, foi possível perceber significativa relação existente entre os valores de temperatura e o uso e cobertura da terra, dessa forma fez-se a tentativa de associar os dados coletados em campo ao uso e cobertura da terra, uma vez que essa relação representaria de maneira mais fidedigna a espacialização da temperatura do ar na área de estudo.

Dessa forma, de maneira experimental, foi elaborado um modelo para cálculo de temperatura do ar estimada, sendo que para isto foram atribuídas às feições de uso e cobertura da terra os valores médios de temperatura registrados em categorias de uso e cobertura semelhantes, juntamente com a aplicação de ajustes dos efeitos da altitude e proximidade de corpos hídricos.

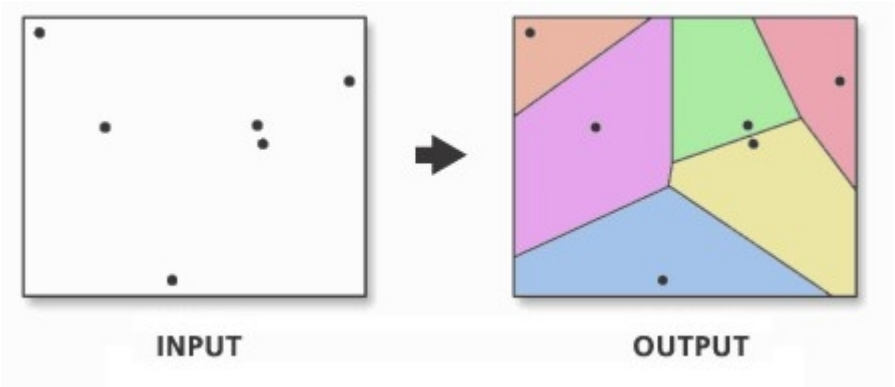
#### *3.2.5.3 Temperatura do ar estimada*

Para espacialização da temperatura do ar, foi elaborado um modelo para estimar a temperatura do ar (Figura 33), tendo como referência pontos de controle monitorados em campo, juntamente com as características de uso e cobertura da Terra, altitude e corpos hídricos.

Os dados coletados em campo foram extrapolados para as áreas que possuem uso e cobertura da terra semelhante ao ponto de controle, porém não foram monitoradas. Além da relação com a classe de uso da terra, considerou-se também o fator distância, através da aplicação dos polígonos de *Voronoi*, ou seja, para as classes que possuíam mais de um ponto de controle representativo em campo, aplicou-se o valor de temperatura do ponto de coleta mais próximo (Figura 34 e 35).

É necessário explicar, que técnica de polígonos de Voronoi ou Thiessen (Figura 32), divide áreas cobertas pelas entidades de ponto em Thiessen ou zonas proximais. Essas zonas representam áreas completas em que qualquer local dentro da zona está mais próximo do ponto de entrada associado do que qualquer outro ponto de entrada (ESRI, 2019).

Figura 32 – Ilustração da aplicação da técnica de polígonos de Voronoi ou Thiessen.




Fonte: ESRI, 2022

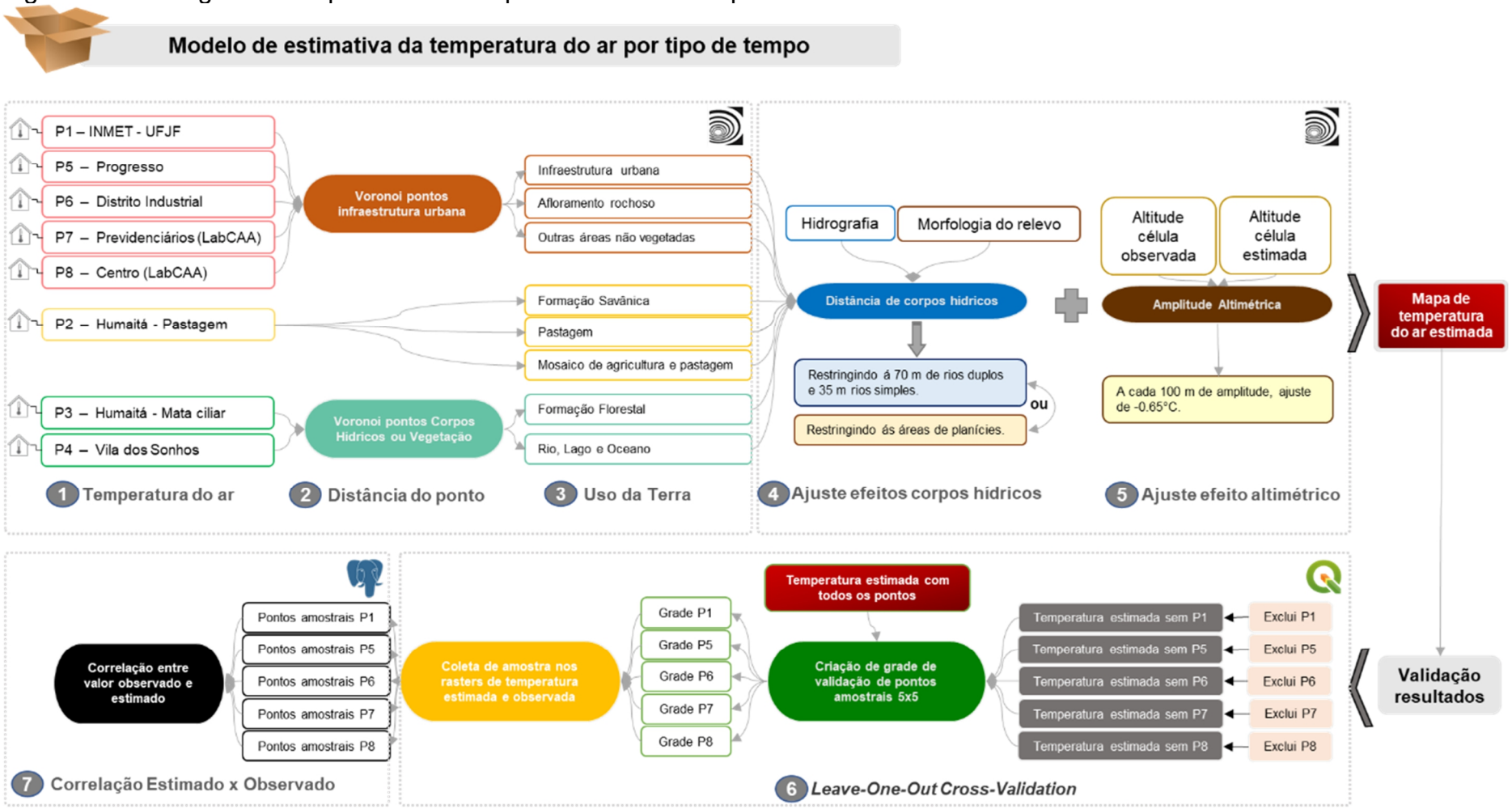
O relacionamento entre as classes de uso e cobertura e os valores de temperatura atribuídos podem ser visualizados na tabela 16, a seguir:

Tabela 16 - Relacionamento entre classe de uso da Terra e pontos de controle de temperatura do ar extrapolada

| Classe de uso e cobertura da terra | Ponto referência para temperatura do ar | Temperatura média do ar nos meses selecionados °C | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Tméd ago/19 | Tméd out/20 | Tméd jan/20 | Tméd mai/20 |
| **Infraestrutura urbana** | Ponto 1 - INMET - UFJF; | 16.43 | 20.16 | 21.17 | 16.86 |
| | Ponto 5 - Progresso; | 17.36 | 22.31 | 22.98 | 17.46 |
| | Ponto 6 - Distrito Industrial; | 17.37 | 21.91 | 23.22 | 18.17 |
| | Ponto 7 - Previdenciários; | 17.71 | 21.03 | - | - |
| | Ponto 8 - Centro | 17.94 | 22.44 | - | - |
| **Formação Savânica; Pastagem; Mosaico de Agricultura e Pastagem** | Ponto 2 - Humaitá Pastagem | 17.16 | 21.52 | 22.07 | 16.86 |
| **Formação Florestal;** | Ponto 3- Humaitá Mata ciliar; | 15.22 | 19.78 | 21.29 | 15.46 |
| **Floresta Plantada; Rio, Lago e Oceano** | Ponto 4 - Vila dos Sonhos | 15.24 | 19.74 | 21.16 | 15.59 |

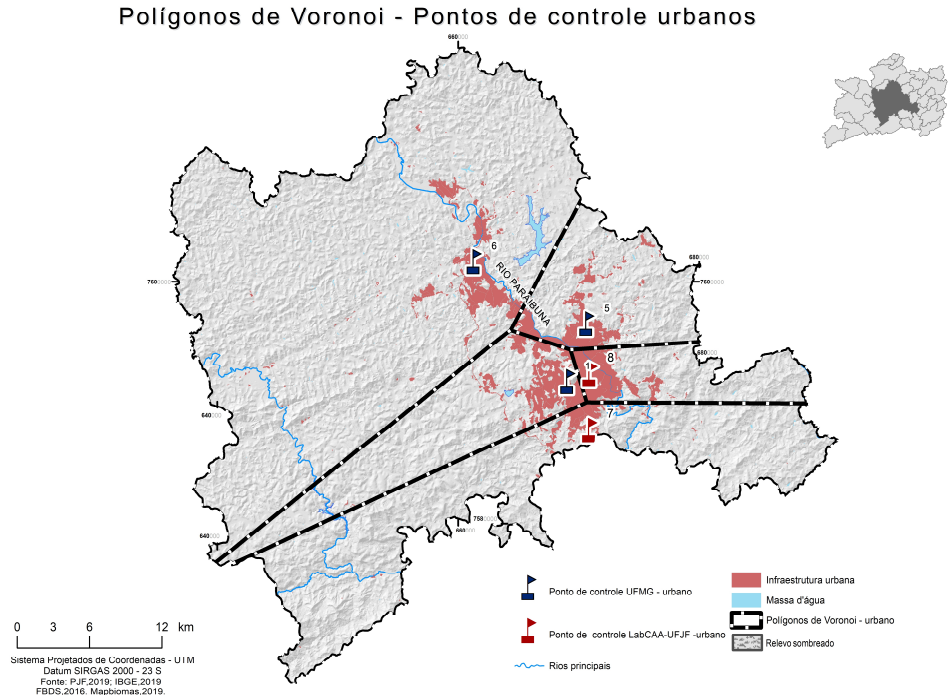
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 33 - Fluxograma dos procedimentos para cálculo da temperatura do ar estimada.



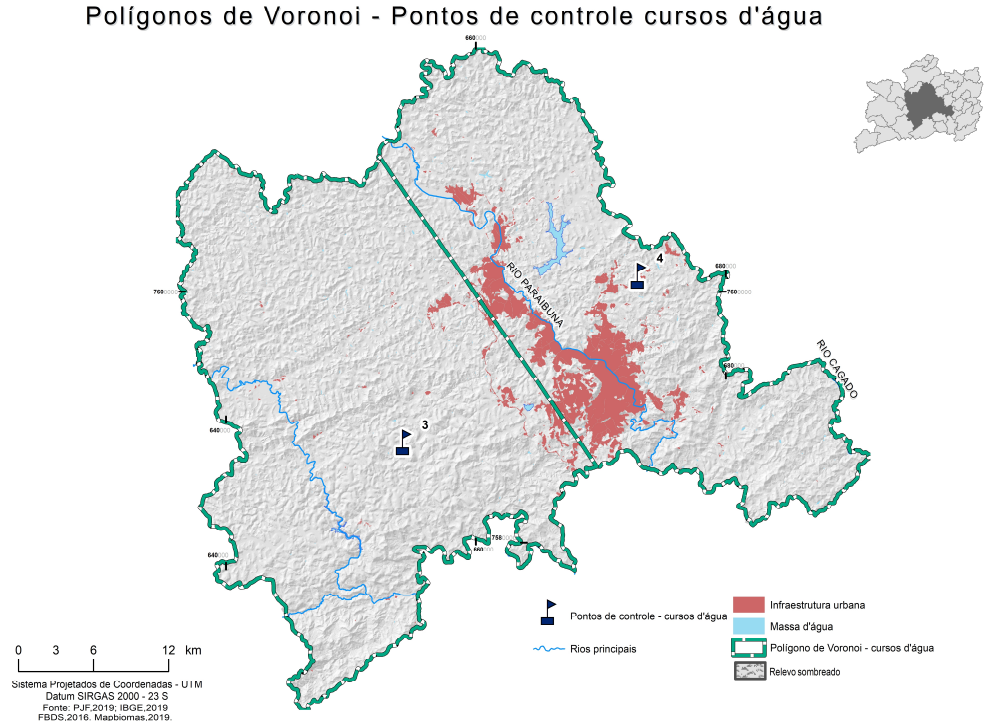

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 34 - Polígonos de Voronoi criado a partir dos pontos de controle urbano.




Fonte. elaborado pela autora.

Figura 35 - Polígonos de Voronoi criado a partir dos pontos de controle próximos a cursos d'água.




Fonte: Elaborado pela autora.

Após a atribuição de temperatura por condição de uso, considerou-se a ação de corpos hídricos como fator de arrefecimento da temperatura, pautando-se nas

funções térmicas que eles possuem, pois de acordo com Oke (1978), o excesso de calor latente pela diminuição do fluxo de calor sensível faz com que os corpos d'água exerçam um efeito imediato sob seu entorno. Isto se justifica, pois o alto calor específico faz com que menos calor seja retido. Dessa forma, reduz as temperaturas extremas diurnas e estacionais e, assim, grandes massas de água atuam de maneira a estabilizar temperaturas (ROMERO, 1998).

Wong (2012) identificou uma redução de 0.1 ° C da temperatura do ar a cada 30m de distância de uma hidrovia em Kallang, Cingapura. Esse estudo investiga desempenho do resfriamento evaporativo de um curso d'água de aproximadamente 70m para o microclima circundante. Saburo Murakawa (1991), também observou diferença de cerca de 3 ~ 5 ° C entre a área próxima a um rio e a área da cidade de Hiroshima, na ilha de Honshu, no Japão.

Partindo destas constatações, calculou-se amplitude térmica entre os pontos de controle instalados em uma mata ciliar (Ponto 3) e o de área de pastagem (Ponto 2), além da distância entre eles (336 metros) e, desta forma, foi possível chegar ao fator de arrefecimento a ser aplicado nas proximidades de corpos hídricos, sendo esse calculado para cada mês representativo do tipo de tempo selecionado (Tabela 17).

Tabela 17 - Fatores de arrefecimento aplicado nas proximidades de corpos hídricos nos meses de monitoramento.

| Meses | Fator de ajuste (°C/m) |
|---|---|
| ago/19 | 0.006 |
| out/20 | 0.005 |
| jan/20 | 0.002 |
| mai/20 | 0.004 |

Fonte: elaborado pela autora.

Dessa forma, com o fator de arrefecimento em mãos, calculou-se as distâncias existentes entre a células a serem estimada e os cursos d'agua, através da functor *Calc Distance to feature Map*, no *Dinamica EGO.* Em seguida, aplicou-se o fator em razão da distância. É importante destacar que se optou por um viés mais conservador, com a limitação dos efeitos dos corpos hídricos às áreas de planícies fluviais e terraços, além de um buffer de 35 metros para rios simples e 70 metros para rios duplos, em casos de não mapeamento de planícies. Esse processo foi utilizado com objetivo de não superestimar os efeitos dos corpos hídricos, visto que nas áreas de mesma característica morfológica há mais chances de a temperatura se comportar

de maneira semelhante. Em relação à distância, considerou-se a mesma encontrada no estudo de Wong (2012).

Além da relação com uso e cobertura da terra e proximidade com corpos hídricos, outro fator que pode modificar o comportamento térmico é a altitude, uma vez que devido à rarefação do ar e da diminuição da pressão atmosférica, a mesma provoca

redução da temperatura do ar. Com a elevação da altitude numa proporção de aproximadamente 1 ºC/100m (gradiente adiabático do ar seco), uma vez que o gradiente térmico é dependente da saturação do ar, faz com que o decréscimo da temperatura média com a altitude se situe em torno de 1 ºC a cada 180 metros para Dury (1972). Já de acordo com Ometto (1981), a alteração é de 0.65 ºC para cada 100 m de altitude para ambientes de ar úmido.

Sabe-se que essa proporção entre gradiente altimétrico e temperatura do ar é teórica, porém há estudos em que foram encontrados valores semelhantes, como no caso de Fritzsons *et al*. (2015), que observou uma variação média de 1°C a cada 132 metros de ascensão vertical, ou seja, 0.75°C a cada 100 metros de altitude, em uma avaliação do gradiente térmico vertical médio para o Estado do Rio Grande do Sul.

Partindo destas referencias, aplicou-se o fator teórico de gradiente vertical positivo na troposfera, de arrefecimento de 0.65 ºC a cada 100 metros de amplitude altimétrica entre o ponto de controle referência e a célula de temperatura estimada.

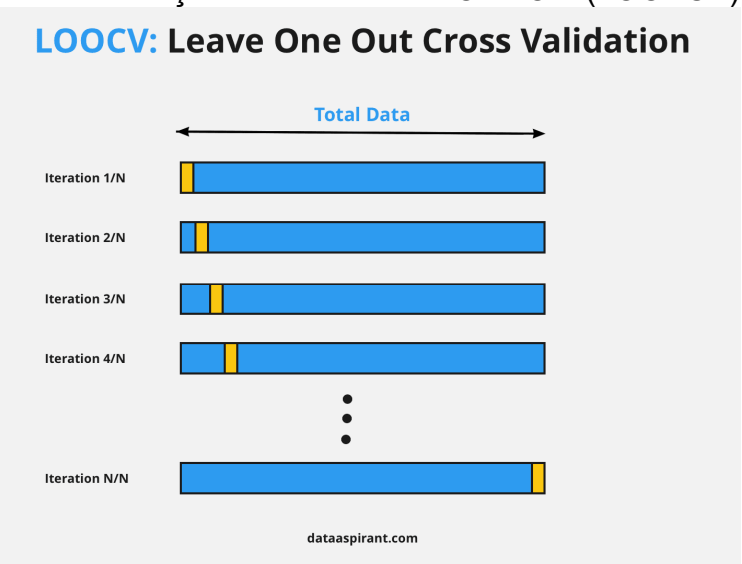
Reconhece-se que há ocorrências de processos de inversão térmica em que o ar mais frio e mais denso do topo das vertentes move-se para os fundos de vale, invertendo a relação entre altitude e temperatura. Porém, tratam-se de fenômenos horários, por isso foi elaborado um mapa de temperatura estimada, para que seja observada a distribuição térmica nestas situações.

Além disto, sabe-se que há inúmeros outros fatores que influem no comportamento da temperatura do ar, como por exemplo a orientação das vertentes, albedo, emissividade, dentre outros. Porém, para que os mesmos sejam aplicados, faz-se necessário ter um maior detalhamento da cobertura da terra, além das proporções numéricas da influência dos mesmos. Como este trabalho tem por objetivo o mapeamento de unidades topoclimáticas, optou-se por generalização dos aspetos microclimáticos, com a valorização de fatores em que as proporções numéricas de influência na temperatura do ar sejam amplamente conhecidas.

É indispensável dizer que modelos são simplificações da realidade, devido à imensa complexidade em retratar por completo todos os fatores que compõem a temperatura do ar. Desta forma, na tentativa de buscar uma alternativa que mais se assemelhasse ao comportamento térmico no município de Juiz de Fora, reconheceu-se que se trata de um modelo com limitações.

Para entender a capacidade de resposta do modelo empregado, utilizou-se a lógica do método de validação cruzada (*Cross Validation*) de Refaeilzadeh, Tang e Liu (2009), o qual é amplamente utilizado em *Machine Learning,* em modelos de predição, para estimar o quão preciso é o modelo na prática. Neste caso, empregou-se o método Validação cruzada *Leave-One-Out* (LOOCV), no qual remove-se uma amostra do conjunto de dados e recalcula-se o valor estimado a partir do modelo, como pode ser observado na figura 36 abaixo. Em seguida, o resíduo é calculado através da diferença entre o valor observado e o valor estimado. Com essa relação, é possível calcular a correlação existente entre o valor observado e o valor estimado.

Figura 36 - Método de validação cruzada Leave-One-Out (LOOVCV).




Fonte: DATAASPIRANT, 2022.

Dessa forma, aplicou-se a validação cruzada entre os pontos que possuíam a mesma característica, ou seja, os pontos de áreas urbanas, uma vez que assim era possível remover um ponto e aplicar o modelo, estimar a temperatura sem o ponto e depois comparar com o modelo com a inclusão de todos os pontos. Executou-se esse procedimento para todos os pontos urbanos e, em seguida, calculou-se a correlação entre o valor observado e o valor estimado.

A fim de calcular a correlação, entende-se como valor observado aquele que foi aferido em campo e valor estimado o que foi calculado após a remoção do ponto de referência. Como o valor de temperatura do ar foi atribuído apenas dentro do polígono de Voronoi, o qual indicava maior proximidade do ponto referencial, para aplicação de análise de correlação utilizou-se o polígono dos pontos de controle urbanos. Assim, para a comparação dos resultados: criou-se uma grade de pontos amostrais de 5x5m e, em seguida, coletou-se amostras no raster com valor estimado e com raster de valor observado na área do polígono de Voronoi em validação. Após coleta das amostras foi calculada a correlação de *Person* no ambiente do *pgAdmin 4*, visto o volume de pontos.

### *3.2.5.4 Mapeamento das unidades climáticas*

#### 3.2.5.4.1 Síntese por combinação

Como análise de síntese preliminar dos dados coletados em campo e aspectos de uso e cobertura da terra e relevo, foi construído um esboço do traçado de unidades topoclimáticas, resgatando a base de uso e cobertura da Terra e morfologia.

Destaca-se a escolha do mapeamento de morfologia, uma vez que essa classificação agrega aspectos de altimetria e declividade a partir da metodologia proposta por Silva (2002), em que considera os desnivelamentos altimétricos com adaptações das feições agradacionais. O mapa morfológico utilizado possui 7 classes, sendo essas: planícies terraços, planícies fluviais, colinas suaves, colinas íngremes, morros, degraus reafeiçoados e degraus escarpados.

A ideia para delimitação do esboço das unidades climáticas parte da identificação das categorias presentes em cada porção do município. Para isso fez-se o uso das estatísticas zonais calculadas para a grade de 1x1 quilometro sobre o município juiz-forano, sendo utilizados os valores de moda para os mapas categóricos de Morfologia e Uso e cobertura da terra e média para o mapa de temperatura do ar estimada.

Assim, a tabela resultante das estatísticas zonais foi inserida no banco de dados PostgreSQL. Em seguida, foi realizada a reclassificação das categorias consideradas em 5 classes de acordo com o potencial de aquecimento e para

resultados de morfologia agruparam-se as classes de colinas suaves e colinas íngremes, além das classes degraus reafeiçoados e degraus escarpados, totalizando 5 classes (Tabela 18).

Tabela 18 - Recategorização da morfologia.

| **Morfologia** | |
|---|---|
| **Classe morfológica** | **Cod. Classe** |
| Colinas | 1 |
| Degraus Reafeiçoados | 2 |
| Morros | 3 |
| Planície Fluvial | 4 |
| Planície Terraços | 5 |

Fonte: elaborado pela autora.

O mapa de uso também foi recategorizado em 5 classes, considerando as categorias que possuem comportamento térmico similar (Tabela 19). Com o objetivo de padronizar as categorias analisadas, o mapa de temperatura do ar estimada também se categorizou em 5 classes.

Tabela 19 - Recategorização do Uso e cobertura da Terra

| Uso e cobertura da Terra | |
|---|---|
| **Classe de Uso** | **Cod. Classe** |
| Rio, Lago e Oceano | 1 |
| Formação Florestal; Floresta Plantada; | 2 |
| Pastagem; Mosaico de Agricultura e Pastagem; Formação Savânica; | 3 |
| Infraestrutura urbana; Outras Áreas não Vegetadas; Afloramento Rochoso; | 4 |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 20 - Categorização da temperatura do ar estimada

| Temperatura do ar estimada | |
|---|---|
| **Temperatura média °C** | **Cod. Classe** |
| <=15 | 1 |
| >15 and <=17.5 | 2 |
| >17.5 and <=20.0 | 3 |
| >20 and <=22.5 | 4 |
| >22.5 | 5 |

Fonte: elaborado pela autora.

Assim, foi consolidada uma tabela com atributos de geometria, uso e cobertura da terra, morfologia e temperatura do ar, sendo a classe de cada categoria de análise identificada por um valor de 1 a 5, por quadrícula do grid (Tabela 20). Em seguida, foi criado um código concatenado de três dígitos, sendo o primeiro dígito composto pelo código que corresponde à temperatura média, o segundo atrelado ao uso e cobertura da terra e o último associado à classe de morfologia do relevo (Figura 37).

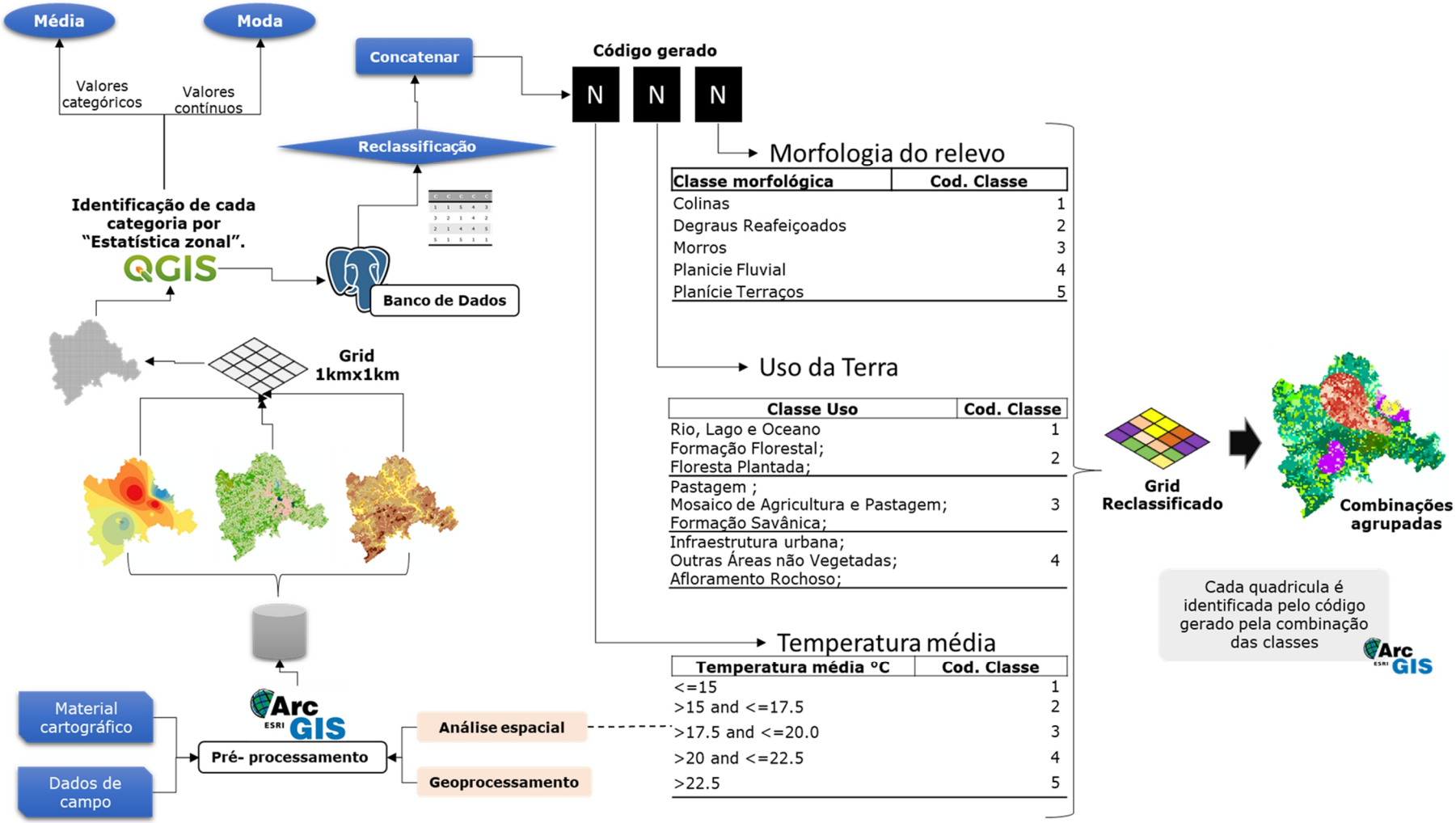
Depois dos códigos formados, cada quadrícula apresentava sua combinação de categorias analisadas. Em seguida, agruparam-se as geometrias com combinações iguais, a partir de uma consulta em linguagem SQL, com uso das funções de *GROUP BY* e *ST_UNION*.

Com as feições de mesmo código unidas, extraiu-se a tabela com geometria do banco e assim foram inseridas no ambiente do ArcMap, local onde o layout do mapa foi gerado. Com objetivo de agrupar ainda mais o número de classes e reduzir os ruídos na visualização dos padrões das zonas de comportamento semelhante, foi feita a reclassificação de todas as geometrias formadas por menos de 8 quadrantes. A esses casos foram atribuídos o código 999.

Com as combinações restantes, confeccionou-se o mapa de esboço de unidades climáticas, devido à relevância da categoria temperatura, definindo-se então

como aspecto principal de caraterística da unidade. Sendo assim, atribuiu-se a mesma cor para as combinações dentro da mesma faixa de temperatura, sendo as variações de tonalidade utilizada para identificar as variações de combinação referentes ao relevo e uso e cobertura da terra.

Figura 37 - Procedimentos para elaboração o esboço de unidades topo climáticas.




Fonte: Elaborado pela autora.

Síntese por análise multicritério

Devido à multiplicidade de fatores que contribuem para as condições climáticas do município de Juiz de Fora, as unidades climáticas formadas por combinação de planos de informação, trazem características mais gerais das condições térmicas da área de estudo. Desta forma, utilizou-se também do método de análise multicritério, o qual permite consorciar camadas já classificadas, para definição de zonas homogêneas.

Moura (2007) define análise multicritério como “[...] um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais”. Este método de análise consiste no mapeamento de variáveis por plano de informação juntamente com a definição de notas e pesos de cada variável. Para confecção da síntese final é feita a média ponderada dos planos, Moura (2007) também afirma que existem pesquisadores que utilizam da lógica de Fuzzy na atribuição de pesos de notas.

Porém, neste trabalho optou-se pela priorização do conhecimento da área de estudo, além de um levantamento bibliográfico de trabalhos de climatologia executados para o município para a definição dos critérios, notas e pesos a serem consideramos no mapeamento de unidades climáticas de Juiz de Fora.

Desta forma, definiu-se como plano de informação as camadas de uso e cobertura da terra, temperatura de superfície, temperatura do ar estimada, altimetria, morfologia do relevo e orientações das vertentes. Para definição das notas, os mapas originais foram reclassificados em 5 classes, cada classe recebeu uma nota de 1 a 5, sendo os valores diretamente proporcionais a temperatura, ou seja, quanto mais próximo de 5, maior a influência da classe no potencial de aquecimento. Nas tabelas de 21 a 26 é possível verificar classes reclassificadas e as notas atribuídas em cada plano de informação

Tabela 21 - Classes e notas atribuídas ao plano de informação de Uso e cobertura da terra

| Uso e cobertura da Terra | | |
|---|---|---|
| **Descrição** | **Classe original** | **Nota** |
| Formação Florestal | 3 | 2 |
| Formação Savânica | 4 | 3 |
| Floresta Plantada | 9 | 2 |
| Pastagem | 15 | 3 |
| Mosaico de Agricultura e Pastagem | 21 | 3 |
| Infraestrutura urbana | 24 | 4 |
| Outras Áreas não vegetadas | 25 | 4 |
| Afloramento Rochoso | 29 | 4 |
| Rio, Lago e Oceano | 33 | 1 |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 22 - Classes e notas atribuídas ao plano de informação de morfologia do relevo

| Morfologia do relevo | | |
|---|---|---|
| **Descrição** | **Classe original** | **Nota** |
| Colinas íngremes | 1 | 3 |
| Colinas suaves | 2 | 4 |
| Degraus escarpados | 3 | 1 |
| Degraus reafeiçoados | 4 | 1 |
| Morros | 5 | 2 |
| Planície fluvial | 6 | 5 |
| Planícies terraços | 7 | 5 |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 23 - Classes e notas atribuídas ao plano de informação de Orientação das vertentes

| Orientação das Vertentes | | |
|---|---|---|
| **Descrição** | **Classe original** | **Nota** |
| Sul | 6 | 1 |
| Sudeste | 5 | 1 |
| Sudoeste | 7 | 1 |
| Plano | 1 | 2 |
| Oeste | 8 | 2 |
| Norte | 10 | 3 |
| Noroeste | 9 | 3 |
| Nordeste | 3 | 3 |
| Leste | 4 | 2 |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 24 - Classes e notas atribuídas ao plano de informação de altitude

| Altimetria | |
|---|---|
| **Altitude (m)** | **Nota** |
| < 600 | 5 |
| 600 - 700 | 4 |
| 700 - 800 | 3 |
| 800 - 900 | 2 |
| > 900 | 1 |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 25 - Classes e notas do plano de informação de temperatura de superfície.

| Temperatura de Superfície | |
|---|---|
| **Temperatura de Superfície (°C)** | **Nota** |
| 12.0 - 17.0 | 1 |
| 17.1 - 19.0 | 2 |
| 19.1 - 21.0 | 3 |
| 21.1 - 23.0 | 4 |
| 23.1 - 33.9 | 5 |

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 26 - Classes e notas do plano de informação de temperatura do ar estimada.

| Temperatura do ar estimada | |
|---|---|
| **Temperatura do ar (°C)** | **Nota** |
| 12.8 - 15.0 | 1 |
| 15.1 - 16.0 | 2 |
| 16.1 - 17.0 | 3 |
| 17.1 - 18.0 | 4 |
| 18.1 - 22.0 | 5 |

Fonte: elaborado pela autora.

Após a reclassificação das camadas e atribuição das notas, estipulou-se os pesos que cada plano de informação teria na álgebra de mapas (Tabela 27). A estruturação dos pesos foi definida a partir da ação de 3 eixos: elevo, uso e cobertura da terra e temperatura, sendo os pesos distribuídos em 30%, 30% e 40%, respectivamente. Desse modo, dividiu-se no eixo do relevo 10% do peso para cada camada, sendo elas morfologia, altimetria e orientação das vertentes. Já o uso e cobertura da terra ficou com 30% do peso no cálculo das unidades. Por fim, o eixo de temperatura, foi dividido em temperatura de superfície, com 20%, e temperatura estimada do ar com os 20% restante.

Tabela 27 - Pesos atribuídos por plano de informação para o mapeamento das unidades climáticas.

| Unidades Climáticas - pesos por plano de informação - | |
|---|---|
| **Fatores** | **Peso** |
| Temperatura do ar | 20% |
| Temperatura de superfície | 20% |
| Uso da terra | 30% |
| Altitude | 10% |
| Morfologia | 10% |
| Orientação Vertentes | 10% |
| **Total** | **100%** |

Fonte:elaborado pela autora.

Com a definição das notas e pesos foi possível executar a álgebra de mapas, para essa operação utilizou-se o *functor Calculate Map,* no *software Dinamica EGO,* o qual permite calcular mapas através de expressões logicas e ou algébricas. Assim sendo, fez-se a média ponderada dos planos de informação.

$$Sp = \frac{Pi_{AL} * 0.1 + Pi_{MR} * 0.1 + Pi_{OV} * 0.1 + Pi_{UT} * 0.3 + Pi_{TS} * 0.2 + Pi_{TA} * 0.2}{6}$$

Sendo:

$Pi_{AL} = Plano\ de\ informação\ de\ Altimetria.$

$Pi_{MR} = Plano\ de\ informação\ de\ Morforlogia\ do\ relevo.$

$Pi_{OV} = Plano\ de\ informação\ de\ Orientação\ das\ vertentes.$

$Pi_{UT} = Plano\ de\ informação\ de\ Uso\ e\ Cobertura\ da\ Terra.$

$Pi_{TS} = Plano\ de\ informação\ de\ Temperatura\ da\ superfície.$

$Pi_{TA} = Plano\ de\ informação\ de\ Temperatura\ do\ ar.$

A partir da álgebra de mapas, obteve-se um mapa com as zonas formadas pela combinação das camadas de entrada. Mesmo após reclassificação e atribuição das notas e pesos, percebeu-se que as zonas não ficaram bem delimitadas devido à heterogeneidade da distribuição espacial das classes, de cada plano de informação. Por isto, foram necessárias ferramentas que auxiliassem na identificação das zonas com maior homogeneidade, optando-se pela ferramenta Iso Cluster Unsupervised Classification, do ArcMap, a qual utiliza um algoritmo para definir agrupamentos naturais. Por isto, buscou-se ferramentas que se auxilia a definir as zonas mais homogêneas, assim utilizou-se a ferramenta Iso Cluster Unsupervised Classification, do ArcMap, a qual utiliza um algoritmo para definir agrupamentos naturais. Como parâmetro, deve-se inserir o raster de entrada e, neste caso, o mapa de unidades

resultante da análise multicritério, número de classes às quais se deseja agrupar as células, números mínimos de células em uma classe válida e intervalo de amostragem. Foram testadas a divisão de 2 a 10 classes, com diferentes parâmetros de número mínimo de células, mínimas para composição das classes.

Mesmo com a execução da clusterização, as classes ainda se apresentam pulverizadas dentro do município, desta forma optou-se pela vetorização manual, com uso da ferramenta de edição de polígonos do ArcMap. Para vetorização, partiu-se do mapa resultante da álgebra de mapas e suporte dos mapas das bases de altimetria, morfologia, orientação das vertentes, uso e cobertura da terra, temperatura do ar e da superfície e delimitação das bacias hidrográficas, assim como os mapas de cluster. Em virtude disso, buscou-se identificar visualmente a homogeneidade da combinação das classes definidas a partir de quebras naturais.

# CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

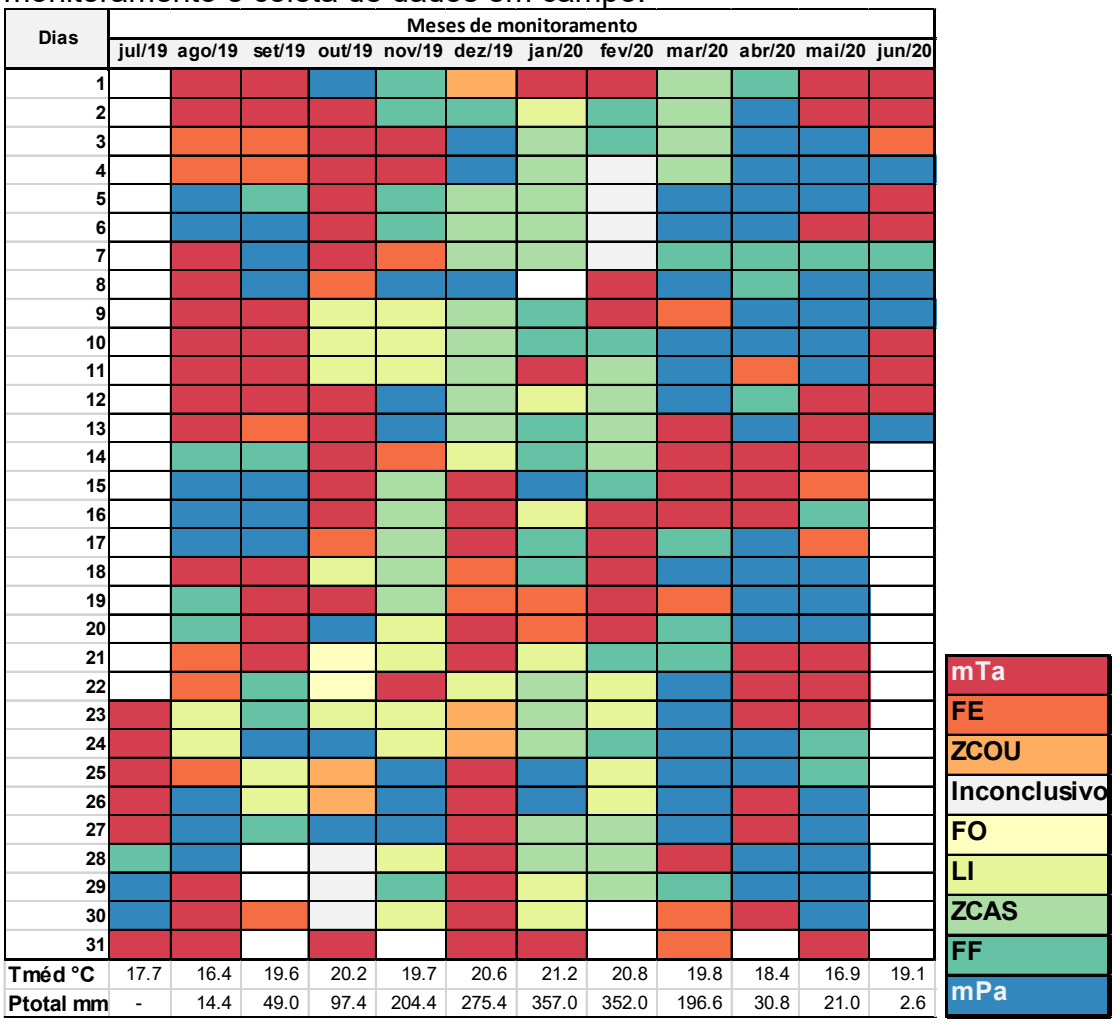
Fez-se a análise local e topoclimática da área, incorporando os dados monitorados em campo junto da análise sinótica do período de coleta. Ainda nesta parte, foi feita a espacialização dos resultados termodinâmicos, utilizados na delimitação das unidades climáticas por combinação e análise multicritério.

## 4.1 Análise sinótica

Com objetivo de compreender a dinâmica dos elementos climáticos atuantes na área de estudo, fez-se necessária a análise sinótica do período de monitoramento e coleta dos dados de campo. A partir desta análise, selecionaram-se os tipos de tempo mais representativos dentro do recorte têmporo-espacial, entre os dias 23 de julho de 2019 ao dia 13 de junho de 2020, no município de Juiz de Fora.

Através das cartas sinóticas da marinha, imagens de satélite e dados da estação meteorológica do INMET (cód. A518) foi possível mapear os sistemas sinóticos ativos na área, figura 38.

Figura 38 - Classificação dos sistemas atmosféricos atuantes durante o monitoramento e coleta de dados em campo.




mTa - Massa Tropical Atlântica; mPa – Massa Polar Atlântica; FF – Frente Fria; FE - Frente estacionária; FO – Frente Oclusa; LI – Linha de Instabilidade; ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul; ZCOU – Zona de Convergência de Umidade;

Fonte: elaborada pela autora.

Inicializando o mapeamento entre os dias 23 e 27 de julho de 2019, sob a atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa), a qual tem origem nos oceanos dos trópicos e subtrópicos, com característica quente e úmida em sua origem (AYOADE, 1991), porém cabe lembrar que ela perde boa parte desta umidade na trajetória até área de estudo. É importante lembrar que se trata de um sistema estável, de alta pressão, portanto, mesmo que tenha seu centro de origem no oceano, o transporte de umidade é relativo, pois no inverno do sudeste a ação da mTa é muito recorrente e

quase sempre associado ao tempo estável, seco, com pouca ou nenhuma nebulosidade.

Esses efeitos podem ser observados através dos dados de superfície, os quais indicam temperatura e umidade média de 18°C e 68.1%, respectivamente, e 0 mm de precipitação total no período. A área de estudo, então, encontra-se sob ação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que está atrelado às áreas de alta pressão, as quais inibem a formação de nuvens devido a maior densidade do ar em seu núcleo, favorecendo, portanto, os movimentos de subsidência. Este comportamento pode inibir a instabilidade na região sudeste e dificultar a passagem de frentes frias, favorecendo a concentração de poluentes aéreos nas grandes cidades (BASTOS; FERREIRA, 2000). Porém, depende do gradiente de pressão, que se for fraco pode permitir o avanço das frentes, do contrário pode definir uma situação de bloqueio atmosférico.

Em seguida, no dia 28 de julho de 2019, registra-se a chegada de uma Frente Fria (FF). Este sistema frontal se caracteriza por uma linha ou plano que divide as massas de ar com características termodinâmicas distintas e, nesse caso, ocasiona a substituição do ar quente presente até o momento por ar frio. Este movimento pode ocasionar grandes descargas elétricas e chuvas intensas, porém esse comportamento não foi observado nos dados meteorológicos. Neste dia, a temperatura média foi de 17.4 °C e umidade de 66.6%, sem precipitação. Apesar dos dados de superfície, caracterizou-se como FF, pois os dias subsequentes apresentaram redução da temperatura e aumento da umidade.

Nesse sentido, nos dias 29 e 30 de julho de 2019, observou-se a Massa Polar Atlântica (mPa), conhecida em sua origem como Anticiclone Polar Migratório (APM), o qual inicialmente forma a frente fria, como foi observado no dia anterior, e em seguida traz a redução da temperatura, conforme constatado nos dados de superfície, com temperatura média de 16.8°C. Este sistema tem sua origem nas altas latitudes, no interior das regiões polares, no hemisfério Sul na Antártida ou extremo sul da Patagônia. Já a mPa que chega na região sudeste, chega enfraquecida e tem sua origem em latitude subpolar, na área oceânica ao redor do continente Antártico. Possui como característica original ser fria e seca, porém no seu deslocamento sob oceano Atlântico agrega umidade, atuando com maior intensidade no Sul e Sudeste e mais frequente no inverno (NIMER,1979).

Nos dias entre 31 de julho a 2 de agosto de 2019, observa-se o retorno da mTa, com aumento da temperatura, a qual registrou média de 19.2°C e 65% de umidade, com retorno da estabilidade. Já nos dias 3 e 4 de agosto, tem-se uma retomada da instabilidade com a presença de uma Frente Estacionária (FE), com nebulosidade no sentido noroeste-sudeste e precipitação de 0.4 mm no último dia. As temperaturas ficaram em torno de 14°C e 90.9% de umidade. A atuação da FE está relacionada ao encontro de duas frentes com aspectos semelhantes em seus núcleos, o que provavelmente pode indicar uma situação de bloqueio atmosférico pelo ASAS.

Em seguida, nos dias 5 e 6 de agosto, tem a ação da mPa, com rebaixamento das temperaturas, que em média registraram 13°C, umidade de 90.8% e 0.4mm de precipitação total nos dois dias, com dissipação da nebulosidade. Nos próximos 7 dias, têm-se o retorno da mTa, a qual agiu entre os dias 7 a 13 agosto, com estabilização do sistema atmosférico, elevação da temperatura do ar e redução da umidade relativa, neste período a temperatura média foi 19.3°C e umidade 70%, sem ocorrência de precipitação. No dia 14 de agosto, verifica-se a chegada de uma frente fria, sem gerar chuvas, mas ocasionando redução da temperatura e estabelecimento da mPa entre os dias 15,16 e 17, neste período a temperatura reduziu para média de 13.7°C.

Após enfraquecimento da mPa, no dia 18 de agosto tem-se novamente o estabelecimento da mTa com elevação da temperatura para 19.1°C e diminuição da umidade relativa para 48%. Nos dias 19 e 20, observa-se a chegada de um sistema frontal de frente Fria (FF), com manutenção por dois dias, o que gerou precipitação de 2.8 mm no último dia.

Na sequência, há o estabelecimento de uma frente estacionária (FE), por mais 2 dias, entre 21 e 22 de agosto, ainda com temperaturas reduzidas, entorno de 15.1°C e umidade de 90.1%, e sob esse sistema verifica-se também a ocorrência de precipitação, porém em menor volume, com acumulado de 0.4mm nos dois dias. A instabilidade observada nos dias anteriores foi potencializada com a instauração de uma Linha de Instabilidade (LI), a qual demonstra processos convectivos, com troca de calor entre as camadas mais próximas à superfície e às superiores. Este sistema, como próprio nome diz, provoca instabilidade da área e nele observa-se a formação de bandas de nebulosidade. Devido à potencialização do processo convectivo, propicia-se a ocorrência de precipitação, como observados nos dias de 23 e 24 de agosto, com total de 10.4 mm de chuva e temperatura média de 13.3°C. Com a atenuação da LI, tem-se o estabelecimento da Frente Estacionária (FE), com

temperatura do ar média de 14.9°C e 81.9% de umidade relativa. Com nebulosidade, porém sem chuva, observa-se a ação da mPa, com temperatura média de 15°C e umidade relativa do ar de 81.8%, nos dias 26, 27 e 28 de agosto.

A seguir, entre os dias 29 de agosto e 2 de setembro, apesar da observação de uma Linha de instabilidade (LI) nos primeiros dias, constatou-se através dos dados de superfície que a mTa agia sob a área, visto que não houve chuva e a temperatura média elevou-se aos 19°C, junto do rebaixamento da umidade para 68.8%.

Nos dias seguintes, verifica-se a instauração de sistemas frontais, com instabilidade, em um primeiro momento com frente estacionária (FE) nos dias 3 e 4 de setembro, com precipitação de 5.2 mm acumulado nos dois dias e temperaturas mais elevadas, com média de 21.5°C, aquecimento este justificado pela imposição do sistema frontal, que no dia seguinte (5) consolidou-se como frente fria (FF), gerando resfriamento da área com temperatura do ar média de 16.2°C e umidade de 94.3%, sem chuva.

Após passagem da frente fria (FF), introduziu-se a mPa, o que potencializou o resfriamento, com temperatura média em torno dos 15.6°C e 89.3% para umidade, nos dias 6, 7 e 8 de setembro. Neste período, a mPa perde força, o que permite a chegada e manutenção da mTa, com estabilização atmosférica nos próximos 4 dias (9, 10, 11 e 12 de setembro). Com baixa nebulosidade e entrada de radiação, observa-se o aquecimento com temperatura por volta dos 23.1°C e umidade relativa média de 56.2%.

Depois do período estável, nota-se a chegada frente estacionária (FE) no dia 13, que na sequência reconfigura-se como frente fria (FF) no dia 14, com redução das temperaturas e chegada da mPa, que se instala nos dias 15, 16 e 17. Com o enfraquecimento da mPa, a mTa retorna trazendo estabilidade e aumento da temperatura, com média de 24.8°C e umidade média 51.5%, entre os dias 18 e 21 de setembro. Nos dias seguintes (22 e 23), tem-se novamente uma frente fria (FF), a qual acarreta chuva com 0.8 mm dentro dos dois dias e arrefecimento das temperaturas que ficam na média dos 16°C.

Na retaguarda da frente fria moveu-se a mPa já com pouca força e por isso se manteve apenas no dia 24. Imediatamente, nos dias 25 e 26, verificou-se a Linha de Instabilidade (LI), com nebulosidade e precipitação, que somadas chegam aos 36 mm e temperatura média de 13.8°C. A seguir, no dia 27 observa-se uma frente fria (FF) sobre o quadrante, já nos dias 28 e 29 a situação sinótica não foi observada, visto

que se trata do período de manutenção dos equipamentos instalados em campo, portanto, dias descartados da análise.

Em 30 de setembro, observou-se uma frente estacionária (FE), que logo deu lugar a mPa no dia seguinte (01 de outubro), com temperatura média de 17.6° C. Nos próximos 6 dias, tem-se a presença da mPa, com temperatura em torno dos 20°C e umidade de 72.3%, entre os dias 2 e 7 de outubro.

No dia 8, manifestou-se o início de um período de instabilidade com uma frente estacionária, que foi substituída nos dias 9,10 e 11 de outubro pela Linha de instabilidade, com chuvas que se acumularam em 47.6 mm e redução da temperatura para 16.5°c na média nos 4 últimos dias.

Avançando para os próximos cinco dias, entre 12 e 16 de outubro, notou-se o retorno da mTa com estabilidade atmosférica, que mantiveram uma média térmica de 17.4°C e 69% de umidade. Nos dias 17 e 18, viu-se uma desestabilização e chegada do sistema frontal que na sequência deu lugar a uma Linha de Instabilidade, sem precipitação. Nos dias 19 e 20, observou-se a atuação da mTa e mPa, respectivamente.

Nos dois dias posteriores, 21 e 22 de outubro, constatou-se a chegada de uma Frente Oclusa (FO), a qual caracteriza-se pelo aprisionamento do ar quente entre as duas frentes: entre o setor de ar frio que avança (frente fria) e o setor de ar frio que recua (frente quente). Entre essas duas parcelas de ar frio, o ar quente não encontra outro caminho que não seja para cima, pois sua densidade é menor do que a do ar frio, o que inviabiliza a identificação e por isso é classificada como frente oclusa. Neste período houve chuvas que concentraram 6.2 mm, com temperatura média de 16.4°C. Em seguida, no dia 23, tem uma LI, a qual traz mais chuva, 1.8 mm, que na sequência dará espaço para uma mPa, que permanece por apenas um dia.

Retomando a situação de instabilidade nos dias 25 e 26, verificou-se a ocorrência da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), a qual trata-se de uma extensa banda de nebulosidade no sentido noroeste-sudeste, similar à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), porém com duração de até dois dias. Neste período observou-se alta nebulosidade, com precipitação total de 17.4 mm.

Destaca-se que entre os dias 21 e 26 de outubro notou-se a presença de núcleos de baixa pressão no quadrante ou nas áreas justapostas. Na sequência da ZCOU, estabeleceu-se a mPa novamente e, nos dias subsequentes, estes centros de baixa pressão retornam para o continente e a identificação do

sistema atuante foi inconclusiva com os dados disponíveis, porém é possível afirmar que gerou precipitação acumulando 24.4 mm. Para concluir o mês de outubro, no dia 31, observou-se a atuação da mTa sem chuvas.

Para iniciar o mês de novembro, notou-se a ocorrência de sistema frontal, com as frentes frias, entre os dias 1 e 2 de novembro, com precipitação de 23.6 mm e temperatura média de 20.2°C. Em seguida, nos dias 3 e 4, estabeleceu-se uma breve estabilidade com a mPa, a qual gerou o aumento da temperatura que chegou na média dos 23.5°C.

Já entre 5 e 7 de outubro, sistemas frontais retomam o quadrante trazendo mais chuva, com total de 14.8 mm, temperatura média de 22.2°C. Em seguida, uma breve trégua nas chuvas deu espaço para mPa. Porém, nos próximos 16 dias houve uma sequência de situações de instabilidade, sob diferentes sistemas atuantes, e neste intervalo acumulou-se 131.8 mm de precipitação. Entre os dias 9 e 11 o quadrante estava sob atuação das LIs, com 23 mm de chuva, nos dois dias seguintes viu-se uma breve redução das movimentações e apenas 0.8 mm de chuva.

Logo, no dia 14 de outubro, ocorreu uma frente estacionária (FE), com 7 mm de chuva, que precedeu a chegada e imposição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS determina uma intensa instabilidade atmosférica, com uma banda de nebulosidade no sentido Noroeste-Sudeste, possuindo ocorrência mais frequente no fim da primavera e verão. Este sistema tem papel fundamental na gênese das chuvas da região sudeste e, portanto, na área de estudo. A ZCAS atuou em Juiz de Fora por 5 dias, entre 15 e 19 de novembro, totalizando 58.8 mm, com temperatura média de 18.1°C.

Nos dias seguintes a instabilidade se manteve, porém na forma de LI, do dia 20 a 24 de novembro, com exceção do dia 22, em que se observou a mTa com redução da precipitação para apenas 0.4mm. Mesmo com este intervalo, o recorte totalizou 42.2 mm, com temperatura média de 19.1°C.

Um segundo intervalo da intensa instabilidade instaurada, iniciou no dia 25 e encerrou dia 27 de novembro, com a mPa, sem precipitação, redução de temperatura média para 17.5°C e 89.3% de umidade. O mês de novembro se encerra com a instauração de sistemas instáveis, no dia 28, com a LI, a qual trouxe grande volume de precipitação, sendo o dia mais chuvoso do mês, com 31.8mm. Em seguida, dia 29 observou-se a frente fria, com mais chuva e redução da temperatura, 1.8 mm e 17.8°C

de temperatura média. Para fechar o último dia do mês a LI se instalou novamente, com 0.6 mm de chuva e 19.6°C.

Em continuidade da instabilidade observada no mês anterior, dezembro se inicia com a ZCOU, com chuvas, o que totalizou 9 mm e temperatura média 22.2°C. Este aquecimento precedeu a chegada da frente fria, no dia 2, que se estabeleceu sem chuvas, mas que resultou na redução térmica para 19.7°C. Este resfriamento permaneceu por mais dois dias (3 e 4), com a manutenção da mPa, com temperatura média de 16.8°C e 0.2 mm de chuva. Esta precipitação já sinalizava o princípio da desestabilização atmosférica, a qual se firmou entre os dias 5 e 7, com a ZCAS, acarretando 27.6 mm de chuva, com 20.1°C.

No dia 8 houve uma pausa na atuação da ZCAS com a ação da mPa, ainda com um pouco de precipitação, 0.2 mm. Mas, logo na sequência, a ZCAS retoma força e se mantém por mais cinco dias, totalizando 96.8mm de precipitação e temperatura média de 19.6°C. O período de instabilidade se encerra dia 14, com a LI, com apenas 0.2 mm de chuva. A seguir, a mTa se instalou e se manteve por três dias, trazendo estabilidade, aumento da temperatura para 22.8°C e consequentemente redução da umidade para 71%.

Em 18 de dezembro, a estabilidade se encerra, oferecendo lugar à frente estacionária, que permaneceu até o dia seguinte, acarretando chuvas que somadas resultam em 27.6 mm. O sistema frontal se dissipou e mTa retomou a dominância no quadrante por três dias e, apesar da calmaria atmosférica esperada pela mTa, a temperatura elevada potencializou os movimentos convectivos. Fato que, de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), “...gera em continuidade com o aquecimento, pequenas nuvens cumulus, que tendem a se transformar em cumulonimbus, geralmente responsáveis pelos aguaceiros tropicais de final da tarde”, como observado nos dados de superfície, que indicam precipitação nos dias 20, 21 e 22 de dezembro, que somaram 4 mm nos três dias.

No dia 23 de dezembro, com grande volume de chuva, cerca de 88 mm, deu-se a chegada da ZCOU, que permaneceu até dia 24, com mais 22 mm de precipitação e redução da temperatura para 19.2 °C. A instabilidade se dissipou no dia 25, com a observação de uma frontólise, a qual consiste no enfraquecimento de uma frente. Este processo pode ser gerado devido a liberação de calor latente, o qual contribui para diminuição do gradiente térmico. Outros mecanismos como atrito com a superfície, turbulência, mistura e radiação, também podem favorecer a progressão da frontólise.

O final do ano de 2019 se consolidou com a mTa, sem chuvas entre os dias 26 e 31, com temperatura média de 21.8°C. No dia 1 de janeiro de 2020, ainda se observava a mTa nas cartas sinóticas, porém a precipitação de 4.4mm, já indicava chegada de sistemas instáveis nos próximos dias. Em 2 de janeiro já era possível observar a LI sobre a área, com muita chuva, cerda de 45 mm, instabilidade essa a qual precedeu a consolidação das ZCAS, que permaneceu por mais cinco dias, somando 145.8 mm chuva no período e uma média térmica de 21.1°C. Em continuidade à instabilidade, nos dias 9 e 10 observou-se uma frente fria com núcleo de baixa pressão sob toda região sudeste do Brasil, o que pode ter reforçado junto ao sistema frontal a precipitação, que totalizou 32.4 mm nos dois dias.

Apesar da frente fria, a mPa não avançou, cedendo lugar à mTa com 24°C e 78.3%. Nos próximos três dias a instabilidade retoma espaço, inicialmente com uma LI, que na sequência consolida a frente fria que permanece até dia 14, ocasionando chuvas de 11.6mm e redução da temperatura média para 22°C. O sistema frontal precedeu a chegada da mPa, a qual se manteve apenas no dia 15, com 82% de umidade relativa do ar e 20.9°C. Dia 16 novamente observou-se a LI, com 32.4 mm de precipitação, com temperatura mais elevada de 22.3°C. Já nos dias 17 e 18 notou-se a chegada de um sistema frontal que nos primeiros dois dias se manifestou como FF, mas nos dias 19 e 20 a frente se torna estacionária, com presença de chuvas que totalizaram 2.4 mm e temperatura média de 18.7°C.

No dia 21, observou-se uma LI com precipitação pouco expressiva de 0.2 mm, que deu abertura para a ZCAS, que apesar de ser observada no quadrante, não gerou chuvas no primeiro dia. Já nos dois dias seguintes (22, 23 e 24) a ZCAS se manteve, agora com precipitação 34.8 mm durante os três dias com a média térmica de 19.4°C.

Após o período de instabilidade, instaurou-se a mPa, que permaneceu nos dias 25 e 26, sem chuvas, umidade de 85.5% e temperatura média de 19.8°C. Breve estabilização que foi cessada pelo retorno da ZCAS, dias 27 e 28, que somadas com as LIs que se mantiveram nos dois dias seguintes, totalizando 47.2 mm nessa reta final do primeiro mês do ano de 2020.

Para concluir o mês de janeiro (31) e iniciar fevereiro (1), viu-se a mTa, com temperaturas mais elevadas que marcaram 24.1°C na média, o que corroborou para a formação de chuvas convectivas, as quais somaram 1.6 mm. Nos dias 2 e 3, foi observada frente fria, com precipitação de 7.8 mm e queda na temperatura para 22°C. Nos quatro próximos dias (4, 5, 6 e 7), a identificação dos sistemas atuantes não foi

conclusiva, apenas observou-se um centro de baixa pressão sobre o quadrante da área de estudo ainda sob a influência da frente fria observada anteriormente, com grande concentração de chuva, que somaram 66 mm, nos quatro dias.

Já no dia 8 e 9 de fevereiro de 2020, notou-se certa estabilidade com a presença da mTa, com temperatura média do ar de 22.1°C e chuva convectiva de 1.6 mm no dia 9. Após o intervalo de estabilidade, houve a aproximação de uma frente, a qual ocasionou precipitação de 8 mm e deu início a chegada da ZCAS, a qual se manteve entre os dias 11 e 14 de fevereiro, período que acumulou 104 mm de chuva e média térmica de 18.8°C. Para encerrar este momento de instabilidade, dia 15 observou-se uma frente fria com mais 4.4 mm de precipitação.

Entre os dias 16 e 20 de fevereiro houve a estabilização atmosférica, com a instauração da mTa, que levou ao aumento da temperatura média para 22.6°C, com ocorrências de chuvas convectivas que somaram 2.4 mm no período. A seguir, houve a chegada de uma frente fria com rebaixamento da temperatura e significativa precipitação, que em apenas um dia totalizou, 42.2 mm. Este deu lugar a uma LI que se manteve por mais dois dias até a chegada de uma nova frente fria, no dia 24 de fevereiro, e nos últimos três dias acumularam-se 9.2 mm de chuva e uma temperatura do ar média de 18.4°C.

Em continuidade à instabilidade observada, houve o retorno da LI por mais dois dias, que em seguida deu lugar à formação da ZCAS, a qual se estabeleceu por 7 dias sobre o quadrante do município. O período de entre 25 de fevereiro e 4 de março, com instabilidade persistente, totalizou 224 mm de chuva, umidade relativa e temperatura do ar média de 94% e 19.2° C, respectivamente.

Nos dias 5 e 6 de março observou-se a mPa com redução da temperatura média para 18. 4°C. Logo, no dia 7, houve a chegada de uma nova frente fria (FF), com formação de chuva de 1.8 m, em seguida a mPa se estabeleceu novamente.

Com chuvas, uma frente estacionária (FE) foi visualizada no dia 8 de março com 5.4 mm de pluviosidade, precipitação que precedeu 6 dias de estiagem, sendo que os 3 primeiros dias sob atuação da mPa e os demais da mTa. Dia 16 de março, observou-se a retomada das chuvas, de gênese convectiva, com total de 0.4 mm e temperatura média de 22.6°C.

Em seguida, no dia 17 de março, foi registrado 11.6 mm de pluviosidade, com a chegada de uma frente fria (FF), a qual avançou e deu espaço a mPa no dia 18, que permaneceu apenas um dia até o retorno do sistema frontal, inicialmente por uma

frente estacionária, posteriormente cedendo lugar à frente fria (FF) que permaneceu por dois dias. Sob este sistema frontal, houve chuvas que somadas chegaram a 32.2 mm, com temperatura média de 21.2°C.

Na sequência, instaurou-se a mPa por seis dias, o que provocou arrefecimento das temperaturas, que marcaram em média 18.4°C e umidade relativa do ar de 80.5%. Com o enfraquecimento da massa polar, a mTa estabeleceu-se por apenas um dia, antes da chegada de um sistema frontal, com 25.6 mm de chuvas, entre os dias 29 de março e 1 de abril.

O mês de abril de 2020, com menos ocorrência de chuvas que nos últimos sete meses, apresentou apenas 30.8mm em todo mês. Por quinze dias de todo o mês foi notou-se a atuação da mPa, intercalado por mTa e sistemas frontais. Entre os dias 2 e 6 de abril, houve ação da mPa, sem precipitação, com temperatura média de 20°C. Após este período registrou-se uma frente fria (7 e 8), que permaneceu por dois dias com 13.2 mm de precipitação. Esta frente precedeu a chegada instalação da mPa por mais dois dias (9 e 10). Nos dias 11 e 12 de abril, foram observados os últimos registros de sistemas frontais do mês, com 16.2 mm e 16.1°C de temperatura média, nos dois dias. Em seguida avançou a mPa, porém permaneceu apenas por um dia.

Nos dias 14 ,15 e 16 de abril, verificou-se a mTa com aumento da temperatura do ar para média 19.6°C e breve precipitação de origem convectiva em que se somaram 0.6 mm. Os próximos quinze dias foram marcados pela estiagem e atuação das massas de ares polar e tropical atlântica, sendo sete dias da mTa com temperatura mais elevada que, em média, ficaram em torno de 18.7°C e os demais dias pela mPa com média térmica de 17.7°C. Entre 17 e 20 de abril sob atuação da mPa, em seguida, nos dias 21 e 23 a mTa retoma o espaço. Novamente a mPa prevalece no quadrante, porém apenas por dois dias (24 e 25) e entre ciclo de alternância se repete até dia 2 de maio, com a alteração da massa a cada dois dias.

O ciclo é rompido com a permanência mais longa da mPa entre os dias 3 e 5 de maio, em que foram registradas temperaturas mais baixas com 16.3ºC, em média. A seguir, a mPa perdeu força e cedeu lugar a mTa, que se manteve apenas por um dia com a elevação da temperatura para 19.9°C devido à aproximação de uma frente fria, que chegou no dia 7 de maio e gerou 2.2 mm de chuva. Adiante, a mPa retomou a área e permaneceu por quatro dias, levando a temperatura média do ar aos 15.3°C. Como se sabe, com o esgotamento da mPa, houve o avanço da mTa por três dias (12, 13 e 14), trazendo consigo temperaturas mais elevadas.

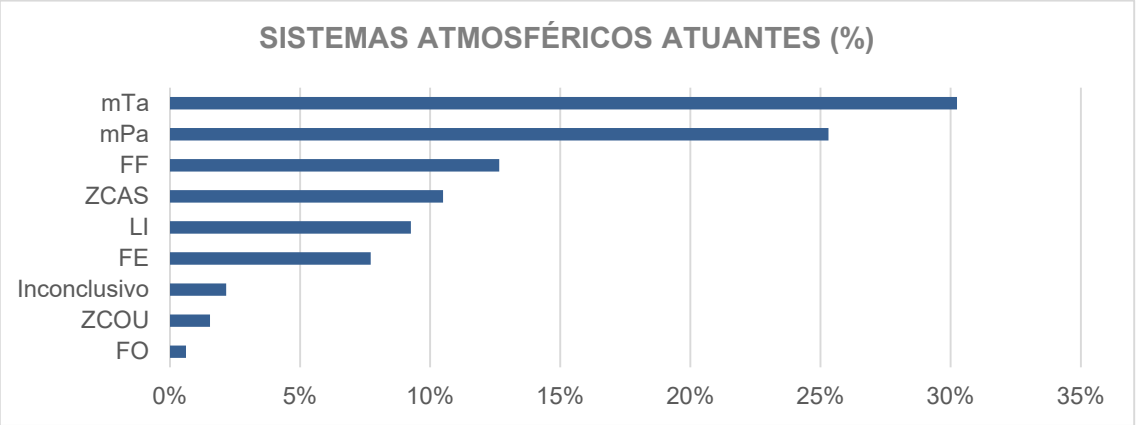
No intervalo dos dias 15 e 17 de maio de 2020, um sistema frontal chegou ao quadrante, ocasionando chuvas que somaram 5.6 mm, elevando a umidade para 95 %. Após avanço destas frentes, a mPa se estabeleceu nos dias 18,19 e 20. Neste ritmo, a mTa retorna e permanece por mais três dias aquecendo o quadrante, com possíveis episódios de chuvas convectivas.

Em ruptura da estabilidade, nos dias 24 e 25 de maio, observou-se 10.6 mm de chuva com a passagem de uma frente fria, que deu lugar a mPa entre os dias 26 e 30, rebaixando as temperaturas para 14.9°C. A seguir, a massa polar perde força e a tropical retoma o espaço, se mantendo entre os dias 31 de maio e 2 de junho de 2020. No dia 3 observou-se uma frente estacionaria (FE) sobre o quadrante, porém não houve chuvas, apenas marcou a chegada da mPa no dia seguinte, mas não teve forças para se manter por mais de um dia e, sendo assim, a mPa retomou a área nos dias 5 e 6.

No dia 7 visualizou-se sobre o município uma frente fria, com chuvas que somaram 2.6 mm, abrindo passagem para mPa adentrar na área por apenas dois dias. Já no dia 10 de junho a mTa retoma com elevação da temperatura, que em média chegaram aos 21.5°C. Por fim, no último dia de monitoramento viu-se mais um dia sem chuvas sob a ação da mPa.

Além da análise da dinâmica da sucessão dos tipos de tempo na escala diária, fez-se a contagem de ocorrências de cada sistema atuante sobre a área de estudo, quais foram os mais representativos no recorte temporal estudado (Figura 39) e quais foram os meses que mais representaram cada sistema (Figura 40).

Figura 39 - Percentual de ocorrências dos sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 23 de julho de 2019 ao dia 13 de junho de 2020




mTa - Massa Tropical Atlântica; mPa – Massa Polar Atlântica; FF – Frente Fria; FE – Frente estacionária; FO – Frente Oclusa; LI – Linha de Instabilidade; ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul; ZCOU – Zona de Convergência de Umidade;

Fonte: elaborada pela autora.

Como é possível observar na figura 39, o sistema atmosférico mais atuante durante o estudo foi o mTa, totalizando mais 30% dos 324 dias analisados. Com 25% de participação nos dias de monitoramento, a mPa foi o segundo sistema mais atuante no período analisado, seguido pela frente fria (FF) com 13% e a ZCAS com mais 10%, os demais sistemas somados representam 21% dos dias monitorados e por isso não foram selecionados.

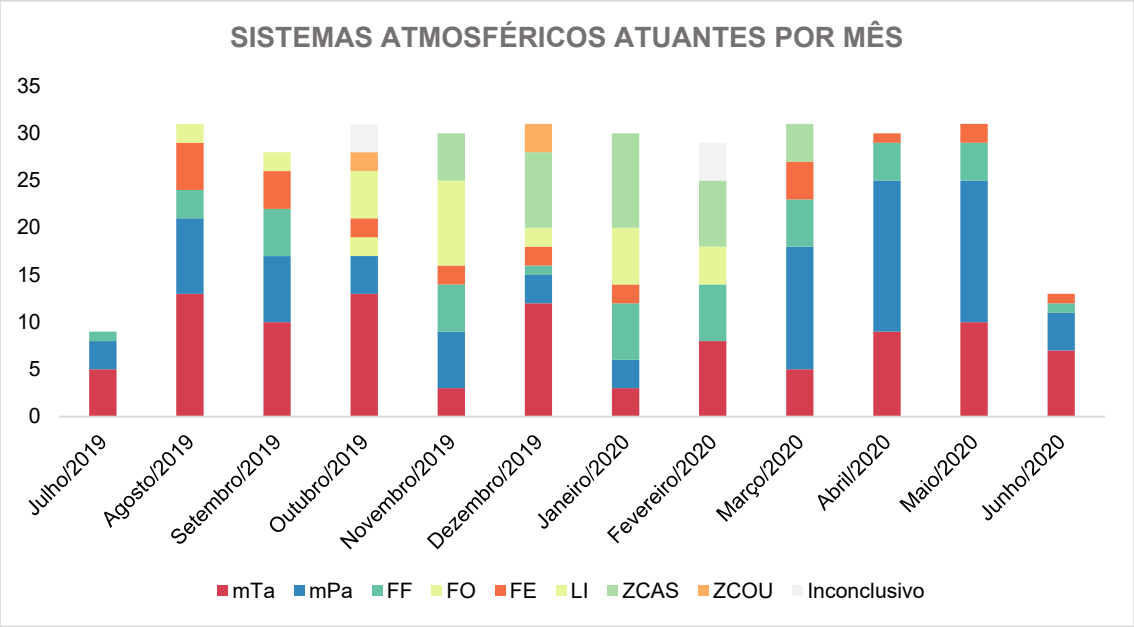
A fim de escolher os meses que melhor representam cada sistema atmosférico mais atuante (Figura 40), selecionou-se os meses de agosto/2019 e outubro/2019, o quais estavam sob maior atuação da mTa, ambos com 13 dias sob atuação do sistema. Porém, estes meses possuem características distintas, quando observadas as variáveis de superfície, agosto/2019 apresentou temperaturas mais baixas, entre 13.1 e 21.1°C e pouca precipitação (14.4mm). Já no mês de outubro registrou-se temperaturas mais elevadas, entre 16.6 e 24.9°C e um volume mais significativo de chuvas, com cerca de 97mm. Portanto, optou-se pelos dois meses, sendo o primeiro para retratar situações em que o mTa ocorre em temperaturas mais baixas e o segundo sob condições térmicas mais elevadas.

Ao analisar os dados, observou-se que o mês de janeiro/2020 foi o mais representativo tanto para as frentes frias, com 6 dias de participação, quanto para a

ZCAS, com mais 10 dias de atuação. Desta forma, o mês de janeiro foi selecionado para investigação dos dois sistemas atmosféricos.

Finalmente, o mês de maio/2020 foi definido para representar a ação da mPa, com 15 dias de observações de atuação do sistema supracitado. Destaca-se que março/2020 e abril/2020, também possuíram expressividade da atividade desse sistema atmosférico, porém optou-se pelo mês de maio/2020, pois este apresentou a menor temperatura mínima dentre os três meses, com 13.8°C de mínima e 21.2°C de máxima.

Figura 40 - Sistemas atmosféricos atuantes, no período de monitoramento e coleta de dados de campo.




mTa - Massa Tropical Atlântica; mPa – Massa Polar Atlântica; FF – Frente Fria; FE - Frente estacionária; FO – Frente Oclusa; LI – Linha de Instabilidade; ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul; ZCOU – Zona de Convergência de Umidade;

Fonte: elaborada pela autora.

### *4.1.1 Resultados do monitoramento de campo*

Através dos dados coletados em campo é possível entender a função desempenhada pelas diferentes estruturas que compõem os pontos de coleta. Os dados trazem informações da temperatura do ar de 8 pontos de coleta, distribuídos no município de Juiz de Fora, sendo que 5 pontos correspondem aos pontos

monitorados com os equipamentos da UFMG, sendo: Ponto 2 – Humaitá Pasto, Ponto 3 – Humaitá Mata Ciliar, Ponto 4 – Vila dos sonhos, Ponto 5 – Progresso e Ponto 6 – Distrito Industrial. Estes pontos compõem o monitoramento executado entre os dias 20/07/2019 e 13/06/2020.

Além dos pontos acima, 2 pontos tratam-se de parte de um monitoramento executado pelo Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LabCAA), da UFJF. A parte utilizada desse monitoramento foi entre os dias 20/07/2019 e 13/11/2019, devido a sobreposição com o período de estudo dos demais pontos. Os pontos acompanhados pela UFJF são: Ponto 7 – Previdenciários e Ponto 8 – Centro.

Juntamente com os pontos de coleta monitorados pelas duas instituições, fez-se uso também dos dados coletados pela estação meteorológica do INMET, alocado no campus da UFJF. Esse ponto foi identificado nesse estudo como Ponto 0 – INMET.

Nos gráficos da figura 41 a seguir, é possível observar os dados de temperatura média, máxima e mínimas de todos os dias de monitoramento por ponto de coleta. O gráfico “A” traz os valores máximos medidos em cada dia de coleta, por ponto, assim como o gráfico “B” tem os valores mínimos e o “C” os médios.

Com relação à temperatura média verificada nos pontos, destaca-se que no período em que houve sobreposição dos dados da UFMG e UFJF, as temperaturas médias variaram de 10.9°C e 29.1°C, as menores médias foram registradas nos pontos Humaitá na Mata ciliar, no bairro Vila dos Sonhos e na estação do INMET. Por mais que o ponto da estação do INMET esteja alocado em área densamente urbanizada, seus valores diminutos em relação aos demais pontos urbanos podem estar associados à posição altimétrica, que além ter influência do resfriamento por descompressão, ainda sofre remoção de calor por advecção e pelas condições de ventilação em que o local está exposto. Já as maiores médias foram detectadas nos pontos do Centro e Previdenciários, na primeira fase em que havia monitoramento da UFJF.

Após novembro, quando encerrou o estudo do laboratório juiz-forano, os pontos de evidência de temperaturas médias mais elevadas foram os pontos do Progresso e Distrito Industrial. O comportamento térmico desses pontos pode estar relacionado às características de uso da terra, uma vez que os dois estão alocados em áreas completamente pavimentadas.

O ponto do Progreso está mais próximo à área mais adensada do município, o que possivelmente corroborou para o maior armazenamento do calor, diminuindo as amplitudes térmicas existentes.

A área do entorno do ponto do Distrito Industrial, consiste em áreas pavimentadas e impermeabilizadas, intercaladas com áreas de vegetação rasteira, contribuindo para redução do calor acumulado, uma vez que o tecido vegetal não é bom transmissor e nem armazenador de calor, além do acionamento do mecanismo de evapotranspiração, por meio do qual a planta regula suas variações de temperatura.

Um ponto de destaque é que apesar de não se manter durante os dias de monitoramento, em algumas situações o ponto Humaitá pasto se cruza com os pontos de temperaturas elevadas destacados. Esse comportamento revela que apesar de todos os pontos estarem sob uma mesma condição mesoclimática, há características micro e topoclimáticas que fazem com que a mesma energia recebida seja armazenada de diferentes maneiras. Tais características estão relacionadas aos materiais que cobrem a superfície, posição altimétrica e orientação das vertentes, a influência destes fatores foram explicados na revisão teórica, no item "*Unidades climáticas e controles naturais"*.

Embora a constatação desse fato exija período maior de monitoramento, variando as condições de tempo meteorológico no decorrer das estações do ano, o papel atribuído à vegetação como controle de variação da temperatura do ar deve ser visto com cautela, atento à dimensão e características da vegetação. Em artigo recente, Jardim e Galvani (2018) verificaram valores de temperatura do ar significativamente mais elevados em área de cerrado no interior do Parque Nacional da Serra do Cipó em relação à área urbana de Belo Horizonte, principalmente nos horários mais quentes do dia, diferente do interior do ambiente de mata ciliar, com valores de temperatura sempre mais baixos durante o dia e sensivelmente maiores no período noturno.

Ainda de acordo Jardim e Galvani (2018), deve-se destacar que elevados valores de temperatura não se constituem em fator limitante para grande parte das plantas tropicais, desde que tenham atendidas suas necessidades hídricas. E no caso da vegetação de cerrado, com elementos arbóreos esparsos e predomínio de estrato herbáceo-arbustivo, a produção de calor sensível é elevada sendo transferida rapidamente para o ar, uma vez que o tecido vegetal é péssimo transmissor e

armazenador de calor (conforme foi discutido anteriormente) e pelo fato da cobertura foliar não impedir a entrada de radiação direta como ocorre na mata ciliar. Na verdade, o emaranhado de folhas e galhos ampliam a área de recepção de radiação solar e, portanto, de superfícies sujeitas ao aquecimento e transferência de calor para o ar.

Com relação às mínimas, os valores variam de 3.7° a 9.7°, sendo que o menor registro foi detectado em Humaitá, na mata ciliar, e o maior no Centro. Essa diferença está associada à capacidade de armazenamento do calor já que os materiais urbanos possuem uma maior capacidade de retenção do calor, assim como se aquecem com maior velocidade do que áreas vegetação arbórea, próximas de cursos d'água como a mata ciliar.

A partir dos gráficos de temperatura e umidade média, máxima e mínima também é possível visualizar as oscilações distribuídas no período de coleta dos dados, as quais estão atreladas a sucessão dos tipos de tempo. Estes tipos de tempo induzem o comportamento térmico dos pontos de campo, sendo que em condições de instabilidade, com presença de nebulosidade, a amplitude térmica entre os pontos de coleta tende a reduzir, enquanto em situações de estabilidade, baixa nebulosidade e maior entrada de energia, as diferenças entre os pontos se acentuam.

Nos gráficos da figura 42, têm-se os valores máximos, mínimos e médios de umidade relativa do ar durante o período de monitoramento, por ponto de coleta. O gráfico "A" traz os valores máximos medidos em cada dia de coleta, por ponto, assim como o gráfico "B" tem os valores mínimos e o "C" os médios.

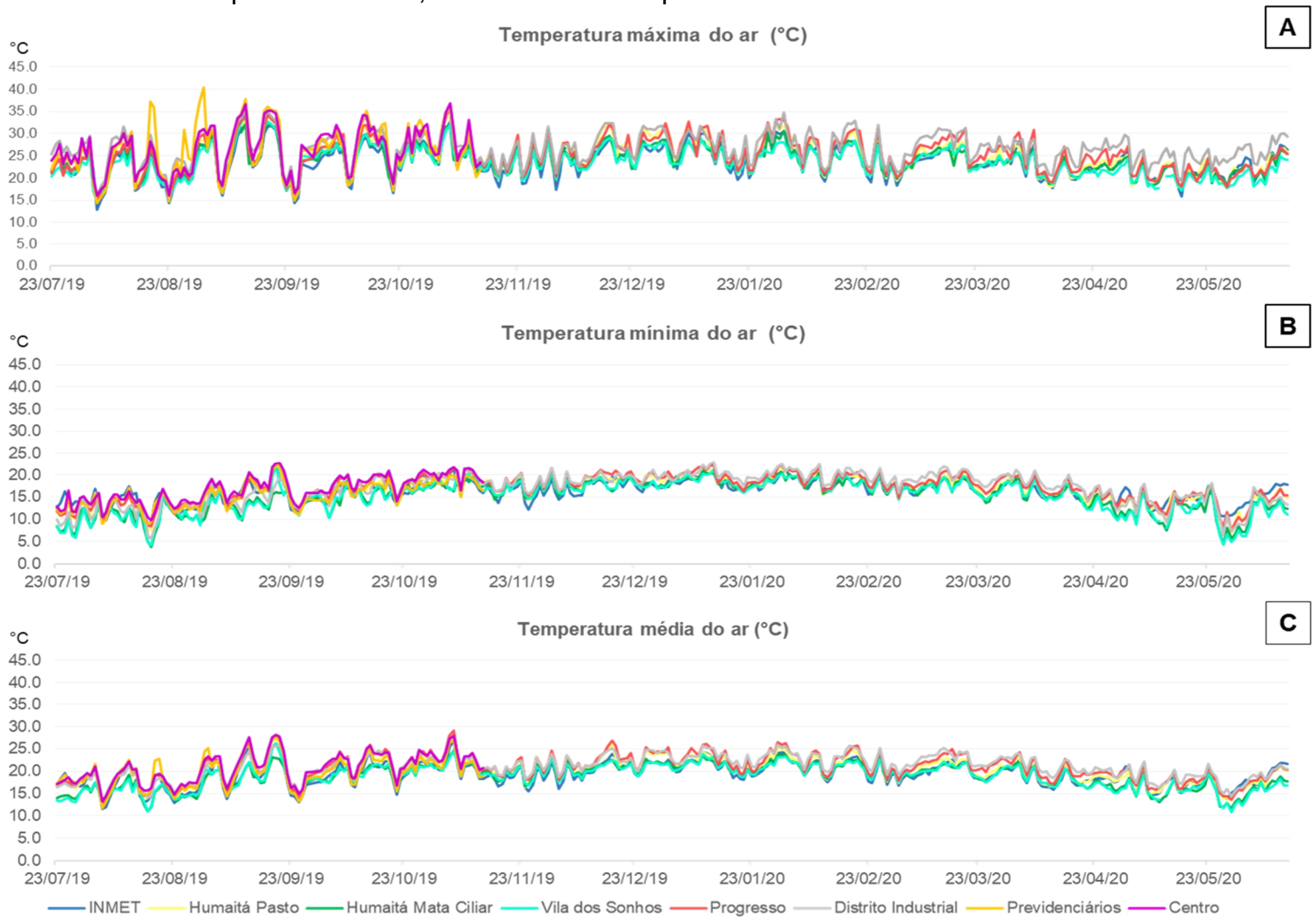
A partir dos gráficos da figura 42, é possível observar que os maiores registros de umidade máxima (gráfico A) são dos pontos Humaitá mata ciliar, Vila dos Sonhos e INMET, uma vez que em muitos momentos estes pontos registraram valores máximos de umidade relativa, com 100%. Esse comportamento pode ser explicado pela proximidade com fragmentos de vegetação e cursos d'água.

Essas respostas mostram a influência exercida pela presença de corpos hídricos nas proximidades, cuja evaporação retira parte do calor sensível do ambiente (convertido em calor latente). Além disso, possivelmente inclui-se a evaporação da umidade do solo e da fornecida pela evapotranspiração vegetal, o que pode reduzir as variações de temperatura extremas diurnas e estacionais. É dessa forma que grandes massas de água atuam de maneira a estabilizar os valores de temperatura, reduzindo as amplitudes térmicas (ROMERO, 1998).

Com relação aos valores mínimos registrados, destacam-se os pontos Humaitá Pasto e Distrito Industrial. Mesmo sendo locais com configurações completamente distintas, os pontos possuem características que dificultam a retenção da umidade; o ponto do Distrito Industrial encontra-se em uma área quase que completamente impermeabilizada e chega a marcar menos de 20% de umidade em um dos dias de coleta. Já o ponto na área rural, está alocado em área de pastagem, que apesar de não ser uma área impermeabilizada, conta com vegetação rasteira que possuí o maior fluxo de calor sensível com o fornecimento energia para aquecer o ar mais próximo à superfície.

Entretanto, esta observação ainda deve ser objeto de estudos, visto que a vegetação de baixo porte permite a livre circulação do ar, com características de áreas adjacentes mais quentes.  Por outro lado, é importante destacar que este tipo de vegetação também contribui para o desenvolvimento de outros processos, como a infiltração de água das chuvas, formação de orvalho e alguma alteração da temperatura em superfície, que quando verde pode ter temperaturas mais baixas que outras superfícies, porém quando está seca o comportamento é muito similar ao solo exposto ou pavimentado.

Figura 41 - Gráficos de temperatura média, máxima e mínima por dia de monitoramento.




Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 42 - Gráficos de umidade média, máxima e mínima por dia de monitoramento




Fonte: elaborado pela autora.

## 4.2 Termodinâmica especializada

### *4.2.1 Temperatura de Superfície*

Através das imagens do satélite Landsat 8, especializou-se a temperatura de superfície para os quatro tipos de tempo mais representativos da série de dados analisada, representados pelos meses de agosto e outubro de 2019 e janeiro e maio de 2020. Os mapas com a temperatura de superfície (Figura 43) demostram como os sistemas atmosféricos atuantes influenciam o comportamento térmico das superfícies.

No mapa A, com o mapa termal do dia 19 de agosto de 2019, que representa as condições sob atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa) sob temperaturas mais frias, a variação da temperatura é entre 38.9 e 9.8°C. Sendo a porção central do município com as zonas mais quentes, especialmente na área subjacente ao limite oeste da área urbana. Este comportamento é justificado pela concentração de áreas de pastagens combinadas com solo exposto, os quais apresentam maior absorção de radiação e por isso podem revelar temperaturas mais elevadas.

Diferente do esperado pelo senso comum, a área urbana apresenta temperaturas inferiores às observadas na zona rural, esta realidade demostra que as áreas de pastagens proporcionam condições mais favoráveis ao aquecimento da superfície do que áreas de infraestrutura urbana. Isto é explicado pelo fato de que a energia que vegetação não utiliza em seus processos metabólicos, fica prontamente disponível para aquecer o ar. Além disso, o tecido vegetal é mau condutor e armazenador de calor, diferente das áreas urbanas.

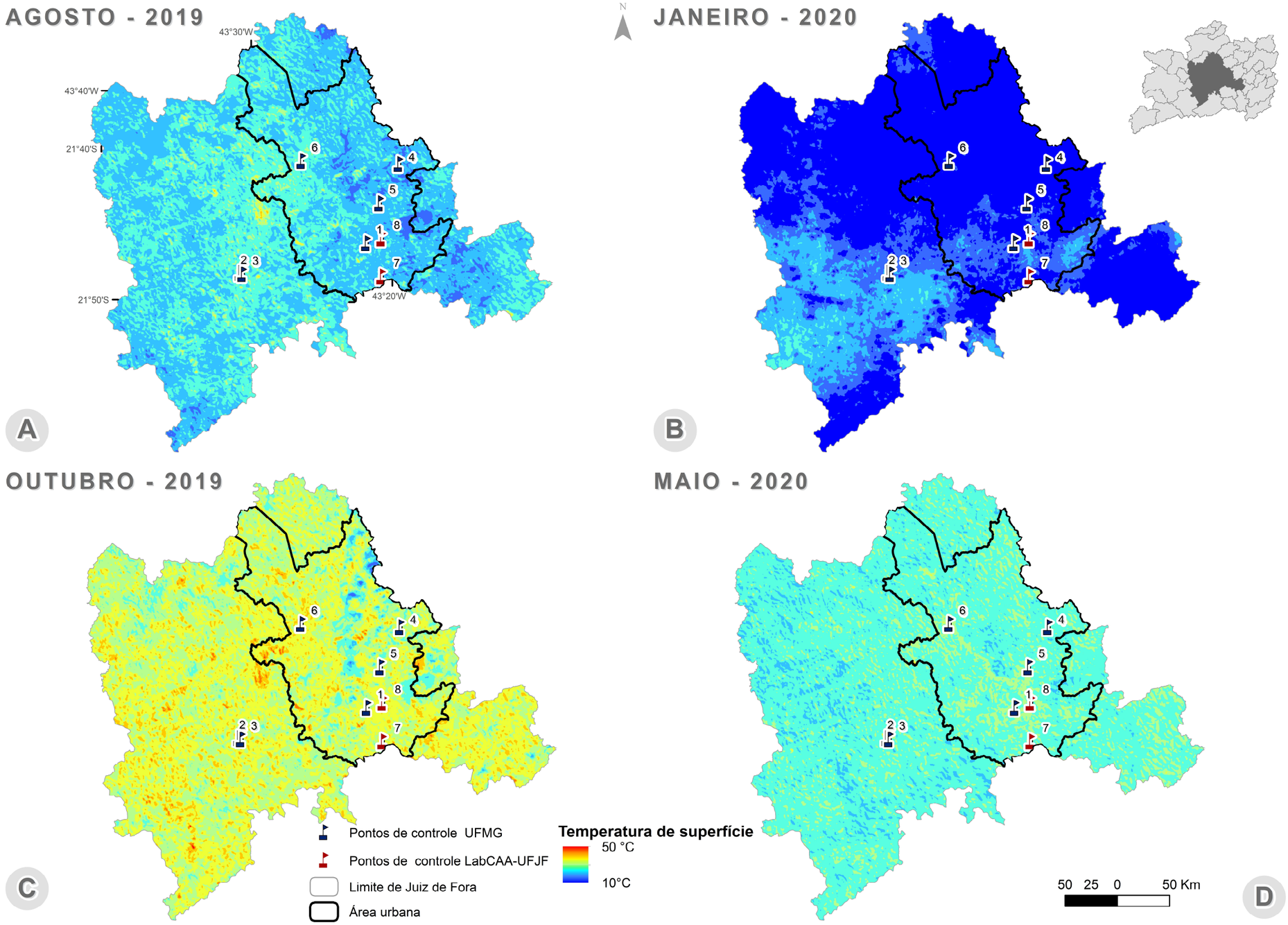
Jardim e Galvani (2022) encontraram comportamento semelhante no mapeamento das unidades topoclimáticas no Parque Nacional da Serra do Cipó, em que áreas de campos rupestres e de cerrado registraram temperaturas mais elevadas do que as observadas em Belo Horizonte. Ainda de acordo com Jardim e Galvani (2022), isto é explicado pela orientação das vertentes no sentido nordeste, juntamente com a esparsada vegetação que oferece pouca obstrução

da radiação solar direta e difusa, além das áreas de solo exposto, as quais favorecem a produção de calor sensível concentrada na superfície.

Ainda em observação do mapa A, destaca-se as zonas mais frias na porção leste do mapa, principalmente justificados pela presença de fragmentos de vegetação e corpos d’agua, como no caso da represa Doutor João Penido, Reserva Biológica Poço D'anta (REBIO), APA da Mata do Krambeck e Jardim Botânico.

Outra observação no mapa A é a região extremo noroeste do município, no distrito de Rosário de Minas, onde se verifica concentração de temperaturas mais baixas quando comparada à área central do município, possivelmente justificada pela significativa presença do uso para silvicultura. Porém, é valido destacar que mesmo se tratando de gêneros florestais, o comportamento é diferenciado quando comparado à áreas de mata, como na reserva Poço D’anta. Portanto, os tipos vegetacionais atrelados à silvicultura não possuem o mesmo potencial de arrefecimento da temperatura de superfície como os remanescentes florestais. A permeabilidade ao vento é maior em ambientes de silvicultura, onde a homogeneidade das plantas é muito grande e o espaçamento entre elas é geométrico, diferente de ambientes de florestas nativas.

Figura 43 - Mapas de temperatura de superfície em diferentes condições atmosféricas. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação da mPa




Fonte: elaborado pela autora.

No mapa C observa-se a temperatura de superfície no dia 6 de outubro de 2019, dia representativo da atuação da mTa em condições de temperaturas mais elevadas quando comparado aos demais meses representativos do sistema. Neste mapa, visualiza-se de fato temperaturas mais elevadas do que as vistas no mapa A, do mês de agosto, com valores que variam entre 11.9 e 47.7°C.

Sob atuação do sistema estável a amplitude térmica se destaca, principalmente no mês de outubro em que as temperaturas são mais elevadas, desta forma, verifica-se a amplitude térmica de 35.8°C no município. Isto ocorre devido à maior entrada de radiação no mês de outubro diante da distribuição sazonal da energia solar sobre a Terra, de modo que em outubro há maior exposição aos raios solares do que no mês de agosto, devido ao movimento aparente do sol. Além disso, há baixa nebulosidade e alta pressão atmosférica estabelecida pelo ASAS, de modo que os raios solares não encontrem barreiras para penetração atmosférica.

Sendo assim, verifica-se que a porção oeste do município apresenta mais núcleos quentes do que os mais observados no mês de agosto, ou seja, sob alta pressão em outubro, as áreas de pastagens se apresentam ainda mais quentes, principalmente na planície fluvial do rio do Peixe.

O mapa D traz a temperatura da superfície no dia 1 de maio de 2020, que varia de 17.2° e 37°C, com amplitude de cerca de 20 °C, sob atuação do Anticiclone Polar Migratório (APM). Nestas condições, a infraestrutura urbana se apresenta com temperaturas mais elevadas, assim como as áreas com fragmentos florestais se mostraram com as temperaturas mais baixas. O contraste entre a área urbana e as áreas de vegetação ganharam mais expressividade sob a mPa do que sob o ASAS em agosto e outubro de 2019.

Especula-se que este contraste pode estar atrelado ao fato da mTa atuar o ano inteiro, embora sua ação se intensifique nos meses mais quentes, ou seja, há um reforço mútuo, de uma situação favorável à produção de calor mais as características do ASAS com vasta atuação e origem em área tropical/subtropical. A mPa, por outro lado, atua de forma mais efetiva nos meses mais frios, embora também atue o ano todo. Nessas condições, soma-se o saldo mais baixo de calor do ambiente com as próprias características mais frias do sistema.

Mendonça e Dubreuil (2005) apontam em um estudo realizado da região metropolitana de Curitiba (RMC), que sob atuação da mPa, em áreas de aglomeração

urbana o balanço de radiação ocorre com maior velocidade, o que resultou no aquecimento mais rápido da superfície, como observado no mapa D na área urbana de Juiz de Fora.

Já no mapa B, observa-se a temperatura de superfície no dia 10 de janeiro de 2020, sob ação de uma frente fria, onde os valores oscilaram de -55 a 26°C. Destaca-se que a imagem utilizada era a disponível para o mês de janeiro, com menor cobertura de nuvens, por isto, observaram-se valores negativos, mesmo que a imagem tenha apenas cerca de 20% da sua área coberta por nuvens. Sendo assim, o resultado obtido pela imagem termal não revela de fato os valores reais da superfície, mas sim das nuvens, por isso foi feita a reclassificação e exclusão dos valores negativos.

Desta forma, o mapa de termal de janeiro de 2020 não é apropriado para análise da temperatura de superfície sob atuação do sistema frontal. Neste sentido, é importante destacar a limitação do uso de imagens Landsat em condições de instabilidade atmosférica, visto que nestas situações a nebulosidade é potencializada, inviabilizando resultados mais assertivos. A partir desta constatação afirma-se que os dados de campo são de grande importância e são complementares ao uso das ferramentas de sensoriamento remoto.

Apesar dos resultados incipientes do mapa B, ainda assim nota-se a homogeneização da temperatura de superfície em dias de frente fria. Isto ocorre, devido à nebulosidade e, consequentemente, à redução da incidência de radiação sobre a superfície, que reduz as diferenças térmicas, gerando grandes zonas de homogeneidade. Além disto, a advecção do ar também aumenta sob ação de sistemas de baixa pressão, o que é um fator adicional na redistribuição do baixo excedente de calor sob condições de tempo.

### *4.3.2 Temperatura do ar estimada*

Dados espacializados de temperatura de superfície obtidos através de sensoriamento remoto proporcionam uma importante aproximação do contexto termodinâmico de uma área, porém ainda há necessidade de dados espacializados de temperatura do ar, visto que há diferenças substanciais destas medidas de temperatura, o que não permite o relacionamento direto entre as mesmas. As

diferenças estão atreladas ao complexo processo de transferência da energia da superfície para o ar, que pode variar devido às propriedades dos elementos que cobrem a superfície, condições de umidade e ventilação da área, dentre outros.

Trentin *et al.* (2011) compararam a temperatura de superfície obtida pelo MODIS do satélite TERRA com dados de estações meteorológicas automáticas do Instituto Tecnológico SIMEPAR no estado do Paraná, em duas áreas de uso: urbana e agrícola. Como resultado encontram correlações significativas, $R^2$ acima de 0.78, entre os valores de temperatura do ar e da superfície, o que já era esperado visto que o ar se aquece a partir da superfície. Porém, também observam que os dados apresentam diferenças não lineares, as quais são maiores em áreas urbanas, em que há complexidade de fatores atuantes na configuração térmica destas áreas. Sendo assim, Trentin *et al.* (2011) afirmaram que o uso da das imagens termais podem ser utilizadas em complemento aos dados de campo, visto que as diferenças entre as mesmas são elevadas.

Neste contexto, faz-se necessário lançar mão de dados coletados em campo tanto por estações meteorológicas oficiais quanto os obtidos através de sensores distribuídos na área de estudo. Para análises espaciais, os dados tabulares resultantes deste tipo de levantamento carecem de técnicas de geoprocessamento, as quais permitem espacializar dados pontuais em área. Na climatologia é comum o uso de interpoladores para este tipo de operação, como utilizados por Silva e Jardim (2019), Machado (2016), Assis (2010), Assis (2016), Oliveira (2016).

Contudo, Alves, Biudes e Vecchia (2012), afirmam que para bom desempenho dos métodos de interpolação deve-se observar a escala da área de estudo e o número de dados utilizados para a interpolação. Sendo assim, a aplicação de interpoladores pode se mostrar ineficiente quando o número de postos de coleta de dados é escasso e/ou mal distribuídos.

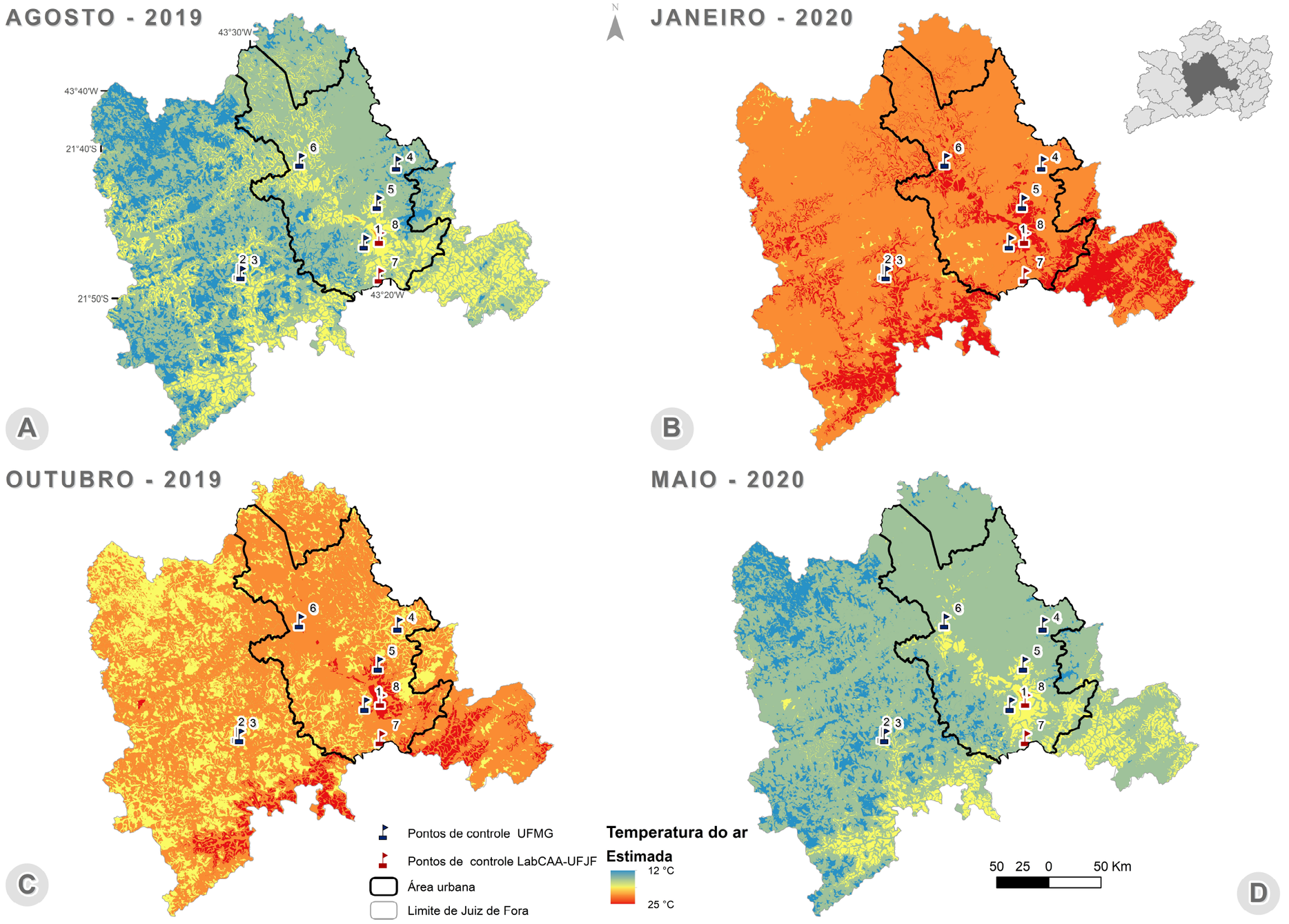
Além disso, deve-se considerar as limitações próprias deste método, como ocorre em ambientes com mosaicos muito diferenciados quanto às características naturais e de uso da terra. Monteiro (1990) também faz críticas aos métodos que fazem a dilatação do padrão térmico obtido por tomadas de dados pontuais, quando afirma:

> Seria inadmissível realizar um mapeamento térmico, segundo a arbitrariedade de um traçado de “isotermas” baseado na interpolação entre os pontos. Seja por divisão proporcional, seja por técnica de articulação de esquadros.” (MONTEIRO, 1990, pg. 65)

Nesse trabalho houve dificuldades nesse sentido, visto que possui apenas sete pontos de monitoramento e distribuídos de maneira heterogênea sobre a área de estudo. Isto ocorre, pois a instalação de sensores termo higrométricos deve ser feita em áreas expostas, mas que ao mesmo tempo não estejam vulneráveis a furto ou vandalismo, o que dificulta o processo.

Diante desse obstáculo, foi construído um modelo básico de estimativa de temperatura do ar a partir da estrapolação dos dados coletados em campo apoiados nas variáveis de uso da terra e altimetria. A partir do modelo, construíram-se os mapas de temperatura do ar estimada em diferentes condições atmosféricas (figura 44)

Figura 44 -Temperatura do ar estimada sob quatro tipos de tempo. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação da MPA.




Fonte: elaborada pela autora.

No mapa A, observa-se a temperatura média do ar no mês de agosto de 2019, a qual varia entre 12.9 e 21.1°C. Sob atuação da mTa com temperaturas mais baixas, verifica-se homogeneidade na porção nordeste que envolve a sub-bacia da represa Doutor João Penido, com temperaturas entre 15.1 e 17.5°C. Esta configuração está associada ao fato de ser uma área de uso predominantemente de pastagem com relativa elevação e, neste caso, o fator altitude contribui para o arrefecimento da temperatura.

Já seção oeste, na bacia do Rio do Peixe nota-se uma heterogeneidade, em que as áreas mais ao norte possuem temperaturas mais baixas, devido às áreas de silvicultura e fragmentos florestais de altitudes maiores.

Em contrapartida, a área da planície fluvial do Rio do Peixe se mostra com temperaturas mais elevadas na faixa dos 17.5 a 20°C, revelando a forte atuação da morfologia combinada à pastagem, o que favorece o aquecimento. Além dessa região, a região centro sul da área urbana e parte da bacia do Cágado, no extremo sudeste do município, inserida distrito de Caetés de Minas, apresentam-se como mais aquecidas no mês de agosto.

Destaca-se que em condições de estabilidade atmosféricas em temperaturas mais baixas, como observado no mês de agosto, os contrastes térmicos são mais acentuados, o que demostra uma maior influência da altitude e uso da terra. Isto pode ser notado pela maior pulverização das três classes no mapa, com exceção da região nordeste.

O mapa C ilustra a temperatura média do ar no mês de outubro de 2019, sob ação ASAS com temperaturas mais elevadas, que variaram entre 17.4 e 25°C. Assim como no mapa A, a região oeste, principalmente na bacia do rio do Peixe, as temperaturas observadas são mais baixas quando comparadas à porção leste que contempla a área urbana, em que a classe predominante é de temperatura dos 20.1 aos 22.5°C, enquanto a oeste vê-se mais parcelas de 17.5 a 20°C.

Com temperaturas mais elevadas, entre os 22.5 e 25°C no mapa C, destacam-se o extremo sul da região da bacia do Peixe, distrito de Monte Verde de Minas, o distrito de Caetés na bacia do Cágado e área central da cidade. Verifica-se que as áreas mais quentes do mês de outubro ocorrem de maneira mais concentrada e em menor proporção, mesmo estando sob uma atmosfera estável como no mês de agosto.

Destaca-se que apesar de no mês outubro ainda se observar pouca precipitação, com volume de 97.4 mm, trata-se de um mês mais chuvoso que o mês de agosto, que acumulou apenas 14.4 mm. Sendo assim, é possível afirmar que a maior presença de umidade em outubro pode ter contribuído para diluição dos contrastes e redução da influência do uso da terra, visto que as áreas com maiores temperaturas possuem coberturas distintas, porém situação altimétrica comum.

No mapa B, visualiza-se a temperatura do ar média no mês de janeiro de 2020, mês com maior ocorrência de ZCAS e Frentes Frias, as quais tratam-se de situações de instabilidade atmosférica, o que contribui para formação de nebulosidade. Nestas condições, observou-se temperaturas que variam entre 18.9 e 24.8°C, sendo que em pouquíssimas áreas houve temperatura inferior aos 20°C.

O município possui majoritariamente temperaturas entre os 20°C e 22.5°C no mês de janeiro, com exceção das áreas nos distritos de Caetés de Minas, Monte Verde de Minas e Humaitá de Minas, junto da porção sudoeste da sede e do vale do rio Paraibuna na área urbana, em que se apresenta a classe com temperaturas acima dos 22.5°C. Perante ao que foi exposto, observa-se que diante de sistemas atmosféricos instáveis, as condições térmicas tendem a se o homogeneizar e os atributos de cobertura da terra perdem peso, assim como o fator altimétrico se destaca apenas em áreas muito rebaixadas.

Por fim, sobre o mapa D, que retrata a temperatura média do ar no mês de maio de 2020, sob atuação da mPa, em que as temperaturas variam dos 13.1°C aos 20.8°C. Apesar de apresentar uma variação térmica muito semelhante ao mês de agosto de 2019, o mapa de temperatura se assemelha um pouco mais com o do mês de janeiro de 2020, quando se observa a distribuição das classes.

Em maio, verifica-se maiores parcelas de homogeneidade térmica, principalmente na região nordeste, em que a temperatura predominante é entre 15°C a 17. 5°C. Além disso, observa-se que na maior parte do município predominam temperaturas mais baixas, abaixo dos 17.5°C. As áreas com temperaturas mais elevadas concentram-se na porção sul, na área central e calha mais densamente urbanizada do rio Paraibuna, com temperatura na faixa dos 17.5°C aos 20°C.

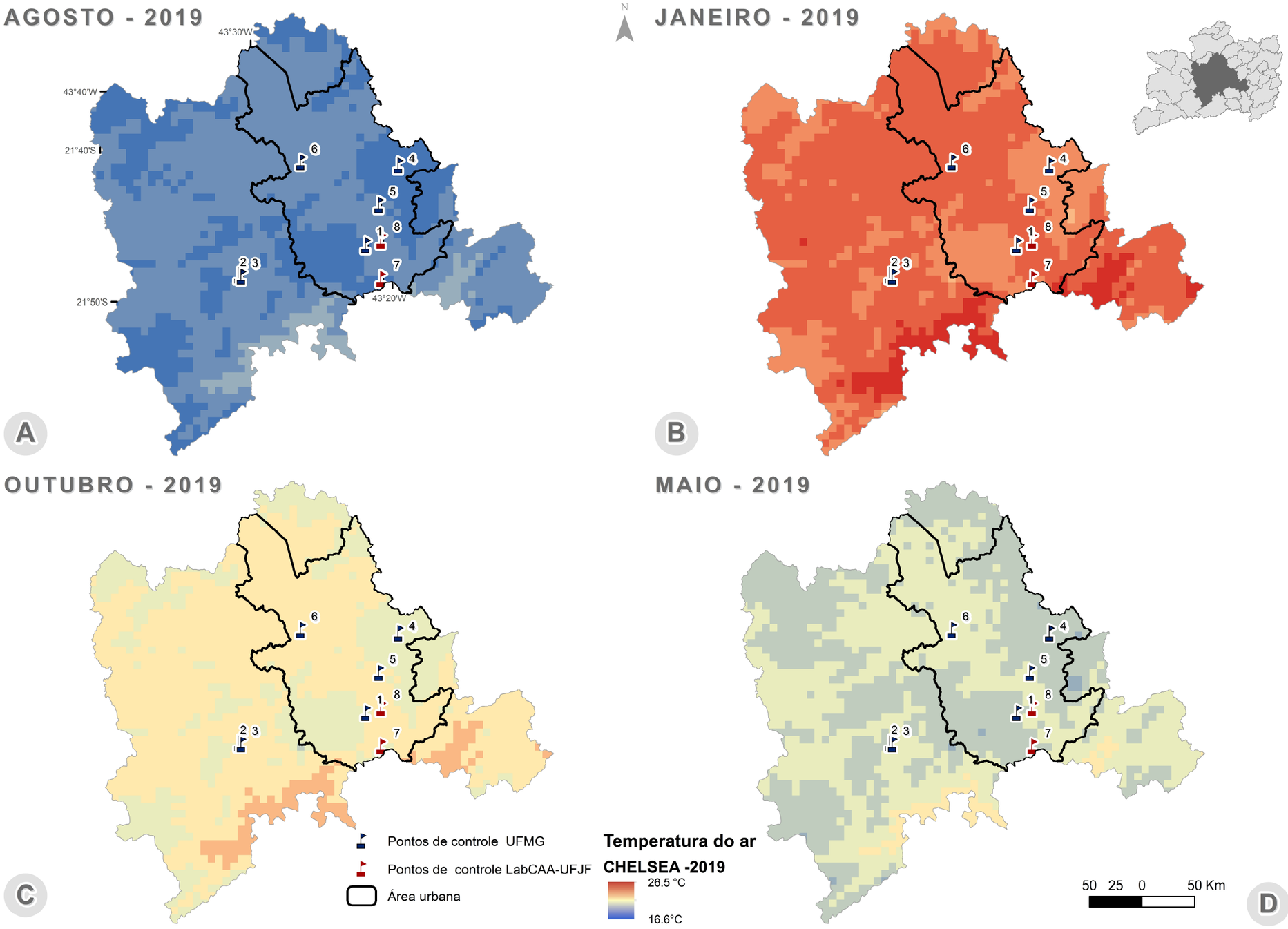
Neste sentido, observa-se que sob atuação da mPa, o fator uso da terra e altitude volta a ter mais relevância na definição termodinâmica, porém ainda de maneira mais tênue do que sob atuação da mTa, principalmente na área urbana.

Destaca-se que o mapeamento de temperatura do ar estimada revelou resultados coerentes com a termodinâmica do município. Além disso, ao comparar os resultados obtidos de temperatura estimada com os mapas de temperatura do ar do CHELSA (*Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas*), verifica-se muita similaridade, mesmo diante das diferenças escalares.

O CHELSA oferece um conjunto de dados climáticos globais na resolução de aproximadamente 1 km, de vários recortes temporais. Estes dados são baseados em *downscaling* estatístico de dados de reanálise global. No caso da temperatura, de acordo com Karger (2017), utilizam os dados do ERA-Interim, que simula campos atmosféricos de grande escala de seis horas para 60 níveis de pressão. Estes dados são combinados com resultados de modelagem com observações terrestres e de radiossondagem, além de dados de sensoriamento remoto, para melhor aproximação da situação atmosférica atual em larga escala (KARGER,2017).

De maneira similar o executado no mapa de temperatura do ar estimada, os mapas do CHELSA interpolam a temperatura ao nível do mar com modelo digital de elevação, considerando a taxa de lapso de temperatura de -0.4°C a -0.8°C/100m de acordo com a sazonalidade (KARGER,2017). Observando os mapas do CHELSA (figura 45), verificam-se semelhanças com mapa de temperatura do ar estimada, tanto no intervalo das temperaturas observadas, quanto na distribuição espacial das faixas térmicas, evidentemente considerando as diferenças escalares e o fato da temperatura estimada considerar o uso da terra. Sendo assim, essa comparação reforça os resultados obtidos pelo modelo de estimativa de temperatura do ar.

Figura 45 -Mapas de temperatura do ar obtidas pelo CHELSA, nos meses de agosto, outubro, janeiro e maio de 2019




Fonte: elaborado pela autora.

Além da comparação visual entre os produtos do CHELSA e do modelo de estimativa de temperatura do ar, foram feitas validações a partir do método de validação cruzada *Leave-One-Out* (LOOCV), em que se remove o valor de um ponto amostral do conjunto de dados e valor estimado é recalculado. Em seguida, o resultado é comparado com a versão completa, incluindo todos os pontos amostrais e, por fim, calcula-se a correlação entre os resultados.

A validação dos meses de agosto e outubro de 2019, foi executada com a remoção dos sete pontos de monitoramento, um a cada rodada, além de um exercício em que foram removidos os dois pontos de monitoramento cedidos pelo LabCAA-UFJF. Esta análise foi feita para avaliar o impacto da remoção destes pontos nos meses de janeiro e maio de 2020, visto que não houve coleta de dados neste período.

Como resultado, observou-se uma correlação positiva forte, acima de 0.9 para todos os pontos avaliados nos meses de agosto e outubro (tabela 28). Essa resposta indica que os valores estimados são congruentes com os dados obtidos em campo. Além disso, avaliando o caso quando há a remoção dos pontos 7 e 8, Previdenciários e Centro, respectivamente, observa-se que a correlação reduz, mas ainda se mantém alta, o que assegura que mesmo com a remoção dos mesmos os resultados ainda sem mantém válidos.

Tabela 28 - Resultados da validação para os meses de agosto e outubro de 2019

| **Validação *Leave-One-Out* - agosto/2019 e outubro/2019** | | |
|---|---|---|
| **Ponto removido** | **Correlação de Pearson ($R^2$)** | |
| | **ago/19** | **out/19** |
| P1 - UFJF | 0.96 | 0.97 |
| P3 - Humaitá - Mata ciliar | 0.99 | 0.99 |
| P4 - Vila dos sonhos | 0.99 | 0.98 |
| P5 - Progresso | 0.97 | 0.95 |
| P6 - Distrito Industrial | 1.00 | 1.00 |
| P7 - Previdenciários | 0.99 | 0.98 |
| P8 - Centro | 0.96 | 0.90 |
| P7 e P8 - Previdenciários e Centro | 0.96 | 0.93 |

Fonte: elaborado pela autora.

Para os meses de janeiro e maio de 2020, utilizou-se na validação apenas cinco pontos, visto que não há dados para os pontos 7 e 8 nestes meses. O resultado obtido revela redução na correlação, o que sinaliza uma redução de

ajuste do modelo à realidade, porém as correlações ainda se mantém fortes, o que ainda permite utilizar estes resultados (tabela 29). Neste sentido, destaca-se a importância da diversificação dos pontos amostrais para obtenção de estimativas mais ajustadas.

Tabela 29 - Resultados da validação para os meses de janeiro e maio de 2020

| **Validação Leave-One-Out - janeiro/2020 e maio/2020** | | |
|---|---|---|
| **Ponto removido** | **Correlação de Pearson ($R^2$)** | |
| | **jan/20** | **mai/20** |
| P1 - UFJF | 0.92 | 0.96 |
| P3 - Humaitá - Mata ciliar | 0.86 | 0.92 |
| P4 - Vila dos sonhos | 0.90 | 0.93 |
| P5 - Progresso | 0.84 | 0.91 |
| P6 - Distrito Industrial | 0.93 | 0.96 |

Fonte: elaborado pela autora.

Com os mapas de temperatura de superfície e temperatura do ar estimada, avançou-se para mapeamento análise das unidades climáticas do município.

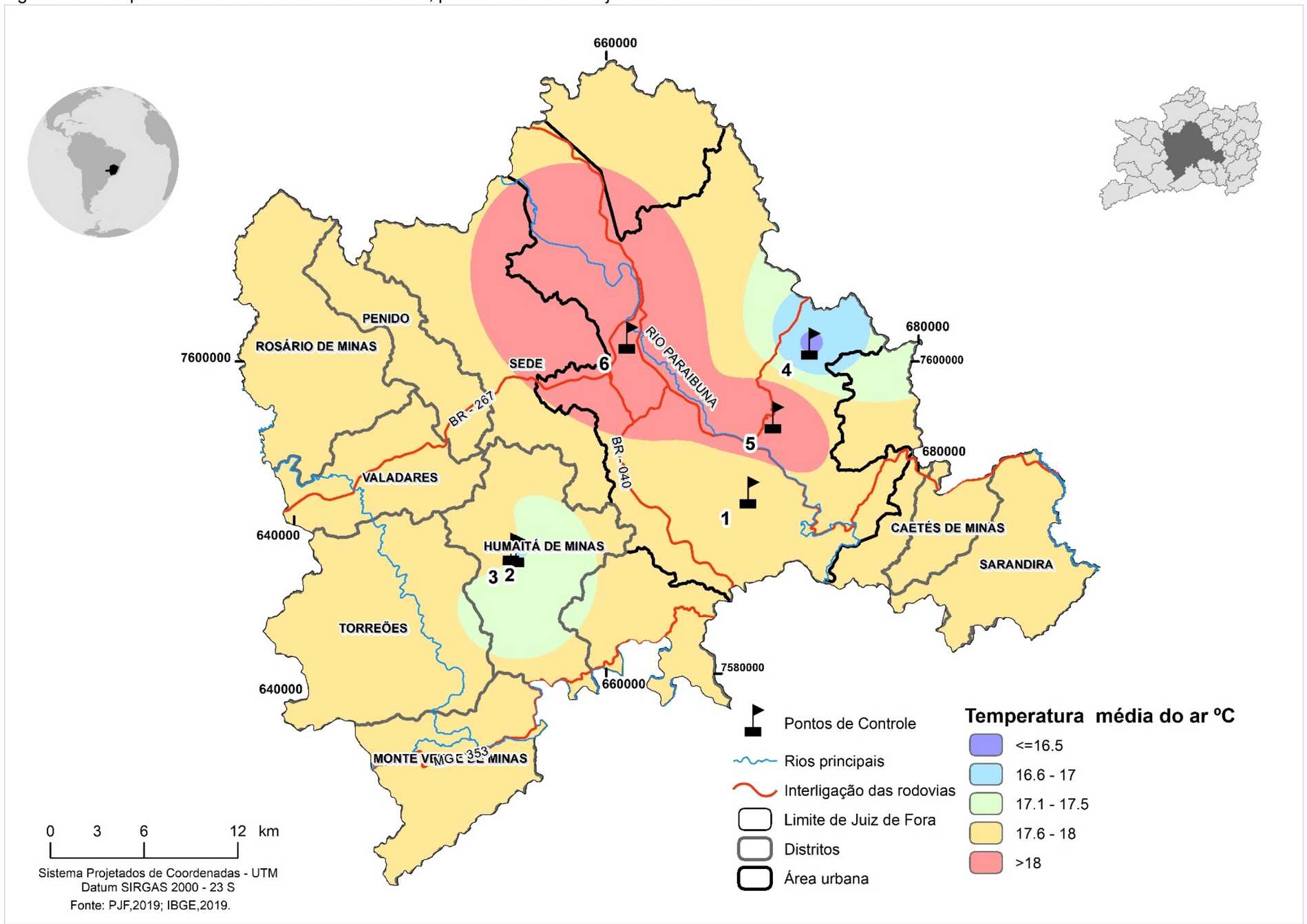
## 4.3 Unidades Climáticas

### *4.3.1 Esboço das unidades climáticas*

Como primeiro esforço de traçado das unidades climáticas, foi proposta a composição das unidades climáticas a partir da combinação das variáveis. Esta proposição inicial foi publicada em Assis e Jardim (2020), utilizando os planos de entrada: temperatura do ar média entre os meses de julho e setembro de 2019 interpolada, Uso da Terra (PJF-2014) e Morfologia (PJF-2014). Destaca-se que estas eram as fontes de dados obtidas na primeira fase da pesquisa, entretanto durante construção da tese foram obtidos dados que melhor se adequaram à proposta metodológica.

Para transformar os dados de temperatura do ar coletados pontualmente, fez-se uso de técnicas de interpolação dos valores, cujo produto pode ser visualizado na figura 46, a seguir.

Figura 46 - Temperatura média do ar em Juiz de Fora, para os meses entre julho e setembro de 2019




Fonte: Elaborado pela autora.

Através da Figura 46 foi possível visualizar a formação de 2 grandes zonas, uma representada em vermelho, que incorpora pontos de controle 4 e 6, os quais já foram apontados anteriormente como os pontos com temperaturas mais elevadas. Uma questão de destaque está, também, no ponto 1, alocado na estação meteorológica do INMET e que apesar de estar em altitude mais elevada, sendo caracterizada no mapa morfológico como Degraus Reafeiçoados, o fator altimétrico atuou de maneira pouco significativa, uma vez que o entorno dessa área, atualmente, é densamente urbanizado, sendo indicada como zona de expansão pelo novo plano diretor.

Além disso, observa-se também duas áreas com valores de temperaturas menos elevadas, localizadas em áreas mais distantes das áreas densamente urbanizadas, sendo cercadas de fragmentos de vegetação intercalados com pastagem e corpos hídricos, como é o caso da Vila dos Sonhos que se encontra próxima à represa Dr. João Penido, um dos principais mananciais de abastecimento do município.

Partindo para além do zoneamento térmico traçado pelo interpolador, buscou-se relacionar as características térmicas do município, associadas aos fatores de relevo e de uso da terra, sendo possível esboçar possíveis zonas topoclimáticas, como apresentado na figura 47.

No mapa a seguir, foi possível visualizar a diferenciação de 34 classes topoclimáticas, as quais são resultados de combinações existentes em cada janela de análise em relação à temperatura, uso da Terra e morfologia do terreno (a descrição de cada combinação pode ser visualizada na tabela). Dessa forma, verifica-se 4 unidades mesoclimáticas, de acordo Monteiro e Mendonça (2003), com destaque representadas pelas cores verde, vermelho, roxo e amarelo. Com relação a área em torno dos pontos 2 e 3, visualiza-se certa homogeneidade, a classe predominante dessa zona é a 352, com temperatura entre 17°C e 17.5ºC, com uso predominante de pastagem e morfologia de Degraus Reafeiçoados. E essa zona também é visualizada entre duas outras zonas formadas em torno dos pontos 4 e 5, marcando possivelmente uma área de transição.

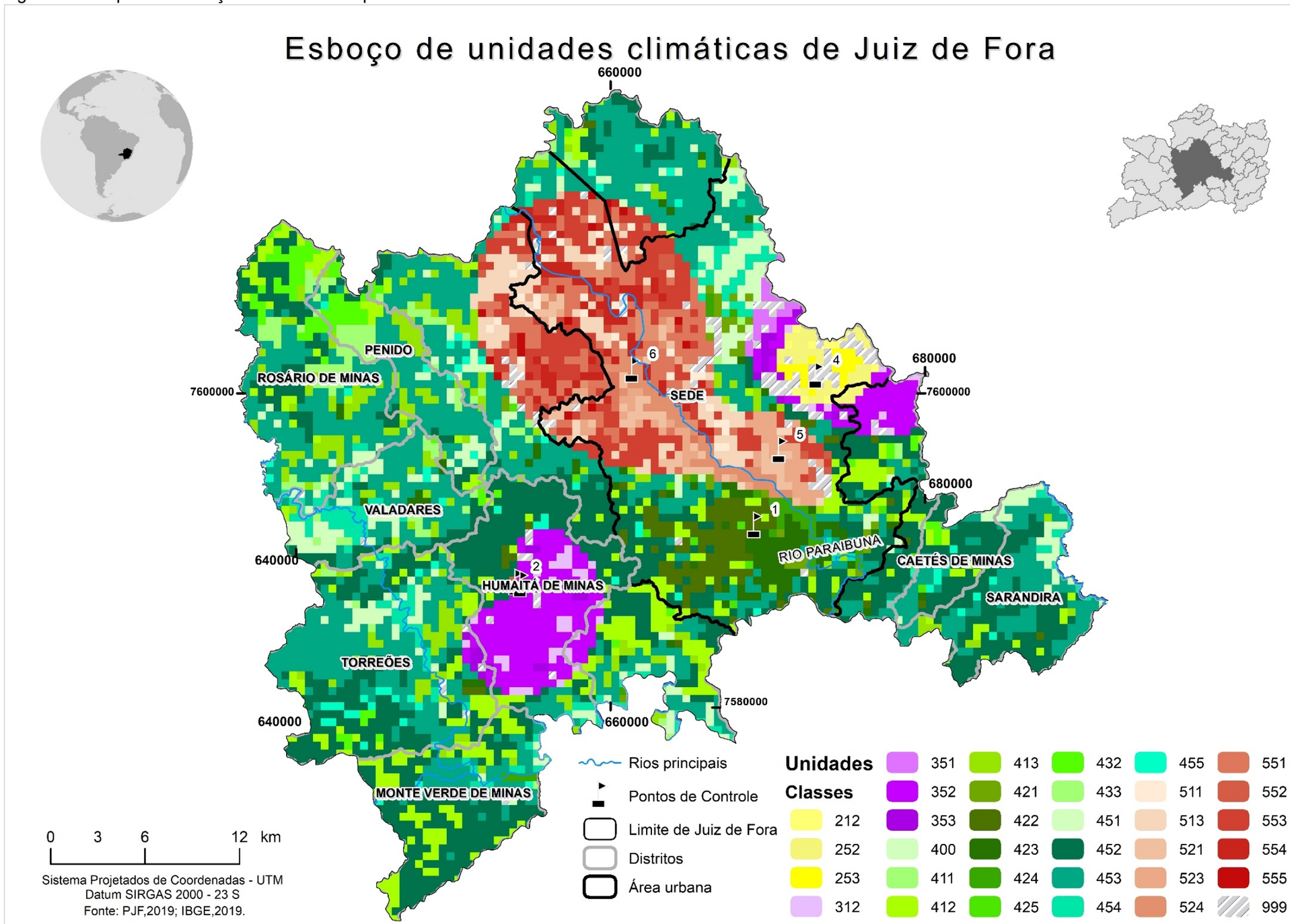
As classes de maiores representatividades são as 452 (Temp. 17.5°C e 18ºC, Pastagem, Degraus Reafeiçoados) e 453 (Temp. 17.5°C-18ºC, Pastagem, Morros), com 31 mil e 36 mil hectares de extensão, sendo o relevo o componente

que as diferencia. Uma área interessante encontra-se em torno no ponto 1, na classe 42, com temperaturas entre 17.5°C-18ºC, uso de área antropizada e morfologia de degraus reafeiçoados, com 3.3 mil hectares de extensão. Nessa localidade encontra-se um potencial zona de expansão, a popularmente conhecida cidade alta.

A zona identificada na cor vermelha se apresenta apenas em torno do rio Paraibuna, somando em todas as suas variações cerca de 24 mil hectares. Nessa área há variações principalmente atreladas a condições de relevo, uma vez que boa parte dessa área se encontra em uso de pastagem e na mesma faixa térmica.

Por meio desse esboço de traçado de unidade verifica-se a complexidade do objeto de estudo ao delimitar zonas homogêneas, visto a quantidade de ruídos encontrados entre elas com quadrículas pulverizadas pelo município que, mesmo apresentando-se com representatividade de área, não se apresentam de forma espacialmente agrupadas. Dessa forma, na tabela 30 é possível visualizar o quantitativo de área de cada combinação traçada (Figura 47).

Figura 47 - Mapa com esboço das unidades topoclimáticas.




Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 30 - Descrição das classes do mapa de unidades topoclimáticas

| Classes | Descrição (Temp., Uso do Terra e Morfologia) | Área (ha) |
|---|---|---|
| **212** | Temp. 16.5-17ºC, Vegetação, Degraus Reafeiçoados | 375 |
| **252** | Temp. 16.5-17ºC, Pastagem, Degraus Reafeiçoados | 1175 |
| **253** | Temp. 16.5-17ºC, Pastagem, Morros | 550 |
| **312** | Temp. 17-17.5ºC, Vegetação, Degraus Reafeiçoados | 1250 |
| **351** | Temp. 17-17.5ºC, Pastagem, Colinas | 625 |
| **352** | Temp. 17-17.5ºC, Pastagem, Degraus Reafeiçoados | 6725 |
| **353** | Temp. 17-17.5ºC, Pastagem, Morros | 775 |
| **400** | Temp.17.5-18ºC, indefinido | 300 |
| **411** | Temp.17.5-18ºC, Vegetação, Colinas | 600 |
| **412** | Temp.17.5-18ºC, Vegetação, Degraus Reafeiçoados | 10525 |
| **413** | Temp.17.5-18ºC, Vegetação, Morros | 6450 |
| **421** | Temp.17.5-18ºC, Área Antropizada, Colinas | 900 |
| **422** | Temp.17.5-18ºC, Área Antropizada, Degraus Reafeiçoados | 3300 |
| **423** | Temp.17.5-18ºC, Área Antropizada, Morros | 2800 |
| **424** | Temp.17.5-18ºC, Área Antropizada, Planície Fluvial | 1025 |
| **425** | Temp.17.5-18ºC, Área Antropizada, Planície Terraços | 300 |
| **432** | Temp.17.5-18ºC, Silvicultura e Agricultura, Degraus Reafeiçoados | 2300 |
| **433** | Temp.17.5-18ºC, Silvicultura e Agricultura, Morros | 2550 |
| **451** | Temp.17.5-18ºC, Pastagem, Colinas | 7625 |
| **452** | Temp.17.5-18ºC, Pastagem, Degraus Reafeiçoados | 31000 |
| **453** | Temp.17.5-18ºC, Pastagem, Morros | 36500 |
| **454** | Temp.17.5-18ºC, Pastagem, Planície Fluvial | 5275 |
| **455** | Temp.17.5-18ºC, Pastagem, Planície Terraços | 1975 |
| **511** | Temp.>18ºC, Vegetação, Colinas | 900 |
| **513** | Temp.>18ºC, Vegetação, Morros | 3050 |
| **521** | Temp.>18ºC, Área Antropizada, Colinas | 1525 |
| **523** | Temp.>18ºC, Área Antropizada, Morros | 1925 |
| **524** | Temp.>18ºC, Área Antropizada, Planície Fluvial | 2025 |
| **551** | Temp.>18ºC, Pastagem, Colinas | 4650 |
| **552** | Temp.>18ºC, Pastagem, Degraus Reafeiçoados | 300 |
| **553** | Temp.>18ºC, Pastagem, Morros | 6650 |
| **554** | Temp.>18ºC, Pastagem, Planície Fluvial | 2350 |
| **555** | Temp.>18ºC, Pastagem, Planície Terraços | 375 |
| **999** | Classes pouco representativas | 3450 |

Fonte: elaborado pela autora.

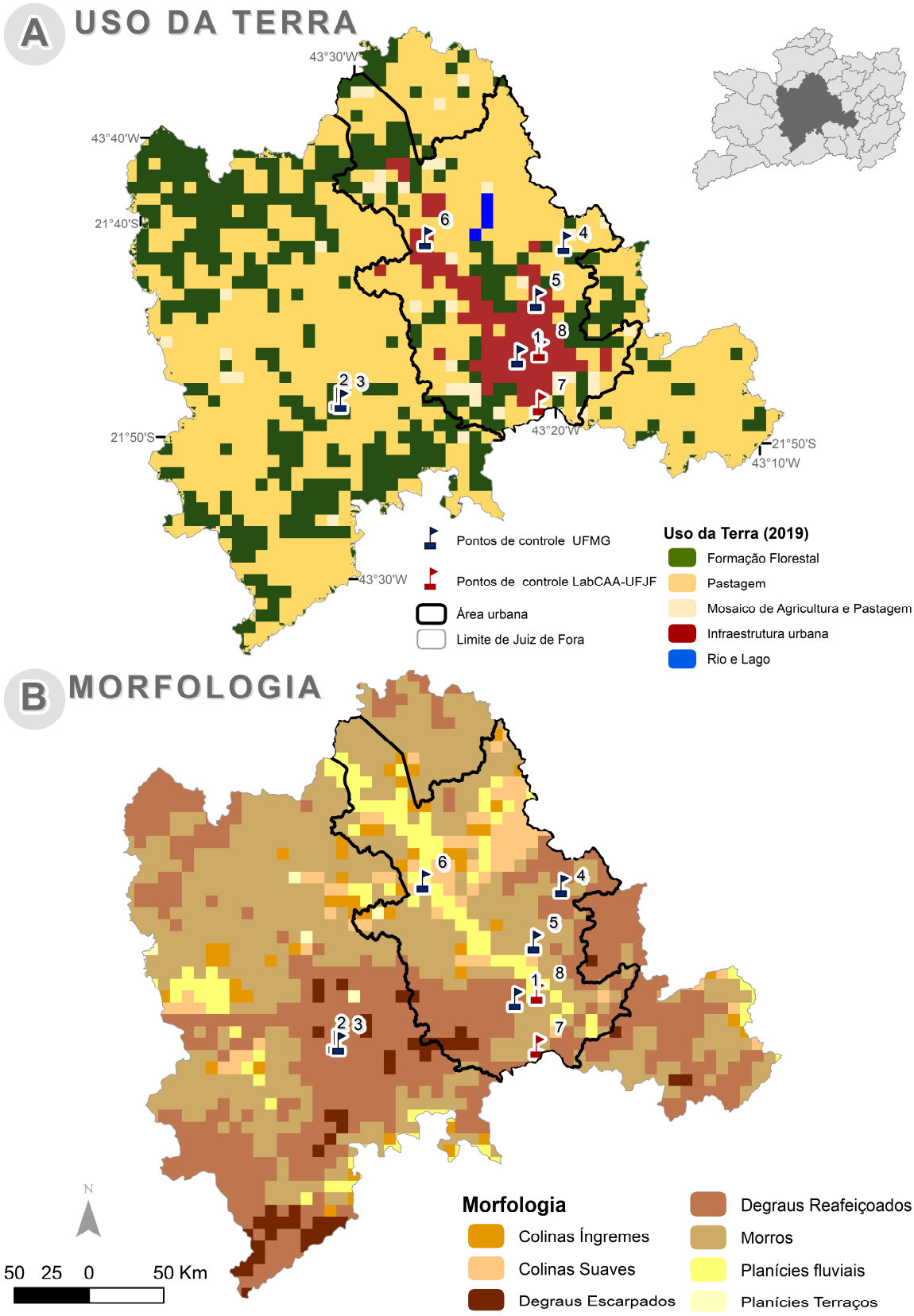
Observou-se que o resultado gerado pelo interpolador IDW apresenta limitações em relação à distribuição da temperatura, uma vez que o ponto 2, alocado na área de pasto, possui elevados valores de temperatura, mas que na representação espacial é representada dentro de polígonos com temperaturas menores, o que demonstra possíveis imprecisões do produto.

Sendo assim, para composição do esboço das unidades climáticas final, foram executados ajustes para aperfeiçoamento do resultado, como a alteração do mapa de temperatura do ar interpolada para o de estimada. Alterou-se também a fonte do mapa de uso da terra, para o raster do Mapbiomas de 2019, visto que tem maior coerência temporal com os dados coletados em campo. Além das alterações dos planos de informação de entrada, ampliou-se a área da grade de 500x500 metros para um 1x1 quilômetro, na busca de maior generalização.

### *4.3.2 Unidades climáticas por análise de combinatória*

Após melhorias nos procedimentos metodológicos para confecção do esboço das unidades climáticas, fez-se uma rodada de análise para traçar o esboço das unidades sob diferentes tipos de tempo. Como produto intermediário, gerou-se as grades com dados de uso da terra e morfologia majoritária em parcelas de 1 por 1 km (Figura 48).

Figura 48 - Mapas de entrada na análise de combinatória para geração das unidades climáticas. Mapa A - Uso e Ocupação da Terra; Mapa B - Morfologia




Fonte: elaborado pela autora.

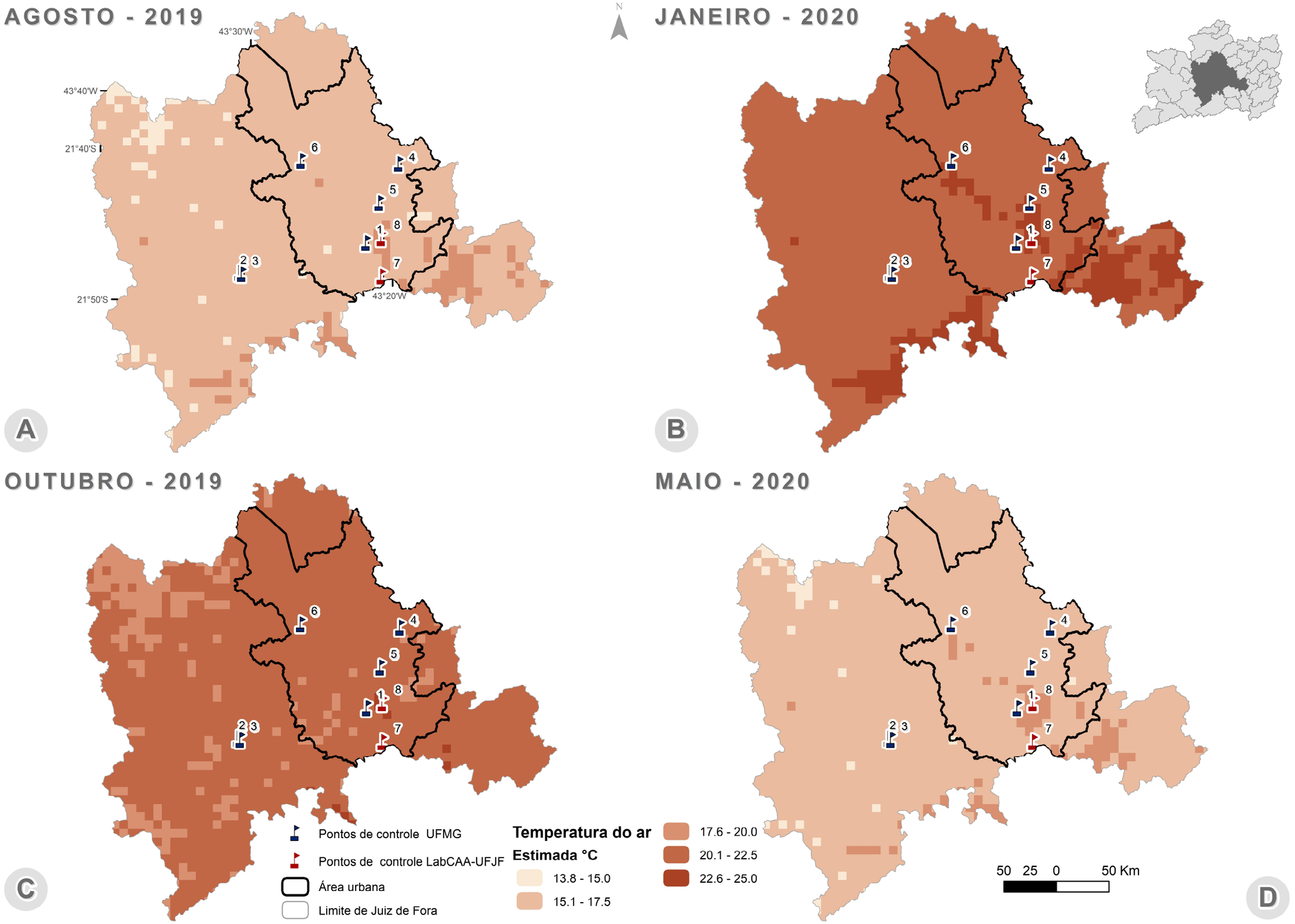
No mapa A da figura 48, observa-se que área urbana concentra todas as parcelas de infraestrutura urbana, a qual responde por 6% do total de células. É possível observar também a participação predominante do uso de pastagem, o qual equivale a 63%, em grande parte situados em áreas rurais da bacia do Peixe e Cágado. Destaca-se também parcelas de pastagens em zona periurbana, na região nordeste. Além disso, verifica-se que 28% das parcelas foram classificadas como Formação Florestal, concentrando-se no extremo norte e na faixa que parte da região leste no sentido sudoeste, cruzando a área urbana.

Sobre a morfologia (Figura 48-B) destacam-se três classes morfológicas que correspondem a 88% das parcelas no município. Inicialmente, a classe de morros, que se distribui em todo município, mas se apresenta de maneira preponderante da porção norte, somando 43% do total de parcelas. Em seguida, observa-se as células de degraus reafeiçoados, as quais são responsáveis por 36% do total, estas se concentram principalmente ao sul, na maior parte fora da área urbana.

Em razões menores, mas com relevância no comportamento térmico, têm-se setores rebaixados com vales fluviais, que só de planícies fluviais somam 8% da totalidade. Estas ocorrem principalmente na área urbana, devido à área de planície do rio Paraibuna e uma pequena parte na área rural, na planície do rio do Peixe.

Destaca-se que esta análise se trata de uma generalização, que permite uma intepretação do comportamento mais abrangente dos planos de entrada para formação das unidades. Além destes dados “estáticos”, faz-se necessário calcular o padrão de temperatura do ar estabelecido sob cada tipo de tempo e, assim sendo, calculou-se o comportamento médio da variável nas parcelas de 1 por 1 km, da mesma forma (Figura 49). As faixas térmicas estabelecidas foram de acordo com a amplitude térmica máxima encontrada entre os quatro meses analisados.

Figura 49 - Mapas de temperatura média por parcela sob diferentes tipos de tempo. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação do MPA.




Fonte: elaborado pela autora.

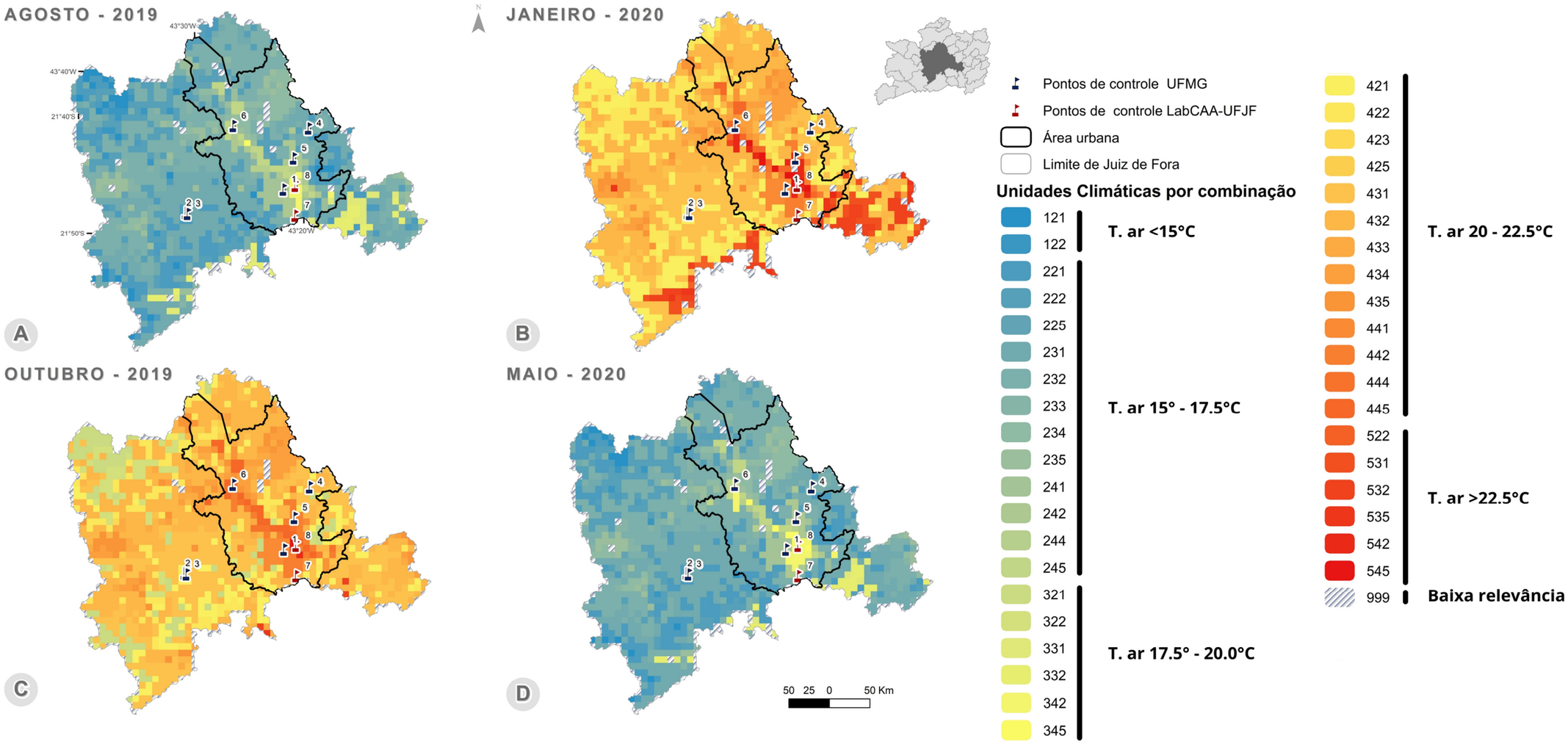
Nos mapas de temperatura classificados para permitir comparação entre os meses, percebe-se uma distribuição uniforme das classes. Assim como no mês de outubro em que há homogeneidade, porém ao norte da área rural percebe-se parcelas de classes de temperaturas mais baixas que na maior parte do município. O mês de janeiro possui menor variação de classes dentre as parcelas, destacando apenas a área central, com infraestrutura urbana e porção sul da bacia do Peixe e do Cágado, dentre essas áreas destacadas há a similaridade de morfologia, pois se trata de planícies fluviais.

A partir da combinação dos planos de informação, gerou-se um esboço das unidades (Figura 50). Neste mapeamento foram observadas 39 classes com mais de 1% de participação na área de estudo nos quatro tipos de tempo, as classes com atuação inferior a este percentual foram agrupadas como de baixa relevância ou com dados insuficientes (Tabela 31).

Neste esboço visualiza-se que há um comportamento geral do município, em que é possível indicar zonas potencialmente mais frias ou mais quentes. De maneira geral, afirma-se que há similaridades entre os meses de janeiro e outubro e nos meses de agosto e maio, devido a sazonalidade climática do município.

Nos mapas de janeiro e outubro (Figura 50 - B e C) observam-se temperaturas mais elevadas, porém em outubro verifica-se a ação mais significativa da formação florestal no arrefecimento da temperatura, como se observa na região noroeste, local em que há muitas parcelas com este uso predominante. As variações observadas são confirmadas pela presença de parcelas de classes com temperaturas entre 17.5 e 20°C, cerca de 10% do total. Além da escassa participação de classes com temperatura superior a 22.5°C, que não somam 1%. Em contrapartida, em janeiro não há unidades com temperatura entre 17.5 e 20°C e as parcelas de unidades com valor superior 22.5°C totalizam 8%.

Figura 50 - Esboço das unidades climáticas por combinação. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação do MPA




Fonte: elaborado pela autora.

Sendo assim, constata-se que em janeiro (B) a redução da temperatura se dá em menor grau, enquanto nas áreas mais rebaixadas com planícies combinadas com infraestrutura urbana ou pastagem ocorre a potencialização de temperaturas mais elevadas, o que gera maior contraste com as áreas adjacentes.

Sob atuação da mTa com temperaturas mais elevadas, visualiza-se a participação menos efetiva da morfologia na elevação das temperaturas, isto fica evidente na região da bacia do Cágado em que as classes observadas são similares às encontradas na zona rural à oeste. Em contrapartida, em janeiro na mesma região do Cágado e sul da bacia do Peixe detectou-se classes de temperaturas mais elevadas e destoantes das observadas na área rural oeste. Isto pode ser explicado devido ao fator umidade que alcança maiores percentuais no mês de janeiro já que devido a ZCAS e aos sistemas frontais, a umidade age na redução das amplitudes térmicas e atenuação da influência do fator altimétrico.

Com relação aos meses de agosto e maio, sob ação da mTa mais fria e mPa, o comportamento mapeado foi muito similar, demostrando que nesta escala, sob temperaturas mais baixas, as unidades tendem a assemelhar-se, mesmo que sob sistemas distintos.

Destaca-se que apesar da abordagem trazer diretrizes para delimitação de unidades climáticas, pode conter imprecisões devido às generalizações, as quais limitam a observação das singularidades. Além disso, o método não diferencia os processos envolvidos na constituição da resposta termodinâmica, ou seja, áreas com mesma temperatura são consideradas como iguais, enquanto os fatores e as dinâmicas responsáveis pelo comportamento são distintos.

Tabela 31 - Descrição das unidades mapeadas, por análise combinatória

| Código da unidade | Descrição |
|---|---|
| **121** | Temp. ar <=15°C; Formação Florestal; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **122** | Temp. ar <=15°C; Formação Florestal; Morros |
| **221** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Formação Florestal; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **222** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Formação Florestal; Morros |
| **225** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Formação Florestal; Planícies Fluviais/Terraços |
| **231** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Pastagem; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **232** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Pastagem; Morros |
| **233** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Pastagem; Colinas íngremes |
| **234** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Pastagem; Colinas Suaves |
| **235** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Pastagem; Planícies Fluviais/Terraços |
| **241** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Infraestrutura urbana; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **242** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Infraestrutura urbana; Morros |
| **244** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Infraestrutura urbana; Colinas Suaves |
| **245** | Temp. ar 15° - 17.5° C; Infraestrutura urbana; Planícies Fluviais/Terraços |
| **321** | Temp. ar 17.5° - 20° C; Formação Florestal; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **322** | Temp. ar 17.5° - 20° C; Formação Florestal; Morros |
| **331** | Temp. ar 17.5° - 20° C; Pastagem; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **332** | Temp. ar 17.5° - 20° C; Pastagem; Morros |
| **333** | Temp. ar 17.5° - 20° C; Pastagem; Colinas íngremes |
| **345** | Temp. ar 17.5° - 20° C; Infraestrutura urbana; Planícies Fluviais/Terraços |
| **421** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Formação Florestal; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **422** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Formação Florestal; Morros |
| **423** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Formação Florestal; Colinas íngremes |
| **425** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Formação Florestal; Planícies Fluviais/Terraços |
| **431** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Pastagem; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **432** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Pastagem; Morros |
| **433** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Pastagem; Colinas íngremes |
| **434** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Pastagem; Colinas Suaves |
| **435** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Pastagem; Planícies Fluviais/Terraços |
| **441** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Infraestrutura urbana; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **442** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Infraestrutura urbana; Morros |
| **444** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Infraestrutura urbana; Colinas Suaves |
| **445** | Temp. ar 20° - 22.5° C; Infraestrutura urbana; Planícies Fluviais/Terraços |
| **522** | Temp. ar >22.5° C; Formação Florestal; Morros |
| **531** | Temp. ar >22.5° C; Pastagem; Degraus Reafeiçoados/Escarpados |
| **532** | Temp. ar >22.5° C; Pastagem; Morros |
| **535** | Temp. ar >22.5° C; Pastagem; Planícies Fluviais/Terraços |
| **542** | Temp. ar >22.5° C; Infraestrutura urbana; Morros |
| **545** | Temp. ar >22.5° C; Infraestrutura urbana; Planícies Fluviais/Terraços |
| **999** | Baixa relevância ou dados insuficientes |

Fonte: elabora pela autora.

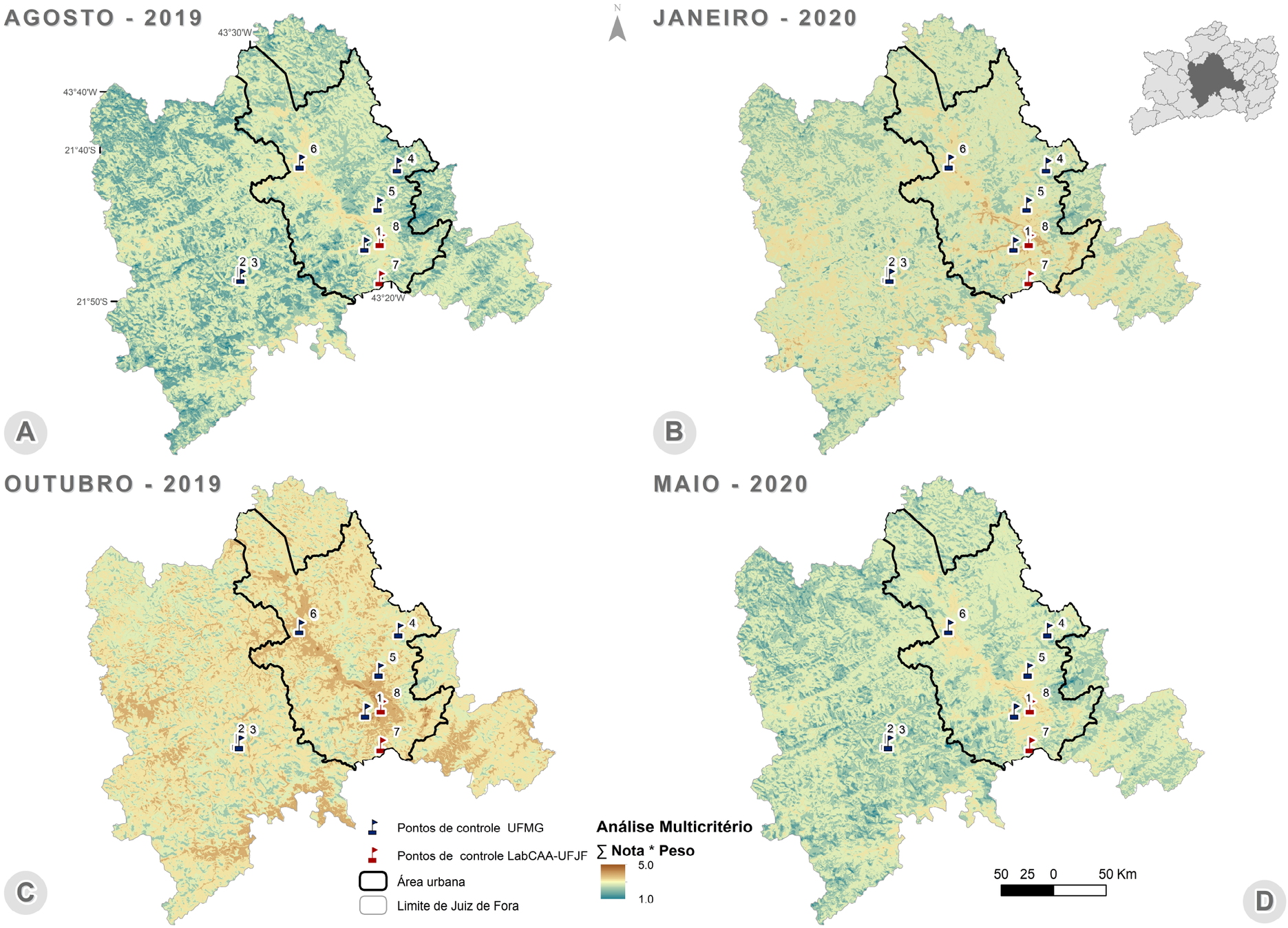
### *4.3.3* Unidades climáticas por análise de multicritério

As unidades climáticas de Juiz de Fora delimitadas a partir da análise multicritério, foram definidas a partir de critérios relacionados à forma, estrutura

e dinâmica. A forma está relacionada à distribuição do componente térmico na área de estudo, em que foram observadas a concent1ração e combinação das classes resultantes da análise multicritério (Figura 51).

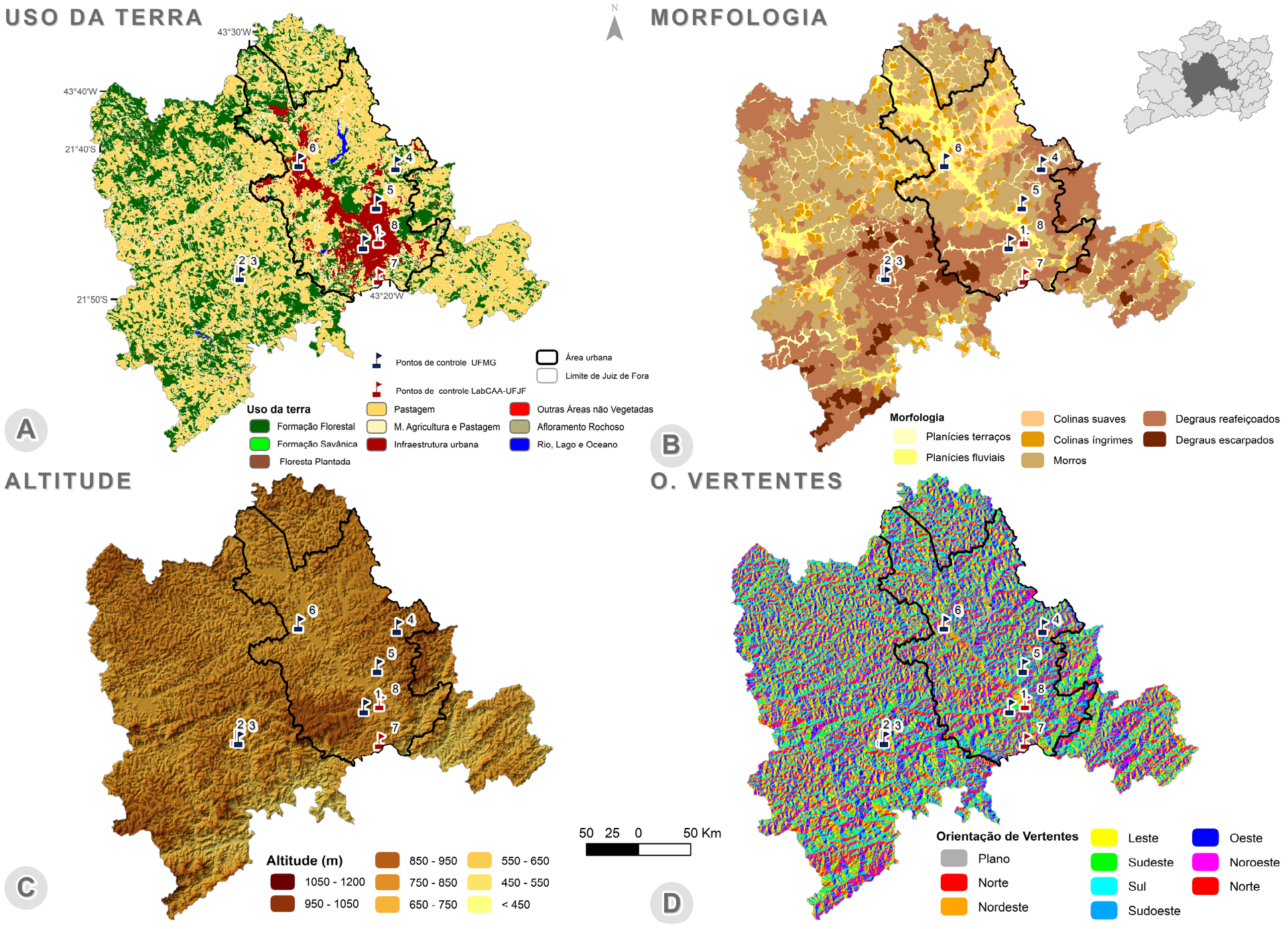
Com relação à estrutura, pensou-se em uma divisão inicial das unidades tomando as bacias hidrográficas que compõem o município, visto que a distribuição do comportamento térmico demonstrou relacionamento direto com a divisão das bacias do rio do Peixe, rio Paraibuna e rio Cágado. Este relacionamento justifica-se pelo fato do uso das camadas de altitude e morfologia do relevo como planos de informação no mapeamento das unidades (Figura 52).

Figura 51 - Resultado da análise multicritério. Mapa A sob atuação da mTa em condições mais frias; Mapa B sob atuação de ZCAS e Frentes Frias; Mapa C sob atuação da mTa em temperaturas mais elevadas; Mapa D sob atuação da mPa




Fonte: elaborado pela autora.

Figura 52 -Planos de informação utilizados na análise multicritério.




Fonte: Elaborado pela autora.

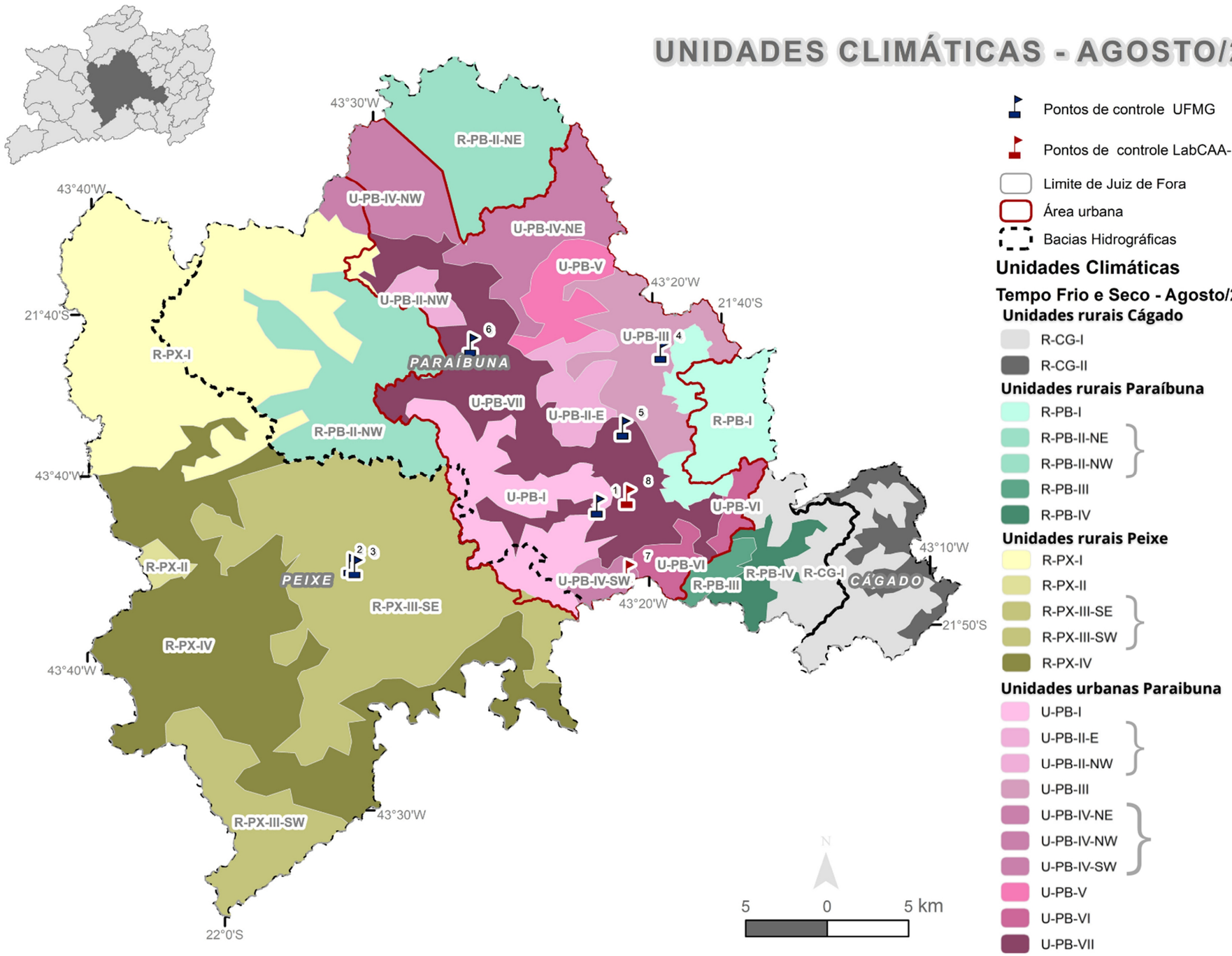
A divisão entre as bacias revela a ação determinante dos fatores naturais que compõe unidades, porém ressalta-se que apesar de ter utilizado os limites das bacias hidrográficas como critério de orientação e identificação dos recortes da paisagem, as unidades não obedecem exatamente a delimitação das bacias. Isso acontece porque o critério de maior peso no processo de vetorização das unidades, foram os padrões observados no resultado da análise multicritério. Diante disso, a delimitação das bacias só foi acionada, quando havia dubiedade na interpretação do resultado e para denominação das unidades.

Para além da forma e estrutura, outro critério foi a dinâmica, visto que além dos aspectos estáticos que compõem a unidade, que também possui variações dinâmicas, ou seja, um recorte pode possuir características térmicas semelhantes e ainda assim se diferenciar no processo de aquecimento ou resfriamento. Como no caso das áreas de pastagem, as quais possuem temperatura do ar e superfície semelhantes à áreas de infraestrutura urbana, porém a lógica de entrada, armazenamento e dissipação de energia são diferentes, até mesmo na distribuição horária.

#### *4.3.3.1 Sob atuação da mTa, em agosto de 2019*

A partir dessas diretrizes tem-se delimitação das unidades climáticas para o tipo de tempo sob atuação da mTa, com temperaturas mais baixas e pouca ocorrência de chuva, considerando o mês de agosto de 2019 como mais representativo do sistema dentro do período estudado. Nestas condições, o município de Juiz de Fora, foi dividido em 4 grandes grupos, os quais foram denominados de acordo com bacia hidrográfica em que se encontram majoritariamente, sendo estes: “Unidades rurais do Cágado”, “Unidades rurais do Peixe”, “Unidades rurais do Paraibuna” e “Unidades urbanas do Paraibuna” (Figura 53).

Figura 53 - Mapa das unidades climáticas do município de Juiz de Fora, sob atuação da mTa




Fonte: elaborado pela autora.

Além da divisão por bacia hidrográfica e distinção entre rural e urbana, as unidades foram identificadas a partir do seu comportamento térmico combinados às características de relevo e uso e ocupação da terra.

Foram mapeadas 22 unidades climáticas no município de Juiz de Fora, sob atuação da massa tropical atlântica (mTa). Destas, 17 são unidades distintas e 5 são áreas com características semelhantes, mas distribuídas em regiões distintas (Tabela 32). As unidades da bacia do Cágado recobrem apenas área rural, das quais foram identificadas apenas duas unidades, “R-CG-I” e “R-CG-II”.

A “R-CG-I” consiste na unidade rural da bacia do Cágado e grau térmico I, é formada por relevo de degraus reafeiçoados, os quais consistem em degraus de transição entre compartimentos diferentes, com desníveis altimétricos de 200 a 400 metros de altitude (SILVA, 2002). Este desnível é calculado a partir das bacias formadoras da rede de drenagem em que a intensidade da dissecação do relevo é medida através da diferença entre a cota superior e inferior (EDUARDO, 2018).

Tabela 32 - Características das unidades climáticas sob atuação da mTa, no mês de agosto de 2019

**(continua)**

| Código da unidade | Descrição | Morfologia | Uso da Terra | Altitude média (m) | T. mínima ar °C | T. máxima ar °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R-CG-I | Unidade rural da bacia do rio Cágado I | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 700.7 | 14.4 | 18.7 |
| R-CG-II | Unidade rural da bacia do rio Cágado II | Morros | Pastagem | 650.7 | 15.3 | 18.7 |
| R-PB-I | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna I | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 820.4 | 13.7 | 18.7 |
| R-PB-II-NE | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna II Nordeste | Morros | Pastagem | 793 | 13.6 | 17.7 |
| R-PB-II-NW | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna II Noroeste | Morros | Pastagem | 759.6 | 13.6 | 18 |
| R-PB-III | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna III | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 692.7 | 14.7 | 18.7 |
| R-PB-IV | Unidade rural da bacia do | Morros | Pastagem | 576.3 | 14.5 | 19.5 |

| Código da unidade | Descrição | Morfologia | Uso da Terra | Altitude média (m) | T. mínima ar °C | T. máxima ar °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | rio Paraibuna IV | | | | | |
| R-PX-I | Unidade rural da bacia do rio do Peixe I | Morros | Formação Florestal | 796.6 | 13.6 | 17.9 |
| R-PX-II | Unidade rural da bacia do rio do Peixe II | Degraus Reafeiçoados | Formação Florestal | 797.7 | 13 | 17.8 |
| R-PX-III-SE | Unidade rural da bacia do rio do Peixe III Sudeste | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 759.3 | 12.9 | 18.9 |
| R-PX-III-SW | Unidade rural da bacia do rio do Peixe III Sudoeste | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 801.3 | 12.9 | 18.7 |
| R-PX-IV | Unidade rural da bacia do rio do Peixe IV | Morros | Pastagem | 716.5 | 13.2 | 20.4 |
| U-PB-I | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna I | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 831.3 | 12.9 | 19 |
| U-PB-II-E | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna II Leste | Morros | Formação Florestal | 774 | 14.4 | 18 |
| U-PB-II-NW | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna II Noroeste | Morros | Formação Florestal | 753.5 | 14.2 | 17.7 |
| U-PB-III | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna III | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 826.7 | 13.6 | 17.7 |
| U-PB-IV-NE | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna IV Nordeste | Morros | Pastagem | 778.3 | 14.3 | 18.3 |
| U-PB-IV-NW | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna IV Noroeste | Morros | Pastagem | 753 | 14.1 | 18.6 |
| U-PB-IV-SW | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna IV Sudoeste | Morros | Pastagem | 800.9 | 13.9 | 18.2 |

| Código da unidade | Descrição | Morfologia | Uso da Terra | Altitude média (m) | T. mínima ar °C | T. máxima ar °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| U-PB-V | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna V | Colinas Suaves | Pastagem | 767.1 | 15 | 17.7 |
| U-PB-VI | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna VI | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 702.3 | 14.4 | 19.2 |
| U-PB-VII | Unidade urbana da bacia ia rio Paraibuna VII | Planície fluvial | Infraestrutura Urbana | 732.8 | 13.4 | 21.1 |

Fonte: elaborado pela autora.

A “R-CG-I” é coberta por áreas de pastagens que registraram temperatura do ar média entre 14.4°C e 18.7°C, esta característica térmica guarda relação com a morfologia predominante na área, a qual possui altitudes mais elevadas em torno de 700.7 metros. Destaca-se que esta unidade possui maior representatividade dentro da bacia do Cágado no município de Juiz de Fora, visto que possui cerca de 7 mil hectares de área.

Por outro lado, a unidade “R-CG-II”, possui menor expressividade com 2.6 mil hectares, a unidade rural da bacia do Cágado de grau térmico II é formada por áreas de morros. Estes morros possuem desnivelamento altimétrico de 100 a 200 metros entre duas cotas extremas, o que indicam vales mais encaixados. Os morros desta unidade também são cobertos por pastagem, com temperatura do ar mínima média de 15.3°C e máxima de 18.7°C, em altitude de 650.7 metros. As duas unidades do Cágado se diferenciam termicamente devido aos seus registros mínimos, essa disparidade pode ser inferida devido às diferenças nas características morfológicas, principalmente quanto à altitude, visto que a unidade II já contempla áreas da planície fluvial de demais setores rebaixados das vertentes que acompanham o vale do rio Cágado.

A bacia do rio Paraibuna possui cinco unidade climáticas rurais, sendo que duas destas são unidades de mesmas características, porém encontradas em regiões distintas dentro da bacia. Além das unidades rurais, esta bacia possui todas as unidades urbanas observadas no município.

A unidade “R-PB-I”, é a unidade rural da bacia do Paraibuna com grau térmico I, ou seja, é a unidade com a menor média térmica registrada entre as unidades rurais da bacia. Essa unidade, que possui 5 mil hectares, caracteriza-se pela morfologia de degraus reafeiçoados, revestido por áreas de pastagens, com altitude média de 820 metros e a menor temperatura mínima registrada na área rural da bacia do Paraibuna, com 13.7°C e máxima de 18.7°C.

Com grau térmico II, a unidade rural do Paraibuna “R-PB-II” possui uma subdivisão de nordeste e noroeste, as duas são compostas por morros com pastagens, com temperatura mínima média 13.6°C, sendo que na temperatura máxima há uma pequena diferença de 0.3°C, o que também é observado quanto à altitude com 30 metros de diferenças entre as unidades. Estas também são semelhantes quanto à distribuição de área, a nordeste com 7.2 mil hectares e a noroeste com 8.2 mil.

A “R-PB-III”, menor unidade rural da bacia do Paraibuna com 800 hectares, é a unidade rural do Paraibuna grau III é formada por degraus reafeiçoados cobertos por pastagem, em áreas mais rebaixadas da bacia no município, com 692.7 metros, com temperatura mínima 14.7°C e máxima 18.7°C.

Por fim, a última unidade rural da bacia do Paraibuna, com grau IV é a unidade rural mais quente, com temperatura mínima de 14.5°C e a máxima 19.5°C, o que está relacionado a altitude de 576.3 metros observada na área. A área é formada majoritariamente por morros cobertos por pastagens em uma área que se estende por 1.8 mil hectares.

Foram identificadas dez unidades urbanas na bacia do Paraibuna, sendo a unidade II na porção leste e noroeste da bacia e a unidade IV a nordeste, noroeste e sudoeste. Desta forma, observaram 7 unidades urbanas únicas, variando em graus termodinâmicos, com temperaturas que variaram de 12.9°C a 21.1°C, entre mínimas e máximas.

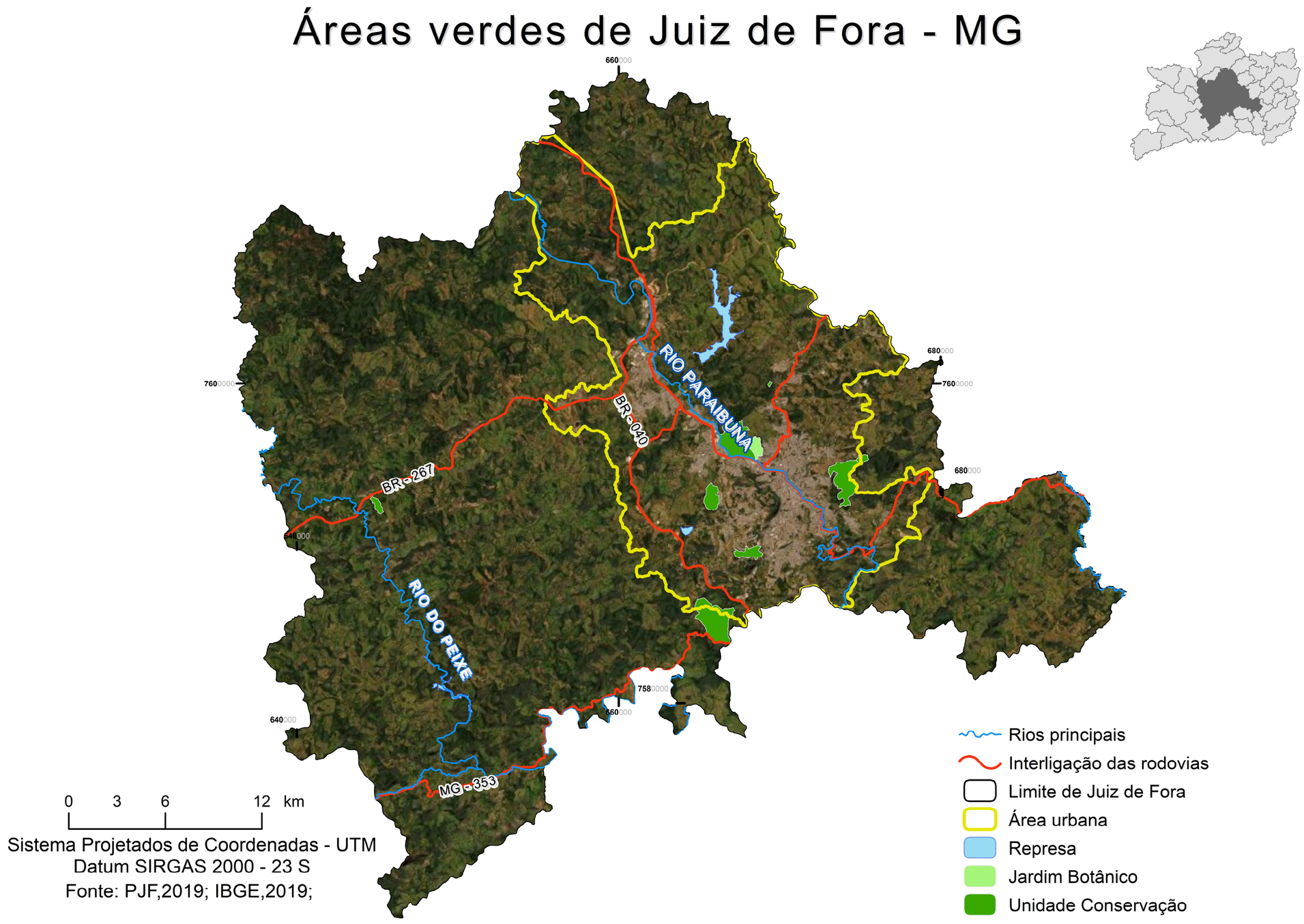
A unidade “U-PB-I”, na porção oeste da bacia, encontra-se sob a região popularmente conhecida como cidade alta, com a menor temperatura mínima registrada na área urbana, medindo 12.9°C. Caracteriza-se por sua elevada altitude, a maior média das unidades climáticas considerando toda a área de estudo, encontrando-se a 831 metros de altitude, em média. Formada por degraus reafeiçoados sobrepostos por pastagens, a área marcou 19°C de temperatura máxima

no polígono. Esta unidade encontra-se no limite da área urbana do município, entre os divisores de águas da bacia do rio do Paraibuna e do Peixe. Possui como fator determinante a sua altitude, a qual segundo Armani (2009) é um dos mais conhecidos e importantes controladores climáticos.

O comportamento térmico dessa unidade também foi percebido em Assis, Oliveira e Ferreira (2014), em que foi observado no dia 30 de julho de 2013 que a temperatura média de registrou 13.5°C no ponto monitorado na estação do INMET, localizada na Universidade Federal de Juiz de Fora. Essa área está inserida na unidade “U-PB-I”, que em comparação a outro ponto observado nas margens do rio Paraibuna na região central, mediu 18.7°C, ou seja, uma amplitude térmica de 5.2°C dentro de uma variação altimétrica de 260 metros. Porém, é importante destacar que as autoras também apontam para a importância de se considerar o uso da terra que cobrem estes pontos, visto que os mesmos podem potencializar as diferenças térmicas entre as áreas apontadas, não sendo a altitude o único fator atuante.

Neste sentido, é importante destacar que a “U-PB-I” localiza-se em uma área em processo de expansão com a criação de inúmeros condomínios combinados com áreas de pastagem e fragmentos de florestais, até mesmo unidades de conservação, como Parque Natural Municipal da Lajinha e a Reserva biológica Santa Cândida (figura 54).

Figura 54 - Áreas verdes no município de Juiz de Fora




Fonte: elaborado pela autora.

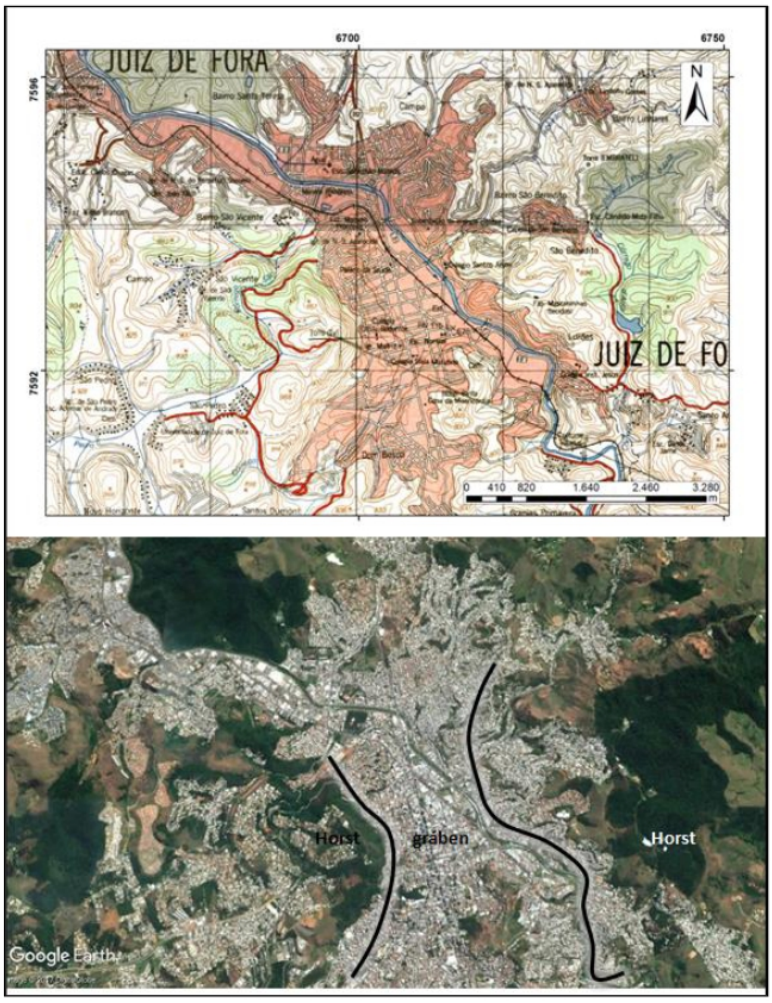
A unidade “U-PB-II” foi observada na porção urbana da região leste e sudoeste da bacia do rio Paraibuna, formada por morros cobertos, em sua maioria por formações florestais, e com altitudes muito semelhantes, na unidade ao leste (E) com 774 metros de altitude e na de noroeste (NW) com 753 metros. A mesma semelhança é observada em relação à temperatura, em que as máximas e as mínimas possuem diferença de no máximo 0.3°C, sendo na unidade E variando de 14.4°C a 18°C e na unidade NW o intervalo é de 14.2°C e 17.7°C.

Destaca-se que a unidade leste, possui maior área, com cerca de 2.3 mil hectares, enquanto a NW não chega aos mil hectares, além disso a leste abriga o Jardim Botânico e a APA da Mata do Krambeck. A presença destes fragmentos pode explicar a baixa amplitude térmica encontrada no recorte, visto a função desempenhada pela vegetação florestal, que retém umidade e executa a troca do calor sensível por calor latente, reduzindo a temperatura. Além da umidade, o sombreamento gerado pela vegetação ameniza o rigor térmico da estação quente no clima subtropical e durante o ano na região tropical (MASCARÓ, 1990), com a redução da temperatura máxima do ar e da amplitude térmica durante o dia, através da troca constante de calor sensível com o ar do sítio urbano.

A unidade “U-PB-III” encontra-se na extremidade leste da área urbana do município, fazendo limite com a zona rural, possui caráter residencial, configurando-se como unidade periurbana, a qual possui elementos urbanos mesclados com áreas de vazios com pastagens e fragmentos vegetacionais. Essa unidade, assim como unidade I, encontra-se em porções mais elevadas das unidades urbanas do Paraibuna, formada principalmente por degraus reafeiçoados cobertos por pastagens, em altitude média de 826.7 metros. A temperatura máxima registrada na área é 17.7°C, enquadrando-se entre as temperaturas máximas mais baixas deste grupo de unidades, já a temperatura mínima observada foi de 13.6°C.

É valido destacar a semelhança existente entre as unidades urbanas I e II, da bacia do Paraibuna, similaridade que está atrelada ao fator geomorfológico, pois ambas ocorrem sob as cimeiras horst do rio Paraibuna (Figura 55).

Figura 55 -Fragmentos da folha topográfica. e da imagem aérea do Google Earth, com eixos delimitadores da formação horst e gráben, desenho sem escala




Fonte: Eduardo, 2018.

O sistema de horst e gráben advêm de um relevo de estrutura falhada, a qual caracteriza-se por rupturas na crosta, com a criação de compartimentos abaixados e soerguidos (TORRES; MARQUES; MENEZES, 2012). O horst configura-se como um compartimento estruturalmente elevado, delimitado lateralmente por duas falhas ou degraus de falhas (TORRES; MARQUES; MENEZES, 2012).

Com a área de 5.2 mil hectares, a unidade “U-PB-III” demonstra a ação do relevo no comportamento termodinâmico, que só não apresentou temperaturas ainda mais reduzidas devido às áreas de pastagens que recobrem a área. Neste sentido, Mendonça (1994) ressalta que quanto maior for a movimentação e a variação altimétrica do relevo de um determinado sítio urbano, maiores serão as variações de temperatura e umidade, dentre outros elementos, no clima local e intraurbano.

Em continuidade da análise das unidades climáticas sob atuação da mTa, em agosto de 2019, observa-se a unidade “U-PB-IV”, a qual se subdivide em 3 seções, sendo estas: Nordeste (NE), Noroeste (NW) e Sudoeste (SW). Essa unidade é formada por áreas de morros com pastagens em sua maior parte, as subunidades concentram-se entre as cotas de 750 a 800 metros de altitude, caracterizam-se por áreas periurbanas, que de acordo com o fórum das cidades, são áreas de transição entre espaços estritamente rurais e áreas urbanas, ou aglomerados de residenciais localizados em paisagens rurais (GLOSSÁRIO, 2011).

O perfil periurbano contribui para formação de unidades que apesar de politicamente se encontrarem dentro dos limites urbanos, possuem características termodinâmicas muito semelhantes às unidades urbanas da bacia do Paraibuna. Estas subunidades possuem uma temperatura mínima média 14.1°C enquanto as máximas ficaram entorno de 18.4°C. As subunidades da porção NE e NW ocupam maior área, sendo 4.8 mil hectares e 4.2 mil hectares, respectivamente, enquanto a SW possuí menos de mil hectares.

A unidade “U-PB-V”, com 2.4 mil hectares, possui a menor amplitude térmica observada em todo município sob atuação da mTa, com apenas 2.7°C de variação entre a mínima e a máxima registrada. Essa unidade, constitui-se de colinas suaves, as quais são formadas pelo entulhamento dos vales e das reentrâncias das cabeceiras de drenagem, em um desnivelamento altimétrico de 20 a 80 metros entre as cotas mínimas e máximas (SILVA, 2002).

As temperaturas extremas variaram de 15°C a 17.7°C, a baixa amplitude é explicada pelo fato desta unidade contemplar quase que totalmente a lâmina d’agua da represa Doutor João Penido, localizada na região nordeste do município. De acordo com a CESAMA (2022), a represa foi construída com finalidade exclusiva de ser reservatório de acumulação de águas para o abastecimento de Juiz de Fora, sendo responsável por 50% do abastecimento da cidade, com 370 hectares de superfície. Este corpo d’agua comporta-se como regulador térmico da área, visto que a superfície d’água se aquece mais lentamente devido ao alto calor especifico, assim retém calor, o que contribui para redução da amplitude térmica (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Portanto, massas de água atuam como estabilizadores de temperaturas devido à redução de temperaturas extremas (ROMERO, 1988).

Com a menor altitude média, a 702.3 metros de altitude, a unidade “U-PB-VI” compõe-se de degraus reafeiçoados de pastagem, localiza-se no extremo sul da área urbana do município, inclusive fazendo fronteira com o município de Matias Barbosa. Inserida na área periurbana do município, esta unidade mescla áreas residenciais convencionais e de condomínios esparsados por áreas de pastagens. A unidade possui área aproximada de 2 mil hectares, com temperatura mínima de 14.4°C e máxima de 19.2°C. A combinação de áreas mais rebaixadas diante das demais, junto da cobertura de pastagens, favorece o aquecimento, sendo esta unidade a de penúltimo grau térmico dentre as unidades urbanas da bacia do Paraibuna.

Ribeiro (1994) afirma que superfícies de pastagem refletem a radiação de maneira mais eficiente, tanto na faixa visível, quanto na emissão de radiação infravermelha, por isso, a superfície de pastagem se mantém relativamente aquecida durante o dia. Isso se diferencia nas áreas florestais, pois os raios solares são absorvidos por múltiplas reflexões no interior do dossel.

No contexto florestal, a rugosidade da cobertura vegetal cria um fluxo de ar turbulento, o qual se mistura com as camadas de ar adjacente, provocando o resfriamento das faixas superiores próximas ao dossel (RIBEIRO,1994).

Por fim, a unidade de urbana do Paraibuna de maior grau térmico, a “U-PB-VII”, com de 12.4 mil hectares, cobre transversalmente a área urbana no sentido noroeste-sudeste. Com altitude média de 732.8 metros, está concentrada nos setores mais rebaixados do vale e planície do rio Paraibuna e revestida por infraestrutura urbana, na qual localiza-se a área mais adensada do município, contemplando a área central da cidade. Com a maior temperatura máxima registrada em todo município, 21.1°C, enquanto a mínima foi verificada em outras unidades, com 13.4 °C, esta unidade demonstra o comportamento térmico diferenciado dos componentes urbanos.

A concentração de massa construída nas áreas de infraestrutura urbana provoca um atraso da perda de calor devido à inercia térmica dos materiais de construção das edificações. Além disso, as construções funcionam como barreiras físicas para a circulação do ar (TSO *et al.* ,1990). As edificações atuam como barreiras físicas para a radiação, ou seja, determinam a quantidade de radiação que atingirá as superfícies, além de limitar as trocas de ar, fazendo com que aquela determinada área permaneça aquecida (ASSIS, 2016).

Além disso, áreas urbanizadas concentram materiais de baixo albedo, como é o caso do asfalto e do concreto, além de outros componentes em cores mais escuras. Sendo assim, quanto menor o albedo, maior absorção da radiação recebida, o que favorece o aquecimento dessas superfícies.

Além disso, tem-se a emissividade, que é no mínimo tão ou mais importante do que o albedo, quando se fala da influência no aquecimento das áreas urbanas, pois possuem inúmeros elementos de baixa emissividade, como por exemplo as coberturas metálicas, as quais apresentam temperaturas superficiais elevadas quando comparados a outros materiais. A emissividade se trata da capacidade de um objeto emitir radiação, sendo que quanto menor a emissividade maior a temperatura superficial.

Destaca-se que a unidade “U-PB-VII” contempla uma complexa área urbana de formas e estruturas heterógenas quando avaliadas em escala microclimática, mas no caso desta análise entendeu-se como recorte de homogeneidade quando comparado às demais unidades.

Finalmente, a respeito das unidades rurais da bacia do rio do Peixe, encontraram-se 5 unidades, sendo que duas com comportamento térmico, morfológico e de uso e cobertura semelhantes.

A unidade R-PX-I, encontra-se tanto na bacia do rio do Peixe, quanto na do Paraibuna, porém para classificá-la como da unidade do Peixe, observou-se a contiguidade espacial resultante da análise multicritério, em que a maior área de homogeneidade se encontra na porção da bacia do Peixe. Esta unidade caracteriza-se por suas temperaturas mais baixas, que na mínima marcaram 13.6°C e na máxima 17.9°C, com 4.2°C de amplitude. Concentra-se em áreas de morros cobertos por formações florestais, em altitude média de 796.6 metros.

Com características semelhantes à unidade I do Peixe, a unidade R-PX-II diferencia-se pela pequena área, com apenas 590 hectares, enquanto a unidade I possui 21.4 mil hectares. Em relação à morfologia, a unidade II é formada por degraus reafeiçoados no extremo oeste do município, já no limite com o município de Lima Duarte. A temperatura mínima na área foi de 13°C e máxima de 17.8°C

Já a unidade III, possui subdivisões na região sudeste e sudoeste da bacia do Peixe, são formadas por degraus reafeiçoados cobertos por áreas de pastagens, com altitude média entre 750 e 800 metros. Com amplitudes térmicas similares às

encontradas na unidade urbana “U-PB-VII”, estas subunidades possuem amplitudes térmicas de cerca de 6°C, justificadas pelas áreas de pastagens, as quais possuem uma dinâmica de aquecimento diferente das áreas urbanas, porém com respostas térmicas muito próximas. As subunidades SE e SW registraram temperatura mínima média de 12.9°C, enquanto a máxima foi de 18.8°C.

Por fim, a unidade de maior grau térmico na bacia do rio do Peixe, a R-PX-IV é composta por áreas de morros de pastagens majoritariamente, em altitude média de 716.5 metros. Apesar da maior parte da área ser de morros, a unidade contempla a planície fluvial do rio do Peixe, formada por áreas mais rebaixadas diante das demais unidades do Peixe.

Mesmo com a proximidade com o rio do Peixe, observou-se significativa amplitude térmica, com 7.1 °C entre a máxima e mínima registrada (20.4°C e 13.2°C). Neste caso, observa-se que a combinação do uso da terra e da morfologia contribui para esse comportamento térmico de grande amplitude e temperaturas mais elevadas.

#### *4.3.3.2 Sob atuação da mTa, em outubro de 2019*

Na discussão das unidades formadas nas demais condições atmosféricas, priorizou-se a análise dos elementos em que foram observadas alterações da resposta térmica dos fatores que compõem a unidade climática. Neste sentido, observa-se que sob atuação da mTa, no mês de outubro de 2019, com temperaturas mais elevadas do que as observadas no mês de agosto, foram delimitadas 17 unidades climáticas, sendo 13 únicas e 4 subdividas em 2 regiões (Tabela 33).

Tabela 33 - Características das unidades climáticas sob atuação da mTa, no mês de outubro de 2019

| Código da unidade | Descrição | Morfologia | Uso da Terra | Altitude média (m) | T. mínima ar °C | T. máxima ar °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R-CG-I | Unidade rural da bacia do rio Cágado I | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 716.8 | 18.9 | 23.2 |
| R-CG-II | Unidade rural da bacia do rio Cágado II | Morros | Pastagem | 637.8 | 19.9 | 23.1 |
| R-PB-I | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna I | Morros | Formação Florestal | 798.8 | 18.2 | 22.8 |
| R-PB-II | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna II | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 824.4 | 18.2 | 22.6 |
| R-PB-III-NE | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna III Nordeste | Morros | Pastagem | 793.0 | 18.1 | 22.1 |
| R-PB-III-NW | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna III Noroeste | Morros | Pastagem | 772.2 | 18.4 | 22.4 |
| R-PB-IV | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna IV | Morros | Pastagem | 605.6 | 19.2 | 23.2 |
| R-PX-I | Unidade rural da bacia do rio do Peixe I | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 773.4 | 17.4 | 23.1 |
| R-PX-II | Unidade rural da bacia do rio do Peixe II | Morros | Pastagem | 755.6 | 17.5 | 24.3 |
| R-PX-III | Unidade rural da bacia do rio do Peixe III | Degraus Reafeiçoados | Formação Florestal | 681.6 | 18.7 | 23.0 |
| R-PX-IV | Unidade rural da bacia do rio do Peixe IV | Morros | Pastagem | 574.5 | 18.8 | 24.5 |
| U-PB-I-E | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna I Leste | Morros | Formação Florestal | 750.9 | 19.3 | 22.7 |
| U-PB-I-NW | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna I Noroeste | Morros | Formação Florestal | 755.4 | 19.0 | 22.8 |
| U-PB-II | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna II | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 841.9 | 17.4 | 22.9 |
| U-PB-III | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna III | Morros | Pastagem | 796.6 | 18.1 | 23.4 |
| U-PB-IV | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna IV | Morros | Infraestrutura urbana | 748.1 | 18.0 | 25.1 |
| U-PB-V | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna V | Degraus Reafeiçoados | Mosaico de Agricultura e Pastagem | 678.5 | 19.1 | 23.1 |

Fonte: elaborado pela autora.

As unidades rurais da bacia do Cágado, mantiveram-se semelhantes às unidades de agosto, com as mesmas formações morfológicas predominantes, porém houve uma expansão da unidade “R-CG-I”, no sentido da área urbana do município e da unidade “R-CG-II”, fazendo com que o uso e cobertura majoritário se modificasse para de infraestrutura urbana (Figura 56).

Além da alteração da distribuição espacial, observou-se temperaturas mais elevadas na unidade “R-CG-I” com valores entre 18.9°C e 23.2°C e a R-CG-II com máxima de 23.1°C e mínima de 19.9°C.

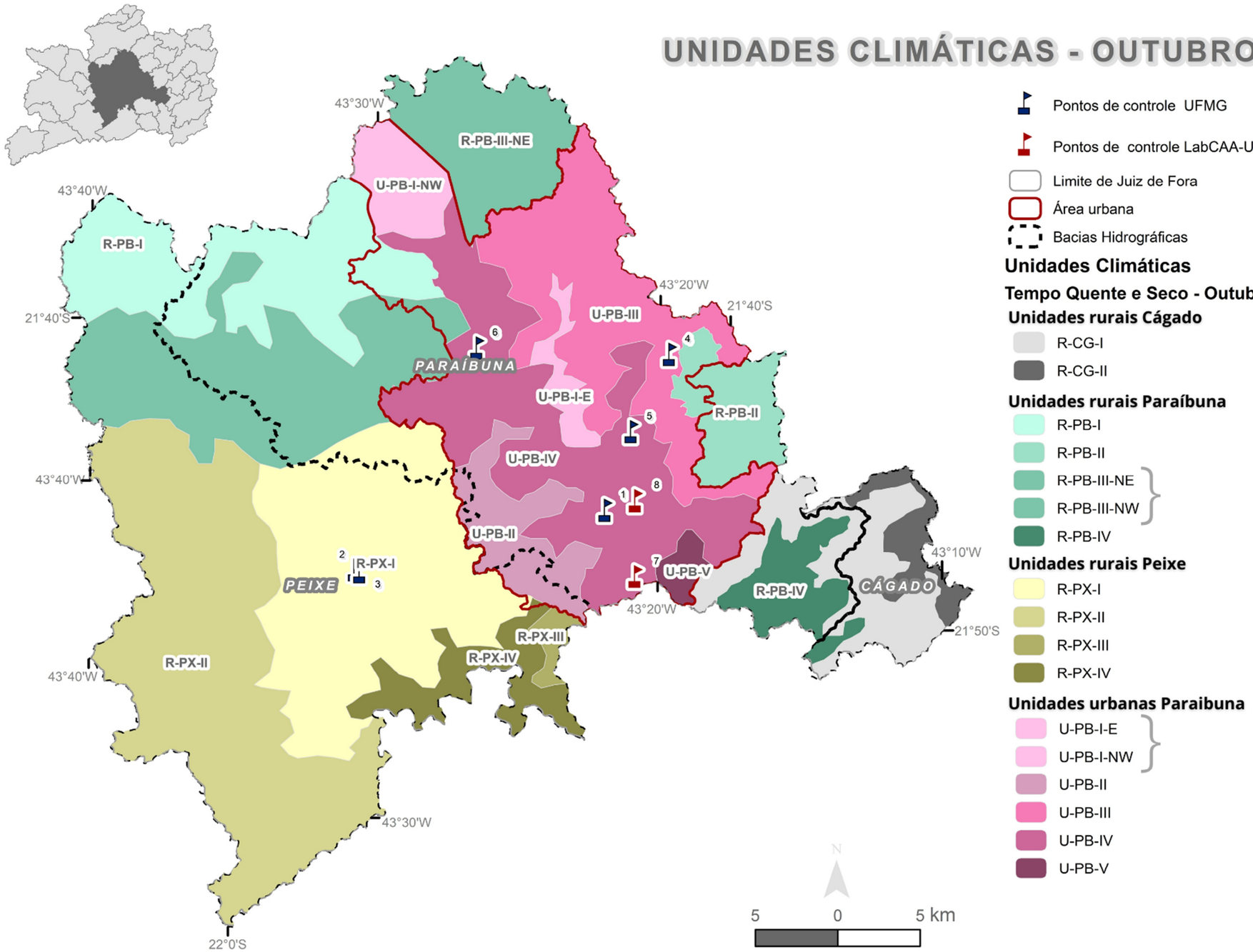
Foram observadas nove unidades climáticas rurais na bacia do rio Paraibuna com alterações significativas no delineamento devido à aglutinação de áreas que ficaram subdividas na delimitação de agosto.

A unidade “R-PB-I” é visualizada no extremo noroeste do município, já na divisa com os municípios de Ewbank da Câmara, Santos Dumont e Bias Fortes. Na delimitação do mês de agosto, esta área foi classificada na unidade rural do rio do Peixe, pois o polígono tinha maior área na bacia citada, o que se altera na vetorização do mês de outubro, em que a unidade se expande sobre a bacia do rio Paraibuna.

Desta forma, a unidade “R-PB-I”, configura-se por morros recobertos por pastagem, em altitude média de 798.8 metros, com temperaturas que variam de 18.2°C a 22.8°C.

Com a ampliação da área na bacia do rio Paraibuna, esta unidade passa a ser aquela com menor grau térmico dentre as unidades rurais do Paraibuna, deixando a região leste na segunda posição, com a “R-PB-II”. Esta unidade é formada por degraus reafeiçoados com maior altitude observada dentre as unidades rurais, com 824.4 metros. Com amplitude térmica de 4.4°C, com máxima de 22.6°C e mínima de 18.2, assemelha-se muito termicamente à unidade R-PB-I, porém a morfologia se diferencia.

Figura 56 - Mapa das unidades climáticas do município de Juiz de Fora, sob atuação da mTa no mês de outubro de 2019




Fonte: elaborado pela autora

A R-PB-III que se divide em duas regiões do município, nordeste e noroeste, é formada por morros cobertos por pastagens, com altitude entre 760 e 793 metros. Sobre a condição térmica, registraram temperatura mínima de 13.6°C e máxima de 18°C. No extremo nordeste, no limite de Juiz de Fora com os municípios de Piau, Santos Dumont e Ewbank da Câmara, encontra-se a R-PB-III-NE. A partir do limite noroeste da área urbana, cobrindo boa parte da área rural da região noroeste, visualiza-se a “R-PB-III-NW”, que chega até a divisa do município com as cidades Pedro Teixeira e Bias Fortes. No mapa de unidades do mês de agosto essa zona é reduzida, não se expande sobre a bacia do Peixe, como no caso da “R-PB-III-NW”, de outubro.

Por fim, a última unidade rural da bacia do rio Paraibuna, com menor altitude, 606 metros em média, a “R-PB-IV”, encontra-se cercada pela “R-CG-I” e na área limite com o município de Matias Barbosa, com temperaturas mais elevadas da zona rural da bacia do Paraibuna, porém com amplitude térmica abaixo dos 4°C, onde observou-se registros entre 19.2°C e 23.2°C. Consiste-se em áreas de morros cobertos por pastagens em sua maior parte.

Nesta delimitação, a bacia do Peixe dividiu-se em quatro unidades rurais, sendo duas maiores, cobrindo quase que totalmente a bacia, a “R-PX-I” e “R-PX-II”, com 20.1 mil hectares e 25.5 mil hectares, respectivamente.

Em áreas mais elevadas de degraus reafeiçoados, cobertas por pastagens, com altitude média de 773.4 metros, definiu-se a unidade “R-PX-I”. Com temperatura entre 17.4°C e 23.1°C, a unidade ocupa a porção oeste da bacia do Peixe em Juiz de Fora, no limite do município com Belmiro Braga, Santa Bárbara do Monte Verde, Lima Duarte e Pedro Teixeira.

Já a unidade “R-PX-II” é formada por morros com pastagens, em altitude média de 755.6 metros, com a maior amplitude térmica das unidades do Peixe, com 6.9°C, devido a máxima de 24.3°C e mínima de 17.5°C.

A menor unidade climática do município no mês de outubro é a “R-PX-III”, que se encontra sobre degraus reafeiçoados cobertos por formação florestal, com 681.6 metros de altitude, o que pode ter provocado a menor amplitude térmica, de apenas 4.3°C, com temperatura do ar entre 18.7°C e 23°C.

Com maior grau térmico tem-se a unidade “R-PX-IV”, de morros com pastagens, com a menor altitude de todo o município, em média 574.5 metros. Nas

áreas mais rebaixadas da bacia, no limite com o município de Belmiro Braga, a unidade apresenta-se com as temperaturas mais elevadas da área rural, com valores entre 18.8°C e 24.5°C.

Assim como nas unidades de agosto/2019, na delimitação do mês de outubro, todas as unidades urbanas também se encontram na bacia do rio Paraibuna, porém em outubro as unidades foram ampliadas em área e reduziu-se para seis unidades, sendo quatro únicas e 2 subdivididas em leste e noroeste.

Em comparação com as unidades de agosto, observa-se a migração da unidade de menor grau térmico, da região oeste, na cidade alta para a região leste, na área que contempla a Mata do Krambeck e represa Dr. João Penido, com a subunidade “U-PB-I-E”. Assim como a subunidade leste, a “U-PB-I-NW”, também é formada por morros com formação florestal na maior parte de seus limites. Com altitude entre 750 e 760 metros e as menores amplitudes térmicas dentro da área urbana de no máximo 3.7°C, sendo que a temperatura mínima é de 19°C e máxima 22.8°C.

Mesmo que em menor grau, na delimitação de outubro, a região oeste também se apresenta com temperaturas baixas na área urbana, mínima de 17.4°C e máxima de 22.9°C, na unidade “U-PB-II”. Esta unidade é formada por degraus reafeiçoados, em maior altitude da área urbana, com 842 metros. Apesar da elevação, a área se apresenta com temperatura média mais elevada que a unidade “U-PB-I”, devido à cobertura ser majoritariamente de pastagens, o que contribui para maiores amplitudes térmicas, que neste caso ficou entorno de 5.5°C. As trocas de calor são muito rápidas, por isso as elevadas amplitudes, o que acontece de forma atenuada nas áreas florestais.

Jardim e Galvani (2022) encontram padrão similar na Serra do Cipó, em áreas de cerrado aberto, semelhante à pastagem natural, com amplitude entre temperatura máxima e mínima de 11.5°C. Este resultado foi explicado pela localização do posto do cerrado na base da vertente, área deprimida junto ao vale do rio Mascates. O terreno em que o posto de observação se encontrava favorecia a circulação do vento, com formação de fluxo de ar quente ascendente (vento anabático) durante o dia e de ar frio descendente nas porções mais elevadas da vertente no período da noite (vento catabático) (JARDIM; GALVANI, 2022).

De acordo com os mesmos autores, em situações de grande estabilidade atmosférica e baixa umidade, estes efeitos são potencializados, principalmente durante o inverno, em contrapartida são atenuados nas estações de transição de primavera e outono (JARDIM; GALVANI, 2022).

Com a segunda maior área dentre as unidades urbanas, a “U-PB-III”, com 13.1 mil hectares de morros com pastagens, em altitude média de 796.6 metros, com temperatura do ar média entre 18.1°C e 23.4°C. Esta unidade mostra uma maior homogeneidade do comportamento térmico da área sob atuação da mTa, com temperaturas mais elevadas.

Diferente da delimitação de agosto, a área urbana mais adensada que integra a área central se destaca com penúltimo grau térmico, na forma da unidade U-PB-IV. Esta unidade encontra-se em área mais ampliada, com 17.1 hectares de infraestrutura urbana, em altitude média de 748.1 metros e temperatura da área entre 18°C e 25.1°C, o que implica em uma amplitude térmica de 7°C.

Por fim, a “U-PB-V”, com menor amplitude, porém sob maior temperatura média, caracteriza-se por áreas de pastagens, em altitudes mais rebaixadas dentre as unidades urbanas, com média de 678.5 metros, de degraus reafeiçoados, com temperatura mínima de 19.1°C e máxima de 23.1°C.

Confrontando as duas delimitações sob atuação da mTa, porém em condições térmicas e pluviométricas distintas, observou-se que os fatores considerados atuam de forma semelhante, porém verifica-se que sob maiores temperaturas há maior homogeneidade das unidades, com menos unidades, ou seja, unidades com maior área. Este comportamento pode ser explicado pela umidade mais elevada, devido aos maiores totais de precipitação no mês de outubro de 2019, com 97.4 mm.

#### *4.3.3.3 Sob atuação de sistemas frontais e ZCAS, em janeiro de 2020.*

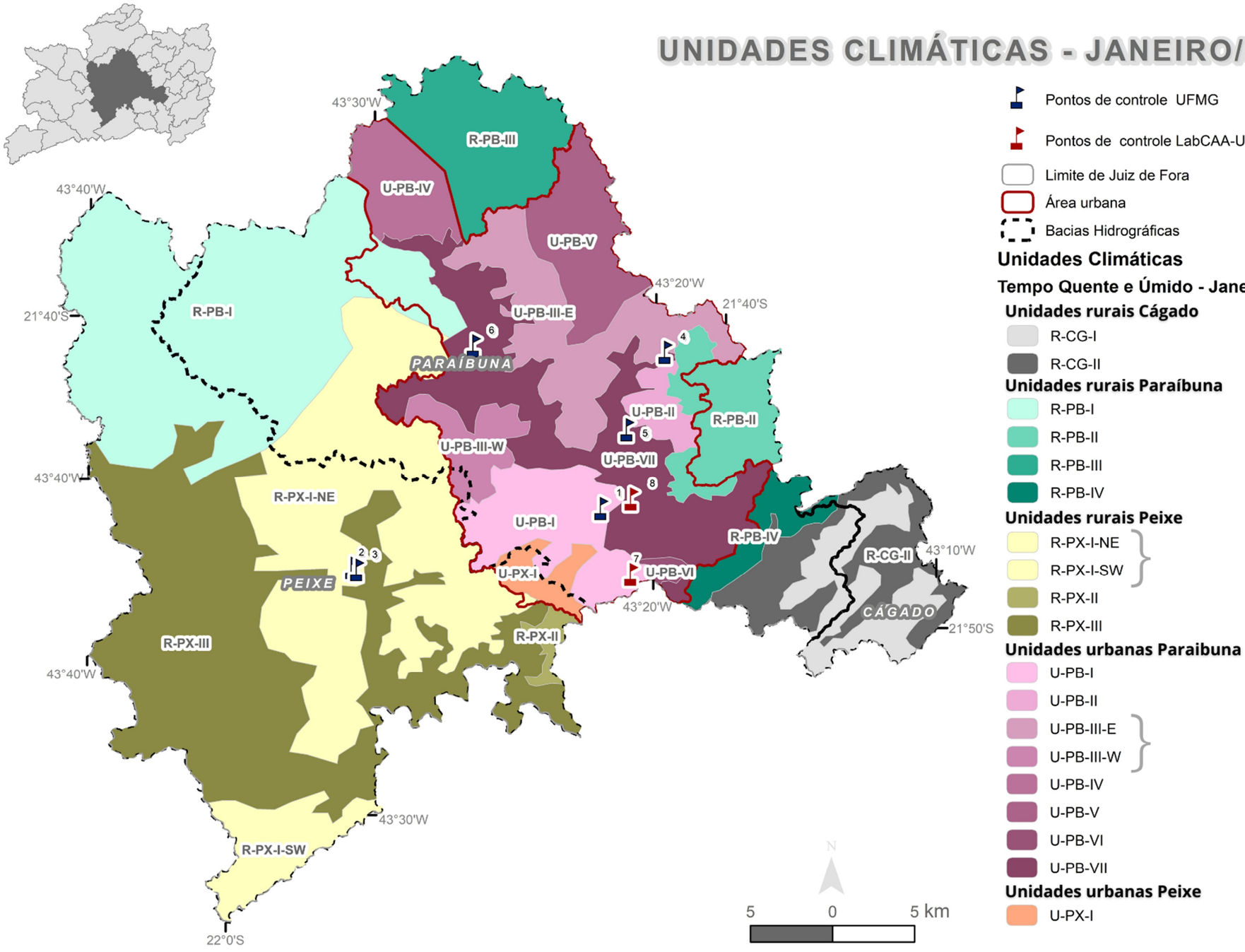
Na figura 57 observa-se o mapa com a delimitação das unidades climáticas delineadas no mês de janeiro de 2020, característico da atuação de sistemas frontais e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Verifica-se muitas semelhanças entre os mapas sob diferentes condições de tempo, devido aos fatores “estáticos”, que não apresentam alterações significativas

em curto período de tempo, como uso da terra, relevo, delimitação das bacias e o zoneamento urbano.

Porém, mesmo com as similaridades na distribuição das unidades, é possível observar diferenças entre as mesmas. Estas distinções são visualizadas na retração ou expansão de unidades sob diferentes condições atmosféricas, pois determinados tipos de tempo podem amenizar ou potencializar os efeitos de fatores como uso da terra e relevo.

Figura 57 - Mapa das unidades climáticas do município de Juiz de Fora, sob atuação de sistemas frontais e da ZCAS no mês de janeiro de 2020




Fonte: elaborado pela autora

Sistemas instáveis como frentes, ZCAS, LIs favorecem a formação de nebulosidade, que funciona como barreira para entrada de radiação solar, o que reduz os contrastes existentes entre diferentes tipos de cobertura. Além disso, o relevo também é condicionado à situação atmosférica, pois a razão de redução da temperatura de acordo com altitude varia devido às condições de saturação do ar.

Fritzsons (2015) analisou a correlação entre a temperatura e altitude no Rio Grande do Sul e constatou correlação entre altitude e temperatura do ar mais forte no verão e outono quando comparado ao período do inverno e primavera. Esta observação é explicada pelos processos de inversão térmica, mais recorrentes no inverno, os quais contribuem para redução das temperaturas nos vales por períodos mais prolongados.

Após esta discussão, destaca-se que no mês de janeiro de 2020, foram observadas 19 unidades climáticas, sendo apenas duas com subdivisões. Foram 10 unidades rurais e 9 urbanas, distribuídas sob as bacias dos rios Paraibuna, Peixe e do Cágado (Tabela 34).

Tabela 34 - Características das unidades climáticas sob atuação das ZCAS e sistemas frontais, no mês de janeiro de 2020

**(continua)**

| Código da unidade | Descrição | Morfologia | Uso da Terra | Altitude média (m) | T. mínima ar °C | T. máxima ar °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R-CG-I | Unidade rural da bacia do rio Cágado I | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 720.2 | 20.4 | 23.6 |
| R-CG-II | Unidade rural da bacia do rio Cágado II | Morros | Pastagem | 621.0 | 21.2 | 24.1 |
| R-PB-I | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna I | Morros | Formação Florestal | 790.7 | 19.7 | 23.7 |
| R-PB-II | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna II | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 823.6 | 19.6 | 23.7 |
| R-PB-III | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna III | Morros | Pastagem | 793.0 | 19.5 | 22.6 |
| R-PB-IV | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna IV | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 698.6 | 20.4 | 23.6 |
| R-PX-I-NE | Unidade rural da bacia do rio Peixe I Nordeste | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 773.5 | 18.9 | 23.7 |
| R-PX-I-SW | Unidade rural da bacia do rio Peixe I Sudoeste | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 786.1 | 19.1 | 23.5 |

| Código da unidade | Descrição | Morfologia | Uso da Terra | Altitude média (m) | T. mínima ar °C | T. máxima ar °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R-PX-II | Unidade rural da bacia do rio Peixe II | Degraus Reafeiçoados | Formação Florestal | 681.1 | 20.2 | 23.6 |
| R-PX-III | Unidade rural da bacia do rio Peixe III | Morros | Pastagem | 720.5 | 19.0 | 24.4 |
| U-PX-I | Unidade urbano da bacia do rio Peixe I | Degraus Reafeiçoados | Formação Florestal | 800.8 | 19.3 | 23.4 |
| U-PB-I | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna I | Degraus Reafeiçoados | Infraestrutura Urbana | 845.0 | 18.9 | 24.8 |
| U-PB-II | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna II | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 832.3 | 20.1 | 23.3 |
| U-PB-III-E | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna III Leste | Morros | Pastagem | 789.6 | 19.6 | 23.7 |
| U-PB-III-W | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna III Oeste | Morros | Pastagem | 793.6 | 19.7 | 23.7 |
| U-PB-IV | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna IV | Morros | Formação Florestal | 752.8 | 20.4 | 23.7 |
| U-PB-V | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna V | Colinas suaves | Pastagem | 784.3 | 20.2 | 23.4 |
| U-PB-VI | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna VI | Degraus Reafeiçoados | Pastagem | 721.4 | 20.5 | 23.4 |
| U-PB-VII | Unidade urbana da bacia do rio Paraibuna VII | Morros | Infraestrutura Urbana | 721.0 | 20.4 | 24.9 |

Fonte: elabora pela autora.

Assim como nos meses de agosto e outubro de 2019, no mês de janeiro de 2020, também foram observadas duas unidades rurais na bacia do Cágado. A unidade “R-CG-I”, com a menor área observada dentre os meses analisados, com apenas 4.7 mil hectares, é composta por degraus reafeiçoados com pastagem, em altitude média de 720 metros. As temperaturas variaram entre 20.4°C e 23.6°C.

Na unidade “R-CG-II” verificam-se as temperaturas mais elevadas da bacia do Cágado, sob o município de Juiz de Fora, com uma variação de 21.2 e 24.1°C, sendo uma das maiores máximas registradas no município neste período. A unidade encontra-se em áreas mais rebaixadas, com altitudes médias de 621 metros, formada por morros cobertos por pastagens e possui a menor amplitude térmica da área de estudo, 2.8°C.

Na bacia do rio Paraibuna, foram observadas quatro unidades rurais, sendo a porção noroeste aglutinada em uma única unidade, a “R-PB-I” diferente do observado nos últimos dois meses analisados. A unidade sobrepõe às bacias do rio Paraibuna e Peixe, mas possui maior área sob esta primeira. É a unidade de menor grau térmico dentre as unidades rurais do Paraibuna, com temperatura mínima de 19.7°C e máxima de 23.7°C. Está sobre áreas de morros, cobertos em sua maioria por formação florestal, em altitude média de 790.7 metros.

A zona rural na região leste, incorporando a REBIO Poço D’anta, apresenta-se com delimitações de unidades muito similares dentre os meses anteriores, variando apenas o grau térmico no mês de agosto. Sendo assim, a unidade “R-PB-II” no mês de outubro é composta predominantemente por degraus reafeiçoados, cobertos na maioria por pastagens, sob a maior altitude média dentre as unidades rurais, a 824 metros de altitude. Possui comportamento térmico muito similar a “R-PB-I”, porém se diferencia no uso e cobertura e na morfologia, o que pode demonstrar atuação de processos distintos, a “R-PB-II” registrou mínima de 19.6°C e máxima de 23.7°C.

Já na porção nordeste, encontra-se a “R-PB-III”, que nos meses anteriores apresentava-se com grau térmico inferior dividida em duas sub-regiões, no mês de janeiro revela-se unicamente na divisa com os municípios de Piau, Santos Dumont e Ewbank da Câmara. Formada por morros e pastagens, a 793 metros de altitude média, mostra-se como a unidade rural do Paraibuna com menor amplitude térmica, cerca 3.1°, com temperaturas que variaram de 19.5 a 22.7°.

No limite com a área urbana do município, a “R-PB-IV” foi identificada em uma pequena porção de área comprimida entre a área urbana e as unidades da bacia do Cágado. Em altitude inferior aos 700 metros, a área é constituída por degraus reafeiçoados de pastagens, e com temperatura extremas idênticas às identificadas na “R-CG-I”, a unidade marcou mínima de 20.4°C e máxima de 23.6°C.

Em janeiro de 2020, foram identificadas apenas 4 unidades rurais na bacia do Peixe, sendo que uma delas encontra-se na região nordeste e sudeste da bacia dentro do município. A “R-PX-I-NE”, possui sua maior área na bacia do Peixe, porém avança ao norte sobre a bacia do Paraibuna. Composta de relevo de degraus reafeiçoados cobertos por pastagens, esta unidade encontra-se em 773 metros de altitude média, com temperaturas médias que variaram entre 18.9 e 23.7°C. Com relevo e uso da Terra idênticos à unidade a sudoeste, a “R-PX-I-SW”, estabelece-se na divisa com os

municípios de Belmiro Braga e Santa Bárbara do Monte Verde, com temperatura mínima de 19.1°C e máxima de 23.5°C.

Em áreas mais rebaixadas, com altitude média de 681 metros, visualiza-se a “R-PX-II”, formada por degraus reafeiçoados com formações florestais, a menor amplitude térmica dentro da bacia do Peixe, de 3.4°C. Esta unidade encontra-se em uma pequena área com menos de mil hectares, no limite entre a área urbana e a divisa de Juiz de Fora com Matias Barbosa. Esta unidade incorpora boa parte da RPPN do Salvaterra, a qual é a maior reserva particular do município.

Por fim, a “R-PX-III”, a qual possui maior grau térmico da bacia do Peixe, contempla as áreas de planície do rio Peixe, apesar da morfologia ser principalmente de morros com pastagens. A unidade registrou a maior amplitude térmica com 5.4°C, com temperaturas entre 19 e 24.4ºC, na maior unidade delimitada no município com cerca de 27.4 mil hectares. Diferente das delimitações dos outros meses, essa unidade avança também sobre a porção nordeste da bacia.

Ainda dentro da bacia do Peixe, encontra-se a única unidade urbana mapeada dentre os meses analisados na bacia, a “U-PX-I”. Apesar do polígono também sobrepor a bacia do Paraibuna, a maior área encontra-se na bacia do Peixe. A unidade encontra-se a 801 metros de altitude média, sobre degraus reafeiçoados com formação florestal, com temperaturas entre 19.3 e 23.4°C.

Em continuidade às unidades urbanas, observam-se as unidades urbanas do Paraibuna. Com menor grau térmico e maior amplitude térmica, com 5.9°C, a U-PB-I” é formada por degraus reafeiçoados de infraestrutura urbana, sobre as maiores altitudes médias, com 845 metros, é a unidade de maior altitude mapeada. A amplitude térmica observada pode ser atribuída ao fato de a unidade contemplar parte de horst e do gráben do rio Paraibuna, portanto uma amplitude altimétrica relevante.

A leste da calha do rio Paraibuna observa-se a unidade “U-PB-II”, também em áreas elevadas com altitude média de 832 metros, esta unidade é composta por degraus reafeiçoados cobertos por pastagens, com temperaturas entre 20.1 e 23.3°C.

Subdivididas entre as regiões leste e oeste da bacia, encontra-se a “U-PB-III” constituída por pastagens sobre morros, em altitude média de 791.6 metros e temperatura mínima de 19.6°C e máxima de 23.7°C, apresentando amplitude térmica de no máximo 4.2°C.

No extremo norte da área urbana, já na divisa com Ewbank da Câmara, encontra-se a “U-PB-IV”. Já com características periurbanas é coberta por formação florestal mediante morros, em altitude média de 753 metros. Com comportamento térmico muito similar à unidade de grau V, porém se diferenciando com relação ao uso da terra e relevo, a “U-PB-IV” possui temperaturas entre 20.4°C e 23.7°C.

A única unidade do mês de janeiro formada principalmente por colinas suaves cobertas de pastagens a U-PB-V, mostra-se com amplitude térmica baixa, cerca de 3.2°C, possivelmente justificada pela presença da represa Dr. João Penido na unidade. A unidade encontra-se em altitudes intermediárias, por volta dos 784 metros, com temperatura máxima de 20.2°C e mínima de 23.4°C.

A menor unidade delimitada no município para o mês de janeiro, com apenas 339 hectares, a “U-PB-VI” localiza-se no extremo sul da área urbana, encravada entre duas unidades urbanas de extremos térmicos, a “U-PB-I e a “U-PB-VII”. A minúscula unidade mapeada situa-se em áreas de pastagens sobre degraus reafeiçoados, com umas das menores altitudes das unidades urbanas do Paraibuna, em média 721.4 metros, com temperaturas entre 20.5°C e 23.4°C.

Finalmente, a unidade de maior grau térmico, a “U-PB-VII” possui a maior máxima registrada em todo município no mês de janeiro de 2020, com 24.9°C e uma das maiores mínimas com 20.4°C. A unidade contempla a planície fluvial do rio Paraibuna na cidade, porém possui morfologia majoritária de morros, com infraestrutura urbana.

Apesar de ser a unidade mais adensada, em que se espera as maiores amplitudes, neste caso apresentou-se com amplitude intermediárias com apenas 4.5°C. Esta observação revela a ação mais moderada da cobertura da terra sobre a realidade termodinâmica, sob atuação de sistemas instáveis.

#### *4.3.3.4 Sob atuação do mPa, em maio de 2020*

Sob atuação prevalente da mPa, maio de 2020, foi o mês selecionado para representar as condições deste sistema (Figura 58). Ainda a partir da análise multicritério mapearam-se as 19 unidades climáticas sob atuação do Anticiclone Polar Migratório, sendo 2 com subdivisões (Tabela 35).

Tabela 35 - Características das unidades climáticas sob atuação do Anticiclone Polar Migratório, em maio de 2020.

| Código da unidade | Descrição | Morfologia | Uso da Terra | Altitude média (m) | T. mínima ar °C | T. máxima ar °C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R-CG-I | Unidade rural da bacia do rio Cágado I | Degraus reafeiçoados | Pastagem | 698.1 | 14.8 | 18.6 |
| R-CG-II | Unidade rural da bacia do rio Cágado II | Morros | Pastagem | 656.1 | 15.6 | 18.0 |
| R-PB-I | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna I | Morros | Formação Florestal | 787.4 | 13.8 | 18.6 |
| R-PB-II | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna II | Degraus reafeiçoados | Formação Florestal | 793.3 | 14.0 | 18.2 |
| R-PB-III | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna III | Degraus reafeiçoados | Pastagem | 853.0 | 14.3 | 17.3 |
| R-PB-IV-NE | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna IV Nordeste | Morros | Pastagem | 793.0 | 13.9 | 17.4 |
| R-PB-IV-NW | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna IV Noroeste | Morros | Pastagem | 754.0 | 13.9 | 18.7 |
| R-PB-V | Unidade rural da bacia do rio Paraibuna V | Morros | Pastagem | 575.0 | 15.6 | 19.3 |
| R-PX-I-E | Unidade rural da bacia do rio do Peixe I Leste | Degraus reafeiçoados | Pastagem | 774.6 | 13.1 | 18.8 |
| R-PX-I-SW | Unidade rural da bacia do rio do Peixe I Sudoeste | Degraus reafeiçoados | Pastagem | 779.5 | 13.2 | 18.3 |
| R-PX-II | Unidade rural da bacia do rio do Peixe II | Degraus reafeiçoados | Formação Florestal | 673.6 | 14.4 | 18.6 |
| R-PX-III | Unidade rural da bacia do rio do Peixe III | Planícies Fluviais | Pastagem | 704.5 | 13.9 | 19.3 |
| R-PX-IV | Unidade rural da bacia do rio do Peixe IV | Morros | Pastagem | 579.2 | 14.4 | 19.7 |
| U-PB-I | Unidade urbano da bacia do rio Paraibuna I | Degraus reafeiçoados | Pastagem | 832.5 | 13.1 | 18.7 |
| U-PB-II | Unidade urbano da bacia do rio Paraibuna II | Morros | Pastagem | 783.9 | 14.5 | 17.9 |
| U-PB-III | Unidade urbano da bacia do rio Paraibuna III | Colinas suaves | Pastagem | 805.6 | 14.0 | 18.4 |
| U-PB-IV | Unidade urbano da bacia do rio Paraibuna IV | Morros | Formação Florestal | 752.1 | 14.9 | 18.6 |
| U-PB-V | Unidade urbano da bacia do rio Paraibuna V | Degraus reafeiçoados | Pastagem | 698.2 | 14.8 | 19.0 |
| U-PB-VI | Unidade urbano da bacia do rio Paraibuna VI | Morros | Infraestrutura urbana | 735.5 | 14.1 | 20.8 |

Fonte: elaborado pela autora.

De mesmo modo que o observado nos meses anteriores, foram delimitadas apenas duas unidades da bacia do Cágado, inserida no município de Juiz de Fora. A “R-CG-I” apresenta-se em maior área na bacia, com 8.6 mil hectares, em distribuição espacial muito semelhante à delimitação dos meses de agosto e outubro de 2019,

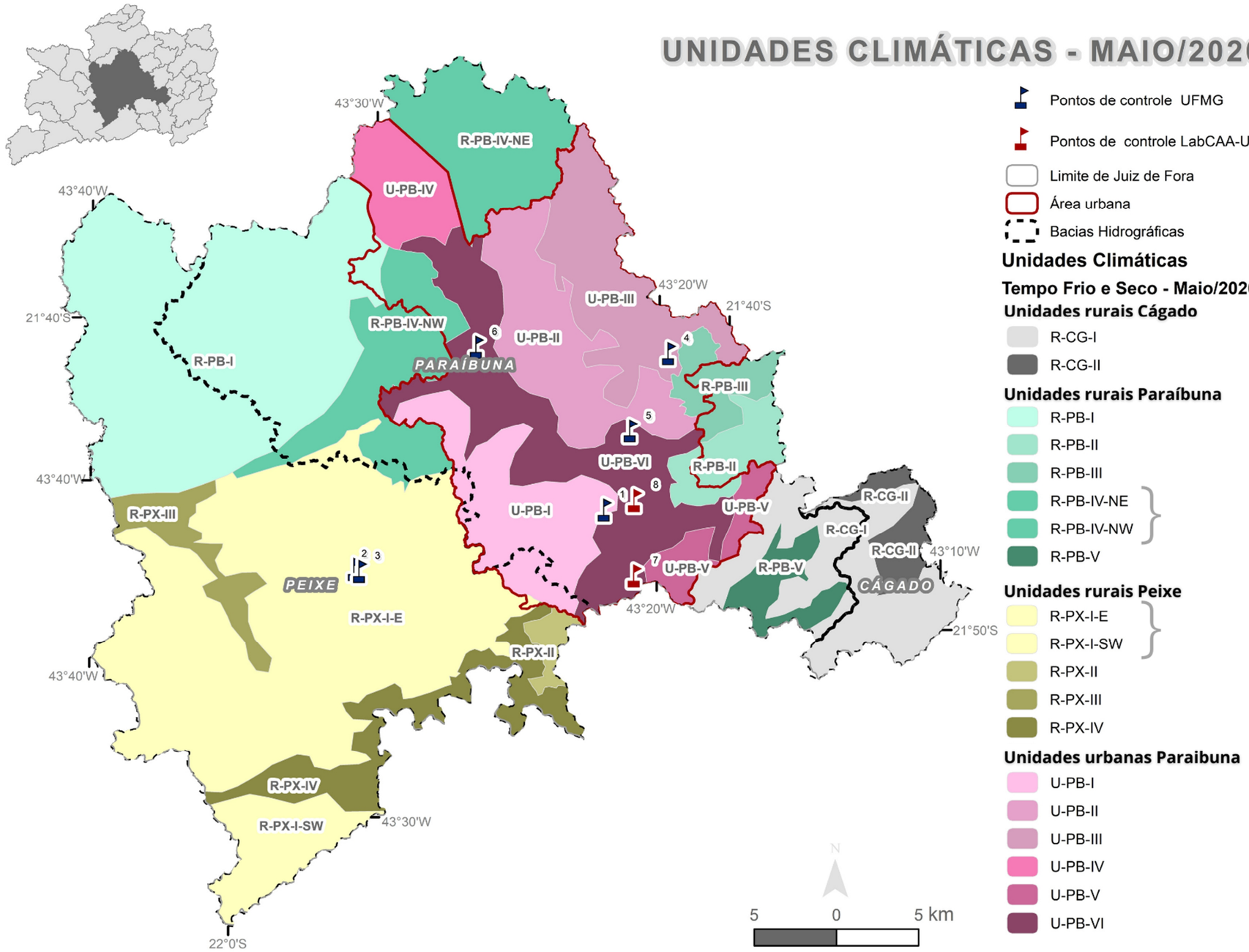
com degraus reafeiçoados cobertos com pastagens e temperatura mínima de 14.8°C e máxima de 18.6°C.

Em menos de 2 mil hectares, a “R-CG-II” encontra-se em áreas mais rebaixadas, com 656.1 metros de altitude média, a unidade possui maior grau térmico, com temperatura entre 15.6°C e 18°C. Caracterizada pelas áreas de pastagens sobre morros, possui a temperatura mínima mais elevada de todo município e a menor amplitude térmica, com apenas 2.4°C, mesmo quando comparada a outras unidades de áreas inferiores.

As unidades rurais da bacia do rio Paraibuna dividem-se em seis, sendo a “R-PB-IV” subdivida entre as regiões nordeste e noroeste. A unidade de menor grau térmico domina a porção noroeste do município, recobrindo as bacias do rio do Paraibuna e o do Peixe, a “R-PB-I”, com segunda maior área, cerca de 26 mil hectares, e caracteriza-se pela cobertura de formação florestal sobre morros, em altitudes médias de 787 metros. Apresenta a temperatura mínima de 13.8°C e máxima de 18.6°C.

Com termodinâmica muito similar à unidade I, a “R-PB-II” se diferencia devido ao relevo, o qual desencadeia processos bem particulares, como a canalização dos ventos, formação de ventos anabáticos e catabáticos, inversões térmicas em áreas deprimidas, dentre outros. Esta unidade tem sua maior parte formada por degraus reafeiçoados, cobertos por formação florestal, com altitude média de 793 metros de altitude e temperaturas que variam entre 14°C e 18.2°C.

Figura 58 - Mapa das unidades climáticas do município de Juiz de Fora, sob atuação do MPA, no mês de maio de 2020.




Fonte: elaborado pela autora.

A unidade “R-PB-III”, apresenta-se com a menor amplitude térmica, entre as unidades rurais do Paraibuna, de 3°C, composta por degraus reafeiçoados sobrepostos por pastagens. Esta unidade possui a maior altitude média dentre todas as unidades do município, com 853 metros. Esta característica corrobora para temperaturas mais baixas, com a temperatura máxima de 17.3°C, menor máxima registrada no município, enquanto a mínima foi de 14.3°C.

Composta por morros e pastagens e altitude média de 774 metros, a unidade “R-PB-IV”, subdivide-se em nordeste e noroeste, com áreas praticamente idênticas, por volta dos 7 mil hectares. Apesar de desconexas, as subunidades comportam-se termicamente de maneira muito similar, com mínima de 13.9°C e máxima de 18.7°C.

Com as características de morfologia e uso da terra idênticas à unidade anterior, a “R-PB-V” possui temperaturas mais elevadas, entre 15.6°C e 19.3°C, que podem ser justificadas pelo fator altitude, o qual foi o menor registrado dentre as unidades, com 575 metros na média.

A bacia hidrográfica do rio do Peixe, foi dividida em quatro unidades, sendo uma destas subdividida nas regiões leste e sudoeste. Formadas com áreas de degraus reafeiçoados cobertos por pastagens, altitude média 777 metros, a R-PX-I é a unidade predominante na bacia e, somadas, totalizam área de cerca de 37 mil hectares. A amplitude térmica nas duas regiões é acima dos 5°C, mesmo na “R-PX-I-SW”, que possui apenas 12% da área “R-PX-I-E”, a unidade registrou temperaturas entre 13.1°C e 18.8°C.

Ao comparar com as unidades delimitadas sob outras condições atmosféricas, verifica-se relativa homogeneidade nas unidades formadas na bacia do Peixe. As demais unidades demarcadas refletem principalmente condições específicas da morfologia, que combinadas ao uso da terra trazem temperaturas mais elevadas, o que inviabiliza a vetorização de uma única unidade da bacia.

Em condição de exceção, a unidade “R-PX-II” destaca-se devido à pequena área de menos de mil hectares, que combina degraus reafeiçoados com formação florestal, em 674 metros de altitude média. Esta unidade possui a menor amplitude térmica dentre as unidades da bacia do Peixe, com 4.2°C, devido a temperatura máxima de 18.6°C e mínima de 14.4°C.

Sob o MPA, o qual impôs homogeneidade na bacia do Peixe, a área da planície fluvial do rio com uso predominante de pastagens, destacou-se com a maior amplitude térmica da bacia do Peixe, com temperaturas entre 13.9°C e 19.3°C e por

isso se sobressaiu como a unidade “R-PX-III”, quase que um enclave da “R-PX-I -E”, se não fosse uma pequena parte do perímetro da unidade que fez divisa com a “R-PB-I”.

Por fim, a unidade mais aquecida da bacia do Peixe, a “R-PX-IV”, encontra-se no extremo sul do município, já na divisa com o município de Belmiro Braga, com amplitude térmica na mesma faixa da unidade anterior, com 5.3°C. Neste caso, a unidade também está sobre áreas de planície fluvial, porém a morfologia predominante de morros, com uso de pastagem nas áreas mais rebaixadas, com altitude média de 579 metros. Isto pode justificar as temperaturas mais elevadas, sendo a temperatura mínima com 14.4°C e a maior máxima da bacia com 19.7°C.

A área urbana foi dividida seis unidades, assim como delimitado nos outros meses, com exceção de outubro, sendo que a região oeste, que contempla a cidade alta, destaca-se pelos menos valores de temperaturas. Com altitude média de 833 metros, a unidade “U-PB-I” é formada por degraus reafeiçoados, com pastagens e temperaturas que variaram entre 13.1°C e 18.1°C, destaca-se que esta unidade registrou a menor mínima dentre as unidades urbanas.

Assim como a unidade I, a “U-PB-II” encontra-se sob o horst do rio Paraibuna, com altitude em torno dos 784 metros, constituída de morros envoltos por pastagens. É a unidade urbana de segundo grau térmico, com registros no intervalo de 14.5°C e 17.9°C, o que a diferencia da unidade anterior, visto que possui a menor amplitude térmica da área urbana, de 3.4°C, mesmo com a semelhança de área, a qual mede cerca de 7.4 mil hectares.

A unidade subjacente, na parte extremo nordeste do município encontra-se a “U-PB-III”, formada por colinas suaves sobrepostas por pastagens, a 806 metros de altitude média e temperaturas que variam entre 14°C e 18.4°C.

Com formação florestal sob morros e com altitude média de 752 metros, a “U-PB-IV” possui a segunda menor amplitude térmica, de 3.8°C, possivelmente relacionada à presença predominante de vegetação florestal, e com isto a unidade registrou temperaturas entre 14.9°C e 18.6°C.

Na região sul, no limite da área urbana com divisa de Matias Barbosa, encontra-se a “U-PB-IV”, delimitação recorrente entre os meses analisados, com apenas pequenas expansões ou reduções sob diferentes tipos de tempo. Pelo fato de situar-se na área urbana mais baixa, com média de 698 metros de altitude, a unidade caracterizou-se pelas maiores temperaturas médias, perdendo apenas para a “U-PB-

V", a qual é mais adensada e alocada à região central da cidade. A "U-PB-IV" é formada por degraus reafeiçoados, cobertos por pastagens em sua maioria e temperaturas que variam entre 14.8°C e 19°C.

Por fim, a maior unidade inserida na área urbana a "U-PB-VI", recobre a calha do rio Paraibuna adensada, incluído a região central. Dentre os meses analisados, esta delimitação também apresentou recorrente grau térmico elevado, com exceção do mês de outubro de 2019. Com a maior amplitude térmica da área de estudo, com 6.7°C, a unidade caracteriza-se por morros com infraestrutura urbana, porém é importante destacar que a área também contempla a planície fluvial do rio Paraibuna devido aos materiais empregados no revestimento urbano. Este aspecto é interessante, pois mostra que a continuidade espacial de um fator, neste caso o revestimento urbano, e acompanhado, também, da continuidade das condições térmicas. A unidade registrou a maior temperatura máxima dentro de todo município, com 20.8°C, enquanto a mínima ficou entorno de 14.1°C.

A partir das unidades delimitadas, observa-se que os fatores de superfície atuam sob qualquer condição atmosférica, porém a intensidade dos efeitos pode variar. Como no caso das unidades sob atuação da mTa em condições de temperatura mais elevadas, em que foi verificada a potencialização da influência do uso da terra e morfologia, em detrimento do fator altitude, com a expansão da unidade que contempla a área mais urbanizada da cidade (U-PB-VI – outubro/2019).

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos da análise regional revelam a função determinante do relevo na configuração do clima regional, o qual caracteriza temperaturas mais baixas e maiores totais de precipitação entre os municípios de Lavras, Barbacena e Juiz de Fora. Em contrapartida, em áreas rebaixadas, nas cidades de Coronel Pacheco e Cordeiro as temperaturas são mais elevadas e os totais de chuvas menores.

Juiz de Fora apresenta circunstâncias em que os controles climáticos de escala topoclimática se sobrepõe à dinâmica regional e local em alguns momentos, nestas situações geralmente os fatores agem na redução da temperatura. Entretanto, é necessário destacar a relativa alternância em termos de escala de influência, pois houve um revezamento dessas condições entre fatores de mesoescala e microescala, em função da atuação das massas de ar.

Outro ponto a ser evidenciado é a limitação do uso de séries de médias anuais, as quais generalizam os dados, mas se mostram consistentes em caracterizações de ordem regionais.

Com relação aos sistemas atmosféricos, conclui-se que os mais atuantes no município no período analisado foram: mTa e mPa, os quais correspondem a mais de 50% do período analisado. Além disto, constatou-se que sob atuação do mTa e mPa no inverno, a resposta térmica dos fatores de superfície são similares, o que resulta unidades climáticas semelhantes. Sistemas estáveis de alta pressão favorecem tanto a entrada quanto a saída de radiação (solar e térmica). E diferente dos estados do Sul, a mPa quando chega no Sudeste, especificamente em Minas Gerais, já chega enfraquecida, com características similares à atuação da mTa no inverno, por isso as respostas são semelhantes.

Os dados observados em superfície mostram-se de total importância para identificação mais assertiva dos sistemas atmosféricos atuantes, visto que em muitos casos as cartas sinóticas delimitam os sistemas em escala de menor detalhe, o que pode dificultar a identificação em área reduzidas.

O uso do sensoriamento remoto para geração das imagens termais é fundamental para compreensão da distribuição espacial da temperatura de superfície, visto que traz um mapeamento periódico espacialmente explícito da variável, independente da instalação de equipamentos. Sem este produto seria inviável obter este tipo de informação nesta resolução espacial, porém destaca-se que sob

condições de instabilidade atmosférica os resultados se mostram pouco assertivos, o que evidencia a necessidade uso de outros tipos de dados, como por exemplo, levantamento de dados de campo.

O modelo de estimativa de temperatura do ar se mostrou uma ferramenta interessante para compressão da realidade termodinâmica da área de estudo, com resultados robustos validados e passíveis de replicação.

Por meio do esboço de unidades climáticas gerado por combinação dos dados de temperatura do ar, uso da Terra e morfologia, constatou-se a complexidade do objeto de estudo ao delimitar zonas homogêneas, devido a quantidade de ruídos encontrados entre as mesmas, com quadrículas pulverizadas pelo município que, mesmo apresentando-se com representatividade de área, não se apresentam agrupadas espacialmente. Esta constatação relaciona-se com os aspectos que fazem do clima um objeto singular, ou seja, nem sempre será passível de compreensão a partir de modelos gerais.

O mapeamento de unidades por combinação é capaz de delinear zonas com o comportamento climático geral do município, através de processos computacionais. E, nesse sentido, destaca-se a função desempenhada pelas ferramentas de geoprocessamento e banco de dados, que permitiram ir além das zonas térmicas traçadas pelos interpoladores convencionalmente utilizados, contribuindo para adição de elementos importantes à análise.

Mas é importante destacar que a delimitação de unidades climáticas por combinação ficou limitada a três variáveis, visto que a inserção de mais fatores na composição resultou em inúmeras combinações, o que impossibilitaria a identificação de zonas homogêneas. Sendo assim, o resultado é uma delimitação generalista das unidades, o que não permite a identificação dos fatores e processos que desencadeiam o comportamento térmico diretamente. A identificação dos fatores atuantes depende da escala trabalhada. Por outro lado, sua identificação nos mínimos detalhes seria impossível, visto que seria necessário dispor de centenas de dataloggers, o que demandaria procedimentos de agregação, que por sua vez resultaria em generalizações. Sendo assim, optou-se por trabalhar com certo nível de generalização, sem perder o objeto de vista.

Neste sentido, a construção de unidades por análise multicritério com posterior vetorização permitiu a aproximação das relações causais que definem as variáveis climáticas coletadas em campo, ou seja, foi possível diferenciar unidades

devido aos os fatores responsáveis pela composição do dado coletado e suas repercussões. Porém, é importante evidenciar que a delimitação das unidades climáticas se trata de uma árdua tarefa de identificar limites em um objeto fluido, sendo assim os limites identificados são flexíveis e aproximados.

Inicialmente, a intenção deste projeto de pesquisa era definir unidades climáticas para o município de Juiz de Fora exclusivamente por ferramentas computacionais, porém no decorrer do trabalho observou-se a necessidade de integrar os resultados com o processo manual de delimitação das unidades, considerando os fatores de entrada e transformação de energia.

Neste contexto, revela-se que durante o mapeamento das unidades climáticas, constatou-se que sob atuação do mTa com temperatura mais elevada ocorre a potencialização da influência do uso e cobertura da terra e morfologia, em detrimento do fator altitude. Observou-se também que as zonas homogêneas detectadas visualmente, em muitas circunstancias, obedeciam aos limites das bacias hidrográficas existentes, por isto optou-se pelo uso das mesmas na identificação das unidades.

É importante afirmar que o clima se constitui em um complexo sistema composto por múltiplas interações, o que impossibilita a construção de métodos ou modelos capazes de retratarem completamente o que se observa na realidade. Porém, destaca-se que esta é a função dos modelos, é evidente que há perda de informação, mas o excesso de informação é tão prejudicial quanto a falta de informação, prejudicando a compreensão do objeto.

Sendo assim, a proposta metodológica apresentada nesta pesquisa possui limitações e trata-se de uma abordagem de leitura da realidade climática do município, passível de aperfeiçoamento. A discussão não está esgotada e certamente há muito a ser trabalhado, para que se avance em métodos cada vez mais eficientes na reprodução da realidade climática.

## REFERÊNCIAS


ALVES, Elis Dener Lima; BIUDES, Marcelo Sacardi; VECCHIA, Francisco Arthur Silva. Interpolação espacial na climatologia: análise dos critérios que precedem sua aplicação. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 8, p. 606-618, 2012.

ARMANI, Gustavo. **Análise topo e microclimática tridimensional em uma microbacia hidrográfica de clima tropical úmido de altitude**. 2009. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ASSIS, Débora Couto de. **O Conforto Térmico Associado às Variáveis de Cobertura da Terra na Região Central de Juiz de Fora–MG**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

ASSIS, Débora Couto; FERREIRA, Cassia Castro Martins. Zoneamento térmico e suas correlações associadas aos padrões de uso e ocupação da terra da região urbana centro em Juiz de Fora - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, n. 14, p. 554-573, jan./jun. 2018.

ASSIS, Débora Couto; JARDIM, Carlos Henrique. Caracterização e articulação dos climas regionais e locais a partir do munícipio de juiz de fora, minas gerais: esboço metodológico. **XIII ENANPEGE**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

ASSIS, Débora Couto; JARDIM, Carlos Henrique. Relação entre componentes naturais e urbanos e características do campo térmico para definição de topoclimas no município de Juiz de Fora-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 26, n. 16, p. 196-219, jan./jun. 2020.

ASSIS, Débora Couto; OLIVEIRA, D. E.; FERREIRA, Cássia Castro Martins. Caracterização da influência do relevo local na geração de campos térmicos diferenciados, um estudo de caso da região central da cidade de Juiz de Fora - MG. *In:* **XI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geografia**, Variabilidades e mudanças climáticas globais: Estado da arte e perceptivas para a interação sociedade natureza, Curitiba, 2014.

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

AYOADE. J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1991.

BARBOSA, Yuri Amaral. **Pequena Geografia Histórica de Juiz de Fora**: o processo do Caminho Novo ao início do Século XX. Curitiba: FUNALFA, 2017.

BASTOS, Camilla C.; FERREIRA, Nelson J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. **CEP**, v. 12220, n. 110, p. 973-990, 2000

BERGAMASCHI, Homero; MATZENAUER, Ronaldo. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014.

BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria Geral dos Sistemas**. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 1977.

BERTRAND, Georges. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.

BORSATO, V. A.; BORSATO, F. H. A elaboração dos gráficos da Análise Rítmica por meio do software livre gnuplot. *In:* **XI SBCGA (Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica Aplicada e – V SPEC – (Simpósio Paranaense de Climatologia)**, Anais - Contribuições Científicas, Curitiba, 2014.

BRANDÃO, Ana Maria de Paiva Macedo. **O Clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. 1996. 362p.Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade de São Paulo (USP). São Paulo,1996.

BRASIL. [Estatuto das cidades]. **Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF, Congresso Nacional, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 26 maio 2022.

BRASIL. Agência Nacional das Águas. **Codificação de bacias hidrográficas pelo método Otto Pfafstetter**. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/104. Acesso em: 03 dez. 2019.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN), **Frota de veículos – 2019.** Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2019. Acesso em: 27 maio 2022.

BRITO, Monique Cristine. **A Dinâmica da Violência: análise geográfica dos homicídios ocorridos em Juiz de Fora entre os anos de 1980 a 2012**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

CARVALHO, Giuliano Orsini Marques de. O centro de Juiz de Fora (MG) e os “novos centros”: paradoxos da urbanidade. **Oculum Ensaios**, Campinas, n. 3, p. 96-109, 2013. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/3517/351732195008.pdf. Acesso em: 03 dez. 2019.

CAVALCANTI, Iracema F. A. FERREIRA, J. N.; SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M.A.F.S. (orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

CENTRO DE PESQUISAS SOCIAIS – CPC. **Anuário estatístico 2005**, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2005. CD-ROM.

CESAMA, 2022. **Mananciais**. Represa Dr. João Penido, Cesama, Juiz de Fora. Disponivel em: https://www.cesama.com.br/mananciais/represa-dr-joao-penido-2. Acesso em: 02 mar. 2022.

CHAPMAN, L.; THORNES, J. E.; BRADLEY, A. V. Rapid Determination of Canyon Geometry Parameters for Use Surface Radiation Budgets. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 69, n. 1/2, p. 81-89, 2001.

CHING, F. D. K. **Técnicas de construção ilustradas**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A.. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHUVA forte alaga diversos pontos de JF. **Tribuna de Minas**, Notícias, Juiz de Fora-MG, 2019. Disponível em: https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/24-12-2018/chuva-forte-alaga-diversos-pontos-de-jf.html. Acesso em: 22 nov. 2019.

CORRÊA, Roberto Lobato. Espaço, um conceito- chave da geografia. *In:* CASTRO, Iná Elias de; GOMES, Paulo Cesar da Costa; CORRÊA, Roberto Lobato (Orgs.). **Geografia**: conceitos e temas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

DIRKSEN, M.; RONDA, R. J., THEEUWES, N. E.;PAGANI, G. A. Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. **Urban Climate**, v. 30, p. 100498, 2019.

DURY, G. H. High Temperature Extremes in Australia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 62, n. 3, p. 388-400, 1972. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8306.1972.tb00871.x. Acesso em: 03 dez. 2019.

EDUARDO, Carolina Campos. **Cartografia geomorfológica comparada**: aplicações no município de Juiz de Fora-MG como subsidio ao planejamento. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

EMBRAPA. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamentos de Solo** (SNLCS, série Miscelânia, 1). Rio de Janeiro, 1979. Disponível em: https://edepot.wur.nl/480004. Acesso em: 27 maio 2022.

ESRI, Desktop. ArcGIS. version 10.5. 1. ESRI: **Redlands**, CA, USA, 2020.

ESRI. An Overview of the Raster Interpolation toolset. **ArcGIS PRO**. Disponível em https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/3d-analyst/an-overview-of-the-raster-interpolation-toolset.htm. Acesso em: 24 abr. 2022.

ESRI. Create Thiessen Polygons. Disponível em: https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.5/tools/analysis-toolbox/create-thiessen-polygons.htm . Acesso em: 24 abr. 2022.

FERREIRA, Cássia Castro Martins. Aplicação da lógica nebulosa (fuzzy cluster) na definição de unidades climáticas: estudo de caso na bacia do rio Paraibuna-MG/RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 10, n. 8, p. 85-97, jan./jun. 2012. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/30589. Acesso: 03 dez. 2019.

FERREIRA, Daniele Gomes; ASSIS, Eleonora Sad de; KATZSCHNER, Lutz. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **urbe – Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 255-270, 2017. Disponivel em: https://www.redalyc.org/pdf/1931/193153411002.pdf. Acesso em: 03 dez. 2019.

FERREIRA, Jhônatas Silva. Teoria e método em climatologia. **GEONORTE**, Edição Especial 2, Manaus, v. 2, n. 5, p. 766-773, 2012. Disponível em: http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2419/2236. Acesso em: 03 dez. 2019.

FIALHO, Edson Soares. Unidades climáticas urbana: O caso da Ilha do Governador-RJ. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 26-46, 2010. Disponível em: https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/13107 Acesso em: 27 maio 2022.

FIALHO, Edson Soares; CELESTINO, Edilson Júnior. Abrigos termo-higrométricos de policloreto de vinila. **Revista Entre-Lugar**, v. 8, n. 16, p. 164-188, 2017. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/8072/4832. Acesso em: 28 de maio de 2022.

FRITZSONS, Elenice; WREGE, Marcos Silveira; MANTOVANI, Luiz Eduardo. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 16, n. 11, jan./jul. 2015.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GEIGER, Rudolf. **Manual de microclimatologia**: O clima da camada de ar junto ao solo. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990.

GLOSSÁRIO do Desenvolvimento Territorial: Conferência Europeia dos Ministros responsáveis pelo Ordenamento do Território do Conselho da Europa (CEMAT). Trad. João Mourato. Lisboa: Direcção-Geral do Território e Desenvolvimento Urbano, 2011. Disponível em: https://rm.coe.int/16806f7d5d. Acesso em: 27 maio 2022.

GOLFARI, L., **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento.** PNUD/FAO/IBDF – BRA/71/545, 1975.

GOMES, Marco Antônio Silvestre; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 10, p. 94-106, set. 2003. Disponível em:

https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15319. Acesso em: 27 maio 2022.

GREGORY, K. J. **A natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br. Acesso em: 27 maio 2022.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 26 maio 2022.

INMET. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. 2009. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 27 maio 2022.

INMET. Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010. 2019. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 27 maio 2022.

JARDIM, Carlos Henrique. A representação gráfica dinâmica como subsídio à elaboração da carta de unidades climáticas. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, p. 140-151, 2010. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13288. Acesso em: 03 dez. 2019.

JARDIM, Carlos Henrique. Construção e avaliação de desempenho de modelo de mini-abrigo meteorológico de ventilação passiva para experimentos em campo de climatologia. *In:* GALVANI, Emerson; GOBO, João Paulo Assis; LIMA, Nádia Gilma Beserra (Orgs.). **Climatologia Aplicada.** Volume 2. Curitiba: CRV, 2018.

JARDIM, Carlos Henrique; GALVANI, Emerson. Unidades topoclimáticas no Parque Nacional da Serra do Cipó. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v. 30, p. 219-245, 2022.

JARDIM, Carlos Henrique; GALVANI, Emerson. Uso da Terra e Variações da Temperatura do Ar no Interior e Áreas Limítrofes ao Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Volume Especial, p.162-173, 2018. Disponível em: http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/145802. Acesso em:03 dez. 2019.

JARDIM, Carlos. Henrique. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

JUIZ DE FORA. **Lei Complementar n. 82, de 03 de julho de 2018**. Dispõe sobre a Política de Desenvolvimento Urbano e Territorial, o Sistema Municipal de Planejamento do Território e a revisão do PDP/JF de Juiz de Fora conforme o disposto na Constituição Federal e no Estatuto da Cidade e dá outras providências. Prefeitura de Juiz de Fora: Juiz de Fora, 2018. Disponível em:

https://www.pjf.mg.gov.br/desenvolvimentodoterritorio/arquivos/2019/mapas_anexos_pdp/pdp_lc82_18_00.pdf. Acesso em: 27 maio 2022.

JUIZ DE FORA. **Lei n. 6908/1986.** Dispõe sobre o parcelamento do solo no município de Juiz de Fora. Câmara Municipal de Juiz de Fora: Juiz de Fora, 1986. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a/mg/j/juiz-de-fora/lei-ordinaria/1986/690/6908/lei-ordinaria-n-6908-1986-dispoe-sobre-o-parcelamento-do-solo-no-municipio-de-juiz-de-fora. Acesso em: 27 maio 2022.

JUIZ DE FORA. **Lei n. 6909/1986.** Dispõe sobre as edificações no Município de Juiz de Fora. Prefeitura de Juiz de Fora: Juiz de Fora, 1986. Disponível em: https://jflegis.pjf.mg.gov.br/norma.php?chave=0000019208. Acesso em: 27 maio 2022.

JUIZ DE FORA. **Lei n. 6910/1986**. Ordenamento do Uso e Ocupação do Solo no Município de Juiz de Fora. Câmara Municipal de Juiz de Fora: Juiz de Fora, 1986. Disponível em: https://jflegis.pjf.mg.gov.br/norma.php?chave=0000019210. Acesso em: 27 maio 2022.

JUIZ DE FORA. **Plano de Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora**: Funalfa Edições, 2004. Disponível em: https://www.pjf.mg.gov.br/desenvolvimentodoterritorio/plano_diretor/plano_anterior.php. Acesso em: 27 maio 2022.

JUIZ DE FORA. **Plano Diretor Participativo do Município de Juiz de Fora MG**, 2018. Disponível em: https://www.pjf.mg.gov.br/desenvolvimentodoterritorio/sistema_informacoes/plano_diretor.php. Acesso em: 27 maio 2022.

JUIZ DE FORA. **Portaria 08615 / 2013**. Cria Grupo de Trabalho Executivo - GT Executivo para acompanhar a elaboração da primeira revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora - PDDU/JF. Prefeitura de Juiz de Fora: Juiz de Fora, 2013. Disponível em: https://jflegis.pjf.mg.gov.br/norma.php?chave=0000037017. Acesso em: 27 maio 2022.

KARGER, DIRK NIKOLAUS; CONRAD, OLAF; BÖHNER, JÜRGEN; KAWOHL, TOBIAS; KREFT, HOLGER; SORIA-AUZA, RODRIGO WILBER; ZIMMERMANN, NIKLAUS E.; LINDER, H. PETER; KESSLER, MICHAEL. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. **Scientific data**, v. 4, n. 1, p. 1-20, 2017.

LABCAA - Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental – UFJF. **Dados Meteorológicos,** 2019. Disponível em: https://www2.ufjf.br/labcaa/. Acesso em: 27 maio 2022.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles**: exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

MACHADO, Lilian Aline. **Impactos da verticalização e adensamento das edificações em topoclimas e mesoclimas na porção norte do município de**

**Nova Lima (MG)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

MAPBIOMAS. Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. MapBiomas, [2019]. Disponível em: : https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 27 maio 2022.

MASCARÓ, Lucia (coord.). **Tecnologia & arquitetura**. Barueri: Nobel, 1990.

MASCARÓ, Lucia. **Energia na edificação**: estratégia para minimizar seu consumo. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1991.

MENDONÇA, Francisco de Assis.; BOROX, S.C.; PAULA, E.V. Repercussões das condições climáticas de inverno na incidência de IVAS e pneumonias na população infantil de Curitiba-PR. **Anais do IV SBCG**, Rio de Janeiro, 4p., 2000.

MENDONÇA, Francisco de Assis. **O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequena-proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR**. 1994.Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

MENDONÇA, Francisco; DUBREUIL, Vincent. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **RA'E GA**, Curitiba, n. 9, p. 25-35, 2005.

METZGER, Jean Paul. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2001. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bn/a/Jbchd6rjY35PGkY5BHPz63S/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 27 maio 2022.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. A Climatologia do Brasil ante a renovação atual da Geografia: um depoimento. **Métodos em questão**, n. 0, v. 6, 1973.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil**: contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil. São Paulo: Instituto de Geografia, 1969.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Análise Rítmica em Climatologia: Problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de Trabalho. **Climatologia**, São Paulo, n. 1, p. 1-21, 1971.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo, IGEOG/USP, 1976.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco (Orgs.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Geosul**, Florianópolis, v. 5, n. 9, p. 61-79, 1990.

MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. Derivações antropogênicas dos Geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. **RA'E GA**, Curitiba, n. 5, p. 197-220, 2001.

MOURA, Ana Clara Mourão. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise multicritério. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, p.2899-2906, 2007.

MURAKAWA, Saburo; SEKINE, Takeshi; NARITA, Ken-ichi; NISHINA, Daisaku. Study of the effects of a river on the thermal environment in an urban area. **Energy and buildings**, n. 16, v. 3-4, p. 993-1001, 1991.

NETO, João Lima Sant'Anna. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, 2005.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

OKE, Tim R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of climatology**, v. 1, n. 3, p. 237-254, 1981.

OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. London/New York: Routledge, 1978.

OLGYAY, Víctor**. Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, Daniel Evangelista. **Participação dos sistemas atmosféricos na gênese e ritmo das chuvas na bacia hidrográfica do rio Preto, MG/RJ-anos de 2006, 2007, 2008**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

OLIVEIRA, Luís Eduardo. A constituição do núcleo urbano de Juiz de Fora e sua gradual transformação em principal centro comercial e manufatureiro da província de Minas Gerais. **XII Encontro Regional de História**, ANPUH, 2006. Disponível em: http://www.eeh2012.anpuh-rs.org.br/resources/rj/Anais/2006/conferencias/Luis%20Eduardo%20de%20Oliveira.pdf. Acesso em: 27 maio 2022.

OLIVEIRA, P.M.P. **Cidade apropriada ao clima**: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Brasília: Editora UNB, 1988.

OLIVEIRA, T. A. **O clima urbano como risco climático**: os impactos das chuvas em Juiz de Fora no período de 1980-2018. 2021. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2021.

OMETTO, José Carlos. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

PAISAGEM. *In:* DICIONÁRIO da Língua Portuguesa. São Paulo: Michaelis UOL, 2011. Disponível em: www.uol.com.br/michaelis. Acesso em: 27 maio 2022.

PAVÃO, Vagner Marques. **Efeitos da correção atmosférica em imagens Landsat 8 e diferentes modelos de radiação solar global na estimativa do saldo de radiação superficial**. 2016. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

PÉDELABORDE, Pierre. **Introduction à l'étude scientifique du climat**. Paris: SEDES, 1970.

PÉDELABORDE, Pierre. **Le Climat du Bassin Parisien**: essai d'une méthode rationelle de climatologie physique. Paris: Medicis, 1957.

PIANA, Clause Fátima de Brum; MACHADO, Amauri de Almeida; SELAU, Lisiane Priscila Roldão. **Estatística Básica**. Pelotas, 2013.

PIMENTEL, Franciele Oliveira; FERREIRA, Cássia de Castro Martins. Clima urbano: o uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 24, n. 15, p. 49-66, jan./jun. 2019.

QGIS Development Team, **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2019. Disponível em: http://qgis.osgeo.org. Acesso: 03 dez. 2019.

REFAEILZADEH, Payam; TANG, Lei; LIU, Huan. Cross-validation. **Encyclopedia of database systems**, Boston, v. 5, p. 532-538, 2009.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, v. 23, n. 45-46, p. 288-294, 1993.

RIBEIRO, João Batista Miranda. **Análise comparativa das caraterísticas microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia**. 1994. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1994.

ROCHA, G. C. **Riscos Ambientais**: Análise e Mapeamento em Minas Gerais. Juiz de Fora: Editora UFJF, 2005.

RODRIGUES, A. S. R. **A produção do espaço urbano de Juiz de Fora**: dinâmicas imobiliárias e novas centralidades. 2013. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. São Paulo: Projetos Editores Associados Ltda., 1998.

SATÉLITES de Monitoramento. **EMBRAPA**, Monitoramento por Satélite, Campinas, 2013. Disponível em: http://www.sat.cnpm.embrapa.br. Acesso em: 12 nov. 2019.

SILVA, Aion Angelu Ferraz; JARDIM, Carlos Henrique. Unidades climáticas em Unaí, noroeste do estado de Minas Gerais-Brasil: proposta preliminar. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v. 5, n. 1, p. 10-26, 2019.

SILVA, E.M.; RIBEIRO, A.G. As tendências das variações climáticas na cidade de Uberlândia-MG (1981-2000). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 12, p.174-190, jun. 2004. Disponível em: www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html. Acesso em: 10 nov. 2019.

SILVA, Telma Mendes da. **A estruturação geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. 2002. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SISDAGRO – Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária. **Balanço hídrico sequencial**. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs. Acesso em: 20 set. 2021.

SORRE, M. A adaptação ao meio climático e biossocial – geografia psicológica. *In:* MEGALE, J. F. (Org.). **Max Sorre** – Geografia. Coleção Grandes Cientistas Sociais. São Paulo: Ática,1984.

SOUZA, L. C. L.; PEDROTTI, F.S.; LEMES, F. T. Consumo de Energia Urbano: Influência do perfil do usuário; da geometria urbana e da temperatura. *In:* **ENCAC – ELACAC 2005**, p. 1960-1969, Maceió, 2005.

TARIFA, José Roberto; ARMANI, Gustavo. Os climas urbanos. *In:* TARIFA, José Roberto; AZEVEDO Tarik Rezende de (Orgs.). **Os climas na cidade de São Paulo**: teoria e prática. São Paulo: FFLCH/USP, 2001.

TASCA, Luciane. **As contradições e complementaridades nas leis urbanas de Juiz de Fora**. 2010. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

TORRES, F.T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia,v. 7, n. 18, p. 162-171, jun. 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fillipe_Torres/publication/269103829_RELACOES_ENTRE_FATORES_CLIMATICOS_E_OCORRENCIAS_DE_INCENDIOS_FLORESTAIS_NA_CIDADE_DE_JUIZ_DE_FORA_MG/links/548097d80cf263ee1adf9f68/RELACOES-ENTRE-FATORES-CLIMATICOS-E-OCORRENCIAS-DE-INCENDIOS-FLORESTAIS-NA-CIDADE-DE-JUIZ-DE-FORA-MG.pdf. Acesso em: 03 dez. 2019.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; NETO, Roberto Marques; DE OLIVEIRA MENEZES, Sebastião. **Introdução à geomorfologia**. Cengage Learning, 2013.

TRENTIN, R. DEPPE, F., LOHMANN, M., GRASSI, J. Análise comparativa da temperatura de superfície MODIS e temperatura do ar em diferentes situações no estado do Paraná. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 7745-7752, 2011.

TROPPMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas Mercator. **Revista de Geografia da UFC**, v. 5, n. 10, 2006. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/2736/273620636007.pdf. Acesso em: 03 dez. 2019.

TSO, C. P.*;* CHAN, B. K.; HASHIM, M. An improvement to energy balance model for urban thermal environment analysis**. Energy and Buildings**, n. 14, p. 143-152, 1990.

UHLMANN, G. W. **Teoria Geral dos Sistemas**. São Paulo: Centro Interdisciplinar de Semiótica da Cultura e da Mídia, 2002.

UNIDADE. *In:* DICIONÁRIO da Língua Portuguesa. São Paulo: Michaelis UOL, 2011. Disponível em: www.uol.com.br/michaelis. Acesso em: 27 maio 2022.

VELOSO, H.P.; GÓES-FILHO, L. **Fitogeografia brasileira** – Classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical. Bol. Técnico Radam-Brasil (série Vegetação) ,1982.

VIANNA, Yan Carlos Gomes. **Modelagem e identificação de ilhas de calor em Ubá-MG**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

VILLENA, John Edward Neira. **Tecnologia de Energia Eólica**. Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis– CTGÁS-ER, 2015. Disponível em: http://ead2.ctgas.com.br/a_rquivos/aperfeicoamento/TGE_Turma1_2014/Apostila%20V14_04_14.pdf. Acesso em: 27 maio 2022.

WONG, N. H.; TAN, C. L.; NINDYANI, A. D. S.; JUSUF, S. K.; TAN, E. Influence of water bodies on outdoor air temperature in hot and humid climate. *In:* **ICSDC 2011**: Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry (p. 81-89), 2013. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41204%28426%2911. Acesso em: 27 maio 2022.