

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

WENDEL CÁSSIO ALVES BATISTA

**CARACTERIZAÇÃO TOPO E MESOCLIMÁTICA DO MUNICÍPIO DE  
SARZEDO (MG)**

Belo Horizonte  
2021

WENDEL CÁSSIO ALVES BATISTA

**CARACTERIZAÇÃO TOPO E MESOCLIMÁTICA DO MUNICÍPIO DE  
SARZEDO (MG)**

**Versão final**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Wellington Lopes Assis

Belo Horizonte  
2021

B333c  
2021

Batista, Wendel Cássio Alves.

Caracterização topo e mesoclimática do município de Sarzedo (MG)  
[manuscrito] / Wendel Cássio Alves Batista. – 2021.

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

Orientador: Wellington Lopes Assis.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto  
de Geociências, 2021.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Bibliografia: f. 127-134.

Inclui apêndices.

1. Climatologia urbana – Sarzedo (MG) – Teses. 2. Solo – Uso –  
Teses. I. Assis, Wellington Lopes. II. Universidade Federal de Minas  
Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551.58 (815.1)



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

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### Caracterização topo e mesoclimática do município de Sarzedo (MG)

**WENDEL CASSIO ALVES BATISTA**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOGRAFIA, área de concentração ANÁLISE AMBIENTAL.

Aprovada em 29 de março de 2021, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Dr. Wellington Lopes Assis - Orientador

UFMG

Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim

UFMG

Profa. Dra. Taíza de Pinho Barroso Lucas

CEFET/MG

Prof. Dr. Alecir Antônio Maciel Moreira

PUC/MG

Belo Horizonte, 29 de março de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Wellington Lopes Assis, Professor do Magistério Superior**, em 29/03/2021, às 17:09, 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 **Taiza de Pinho Barroso Lucas, Usuário Externo**, em 29/03/2021, às 17:10, 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 **Alecir Antonio Maciel Moreira, Usuário Externo**, em 29/03/2021, às 17:26, 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 **Carlos Henrique Jardim, Professor do Magistério Superior**, em 29/03/2021, às 17:32, 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](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0582251** e o código CRC **187635B7**.

---

*Aos meus pais, Aparecida e Manoel, e  
aos meus irmãos, Herbert e Wesley.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus, porque d'Ele, por Ele e para Ele são todas as coisas.

Ao professor Dr. Wellington Lopes Assis, por toda a orientação acadêmica, sempre com muita motivação e paciência.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Carlos Henrique Jardim, Dr. Alecir Antônio Maciel Moreira e Dra. Taíza de Pinho Barroso Lucas, pela disponibilidade e colocações, que muito contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

Aos docentes e equipe administrativa do Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela disponibilidade e apoio ao longo do curso.

À equipe da Secretaria de Planejamento da Prefeitura de Sarzedo, especialmente ao Jarbas, ao Vinícius e ao César, por auxiliar no contato com órgãos e empresas do município, por ceder espaço na própria secretaria para a instalação de abrigo meteorológico e por disponibilizar os limites do perímetro urbano do município.

Ao Dan, da EMATER-MG, por auxiliar no contato com proprietários da área rural do município de Sarzedo.

À equipe da Itaminas Comércio de Minérios S/A, especialmente ao sr. Luiz Almeida, ao sr. Ricardo Almeida, ao Ranner e ao Patrick, pela receptibilidade, por permitir e facilitar o acesso à área em que foi instalado o abrigo meteorológico e por ceder dados de precipitação utilizados neste trabalho.

À equipe da MPC Service, especialmente ao sr. Maurício; à equipe do Terminal Metropolitano de Sarzedo; e à equipe da Unidade de Saúde Antônio Afonso Magalhães (Bairro Brasília), por, gentilmente, cederem espaço para a instalação de abrigos meteorológicos.

Ao sr. Eustáquio e à sra. Lia (Quintas da Jangada); à sra. Carmelita, ao sr. Valdemar e à sra. Fátima (Santa Rosa); ao sr. Giovanni e à sra. Fátima (Fazenda Matter); e ao sr. Eduardo e à sra. Júlia (Lambari), que também, gentilmente, cederam espaços em suas propriedades para a instalação de abrigos meteorológicos.

Aos amigos e colegas da graduação e da pós-graduação, que compartilharam de experiências semelhantes ao longo desse período, especialmente à minha amiga Andrea.

À equipe gestora da Escola Municipal Professora Isaura Santos – Elizabeth Monken, Isabel Silva, Neide Teixeira e Marli Domingos – por compreender meu momento e por motivar a conclusão deste mestrado.

A todos os amigos e familiares que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão deste trabalho.



*“Quando interrogamos a Natureza’, dizia Einstein, ‘a maior parte das vezes ela responde talvez.’ Poderíamos acrescentar que a Natureza, não só não responde claramente à questão posta, como também, na maior parte dos casos, levanta novas questões, tão fascinantes e embaraçantes como as antecedentes. Essa é a própria essência do trabalho científico.” Claude Allègre (Da pedra à estrela, p. 53)*

## Resumo

As transformações dos ambientes, resultantes dos processos de urbanização, têm chamado a atenção da comunidade científica acerca dos impactos sobre a qualidade ambiental nas cidades. Nesse contexto, com enfoque na qualidade ambiental e qualidade de vida das populações citadinas, a ciência climatológica tem dado atenção aos aspectos do clima urbano, uma vez que este exerce influências diretas sobre os aspectos ambientais, socioeconômicos e, conseqüentemente, sobre a qualidade de vida da população. Diante disso, o objetivo principal deste trabalho foi apresentar uma caracterização preliminar das condições topo e mesoclimáticas do município de Sarzedo (MG), identificando possíveis variações nos campos térmicos e hídricos em função do uso e cobertura dos solos. Para isso, foi necessário fazer o levantamento das características geológicas e de uso e cobertura dos solos da área de estudo e caracterizar a circulação na camada limite planetária, apontando os principais sistemas atmosféricos que atuam sobre o município ao longo do ano. Também, foram realizados dois experimentos de campo – um durante o período seco (01 a 17/10/2019) e outro no período chuvoso (21/02 a 11/03/2020) –, nos quais foram coletados dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, em nove pontos distribuídos no município com diferentes morfologias e usos do solo. O comportamento das variáveis climáticas, somados às características geológicas e de uso e cobertura dos solos, possibilitou a delimitação teórica de cinco unidades topoclimáticas, as quais se configuram mais secas e quentes na área urbana do município e se tornam mais úmidas e amenas a medida em que se distancia do centro urbano e se eleva a topografia. Os resultados apontaram para um centro urbano mais quente e seco que o ambiente circunvizinho, porém, as diferenças de temperatura e umidade tendiam a se minimizarem durante a noite e/ou sob condições atmosféricas instáveis. Desse modo, as transformações urbanas em Sarzedo ainda não são capazes de oferecer mudanças duradouras no comportamento das variáveis climáticas.

**Palavras-chave:** Sarzedo, Clima Urbano, Unidades Topoclimáticas.

## **Abstract**

The transformations of environments, resulting from urbanization processes, have drawn the attention of the scientific community about the impacts on environmental quality in cities. In this context, with a focus on the environmental quality and quality of life of city populations, climatological science has paid attention to aspects of the urban climate, since it has direct influences on environmental, socioeconomic aspects and, consequently, on the quality of life of the population. Therefore, the main objective of this work was to present a preliminary characterization of the top and mesoclimatic conditions of the city of Sarzedo (MG), identifying possible variations in thermal and hygrometeorological fields depending on the use and coverage of the soil. For this, it was necessary to survey the geoeological characteristics and the use and coverage of the soils in the study area and characterize the circulation in the planetary boundary layer, pointing out the main atmospheric systems that act on the city throughout the year. Also, two field experiments were performed – one during the dry period (01 to 10/17/2019) and the other in the rainy period (02/21 to 03/11/2020) –, in which hourly data of air temperature and relative humidity were collected, at nine points distributed in the city with different morphologies and land uses. The behavior of climatic variables, added to the geoeological and land use and coverage characteristics, allowed the theoretical delimitation of five topoclimatic units, which are drier and hotter in the urban area of the city and become more humid and milder as that moves away from the urban center and the topography rises. The results pointed to a warmer and drier urban center than the surrounding environment, however, differences in temperature and humidity tended to minimize during the night and/or under unstable atmospheric conditions. Thus, urban transformations in Sarzedo are not yet able to offer lasting changes in the behavior of climatic variables.

**Keywords:** Sarzedo, Urban Climate, Topoclimatic Units.

## Lista de Figuras

FIGURA 1: Representação esquemática da atmosfera urbana .....	29
FIGURA 2: Hierarquia funcional simplificada do Sistema Clima Urbano.....	30
FIGURA 3: Representação simplificada dos efeitos da radiação solar sobre as superfícies verticais e horizontais, de acordo com a obstrução da abóboda celeste.....	34
FIGURA 4: Localização do município de Sarzedo (MG) .....	45
FIGURA 5: Áreas urbana e rural do município de Sarzedo (MG).....	46
FIGURA 6: População de Sarzedo (MG) 1997-2019 .....	47
FIGURA 7: Evolução da mancha urbana de Sarzedo (MG) 1994-2018.....	50
FIGURA 8: Climograma da Estação Meteorológica de Ibitaré (Rola Moça) - MG .....	52
FIGURA 9: Balanço Hídrico mensal de Ibitaré (Rola Moça) - MG / 1961-1990 .....	53
FIGURA 10: Modelo Digital de Elevação do município de Sarzedo (MG).....	54
FIGURA 11: a) Mapa de declividade do município de Sarzedo (MG); b) Mapa de Orientação das Vertentes do município de Sarzedo (MG) .....	56
FIGURA 12: Mapa de vegetação do município de Sarzedo (MG).....	57
FIGURA 13: Roteiro Metodológico I – Etapas de elaboração do trabalho .....	62
FIGURA 14: a) Termo-higrômetro datalogger; b) Abrigo meteorológico .....	68
FIGURA 15: Localização dos pontos amostrais dos Campos 1 e 2.....	69
FIGURA 16: a) Aferição dos dataloggers Campo 1; b) Aferição dos dataloggers Campo 2 .....	70
FIGURA 17: Participação dos sistemas atmosféricos em Sarzedo entre os dias 29/09/2019 e 19/10/2019 .....	81
FIGURA 18: Análise rítmica dos elementos climáticos entre os dias 29/09 e 19/10/2019 .....	82
FIGURA 19: a) Carta de superfície de 00h UTC do dia 02/10/2019; b) Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 16 de 00h UTC do dia 02/10/2019 .....	83
FIGURA 20: a) Carta de superfície de 00h UTC do dia 08/10/2019; b) Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 16 de 00h UTC do dia 08/10/2019 .....	84
FIGURA 21: a) Evolução da anomalia de TSM e IOS de outubro de 2018 a setembro de 2020; b) Anomalis de TSM no mês de outubro de 2019 .....	85
FIGURA 22: Perfil topográfico e variação temporal da temperatura do ar durante o Campo 1 .....	89
FIGURA 23: Superfície interpolada – Campo 1 – a) Temperatura máxima absoluta; b) Temperatura média; c) Temperatura mínima absoluta .....	93
FIGURA 24: Perfil topográfico e variação temporal da umidade relativa do ar durante o Campo 1 .....	95
FIGURA 25: Superfície interpolada – Campo 1 – a) Umidade Relativa máxima absoluta; b) Umidade Relativa média; c) Umidade Relativa mínima absoluta .....	98

FIGURA 26: Participação dos sistemas atmosféricos em Sarzedo entre os dias 19/02/2020 e 13/03/2020 .....	100
FIGURA 27: Análise rítmica dos elementos climáticos entre os dias 19/02 e 13/03/2020 .....	101
FIGURA 28: a) Carta de superfície de 00h UTC do dia 02/03/2020; b) Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 16 de 00h UTC do dia 02/03/2020 .....	103
FIGURA 29: a) Carta de superfície de 00h UTC do dia 10/03/2020; b) Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 16 de 00h UTC do dia 10/03/2020 .....	104
FIGURA 30: a) Evolução da anomalia de TSM e IOS de outubro de 2018 a setembro de 2020; b) Anomalis de TSM no mês de março de 2020 .....	105
FIGURA 31: Perfil topográfico e variação temporal da temperatura do ar durante o Campo 2.....	107
FIGURA 32: Superfície interpolada – Campo 2 – a) Temperatura máxima absoluta; b) Temperatura média; c) Temperatura mínima absoluta .....	111
FIGURA 33: Perfil topográfico e variação temporal da umidade relativa do ar durante o Campo 2.....	113
FIGURA 34: Superfície interpolada – Campo 2 – a) Umidade Relativa máxima absoluta; b) Umidade Relativa média; c) Umidade Relativa mínima absoluta .....	116
FIGURA 35: Unidades Topoclimáticas do município de Sarzedo (MG) .....	118

## Lista de Tabelas

TABELA 1: Articulação dos sistemas segundo os canais de percepção.....	24
TABELA 2: Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o Clima Urbano.....	28
TABELA 3: Expansão da macha urbana de Sarzedo (MG) 1994-2018 .....	50
TABELA 4: Elevação altimétrica do município de Sarzedo (MG) .....	64
TABELA 5: Classes de declividade .....	64
TABELA 6: Classes de orientação das vertentes.....	65
TABELA 7: Classes de uso do solo.....	66
TABELA 8: Divisão dos pontos amostrais.....	72
TABELA 9: Resumo estatístico – interpolação das temperaturas .....	76
TABELA 10: Resumo estatístico – interpolação das umidades relativas .....	76
TABELA 11: Nota atribuída a cada classe dos mapas base .....	78
TABELA 12: Pesos atribuídos aos mapas base.....	78
TABELA 13: Comportamento médio das variáveis climáticas por sistema atmosférico – 29/09 a 19/10/2019 .....	81
TABELA 14: Resumo estatístico do comportamento da temperatura do ar – Campo 1 .....	86
TABELA 15: Aquecimento e resfriamento médio (°C) – Campo 1 .....	88
TABELA 16a: Temperatura média (°C) por período – Campo 1 .....	91
TABELA 16b: Temperatura média (°C) por período sob atuação do ASAS – Campo 1 .....	91
TABELA 16c: Temperatura média (°C) por período sob LI – Campo 1.....	92
TABELA 17: Resumo estatístico do comportamento da umidade relativa – Campo 1 .....	94
TABELA 18a: Umidade relativa média (°C) por período – Campo 1 .....	96
TABELA 18b: Umidade relativa média (°C) por período durante o ASAS – Campo 1 .....	97
TABELA 18c: Umidade relativa média (°C) por período sob LI – Campo 1 .....	97
TABELA 19: Comportamento médio das variáveis climáticas por sistema atmosférico – 19/02 a 13/03/2020 .....	100
TABELA 20: Resumo estatístico do comportamento da temperatura do ar – Campo 2 .....	106
TABELA 21: Aquecimento e resfriamento médio (°C) – Campo 2 .....	108
TABELA 22a: Temperatura média (°C) por período – Campo 2 .....	109
TABELA 22b: Temperatura média (°C) por período sob LI – Campo 2.....	109
TABELA 22c: Temperatura média (°C) por período sob atuação da ZCAS – Campo 2 .....	110
TABELA 22d: Temperatura média (°C) por período durante o APASSt – Campo 2..	110

TABELA 23: Resumo estatístico do comportamento da umidade relativa – Campo 2 .....	112
TABELA 24a: Umidade relativa média (°C) por período – Campo 2 .....	114
TABELA 24b: Umidade relativa média (°C) por período sob LI – Campo 2 .....	114
TABELA 24c: Umidade relativa média (°C) por período durante a ZCAS – Campo 2 .....	114
TABELA 24d: Umidade relativa média (°C) por período durante o APASSt – Campo 2 .....	115
TABELA 25: Síntese das características das Unidades Topoclimáticas .....	117

## Lista de Siglas e Abreviaturas

AB – Alta da Bolívia

AP – Alta pressão

APAS – Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul

APAS<sub>t</sub> – Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul tropicalizado

APM – Anticiclone Polar Migratório

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

BC – Baixa do Chaco

BP – Baixa pressão

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

ENOS – El Niño Oscilação Sul

FF – Frente fria

GPI – Global Polynomial Interpolation

IDE-SISEMA – Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IDW – Inverse Distance Weighting

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IGC – Instituto de Geociências

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IOS – Índice de Oscilação Sul

LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite

LI – Linha de instabilidade

LPI – Local Polynomial Interpolation

MDE – Modelo Digital de Elevação

OMS – Organização Mundial de Saúde

PIB – Produto Interno Bruto

RBF – Radial Basis Function

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte



SCU – Sistema Clima Urbano  
SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission  
TSM – Temperatura de Superfície do Mar  
UBL – Urban Boundary Layer  
UCL – Urban Canopy Layer  
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais  
USGS – United States Geological Survey  
USP – Universidade de São Paulo  
UTC – Universal Time Coordinated  
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical  
ZCOU – Zona de Convergência de Umidade

### **Lista de Símbolos**

% – Porcentagem  
° – Grau  
°C – Grau Celsius  
h – Hora  
hPa – Hectopascal  
Km – Quilômetro  
Km<sup>2</sup> – Quilômetro quadrado  
m – Metro  
m<sup>2</sup> – Metro quadrado  
m/s – Metro por segundo  
mb – Milibar  
mm – Milímetro  
n° – Número  
W - Watt

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1 – Aspectos teóricos e bases conceituais .....</b>	<b>22</b>
1.1. O Sistema Clima Urbano (SCU).....	22
1.2. Escalas e hierarquias climáticas .....	25
1.3. Comportamento térmico, higríco e anemométrico nas áreas urbanas e nos ambientes circunvizinhos.....	31
1.4. Qualidade ambiental e qualidade de vida em ambientes urbanos .....	39
<b>CAPÍTULO 2 – Localização e caracterização do município de Sarzedo (MG)....</b>	<b>45</b>
2.1. Histórico de ocupação e desenvolvimento .....	46
2.2. Aspectos Físicos e Ambientais.....	51
2.2.1 Fatores estáticos .....	51
2.2.2 Fatores dinâmicos .....	58
<b>CAPÍTULO 3 – Materiais e Métodos .....</b>	<b>61</b>
3.1. Base Cartográfica.....	63
3.2. Experimentos de Campo.....	67
3.3. Análise Rítmica .....	71
3.4. Tratamento Estatístico dos Dados .....	71
3.5. Interpolação dos Dados .....	74
3.6. Unidades Topoclimáticas .....	77
<b>CAPÍTULO 4 – Análise e Discussão dos Resultados .....</b>	<b>80</b>
4.1. Campo 1.....	80
4.1.1 Análise sinótica .....	80
4.1.2 Comportamento dos Dados.....	85
4.2. Campo 2.....	99
4.2.1 Análise sinótica .....	99
4.2.2 Comportamento dos Dados.....	105
4.3. Unidades Topoclimáticas .....	117

<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>121</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>127</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>135</b>
Apêndice A – Mapa de uso e ocupação do solo e Imagem de satélite (Google Earth) de Sarzedo (MG) .....	136
Apêndice B – Localização e descrição dos pontos amostrais dos Campos 1 e 2.....	138
Apêndice C – Gráficos com comportamentos diários da temperatura e da umidade relativa do ar, durante o Campo 1 .....	147
Apêndice D – Gráficos com comportamentos diários da temperatura e da umidade relativa do ar, durante o Campo 2 .....	150
Apêndice E – Testes de modelos de interpoladores para Temperatura e Umidade Relativa – Campo 1.....	153
Apêndice F – Testes de modelos de interpoladores para Temperatura e Umidade Relativa – Campo 2.....	159
Apêndice G – Resultado da Análise Multicritério - Campos 1 e 2.....	165

## INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX, impulsionada principalmente pelo desenvolvimento industrial, a sociedade global vem vivenciando uma intensa migração da vida rural para a vida citadina. Esse movimento, conhecido como êxodo rural, tem provocado um grande aumento da população urbana em detrimento da população rural. Atualmente, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2019), 55% da população mundial reside em áreas urbanas. No Brasil, conforme dados do Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), esse índice é ainda mais elevado, correspondendo a 84,36% da população brasileira.

O grande fluxo de mão-de-obra, oriunda do campo, para suprir as necessidades da indústria, propiciou um crescimento desordenado na maioria das cidades brasileiras. Estas não possuíam infraestruturas adequadas para receber um contingente populacional tão grande em um intervalo de tempo relativamente curto. Desse modo, as precárias condições sanitárias, relegadas às populações mais pobres, desencadearam problemas ambientais e, conseqüentemente, de saúde dessa população, chamando a atenção da comunidade científica para as questões dos ambientes urbanos.

No cerne dos estudos urbanos, tem sido amplamente discutidos os impactos do processo de urbanização sobre o meio ambiente. De modo a atender às demandas da população, a medida em que ela cresce em números, aumentam-se os processos de derivação do ambiente, transformando paisagens outrora naturais em paisagens urbanizadas. De acordo com Fialho (2009), essas modificações da paisagem impactam as condições essenciais à vida, como a água, o ar, o solo e o clima.

Entretanto, deve-se considerar que, apesar de algumas cidades apresentarem sérios problemas socioeconômicos e ambientais – como violência, pobreza, poluição de água e ar, entre outros – os ambientes urbanos não são essencialmente um mal. Conforme salienta Mendonça (2009), é nesses ambientes que os sonhos e utopias humanas se realizam e, de acordo com Monteiro (1990a), as cidades são o “habitat natural” dos seres humanos.

Os processos de derivação dos ambientes por si só já constituem um tema complexo de estudo sobre as cidades, mas, para além disso, a ciência também tem se preocupado com a influência dos componentes físicos (naturais e antrópicos) das áreas urbanas sobre a qualidade de vida das suas populações. Segundo Oliveira (2002), os termos qualidade de vida e qualidade ambiental estão intimamente relacionados, ocorrendo, portanto, interações contínuas e profundas entre ambos.

A qualidade de vida nas cidades não se relaciona apenas com a disponibilidade de serviços e infraestruturas para seus habitantes, mas também com a presença de um meio ambiente não degradado e/ou contaminado, de maneira a contribuir com o nível de satisfação dos moradores em relação ao local em que vivem. Considerando que a qualidade ambiental resulta da interação entre os elementos da natureza e as atividades humanas, além de ser determinada pelo modo de produção do espaço, ela também é capaz de determinar como o urbano será produzido, com influências diretas sobre as atividades sociais e as condições físicas e mentais dos indivíduos.

Em função da grande influência que exercem sobre os aspectos ambientais, socioeconômicos e, conseqüentemente, sobre a qualidade de vida da população, as condições climáticas sobre os tecidos urbanos têm ganhado enfoque dentro da ciência climatológica. De acordo com Monteiro (1990b), o espaço urbanizado – resultado de derivações do quadro ecológico – passa, ao longo de seu desenvolvimento, por diferentes feições e funções urbanas, culminando na sua capacidade de alterar o clima local até adquirir atributos que lhe confirmam características de um clima urbano.

Monteiro (2003) explica que o clima urbano se refere ao clima de um dado espaço terrestre e de sua urbanização, isto é, a soma do comportamento climático natural com os efeitos causados pelo processo de urbanização. Desse modo, a atmosfera urbana deve ser entendida através da íntima conexão entre os compartimentos geocológicos e morfologia urbana e não apenas pela simples adição ou superposição dessas partes (MONTEIRO, 1990b).

As principais modificações promovidas pelo ambiente urbano no comportamento dos elementos atmosféricos estão associadas à interferência no balanço de radiação, estoque de calor, umidade, circulação do ar e emissão de poluentes. Isso se deve às mudanças nas propriedades de albedo, condução e emissividade dos materiais utilizados na construção civil (JARDIM, 2007). Assim, os processos de urbanização,

ao alterarem o uso e cobertura da terra, promovem mudanças nos mecanismos de troca de calor entre superfície e atmosfera.

Alcoforado (1999) e Assis (2010) apontam que a maioria dos estudos iniciais sobre o clima urbano foi baseada na análise da diferença de temperaturas entre ambientes urbanos e rurais. Isso porque as principais modificações climáticas em núcleos urbanos estão relacionadas aos valores térmicos e hídricos. Assim, de modo geral, com os processos de derivação urbana, as cidades tendem a produzir mais calor quando comparadas com o ambiente circunvizinho (natural ou rural). A rugosidade gerada pelas edificações altera o sistema natural de ventilação, bem como as precipitações tendem a ser concentradas em função do aumento de núcleos de condensação.

Considerando os efeitos que os tecidos urbanos podem provocar no comportamento climático, surgiu o interesse em investigar o quanto uma cidade em fase inicial de desenvolvimento pode interferir no comportamento das variáveis climáticas. Para isso, foi selecionado o município de Sarzedo, localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), Minas Gerais.

Sarzedo foi elevado à categoria de município pela Lei Estadual 10.703 de 21/12/1995, desmembrando-se do município de Ibitaré. Conforme Diniz e Mendonça (2015), o município faz parte do Vetor Oeste de expansão da RMBH, caracterizado como o vetor de maior população e maior densidade demográfica da região. Em concordância com as características do vetor no qual se insere e impulsionado pelo desenvolvimento do setor industrial, o município de Sarzedo vem experimentando, nas duas últimas décadas, um considerável aumento populacional.

Em 1997, o IBGE estimou a população de Sarzedo em, aproximadamente, 13.417 habitantes. No censo realizado em 2010 constatou-se que, em pouco mais de uma década, a população sarzedense quase dobrou, constituída então por 25.814 habitantes (IBGE, 2010). Ainda, a estimativa do IBGE para a população em 2019 é de 32.752 habitantes.

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo apresentar uma caracterização preliminar das condições topo e mesoclimáticas do município de Sarzedo, bem como identificar possíveis variações nos campos térmicos e hídricos em função do uso e

cobertura dos solos. Para atingir esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a circulação na camada limite planetária, identificando os principais sistemas atmosféricos que atuam sobre o município ao longo do ano;
- Levantar as características geoecológicas e de uso e cobertura dos solos da área de estudo;
- Avaliar o comportamento térmico e higrício, durante os períodos seco e chuvoso, com base em dados de temperatura e umidade relativa do ar coletados em pontos com diferentes morfologias e uso do solo;
- Propor uma compartimentação teórica das unidades topoclimáticas do município de Sarzedo.

Considerando as diferenças térmicas entre áreas urbanas e áreas rurais e/ou naturais, amplamente discutidas pela literatura, a primeira hipótese desse estudo sugere que a área urbana do município de Sarzedo, localizada em sua porção norte, possui temperaturas mais elevadas, bem como menores índices de umidade relativa do ar, em comparação com áreas do entorno não urbanizadas. A segunda hipótese considera a primeira premissa verdadeira, porém sugere que, sob atuação de sistemas atmosféricos instáveis, as diferenças entre urbano e rural tendem a diminuir, ou até mesmo a desaparecer. Por fim, a terceira hipótese considera que, apesar das duas primeiras hipóteses serem verdadeiras e do grande crescimento populacional registrado nas últimas décadas, Sarzedo ainda não adquiriu características capazes de constituir um clima urbano.

Estudos climatológicos direcionados a cidades em desenvolvimento contribuem para a identificação de qual porte ou grau hierárquico uma cidade passa a apresentar condições de clima urbano. Além disso, contribuem para a manutenção preventiva da qualidade ambiental, podendo evitar ou mitigar problemas futuros. Também, considerando o clima como um componente ambiental que possui influências diretas sobre a economia e saúde da população, é de extrema importância que a gestão municipal tome conhecimento e dispense devida atenção aos elementos climáticos. Desse modo, espera-se que os resultados aqui alcançados possam contribuir, ainda que de forma introdutória, para o entendimento do comportamento climático no município.

Além desta introdução, o trabalho conta com quatro capítulos, considerações finais, referências bibliográficas e apêndices.

No primeiro capítulo são abordados aspectos teóricos e bases conceituais relativos ao Sistema Clima Urbano (SCU), como escalas e hierarquias e circulação na camada limite planetária. Também são discutidas as variações térmicas, hídricas e anemométricas entre ambientes urbanos e rurais e uma breve explicação sobre os conceitos de qualidade de vida e qualidade ambiental, relacionando-os com as variáveis climáticas.

O Segundo capítulo apresenta a localização, os fatores climáticos (estáticos e dinâmicos) e as características físicas (urbanas e geoecológicas) e socioeconômicas do município de Sarzedo.

No terceiro capítulo são descritos os materiais e os procedimentos metodológicos utilizados para a elaboração desse trabalho, como a construção da base cartográfica, a definição das áreas do trabalho de campo, os equipamentos utilizados no trabalho de campo, os métodos estatísticos adotados para a análise dos dados coletados, os métodos de interpoladores utilizados e os parâmetros da análise multicritérios definidos para a obtenção da proposta de compartimentação das unidades topoclimáticas.

O quarto e último capítulo apresenta os dados coletados durante os dois experimentos de campo. Esses dados são analisados e discutidos com base nas características físicas e climáticas apresentadas no segundo capítulo e, também no quarto capítulo, é apresentada a proposta de compartimentação das unidades topoclimáticas. Por fim, nas considerações finais, com base nos resultados obtidos, é verificada a veracidade das hipóteses lançadas.



## CAPÍTULO 1 – ASPECTOS TEÓRICOS E BASES CONCEITUAIS

### 1.1. O Sistema Clima Urbano (SCU)

O termo “sistema”, de acordo com Christofolletti (1999), representa um conjunto organizado de elementos, os quais interagem entre si. Considerando sua aplicação na análise ambiental, Drew (1998, p. 21) define sistema como “*um conjunto de componentes ligados por fluxos de energia e funcionando como uma unidade*”. Segundo Christofolletti (1979), os sistemas devem possuir elementos, atributos (relativos aos elementos), mecanismos de retroação positiva e negativa entre os elementos, e entrada e saída de matéria e energia.

Nota-se, portanto, que a interação entre as partes está diretamente associada aos fluxos de energia e matéria que ocorrem dentro do sistema. Do mesmo modo, o fluxo de energia e matéria dentro de um sistema está condicionado a sua entrada advinda de outros sistemas (hierarquicamente superiores). O resultado da interação entre os componentes do sistema depende dos atributos dos elementos, bem como do *input* inicial de matéria e energia que o mesmo recebe.

Desse modo, o clima também é compreendido como um sistema, no qual o resultado está intimamente relacionado com as trocas entre as partes. O sistema climático é formado pela interação dos elementos componentes da atmosfera, da hidrosfera, da criosfera, da litosfera e da biosfera. Estes componentes atuam de forma simultânea, exercendo papel fundamental na dinâmica climática, modificando o clima e sendo modificados por ele (AYOADE, 1996).

Segundo Monteiro (1976), o sistema climático é um sistema aberto, dinâmico, complexo e adaptativo. Isso significa que recebe energia e matéria de outros sistemas (aberto); constantemente sofre modificações (dinâmico), com sucessões de tempo atmosférico em escalas horárias, diárias, semanais, mensais, anuais, etc.; recebe influência de múltiplos fatores (complexo); e que pode adquirir características do local em que se situa (adaptativo).

Diante dessas características e da interação entre os diversos elementos que compõem o sistema Terra-Atmosfera, compreende-se que alterações na cobertura da superfície são capazes de causar perturbações no clima local. Procedimentos comuns

aos processos de urbanização, como a retirada da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, verticalização, canalização de córregos, lançamento de material particulado e gases poluentes, alteram a dinâmica natural entre a superfície terrestre e a atmosfera, interferindo, por exemplo, na quantidade de energia absorvida e refletida pela Terra e na circulação dos ventos.

Conforme Monteiro (1976; 1990b; 2003), o clima urbano abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização, sendo o resultado da interação entre o clima natural e as interferências causadas pela urbanização.

Trata-se, pois, de admitir, como ponto de partida, um processo de implantação humana que, progressiva e cumulativamente derivador das condições primitivas do ambiente, atinge proporções significativas tanto pelas alterações como pela massa de edificações que, dotada de um dinamismo peculiar, vai se configurando, alterando e transformando no tempo (MONTEIRO, 1990b, p. 76).

Esse processo de derivação dos ambientes, culminando na formação das cidades, provoca modificações na porção da atmosfera que a envolve. Segundo Drew (1998), as cidades possuem uma abóboda climática própria, na qual os principais parâmetros climáticos (temperatura, umidade, radiação, ventos, etc.) diferem do clima regional dominante. Também, é comum que se forme sobre as grandes cidades uma camada de poluição, situada entre 50 e 300 metros acima da superfície.

Fatores naturais, como a topografia, podem atenuar os efeitos da urbanização sobre o clima local. Monteiro (1976, 1990b, 2003) aponta que os estudos do clima urbano devem considerar tanto a tipologia do sítio como os modelos de morfologia urbana, observando a íntima conexão entre os componentes urbanos, o ambiente natural e as características gerais da atmosfera sobre o sítio.

O Sistema Clima Urbano (SCU), proposto por Monteiro (1976), apresenta uma classificação taxonômica das diversas escalas de abordagem do clima urbano, na qual, segundo Assis (2010, p. 12), *“existe a preocupação em caracterizar a organização hierárquica do tecido urbano no que concerne a ligação no plano vertical e conexões no plano horizontal”*.

O SCU importa energia através do seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria de sistemas abertos (MONTEIRO, 1976, p. 96; 2003, p. 20).

Assim, Monteiro (1976, 1990b) classifica o SCU como um sistema aberto, com mobilidade espacial e temporal, no qual as condições climáticas iniciais já foram consideravelmente transformadas, com destaque para a formação de ilhas de calor e a poluição do ar.

O SCU visa compreender a organização climática peculiar da cidade e, como tal, é centrado essencialmente na atmosfera que, assim, é encarada como operador. Toda a ação ecológica natural e as associações aos fenômenos da urbanização constituem o conjunto complexo sobre o qual o operador age. Por isso, tudo o que não é atmosférico e que se concretiza no espaço urbano, incluindo o homem e demais seres vivos, constitui elementos do sistema, estruturando-se em partes que, através de suas reações, definem atributos especiais. Assim, esse conjunto complexo e estruturado constitui o operando do sistema (MONTEIRO, 2003, p. 21).

Apoiado na Teoria Geral dos Sistemas, Monteiro (1976) estabelece os “canais de percepção do clima” associados aos principais níveis de resolução dos sistemas, são eles: “conforto térmico” (subsistema Termodinâmico); “qualidade do ar” (subsistema Físico-Químico); e o “impacto meteórico” (subsistema Hidrometeórico). A síntese da articulação dos sistemas, segundo os canais de percepção, pode ser verificada na tabela 1.

TABELA 1: Articulação dos sistemas segundo os canais de percepção

Subsistemas canais Caracterização	I Termodinâmico	II Físico-Químico	III Hidrometeórico
	Conforto térmico	Qualidade do ar	Impacto meteórico
Fonte	Atmosfera, radiação, circulação horizontal	Atividade urbana, veículos automotores, indústrias, obras-limpeza	Atmosfera, estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no sistema	Intercâmbio de operador e operário	De operando ao operador	Do operador ao operando
Mecanismo de ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação núcleo ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódico (eventual)
Observação	Meteorológica especial (trabalho de campo)	Sanitária e meteorológica especial	Meteorológica, hidrológica (trabalho de campo)
Correlações disciplinares e tecnológicas	Bioclimatologia, Arquitetura e Urbanismo	Engenharia Sanitária	Engenharia Sanitária e Infraestrutura Urbana
Produtos	Ilha de calor, ventilação, aumento de precipitação	Poluição do ar	Ataques à integridade urbana
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitários; doenças respiratórias, oftalmológicas etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle do uso do solo, tecnologia de conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infraestr. urbana e regularização fluvial, uso do solo
Responsabilidade	Natureza e homem	Homem	Natureza

Fonte: Monteiro (1976, p. 127).

## 1.2. Escalas e hierarquias climáticas

Se faz necessária uma breve diferenciação entre os conceitos e aplicações da escala cartográfica e da escala geográfica. A escala cartográfica representa, graficamente, a redução da realidade a partir de um raciocínio matemático. Por sua vez, a escala geográfica, além de lançar mão disso, refere-se a recortes espaciais organizados hierarquicamente, funcionando como sistemas.

A escala geográfica é uma ferramenta fundamental para qualquer estudo que envolva a análise espacial de algum fenômeno (natural e/ou antrópico). Para compreender a atuação de um determinado fenômeno é de extrema importância que, antes de tudo, ele seja situado no tempo (duração) e no espaço (extensão), sendo necessário que a escala de análise seja adequada ao objeto a ser estudado. De acordo com Castro (1995), a escala é capaz de evidenciar relações e fenômenos que, em outros recortes, não teriam a mesma visibilidade. Portanto, a escala pode ocultar ou privilegiar determinadas informações em função da sua dimensão.

Nos estudos do clima, a escala de abrangência do fenômeno deve ser definida tanto horizontal quanto verticalmente, dando importância não só à área de atuação, mas também à camada da atmosfera em que o fenômeno se forma. Como exemplo, a formação de tempestades em camadas superiores da atmosfera, ao precipitar sobre um sítio urbano, em um curto período, pode causar danos à estrutura da cidade.

Segundo Jardim (2015), o aspecto importante no trânsito entre escalas está nas relações que o objeto de estudo estabelece com outros objetos no mesmo nível escalar (organização funcional) e em níveis escalares diferentes (hierarquia) – o que o autor chamou de “sistemas embutidos no interior de sistemas”. Assim, no exemplo dado anteriormente, a cidade representa um sistema, no qual os componentes possuem relações de funcionamento entre si, mas que podem sofrer perturbações com a entrada excessiva de chuva, ficando, portanto, condicionado hierarquicamente à sistemas superiores.

A fim de sistematizar as escalas de análise climática, Ribeiro (1993) propôs uma classificação taxonômica hierárquica, a qual é baseada em três níveis interativos: nível macroclimático, nível mesoclimático e nível microclimático. Para isso, o autor dispõe os seguintes critérios orientadores:

- a) São consideradas escalas superiores aquelas mais próximas do nível planetário e escalas inferiores aquelas mais próximas dos indivíduos habitantes da superfície da Terra;
- b) As combinações de processos físicos interativos numa escala superior resultam em modificações sucessivas no comportamento da atmosfera nas escalas inferiores;
- c) As combinações particulares de processos físicos nas escalas inferiores possuem limitada repercussão nas escalas superiores;
- d) O grau de dependências da radiação extraterrestre na definição climática é maior nas escalas superiores, enquanto que a influência dos elementos da superfície, inclusive a ação antrópica, vai-se tornando mais pronunciada na medida em que se atingem as escalas inferiores;
- e) Quanto mais extenso o resultado de determinada combinação, maior será o tempo de sua permanência, sendo o inverso igualmente verdadeiro;
- f) A extensão de uma determinada combinação na atmosfera resulta num atributo tridimensional sendo, portanto, volumétrica a noção de extensão, em Climatologia, e tendo como limite superior o próprio limite da atmosfera terrestre (RIBEIRO, 1993, p. 288).

Segundo Assis (2010), o macroclima é a maior área de investigação na climatologia, compreendendo os estudos das grandes células de circulação e sistemas atmosféricos de larga escala, com dimensões horizontais e verticais maiores que 20.000m. É possível destacar na proposta de Ribeiro (1993) duas categorias que se inserem no nível macroclimático: o clima zonal e o clima regional.

O clima zonal, segundo Ribeiro (1993), possui extensão horizontal entre 1.000 e 5.000 quilômetros e na vertical, abrange toda a atmosfera. Nesta escala, a duração de um fenômeno climático pode se estender de uma semana a seis meses, uma vez que está associada à circulação geral da atmosfera, mais especificamente à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), aos anticiclones das latitudes médias, às zonas ciclônicas circumpolares, ao El Niño Oscilação Sul (ENOS) e à circulação monçônica.

O clima regional ocorre no interior de um clima zonal, quando um conjunto de fatores de superfície geram modificações na circulação geral da atmosfera. Apresentam extensão horizontal entre 150 e 2.500 quilômetros e, verticalmente, seus fenômenos ocorrem abaixo da tropopausa (RIBEIRO, 1993). Conforme Ribeiro:

As perturbações na circulação primária, provocadas pela influência dos mencionados fatores, geram perturbações sinóticas que criam os centros de ação, intermediários entre a circulação primária e secundária: massas de ar e frentes que se revelam através de sistemas de circulação atmosférica. A extensão, a permanência e a frequência da atuação de grupos de sistemas de circulação atmosférica provocam o impacto necessário para produzir condições relativamente estáveis para o desenvolvimento de uma bio-morfo-

pedogenese característica de uma determinada região natural. (RIBEIRO, 1993, p. 290).

O nível mesoclimático pode estender-se horizontalmente de 100m até 20.000m e verticalmente pode exceder os 6.000m de altitude (ASSIS, 2010). Para esta escala de análise, embora com limites horizontais e verticais mais elásticos, a proposta taxonômica de Ribeiro (1993) possui duas categorias: o mesoclima (ou clima local) e o topoclima.

Feições fisiográficas ou antrópicas, ao interferirem no fluxo energético ou no transporte de massa, podem causar variações no clima regional, gerando feições de mesoclima ou clima local. Neste nível escalar, o relevo e o tipo de uso e ocupação dos solos são fatores determinantes para as condições de tempo e clima. Assim, a substituição da cobertura vegetal natural por componentes urbanos (edificações, solos impermeabilizados etc.) é capaz de gerar novas condições para o clima local (RIBEIRO, 1993). A dimensão horizontal desse nível escalar pode variar entre 15 e 150 quilômetros e verticalmente, é demarcada pela camada Limite Planetária, entre 1.200 e 2.000m de altura. Quanto a duração temporal:

A permanência dos estados atmosféricos na escala do clima local pode perdurar entre 12 horas e uma semana, pois apesar da influência dos fatores fisiográficos e antrópicos na construção do mesoclima, quem comanda sua gênese, é a sucessão habitual de sistemas e subsistemas atmosféricos, configurados pela variação diária dos elementos climáticos, o que resulta na definição dos tipos de tempo que, por sua vez, possuem duração mínima de 12 horas. (RIBEIRO, 1993, p. 291).

Segundo Ribeiro (1993), o topoclima corresponde a uma variação do clima local em função da rugosidade do terreno, responsável pela exposição diferenciada da superfície à radiação solar. A extensão horizontal dos topoclimas limita-se à forma ou ao tamanho da feição que lhe deu origem, podendo variar entre 500m e 5.000m. Sua interferência pode atingir a camada Limite Superficial, entre 50m e 100m de altura.

O microclima caracteriza-se como a menor unidade de análise climática, com dimensões horizontais e verticais podendo variar de 1m a 100m (ASSIS, 2010). Para Ribeiro (1993, p. 293), “o microclima define-se 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”. Trata-se, portanto, do nível escalar mais próximo dos seres vivos. A área de

abrangência dos fenômenos nesta escala não possui limites rígidos, uma vez que o seu tamanho depende do fator que dá origem ao microclima.

É importante destacar que a transição horizontal e vertical entre as escalas é definida de forma relativamente arbitrária, não havendo limites rígidos entre as unidades climáticas. Desse modo, independentemente dessa sistematização, os limites entre as unidades climáticas são abstratos, uma vez que os fenômenos atmosféricos são contínuos e indivisíveis. O objetivo das classificações taxonômicas é facilitar a compreensão dos processos que ocorrem entre superfície e atmosfera (ASSIS, 2010).

Monteiro (1976) apresenta uma proposta de classificação taxonômica das escalas climáticas hierarquizadas, sem a preocupação em estabelecer limites rígidos entre elas. Nesta proposta, o autor buscou relacionar os níveis hierárquicos (escalonados) com as unidades de urbanização (tabela 2), adaptando a sistematização das unidades geomorfológicas proposta por Tricart e Cailleux (1956)<sup>1</sup>.

TABELA 2: Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o Clima Urbano.

Ordens de grandeza (Cailleux e Tricart)	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	10 <sup>5</sup> (milhões de km)	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites, Nefanálises	Latitude, centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	10 <sup>4</sup> (milhões de km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas, sondagens aerológicas, rede meteorológica de superfície	Sistemas meteorológicos (circulação secundária)	Redes, transectos
IV	10 <sup>3</sup> (centenas de km)	1:1.000.000 1:500.000	Sub-Regional (fácies)	Megalópole, Grande área metropolitana		Fatores geográficos regionais	Mapeamento sistemático
V	10 (dezenas de km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana, metrópole	Posto meteorológico, rede complementar	Integração geocológica, ação antrópica	Análise espacial
VI	10 <sup>-2</sup> (centenas de km)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande, bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (episódicos)	Urbanismo	Especiais
-	Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade, fâcies de bairro / subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	Metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação, habitação, setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Monteiro (1976, p. 109).

<sup>1</sup> TRICART, J.; CAILLEUX, A. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. *Annales de Géographie*, LXV: p. 162-186. 1956.

Considerando essa sistematização, as escalas mais adequadas para estudos de clima urbano são a mesoclimática e a local. De acordo com Monteiro (1990b) e Assis (2010), o clima urbano abrange os fatores que condicionam a circulação atmosférica em mesoescala, bem como as modificações causadas por esta em nível local. Assim, o mesoclima urbano é composto por diferentes topoclimas que se repetem ao longo da cidade e que, por sua vez, são formados por pequenos microclimas.

Os estudos do clima urbano também contam com uma proposta de divisão da camada limite em duas partes principais: Camada de Cobertura Urbana (UCL – *Urban Canopy Layer*) e Camada Limite Urbana (UBL – *Urban Boundary Layer*). Essa divisão foi proposta por Oke (1981), a fim de facilitar os estudos do clima urbano.

Segundo Andrade (2005) e Assis (2010), a UCL é o volume de ar entre os edifícios, se estende desde o solo até o nível médio da altura das edificações dentro da área urbana, estando inserida dentro da escala topoclimática. A UBL é a camada imediatamente acima à UCL, limitada pela Camada Limite Planetária, integra e influencia térmica de toda a cidade e caracteriza-se como uma escala mesoclimática. A figura 1 representa de forma esquemática a atmosfera dividida a partir dessa proposta.



FIGURA 1: Representação esquemática da atmosfera urbana. Fonte: Assis (2010).



Com o intuito de simplificar e organizar as definições encontradas na bibliografia de seu estudo, Assis (2010) elaborou um fluxograma com as diversas escalas de análises e hierarquia funcional relacionadas ao Sistema Clima Urbano (FIG. 02).

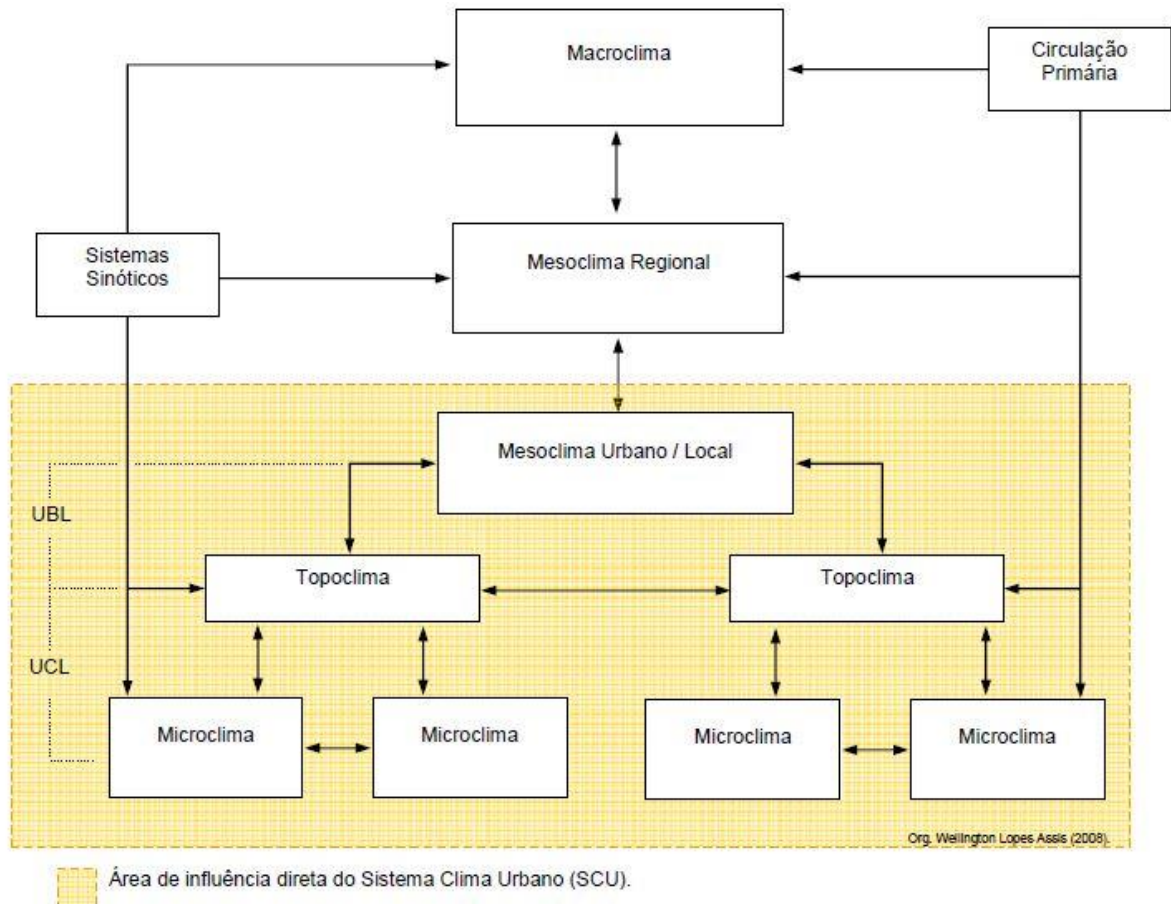


FIGURA 2: Hierarquia funcional simplificada do Sistema Clima Urbano. As setas representam o intercâmbio contínuo de energia e massa entre as diversas escalas de análise. Fonte: Assis (2010).

É interessante notar que, neste fluxograma, o autor relaciona a UCL com os eventos microclimáticos, enquanto a UBL se refere aos fenômenos que ocorrem na escala mesoclimática. Neste contexto, os topoclimas se inserem como uma unidade transicional entre UCL e UBL. Também se destaca a área de influência direta do SCU, que se estende desde os microclimas e limita-se à escala mesoclimática / clima local.

### 1.3. Comportamento térmico, higrício e anemométrico nas áreas urbanas e nos ambientes circunvizinhos

O clima urbano pode ser compreendido através das condições climáticas que prevalecem sobre uma área urbanizada e que são diferentes das condições encontradas nas áreas ao redor, com menor ou nenhum grau de urbanização. Esses ambientes se diferenciam pelo comportamento desigual de temperaturas, umidade relativa, ventos e precipitação, ocasionado, principalmente, pelos diferentes usos e coberturas dos terrenos.

Alcoforado (1999) aponta que a maioria dos estudos iniciais sobre o clima urbano se deu a partir da análise das diferenças de temperaturas entre sítios urbanos e rurais. Ainda no século XIX, conforme citado por Landsberg (1981), o estudo elaborado por Howard<sup>2</sup> (1833) identificou na cidade de Londres, a partir da comparação de dados de estações meteorológicas urbanas e rurais, um centro urbano mais quente que o ambiente circundante. Para o mesmo estudo é considerado o reconhecimento de uma ilha de calor, visto que a área urbana se apresentava mais quente no período noturno.

Algumas décadas após Howard (1833), Renou<sup>3</sup> (1855), também citado por Landsberg (1981), desenvolveu um estudo similar para a cidade de Paris, no qual identificou temperaturas mais elevadas na área urbana em relação à área rural. Renou (1855) também observou que a área rural possuía, em média, 40% mais dias frios (“congelados”) do que áreas urbanas, além de apresentar velocidade dos ventos superior à cidade.

Durante o século XX, a quantidade de estudos sobre o clima urbano se expandiu, dos quais muitos buscaram relacionar as diferenças climáticas entre ambientes urbanos e ambientes rurais (LANDSBERG, 1981). No Brasil, um dos estudos mais antigos que apontou as diferenças de temperatura e umidade relativa entre campo e cidade foi o desenvolvido por Monteiro e Tarifa (1977) sobre o clima da cidade de Marabá, estado do Pará. Nesse estudo, os autores identificaram diferenças de até 4°C, no mesmo instante, entre a temperatura registrada na estação principal da cidade, localizada no

---

<sup>2</sup> HOWARD, L. **The climate of London deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it.** 3ed., in 3 vols. London: J & A. Arch, Cornhill; Longman & Co. 1833.

<sup>3</sup> RENO, E. Instructions météorologiques. **Annuaire Soc. Météorol. de France.** Vol. 3, part. 1, 73-160. 1855.

aeroporto, e a registrada no interior de uma mata. Tal característica foi atribuída ao papel da água (umidade), presente em maior quantidade na mata, contribuindo significativamente para o arrefecimento da temperatura.

Segundo Monteiro (1976, p. 126), o componente termodinâmico constitui o “nível fundamental de resolução climática para onde convergem e se associam todas as outras componentes”. Nesse sentido, as temperaturas, elemento fundamental para a definição de conforto térmico humano, assumem papel de destaque nos estudos de clima urbano.

Mas por que se observa comportamentos distintos das temperaturas entre o campo e a cidade? A resposta está, principalmente, na diferença de materiais que compõem esses ambientes. Embora a quantidade de energia que a cidade recebe seja basicamente a mesma que o ambiente em seu entorno, materiais frequentemente usados em áreas urbanas, como o concreto e o asfalto, tendem a absorver e armazenar mais energia ao longo do dia, em comparação com as áreas não urbanizadas.

De acordo com Landsberg (1981), de modo geral, a paisagem natural ou rural é caracterizada pela presença de vegetação e de solo permeável, enquanto áreas urbanas possuem superfícies impermeáveis e compactadas. Segundo o autor, esse contraste entre essas duas paisagens resulta em diferenças de condutividade e armazenamento de calor. Portanto, paisagens urbanas e paisagens naturais possuem diferentes repostas quanto à entrada de radiação solar à emissão de radiação terrestre, o que gera a formação de porções urbanas com temperaturas mais elevadas do que o ambiente do entorno, refletindo na formação de ilhas de calor.

Segundo Lombardo (1985, p. 24), as ilhas de calor correspondem “a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas”, as quais ocorrem em função da redução da evaporação nas cidades, da maior rugosidade das mesmas e das propriedades térmicas dos materiais construção. Para Barry e Chorley (2003), o efeito de ilhas de calor pode resultar em temperaturas urbanas mínimas de 5 a 6°C superiores às das áreas circunvizinhas, podendo chegar 8°C nas primeiras horas de noites em grandes cidades, sob condições atmosféricas estáveis. Embora os estudos de clima urbano sejam comumente associados à formação de ilhas de calor, Jardim (2007) nos lembra de que elas:

(...) não representam a realidade do clima urbano, mas um de seus aspectos, traduzida por uma situação momentânea ou horária, motivada pela convergência pontual de fatores ligados às características de conformação do relevo, disposição dos equipamentos e dinâmica urbanos, sob a influência de determinados tipos de tempos, associados aos sistemas atmosféricos em dado estágio de sua evolução temporal. (JARDIM, 2007, p. 307).

Com base em Landsberg (1981) e Barry e Chorley (2003), os contrastes de temperaturas entre campo e cidade – assim como entre as ilhas de calor e seu entorno – são mais evidentes após o pôr do Sol. Segundo Fialho (2009), tanto áreas urbanas como rurais perdem calor por irradiação terrestre para atmosfera na faixa do infravermelho. Porém, de acordo com Assis (2010, p. 21), nos ambientes urbanos, “a geometria das edificações e a morfologia urbana impedem que haja uma perda brusca de energia, fazendo com que o resfriamento atmosférico na camada-limite próxima ao solo seja de menor intensidade”. Em contrapartida, em ambientes rurais e/ou naturais, a relativa ausência de obstruções da abóboda celeste propicia a dissipação da energia, resultando em um resfriamento mais rápido.

A figura 3 demonstra de forma simplificada o fluxo de entrada de energia – radiação solar, em ondas curtas (K) – e emissão de radiação terrestre (ondas longas – L) em ambientes com diferentes graus de obstrução da abóboda celeste. Nota-se que no campo cerrado (3a) o fato de não haver obstruções favorece maior quantidade de energia refletida (albedo). Segundo Assis (2010), grande parte da energia absorvida pela vegetação é utilizada em seu processo metabólico, fazendo com que essas superfícies irradie menor quantidade de calor e, conseqüentemente, favorecendo o resfriamento noturno.

A mesma realidade não pode ser verificada na área com pequenos edifícios e na área com grandes edifícios (3b e 3c, respectivamente). Isso porque, de acordo com Assis (2010), parte da energia que seria refletida de volta para o espaço acaba sendo absorvida por outro corpo, aumentando a quantidade de energia armazenada. Além disso, principalmente em 3c, a radiação em ondas longas encontra obstáculos que dificultam a sua saída do sistema.



FIGURA 3: Representação simplificada dos efeitos da radiação solar sobre as superfícies verticais e horizontais, de acordo com a obstrução da abóbada celeste. As setas de cor laranja representam o fluxo de radiação em ondas curtas (K) e as setas amarelas o fluxo de radiação em ondas longas (L). Fonte: Assis (2010).

Stewart e Oke (2010), com o intuito de avaliar a validade de um sistema de classificação por zonas climáticas locais, observaram o comportamento da temperatura em três “cidades-regiões”, utilizando diferentes fontes de dados e recortes temporais: Uppsala (Suécia), Nagano (Japão) e Vancouver (Canadá). Em Uppsala, os dados foram obtidos através de nove estações fixas, registrados no período entre 20 e 23 de setembro de 1976. Segundo os autores, as condições de tempo nesses dias eram predominantemente secas, calmo e limpo e, conseqüentemente, mais sensíveis à variações térmicas. Foram identificadas variações térmicas entre os ambientes em função do horário, com temperaturas semelhantes no período da manhã, pequenas variações no período da tarde e

variação máxima durante a madrugada. Durante a tarde, as áreas urbanas densas e as áreas com vegetação rasteira registraram temperaturas ligeiramente superiores em relação às áreas urbanas menos densas. Enquanto na madrugada observaram uma diferença total de 5°C entre o ambiente mais quente (área urbana densa) e o ambiente mais frio (vegetação rasteira).

Para analisarem o comportamento da temperatura da cidade de Nagano, Stewart e Oke (2010) utilizaram os dados de temperatura coletados por Sakakibara e Matsui (2005)<sup>4</sup>, que realizaram 90 travessias de automóvel na bacia de Nagano entre dezembro de 2001 e novembro de 2002. Em geral, os autores observaram que as áreas urbanas prediais eram 2°C mais quentes que as áreas urbanas unifamiliares e 3°C mais quentes que as áreas abertas com vegetação rasteira e áreas arborizadas. As áreas compostas por prédios eram as mais quentes nas quatro estações do ano, enquanto as mais frias eram as áreas arborizadas (primavera e verão) e as áreas de vegetação rasteira (outono e inverno).

Para a cidade de Vancouver, Stewart e Oke (2010) utilizaram dados obtidos através de percursos noturnos de automóveis realizados em 26/10, 02/11 e 04/11/1999. Foram coletadas temperaturas em uma rota transversal que passava pelos principais usos da terra em Vancouver. Os autores identificaram que, à medida em que a travessia se afastava do centro da cidade (área urbana densa composta por prédios) e entrava em um parque fortemente arborizado, a temperatura sofria um decréscimo de 4°C. As temperaturas em áreas urbanas prediais eram, em média, 6°C mais elevadas que em áreas com vegetação rasteira.

Landsberg (1981) chama atenção para o fato de que as condições climáticas de escalas superiores são dominantes. Segundo o autor, sob condições, por exemplo, de ventos fortes, nuvens e ocorrência de precipitações, as influências locais são amplamente suprimidas – estas, por sua vez, dominam apenas sob condições de tempo estáveis. Lopes e Jardim (2012) corroboram dessa ideia e acrescentam que muitos experimentos climatológicos que buscam analisar o comportamento climático em diferentes ambientes são realizados apenas em dias quentes, com condições de tempo estáveis, ignorando a totalidade do clima, o que justificaria as grandes

---

<sup>4</sup> Sakakibara, Y.; Matsui, E. Relation between heat island intensity and city size indices/urban canopy characteristics in settlements of Nagano basin, Japan. **Geographical Review of Japan**. 78: 812-824, 2005.

diferenças positivas de temperatura comumente encontradas na cidade em relação ao campo.

Assim, sob condições atmosféricas instáveis, as diferenças de temperatura tendem a se minimizar, ou até mesmo desaparecer. Lopes e Jardim (2012) demonstraram isso em seu estudo que objetivava investigar a influência do uso da terra no comportamento da temperatura e umidade relativa nos municípios de Betim (área rural) e Contagem (área urbana), Minas Gerais. Os autores coletaram dados horários, de forma simultânea, de temperatura e umidade durante o inverno de 2011.

Segundo os autores, em recorte feito no dia 14/08/2011, sob condições de forte estabilidade atmosférica, a área rural de Betim aqueceu rapidamente logo após o nascer do Sol e registrou os maiores e menores valores de temperaturas máxima e mínima, respectivamente. Em contrapartida, a área urbana de Contagem apresentou temperaturas mais elevadas após o pôr do Sol e dissipação do calor mais lenta em comparação à Betim, chegando a registrar, durante a madrugada, até 6°C a mais que Betim. Entretanto, em outro recorte, no dia 26/07/2011, sob forte nebulosidade, Lopes e Jardim (2012) demonstraram que as diferenças entre os dois pontos foram bem menos expressivas, com respostas semelhantes à entrada e saída de energia.

O fato da área rural de Betim apresentar temperaturas máximas mais elevadas que a área urbana de Contagem demonstra que nem sempre os ambientes naturais / rurais apresentarão características de ilhas de frescor frente às elevadas temperaturas das cidades. Outro exemplo disso é encontrado no experimento de Jardim e Galvani (2018), o qual identificou que um ambiente de cerrado, localizado no interior do Parque Nacional da Serra do Cipó, registrou, em recorte temporal entre abril de 2016 e setembro de 2017, temperaturas máximas e médias diárias superiores às registradas pela Estação Meteorológica da Pampulha, em Belo Horizonte. Segundo os autores, áreas naturais do parque apresentaram temperaturas mais elevadas do que Belo Horizonte durante o dia e mais baixas durante a noite, tanto em condições de instabilidade como de estabilidade atmosférica.

Jardim e Galvani (2018) também apontam que o papel de atenuação da temperatura pela vegetação foi verificado apenas no posto de coleta de dados instalado dentro da mata ciliar, nas proximidades da confluência dos rios Bocaina e Mascates. Essa característica de ilha de frescor assumida pela mata ciliar se justifica pela:

(1) forte obstrução pelo dossel foliar frente à entrada de radiação solar, implicando em menor disponibilidade de calor sensível; (2) atenuação da ventilação pelo adensamento vegetal, reduzindo a entrada e dissipação de calor e umidade (dificulta a saída do baixo saldo de calor e conserva a umidade produzida no interior desse espaço, ao mesmo tempo em que atenua a entrada e saída desses mesmos elementos advectados de fontes externas); (3) aporte e evaporação da umidade oriunda da evapotranspiração vegetal, evaporação da água dos solos e evaporação das águas do rio Cipó situado nas proximidades (<100 m), contribuindo com a redução do estoque de calor sensível disponível no meio pela evaporação da água (conversão de calor sensível em calor latente); (4) papel da serrapilheira associada ao tecido vegetal na redução da transmissão e conservação de calor no ambiente; (5) consumo de parte da energia solar nos processos metabólicos das plantas, reduzindo a disponibilidade dessa fração energética no meio (e como é a área mais densamente ocupada pela vegetação, maior é o consumo de energia nesse processo). (JARDIM E GALVANI, 2018, p. 168).

Assis (2010) identificou no município de Belo Horizonte três núcleos de aquecimento contínuo (ilhas de calor), associados aos ambientes mais adensados e impermeabilizados do município. Segundo o autor, houve conformação das ilhas de calor tanto no período seco como no período chuvoso, porém, sob atuação de sistemas atmosféricos instáveis, estas desapareciam. Assis (2010) comprovou o papel de atenuação da temperatura pela vegetação a partir dos registros de temperaturas mais baixos encontrados nos parques Municipal e dos Mangabeiras, que se comportaram como ilhas de frescor mesmo estando localizados próximos a áreas fortemente urbanizadas e verticalizadas.

A ocorrência de ilhas de calor também foi identificada por Fialho (2009) no município de Viçosa, Minas Gerais. Segundo o autor, foi verificado um maior contraste de temperaturas no nível campo-cidade no período entre uma e duas horas após o pôr do Sol, com picos de temperatura na zona de comércio central. A intensificação dessas ilhas de calor também ocorreu sob condições atmosféricas estáveis, durante o inverno, conforme aponta Fialho (2009).

Costa *et al.* (2013) compararam a variação da temperatura entre dois pontos no município de Campo Mourão, Paraná: um localizado no bairro Centro e outro na área rural. Os autores coletaram dados simultâneos em horários sinóticos (09h, 15h e 21h, no horário local), durante a primavera, no período entre 18 e 25/11/2013. Segundo os autores, o período do experimento foi antecedido por condições atmosféricas marcadas pela formação da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e, embora não tenha ocorrido grandes precipitações durante a coleta dos dados, foi verificada certa instabilidade atmosférica



em função da ocorrência de chuviscos. O gráfico de temperatura apresentado pelos autores demonstra, de modo geral, diferenças mínimas entre o Centro e a área rural nos horários de 09h e 15h. Somente no horário das 21h verifica-se diferenças um pouco mais significativas, com o Centro registrando temperaturas de até 2,6°C acima da registrada na área rural. Os autores atribuíram essa diferença à maior capacidade de armazenamento de energia na área urbana.

Os ventos também desempenham papel importante na regulação das temperaturas. Costa *et al.* (2013) consideraram o papel do vento essencial para a excepcional proximidade das temperaturas aferidas no Centro e na área rural no dia 21/11/2013, no horário das 21h, quando foram registrados ventos de 3,3 m/s. Assim, pode-se concluir que uma maior velocidade dos ventos em ambientes urbanos ocasionaria uma menor elevação das temperaturas.

Porém, Landsberg (1981) afirma que quase todos os estudos que investigaram o campo anemométrico nas cidades mostraram um aumento de calmarias em comparação com áreas rurais, observando uma redução de 10 a 20% na velocidade dos ventos em áreas urbanas. De acordo com Alcoforado (1999), essa redução dos ventos nas cidades está relacionada com o aumento da rugosidade dos terrenos. A autora ainda diz que “a complexidade da morfologia urbana origina grandes variações espaço temporais do rumo e da velocidade do vento” (ALCOFORADO, 1999, p. 89).

No que se refere ao campo hídrico, observa-se que a umidade relativa do ar tende a se comportar de forma inversamente proporcional à temperatura. De modo geral, isso significa que ambientes com temperaturas elevadas apresentam umidade relativa mais baixa, enquanto aqueles com temperaturas mais amenas registram umidades relativas mais altas. Neste sentido, as cidades também teriam o ar mais seco quando comparadas com o entorno rural / natural, principalmente quando possuem pouca (ou nenhuma) vegetação e/ou estão localizadas em áreas distantes de corpos d'água.

Entretanto, de modo oposto ao que ocorre com a umidade relativa, os efeitos da urbanização podem aumentar a pluviosidade. Segundo Landsberg (1981, p. 187), apesar da dificuldade em relacionar a urbanização com as precipitações – isso porque a topografia e os sistemas sinóticos exercem grande influência sobre essa variável –, destacam-se três motivos básicos para que a quantidade de precipitação sobre as cidades seja mais elevada: a) as ilhas de calor, que aumentam o movimento vertical

sobre as cidades, o qual é essencial para a formação de precipitação; b) o aumento da rugosidade do terreno, funcionando como obstáculos que podem “segurar” a frente ou a oclusão por mais tempo sobre a cidade; e c) presença de materiais poluentes (particulados), que contribuem para formação de nuvens, gerando núcleos de condensação.

Exemplo desse acréscimo pluviométrico foi identificado por Jauregui e Romales (1996) na Cidade do México. Os autores analisaram os dados de precipitação de duas estações, uma urbana e outra suburbana, entre 1941 e 1985. Segundo eles, os dados da estação urbana apontam acréscimos de chuva em conformidade com o crescimento da cidade, enquanto para a estação suburbana, os índices permaneceram sem alterações. Também identificaram maior ocorrência de chuvas intensas no final da tarde e à noite. Os resultados obtidos foram associados aos efeitos das ilhas de calor, as quais também se intensificaram com a expansão da cidade.

#### **1.4. Qualidade ambiental e qualidade de vida em ambientes urbanos**

De acordo com Tuan (1978), não se pode separar vida de ambiente, uma vez que a vida só é possível em um meio nutridor e que não pode haver vida em ambiente vazio. Segundo Oliveira (2002), vida e ambiente são inseparáveis e possuem profundas interações entre si. Diante disso, e apesar de suas difíceis definições, os conceitos de qualidade ambiental e de qualidade de vida se tornam intimamente relacionados.

A dificuldade em definir os conceitos de qualidade de vida e de qualidade ambiental tem início na difícil tarefa de conceituar o que é qualidade, uma vez que seu significado é amplo e bastante subjetivo. De acordo com Oliveira (2002), o termo qualidade é carregado de interesses e necessidades de grupos específicos, além de depender de estudos no presente a serem projetados para um futuro. Segundo a autora:

Uma definição conceitual de qualidade depende das posições filosóficas, ideológicas e políticas assumidas pelas pessoas ou grupo de pessoas. É difícil, senão impossível, conceituar qualidade sem dar um colorido mais forte ou mais fraco, tendendo para esta ou aquela direção. (OLIVEIRA, 2002, p. 44).

Assim, os conceitos de qualidade de vida e qualidade ambiental estão sujeitos à(s) concepção(ões) do significado de qualidade determinado pelo meio. De modo geral,

Fahey *et al.* (2003) diz que qualidade de vida é um conceito amplo que se preocupa com o bem estar geral da sociedade. Segundo Machado (1993), a qualidade de vida está relacionada com a máxima disponibilidade de infraestrutura pública e social, proporcionando um meio ambiente sem deterioração e contaminação significativas, de modo a contribuir para a satisfação das aspirações, desejos e necessidades humanas.

Shucksmith *et al.* (2009) destacam que o conceito de qualidade de vida deve focar nos indivíduos e suas percepções, não na qualidade de vida de um país, além de abranger múltiplos domínios da vida. Sobre as percepções individuais, Oliveira (2002) aponta que, psicologicamente, as pessoas podem ter maneiras diferentes de perceber o ambiente e sua qualidade. Entretanto, biologicamente essas percepções estão limitadas por questões anatômicas e fisiológicas humanas.

Troppmair (1992) reforça o sentido amplo do conceito de qualidade, aplicado à qualidade ambiental, ao afirmar que o meio ambiente é capaz de produzir qualidades ambientais que podem ser benéficas ou maléficas para a vida humana. Nessa concepção, o autor relativiza o conceito de qualidade, a qual não se aplica somente às necessidades humanas. Partindo desse princípio, pode-se tomar como exemplo a Floresta Amazônica: uma floresta exuberante, de considerável qualidade ambiental, mas que, obviamente, não possui infraestrutura para atender aos anseios dos seres humanos da atualidade, podendo até mesmo ser inóspita para estes.

Assim, Troppmair (1992) define cinco parâmetros do ambiente que são determinantes para uma boa qualidade de vida, são eles: físicos (luz, temperatura, umidade); químicos (composição do ar); biológicos (qualidade da água, presença de animais roedores e insetos); psíquicos (pressões causadas por situações do cotidiano); e sociais (relacionamento interpessoal, cultura). Partindo desses parâmetros, a abordagem da qualidade ambiental e de vida nas cidades neste tópico terá enfoque nos parâmetros de ordem física e química, os quais estão diretamente relacionados aos elementos que compõem o clima.

As áreas urbanizadas são comumente associadas à ambientes poluídos, ruidosos, pouco arborizados e de baixa qualidade para a saúde humana. Essa visão negativa das cidades tem origem no modo e no momento histórico em que suas expansões foram impulsionadas. Segundo Mendonça *et al.* (2009), os processos de urbanização

foram intensificados pelos avanços industriais, os quais serviram como atrativo de trabalho para a população (até então) camponesa, culminando em um grande crescimento vegetativo das populações urbanas. Os maiores problemas desse crescimento quase repentino das cidades, salientam Mendonça *et al.* (2009), foi a desordem e a falta de infraestrutura adequada para atender esse movimento, principalmente nos países subdesenvolvidos, onde prevaleceu populações em situações de pobreza e miséria. Também, Maricato (2000) ressalta a ocorrência de índices elevados de violência, de pobreza, de predação urbana e ambiental e de poluição do ar e da água.

A respeito dessa dinâmica, Lombardo (1985) aponta que:

Nos países dependentes, o crescimento acelerado das grandes aglomerações se deve, principalmente, ao aumento da taxa de crescimento vegetativo, tanto urbano como rural, e às migrações internas rural-urbanas. A afluência de população para as cidades tem uma velocidade que o planejamento urbano, a ampliação da administração e o estabelecimento de um controle sanitário adequado não conseguem alcançar. (LOMBARDO, 1985, p. 18).

Se por um lado o planejamento urbano ineficiente confere aos centros urbanos dos países subdesenvolvidos características negativas, por outro deve-se considerar que as cidades também representam avanços positivos para a sociedade, tanto no campo social quanto no tecnológico. Afinal, mesmo com conhecidos problemas, a cidade “continua sendo o *habitat* do homem por excelência” (MONTEIRO, 1990a, p. 08) e é “o local que tudo atrai para si” (FIALHO, 2009, p. 39).

Os centros urbanos da atualidade são sinônimos de comodidades, com fácil acesso à produtos e serviços. Além disso, conforme Maricato (2000) e Maricato e Tanaka (2006), no decorrer da segunda metade do século XX, período coincidente com um intenso processo de urbanização, as cidades brasileiras experimentaram consideráveis melhorias em relação a alguns índices, sendo eles: a taxa de mortalidade infantil, a esperança de vida ao nascer, diminuição do crescimento demográfico e aumento da escolaridade. Para Maricato (2000, p. 26), a melhora desses índices está associada à:

(...) socialização de informações, extensão do serviço de água potável, extensão dos serviços de vacinas, acesso a antibióticos, atendimento médico ao parto e à gestante, aumento da escolaridade, entre outras condições que são mais acessíveis em meio urbano. (MARICATO, 2000, p. 26).

Entretanto, segundo Jardim (2007), a melhora desses índices também pode ser acompanhada pelo declínio da qualidade ambiental. Conforme Fialho (2009, p. 33), “na medida em que as cidades crescem em tamanho e população, as alterações inerentes ao processo de modificação da paisagem afetam as condições essenciais à vida urbana, tais como a água, o solo e o ar, afetando o clima”.

Segundo Flannery (2007), perturbações nos mecanismos de troca de calor entre superfície e atmosfera geram desequilíbrios, alterando as características do clima local. Jardim e Galvani (2018) apontam que o conjunto dessas perturbações pode modificar a capacidade do ambiente de absorver os impactos de eventos naturais. De acordo com os autores, tomando como exemplo as precipitações, embora o ambiente derivado não seja capaz de alterar a gênese desse fenômeno – cuja qual está ligada à dinâmica das massas de ar – a remoção da vegetação diminui a infiltração da água, favorecendo o escoamento superficial e aumento da erosão. Além disso, com a impermeabilização dos solos, o escoamento superficial também pode ser reduzido, ocasionando enchentes.

Os ambientes derivados podem registrar uma série de mudanças no comportamento dos elementos atmosféricos em relação ao ambiente primitivo. Segundo Jardim (2007):

As mudanças impostas ao comportamento dos elementos atmosféricos, comandadas pelas modificações na natureza das superfícies ocupadas pelas cidades, interferem no balanço de radiação, estoque de calor, umidade, circulação do ar e emissão de poluentes. Entre outros fatores, tais características devem-se às mudanças nas propriedades de albedo, condução e emissividade dos materiais empregados na construção civil, ou até mesmo obstrução de certa porcentagem da radiação solar (sky view factor) pelos altos edifícios. Este, também, relacionado ao incremento da “rugosidade” da superfície e o aumento da turbulência do ar. A diminuição da umidade do ar dever-se-ia à supressão de áreas verdes e superfícies líquidas, com a drenagem de pântanos e a canalização de rios e córregos. A emissão de poluentes atmosféricos relaciona-se à queima de combustíveis fósseis, atribuída principalmente a imensas frotas de veículos e concentração de atividades industriais. (JARDIM, 2007, p. 62).

Os impactos sobre as condições ambientais – e, conseqüentemente, sobre o clima – são sentidos principalmente pelas populações urbanas mais pobres. Exemplo disso foi verificado por Jardim (2007) quando identificou que bairros localizados nos distritos de São Mateus, Parque São Rafael e Jardim Iguatemi (São Paulo - SP) tinham quase total ausência de vegetação (variando de zero a 1,0 m<sup>2</sup> por habitante), enquanto

situação inversa era observada no Morumbi, com valores entre 100 e 500 m<sup>2</sup> por habitante.

Segundo Mendonça (2010):

Na organização do espaço urbano brasileiro observa-se, facilmente, os resultados benéficos do planejamento urbano à uma pequena parcela da população (classe alta e dirigentes) em cujos bairros o urbanismo permitiu a formação do efeito-parque/efeito-lago como dinamizadores do clima urbano e, portanto, com extremos térmicos menos evidentes. O paradoxo dessa forma de produção do espaço revela-se também no mais elevado nível de formação escolar, na melhor condição econômica, técnica e política da população que nestas áreas habita. (MENDONÇA, 2010, p. 159).

Estabelecidos por Monteiro (1976) e sintetizados na tabela 1 deste capítulo, os canais de percepção do clima representam um bom caminho para identificar os efeitos que a urbanização possui sobre os elementos climáticos e como estes são sentidos pela população. A redução da qualidade do ar, a partir do aumento de material particulado na atmosfera e da consequente alteração de sua composição física e química, afeta diretamente a saúde dos cidadãos, causando problemas respiratórios, oftalmológicos e sanitários. Também, os impactos meteóricos, embora não tenha sua gênese afetada, conforme citado anteriormente, a redução da capacidade do ambiente de absorvê-los pode acarretar uma série de problemas para a população, como enchentes, alagamentos, deslizamentos de terra etc.

Quando se fala em impactos sobre as condições do clima, talvez o canal mais lembrado seja do conforto térmico. De acordo com Azevedo *et al.* (2015), o conforto térmico é definido pela satisfação com as condições térmicas do ambiente, podendo ser avaliado por parâmetros objetivos e subjetivos. Os extremos de temperaturas podem causar desconfortos, fadigas e, conseqüentemente, redução do desempenho humano. Segundo Assis (2016), além de tratar das sensações de conforto e desconforto, o conforto térmico também está relacionado com a saúde, desempenho no trabalho e com a eficiência energética.

Conforme tratado anteriormente neste capítulo, a vegetação exerce um importante papel no arrefecimento da temperatura do ar. Neste sentido, estudos recentes têm apontado a rearborização e a manutenção das áreas verdes dos espaços urbanos como principais caminhos para a mitigação dos problemas relacionados ao desconforto térmico (BASSO e CORRÊA, 2014; AZEVEDO *et al.*, 2015; LOBATO *et al.*, 2016; SILVEIRA e CARVALHO, 2016; AZEVEDO *et al.*, 2017). Assim, o processo

de produção do espaço urbano deve ser conduzido por políticas públicas que contemplem o bem-estar da população, garantindo qualidade ambiental e, por consequência, índices melhores de qualidade de vida.

## CAPÍTULO 2 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SARZEDO (MG)

O município de Sarzedo está localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a 35 km de distância, a sudoeste, da capital mineira. Sarzedo encontra-se situado entre as coordenadas geográficas 20° 01' 02" e 20° 05' 56" de latitude Sul, e 44° 10' 52" e 44° 03' 51" de longitude Oeste. É delimitado ao sul pelo município de Brumadinho, a leste / nordeste pelo município de Ibitaré, a norte / noroeste pelo município de Betim e a oeste / sudoeste pelo município de Mário Campos (FIG. 4).

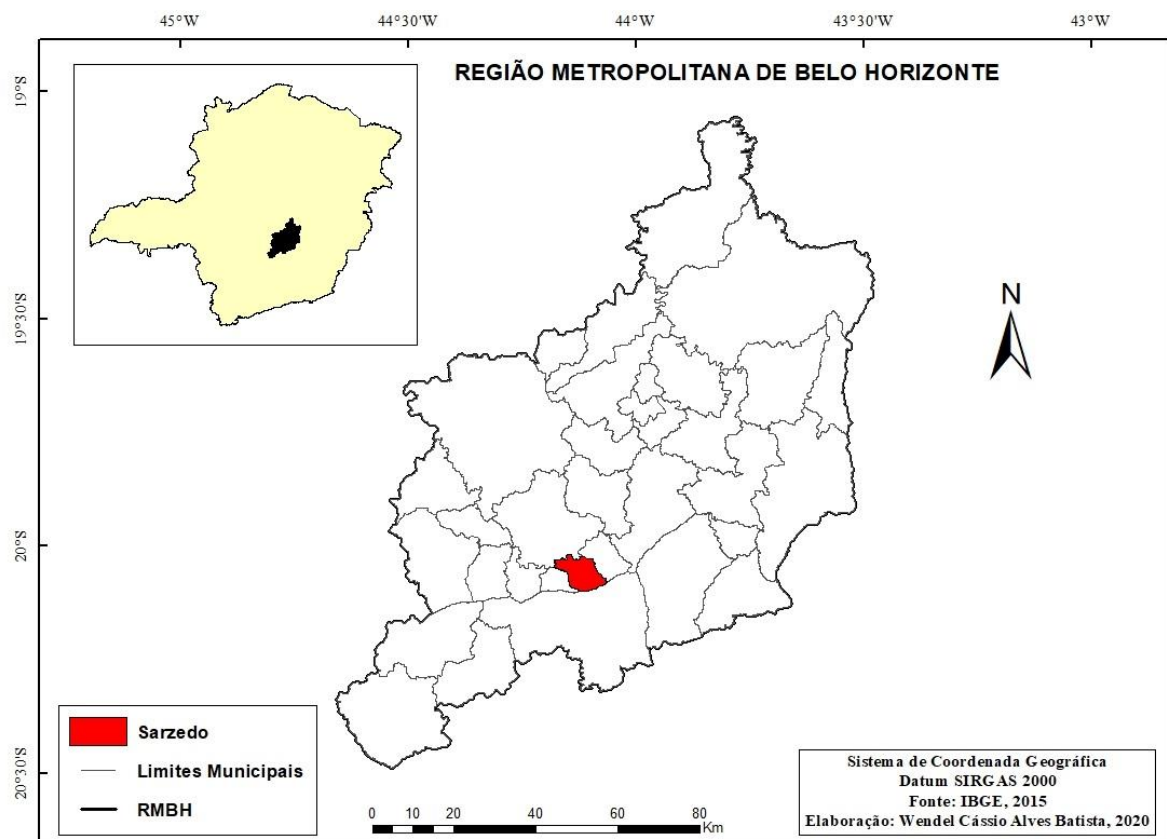


FIGURA 4: Localização do município de Sarzedo (MG).

O município possui uma área de 62,1 km<sup>2</sup> e é constituído somente pelo distrito sede. Sua sede municipal está situada a 755 metros de altitude. Atualmente, o perímetro urbano de Sarzedo conta com uma área 18,5 km<sup>2</sup>, correspondendo a 29,8% da área total do município (FIG. 5). A área restante, considerada rural, tem seu uso dividido entre atividades agropecuárias, mineração e zonas de proteção ambiental.



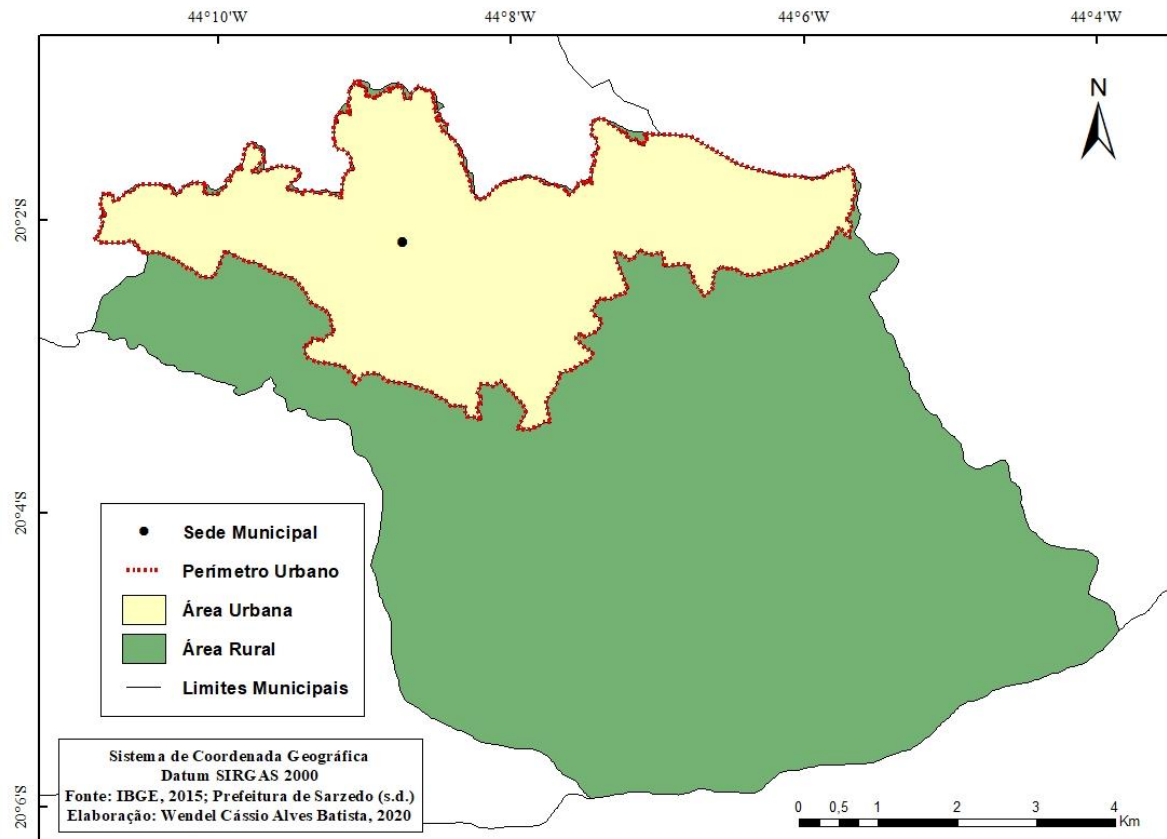


FIGURA 5: Áreas urbana e rural do município de Sarzedo (MG).

## 2.1. Histórico de ocupação e desenvolvimento

O início da ocupação do território onde hoje se situa o município de Sarzedo se assemelha ao surgimento de grande parte dos municípios de Minas Gerais: área de interesse da atividade minerária. A partir da demanda da mineração na região, foi inaugurada em 1917 a estação ferroviária de Sarzedo, a qual é considerada responsável pelo início do povoado de Sarzedo, que se deu ao seu redor. Ainda pertencente ao município de Esmeraldas, a expansão do povoado aconteceu em função da chegada de trabalhadores da mineração, que fixaram residência nas proximidades da linha férrea (SARZEDO, 2016).

Antes de atingir o *status* de município, Sarzedo ocupou níveis administrativos sem autonomia, integrando outros municípios. Inicialmente, considerando o ano de 1917 como o marco inicial do povoado de Sarzedo, este era território do município de Santa Quitéria, atualmente conhecido como Esmeraldas. Em 1938, o município de Betim se

emancipou do município de Esmeraldas e, ainda como povoado, Sarzedo passou a fazer parte do município de Betim (SARZEDO, 2016).

Somente em 1948, Sarzedo foi elevado à categoria de distrito, ato determinado pela Lei Estadual nº 336, de 27/12/1948, ainda como integrante do município de Betim. Com a emancipação do município de Ibité, em 1962, o distrito de Sarzedo passou a integrar este novo município e assim permaneceu até 1995, quando, através da Lei Estadual nº 12.030, de 21/12/1995, foi criado o município de Sarzedo.

Desde sua emancipação, o município vem experimentando um expressivo crescimento populacional. Em 1997, dois anos após sua emancipação, o IBGE estimou a população sarzedense em 13.418 habitantes. No Censo Demográfico, realizado em 2000 (IBGE, 2000), a população teve um aumento de 28,7% em relação à estimativa de 1997, passando a contar com 17.274 habitantes. O mesmo censo também identificou que 85,3% dessa população residia em área urbana.

No Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010), a população de Sarzedo teve um incremento de 49,4% em relação ao censo anterior, contando com 25.814 habitantes, dos quais 98,9% residiam em área urbana. A estimativa da população do IBGE para 2019 aponta que o município conta com 32.752 habitantes, o que significa um crescimento de 144% desde a primeira estimativa, em 1997. O crescimento populacional do município de Sarzedo pode ser verificado no gráfico da figura 6.

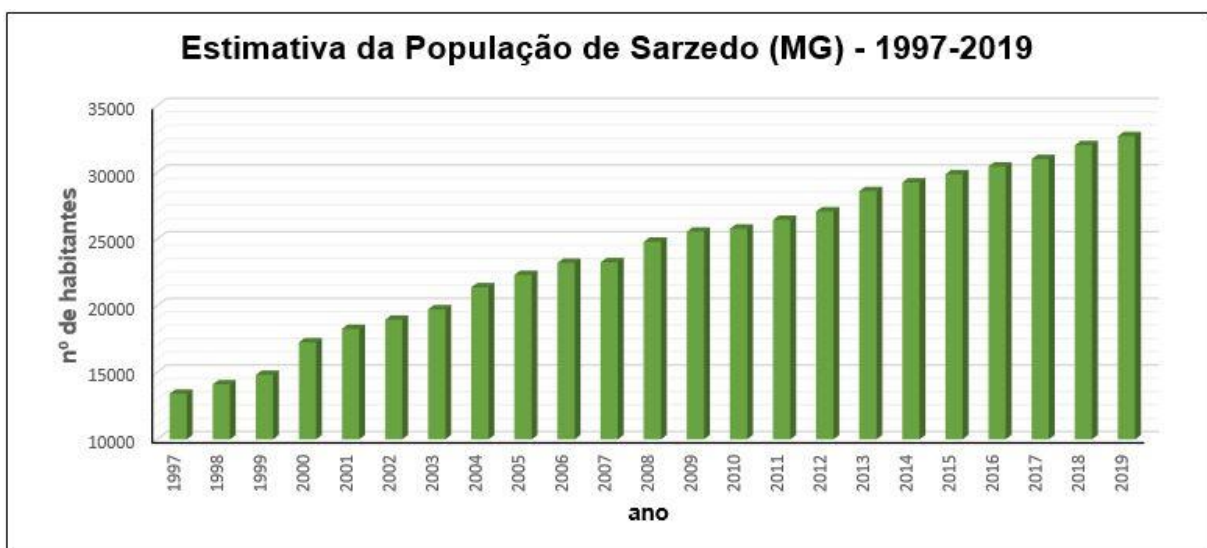


FIGURA 6: População de Sarzedo (MG) 1997-2019. Fonte dos dados: IBGE, Estimativas da População. Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020.

Conforme Diniz e Mendonça (2015) Sarzedo faz parte, junto com Contagem, Betim, Ibirité e Mário Campos, do Vetor Oeste de expansão da RMBH. Segundo os autores, esse vetor conta, em média, com o maior Produto Interno Bruto (PIB), maior população, maior densidade demográfica e maiores fluxos de entrada e saída da RMBH. Além disso, possui graus mais elevados de urbanização e é o vetor que experimentou o mais intenso crescimento populacional. Desse modo, verifica-se que o acentuado aumento populacional de Sarzedo nas duas últimas décadas está de acordo com a dinâmica de expansão vivida pela região na qual se insere.

De acordo com Diniz e Andrade (2015), o crescimento populacional de Sarzedo foi impulsionado pela atividade industrial, principalmente dos polos de Betim e Contagem, que passou a atrair trabalhadores para as cidades menores do entorno, como Sarzedo e Mário Campos. Essa integração de Sarzedo com a capital e com os polos industriais pode ser verificada a partir do expressivo movimento pendular diário realizado por sua população. Segundo Nazário (2015), 47,4% da população se desloca diariamente para outros municípios da região.

Também se destaca que o recente desenvolvimento de sua própria indústria e comércio e a manutenção das atividades de mineração e agricultura são fatores importantes que têm atraído novos moradores para o município de Sarzedo. Neste sentido, somado ao crescimento populacional, durante a última década, Sarzedo experimentou uma grande diversificação da economia local.

Conforme aponta a Prefeitura Municipal de Sarzedo (2016), a região onde se localiza o município era, até final de século XIX, predominantemente rural, ocupada por grandes fazendas de produção agrícola e criação de gados. Atualmente, segundo dados do IBGE (2010), 1,1% da população vive na área rural do município, onde se destaca a produção de hortaliças folhosas, caracterizada basicamente pela produção familiar. De modo geral, a atividade agropecuária representa 0,23% do PIB municipal.

O setor industrial de Sarzedo, em desenvolvimento ascendente, responde por 46% do PIB municipal. Responsável pelos primeiros traços mais expressivos de urbanização no município, a mineração ainda é a atividade econômica mais relevante de Sarzedo e, portanto, grande parte desse índice se deve à sua atividade na região. Somada a ela, o município conta com empresas de pequeno e médio porte, majoritariamente instaladas no Distrito Industrial Benjamim Ferreira Guimarães.

Em concordância com o setor industrial, o comércio e os serviços também experimentaram maior incremento. Até a primeira década do século XXI, o comércio de Sarzedo se limitava, basicamente, a atender as necessidades mais essenciais da população local, como, por exemplo, a alimentação. Durante a última década, concomitante com o aumento do fluxo de pessoas e mercadorias, o setor foi diversificado, tornando o município referência regional para moradores de outros municípios menores, como Mário Campos, e até mesmo para alguns bairros de Ibirité e Betim próximos às divisas municipais.

Acompanhado do crescimento populacional e desenvolvimento econômico, verifica-se em Sarzedo uma constante modificação da paisagem. Os ambientes, outrora naturais e / ou rurais, estão passando por processos de urbanização, exemplificando aquilo que Monteiro (1976) chamou de derivações do ambiente. A mancha urbana tem crescido e se espalhado sobre o sítio geocológico do perímetro urbano do município ao longo do tempo, conforme pode ser observado na figura 7 e na tabela 3.

Nota-se que no mapa (a) 1994, um ano antes da emancipação do município, a área urbana não era contínua e ocupava uma pequena área do município (1,62 km<sup>2</sup>), restringindo-se, basicamente, ao atual Centro (no entorno da estação ferroviária) e a um bairro residencial (bairro Brasília). Pós emancipação, no mapa (b) 2002 observa-se que a mancha urbana se tornou muito mais expressiva, registrando uma expansão de 252,5% em relação ao período anterior, o que está em conformidade com o crescimento populacional que o município experimentou neste intervalo de tempo. Destaca-se para esse período a criação, logo no início dos anos 2000, dos bairros residenciais Jardim Santa Rosa e Riacho da Mata.

Nos mapas (c) 2010 e (d) 2018 observa-se que os bairros já existentes se tornaram mais adensados, evidenciando que, ainda que em menor proporção quando comparado com o mapa de 2002, a área urbana do município continuou se desenvolvendo. Mais uma vez, comparando com o gráfico de crescimento populacional (FIG. 6), percebe-se que a expansão da mancha urbana está intimamente relacionada com o aumento populacional.

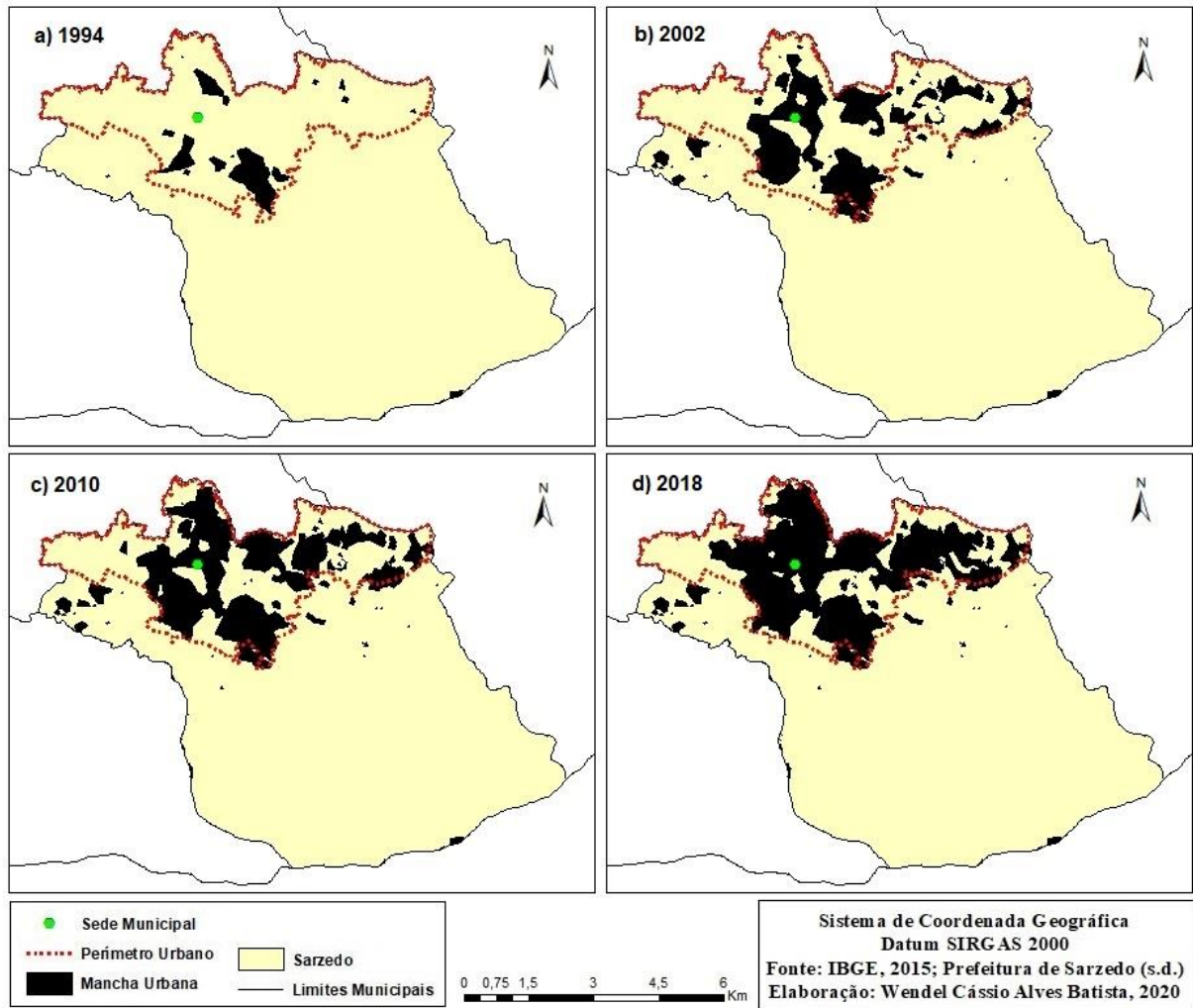


FIGURA 7: Evolução da mancha urbana de Sarzedo (MG) 1994-2018.

TABELA 3: Expansão da mancha urbana de Sarzedo (MG) 1994-2018

Ano	Área Urbana (km <sup>2</sup> )	Crescimento em relação ao período anterior (%)
1994	1,62	-
2002	5,71	252,5
2010	6,28	10,0
2018	8,83	40,6

Em sua maioria, as habitações dos bairros residenciais do município são unifamiliares. A presença de prédios, tanto residenciais como comerciais, é bastante discreta. Diferente de Belo Horizonte, e mesmo considerando somente seu perímetro urbano, Sarzedo possui muitas áreas vazias, o que ainda permite sua expansão horizontal.

Segundo a Prefeitura Municipal de Sarzedo (2016, p. 68), o município possui, estimativamente, 7,5 km<sup>2</sup> de áreas vazias “(...) onde predominam atividades com características de produção agrícola, ou são objeto de especulação imobiliária que potencializam ou projetam perspectivas de ocupação futura por loteamentos e / ou empreendimentos residenciais”.

## **2.2. Aspectos Físicos e Ambientais**

Nesta seção será apresentada uma breve descrição dos principais fatores que controlam o clima em escala local e regional. Os aspectos físicos (ou geoecológicos) são determinantes para as características climáticas em um determinado ambiente. Desse modo, o topo e o mesoclima de uma área podem ser diferenciados a partir da variação das feições geográficas nela situadas.

De acordo com Assis (2010), os controladores climáticos interagem e atuam simultaneamente, determinando a distribuição de energia solar e o ritmo de todos os parâmetros meteorológicos. Destacam-se os fatores de ordem estática (latitude, altitude, topografia e continentalidade) e os fatores dinâmicos (sistemas atmosféricos).

### **2.2.1 Fatores estáticos**

O município de Sarzedo está inserido na grande faixa intertropical. Sua posição latitudinal confere ao mesmo uma característica climática de transição, com a atuação de sistemas atmosféricos típicos dos regimes tropicais – com períodos secos e úmidos bem definidos – e dos regimes subtropicais – predominantemente úmidos. Sua distância de menos de 3°30' do Trópico de Capricórnio favorece a frequência de sistemas frontais e linhas de instabilidades provenientes do Sul e do Oeste, responsáveis pelas baixas temperaturas durante o outono e o inverno.

Além disso, a altura do Sol<sup>5</sup> pode ser observada em 90° (zênite) duas vezes ao ano. Isso significa uma maior quantidade de radiação solar incidente sobre a região e,

---

<sup>5</sup> É o ângulo formado entre os raios solares e uma tangente à superfície no ponto de observação (AYOADE, 1996, p. 25). Quanto mais perpendicular for a energia incidente, menor será a área da superfície por ela atingida e

consequentemente, maior disponibilidade de energia para o sistema climático local. Conforme Assis (2010, p. 72), “*como a transferência de energia da superfície para a camada laminar é o principal responsável pelo aquecimento atmosférico basal, a razão de aquecimento do ar será na mesma proporção da intensidade de energia absorvida ou refletida pela superfície*”.

Segundo as Normais Climatológicas de 1961 a 1990, a temperatura média da Estação Meteorológica de Ibirité (Rola Moça) – a mais próxima do município de Sarzedo – é de 20,4°C, com registros extremos de 36,9°C (1987) e -1,2°C (1963). A média das temperaturas máximas durante o verão é de 28,8°C, enquanto a média das mínimas durante o inverno é de 11,4°C. A precipitação total anual é de 1424,5mm, da qual 54% concentra-se nos meses de novembro, dezembro e janeiro – os três com registros superiores a 200mm (FIG. 8). A umidade relativa do ar média anual é de 76,1% e a velocidade dos ventos média anual é de 1,54 m/s, com predomínio de ventos de Nordeste.

Conforme classificação de Köppen (1918), citada por Ayoade (1996), o clima para a estação meteorológica de Ibirité é do tipo Cwa. Trata-se, portanto, de um Clima Temperado Chuvoso e Quente (C), com chuvas de verão (w) e verões quentes (a), registrando temperatura média superior a 22°C no mês mais quente (no caso, 22,8°C no mês de fevereiro). O período chuvoso (verão) ocorre entre os meses de outubro e março e o período seco (inverno), entre os meses de abril e setembro.

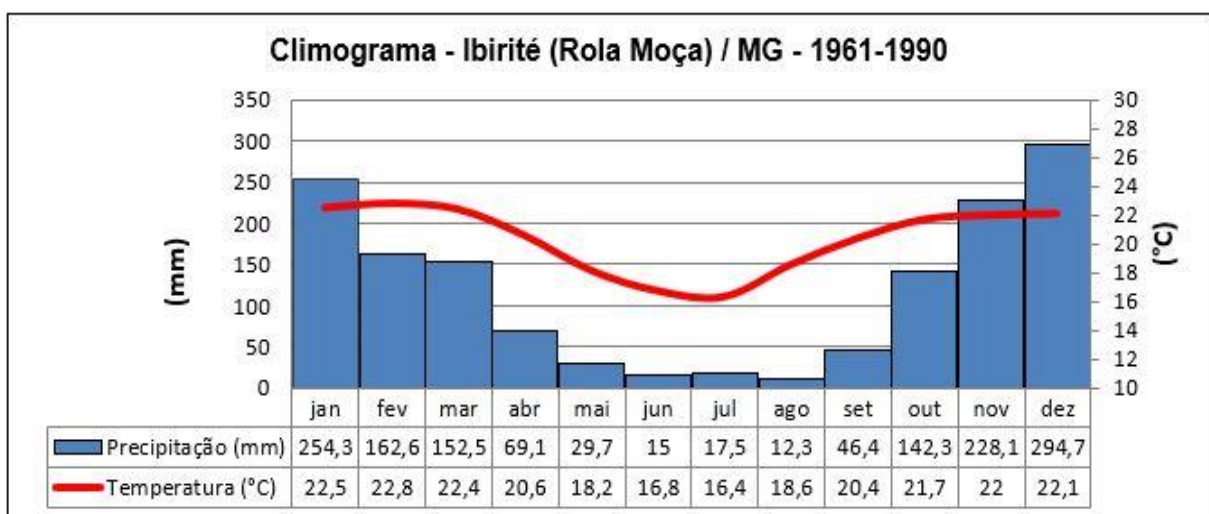


FIGURA 8: Climograma da Estação Meteorológica de Ibirité (Rola Moça) – MG. Fonte dos dados: INMET, Normais Climatológicas de 1961-1990. Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020.

maior será a concentração de energia por unidade de área. Este ângulo varia sazonalmente de acordo com a posição da Terra em relação à sua posição no movimento de translação (ASSIS, 2010, p. 72).

Segundo a classificação proposta por Thornthwaite e Mather (1955), citada por Ayoade (1996), a qual se fundamenta no método do balanço hídrico, o clima para a estação meteorológica de Ibirité é Mesotérmico Úmido, com pouco ou nenhum déficit hídrico, do tipo B<sub>2</sub>rB'<sub>3a</sub>'. O gráfico do balanço hídrico (FIG. 9) demonstra que há excedente hídrico no município de novembro a março, com retiradas de água do sistema de abril a setembro e moderada deficiência hídrica de maio a setembro. Outubro se caracteriza como mês de reposição hídrica, a qual se estende também para novembro.

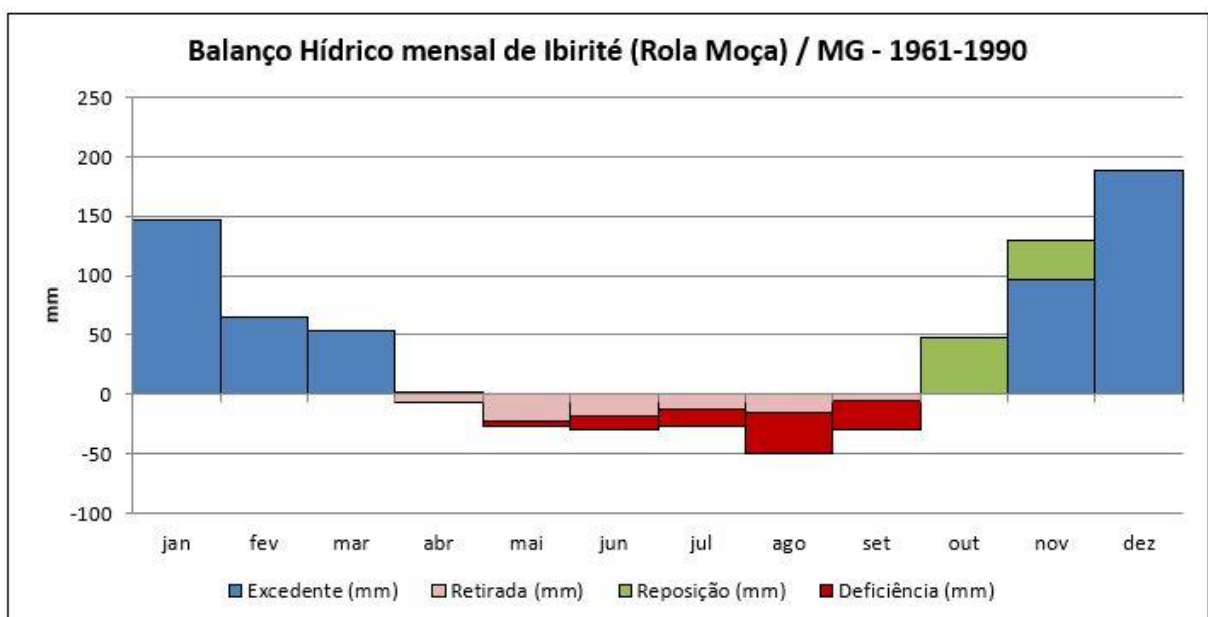


FIGURA 9: Balanço Hídrico mensal de Ibirité (Rola Moça) - MG / 1961-1990. Fonte dos dados: INMET, Normais Climatológicas de 1961-1990. Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020.

As condições topográficas são aspectos importantes que possuem influência direta sobre o clima. Conforme a figura 10, a área delimitada pelo perímetro urbano de Sarzedo possui altitude média de 800m. Entretanto, dentro do município, existem locais com altitudes superiores a 1400m. O gradiente altimétrico varia positivamente de Noroeste a Sudeste no município, tendo os pontos mais altos no alinhamento topográfico da Serra do Curral. Como as temperaturas tendem a abaixar na medida em que se eleva na superfície, essa variação altimétrica determina diferenciações topo e mesoclimáticas dentro do município.



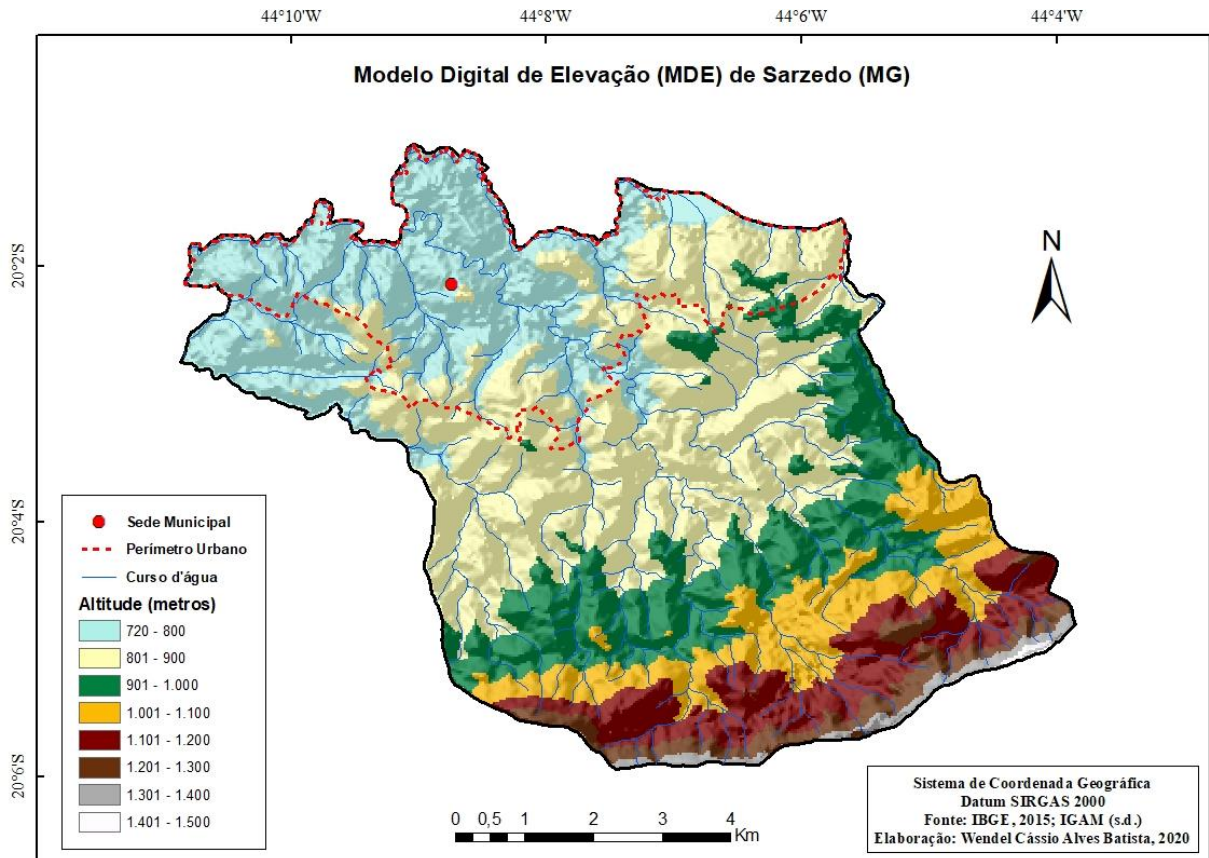


FIGURA 10: Modelo Digital de Elevação do município de Sarzedo (MG).

Segundo Ayoade (1996), em média, a temperatura decresce  $0,65^{\circ}\text{C}$  a cada 100m que se aumenta na altitude. Portanto, considerando a variação altimétrica no município de 730m a 1430m, verifica-se uma diferenciação teórica de  $4,5^{\circ}\text{C}$  entre as unidades topoclimáticas. Desse modo, as áreas mais próximas à serra tendem a ter temperaturas mais baixas quando comparadas com a área urbana, localizada na porção norte do município.

A porção norte do município de Sarzedo, onde se situa seu perímetro urbano, caracteriza-se morfologicamente como uma região de colinas côncavo-convexas de baixa declividade, com variações de altitude entre 730m e 870m, esculpidas em rochas graníticas e gnáissicas do Complexo Belo Horizonte. Essas colinas têm origem, segundo Baumgratz (1988), a partir da dissecação fluvial promovida pela drenagem dos rios da Velha e Paraopeba, este último caracterizado como o nível de base regional para o município de Sarzedo.

Segundo Medina *et al.* (2005), no contato entre a Serra do Curral e a Depressão de Belo Horizonte observam-se feições transicionais na forma de esporões. Nas proximidades de Ibirité e Sarzedo, esses esporões assumem formas topográficas

mais suaves, assemelhando-se a colinas alongadas, e se projetam a partir da Serra do Curral no sentido norte, com desnivelamentos entre 30m e 50m.

A borda sul do município de Sarzedo é demarcada pela Serra do Curral (trecho localmente denominado de serra dos Três Irmãos), componente do conjunto de elevações do Quadrilátero Ferrífero. A configuração morfológica dessa serra é bastante diversificada, porém, conforme Medina *et al.* (2005), destaca-se um alinhamento de cristas sustentado por itabiritos da Formação Cauê, dissecadas sob a forma de anfiteatros conchoidais suspensos. De acordo com Assis (2010), essas cristas funcionam como barreiras orográficas na passagem de massas de ar, causando grandes nebulosidades em determinados períodos do ano.

Outro fator importante para o clima local é a declividade, pois essa influencia a velocidade dos ventos, elemento determinante nas estimativas de sensação térmica. Terrenos mais declivosos tendem a favorecer a aceleração dos ventos. Em alguns pontos do município, nas proximidades da Serra do Curral, a declividade do terreno ultrapassa 45°. Diferente dessa característica geomorfológica, a área onde está o sítio urbano de Sarzedo apresenta declividades mais baixas, com variações de até 16° (FIG. 11a).

Para auxiliar na identificação de diferentes topoclimas deve-se considerar a orientação das vertentes, pois ela determina o grau de insolação recebido a partir da movimentação do Sol, influenciando, portanto, a dinâmica de variação da temperatura do ar diurna. Além da declividade, a figura 11 também apresenta a orientação das vertentes do município de Sarzedo (FIG. 11b) e, simplificando-a, pode-se destacar duas porções com predomínios diferentes: a porção norte do município, onde prevalecem vertentes orientadas para Sul, Sudoeste e Oeste – últimas a receber radiação direta e, portanto, as que recebem menor insolação; e a porção sul do município, na qual prevalecem vertentes orientadas para Noroeste, Norte e Nordeste, que recebem radiação logo no início do dia.

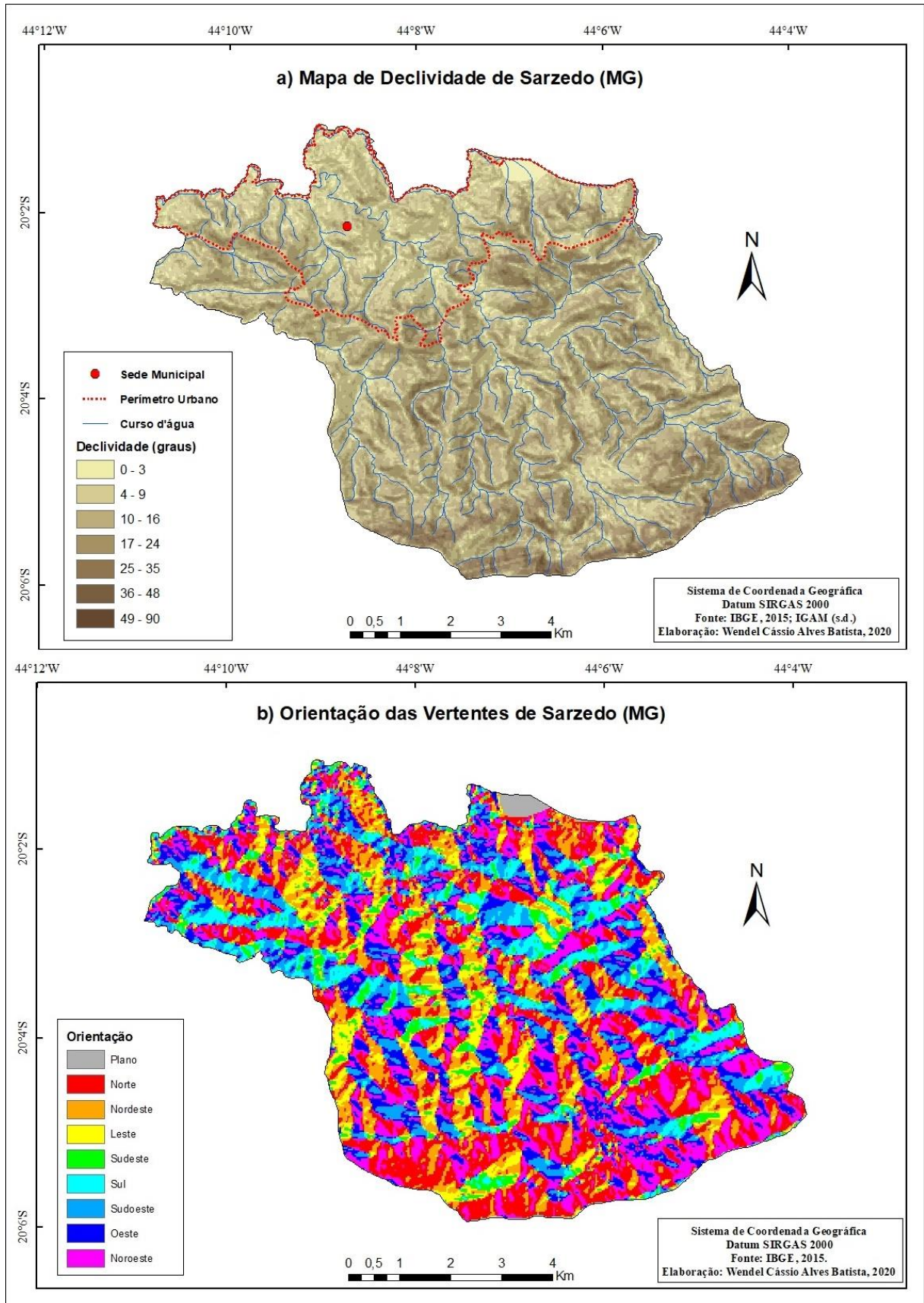


FIGURA 11: a) Mapa de Declividade do município de Sarzedo (MG); b) Mapa de Orientação das Vertentes do município de Sarzedo (MG).

O município de Sarzedo dista, em linha reta na direção leste, aproximadamente, 420km da faixa oceânica. Segundo Assis (2010), essa distância não é suficiente para provocar condições rigorosas de continentalidade. Porém, esse efeito pode ser percebido com mais intensidade no período seco, quando a umidade relativa do ar pode ficar abaixo de 30% e as amplitudes térmicas diárias ultrapassar 18°C. Em relação aos efeitos de maritimidade, Assis (2010) aponta que estes são minimizados por barreiras orográficas, como a Serra da Mantiqueira, a Serra do Mar, a Serra do Espinhaço e o maciço montanhoso do Quadrilátero Ferrífero.

Quanto à distribuição da vegetação no município, Sarzedo se encontra na faixa transicional entre a Mata Atlântica e o Cerrado. Predominam no município formações florestais típicas da floresta estacional semidecidual, porém, segundo a Prefeitura Municipal de Sarzedo (2016), grande parte da vegetação original foi substituída por pastagens e plantações, principalmente nas encostas com menor declividade. O Cerrado aparece em menor proporção, com ocorrência na porção sudoeste do município, caracterizado como savana gramíneo-lenhosa. Também são encontrados em Sarzedo campos rupestres (presentes em algumas manchas na Serra do Curral), matas de galerias e pequenas áreas com florestas plantadas (FIG. 12).

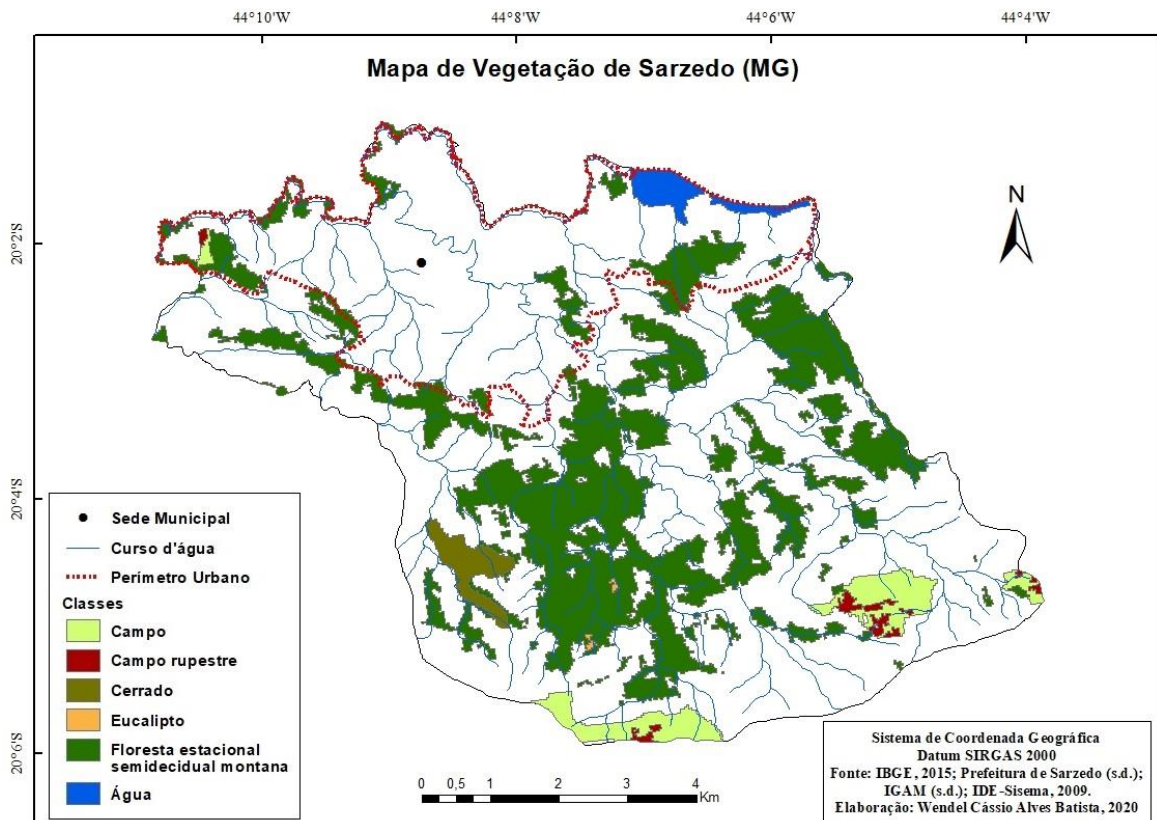


Figura 12: Mapa de Vegetação do município de Sarzedo (MG)

### 2.2.2 Fatores dinâmicos

Devido a sua posição latitudinal, a região Sudeste do Brasil – e, conseqüentemente, o estado de Minas Gerais – apresenta características climáticas transicionais, com influência de fenômenos de latitudes médias e tropicais. Segundo Nunes *et al.* (2009), a região Sudeste é marcada pela transição entre os regimes permanentemente úmidos do sul do país e os alternadamente secos e úmidos do Brasil Central. Conforme as Normais Climatológicas (1961-1990) para a estação meteorológica de Ibirité (Rola Moça) - MG, duas estações bem definidas são identificadas na região: uma seca (abril-setembro) e uma chuvosa (outubro-março).

Conforme Nimer (1989), conhecer somente a influência exercida pelos fatores de ordem estática não é suficiente para a compreensão do clima de determinada região, uma vez que esses fatores agem sobre o clima a partir da interação com os sistemas regionais de circulação atmosférica. Os fatores dinâmicos (atmosféricos) são, portanto, elementos essenciais para o entendimento das características climáticas. Destaca-se na Região Metropolitana de Belo Horizonte a atuação dos centros de ação<sup>6</sup>. Segundo Assis (2010, p. 77), os centros de ação “podem ser de larga escala, extrapolando os limites continentais, ou transientes, associados aos condicionantes regionais de circulação”.

Assis (2010) também define os sistemas atmosféricos mais relevantes que atuam sobre o município de Belo Horizonte. São eles: o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), o Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul (APAS)<sup>7</sup>, os Sistemas Frontais, as Linhas de Instabilidade (LI), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Alta da Bolívia (AB) e a Baixa do Chaco (BC). Considerando a proximidade entre Belo Horizonte e Sarzedo e a escala de atuação desses fenômenos, os mesmos sistemas atmosféricos são aqui utilizados para caracterizar a circulação na camada limite planetária sobre o município de Sarzedo.

---

<sup>6</sup> Os centros de ação constituem-se em regiões de Alta Pressão (AP) e Baixa Pressão (BP) atmosférica que dão origem aos fluxos de ventos predominantes e as diferentes condições meteorológicas (ASSIS, 2010).

<sup>7</sup> De acordo com Assis *et al.* (2013), o termo Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul (APAS) é utilizado para diferenciar esse sistema dos anticiclones polares que tem origem no planalto antártico e que não ultrapassam, em situação de normalidade, as regiões de baixas pressões atmosféricas que circundam a zona de convergência antártica. Entretanto, o APAS trata-se do mesmo Anticiclone Polar Migratório (APM) do tipo *Polar Outbreak High* originado em latitudes subpolares.

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), de acordo com Assis (2010), tem origem no centro de ação semipermanente, relacionado à zona de alta pressão do Atlântico Sul. De modo geral, durante o outono e o inverno, o ASAS atua sobre a região sudeste do Brasil inibindo a interferência de outros sistemas atmosféricos, determinando relativa estabilidade no tempo. Durante a primavera e o verão, quando este sistema está afastado da costa brasileira, apresenta altas temperaturas e alto teor de umidade nos níveis inferiores, favorecendo o transporte de umidade para o continente.

O Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul (APAS) é um sistema migratório, possui ar frio, seco e denso e tem sua gênese no sul do continente (nas proximidades do centro-sul da Patagônia). De acordo com Fonzar (1994), os anticiclones polares e/ou subpolares são caracterizados pelo ar frio na troposfera inferior, se deslocam rapidamente, possuem curta duração, são pouco espessos, se formam nas regiões polares e subpolares e são geralmente associados a tempo bom e calmo.

Apesar de normalmente possuir períodos de curta duração, o APAS atua com maior intensidade e frequência durante o outono e o inverno, proporcionando condições de estabilidade atmosférica. E, embora atinja o estado de Minas Gerais já em processo de tropicalização, ou seja, com temperaturas e umidade relativa do ar aumentados, este sistema ainda é responsável pelas quedas térmicas e reduzidos índices de pluviosidade na região (ASSIS, 2010).

Os Sistemas Frontais, representados especialmente pelas Frentes Frias (FF), estão associados ao avanço do APAS para as latitudes mais baixas. De acordo com Assis (2010), as FF fazem parte de ondas atmosféricas de larga escala e têm sua gênese a partir do contato entre massas de ar com propriedades termodinâmicas diferenciadas, causando instabilidade atmosférica. Segundo Cavalcanti e Kousky (2009), durante o inverno, esses sistemas atingem a região Sudeste acompanhados por uma massa de ar de latitudes altas, podendo causar geadas e friagens.

Durante o verão as FF podem interagir com o ar tropical úmido e quente, “produzindo convecção profunda e organizada e chuvas fortes sobre o continente” (CAVALCANTI e KOUSKY, 2009, p. 135). Nesse sentido, conforme Abreu (1998), durante a primavera e o verão, as FF contribuem para a ocorrência de chuvas intensas,

especialmente quando associadas às Linhas de Instabilidade (LI) e à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

De acordo com Nimer (1989), as Linhas de Instabilidade (LI) estão relacionadas ao movimento ondulatório que se verifica na frente polar quando esta entra em contato com o ar quente da zona tropical. Assis *et al.* (2013) apontam as LI são um dos principais agentes causadores de chuvas na RMBH durante o verão, registrando episódios de precipitação torrencial e de curta duração.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é responsável pelas chuvas intensas e volumosas que atingem toda a região Sudeste do Brasil no final da primavera e durante o verão, sendo formada pela associação entre os sistemas frontais frios (FF) e a convecção tropical, principalmente proveniente da região amazônica (ABREU, 1998). Ela se apresenta como uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, estendendo-se desde a Amazônia até o sudeste brasileiro (CARVALHO e JONES, 2009). A atuação da ZCAS pode ser verificada tanto pelos índices elevados de precipitação quanto por imagens de satélites meteorológicos.

Conforme Assis (2010), a atuação da Alta da Bolívia (AB) e da Baixa do Chaco (BC) sobre a RMBH se dá de forma mais esporádica e indireta. De acordo com o autor, esses sistemas atuam

(...) especialmente durante o verão, quando áreas de baixa pressão estão fortificadas sobre o continente Sul-Americano. (...) Os tipos de tempo observados na capital mineira sob o domínio destes sistemas são de relativa instabilidade convectiva, proporcionado pelas altas temperaturas e elevadas taxas de umidade relativa, chuvas de caráter convectivo e tempestades. (ASSIS, 2010, p. 79-80).

### **CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS**

A realização deste trabalho foi motivada a partir das problematizações acerca do Sistema Clima Urbano (SCU), tendo como principal referência o modelo teórico proposto por Monteiro (1976). Esse modelo também serviu de fundamento para a definição das hipóteses apresentadas na Introdução. Foi realizada uma revisão da literatura de modo que abarcasse as principais características do SCU, bem como as escalas e hierarquias do clima. Além disso, foram revisados estudos de caso sobre o comportamento térmico, hídrico e anemométrico em ambientes urbanos e rurais e o impacto que o clima exerce sobre a qualidade ambiental e, conseqüentemente, sobre a qualidade de vida das populações citadinas.

Foi necessário realizar o levantamento das características históricas e socioeconômicas do município de Sarzedo, na tentativa de compreender o estágio de desenvolvimento urbano em que se encontra. E, ainda, a caracterização da circulação atmosférica na camada limite planetária e a caracterização física do ambiente como subsídio para a análise dos diferentes componentes geoecológicos que regem o clima no município. O roteiro metodológico da figura 13 apresenta, de forma sucinta, as etapas definidas para a elaboração deste trabalho.



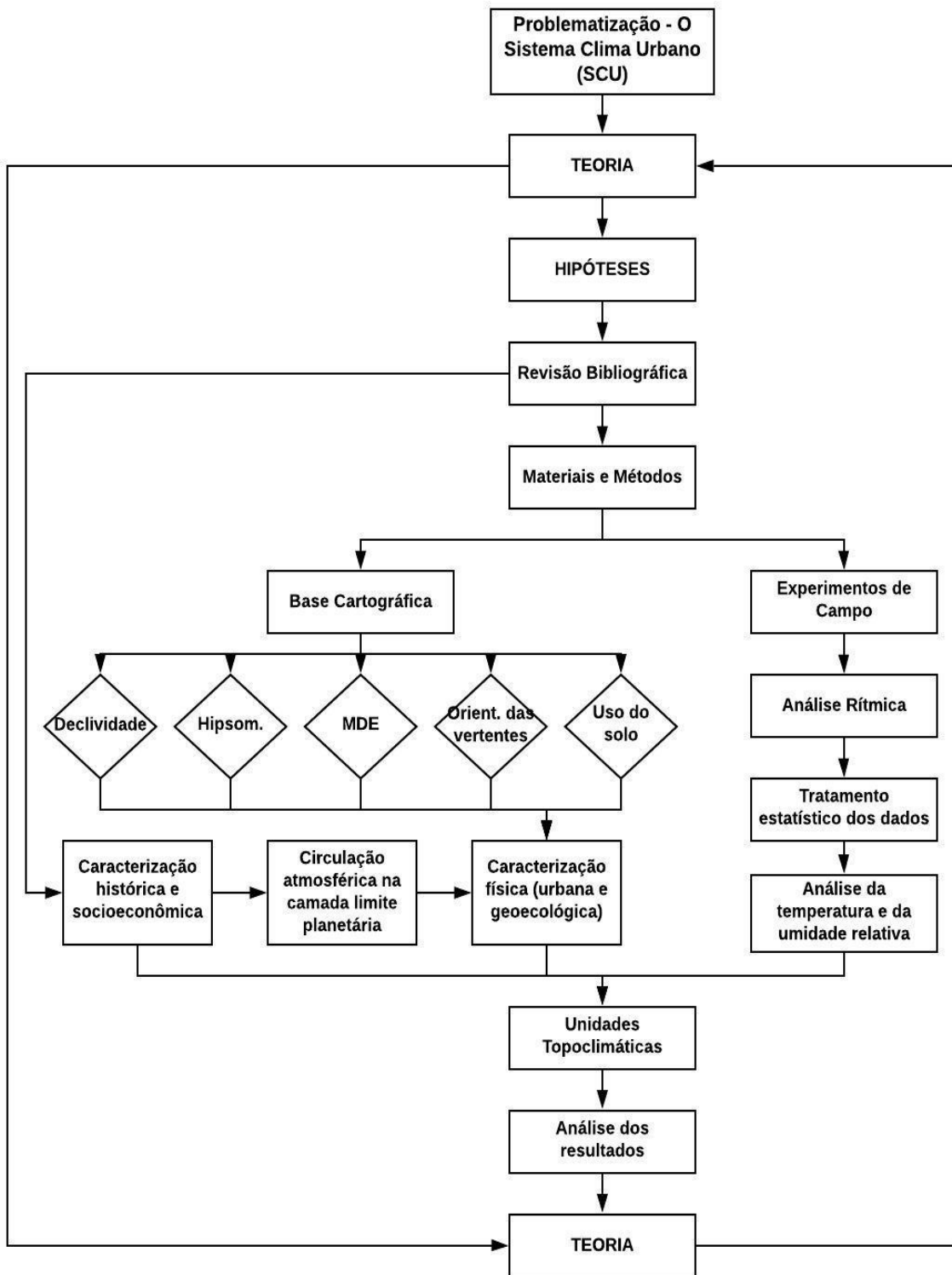


FIGURA 13: Roteiro Metodológico I – Etapas de Elaboração do Trabalho

### 3.1. Base Cartográfica

Conforme Monteiro (1990a), a análise do clima urbano demanda um material específico de caracterização do sítio urbano, como: uso da terra, padrões de edificação com áreas verdes e espaços abertos, morfologia e estrutura urbana, áreas arborizadas, configuração vertical, densidade demográfica, fluxos de veículos e pedestres, além de outras características notadamente relacionadas com os ambientes urbanos da atualidade. Tal material é necessário para se obter conhecimento detalhado sobre os fatores dinâmicos e estáticos que regem as interações climáticas em determinado ambiente.

Considerando essa orientação, foi necessário atualizar a base cartográfica do município de Sarzedo a fim de possibilitar a visualização dos diferentes aspectos urbanos e geoecológicos e, conseqüentemente, suas possíveis correlações com o clima no município. Assim, foram elaborados os mapas de hipsometria e o Modelo Digital de Elevação - MDE (FIG. 10), de declividade (FIG. 11a), de orientação das vertentes (FIG. 11b), de vegetação (FIG. 12) e de uso do solo (Apêndice A). Essa base também serviu como referência para a escolha dos pontos amostrais para os dois experimentos de campo. Todos esses mapas foram gerados através do *software* ArcGis 10.5.

Os mapas de declividade, de orientação das vertentes, de hipsometria e o MDE foram gerados a partir de imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), disponibilizada pelo *United States Geological Survey* (USGS)<sup>8</sup>. A imagem SRTM1S21W045V3, publicada em 23/09/2014, cobre toda a área do município de Sarzedo, possui resolução de 30 metros, extensão “.tif” e está georreferenciada no sistema de coordenadas geográficas Lat./Long., datum WGS84.

Com os valores altimétricos da imagem SRTM, foi gerado o mapa de hipsometria do município de Sarzedo a partir do qual também foi criado o MDE. O efeito tridimensional do MDE foi alcançado com técnica de sombreado da imagem raster, por meio da ferramenta “*Hillshade*”, presente na extensão *Spatial Analyst* do ArcGis 10.5. Considerando que o gradiente de temperatura decresce conforme se eleva a topografia, a elaboração desse material possibilitou inferências a respeito dos efeitos

---

<sup>8</sup> Disponível em <<https://earthexplorer.usgs.gov>>

da altitude no comportamento dos parâmetros climáticos analisados no município. Os intervalos de altimetria foram definidos conforme tabela 4.

TABELA 4: Elevação altimétrica do município de Sarzedo

COR	ALTITUDE (em metros)
	720 - 800
	801 - 900
	901 - 1000
	1001 - 1100
	1101 - 1200
	1201 - 1300
	1301 - 1400
	1401 - 1500

O mapa de declividade teve como base o arquivo raster do MDE, com uso da ferramenta “*Slope*”, também presente na extensão *Spatial Analyst* do ArcGis 10.5. A declividade foi dada em graus e as classes definidas estão apresentadas na tabela 5.

TABELA 5: Classes de Declividade

COR	CLASSES (em graus)
	0 - 3
	4 - 9
	10 - 16
	17 - 24
	25 - 35
	36 - 48
	49 - 90

A orientação das vertentes foi obtida através da imagem SRTM, utilizando a ferramenta “*Aspect*” (*Spatial Analyst*, ArcGis 10.5). Essa ferramenta gera classes que representam a orientação para diferentes pontos cardeais, além de identificar as superfícies planas (sem orientação). Neste estudo foram utilizadas oito classes, abrangendo os pontos cardeais e os pontos colaterais, conforme tabela 6.

TABELA 6: Classes de Orientação das Vertentes

COR	CLASSES
Gray	Plano
Red	Norte
Orange	Nordeste
Yellow	Leste
Green	Sudeste
Cyan	Sul
Blue	Sudoeste
Dark Blue	Oeste
Magenta	Noroeste

As informações contidas no mapa de vegetação do município de Sarzedo foram extraídas da camada “Inventário Florestal 2009”, disponibilizada através da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema)<sup>9</sup>. Os cursos d’água inseridos nos mapas de declividade, vegetação e MDE foram extraídos da base cartográfica de hidrografia do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)<sup>10</sup>.

O mapa de uso do solo foi extraído da coleção 4 do projeto MapBiomias<sup>11</sup>. Esse projeto “utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil” (MapBiomias, s.d.). Conforme o site do projeto, os mapas de uso do solo são gerados no formato matricial, com resolução de 30 metros, a partir de mosaicos do Landsat.

O projeto MapBiomias apresenta camadas de uso do solo de 1985 a 2018, sendo possível a verificação das mudanças no uso e cobertura da terra ao longo desse período. Para este trabalho foi utilizada somente a camada do ano de 2018, uma vez que a elaboração desse material tinha como objetivo aprofundar o conhecimento sobre as classes de uso e cobertura do solo atuais.

De modo geral, o mapa de uso do solo representa bem as condições atuais do município, porém apresenta algumas divergências da realidade. Essas divergências

<sup>9</sup> Disponível em <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>

<sup>10</sup> Disponível em <<http://www.igam.mg.gov.br/>>

<sup>11</sup> Disponível em <<https://mapbiomas.org/>>

foram sanadas através de comparação com imagem do Google Earth e pelo reconhecimento de campo. Tanto o mapa de uso do solo como a imagem do Google Earth podem ser visualizadas no Apêndice A. As onze classes de uso e cobertura do solo identificadas no município de Sarzedo estão dispostas na tabela 7.

TABELA 7: Classes de Uso do Solo

COR	CLASSES
	Formação Florestal
	Formação Savânica
	Floresta Plantada
	Pastagem
	Cultura Anual e Perene
	Agricultura e Pastagem
	Infraestrutura Urbana
	Outra Área Não Vegetada
	Afloramento Rochoso
	Mineração
	Água

Foi elaborado um mapa com a evolução da mancha urbana do município de Sarzedo de 1994 a 2018. Para isso foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 4-5, referentes aos anos de 1994, 2002 e 2010, e Landsat 8 para o ano de 2018, todas disponibilizadas pelo USGS. A imagem referente a cada ano foi composta a partir do empilhamento das bandas 1, 2 e 3, realizado através do *software* MultiSpec. Nesse mesmo programa foi realizada a classificação supervisionada, a fim de se obter a área ocupada pela mancha urbana nos quatro anos de análise. Os polígonos gerados foram tratados no ArcGis 10.5 com a ferramenta “*Majority*”, uniformizando os resultados obtidos.

Todo o material cartográfico aqui produzido se restringiu aos limites municipais de Sarzedo, definidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015). O polígono com os limites do perímetro urbano de Sarzedo foi elaborado e cedido pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Sarzedo. Os resultados dos mapas inseridos neste trabalho estão georreferenciados no sistema de coordenadas geográficas Lat./Long. e convertidos para o datum SIRGAS 2000.

### 3.2. Experimentos de Campo

Para atingir os objetivos desta pesquisa foram realizados dois experimentos de campo: o primeiro durante o período seco (início da primavera) e o segundo durante o período chuvoso (final do verão), a partir daqui denominados como Campo 1 e Campo 2, respectivamente.

Ambos os experimentos tiveram como objetivo a coleta de dados horários de temperatura e umidade relativa do ar. A coleta de dados do Campo 1 aconteceu da 00h do dia 01/10/2019 até as 23h do dia 17/10/2019, enquanto do Campo 2 ocorreu da 00h do dia 21/02/2020 até as 23h do dia 11/03/2020 (horários referentes ao de Brasília). Também, nos dois períodos foram observadas condições atmosféricas estáveis e instáveis, permitindo a avaliação dos comportamentos térmico e higrômico do município sob diferentes situações sinóticas.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram registrados por termo-higrômetros *datalogger*, fabricados pela TFA Dostmann / Wertheim, modelo 30.3015 (FIG. 14a). Esses equipamentos possuem capacidade de armazenamento de 3000 conjuntos de dados, com intervalos entre registros reguláveis. As possibilidades de armazenamento / visualização desses equipamentos são: temperatura máxima, mínima, média e instantânea, umidade relativa máxima, mínima, média e instantânea e temperatura do ponto de orvalho instantânea.

Os termo-higrômetros *datalogger* foram devidamente acoplados a abrigos meteorológicos (FIG. 14b), cujos quais foram confeccionados para fins acadêmicos pelo professor do Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Dr. Wellington Lopes Assis (Assis, 2010). Segundo o autor, esses abrigos meteorológicos foram produzidos em conformidade com o modelo proposto pelo professor Dr. José Roberto Tarifa, do Laboratório de Climatologia da Universidade de São Paulo (USP).

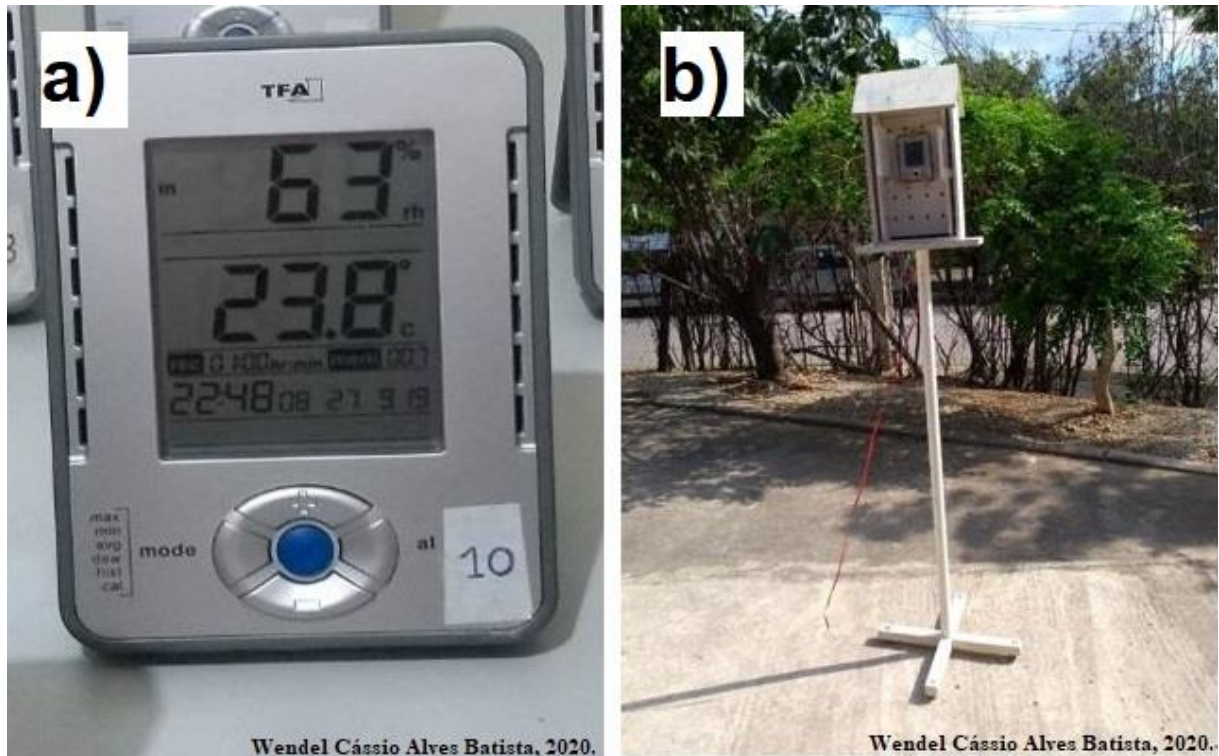


FIGURA 14: a) Termo-higrômetro *datalogger*; b) Abrigo meteorológico.

Os nove pontos amostrais foram selecionados considerando o uso e cobertura do solo e a topografia do município. Assim, as principais bases para a escolha dos pontos amostrais foram o mapa de uso do solo (somado à imagem do Google Earth) e o Modelo Digital de Elevação. A princípio, foram selecionados dez pontos para coleta de dados. Porém, para o ponto que seria localizado em uma área de mata, a autorização para a instalação do equipamento ocorreu próximo ao término do período do Campo 1. Portanto, este ponto foi excluído, permanecendo nove pontos amostrais.

Os abrigos foram instalados em áreas abertas com diferentes usos: urbano (residencial, comercial e industrial), rural (agricultura e pecuária) e natural (topo de morro próximo à área de mineração). A espacialização dos nove pontos amostrais, bem como suas características do entorno podem ser visualizadas na figura 15. A descrição detalhada dos pontos pode ser conferida no Apêndice B.

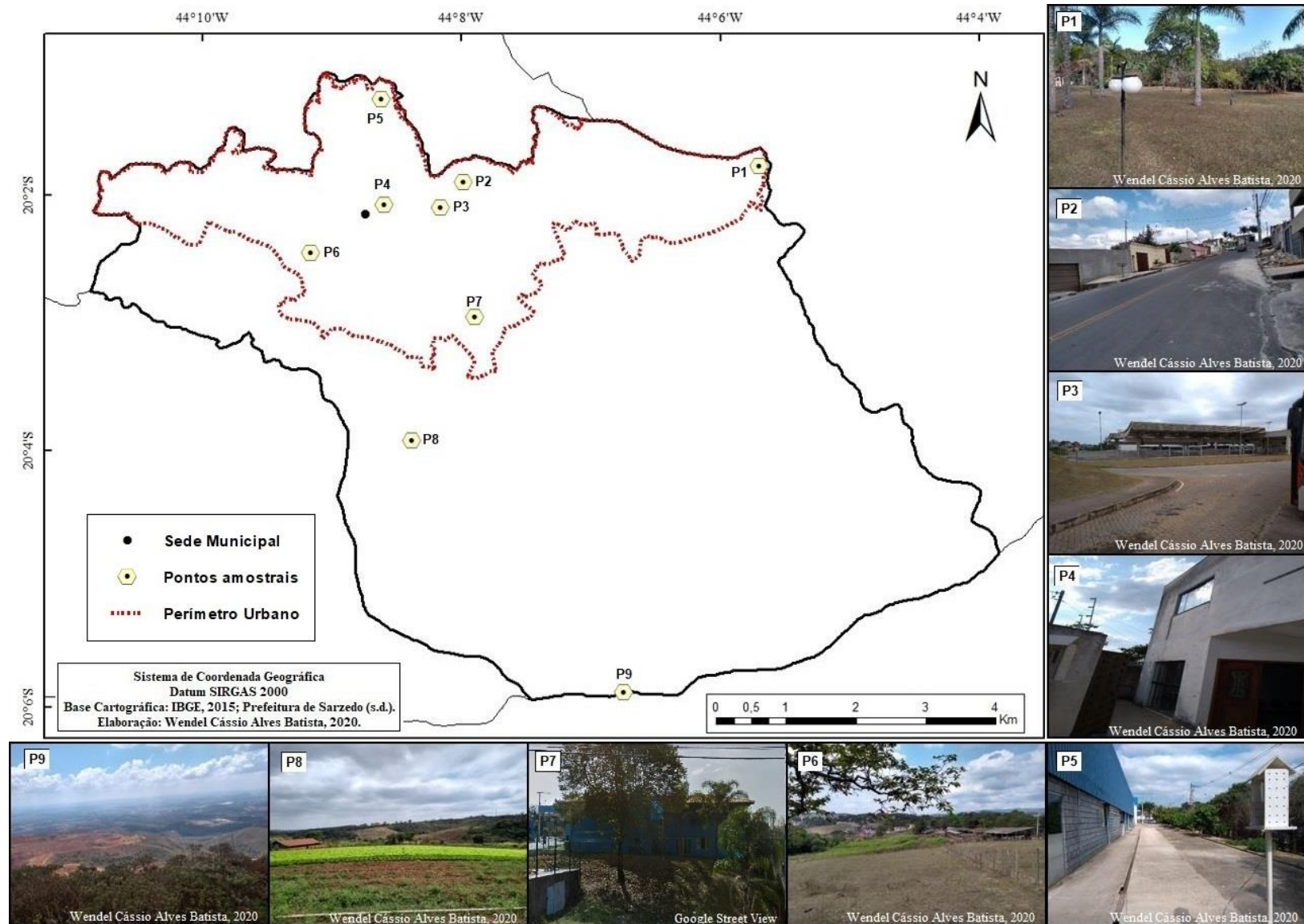


FIGURA 15: Localização dos pontos amostrais dos Campos 1 e 2.



A localização dos pontos foi basicamente a mesma para os dois experimentos de campo. Apenas os pontos 2 e 6 sofreram pequenas alterações no Campo 2 em relação ao Campo 1. Contudo, as características do entorno foram mantidas e foi assegurada a maior proximidade possível em relação aos locais do Campo 1, com distanciamento de poucos metros em ambos os casos.

No dia anterior à instalação dos equipamentos para coleta de dados em campo, foi feita a aferição dos termo-higrômetros *datalogger* a fim de possibilitar a identificação de possíveis falhas nos aparelhos. Para o Campo 1, dez aparelhos foram selecionados e dispostos sobre uma mesa e permaneceram em um cômodo totalmente fechado durante seis horas, sem incidência direta de luz solar, porém sob iluminação artificial (lâmpada LED 15W). O intuito desse procedimento foi criar um ambiente de microclima estável, permitindo a verificação da variação dos dados de temperatura e umidade relativa entre os aparelhos, sob a mesma condição. Após seis horas nesse ambiente, observou-se variação máxima de 0,6°C de temperatura e 1% de umidade relativa entre os aparelhos.

A aferição dos dados no Campo 2 obedeceu ao mesmo procedimento do Campo 1, porém, como um dos pontos amostrais foi excluído, foram selecionados nove aparelhos. A variação encontrada foi de 0,4°C de temperatura e 1% de umidade relativa entre os termo-higrômetros *datalogger*. Os aparelhos utilizados nos Campos 1 e 2 podem ser observados nas figuras 16a e 16b, respectivamente.

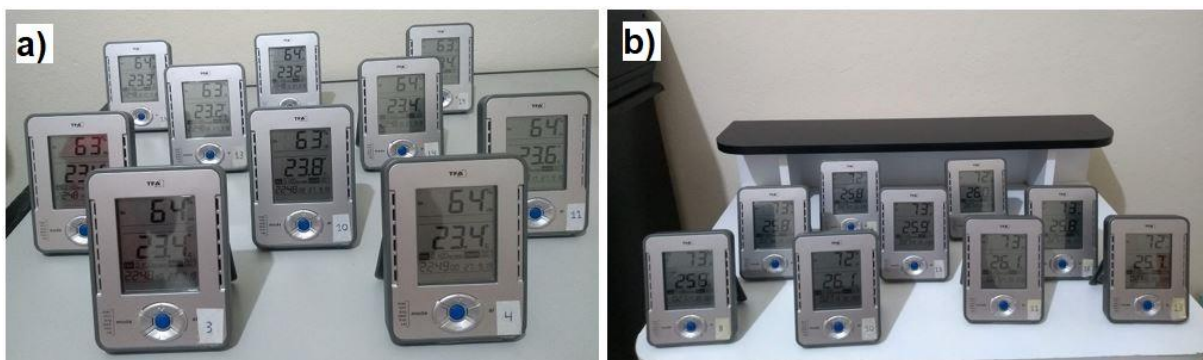


FIGURA 16: a) Aferição dos *dataloggers* Campo 1; b) Aferição dos *dataloggers* Campo 2.

Também foram utilizados dados de temperatura e umidade relativa coletados pela Estação Meteorológica do Rola Moça, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Ibirité (estação oficial mais próxima de Sarzedo). Esses dados serviram como base para aferição dos dados registrados

em campo e possível correção deles – uma vez observadas as diferenças de uso e cobertura do solo e apenas em caso de apresentarem diferenças discrepantes. A localização da estação do Rola Moça se assemelha ao Ponto 9, em termos de uso do solo e altitude. Conforme gráficos apresentados no Capítulo 4, observou-se comportamento semelhante dos parâmetros climáticos entre esses pontos durante os dois experimentos de campo.

### 3.3. Análise Rítmica

A análise rítmica é um procedimento metodológico proposto por Monteiro (1971) no qual são analisadas as variáveis meteorológicas de superfície ao longo de um determinado período, a fim de identificar o ritmo diário na sucessão dos tipos de tempo. As variáveis que essa análise utiliza são: pressão atmosférica, pluviosidade, umidade relativa do ar, temperatura (máxima, média e mínima) e direção e velocidade dos ventos. Portanto, neste trabalho foram analisadas as condições sinóticas, assim como as variáveis de superfície, dois dias antes e dois dias após os experimentos de campo, a saber: Campo 1, de 29/09/2019 a 19/10/2019; Campo 2, de 19/02/2020 a 13/03/2020.

Os dados meteorológicos de superfície foram obtidos por meio da Estação Meteorológica do Rola Moça (INMET)<sup>12</sup>. Para a identificação dos sistemas de sinóticos de mesoescala foram utilizadas cartas de superfície (1000mb) e altitude (250mb) disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), imagens do satélite GOES-16 no canal 13<sup>13</sup> e cartas de superfície disponibilizadas pela Marinha do Brasil<sup>14</sup>.

### 3.4. Tratamento Estatístico dos Dados

Os dados coletados durante os dois experimentos de campo e os dados da Estação do Rola Moça foram organizados e tratados em planilhas do *software* Microsoft Excel.

---

<sup>12</sup> Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>

<sup>13</sup> Disponíveis em <<https://www.cptec.inpe.br/>>

<sup>14</sup> Disponível em <<https://www.marinha.mil.br/chm/>>

Com a ferramenta “Análise de Dados” do Excel foi gerada a estatística descritiva, considerando todos os valores obtidos ao longo dos períodos analisados, da qual foi dado destaque para os seguintes parâmetros: média, mínima absoluta, máxima absoluta, amplitude e desvio padrão. Esse resumo estatístico possibilitou as primeiras análises acerca do comportamento geral da temperatura e da umidade do ar nos pontos amostrais para os dois períodos.

No primeiro período de análise foram coletados 408 dados de temperatura e umidade relativa para cada um dos locais analisados, enquanto no segundo período esse total foi de 480 dados para cada variável. Assim, para facilitar a visualização do comportamento das variáveis durante os períodos analisados, foram elaborados gráficos de linhas para a temperatura e para a umidade relativa, a partir dos quais discorrem os principais apontamentos a respeito do comportamento geral da temperatura e da umidade relativa.

A visualização do gráfico de linhas estava sendo dificultada em função da quantidade de pontos amostrais. Para minimizar esse efeito, optou-se pela separação dos nove pontos amostrais em três gráficos distintos. Desse modo, cada gráfico apresenta o comportamento da variável em três pontos amostrais, além dos dados da Estação do Rola Moça, que foram utilizados para efeitos de aferição e comparação.

O critério definido para dividir os pontos amostrais em três gráficos se estabeleceu em função do uso e cobertura do solo. O objetivo foi de que cada gráfico apresentasse uso e cobertura dos solos distintos, de modo a facilitar a comparação das variáveis em diferentes ambientes. Então, definiu-se os três grupos, conforme tabela 8.

TABELA 8: Divisão dos pontos amostrais

GRUPO	PONTOS AMOSTRAIS	RESPECTIVO USO E OCUPAÇÃO
1	P1; P5; P7	condomínio fechado; industrial; residencial/comercial
2	P2; P8; P9	residencial; agricultura; mineração
3	P3; P4; P6	terminal metropolitano; centro (comercial); pecuária

Como material complementar também foram elaborados gráficos de linhas com as máximas diárias, médias diárias e mínimas diárias para cada uma das variáveis e cada um dos períodos analisados. Além desses, foram gerados gráficos com o comportamento diário da temperatura e da umidade relativa para cada dia dos

períodos analisados. Os gráficos complementares com o comportamento diário das variáveis nos campos 1 e 2 podem ser visualizados nos Apêndices C e D, respectivamente.

Durante os dois experimentos de campo alguns equipamentos sofreram interrupções no armazenamento de dados, o que causou descontinuidade nos dados desses pontos em relação à série analisada. Contudo, foram apenas falhas pontuais que não inviabilizaram o trabalho. No Campo 1, o P3, instalado na região central de Sarzedo, na área do prédio da Secretaria de Planejamento, foi derrubado pelos ventos no dia 04/10/2019 (sexta-feira) e sua funcionalidade só pôde ser restaurada na segunda-feira, dia 07/10/2019, ficando, portanto, com uma falha de quatro dias no meio da série.

Próximo ao final do período de coleta de dados do Campo 2, os termo-higrômetros *datalogger* do P8 e do P9 deixaram de funcionar, interrompendo suas séries de dados nos dias 06 e 05/03/2020, respectivamente. Foi possível restaurar os dados armazenados antes dessa interrupção, permanecendo o P8 com período de 21/02 a 05/03/2020 e o P9, de 21/02 a 04/03/2020.

Na série de dados do período do Campo 1, apenas um dado precisou ser verificado e corrigido. No dia 06/10/2019, às 13h, o P6 registrou temperatura de 56,1°C e 16% de umidade relativa. Esses valores divergiram bastante dos demais pontos amostrais no mesmo dia e horário e destoaram até mesmo dos valores registrados pelo P6 nos horários antecessor e sucessor a esse. Às 12h do dia 06/10/2019 o P6 registrou 38,6°C de temperatura e 32% de umidade relativa, enquanto às 14h registrou 39,4°C de temperatura e 28% de umidade relativa. Verificada a inconsistência, corrigiu-se os valores das 13h a partir de média aritmética simples entre os valores das 12h e das 14h, sendo considerado 39 °C de temperatura e 30% de umidade relativa. Para a série do período do Campo 2 não foram observados valores tão discrepantes que necessitassem correção.

### 3.5. Interpolação dos dados

Após o tratamento estatísticos dos dados coletados nos campos 1 e 2, os valores registrados de máximas e mínimas absolutas e a média geral, referentes a cada um dos pontos amostrais, foram interpolados<sup>15</sup> no *software* ArcGis 10.5. Tal procedimento objetivou representar espacialmente o comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar no município de Sarzedo durante os períodos analisados. Em busca de melhores resultados, foram testados seis métodos diferentes de interpolação: ponderação do inverso das distâncias (*Inverse Distance Weighting* - IDW), krigagem ordinária (*Ordinary Kriging*), função de base radial (*Radial Basis Function* - RBF), *Kernel Smoothing*, interpolação polinomial local (*Local Polynomial Interpolation* - LPI) e interpolação polinomial global (*Global Polynomial Interpolation* - GPI).

A ponderação do inverso das distâncias (IDW) é um método interpolador exato que utiliza valores de um ponto amostrado para prever o valor de outros pontos não amostrados, partindo do princípio de que objetos mais próximos são mais semelhantes do que aqueles que estão mais distantes (ESRI, s.d.). Desse modo, de acordo com Jakob e Young (2006), cada ponto possui influência sobre novos pontos, a qual diminui na medida em que a distância aumenta. Tal método tende a gerar círculos concêntricos (*bull's-eye*) ao redor dos pontos amostrados, situação observada nos testes de interpolação para o município de Sarzedo, tanto para as temperaturas quanto para a umidade relativa do ar.

Segundo Machado (2016), a krigagem ordinária é um interpolador flexível que possibilita a investigação da variável a partir de cálculos da autocorrelação espacial entre os valores. Esse método não demonstrou resultados satisfatórios para as variáveis na área de estudo, apresentando isolinhas anguladas em todas as situações.

A função de base radial (RBF) é um método determinístico moderadamente rápido e exato. Diferentemente do IDW, o RBF pode gerar valores acima e abaixo, respectivamente, dos valores máximo e mínimo registrados pelos pontos amostrais. O RBF também é mais flexível que o IDW, porém exige mais parâmetros de decisão. Sua predição de superfície pode ser comparada com a forma exata da krigagem, mas

---

<sup>15</sup> De acordo com Jakob e Young (2006, p. 7), “a interpolação é uma técnica utilizada para a estimativa do valor de um atributo em locais não amostrado, a partir de pontos amostrados na mesma área ou região”.

não permite a investigação da autocorrelação entre os valores, sendo, assim, menos flexível e mais automático que a krigagem (JAKOB e YOUNG, 2006).

O método *Kernel Smoothing* utiliza a distância mais curta entre os pontos amostrados para fazer as predições, tendo como característica a suavização dos dados representados (ESRI, s.d.). Apesar de demonstrar, em alguns casos, espacialização satisfatória das variáveis na área de estudo, o método apresentou, em todos os testes, uma pequena falha na porção sudeste do município.

A interpolação polinomial local (LPI) consiste em um método determinístico, moderadamente rápido e que também suaviza os dados. O LPI ajusta muitos polinômios, cada um especificando sua vizinhança, produzindo uma superfície de saída (ESRI, s.d.). O resultado alcançado através do LPI também não foi satisfatório. De modo geral, as isolinhas apresentaram padrão retilíneo, gerando faixas de valores semelhantes que não condizem com a realidade do município.

Assim como o LPI, a interpolação polinomial global (GPI) é um método determinístico, rápido e não é exato. Esse método ajusta uma superfície suavizada definida por uma função matemática (polinomial) para os pontos amostrados, gerando resultados com tendências graduais (ESRI, s.d.). De forma semelhante ao LPI, o GPI também apresentou isolinhas com padrão retilíneo, orientadas de sudeste a noroeste, que não condizem com a realidade do município.

Os resultados dos testes de modelo de interpolação dos campos 1 e 2 podem ser conferidos nos Apêndices E e F, respectivamente. Apesar do fato de que uma maior cobertura de pontos amostrais poderia gerar melhores resultados, alguns interpoladores apresentaram resultados interessantes, considerados satisfatórios neste trabalho. Conforme a ESRI (s.d.), na comparação entre os interpoladores, estatisticamente, o interpolador com melhor resultado é aquele com erro médio mais próximo de 0 (zero) possível. O desempenho estatístico de cada um dos interpoladores para cada uma das variáveis pode ser verificado nas tabelas 9 e 10.

TABELA 9: Resumo estatístico – interpolação das temperaturas

			IDW	Kriging	RBF	Kernel	LPI	GPI
CAMPO 1	Temperatura Máxima	Erro Médio	0,942	0,338	0,496	0,783	-0,474	-0,689
		Erro Médio Quadrático	3,606	3,081	3,189	2,722	2,732	2,857
	Temperatura Média	Erro Médio	0,749	0,252	0,255	0,649	0,220	0,148
		Erro Médio Quadrático	1,964	1,185	1,784	1,650	1,081	1,021
	Temperatura Mínima	Erro Médio	0,539	0,229	0,158	0,435	0,366	0,325
		Erro Médio Quadrático	1,895	1,550	1,691	1,861	2,433	2,242
CAMPO 2	Temperatura Máxima	Erro Médio	0,977	0,071	0,247	0,800	0,505	0,127
		Erro Médio Quadrático	3,720	3,527	3,341	4,269	5,018	4,699
	Temperatura Média	Erro Médio	0,591	0,386	0,214	0,516	0,210	0,146
		Erro Médio Quadrático	1,536	1,151	1,475	1,518	0,913	0,895
	Temperatura Mínima	Erro Médio	0,573	0,366	0,180	0,638	0,496	0,392
		Erro Médio Quadrático	1,548	1,611	1,443	1,911	1,686	1,539

Menor resultado

TABELA 10: Resumo estatístico – interpolação das umidades relativas

			IDW	Kriging	RBF	Kernel	LPI	GPI
CAMPO 1	Umidade Relativa Máxima	Erro Médio	-1,318	-0,793	-0,396	-0,579	-1,365	-1,363
		Erro Médio Quadrático	4,352	3,760	3,983	3,970	5,728	5,540
	Umidade Relativa Média	Erro Médio	-1,382	-0,417	-0,428	-0,930	-0,545	-0,388
		Erro Médio Quadrático	3,548	2,274	3,067	2,703	4,229	4,254
	Umidade Relativa Mínima	Erro Médio	-0,346	0,282	-0,340	-0,594	0,128	0,928
		Erro Médio Quadrático	2,893	2,669	2,293	2,505	2,464	3,235
CAMPO 2	Umidade Relativa Máxima	Erro Médio	-0,986	-0,462	-0,277	0,122	-0,532	-0,585
		Erro Médio Quadrático	2,760	2,665	2,547	3,152	5,208	4,724
	Umidade Relativa Média	Erro Médio	-1,783	-0,856	-0,870	-0,971	-0,566	-0,487
		Erro Médio Quadrático	4,700	2,932	4,187	3,929	2,581	2,271
	Umidade Relativa Mínima	Erro Médio	-1,600	0,461	-0,693	0,132	0,348	0,614
		Erro Médio Quadrático	5,963	5,135	4,124	5,111	11,453	11,239

Menor resultado

Apesar não apresentar o melhor resultado estatístico em todas as variáveis, o interpolador selecionado foi a função de base radial (RBF). Isso porque, em comparação com os demais métodos, o RBF gerou, visualmente, uma superfície interpolada mais de acordo com as características geoecológicas observadas no município de Sarzedo. Além disso, não foram verificadas rupturas espaciais (falhas) nas superfícies interpoladas.

### **3.6. Unidades Topoclimáticas**

Após análise do comportamento climático no município de Sarzedo e de posse do material gráfico gerado a partir das interpolações, verificou-se que a variação altimétrica consiste em fator determinante para o comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar no município. O uso do solo e a orientação das vertentes demonstraram exercer menor influência, quando comparados à hipsometria.

Desse modo, foram utilizados cinco bases para a delimitação das unidades topoclimáticas do município: o mapa hipsométrico, a superfície interpolada da temperatura média, a superfície interpolada da umidade relativa média, o mapa de orientação das vertentes e o mapa de uso e ocupação do solo. Esse material foi inserido no *software* ArcGIS 10.5, onde foi aplicada a metodologia de análise multicritérios.

De acordo com Machado e Assis (2017, p. 8), a metodologia da análise multicritério “consiste em uma álgebra de mapas temáticos, os quais são classificados em categorias que recebem uma nota de acordo com a avaliação do pesquisador quanto à prioridade de relação que tem a categoria com o objeto da modelagem”. Esse procedimento foi aplicado tanto para as variáveis do Campo 1 quanto para as variáveis no Campo 2, gerando um resultado para cada período, os quais podem ser visualizados no Apêndice G.

Conforme tabela 11, as notas atribuídas para cada uma das classes constantes nos mapas base para a análise multicritério foram definidas em função do nível de influência do atributo sobre a variação dos componentes atmosféricos (temperatura e umidade relativa). Assim, como exemplo, áreas topograficamente elevadas receberam notas mais baixas, uma vez que apresentaram menores temperaturas e



umidades relativas mais altas. Do mesmo modo que os ambientes urbanos, localizados na porção mais topograficamente deprimida do município, receberam notas mais altas por apresentarem temperaturas elevadas e menores índices hídricos.

TABELA 11: Nota atribuída a cada classe dos mapas base

Nota	Atributos						Uso do Solo
	Hipsometria (m)	CAMPO 1		CAMPO 2		Orientação das Vertentes	
		Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)		
1	1401 - 1500	20,9 - 21,8	59,2 - 60,5	19,3 - 20	89,8 - 92,1	S	Formação Florestal / Água
2	1301 - 1400	21,9 - 22,6	57,8 - 59,1	20,1 - 20,7	87,4 - 89,7	SW	Floresta Plantada
3	1201 - 1300	22,7 - 23,4	56,4 - 57,7	20,8 - 21,4	85 - 87,3	W	Formação Savânica
4	1101 - 1200	23,5 - 24,3	55 - 56,3	21,5 - 22,1	82,6 - 84,9	NW	Agricultura e Pastagem
5	1001 - 1100	24,4 - 25,1	53,6 - 54,9	22,2 - 22,8	80,1 - 82,5	SE	Cultura Anual e Perene
6	901 - 1000	25,2 - 26	52,2 - 53,5	22,9 - 23,5	77,7 - 80	E	Pastagem
7	801 - 900	26,1 - 26,8	50,8 - 52,1	23,6 - 24,2	75,3 - 77,6	NE	Mineração / Outras áreas não vegetadas
8	720 - 800	26,9 - 27,7	49,3 - 50,7	24,3 - 24,9	72,8 - 75,2	N	Infraestrutura Urbana / Afloramento Rochoso

Na aplicação da álgebra de mapas, cada mapa temático recebe um peso de relevância, dado em porcentagem, de modo que a soma dos pesos atribuídos totalize 100%. A atribuição dos pesos aos mapas considerou a análise dos dados coletados em campo, a partir dos quais foi possível identificar os fatores que mais influenciam as condições climáticas do município. Nesse sentido, conforme tabela 12, o mapa hipsométrico recebeu maior peso (30%), pois o comportamento das variáveis atmosféricas demonstrou possuir íntima conexão com esse atributo. De modo contrário, as classes de uso do solo demonstraram ter menor influência sobre as variáveis climáticas, recebendo o menor peso (10%).

TABELA 12: Pesos atribuídos aos mapas base

<b>Hipsometria</b>	<b>30%</b>
<b>Temperatura</b>	<b>25%</b>
<b>Umidade Relativa</b>	<b>20%</b>
<b>Orientação das Vertentes</b>	<b>15%</b>
<b>Uso do Solo</b>	<b>10%</b>

Os dois mapas resultantes da análise multicritério serviram como primeira análise para uma possível delimitação das unidades topoclimáticas do município. Esse material foi inserido no software ArcGIS 10.5, juntamente com os demais mapas base, e, com o auxílio da sobreposição das camadas e dos conhecimentos adquiridos sobre a área de estudo, foram vetorizadas as cinco unidades climáticas, bem como suas quatro zonas de transição. Essa vetorização foi feita de forma manual, de modo a ajustar o resultado de acordo com as características geológicas observadas no município, uniformizando os resultados obtidos na análise multicritério.

## **CAPÍTULO 4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentadas as condições de tempo que prevaleceram durante os dois trabalhos de campo, bem como os resultados obtidos por meio da análise estatística dos dados coletados. Também é apresentada uma proposta de delimitação das unidades topoclimáticas para o município de Sarzedo, com base em suas características geoecológicas e no comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar durante os períodos amostrados.

### **4.1. Campo 1**

Os equipamentos para a coleta de dados do Campo 1 foram instalados em Sarzedo nos dias 28 e 30/09/2019 e foram recolhidos no dia 18/10/2019. Para garantir que todos os pontos amostrais tivessem a mesma quantidade de dados registrados simultaneamente, as informações aqui apresentadas foram selecionadas dentro do seguinte recorte temporal: de 00h do dia 01/10/2019 até as 23h do dia 17/10/2019. Esse período coincide com o início da primavera e antecedeu a ocorrência de chuvas mais abundantes na região Sudeste.

#### **4.1.1 Análise sinótica**

Para a análise das condições meteorológicas foi considerado um período que abrangesse dois dias antes e dois dias após ao experimento de campo, sendo, neste caso, de 29/09 a 19/10/2019. Neste período prevaleceram condições de tempo estáveis, com céu claro, pouca nebulosidade e ventos fracos a moderados. A exceção disso ocorreu no dia 29/09, entre os dias 07 e 11/10 e no dia 19/10/2019, quando perturbações sinóticas, associadas a presença de cavados em 500mb, favoreceram maior nebulosidade sobre o município.

Conforme o gráfico de participação dos Sistemas Atmosféricos (FIG. 17) e o gráfico de análise rítmica (FIG. 18), o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) foi responsável pelas condições de tempo em 66,7% do período analisado, prevalecendo

entre os dias 30/09 e 06/10/2019 e, também, entre os dias 12 e 18/10/2019. No restante do período (33,3%) prevaleceram condições um pouco mais instáveis, proporcionadas pela formação de linhas de instabilidade (LI), resultantes da passagem de frentes frias (FF) sobre o litoral da região Sudeste.

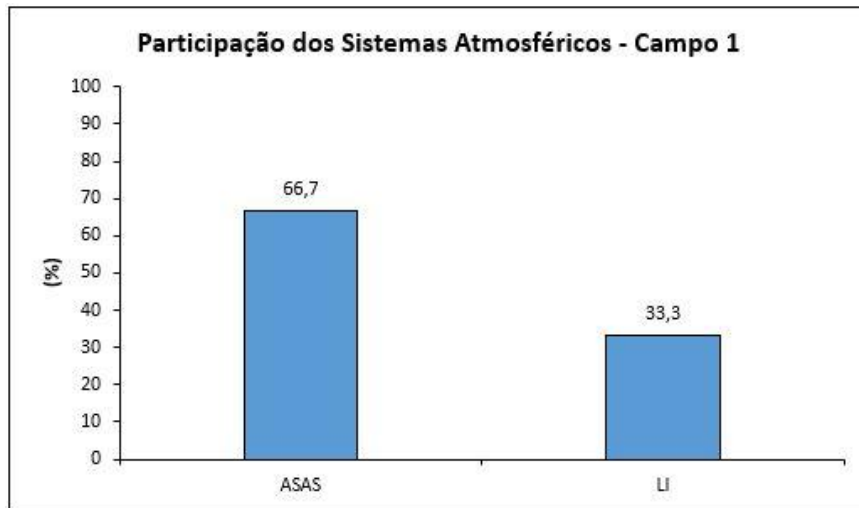


FIGURA 17: Participação dos sistemas atmosféricos em Sarzedo entre os dias 29/09/2019 e 19/10/2019. Fonte: CPTEC (2019a)

A tabela 13 apresenta o comportamento médio das variáveis climáticas durante a ocorrência de cada um dos sistemas atmosféricos. Observa-se que, durante atuação do ASAS, as amplitudes térmicas foram ligeiramente superiores do que quando da atuação das linhas de instabilidade, com médias de 12,1°C (30/09 a 06/10/2019) e 12,7°C (12 a 18/10/2019), registrando a maior amplitude no dia 02/10 (14,1°C). Também durante o ASAS foram registradas umidades relativas mais baixas em relação aos períodos de atuação das LI. Os únicos registros de precipitação ocorreram durante influência das LI, nos dias 08 e 09/10, com 2,0 e 0,5mm, respectivamente.

TABELA 13: Comportamento médio das variáveis climáticas por sistema atmosférico - 29/09 a 19/10/2019

Sistema Atmosférico	Período	Temperatura Média (°C)*	U. R. Média (%)*	Amplitude Térmica Média (°C)*	Pressão Atm. Média (hPa)*	Precipitação (mm)	
						Rola Moça*	Itaminas**
LI	29/09	19,6	74,3	10,9	882,8	-	-
ASAS	30/09 - 06/10	20,8	58,0	12,1	883,2	-	-
LI	07/10 - 11/10	21,4	62,7	10,9	884,1	-	2,5
ASAS	12/10 - 18/10	23,1	45,1	12,7	884,2	-	-
LI	19/10	24,7	42,3	12,0	882,4	-	-

\* Dados da Estação Meteorológica de Ibirité - Rola Moça (INMET).

\*\* Dados cedidos pela Itaminas Comércio de Minério S/A.

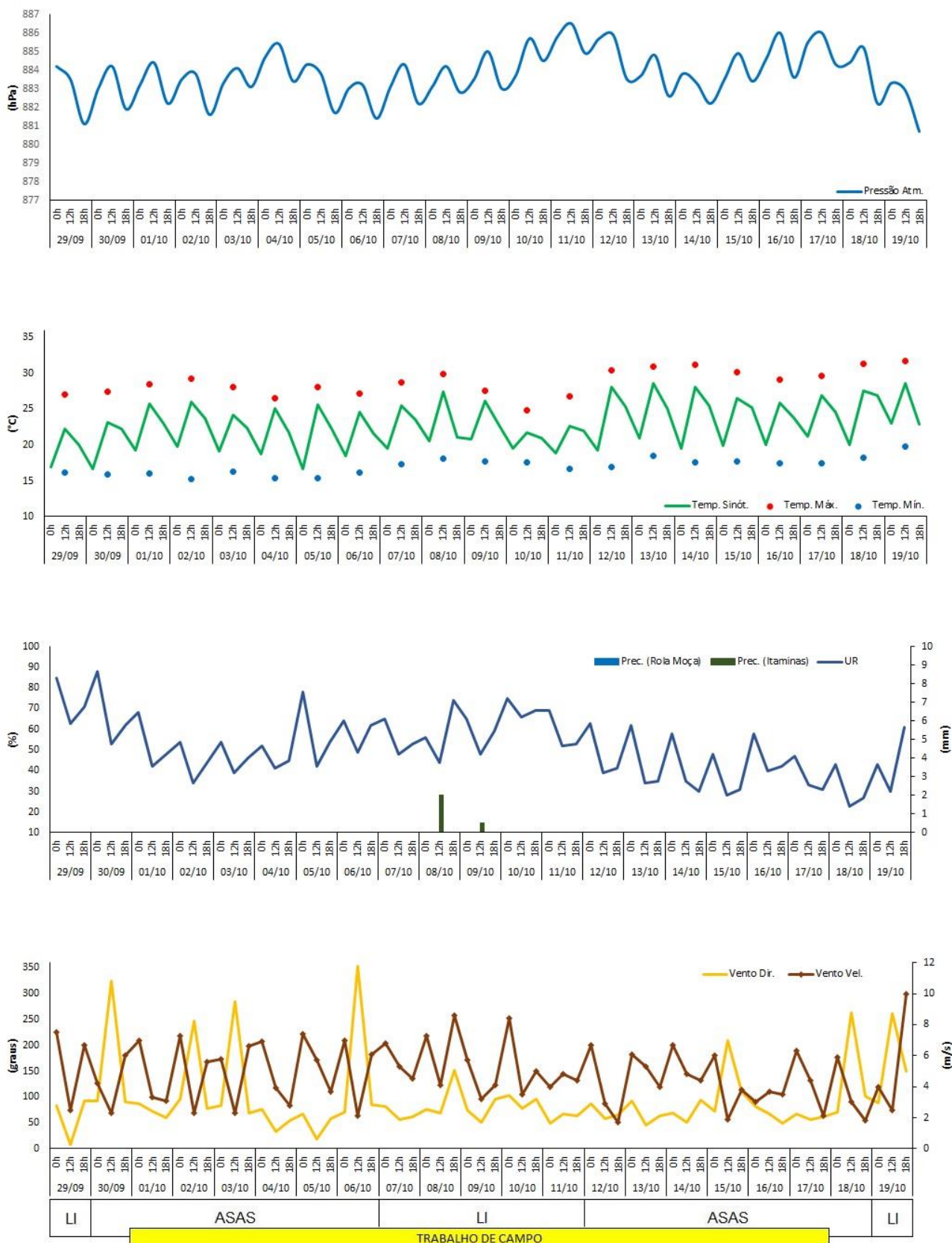


FIGURA 18: Análise rítmica dos elementos climáticos entre os dias 29/09 e 19/10/2019.  
 Fonte: Estação Meteorológica Ibitaré - Rola Moça - INMET (2019), CPTEC (2019a).

De modo geral, o índice pluviométrico ficou bastante abaixo da normal climatológica para os meses de setembro e outubro, que estabelece médias de 46,4 e 142,3mm, respectivamente. Da mesma forma, a umidade relativa também ficou abaixo do esperado, com média de 54,8%, se aproximando mais da média para o mês de setembro (67,8%). Já o comportamento das temperaturas foi condizente com o esperado para o mês de outubro, com temperatura média de 21,8°C, temperatura máxima média de 28,8°C e temperatura mínima média de 17°C.

Durante todo o período a pressão atmosférica se manteve constante, com média de 883,7hPa. Sob domínio do ASAS (FIG. 19), as condições atmosféricas permaneceram estáveis, sem registros de precipitação, com céu claro e pouca nebulosidade, favorecendo amplitudes térmicas diárias elevadas. A umidade relativa do ar registrou média abaixo de 60% para os dois períodos de predomínio do fenômeno. A velocidade dos ventos variou entre 1,6 e 9,8 m/s, com direção predominante de nordeste, variando para es-nordeste e leste. Também, sob domínio do ASAS, foram registradas ocorrências de névoa seca, principalmente nos períodos da tarde.

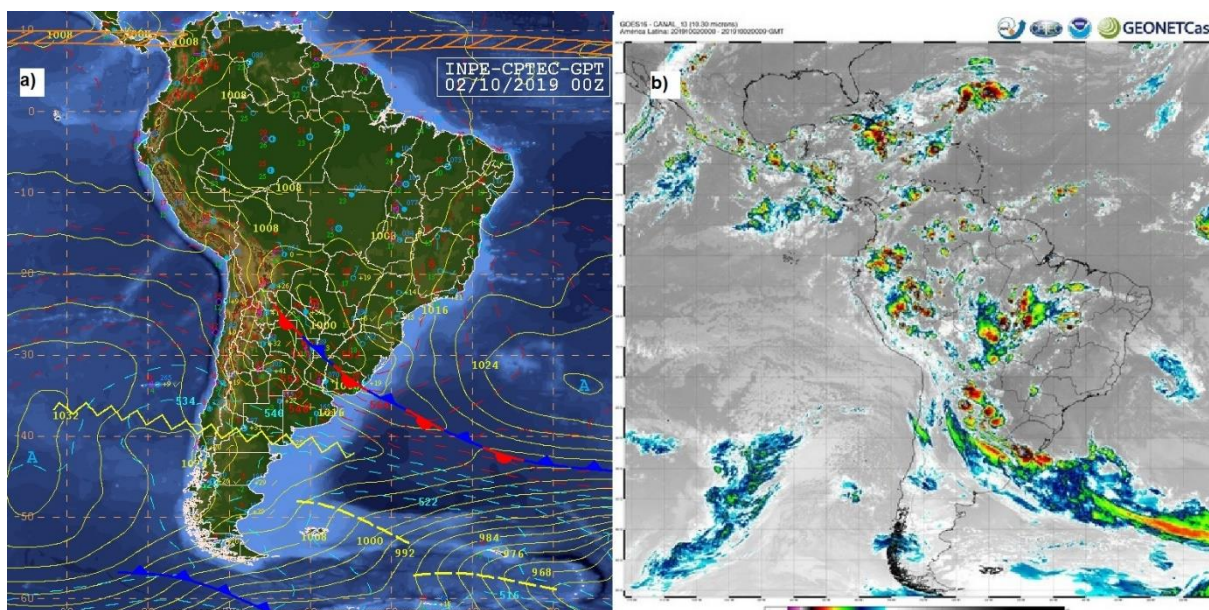


FIGURA 19: a) Carta de superfície de 00h UTC do dia 02/10/2019; b) Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 16 de 00h UTC do dia 02/10/2019. Fonte: (CPTEC, 2019a).

O primeiro domínio do ASAS se estendeu de 30/09 a 06/10/2019. Anterior a este período, o estado de Minas Gerais esteve sob forte instabilidade atmosférica em função da passagem de uma frente fria (FF) sobre o litoral da região Sudeste. De forma semelhante, no dia 07/10/2019, linhas de instabilidade se estenderam sobre

todo o centro-sul de Minas Gerais (FIG. 20). Sob essas condições, observou-se maior nebulosidade, umidade relativa média mais elevada, porém, com pouco registro de precipitação. A amplitude térmica diária média desse período foi mais baixa ( $10,9^{\circ}\text{C}$ ), variando entre  $7,2^{\circ}\text{C}$  e  $11,8^{\circ}\text{C}$ , com pequena redução das temperaturas máximas. A partir do dia 11/10/2019 as áreas de instabilidade perderam forças e deram espaço novamente para a circulação anticiclônica.

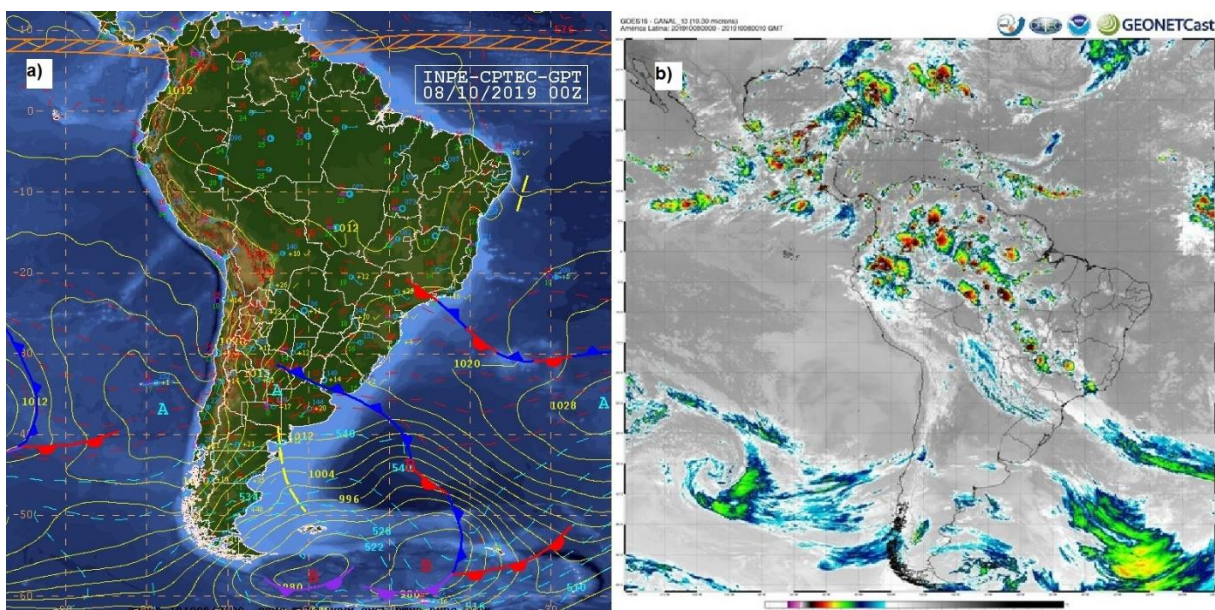


FIGURA 20: a) Carta de superfície de 00h UTC do dia 08/10/2019; b) Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 16 de 00h UTC do dia 08/10/2019. Fonte: (CPTEC, 2019a).

No dia 12/10/2019 o ASAS se estabeleceu novamente sobre o continente, com características semelhantes à sua atuação anterior, porém com temperaturas ligeiramente mais elevadas. No dia 19/10/2019, áreas de instabilidade atmosféricas se formaram em função do forte aquecimento diurno e da passagem de uma FF sobre o litoral do sudeste, cuja qual estava associada a um sistema de baixa pressão que deslocou o ASAS para leste.

Em relação aos aspectos de grande escala, conforme figura 21, a situação foi de neutralidade. As anomalias de Temperatura de Superfície do Mar (TSM) estiveram abaixo de  $0,5^{\circ}\text{C}$  no Oceano Pacífico Equatorial, não sendo suficientes para a configuração de fase positiva ou negativa relacionadas ao El Niño Oscilação Sul (ENOS).

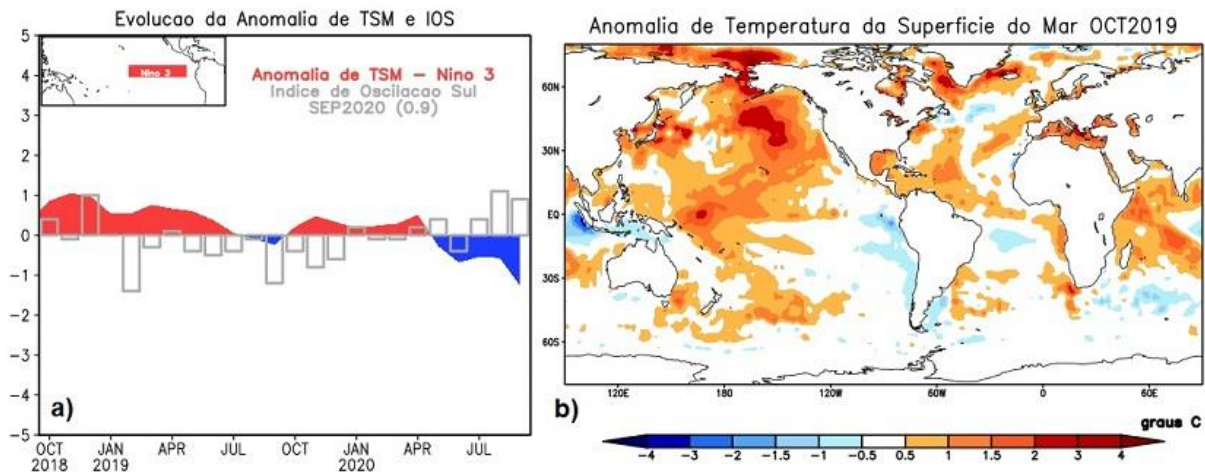


FIGURA 21: a) Evolução da Anomalia de TSM e IOS de outubro de 2018 a setembro de 2020; b) Anomalia de TSM no mês de outubro de 2019. Fonte: (CPTEC, 2020a; 2019b).

#### 4.1.2 Comportamento dos Dados

Nesta seção são apresentados os dados de temperatura e umidade relativa do ar coletados entre os dias 01 e 17/10/2019. São abordados o resumo estatístico dos dados, a diferença de comportamento das variáveis ao longo do dia e entre os pontos amostrais e a influência dos sistemas sinóticos atuantes sobre esses dados.

#### Temperatura do ar

A temperatura média dos pontos amostrais variou entre 20,9°C e 27,6°C durante o período de coleta de dados do Campo 1 (TAB. 14). Apenas o ponto localizado na Itaminas (P9) apresentou temperatura média mais baixa do que a registrada pela Estação Meteorológica do INMET, localizada no município de Ibirité, com 0,8°C de diferença entre os dois pontos.



TABELA 14: Resumo estatístico do comportamento da temperatura do ar – Campo 1

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça
<b>Média</b>	24,7	27,4	25,5	27,6	27,3	25,5	24,7	24,3	20,9	21,7
<b>Desvio padrão</b>	5,5	6,0	5,9	6,3	6,7	6,2	4,5	6,2	4,5	3,6
<b>Amplitude</b>	23,3	23,6	23,5	25,6	26,9	25,6	17,4	23,7	18,6	15,6
<b>Mínimo</b>	13,4	17,5	14,2	17,0	15,7	15,2	15,9	13,4	13,4	15,4
<b>Máximo</b>	36,7	41,1	37,7	42,6	42,6	40,8	33,3	37,1	32,0	31,0

O P9 e a estação meteorológica localizada no Parque do Rola Moça compartilham características geológicas semelhantes. Ambos estão inseridos no conjunto de elevações do Quadrilátero Ferrífero e se situam a mais de 1100m de altitude, em locais que predominam campos cerrados e campos de altitude. Essas características evidenciam a influência da topografia sobre a temperatura do ar no município. Considerando a média da temperatura média entre os pontos P3, P4, P5 e P6, os mais deprimidos topograficamente, verificamos uma diferença de 5,2°C em relação à média da temperatura média do P9 e do Rola Moça, superando a diferenciação teórica de 4,5°C abordada no Capítulo 2.

Os pontos P1 (24,7°C), P7 (24,7°C) e P8 (24,3°C) apresentaram as temperaturas médias mais baixas, depois do P9. Além de não se situarem na área mais deprimida do município, esses pontos também possuem características de uso e cobertura do solo que contribuíram para esses resultados. O P1 está localizado em condomínio fechado (Quintas da Jangada), em uma área gramada e semiaberta (presença de algumas palmeiras), além de estar relativamente próximo a um curso d'água e à Lagoa da Petrobrás, características que favorecem a amenização da temperatura.

O P7, apesar de estar localizado em um bairro residencial bastante urbanizado, apresentou um dos valores mais baixos de temperatura média no período analisado. Isso porque o local em que o abrigo meteorológico foi instalado ficava sombreado durante a maior parte do dia. No período da manhã, o abrigo era sombreado pela presença de poucas árvores no lote vizinho e, à tarde, era sombreado pelo prédio da Unidade de Saúde Antônio Afonso Magalhães (Bairro Brasília). Essa característica propiciou uma condição microclimática específica para aquele local, que não se configura para a maior parte do bairro.

O P8 registrou a segunda temperatura média mais baixa entre os pontos amostrais. Assim como o P9, está localizado fora do perímetro urbano de Sarzedo, em uma área fortemente dedicada à agricultura. Além da constante presença de umidade, obtida pela irrigação das lavouras, a existência de uma mata semidecídua nas proximidades da área onde o abrigo foi instalado contribuiu para a ocorrência de temperaturas mais amenas.

As temperaturas médias mais elevadas foram verificadas nos pontos P2, P4 e P5, com 27,4°C, 27,6°C e 27,3°C, respectivamente. Esses três pontos amostrais estão localizados em áreas urbanas, porém com destinações distintas: bairro residencial, predominantemente unifamiliar (P2); Centro, com predomínio de comércios e serviços (P4); e área industrial (P5). Os pontos P4 e P5 se situam na porção mais deprimida do município, com 785m e 755m de altitude, respectivamente, enquanto o P2 estava em uma porção um pouco mais elevada, com 803m.

A amplitude térmica mais elevada entre mínimas e máximas absolutas foi de 26,9°C, no P5. Esse ponto corresponde à área industrial do município de Sarzedo, possui quarteirões e terrenos grandes, com pouca obstrução à entrada de radiação solar. Essas características favorecem o aquecimento diurno e maior dissipação do calor durante a noite, justificando a amplitude térmica elevada. Como Sarzedo ainda não apresenta áreas fortemente verticalizadas, mecanismo semelhante é notado em P2, P3, e P4, que são ambientes urbanos e abertos, mas com amplitudes menos elevadas. O mesmo ocorre em relação aos pontos P1, P6 e P8, porém estes se diferenciam pelo uso do solo. Nesses três pontos predominam vegetação baixa (gramíneas, hortaliças etc.) e pouca ou nenhuma obstrução por árvores e/ou edificações.

Os pontos P7 e P9 apresentaram as amplitudes térmicas mais baixas, destoando dos demais pontos amostrais – 17,4°C (P7) e 18,6°C (P9). A amplitude baixa registrada pelo P7 está associada às condições microclimáticas apontadas anteriormente. A altitude e a ausência de obstáculos à circulação de ventos predominantes são determinantes para essa menor amplitude no P9. O mesmo ocorre com a estação do Rola Moça, que registrou amplitude mais baixa que todos os pontos amostrais instalados em Sarzedo (15,6°C).

Além de temperaturas médias mais elevadas, os pontos P2, P4 e P5 também registraram as maiores temperaturas máximas absolutas. As máximas de P2 e P4 ocorreram no dia 13/10, às 15h, com temperaturas de 41,1°C e 42,6°C, respectivamente (FIG. 22). O P4 também registrou máxima de 42,6°C, porém com ocorrência no dia 15/10, às 14h. Nos pontos P2 e P4 também foram observadas as temperaturas mínimas absolutas mais altas – 17,5°C nos dias 01 e 03/10, às 6h, no P2; e 17,0°C no dia 03/10, às 5h, no P4. Todos esses extremos ocorreram sob domínio do ASAS.

Os valores médios do desvio padrão indicam uma dispersão dos dados em relação à média relativamente baixa – 5,5°C, em média. Os desvios mais baixos foram observados nos pontos P7, P9 e na estação do Rola Moça. Esses locais apresentaram os menores aquecimentos diurnos – 11,9°C, 11,0°C e 10,5°C, em média, respectivamente (TAB. 15). Os demais pontos amostrais registraram desvios semelhantes, com elevado aquecimento diurno, mas com níveis de aquecimento diferentes, em função do uso e cobertura dos solos.

TABELA 15: Aquecimento e resfriamento médio (°C) – Campo 1

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça
<b>Aquecimento</b> ( $t_{15} - t_6$ ) *	15,2	17,7	16,1	16,9	18,0	15,1	11,9	16,7	11,0	10,5
<b>Resfriamento</b> ( $t_{18} - t_6$ ) **	8,2	9,5	9,9	9,1	10,2	8,4	9,1	10,6	4,6	5,9

\*Aquecimento entre 06h e 15h

\*\* Resfriamento entre 18h e 06h

Os resultados até aqui apresentados demonstram que o fator altitude é o principal responsável pela ocorrência de valores térmicos menores. Em conformidade com o baixo aquecimento diurno, o P9 e o Rola Moça, pontos topograficamente mais elevados, registraram as temperaturas mais baixas ao longo de todo o período analisado. Apesar de possuírem características favoráveis à dissipação do calor, esses pontos tiveram as menores médias de resfriamento noturno. Tal característica está proporcionalmente associada ao menor aquecimento que essas localidades possuem.

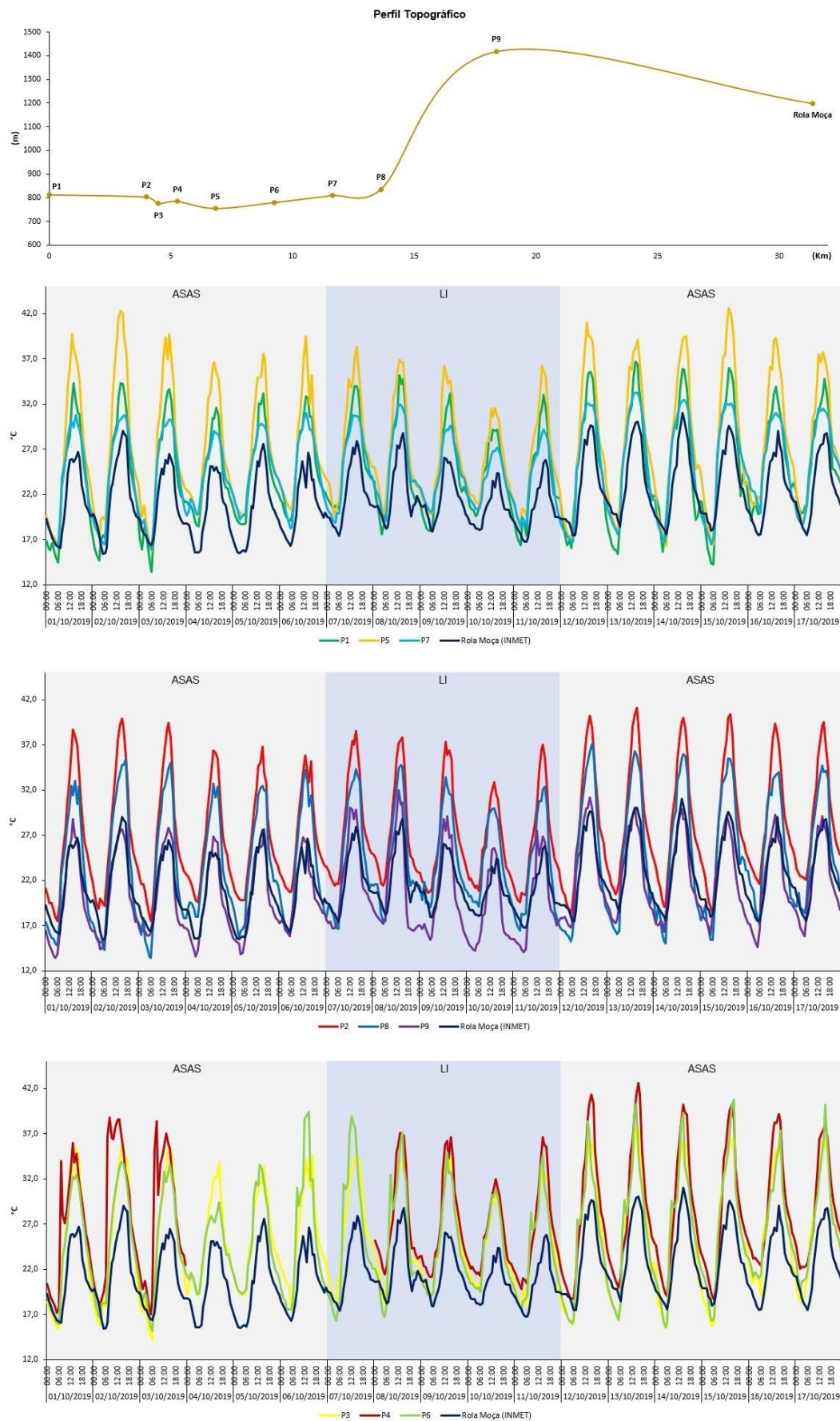


FIGURA 22: Perfil topográfico e variação temporal da temperatura do ar durante o Campo 1

A tabela 3 e os gráficos da figura 6 mostram que os pontos P2, P4 e P5 registraram as temperaturas mais elevadas, com maior grau de aquecimento diurno. Conforme abordado anteriormente neste capítulo, os três pontos estão inseridos em área urbana. Além da superfície impermeabilizada, esses locais possuem a maioria das vertentes orientadas para Norte (P2 e P4) e Leste (P5), recebendo radiação logo nas primeiras horas do dia.

Dentre os pontos amostrais localizados em ambiente urbano, o P5 apresentou a maior média de resfriamento noturno (10,2°C). Diferente do P2 e do P4, que são cercados por edificações de um ou dois pavimentos, o P5 possui ambiente mais aberto, com maior distância entre as áreas construídas e menor obstrução da circulação dos ventos. Essas características propiciam maior dissipação do calor durante a noite. Novamente, o município de Sarzedo ainda não possui áreas urbanas densamente verticalizadas, assim os demais pontos com características urbanas (P2, P3, P4 e P7) também apresentaram médias consideráveis de resfriamento noturno, embora um pouco menores que o P5.

Os pontos P1, P3, P6 e P8 tiveram padrões de aquecimento semelhantes. Dentre esses pontos, somente o P3 possui superfície impermeabilizada. Este ponto foi instalado dentro do Terminal Metropolitano, com trânsito intenso de veículos e, apesar de estar localizado próximo à região central do município, não possui áreas edificadas no seu entorno. As temperaturas pouco elevadas nesse ponto (em relação ao P2, P4 e P5) é atribuída à sua orientação das vertentes para Sudoeste, com menor incidência de radiação solar. Assim como o P5, o P3 está localizado em área aberta e não apresenta muitos obstáculos para a circulação de ventos, favorecendo a dissipação do calor ao anoitecer.

A vegetação baixa presente no P1, P6 e P8 favorece a semelhança do comportamento da temperatura entre esses pontos. O P1 e o P6, embora estejam localizados dentro perímetro urbano do município, não possuem características de áreas urbanas. O P1 foi instalado dentro de um condomínio fechado, com solo pouco impermeabilizado e presença de áreas vegetadas. O P6, com características rurais, foi instalado em campo aberto, destinado à pastagem. A principal diferença entre esses dois pontos está na presença de árvores e palmeiras na área do P1. Ainda que esparsa, a vegetação presente no P1 contribuiu para que registrasse temperaturas um pouco

mais amenas em relação ao P6. Este, em contrapartida, registrou, no período da tarde, temperaturas semelhantes àsquelas encontradas nos ambientes urbanizados. No período da noite, as diferenças entre P1 e P6 tendiam a desaparecer, com as temperaturas de P6 0,4°C, em média, acima de P1.

O P8, instalado na área rural do município, com uso do solo destinado à agricultura, apresentou padrão de comportamento diurno da temperatura análogo ao P1. Neste ponto também existe vegetação nas proximidades, mas, diferente do P1, o abrigo meteorológico não estava sob a vegetação e sim mais próximo à plantação. O fator que mais contribuiu para as temperaturas mais amenas no P8 (mais baixas que no P1) foi a maior disponibilidade de umidade no ar – o segundo índice médio de umidade relativa mais elevado entre os pontos amostrais. O maior resfriamento noturno (10,6°C) também se atribui a essa característica.

As tabelas 16a, b e c apresentam os valores médios de temperatura do ar divididos por segmentos horários – madrugada (00h-05h), manhã (06h-11h), tarde (12h-17h) e noite (18h-23h). De modo geral, em todos os pontos, os valores de temperatura mais elevados ocorreram no período da tarde, entre 14h e 15h, enquanto os menores valores foram registrados ao amanhecer, entre 05h e 06h.

TABELA 16a: Temperatura média (°C) por período – Campo 1

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	18,7	21,4	19,0	21,2	20,3	19,0	19,5	18,0	16,4	18,5	5,1
06h - 11h	24,8	25,8	25,3	27,3	26,6	25,7	24,6	24,0	21,2	20,6	6,7
12h - 17h	31,9	36,0	33,2	35,7	36,2	32,9	30,1	32,6	26,9	26,5	9,7
18h - 23h	23,5	26,3	24,6	26,3	26,0	24,0	24,5	22,7	19,2	21,3	7,1

TABELA 16b: Temperatura média (°C) por período sob atuação do ASAS – Campo 1

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	18,3	21,2	18,5	20,9	19,8	18,9	19,1	17,4	16,4	18,2	4,8
06h - 11h	24,8	25,7	25,3	28,0	26,8	25,5	24,8	23,9	21,3	20,7	7,2
12h - 17h	32,3	36,6	33,8	36,7	37,3	33,2	30,6	33,2	27,1	27,1	10,2
18h - 23h	23,6	26,7	24,9	27,0	26,3	24,4	24,7	22,9	19,7	21,5	7,2

TABELA 16c: Temperatura média (°C) por período sob LI – Campo 1

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	19,6	21,9	20,1	22,1	21,3	19,1	20,5	19,2	16,2	19,1	5,8
06h - 11h	24,7	26,0	25,4	25,8	26,3	26,1	24,2	24,3	20,9	20,3	6,1
12h - 17h	30,9	34,5	31,8	33,4	33,6	32,0	29,0	31,3	26,6	25,3	9,2
18h - 23h	23,2	25,3	23,9	24,8	25,1	22,8	24,0	22,1	17,9	20,9	7,4

Nota-se que, sob domínio do ASAS, o aquecimento diurno foi mais pronunciado, assim como as amplitudes térmicas diárias e a amplitude entre os pontos nos períodos da manhã e da tarde. Os gráficos da figura 22 também demonstram esse maior aquecimento durante a atuação do ASAS – em comparação com o período sob linhas de instabilidade – principalmente em sua segunda ocorrência, entre os dias 12 e 17/10, quando foram registradas temperaturas mais altas.

Apesar do pouco registro de precipitação durante a atuação das LI, a nebulosidade presente propiciou menor amplitude térmica diária, bem como menor aquecimento diurno. Nesse domínio, as curvas de aquecimento expostas nos gráficos da figura 6 foram menos acentuadas, mais notadamente no dia 10/10. Isso porque as temperaturas nos períodos de maior aquecimento (manhã e tarde) foram menores em virtude da maior presença de nuvens, assim como as diferenças entre os pontos também foram minimizadas, quando comparados com o domínio do ASAS. Sob influência da instabilidade também foi observado menor resfriamento noturno, provocando temperaturas mais elevadas durante a madrugada.

A figura 23 apresenta a superfície interpolada dos valores de temperatura máxima absoluta (23a), temperatura média (23b) e temperatura mínima absoluta (23c). De modo geral, destaca-se no município uma porção norte, coincidente com áreas mais urbanizadas e mais deprimidas, com temperaturas mais elevadas que o seu entorno. As temperaturas vão decrescendo a medida em que se afasta desse centro urbano e a topografia se eleva na paisagem.

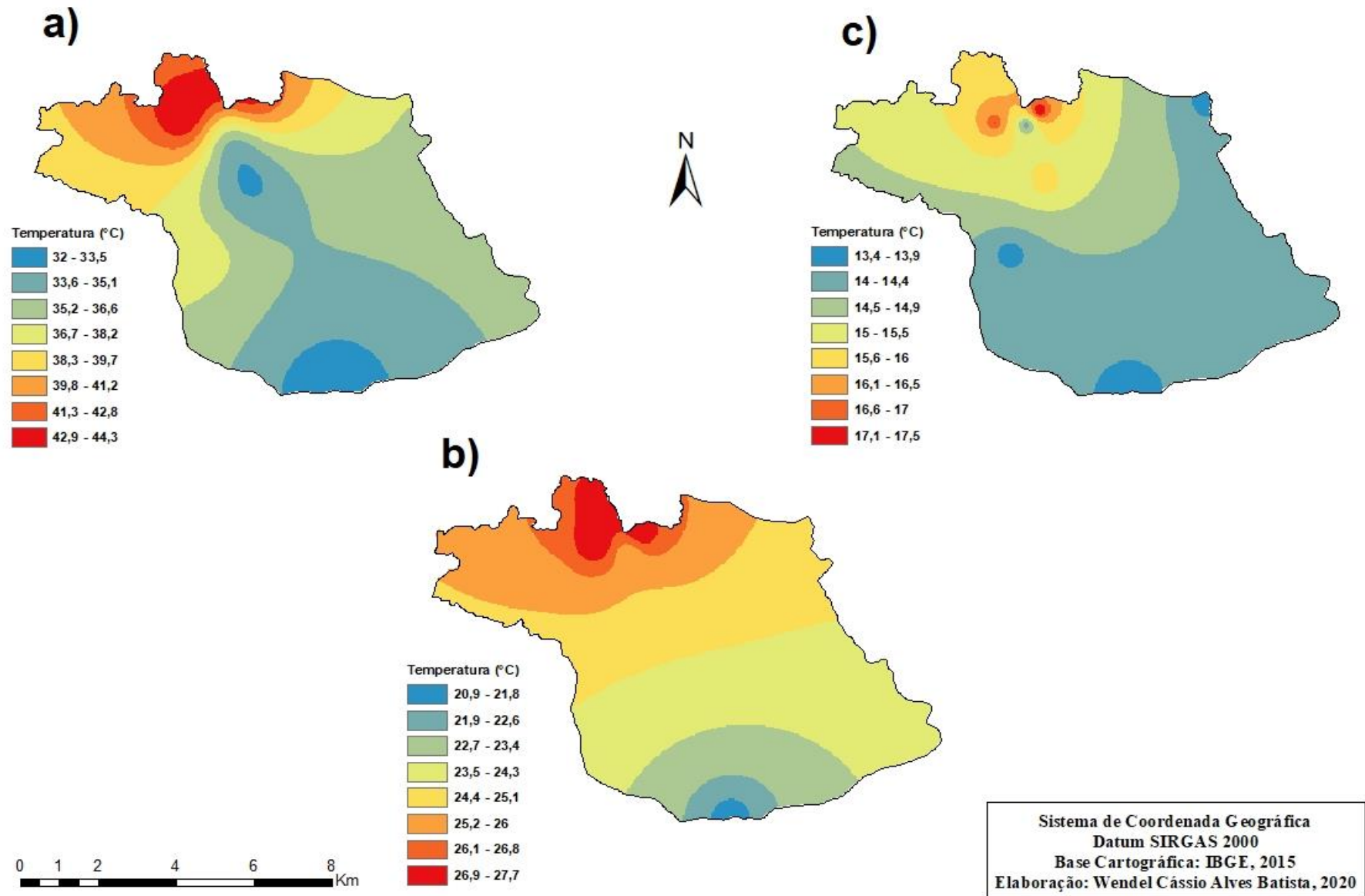


FIGURA 23: Superfície interpolada – Campo 1 – a) Temperatura máxima absoluta; b) Temperatura média; c) Temperatura mínima absoluta.



## Umidade Relativa do ar

Os valores médios de umidade relativa do ar foram baixos, considerando a média climatológica de 73,4% para o mês de outubro. A maioria dos pontos amostrais registrou índices médios abaixo de 60%. A única exceção foi o P9, com média de 60,5% (TAB. 17). De modo geral, nesse ponto foram observados os índices mais elevados de umidade relativa em todo o período analisado, atingindo o valor máximo de 92% nos dias 08, 09, 10 e 11/10/2019, sob influência das linhas de instabilidade (FIG. 24).

TABELA 17: Resumo estatístico do comportamento da umidade relativa – Campo 1

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça
<b>Média</b>	56,1	49,4	54,3	50,5	50,7	54,8	55,6	58,4	60,5	54,8
<b>Desvio padrão</b>	15,8	15,6	17,0	16,2	16,9	17,7	13,6	17,6	16,3	15,9
<b>Amplitude</b>	68,0	64,0	66,0	63,0	66,0	72,0	56,0	69,0	68,0	73,0
<b>Mínimo</b>	21,0	18,0	21,0	20,0	18,0	18,0	25,0	21,0	24,0	11,0
<b>Máximo</b>	89,0	82,0	87,0	83,0	84,0	88,0	81,0	90,0	92,0	84,0

O fator altimétrico contribui para os valores médios mais elevados encontrados no P9, pois, conforme Assis (2010), esse fator tende a amenizar a temperatura e saturar mais rápido o vapor d'água, quando este está presente de forma suficiente no ar. Entretanto, a mesma situação não foi observada no Rola Moça, que registrou umidade média de 54,8%, menor até que os pontos P1, P7 e P8, que estão em locais menos elevados na paisagem. Os menores índices no Rola Moça estão provavelmente associados à menor quantidade (ou ausência) de fontes de umidade – como vegetação e corpos d'água – nas proximidades da área em que a estação meteorológica está inserida.

Os pontos P1 (56,1%), P7 (55,6%) e P8 (58,4%) tiveram valores médios um pouco mais elevados, em comparação com os demais, em função da presença de fontes de umidade nas suas proximidades. No P1 e no P7 a principal contribuição está na presença da vegetação, que fornece umidade para o ar através da evapotranspiração. No P8 também existe a contribuição da vegetação, mas, somado a ela, a área é constantemente irrigada.

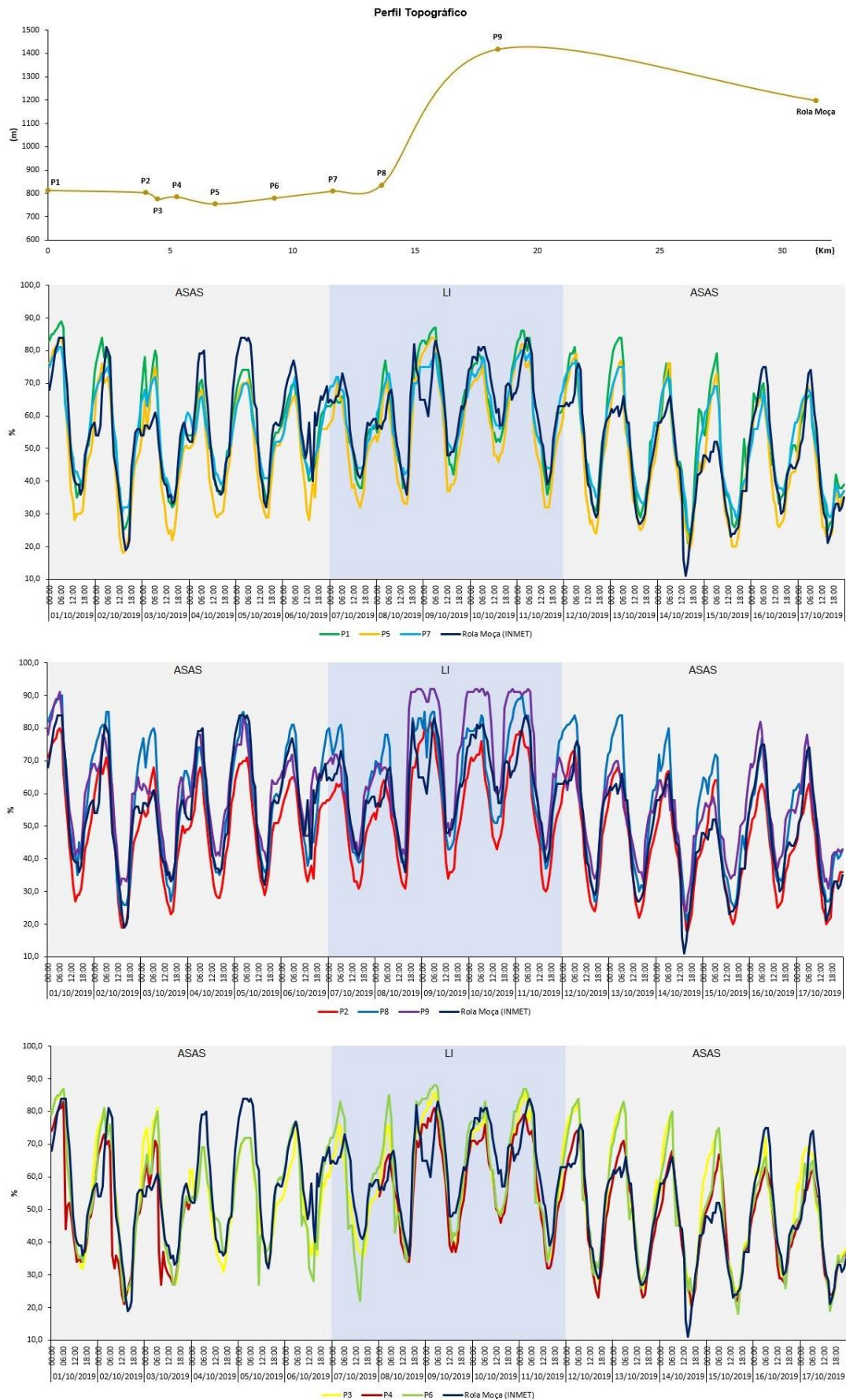


FIGURA 24: Perfil topográfico e variação temporal da umidade relativa durante o Campo 1

As médias mais baixas foram verificadas em P2 (49,4%), P4 (50,5%) e P5 (50,7%), coincidente com os pontos que registraram as temperaturas mais elevadas. As características urbanas e impermeabilização presentes nesses pontos contribuem para esses índices hídricos reduzidos.

O comportamento da umidade relativa do ar variou bastante ao longo do período analisado. A média do desvio padrão de todos os pontos amostrais foi de 16,3%, variação superior àquela observada nas temperaturas. Do mesmo modo, a amplitude total média entre os pontos foi de 66,5%, variando entre índices críticos e saturados de umidade. Os valores hídricos registrados foram condicionados pelas características de uso do solo, altitude e variação da temperatura.

Os nove pontos amostrais registraram umidade relativa mínima absoluta inferior a 30%. Esses valores variaram entre 18% e 25%, sendo que a estação do Rola Moça registrou índice de 11% no dia 14/10, às 14h. Todos os extremos mínimos de umidade relativa foram verificados sob domínio do ASAS, notadamente em sua segunda atuação, caracterizada por temperaturas mais elevadas e umidades relativas mais baixas. Somente P8 e P9 registraram índices máximos absolutos maiores ou igual a 90%, alcançados majoritariamente sob influência de linhas de instabilidade.

De forma oposta à temperatura do ar, os índices de umidade relativa apresentaram redução a partir do período da manhã, registrando os valores mais baixos no período da tarde (TAB. 18a, b, c). Os índices hídricos médios se elevam no período na noite e apresentam médias mais elevadas durante a madrugada, antes do nascer do Sol.

TABELA 18a: Umidade relativa média (%) por período – Campo 1

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	72,1	63,7	72,5	66,2	68,1	72,3	68,9	75,0	72,6	65,9	11,3
06h - 11h	58,4	55,0	56,3	53,6	54,2	56,7	58,6	62,2	63,1	61,7	9,5
12h - 17h	38,1	30,7	34,7	32,4	31,0	35,3	41,0	37,4	43,5	37,7	12,8
18h - 23h	55,7	48,1	53,6	49,8	49,5	54,8	53,9	59,2	62,7	54,0	14,6

TABELA 18b: Umidade relativa média (%) por período durante o ASAS – Campo 1

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	70,8	61,3	71,2	63,7	66,6	69,2	67,2	73,4	68,6	64,4	12,1
06h - 11h	56,8	53,6	55,1	50,6	52,7	55,1	56,7	60,9	59,2	59,0	10,3
12h - 17h	35,1	27,8	31,5	28,5	27,5	32,5	37,6	34,1	39,9	33,1	12,4
18h - 23h	51,8	43,6	49,4	43,6	45,0	49,1	50,0	54,2	56,3	49,6	12,7

TABELA 18c: Umidade relativa média (%) por período sob LI – Campo 1

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	75,2	69,5	75,7	71,8	71,7	80,0	72,9	79,0	82,2	69,5	12,8
06h - 11h	62,0	58,2	59,3	60,3	58,0	60,5	63,3	65,2	72,6	68,1	14,7
12h - 17h	45,3	37,7	42,2	41,0	39,4	42,1	49,1	45,1	52,2	48,9	14,5
18h - 23h	65,0	59,1	63,8	63,5	60,5	68,5	63,4	71,1	78,1	64,5	19,0

De modo geral, os índices médios de umidade relativa do ar foram mais baixos durante a atuação do ASAS. No dia 14/10, durante a segunda passagem desse sistema atmosférico, entre 13h e 18h, todos os pontos amostrais, incluindo a estação do Rola Moça, registraram índices inferiores a 30% - mínimo indicado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como aceitável para a saúde humana. Novamente, P2, P4 e P5, pontos mais urbanizados, sob atuação do ASAS, tiveram média no período da tarde inferior a essa recomendação da OMS.

Entre os dias 07 e 11/10, quando a RMBH estava sob influência das LI, os índices de umidade relativa foram mais elevados em relação ao restante do período analisado. Apesar de baixa e com ocorrências pontuais inferiores a 30%, a média hídrica do período da tarde foi menos crítica em comparação ao domínio do ASAS, com apenas P2 e P5 registrando médias inferiores a 40%.

A espacialização dos dados de umidade relativa pode ser conferida na figura 25. Nela podem ser observadas as superfícies interpoladas a partir dos valores de umidade relativa máxima absoluta (25a), umidade relativa média (25b) e umidade relativa mínima absoluta (25c) para o município de Sarzedo. As áreas com maior umidade relativa coincidem com áreas de maior elevação topográfica e com maior disponibilidade hídrica. A porção norte do município se configura como uma área mais seca em relação ao seu entorno.

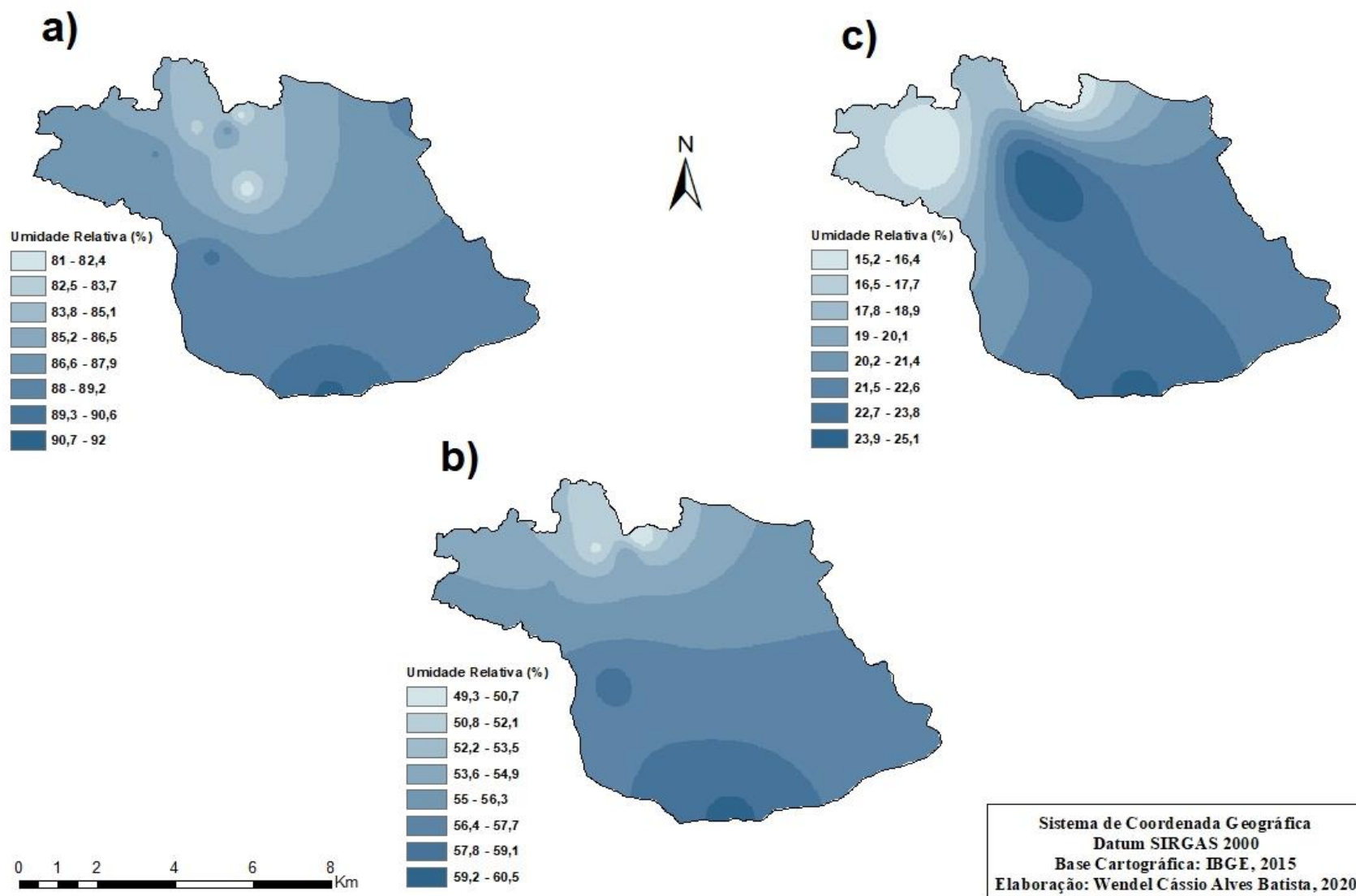


FIGURA 25: Superfície interpolada – Campo 1 – a) Umidade Relativa máxima absoluta; b) Umidade Relativa média; c) Umidade Relativa mínima absoluta.

## **4.2. Campo 2**

Os equipamentos para a coleta de dados do Campo 2 foram instalados em Sarzedo no dia 20/02/2020 e foram recolhidos no dia 12/03/2020. Assim como no Campo 1, para garantir a mesma quantidade de dados e registros simultâneos nos nove pontos amostrais, os dados foram selecionados em um recorte temporal dentro do período em que os equipamentos estiveram no município, a saber: de 00h do dia 21/02/2020 até as 23h do dia 11/03/2020. Os dados do Campo 2 foram coletados durante o período chuvoso, coincidindo com o final do verão.

### **4.2.1 Análise sinótica**

O período considerado para a análise das condições meteorológicas neste segundo segmento foi de 19/02 a 13/03/2020. Esse período foi marcado por condições de tempo instáveis, com acumulados elevados de precipitação. Isso porque, durante 71,3% do período analisado, o município esteve sob influência de perturbações sinóticas que propiciaram tais características.

Conforme o gráfico de participação dos Sistemas Atmosféricos (FIG. 26) e o gráfico de análise rítmica (FIG. 27), prevaleceram influências da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e de linhas de instabilidades (LI) que atuaram durante 37,5% e 33,3%, respectivamente, do período analisado. No restante do período, as características mais estáveis foram proporcionadas pelas atuações do Anticiclone Polar do Atlântico Sul tropicalizado (APAS<sub>t</sub> – 16,7%) e pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS – 12,5%).

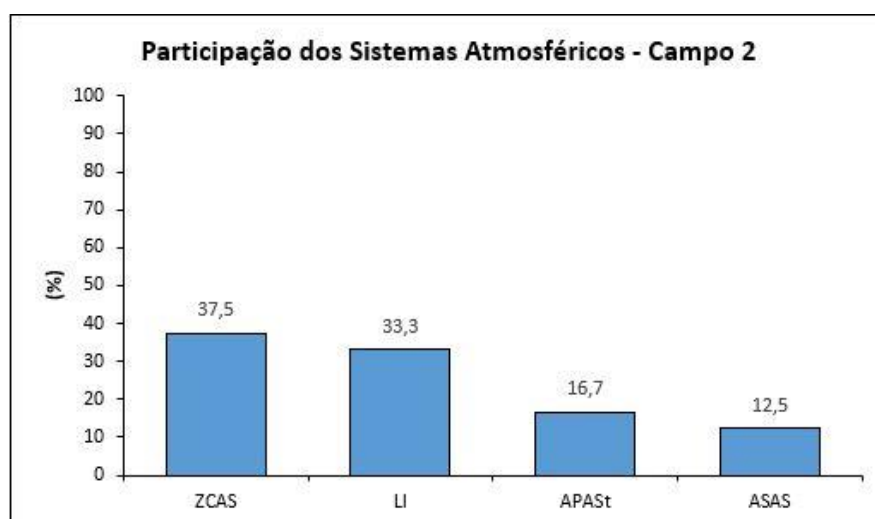


FIGURA 26: Participação dos sistemas atmosféricos em Sarzedo entre os dias 19/02/2020 e 13/03/2020. Fonte: CPTEC (2020b)

O comportamento médio das variáveis climáticas durante a ocorrência desses diferentes sistemas atmosféricos pode ser verificado na tabela 19. Nota-se que os acumulados de chuvas se concentram, principalmente, nos períodos sob atuação da ZCAS e de LI, os quais representam mais de 90% desses acumulados, tanto no registro da estação do Rola Moça quanto no registro da Itaminas. Também sob esses sistemas, em comparação com a atuação do ASAS e do APASSt, foram registradas umidades relativas mais elevadas, temperaturas mais baixas e menores amplitudes térmicas. Os acumulados de chuva registrados durante atuação do ASAS e do APASSt estiveram associados às instabilidades convectivas locais, propiciadas pela disponibilidade de umidade e forte aquecimento diurno.

TABELA 19: Comportamento médio das variáveis climáticas por sistema atmosférico - 19/02 a 13/03/2020

Sistema Atmosférico	Período	Temperatura Média (°C)*	U. R. Média (%)*	Amplitude Térmica Média (°C)*	Pressão Atm. Média (hPa)*	Precipitação (mm)	
						Rola Moça*	Itaminas**
ASAS	19/02 - 20/02	22,4	71,2	9,9	881,9	4,4	0,1
LI	21/02 - 26/02	20,8	81,1	7,3	882,9	44,4	63,6
ZCAS	27/02 - 06/03	19,7	85,6	6,2	882,9	170,6	146,7
LI	07/03 - 08/03	19,1	81,3	7,7	882,3	2,0	-
APASSt	09/03 - 12/03	20,9	73,4	9,3	883,9	14,2	1,5
ASAS	13/03	21,8	74,1	8,8	884,5	-	-

\* Dados da Estação Meteorológica de Ibirité - Rola Moça (INMET).

\*\* Dados cedidos pela Itaminas Comércio de Minério S/A.

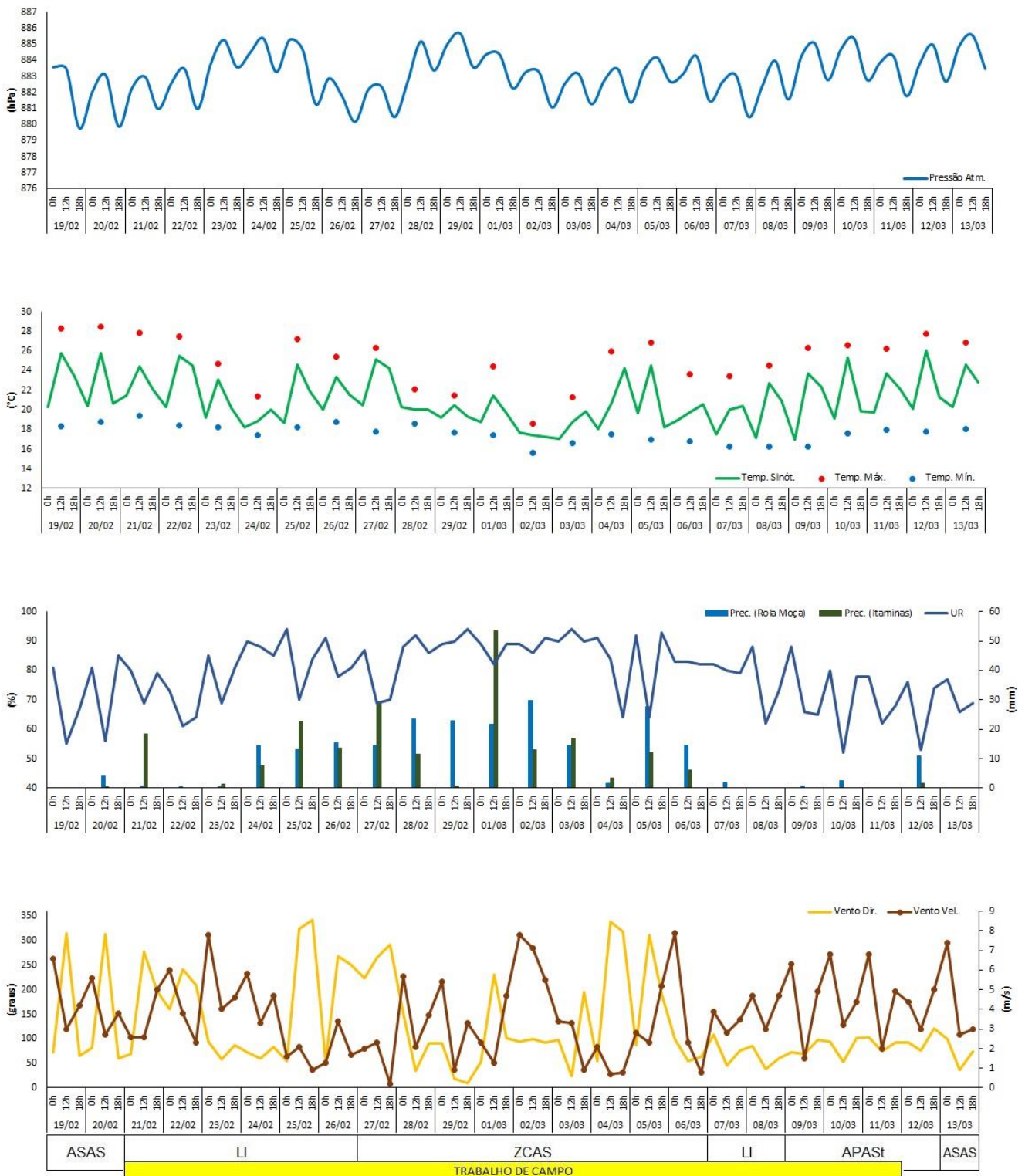


FIGURA 27: Análise rítmica dos elementos climáticos entre os dias 19/02 e 13/03/2020.  
 Fonte: Estação Meteorológica Ibitaré - Rola Moça - INMET (2020), CPTEC (2020b).



Os índices pluviométricos registrados durante esse período de análise foram superiores ao determinado pela normal climatológica de 1961 a 1990, tanto em relação ao mês de fevereiro (162,6mm) quanto ao mês de março (152,5mm). Em concordância com isso, a umidade relativa média registrada nesse período – 80,4% – também foi mais elevada que a média esperada para fevereiro e março – 78,4% e 77,8%, respectivamente. Assim como durante o Campo 1, a pressão atmosférica se manteve constante, porém com média ligeiramente inferior ao observado no primeiro experimento de campo – 883hPa.

Quanto ao comportamento das temperaturas, foram verificadas médias e máximas mais baixas que a normal climatológica, enquanto as mínimas foram condizentes com o esperado. A temperatura máxima do período analisado variou entre 18,6°C e 28,5°C, com média de 25,1°C, aproximadamente 4°C abaixo da média para fevereiro (29,5°C) e para março (29,3°C). De modo semelhante, a temperatura média para o período analisado foi de 20,4°C, em média, 2,2°C abaixo do esperado para fevereiro (22,8°C) e março (22,4°C). As temperaturas mínimas seguiram comportamentos semelhantes ao esperado para o período, com variação entre 15,6°C e 19,4°C e média de 17,6°C – valor bastante próximo à média de 17,7°C esperada para o mês de fevereiro e à média de 17,0°C do mês de março.

Durante os dias 19 e 20/02/2020, o sudeste brasileiro esteve sob domínio do ASAS, o qual, normalmente, confere condições de tempo estáveis sobre a região em que atua. Entretanto, diferente do que foi observado da atuação desse fenômeno durante o Campo 1, nesse segundo período de análise foram notadas condições de tempo um pouco mais instáveis, com céu nublado a parcialmente nublado. Tais condições foram causadas por instabilidades convectivas locais, associadas à disponibilidade de umidade e ao aquecimento diurno, que favoreceram a ocorrência de chuvas. Sob essas condições, a atuação do ASAS sobre a RMBH apresentou índices de umidade relativa do ar mais elevados e amplitudes térmicas menores, quando comparados com sua atuação durante o Campo 1. Entretanto, neste período foram registrados baixos acumulados de precipitação, tanto pela estação do Rola Moça (4,4mm) quanto pela estação da Itaminas (0,1mm).

Nos dias 21 e 22/02/2020, a passagem de uma frente fria (FF) pelos litorais de São Paulo e do Rio de Janeiro provocou a formação de LI sobre parte do estado de Minas

Gerais, causando o aumento da nebulosidade e a ocorrência de chuvas. No dia 23/02, já no litoral do Espírito Santo, essa FF atuou de forma estacionária, alinhando-se com um canal de umidade oriundo de um cavado invertido, formando uma convergência de umidade em direção ao interior do continente. Essa convergência de umidade foi enfraquecida no dia 25/02, por conta da atuação de instabilidades no Sul do Brasil, porém, ainda mantendo o Sudeste sob condições atmosféricas instáveis. Sob atuação das LI foram observados decréscimos da temperatura e da amplitude térmica, aumento dos índices de umidade relativa do ar e acumulados de chuva de 44,4mm (Rola Moça) e de 63,6mm (Itaminas).

O avanço de uma FF sobre os estados de São Paulo e Rio Janeiro favoreceu, no dia 27/02/2020, a organização de mais um canal de umidade, configurando desta vez um episódio de ZCAS. Conforme a figura 28, o canal de umidade se estendeu do sul da região Amazônica até o litoral do sudeste. Sob a atuação desse sistema foram registrados acumulados elevados de precipitação nas estações do Rola Moça e da Itaminas (170,6mm e 146,7mm, respectivamente), bem como umidades relativas mais altas e temperaturas e amplitudes térmicas mais baixas, em comparação com os períodos de domínio do ASAS e das LI. A influência direta da ZCAS sobre a região central de Minas Gerais se estendeu até o dia 06/03/2020. Nos dias 07 e 08/03, a atuação da ZCAS, deslocada para o norte de Minas Gerais e sul da Bahia, ainda favoreceu a ocorrência de linhas de instabilidade sobre a RMBH, mantendo condições de tempo semelhantes, mas com baixo registro de precipitação.

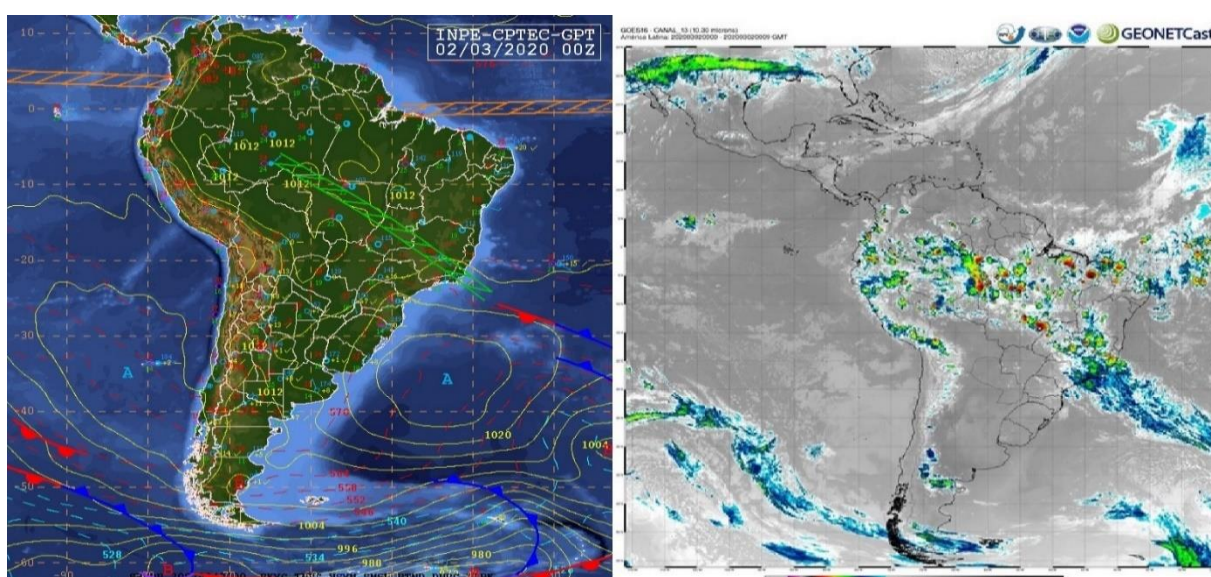


FIGURA 28: a) Carta de superfície de 00h UTC do dia 02/03/2020; b) Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 16 de 00h UTC do dia 02/03/2020. Fonte: (CPTEC, 2020b).

Um anticiclone migratório (APAS), proveniente da região da Patagônia, exerceu influência sobre a região Sudeste a partir do dia 09/03/2020. Porém, esse sistema atingiu a região com características completamente tropicalizadas, sendo denominado de APAS<sub>t</sub> (FIG. 29), favorecendo a ocorrência de temperaturas mais elevadas. Apesar de promover características atmosféricas estáveis, durante a atuação do APAS<sub>t</sub> foi observado céu nublado a parcialmente nublado, com registros de acumulados de precipitação, em função de instabilidades convectivas locais. Também, a temperatura média e a amplitude térmica se elevaram novamente, em comparação com o domínio da ZCAS e das LI, bem como a diminuição da umidade relativa do ar. No dia 13/03 esse anticiclone migratório adquiriu completamente as características do ASAS, passando a ter essa denominação. Nesse segundo domínio do ASAS as características atmosféricas estiveram mais semelhantes com a sua atuação durante o Campo 1, com presença de poucas nuvens e nenhum registro de chuva.

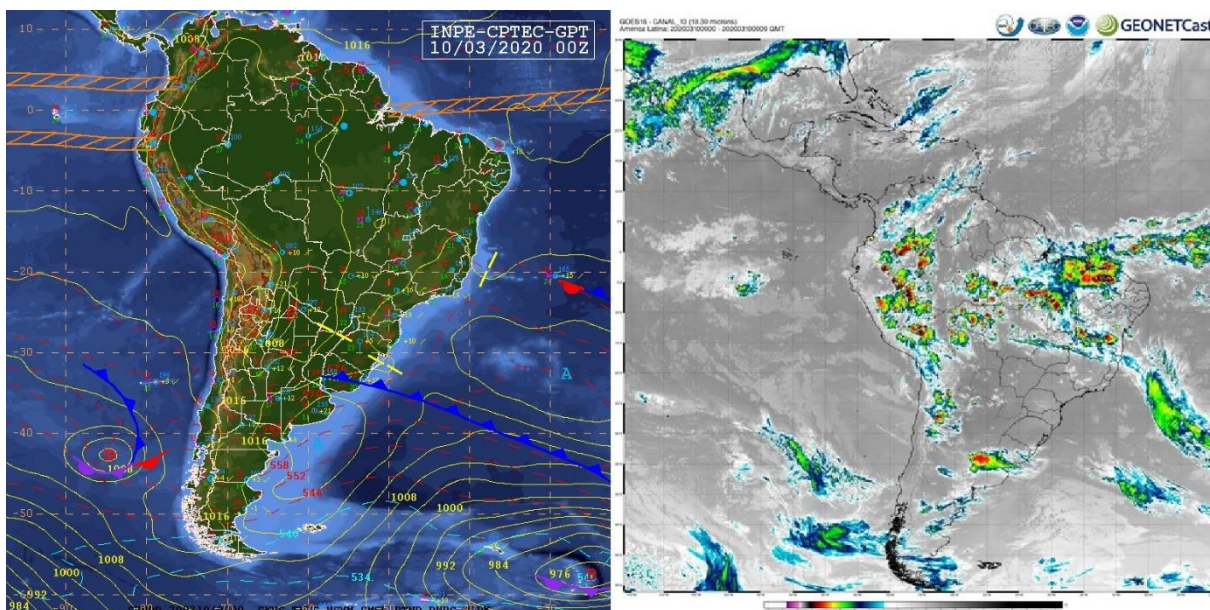


FIGURA 29: a) Carta de superfície de 00h UTC do dia 10/03/2020; b) Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 16 de 00h UTC do dia 10/03/2020. Fonte: (CPTEC, 2020b).

Assim como durante o Campo 1, as anomalias de Temperatura de Superfície do Mar (TSM) se mantiveram em situação de neutralidade (FIG. 30). As anomalias da TSM durante o período analisado estiveram abaixo de  $0,5^{\circ}\text{C}$  no Oceano Pacífico Equatorial central, com variação de, aproximadamente,  $1^{\circ}\text{C}$  positivo próximo à costa sul-americana. Segundo CPTEC (2020), as anomalias da TSM ficaram próximas aos valores climatológicos, indicando a permanência da fase neutra do ENOS.

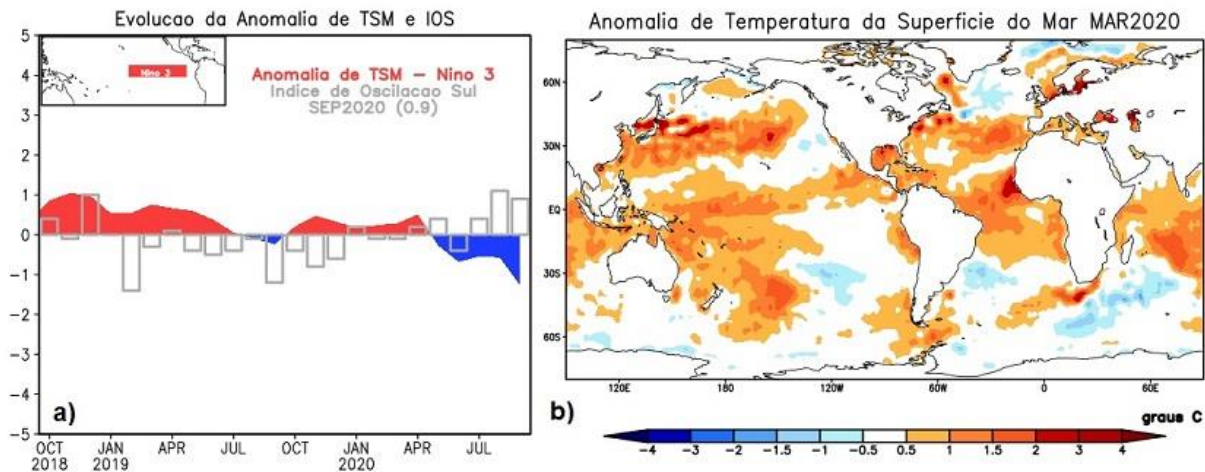


FIGURA 30: a) Evolução da Anomalia de TSM e IOS de outubro de 2018 a setembro de 2020; b) Anomalia de TSM no mês de março de 2020. Fonte: (CPTEC, 2020a).

#### 4.2.2 Comportamento dos Dados

Nesta seção são apresentados os dados de temperatura e umidade relativa do ar coletados entre os dias 21/02 e 11/03/2020. Assim como feito para o Campo 1, são abordados o resumo estatístico dos dados, a diferença de comportamento das variáveis ao longo do dia e entre os pontos amostrais e a influência dos sistemas sinóticos atuantes sobre esses dados.

#### Temperatura do ar

A temperatura do ar média no segundo experimento de campo registrou valores inferiores quando comparado às médias do Campo 1, variando entre 19,3°C e 24,9°C (TAB. 20). A prevalência de fenômenos atmosféricos instáveis, com maior cobertura de nuvens, durante o Campo 2 propiciou menor elevação da temperatura durante o dia, bem como menores desvios padrão, amplitudes totais e amplitudes entre os pontos.

TABELA 20: Resumo estatístico do comportamento da temperatura do ar – Campo 2

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça
<b>Média</b>	23,0	24,9	23,6	24,2	24,0	23,7	22,8	23,0	19,3	20,1
<b>Desvio padrão</b>	4,2	4,7	4,1	3,9	4,4	4,7	3,2	3,8	3,5	2,4
<b>Amplitude</b>	19,0	24,1	18,3	19,3	19,9	18,9	14,0	15,8	19,2	11,5
<b>Mínimo</b>	15,4	18,2	16,4	17,8	16,5	15,8	16,4	17,1	13,5	15,8
<b>Máximo</b>	34,4	42,3	34,7	37,1	36,4	34,7	30,4	32,9	32,7	27,3

Novamente, os pontos com maiores altitudes (P9 e Rola Moça) tiveram os menores valores médios de temperatura. A média entre esses dois pontos foi 4,2°C a menos que a média entre os pontos P3, P4, P5 e P6 – locais com menores altitudes. Vale ressaltar que o P9 deixou de registrar os dados no dia 05/03/2020, com ausência, portanto, de informações do período sob domínio do APAS<sub>t</sub>, quando as temperaturas nos demais pontos foram um pouco mais elevadas. Dados desse período poderiam ter aumentado o valor de temperatura média do P9.

Assim como durante o Campo 1, condições microclimáticas propiciaram menor temperatura média no P7 – segunda menor entre os pontos amostrais. Também, este ponto teve o menor desvio padrão e amplitude total, indicando menor variação da temperatura ao longo da série, em comparação aos demais pontos.

A presença de vegetação e proximidade à cursos d'água conferiu aos pontos P1 e P8 temperaturas médias mais amenas, ambos com 23°C, a terceira menor entre os pontos amostrais. A variação diurna da temperatura foi semelhante entre esses dois pontos, porém, de modo geral, ao contrário do Campo 1, no P1 a temperatura tendeu a apresentar maior aquecimento durante a tarde, registrando máxima de 34,4°C no dia 11/03, às 15h (FIG. 31). Assim como o P9, o P8 não possui registro de dados no período de atuação do APAS<sub>t</sub>, o que poderia contribuir para a ocorrência de temperaturas média e máxima absoluta mais elevadas.

Os pontos mais urbanizados e impermeabilizados (P2, P4 e P5) registraram, mais uma vez, as temperaturas médias mais altas. Também, esses pontos tiveram as maiores máximas absolutas, com registro de 42,3°C no P2, no dia 22/02, às 16h – maior temperatura registrada nesse ponto, considerando os dois experimentos de campo (FIG. 31).

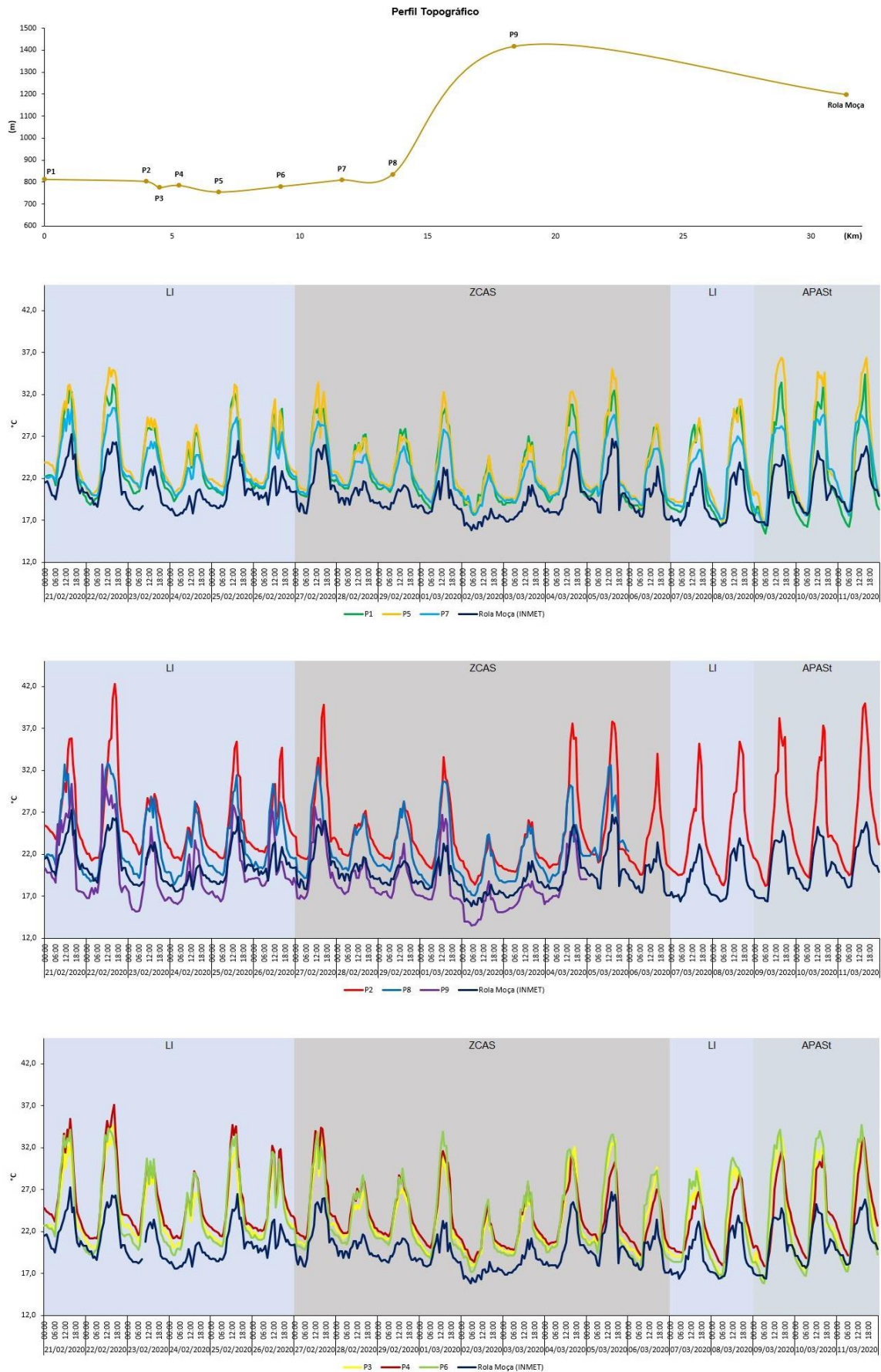


FIGURA 31: Perfil topográfico e variação temporal da temperatura do ar durante o Campo 2

O P3 e o P6 apresentaram médias intermediárias entre as mais altas e as mais baixas. Porém, como pode ser observado nos gráficos da figura 15, esses pontos tiveram comportamento diurno semelhantes ao P5, registrando temperaturas máximas diárias mais altas que P4 – situação verificada com maior frequência sob atuação do APAS. Desse modo, apesar de não estar localizado em contexto urbano, o P6 possui aquecimento diurno semelhante à área urbana, diferenciando-se apenas pelas temperaturas mais baixas durante a noite e a madrugada.

Apesar dos valores de temperatura mais altos verificados nas áreas urbanas e os mais baixos nas áreas mais elevadas (de forma similar ao Campo 1), a amplitude entre os pontos nesse segundo experimento de campo foi, em média, 1,1°C menor do que no Campo 1. O domínio de sistemas atmosféricos instáveis favoreceu a redução das diferenças entre os pontos, principalmente durante a atuação da ZCAS, com maior registro de precipitação. Destacam-se os dias 28 e 29/02 e 02/03, quando os pontos experimentaram menor aquecimento diurno, apresentando, nos gráficos da figura 15, curvas de aquecimento menos pronunciadas, quase retilíneas.

A instabilidade atmosférica presente durante a maior parte do Campo 2 também favoreceu menor amplitude térmica total, excetuando-se apenas o P2 e o P9, que tiveram, respectivamente, 0,5°C e 0,6°C a mais de amplitude total. A dispersão dos dados em relação à média também foi mais baixa, com média de 3,9°C – 1,6°C a menos que no Campo 1. Os desvios padrão mais baixos foram verificados, novamente, em P7, P9 e na estação do Rola Moça, coincidentes com os que tiveram menor aquecimento diurno (TAB. 21).

TABELA 21: Aquecimento e resfriamento médio (°C) – Campo 2

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça
<b>Aquecimento</b> ( $t_{15} - t_6$ ) *	10,7	12,3	9,9	9,5	10,5	11,5	7,5	8,6	6,7	5,2
<b>Resfriamento</b> ( $t_{18} - t_6$ ) **	4,8	5,8	5,4	5,4	5,6	5,1	4,6	3,8	2,1	3,0

\*Aquecimento entre 06h e 15h

\*\* Resfriamento entre 18h e 06h

A menor incidência de radiação solar sobre a superfície, provocada pela presença constante de nebulosidade no período analisado, contribuiu para redução significativa dos valores de aquecimento em relação ao Campo 1. Esses valores foram, em média, 5,7°C menores no Campo 2. Do mesmo modo, a forte presença de nuvens favoreceu

um menor resfriamento noturno, mantendo as temperaturas do período da madrugada iguais ou superiores às do mesmo período no Campo 1. No Campo 2, houve um decréscimo de 4°C, em média, nos valores de resfriamento.

Novamente, o fator altitude conferiu ao P9 e ao Rola Moça menores valores de aquecimento e de resfriamento. Os quantitativos mais altos de aquecimento diurno foram verificados tanto em pontos impermeabilizados (P2 e P5) quanto em locais não impermeabilizados, com vegetação baixa (P1 e P6). A característica de ambiente aberto do P6 favorece maior aquecimento em comparação ao P1, que por sua vez possui vegetação esparsa capaz de sombrear a área de instalação do abrigo meteorológico em determinados momentos do dia, promovendo temperaturas mais amenas.

O comportamento médio das temperaturas divididas por segmentos horários e sob os diferentes sistemas atmosféricos que atuaram durante o segundo experimento de campo pode ser conferido nas tabelas 22a, b, c e d. De modo similar ao Campo 1, as temperaturas mais elevadas ocorreram com maior frequência entre 14h e 16h e as menores, entre 05h e 06h.

TABELA 22a: Temperatura média (°C) por período – Campo 2

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	19,5	21,5	20,2	21,2	20,4	19,7	20,0	19,9	17,0	18,4	4,5
06h - 11h	23,0	23,2	23,1	23,1	23,5	23,8	22,6	23,3	19,7	19,7	4,2
12h - 17h	28,3	30,9	28,6	28,9	29,5	29,5	26,4	27,3	22,5	22,6	8,4
18h - 23h	21,3	23,9	22,5	23,5	22,7	21,7	22,0	21,5	17,9	19,7	6,0

TABELA 22b: Temperatura média (°C) por período sob LI – Campo 2

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	19,9	22,0	20,6	21,7	20,9	20,1	20,4	20,1	17,5	18,7	4,5
06h - 11h	24,0	24,2	24,0	24,5	24,4	24,9	23,0	24,3	21,4	20,0	4,9
12h - 17h	28,6	31,3	28,7	29,7	29,5	29,5	26,5	28,0	23,9	23,0	8,3
18h - 23h	21,7	24,4	22,8	23,8	23,1	21,9	22,2	21,6	18,1	19,9	6,2



TABELA 22c: Temperatura média (°C) por período sob atuação da ZCAS – Campo 2

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	19,8	21,2	20,4	21,1	20,5	19,9	20,2	19,8	16,5	18,3	4,8
06h - 11h	22,4	22,5	22,4	22,6	22,6	22,8	21,7	22,5	18,2	19,2	4,6
12h - 17h	27,4	29,3	27,6	27,8	27,9	28,6	25,5	26,8	21,4	21,9	7,9
18h - 23h	21,1	23,2	22,1	22,9	22,1	21,4	21,6	21,4	17,7	19,3	5,4

TABELA 22d: Temperatura média (°C) por período durante o APASSt – Campo 2

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	17,3	20,6	18,4	20,3	19,0	17,9	18,4	-	-	18,1	3,3
06h - 11h	22,2	22,7	22,9	21,0	23,7	24,0	24,1	-	-	20,2	3,9
12h - 17h	30,4	34,8	31,5	30,2	34,1	32,0	28,5	-	-	24,0	10,8
18h - 23h	21,1	25,2	23,0	24,7	23,5	22,1	22,8	-	-	20,6	4,6

Semelhante à atuação das linhas de instabilidade durante o Campo 1, os períodos instáveis do Campo 2 apresentaram menor aquecimento nos horários da manhã e da tarde, principalmente sob influência da ZCAS. De modo geral, sob domínio desse sistema, as temperaturas tenderam a ser mais baixas, com menores amplitudes térmicas diárias. Também, a amplitude entre os pontos foi mais reduzida, uniformizando o comportamento da variável durante os dias com atmosfera mais instável. Sob as LI, as temperaturas foram ligeiramente mais altas do que no domínio da ZCAS, bem como as diferenças entre os pontos, embora consideravelmente menores em relação ao Campo 1.

Nos últimos dias de duração do Campo 2, a presença do APASSt provocou elevação das temperaturas nos horários da manhã, da tarde e da noite e uma pequena redução durante as madrugadas, similar à atuação do ASAS no Campo 1. As amplitudes entre os pontos também foram mais elevadas no período da tarde, característica esperada para domínios de sistemas atmosféricos estáveis.

A figura 32 apresenta a superfície interpolada dos valores de temperatura máxima absoluta (32a), temperatura média (32b) e temperatura mínima absoluta (32c). Assim como no Campo 1, nota-se a porção norte do município com temperaturas mais altas que seu entorno. Porém, também se observa a expansão de áreas mais aquecidas e redução de áreas mais amenas, em comparação com os cartogramas do Campo 1.

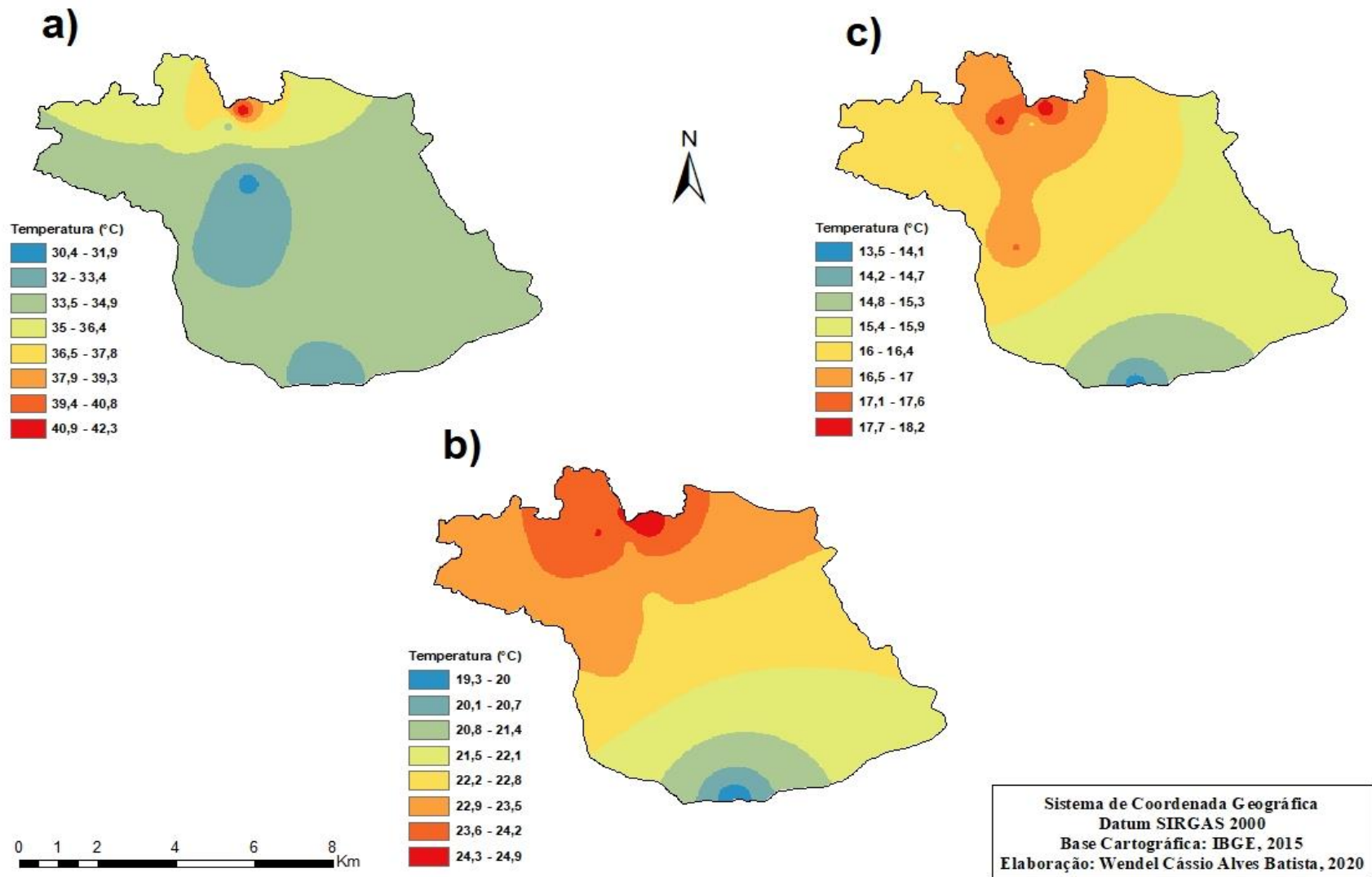


FIGURA 32: Superfície interpolada – Campo 2 – a) Temperatura máxima absoluta; b) Temperatura média; c) Temperatura mínima absoluta.

## Umidade Relativa do ar

O índice de umidade relativa do ar foi, em média, 26% superior durante o Campo 2, em comparação com o Campo 1. A média entre os pontos (80,5%) também foi maior que a média climatológica, a qual indica para os meses de fevereiro e março médias de 78,4% e 77,8%, respectivamente. Os valores mais elevados de umidade relativa do ar nesse segundo experimento de campo são atribuídos à permanência de sistemas atmosféricos instáveis, que atuaram durante dezessete dias (do total de vinte dias) do período analisado. A tabela 23 apresenta o resumo estatístico do comportamento da umidade relativa durante o Campo 2.

TABELA 23: Resumo estatístico do comportamento da umidade relativa – Campo 2

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça
<b>Média</b>	80,3	74,8	78,3	79,7	77,3	77,3	79,9	83,7	92,1	82,0
<b>Desvio padrão</b>	12,8	13,9	13,2	11,2	13,6	14,4	10,4	10,7	8,2	10,3
<b>Amplitude</b>	51,0	56,0	50,0	49,0	55,0	52,0	40,0	43,0	47,0	48,0
<b>Mínimo</b>	43,0	34,0	42,0	43,0	37,0	41,0	51,0	56,0	49,0	48,0
<b>Máximo</b>	94,0	90,0	92,0	92,0	92,0	93,0	91,0	99,0	96,0	96,0

Os índices médios mais elevados de umidade relativa foram observados nos locais com maior altitude (P9 e Rola Moça) e naqueles com maior quantidade de fontes de umidade (P1 e P8). Em virtude da grande disponibilidade hídrica durante a série analisada, todos os pontos registraram índices hídricos iguais ou superiores a 90% (FIG. 33). O menor índice médio foi encontrado no bairro residencial em que foi instalado o P2. Esse ponto, juntamente com o P5, foram os únicos, dentre todos os pontos amostrais, a registrar valores inferiores a 40% de umidade relativa – registros ocorridos principalmente sob atuação do APAS. Assim, verifica-se que os índices de umidade relativa do Campo 2 foram mais favoráveis ao conforto e à saúde humana.

Durante o Campo 2, a amplitude entre os pontos também foi reduzida, com comportamentos diários mais semelhantes, provocados pela forte instabilidade do ar. Somente o P9 apresentou umidade relativa média significativamente mais elevada que os demais pontos (92,1%). Porém, desconsiderando o P9, a amplitude entre os pontos foi inferior a 10%.

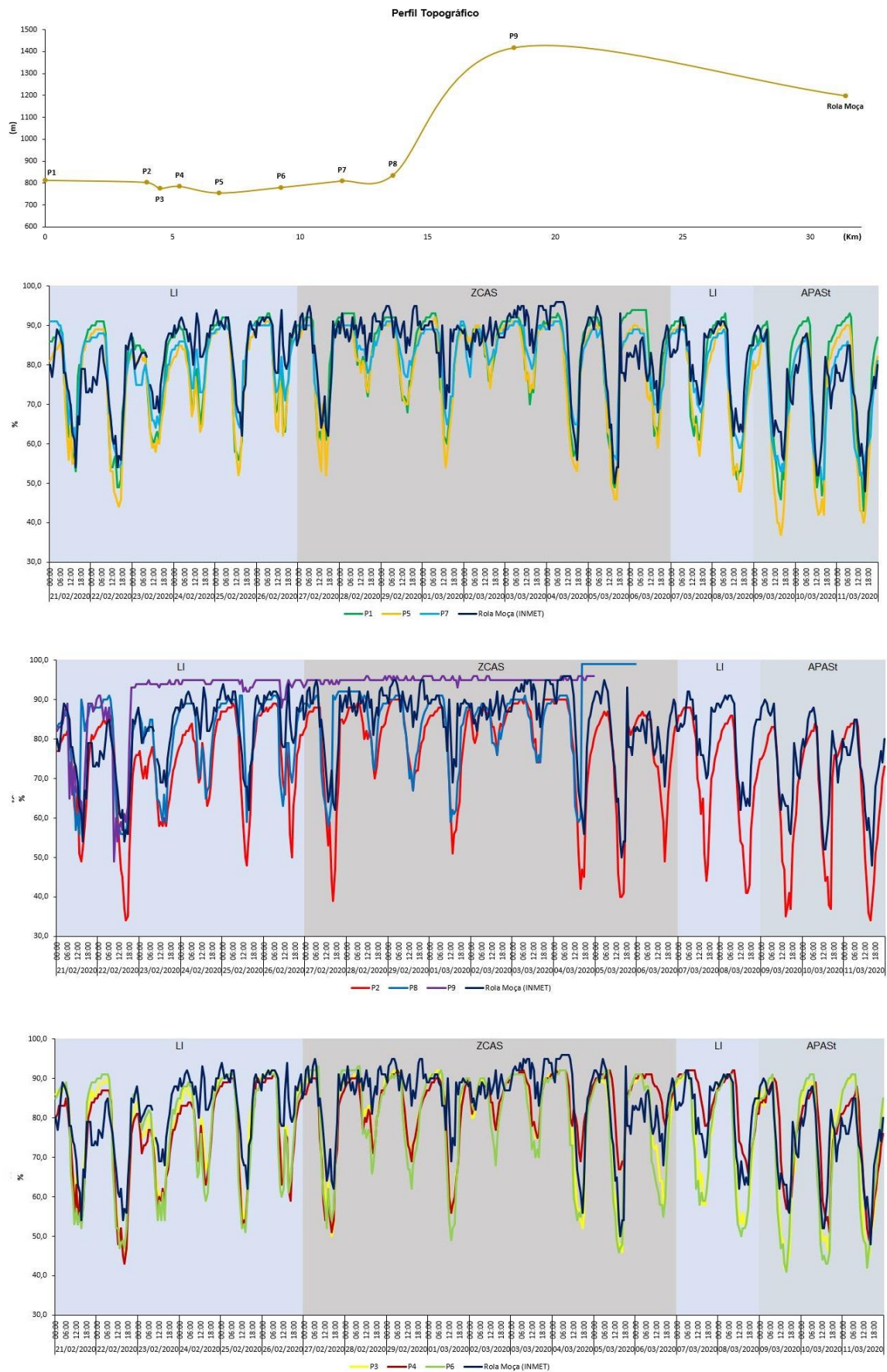


FIGURA 33: Perfil topográfico e variação temporal da umidade relativa durante o Campo 2

Em comparação com os resultados obtidos no Campo 1, o comportamento da umidade relativa do ar apresentou menor variação durante o Campo 2. Nesse segundo experimento, o desvio padrão médio foi de 11,9% – 4,4% a menos que no Campo 1. Do mesmo modo, a amplitude total média foi 17,4% menor em relação ao Campo 1, com os pontos registrando maior distanciamento dos índices mais críticos e com maior frequência de índices próximos à saturação.

Conforme tabelas 24a, b, c e d, os índices mais baixos de umidade relativa do ar foram registrados durante as tardes. No período da noite os valores voltavam a se elevar, atingindo as máximas durante a madrugada. Após o nascer do Sol, em oposição ao comportamento das temperaturas, os índices de umidade relativa começavam a decrescer.

TABELA 24a: Umidade relativa média (%) por período – Campo 2

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	90,3	84,3	88,6	87,1	87,8	89,1	87,4	89,5	93,7	87,4	9,4
06h - 11h	81,9	79,7	80,6	83,3	79,5	78,5	81,4	83,6	91,0	84,0	12,6
12h - 17h	64,1	58,0	62,4	67,3	61,0	59,2	68,6	73,6	89,7	72,5	31,7
18h - 23h	84,9	77,1	81,7	81,3	81,1	82,5	82,0	88,2	94,2	84,2	17,2

TABELA 24b: Umidade relativa média (%) por período sob LI – Campo 2

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	89,5	82,9	87,6	85,6	86,7	88,3	87,0	87,4	91,9	86,3	9,0
06h - 11h	78,6	77,0	78,1	79,6	77,0	75,3	80,5	78,7	86,3	82,7	11,0
12h - 17h	63,1	56,7	62,3	64,8	60,6	59,0	68,5	69,3	83,4	71,5	26,7
18h - 23h	83,8	75,8	81,0	80,3	79,8	82,2	81,9	84,8	93,1	84,3	17,3

TABELA 24c: Umidade relativa média (%) por período durante a ZCAS – Campo 2

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	91,3	87,0	89,7	89,4	89,5	90,2	88,7	91,0	95,2	89,8	8,3
06h - 11h	85,8	83,8	84,5	86,4	83,7	83,0	85,7	87,3	95,1	87,7	12,2
12h - 17h	68,5	64,1	67,1	72,9	66,9	63,4	73,4	76,8	95,0	77,4	31,7
18h - 23h	87,4	81,3	84,8	85,1	84,6	85,2	84,8	90,7	95,2	87,6	13,9

TABELA 24d: Umidade relativa média (%) por período durante o APASSt - Campo 2

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Rola Moça	Amplitude entre os pontos
00h - 05h	89,4	80,1	87,6	84,0	85,4	88,2	84,8	-	-	83,0	9,3
06h - 11h	79,0	74,3	75,7	83,8	73,4	73,5	70,9	-	-	76,5	12,8
12h - 17h	53,1	43,0	48,5	57,3	44,3	47,4	54,7	-	-	60,5	17,5
18h - 23h	80,3	67,8	74,6	72,3	74,2	75,3	73,6	-	-	74,0	12,5

Os valores médios elevados verificados no P9 provocaram uma amplitude alta entre os pontos no período da tarde. Desconsiderando esse ponto, a amplitude entre os pontos no período da tarde diminuiu para 15,6%, 14,8% e 14% nas médias gerais do Campo 2 (TAB. 24a), no segmento sob LI (TAB. 24b) e no segmento sob ZCAS (TAB. 24c), respectivamente. Considerando esses valores, nota-se que as diferenças entre os pontos foram menores nos períodos da madrugada, da manhã e da tarde sob influência de instabilidades do que quando da atuação do APASSt, o qual favoreceu maior variação entre os pontos ao longo do dia.

Sob instabilidades atmosféricas, os índices de umidade relativa apresentaram valores mais elevados em todos os períodos do dia, principalmente durante o domínio da ZCAS, quando houve maior acumulado de chuvas. De modo contrário, sob domínio do APASSt os índices de umidade relativa tenderam a diminuir, registrando médias menores em todos os horários. Também sob o APASSt, foi identificada a ocorrência da maioria dos valores mínimos de toda a série analisada.

A figura 34 apresenta a superfície interpolada dos dados de umidade relativa do ar para o município de Sarzedo (34a – umidade relativa máxima absoluta; 34b – umidade relativa média; e 34c – umidade relativa mínima absoluta). De modo geral, a disposição de áreas relativamente mais secas e mais úmidas não difere daquilo que foi observado no Campo 1. Entretanto, destaca-se maior homogeneidade do comportamento da variável, principalmente da média, na área correspondente ao perímetro urbano do município.

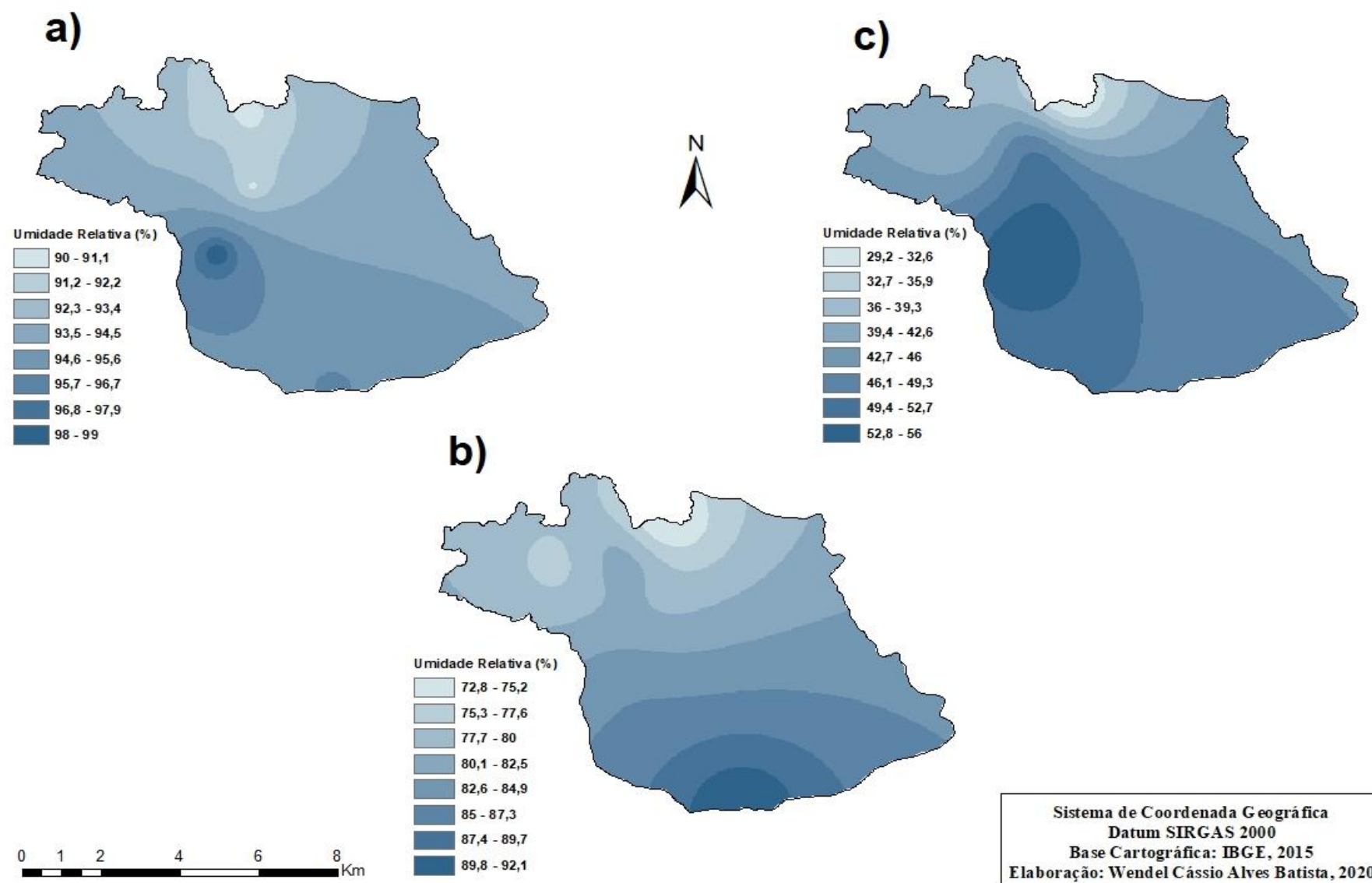


FIGURA 34: Superfície interpolada – Campo 2 – a) Umidade Relativa máxima absoluta; b) Umidade Relativa média; c) Umidade Relativa mínima absoluta.

### 4.3. Unidades Topoclimáticas

Neste item será apresentada uma proposta de delimitação teórica das unidades topoclimáticas do município de Sarzedo. Conforme indicado no Capítulo 3, as unidades topoclimáticas foram definidas com base na análise multicritério, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar coletados no primeiro e no segundo experimento de campo, em conjunto com o MDE, o mapa de uso do solo e o mapa de orientação das vertentes.

Foram definidas cinco unidades topoclimáticas distintas, caracterizadas, principalmente, pelas variações altimétricas e diferenças do tipo de uso e cobertura do solo. Os valores de temperatura e umidade relativa utilizados aqui para descrever as unidades são correspondentes aos dados obtidos no Campo 1, quando condições de estabilidade atmosférica predominaram sobre o município.

A tabela 25 apresenta a síntese das características de cada uma das unidades topoclimáticas. Para efeito de caracterização, não foi dado ênfase às orientações das vertentes, uma vez que nenhuma das unidades possui homogeneidade em relação a esse parâmetro. A distribuição espacial das unidades topoclimáticas definidas estão representadas no mapa da figura 35.

TABELA 25: Síntese das características das Unidades Topoclimáticas

Unidades	Temperatura (°C) *	Umidade Relativa (%) *	Altitude (m)	Uso e ocupação do solo
I	25,2 - 27,7	49,3 - 54,9	722 - 800	urbano
II	24,4 - 26,0	53,6 - 56,3	722 - 900	urbano; pastagens
III	23,5 - 25,1	55,0 - 59,1	801 - 1000	agricultura; floresta estacional semidecidual
IV	22,7 - 24,3	56,4 - 59,1	901 - 1100	mineração; floresta estacional semidecidual
V	20,9 - 24,3	56,4 - 60,5	1101 - 1500	mineração; afloramento rochoso; campos e campos rupestres

\* temperatura e umidade relativa médias referentes ao Campo 1.



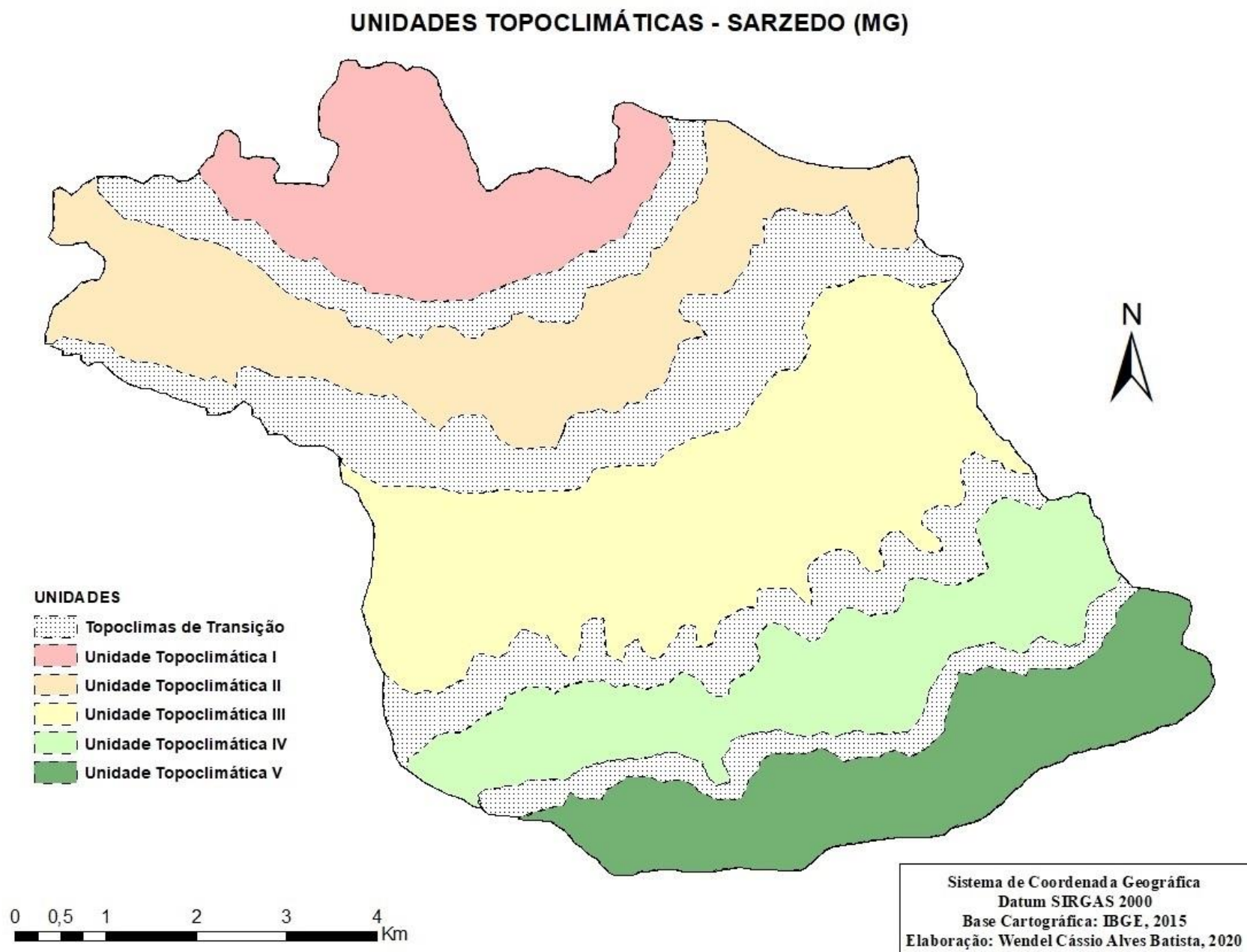


FIGURA 35: Unidades Topoclimáticas do município de Sarzedo (MG)

A Unidade I corresponde à área mais urbanizada do município de Sarzedo, composta por bairros residenciais, área industrial e centro comercial e de serviços. Ainda que o tecido urbano no município não seja totalmente contínuo, sendo mais caracterizado por núcleos urbanizados, foram verificados, nessa porção, temperaturas mais altas e menores índices de umidade relativa em relação ao seu entorno. Esses núcleos urbanizados contam com reduzida quantidade de vias arborizadas, que seriam capazes de atenuar os registros extremos das variáveis climáticas. Também, essa unidade está situada na porção topograficamente mais deprimida do município, não tendo, portanto, o mesmo arrefecimento proporcionado em outras localidades mais elevadas.

O topoclima correspondente à Unidade II também se localiza na porção norte do município, mesclando áreas internas e externas ao seu perímetro urbano. Nessa unidade, os usos e ocupações do solo predominantes estão associados à bairros e núcleos urbanos periféricos e áreas de pastagens, destinadas à pecuária. Essas características de uso do solo favorecem nessa unidade temperaturas elevadas e umidades relativas baixas, porém sem atingir os extremos da Unidade I. A variação altimétrica presente na Unidade II também é maior, abrangendo áreas tão deprimidas quanto da Unidade I, mas também com superfícies de até 900m.

Na porção central do município se encontra a Unidade III. Nessa unidade são observadas temperaturas e umidades relativas mais amenas em relação às unidades I e II, tanto em função da maior altimetria quanto da maior presença de vegetação. Predominam nessa unidade áreas destinadas à agricultura, com presença constante de sistemas de irrigação das lavouras, e formações florestais, caracterizadas pela floresta estacional semidecídua e fragmentos de cerrado (porção oeste).

A Unidade IV apresenta semelhanças aos valores médios de umidade relativa da Unidade III. Porém, na Unidade IV, a topografia mais elevada favorece a menor amplitude entre índices máximos e mínimos, fazendo com que a umidade relativa média nessa área não apresente faixas inferiores a 56,4%, como na Unidade III. O fator altitude e a maior disponibilidade de umidade propiciam, na Unidade IV, temperaturas mais amenas que as unidades I, II e III. Predominam nessa unidade formações florestais – floresta estacional semidecídua e pequenas áreas de reflorestamento (eucaliptos) – e atividades minerárias.

Ao sul do município de Sarzedo está delimitada a Unidade V. Essa unidade registrou as menores e maiores médias de temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente. Esses resultados são atribuídos às condições topográficas, uma vez que se caracterizam como áreas de maior altimetria de todo o município, com altitudes superiores a 1400m. O uso do solo na Unidade V é marcado também pela mineração e as coberturas predominantes são afloramentos rochosos, campos e campos rupestres.

Dada a natureza fluida da atmosfera, entre as unidades topoclimáticas – que também não possuem limites rígidos – são verificados topoclimas de transição. Esse aspecto transicional confere a esses topoclimas características inerentes às duas unidades que os cercam. Os topoclimas de transição funcionam como pontes entre as unidades definidas e ressaltam a não existência de divisões abruptas ao se referir à atmosfera. Também, cabe destacar que, apesar da delimitação das unidades climáticas ter se baseado nos dados climáticos registrados no Campo 1, a intensidade dos elementos climáticos e, conseqüentemente, a dimensão espacial das unidades variam em função do ritmo atmosférico diário e da atuação dos diferentes sistemas sinóticos.

Nesse caso de proposta de delimitação das unidades topoclimáticas de Sarzedo, a delimitação das transições entre as unidades I, II e III estão mais associadas à variação da temperatura e da umidade relativa do ar na porção centro-norte do município. A delimitação das transições entre as unidades III, IV e V, localizadas mais ao sul de Sarzedo, levou em consideração não só as variações dos elementos climáticos, mas também as faixas altimétricas e os contornos da serra.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados obtidos permitiu a reflexão sobre o comportamento das variáveis climáticas no município de Sarzedo, possibilitando, aqui, a avaliação da contribuição alcançada. Claro que, considerando suas limitações e a complexidade dos aspectos climáticos, esta pesquisa nunca teve a pretensão de esgotar a discussão acerca do comportamento do clima em Sarzedo. Mas, sim, apresentar um estudo preliminar sobre o assunto, uma vez que não foi encontrada na literatura pesquisa semelhante aplicada ao município.

O principal objetivo deste trabalho foi caracterizar o topo e o mesoclima do município de Sarzedo. Verificou-se a variabilidade temporal das temperaturas e umidade relativa do ar em função da atuação de sistemas atmosféricos de mesoescala. Durante os dois períodos analisados, sob condições atmosféricas estáveis, a temperatura tendia a ser mais elevada e os índices de umidade relativa, mais baixos. De modo oposto, sob condições instáveis, as temperaturas foram mais amenas e a umidade relativa mais elevada.

Mesmo com esse comportamento geral sob atuação de diferentes sistemas atmosféricos, foram identificadas variações de temperatura e umidade relativa entre os pontos amostrais. Com base nos dados obtidos nos dois experimentos de campo, constatou-se que o fator altitude foi o mais determinante para essas variações entre as localidades dentro do município. De modo secundário, o uso e ocupação do solo demonstrou exercer influência sobre as variáveis climáticas, reforçando diferenças de comportamento entre pontos localizados em altimetrias semelhantes.

A Estação Meteorológica de Ibirité, localizada no Rola Moça, e o P9, pontos com altitudes superiores a 1100m, apresentaram as maiores diferenças em relação aos demais pontos. Nesses, sob todas as diferentes condições atmosféricas que atuaram durante o período analisado, as temperaturas registradas foram consideravelmente mais baixas e a umidade relativa do ar mais alta, em comparação com os pontos de menor altimetria. Os dados obtidos no P9 e no Rola Moça superaram o decréscimo teórico de  $0,65^{\circ}\text{C}$  a cada 100m descrito por Ayoade (1996), com temperaturas  $5,2^{\circ}\text{C}$ , em média, abaixo das encontradas na área mais deprimida do município durante o

Campo 1. O fator altimétrico também ocasionou mais rápida saturação do vapor d'água, promovendo índices mais altos de umidade relativa.

Nos demais pontos amostrais, a altitude variou entre 720m e 900m. Observou-se que as diferenças entre as variáveis climáticas nesses pontos foram causadas, principalmente, pelo diverso uso e cobertura dos solos. De modo semelhante ao verificado por Fialho (2009), Assis (2010), Stewart e Oke (2010) e Lopes e Jardim (2012), os pontos localizados nas áreas mais urbanizadas do município (P2, P3, P4 e P5) registraram os valores mais elevados de temperatura nos dois experimentos de campo. Também, os índices de umidade relativa registrados nesses pontos foram mais baixos. Esses pontos estão relativamente próximos, concentrados na porção centro-norte de Sarzedo. Neles, foram observados elevado grau de impermeabilização, vias pouco arborizadas e maiores fluxos de pessoas e veículos.

Os valores obtidos nos experimentos de campo, que apontam para esse centro urbano mais seco e aquecido, confirmam a primeira hipótese deste trabalho. As áreas mais urbanizadas, sob todas as condições atmosféricas, ainda que de forma minimizada por sistemas instáveis, possuem temperaturas mais elevadas e menores índices de umidade relativa, em comparação com áreas circunvizinhas, com menor ou nenhum grau de urbanização. A exceção dessa característica entre os pontos instalados em área urbana foi o P7, que também é bastante impermeabilizado e com grande fluxo de pessoas e veículos. Essa ressalva ocorreu em função de uma condição microclimática do local em que o equipamento foi instalado, conforme descrito no Capítulo 4.

Também é importante considerar que esse maior aquecimento das áreas urbanas foi mais pronunciado sob condições de tempo estáveis. A influência de sistemas atmosféricos instáveis, como as linhas de instabilidade nos campos 1 e 2 e a ZCAS durante o Campo 2, propiciou maior homogeneização dos dados obtidos entre os pontos amostrais, reduzindo a amplitude entre os pontos, tanto das temperaturas quanto da umidade relativa, principalmente considerando somente aqueles localizados nas áreas topograficamente mais baixas do município.

O predomínio do ASAS durante o Campo 1, que provocou maior permanência de condições atmosféricas estáveis, possibilitou melhor visualização das diferenças de aquecimento entre os pontos amostrais, evidenciando o centro urbano mais quente e

seco em comparação com seu entorno. Em contrapartida, no Campo 2, quando houve domínio da ZCAS, a variação foi menos perceptível, minimizando as diferenças entre os pontos. Essas situações comprovaram a segunda hipótese deste estudo. Ainda que a área urbana permaneça ligeiramente mais aquecida que seu entorno, sob sistemas atmosféricos instáveis, as diferenças são reduzidas, diminuindo a influência dos usos e coberturas dos solos sobre as variáveis climáticas.

Vale ressaltar também que, mesmo sob atmosfera estável, as maiores diferenças entre urbano e rural / natural foram verificadas somente durante o dia. O aquecimento diurno, iniciado após as 6h, atingiu seus máximos no período da tarde, entre 14h e 16h, quando eram mais perceptíveis as variações entre os ambientes. Porém, nos períodos da noite e da madrugada, o processo de resfriamento do ar também promoveu certa homogeneização da temperatura e da umidade relativa. Apesar de a área urbana ainda assim registrar maiores valores de temperatura e menores índices hídricos, essa diferença foi consideravelmente reduzida em comparação com a dinâmica diurna. Mesmo os diferentes padrões de aquecimento, provocados pelo uso e cobertura dos solos, desapareceram nos períodos noturnos.

Dentre os pontos localizados em ambientes pouco e/ou não urbanizados, os pontos P1 e P8 apresentaram condições de temperatura mais amenas e índices hídricos mais elevados. Esses resultados corroboram o importante papel desempenhado pela vegetação e pela disponibilidade hídrica no processo de arrefecimento das temperaturas, também identificados por Assis (2010) e Jardim e Galvani (2018). Mesmo sob vegetação esparsa, o sombreamento provocado pelas árvores, a proximidade de corpos d'água e o solo pouco impermeabilizado conferiram ao P1 valores térmicos e hídricos fora dos extremos encontrados no município, com melhores características para o conforto térmico humano. No caso do P8, mesmo não estando em área sombreada, as condições mais amenas estão associadas à maior disponibilidade hídrica gerada pelo sistema de irrigação das lavouras e à presença relativamente próxima a uma mata semidecídua.

Diferentemente do que foi encontrado no P1, o P6, localizado em ambiente rural, com vegetação baixa, registrou índices térmicos e hídricos semelhantes aos encontrados no P3 (ponto em área urbana), sendo que, no segundo experimento de campo, a temperatura média do P1 superou este. A ausência de vegetação, capaz de provocar

sombreamento da área, propiciou maior aquecimento da superfície em P6, em comparação com P1, por exemplo. Situação semelhante foi abordada por Lopes e Jardim (2012), ao compararem a área rural de Betim com a área urbana de Contagem, e por Jardim e Galvani (2018), quando identificaram temperaturas diurnas no Parque Nacional da Serra do Cipó mais elevadas que as registradas em ambiente urbano de Belo Horizonte. Assim, é possível que uma retirada da vegetação arbórea presente no P1 possa favorecer um comportamento semelhante ao P6, com elevação da temperatura e redução da umidade relativa do ar.

Desse modo, destaca-se, mais uma vez, a importância de o planejamento urbano considerar a inserção de áreas verdes e espelhos d'água em ambientes urbanizados, a fim de mitigar os efeitos da urbanização sobre as variáveis climáticas, garantindo melhor qualidade de vida para as populações citadinas. Também, considerando a íntima conexão entre os conceitos de qualidade de vida e qualidade ambiental, defendida por Oliveira (2002), cabe dizer que a adição do verde (vegetação) nas cidades perpassa não somente pela qualidade de índices de conforto térmico, mas também pela agradabilidade visual que este proporciona, oferecendo relaxamento físico e mental para aqueles que ali habitam.

A observação do comportamento térmico e higrício no município de Sarzedo possibilitou a distinção de cinco unidades topoclimáticas dentro de seus limites municipais. Essas unidades, que, dada a característica fluida da atmosfera, possuem limites teóricos, foram definidas a partir do comportamento das variáveis climáticas em função da topografia – principal fator estático de influência sobre o clima de Sarzedo – e do uso e cobertura dos solos. Desse modo, as unidades se configuram mais secas e quentes nas proximidades do centro-norte do município (área de maior urbanização) até as áreas mais elevadas na topografia, com temperaturas mais amenas e índices higrícios mais altos. Em síntese, a medida em que se distancia do centro urbano e se eleva na topografia, temperatura e umidade relativa tendem a apresentar modificações em seu comportamento.

A terceira e última hipótese sugerida neste trabalho considera que, apesar do grande crescimento populacional vivenciado pelo município e de apresentar um núcleo urbano mais aquecido que o entorno, Sarzedo ainda não possui características suficientemente desenvolvidas capazes de constituir um clima urbano. Essa afirmativa

torna-se verdadeira se considerarmos que os índices de aquecimento e relativa aridez adquiridos ao longo do dia não se sustentam no período noturno e, tampouco, durante a menor perturbação atmosférica. Desse modo, a cidade ainda não é capaz de oferecer mudanças no comportamento das variáveis climáticas minimamente duradouras.

Apesar de não ser o único elemento de investigação dos climas urbanos, o efeito de ilhas de calor representa um relevante indício de que o processo de derivação do ambiente está resultando em transformações nos aspectos originais do clima. Diferentemente do resultado obtido por Assis (2010) para o município de Belo Horizonte e por Fialho (2009) no município de Viçosa, o comportamento noturno das temperaturas registradas na área urbana de Sarzedo demonstra que esse fenômeno não acontece no município. Isso porque o processo de verticalização, tendência atual nas metrópoles e cidades médias, não atingiu o município de Sarzedo, que ainda possui espaço para expandir horizontalmente. Desse modo, com pouca obstrução para impedir a dissipação do calor, mesmo nas áreas mais urbanizadas, não há registro de ilhas de calor noturnas.

Mesmo possuindo uma grande área verde, visto que seu perímetro urbano corresponde a menos de 30% do território municipal, notou-se em Sarzedo relativa ausência de vegetação em vias públicas, principalmente nas proximidades dos pontos em que foram observados maiores e menores índices térmicos e hídricos, respectivamente. Considerando que diversos estudos apontam a rearborização e a manutenção de áreas verdes como meios para mitigar o desconforto térmico humano (BASSO e CORRÊA, 2014; AZEVEDO *et al.*, 2015; LOBATO *et al.*, 2016; SILVEIRA e CARVALHO, 2016; AZEVEDO *et al.*, 2017), trazer esse componente para ocupar lugar mais próximo à população, como em ruas, praças e parques, pode contribuir para a atenuação dos efeitos do desenvolvimento da cidade sobre as variáveis climáticas. Do mesmo modo que a maior presença de fontes e espelhos d'água poderiam ajudar atingir tal atenuação. Assim, além de promover a qualidade ambiental, o maior embelezamento da cidade também pode gerar a satisfação da população com o local em que vive, favorecendo os índices de sua qualidade de vida.

Por fim, ressalta-se a necessidade de maior acompanhamento dos parâmetros climáticos do município, motivados tanto pela pesquisa acadêmica quanto pelo poder



público local, a fim de se alcançar maior entendimento acerca dos aspectos climáticos e permitir a manutenção preventiva da qualidade ambiental de Sarzedo, garantindo a continuidade dos estudos sobre o tema na cidade. Sugere-se para os próximos trabalhos a inserção das variáveis direção e velocidade dos ventos – tão importantes para a pesquisa climática, mas que não foram possíveis contemplar neste trabalho –, bem como ampliar a amostragem de pontos, de modo a abranger não somente maior área do município, como também maiores variedades de altimetria e uso e ocupação dos solos.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 17-22, dez. 1998.
- ALCOFORADO, M. J. Aplicação da climatologia ao planejamento urbano: alguns apontamentos. **Finisterra**. XXXIV, 67-68, p. 83-94, 1999.
- ANDRADE, H. O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**. XL, 80, p. 67-91, 2005.
- ASSIS, D. C. **O conforto térmico associado às variáveis de cobertura da terra na região central de Juiz de Fora – MG**. 2016. 196f. Dissertação (mestrado). Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora.
- ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial**. 2010. 319f. Tese (doutorado). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- ASSIS, W. L.; PARIZZI, M. G.; RIBEIRO, S. M. Identificação dos sistemas atmosféricos responsáveis por inundações e deslizamentos no município de Belo Horizonte: análise dos períodos chuvosos de 2011-2012 e 2012-2013. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 38-55, dez. 2013.
- AZEVEDO, P. V.; BEZERRA, P. T. C.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, C. A. C. Characterization of human thermal comfort in urban areas of brazilian semiarid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 371-380, 2015.
- \_\_\_\_\_. Thermal comfort level assessment in urban area of Petrolina - PE county, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 555-563, 2017.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332p.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. 8.ed. London: Routledge, 2003. 421p.

BAUMGRATZ, S. S. O planejamento urbano de Belo Horizonte e seus problemas geomorfológicos. **Geografia**, Rio Claro, v. 13, n. 25, p. 117-131, abr. 1988.

BASSO, J. M.; CORRÊA, R. S. Arborização urbana e qualificação da paisagem. **Paisagem e Ambiente: ensaios**, n. 34, São Paulo, p. 129-148, 2014.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. T.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463p.

CASTRO, I. E. O problema da escala. In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (Orgs.). **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995, p. 117-140.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. T.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463p.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – CPTEC. **Boletim técnico**: Análise sinótica de 29/09/2019 a 19/10/2019. 2019a. Disponível em <<http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico>>. Acesso em 26/10/2019.

\_\_\_\_\_. **El Niño e La Niña**. 2019b. Disponível em <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 04/11/2019.

\_\_\_\_\_. **El Niño e La Niña**. 2020a. Disponível em <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 06/04/2020.

\_\_\_\_\_. **Boletim técnico**: Análise sinótica de 19/02/2020 a 13/03/2020. 2020b. Disponível em <<http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico>>. Acesso em 19/03/2020.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**: introdução. São Paulo: Hucitec, 1979. 106p.

\_\_\_\_\_. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236p.

COSTA, N. S. D.; BALDO, M. C.; SILVA, R. F.; LIMA, V. O.; BASANE, A. C. Análise comparativa da temperatura no centro da cidade e na área rural de Campo Mourão –

PR. **II Simpósio de Estudos Urbanos: a dinâmica das cidades e a produção do espaço.** Campo Mourão, 2013.

DINIZ, A. M. A.; ANDRADE, L. T. Metropolização e hierarquização das relações entre os municípios da RMBH. In: ANDRADE, L. T.; MENDONÇA, J. G.; DINIZ, A. M. A. **Belo Horizonte: transformações na ordem urbana.** 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles; Belo Horizonte: PUC-Minas, 2015. p. 120-144.

DINIZ, A. M. A.; MENDONÇA, J. G. Nota Metodológica: configuração dos vetores de expansão da RMBH. In: ANDRADE, L. T.; MENDONÇA, J. G.; DINIZ, A. M. A. **Belo Horizonte: transformações na ordem urbana.** 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles; Belo Horizonte: PUC-Minas, 2015. p. 33-46.

DREW, D. **Processos interativos: homem-meio ambiente.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 206 p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **Geostatistical Analyst Help / Tutorial.** Software ArcGis 10.5, s.d.

FAHEY, T.; NOLAN, B.; WHELAN, C. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. **Monitoring quality of life in Europe.** Luxemburgo. Office for Official Publications of the European Communities, 2003. Disponível em: <<http://www.eurofound.europa.eu/publications/htmlfiles/ef02108.htm>> acesso em 11/11/2019.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: um caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira.** 2009. 259p. Tese (doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

FLANNERY, T. F. **Os senhores do clima.** Rio de Janeiro: Ed. Record, 2007. 388p.

FONZAR, B. C. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetórias. **Cadernos de Geociências.** Rio de Janeiro, n. 11, p. 11-33, jul./set. 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2000.** Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br>> acesso em 04/09/2017.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>> acesso em 04/09/2017.

\_\_\_\_\_. **Mapas.** Disponível em <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>> acesso em 04/05/2019. (2015).

\_\_\_\_\_. **População.** Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao>> acesso em 28/03/2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990** / Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes – Brasília. INMET, 2009. 465p.

\_\_\_\_\_. **Dados climatológicos da Estação Meteorológica do município de Ibitité (Rola Moça) de 29/09/2019 a 19/10/2019.** 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 26/10/2019.

\_\_\_\_\_. **Dados climatológicos da Estação Meteorológica do município de Ibitité (Rola Moça) de 19/02/2020 a 13/03/2020.** 2020. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 19/03/2020.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. **XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP.** Caxambu, 2006.

JARDIM, C. H. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas.** 2007. 284p. Tese (doutorado). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

\_\_\_\_\_. Aspectos multiescalares e sistêmicos da análise climatológica. **Geografias.** Edição Especial – III Seminário de Geografia. Belo Horizonte, 2015.

JARDIM, C. H.; GALVANI, E. 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.** Edição Especial – II Workshop do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, São Paulo, 2018.

JAUREGUI, E.; ROMALES, E. Urban effects on convective precipitation in Mexico City. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 20, p. 3383-3389. 1996.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. v. 28. New York: Academic Press, 1981. 275p.

LOBATO, G. J. M.; MARTORANO, L. G.; LUCAS, F. C. A.; TAVARES-MARTINS, A. C. C.; JARDIM, M. A. G. Condições térmico-hídricas e percepções de conforto ambiental em quintais urbanos de Abaetetuba, Pará, Brasil. **Revista Ra'ega**. Curitiba, v. 38, p. 245-268, 2016.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles: O exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

LOPES, L. C. S.; JARDIM, C. H. Variações de temperatura e umidade relativa do ar em área urbana e rural durante o segmento temporal de inverno de 2011 em Contagem e Betim (MG). **ACTA Geográfica**. Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, p. 205-221, 2012.

MACHADO, L. A. **Impactos da verticalização e adensamento das edificações em topoclimas e mesoclimas na porção norte do município de Nova Lima (MG)**. 2016. 182f. Dissertação (mestrado). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

MACHADO, L. A.; ASSIS, W. L. Proposta metodológica de mapeamento de unidades topoclimáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 13, vol. 21, jul/dez 2017.

MACHADO, L. M. C. P. Qualidade ambiental urbana: percepções e estratégias para uma cidade de porte médio. **Departamento de Geografia**. IGCE/UNESP, Rio Claro, 1993.

MAPBIOMAS, Projeto. **Coleções MapBiomas**. Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em <<https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas>> acesso em 21/09/2019.

MARICATO, E. Urbanismo na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras. **São Paulo Perspec**. São Paulo, v. 14, n. 4, p. 21-33, 2000.

MARICATO, E.; TANAKA, G. O planejamento urbano e a questão fundiária. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 38, n. 227, p. 17-23, 2006.

MEDINA, A. I.; DANTAS, M. E.; SAADI, A. **Projeto APA Sul RMBH: geomorfologia, mapa geomorfológico, escala 1:50.000 em três partes.** Belo Horizonte: SEMAD / CPRM, 2005.

MENDONÇA, F. A. Geografia, Geografia física e meio ambiente: uma reflexão a partir da problemática socioambiental urbana. **Revista da ANPEGE.** v. 5, p. 123-134, 2009.

\_\_\_\_\_. Riscos e vulnerabilidades socioambientais urbanos: a contingência climática. **Mercator,** v. 9, n. especial, p. 153-163, 2010.

MENDONÇA, F. A.; SOUZA, A. V.; DUTRA, D. A. Saúde pública urbanização e dengue no Brasil. **Sociedade e Natureza,** Uberlândia, p. 257-269, 2009.

MINAS GERAIS. **Lei nº 336,** de 27 de dezembro de 1948. Estabelece a divisão administrativa e judiciária do Estado, a vigorar de 01 de janeiro de 1949 a 31 de dezembro de 1953, e dá outras providências. Disponível em <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao>> acesso em 04/11/2019.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.030,** de 21 de dezembro de 1995. Cria municípios e dá outras providências. Disponível em <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao>> acesso em 04/11/2019.

MONTEIRO, C. A. F. 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.

\_\_\_\_\_. **Teoria e clima urbano.** São Paulo, 1976. 181 p. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, 1976.

\_\_\_\_\_. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográfico de clima urbano no Brasil. **Geosul.** Florianópolis, n. 9, Ano V, p. 06-17, 1990a.

\_\_\_\_\_. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano – estratégias na abordagem geográfica. **Geosul.** Florianópolis, n. 9, Ano V, p. 75-107, 1990b.

\_\_\_\_\_. Teoria e clima urbano. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA F. **Clima urbano.** São Paulo: Contexto, 2003. 192p.

MONTEIRO, C. A. F.; TARIFA, J. R. Contribuição ao clima de Marabá: uma abordagem de campo subsidiária ao planejamento urbano. **Climatologia**, São Paulo, n.7, p. 1-51, 1977.

NAZÁRIO, R. O. O índice de bem-estar urbano e a desigualdade das condições de vida da população urbana da RMBH. In: ANDRADE, L. T.; MENDONÇA, J. G.; DINIZ, A. M. A. **Belo Horizonte: transformações na ordem urbana**. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles; Belo Horizonte: PUC-Minas, 2015. p. 325-356.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p.

NUNES, L. H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D. H. Clima da região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. T.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463p.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: New York, 1981. 372p.

OLIVEIRA, L.; A percepção da qualidade ambiental. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 12, n. 18, p. 40-49, 2002.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. **ONU News**. Disponível em <<https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>> acesso em 26/01/2020.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro, v. 23, p. 288-294, 1993.

SARZEDO. Prefeitura Municipal de Sarzedo. **Cartilha de planejamento municipal**. Sarzedo: 2016.

SHUCKSMITH, M.; CAMERON, S.; MERRIDEW, T.; PICHLER, F. Urban-rural differences in quality of life across the European Union. **Regional Studies**, p. 1275-1289, 2009.

SILVEIRA, I. M. M.; CARVALHO, R. G. Microclima e conforto térmico na área da Mata da Bica, no município de Portalegre/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 62-78, 2016.



STEWART, I. D.; OKE, T. R. Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites. **9th Symposium on Urban Environment**, Keystone, Colorado, 2010.

TROPMAIR, H. **Atlas da qualidade ambiental e de vida de Rio Claro**. Rio Claro: UNESP/IGCE, 1992.

TUAN, Y. Environment and quality of life. In: HAMMOND, K. *et al.* **Sourcebook on the environment**. London: University of Chicago Press, 1978.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Mapa de uso e ocupação do solo e Imagem de satélite (Google Earth) de Sarzedo (MG)

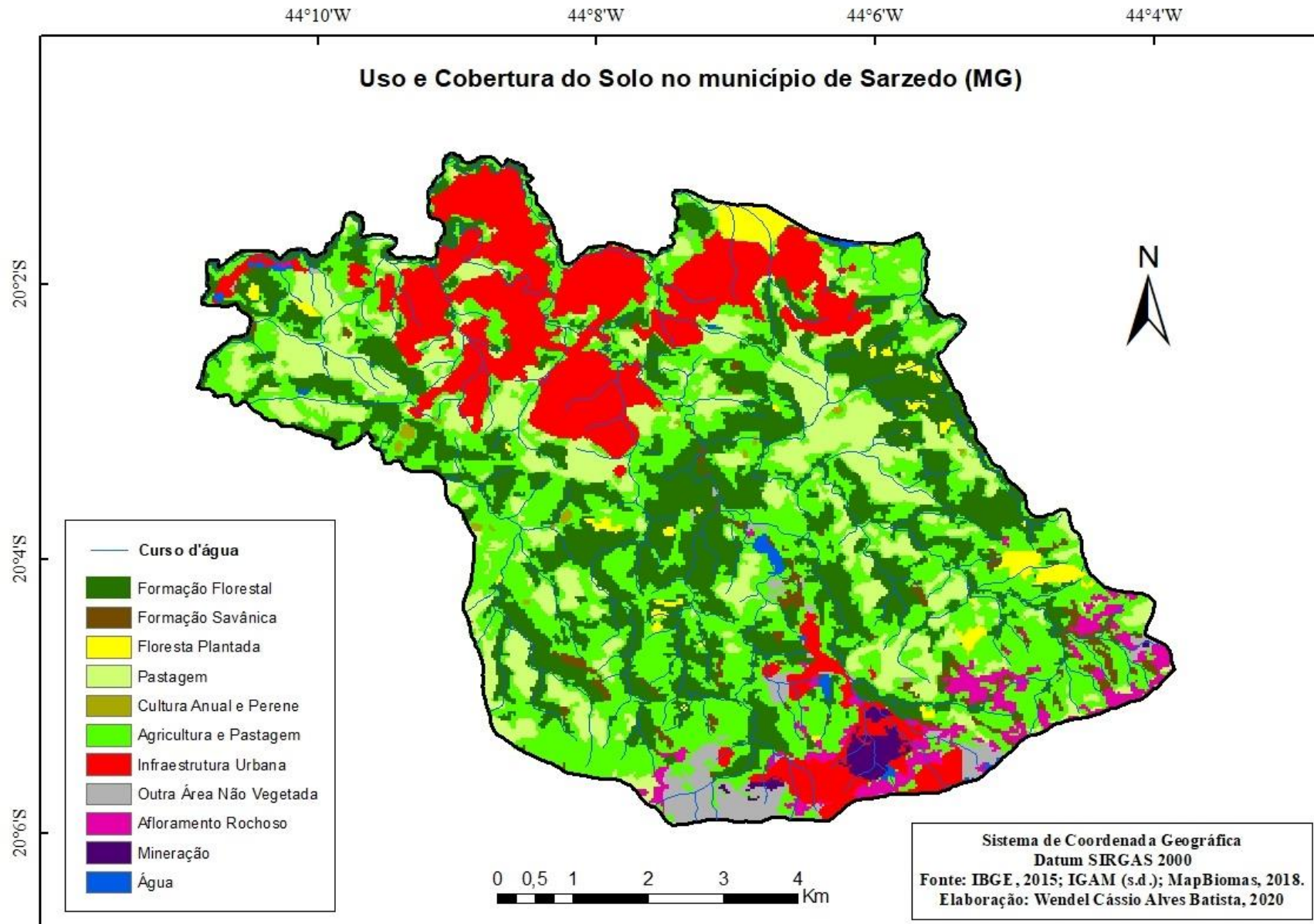
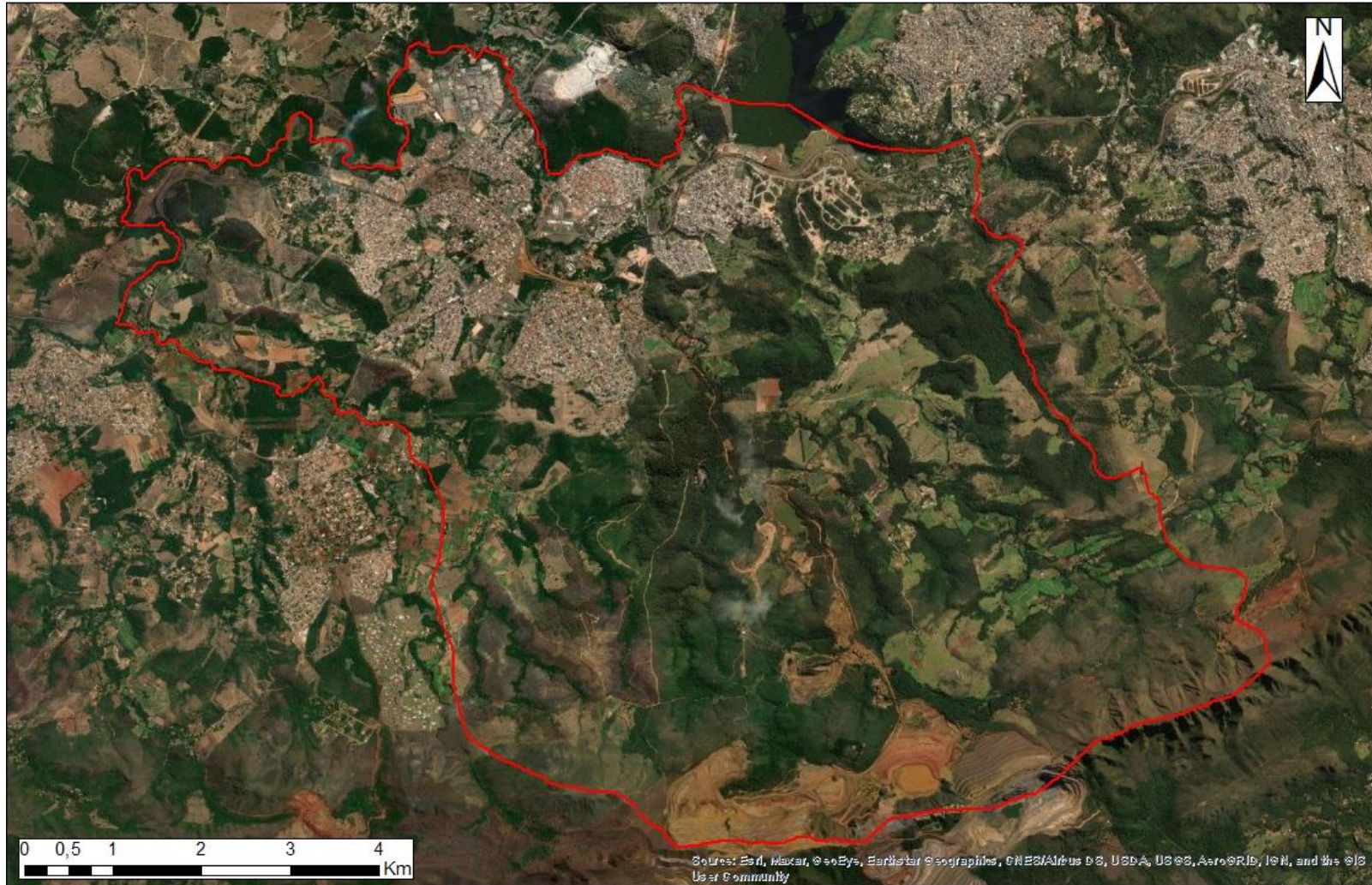
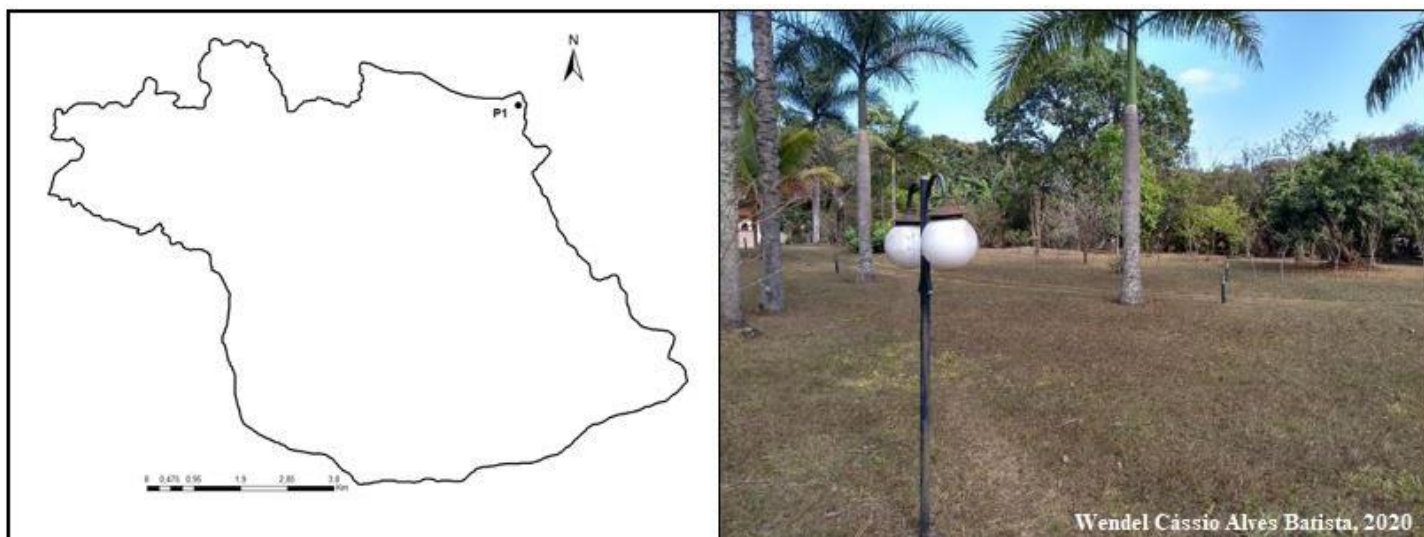


Imagem de satélite (Google Earth) - Sarzedo (MG)



## APÊNDICE B – Localização e Descrição dos pontos amostrais dos Campos 1 e 2

### PONTO 1: Quintas da Jangada



**Latitude:**

20°01'46,4" S

**Longitude:**

44°05'42,2" W

**Altitude:**

815m

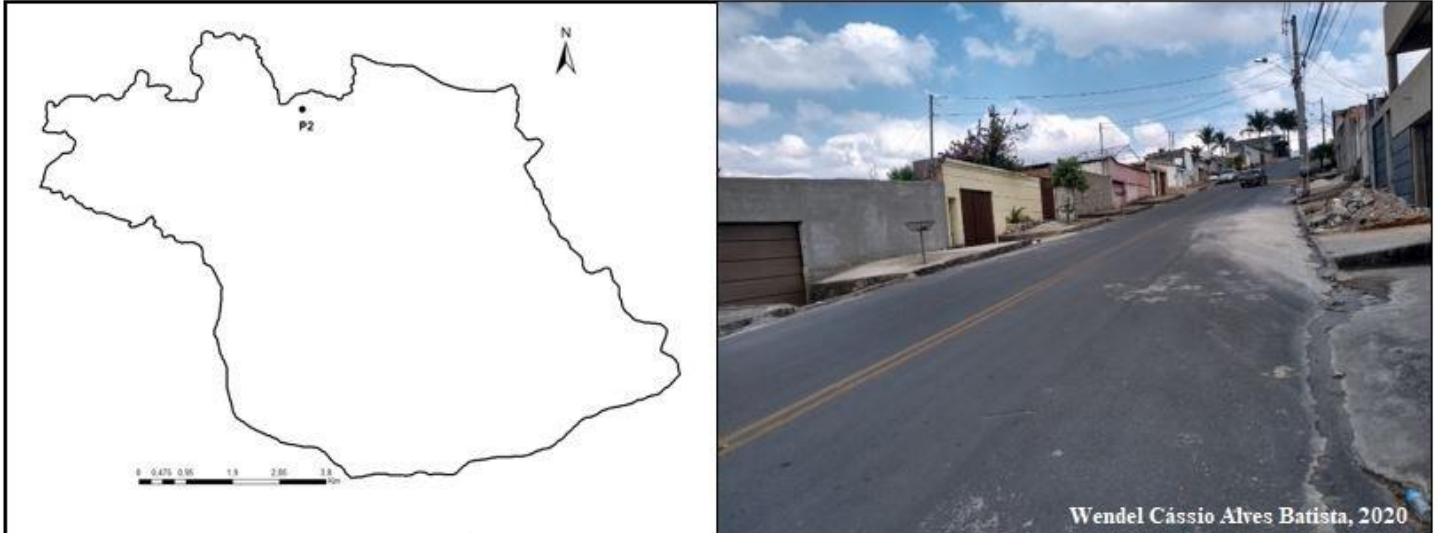
**Localização:**

Avenida Honório José Ferreira - Condomínio Quintas da Jangada.

**Descrição:**

O ponto 1 foi instalado em propriedade localizada no Condomínio Quintas da Jangada, nas proximidades da divisa entre os municípios de Sarzedo e Ibirité. O condomínio está próximo à lagoa da Petrobrás, às margens da Rodovia MG-040. Trata-se de um condomínio fechado, bastante arborizado e com menor grau de impermeabilização dos solos. Especificamente no local em que foi instalado o P1, a vegetação é composta por gramíneas e vegetação arborea esparsa. O abrigo foi instalado a 793 metros de altitude, em baixa vertente de uma colina côncava-convexa. O relevo no local é pouco acidentado, sem grandes desníveis topográficos. O fluxo de pessoas e veículos dentro do condomínio é baixo. Entretanto, na Rodovia MG-040, o fluxo de veículos é grande e contínuo durante todo o dia.

## PONTO 2: Santa Rosa



<b>Latitude:</b> 20°01'54,0" S	<b>Longitude:</b> 44°07'59,2" W	<b>Altitude:</b> 812m
-----------------------------------	------------------------------------	--------------------------

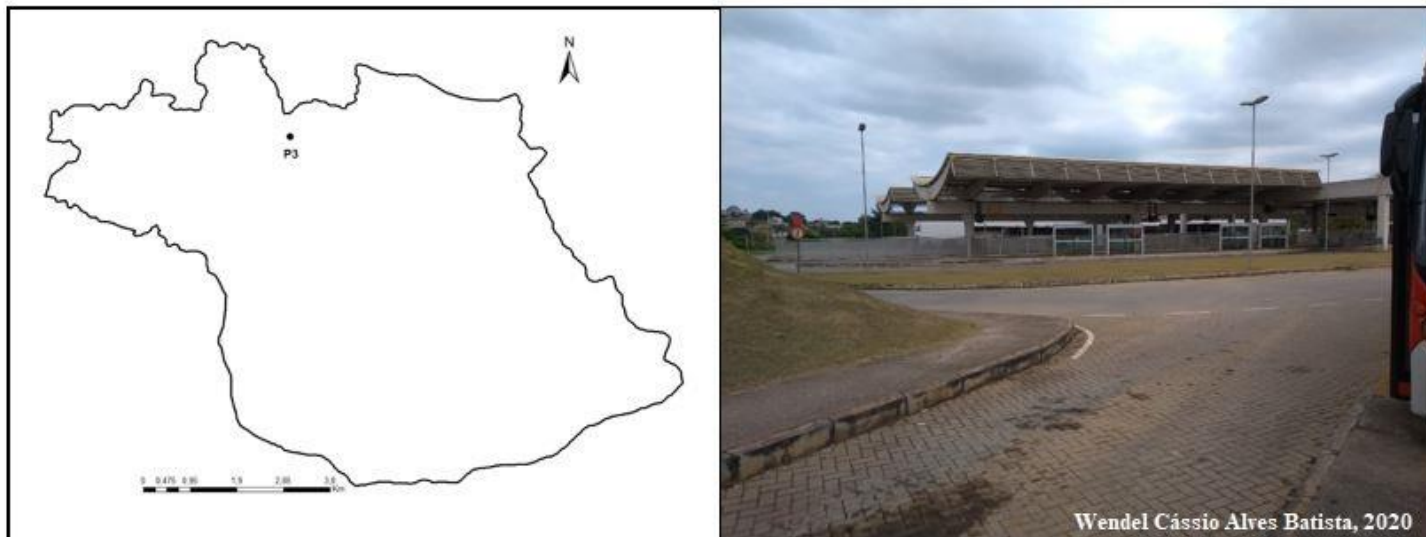
### Localização:

Rua Quatorze - Bairro Jardim Santa Rosa.

### Descrição:

O P2 foi instalado no bairro Jardim Santa Rosa, cujo uso predominante é residencial. As habitações são unifamiliares, raramente ultrapassando dois pavimentos. O bairro possui residências com quintais sem impermeabilização e presença de vegetação. Porém isso não é a realidade da maioria das casas, caracterizando a superfície do bairro com elevado grau de impermeabilização. O abrigo foi instalado a 812 metros de altitude, em média vertente de uma colina convexa. O fluxo de pessoas e veículos nas proximidades do local de coleta é moderado.

### PONTO 3: Terminal Metropolitano



**Latitude:**

20°02'05,7" S

**Longitude:**

44°08'09,9" W

**Altitude:**

776m

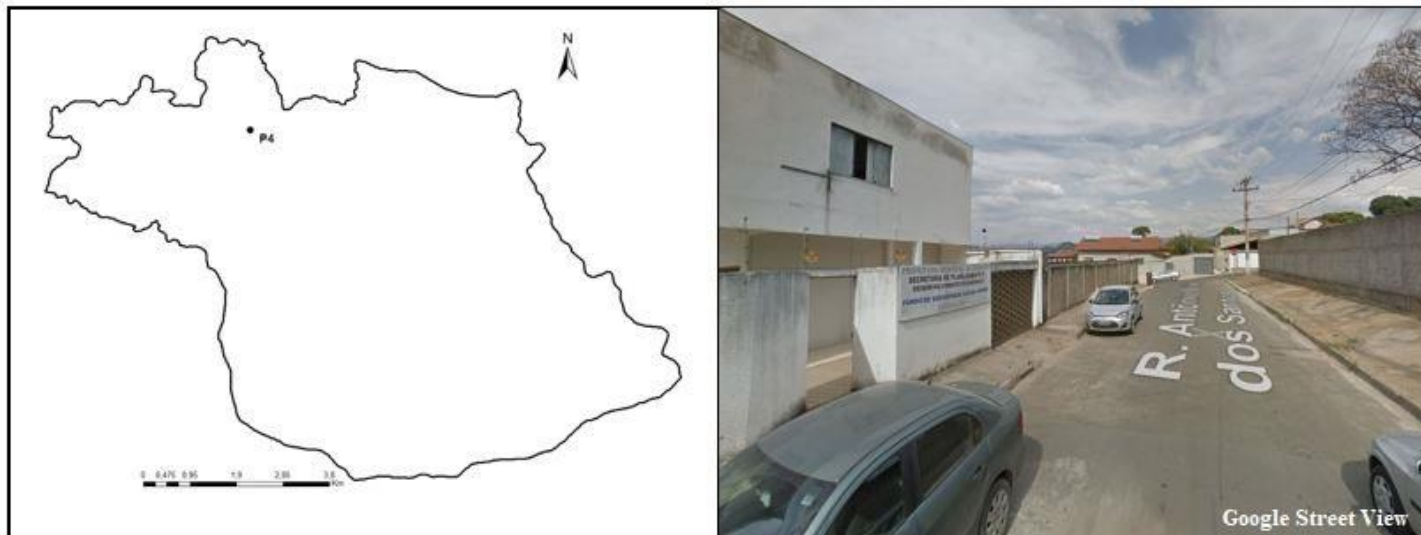
**Localização:**

Avenida José Luiz - Bairro Santa Rosa de Lima (Terminal Metropolitano de Sarzedo).

**Descrição:**

O P3 foi instalado dentro do Terminal Metropolitano de Sarzedo, às margens da Rodovia MG-040. O fluxo de pessoas e veículos é contante e intenso durante todo o dia. O grau de impermeabilização nas proximidades do local de coleta é relativamente baixo, com pequenas áreas ocupadas por vegetação baixa. A ausência de vegetação arborea é quase total, sendo restrita à presença de palmeiras nas margens da rodovia. O abrigo foi instalado a 776 metros de altitude, em fundo de vale aberto.

### PONTO 4: Centro



**Latitude:**

20°02'04,4" S

**Longitude:**

44°08'36,1" W

**Altitude:**

791m

**Localização:**

Rua Antônio Dias dos Santos - Centro (Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico).

**Descrição:**

O ponto 4 foi instalado no bairro Centro, nas dependências da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico de Sarzedo. Predominam nesse bairro edificações destinadas ao comércio e aos serviços, porém, também são observadas unidades residenciais, em áreas periféricas ao "hipercentro". De modo geral, as edificações raramente ultrapassam dois pavimentos. A superfície possui elevado grau de impermeabilização e a vegetação arborea é escassa, sendo mais comum nas unidades residenciais. O fluxo de pessoas e veículos é intenso e contínuo durante todo o dia. O abrigo foi instalado a 791 metros de altitude, em baixa vertente de uma colina convexa.



## PONTO 5: Área Industrial



**Latitude:**

20°01'14,8" S

**Longitude:**

44°08'37,1" W

**Altitude:**

755m

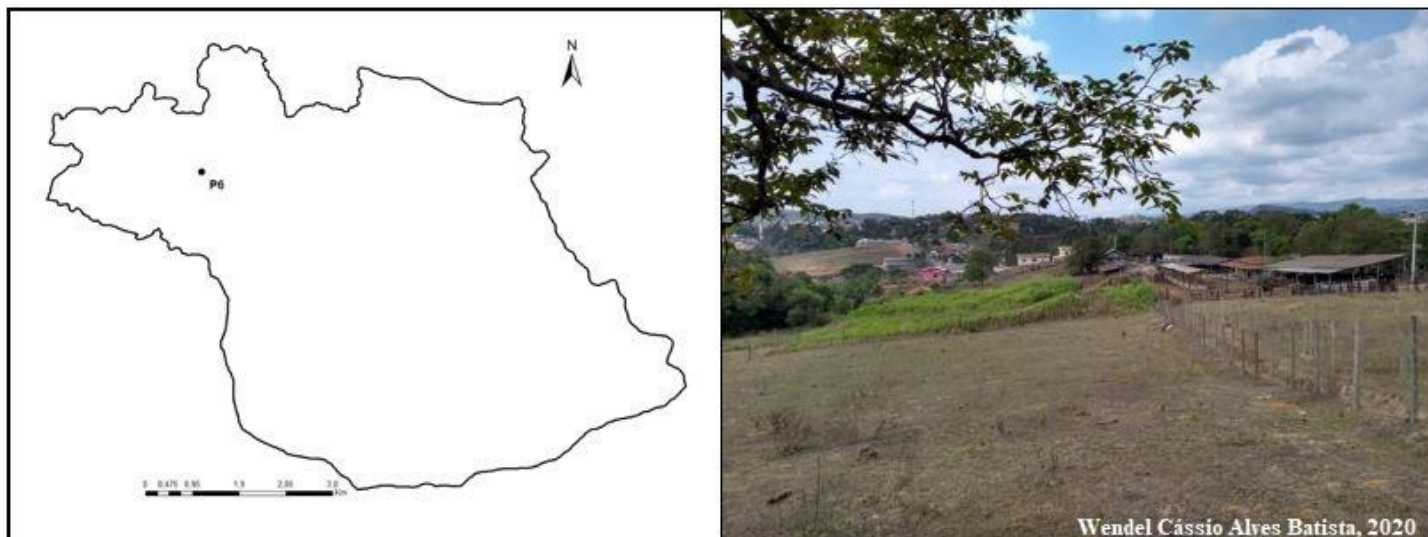
**Localização:**

Rua São Cosme e Damião - Bairro Cachoeira.

**Descrição:**

O P5 foi instalado na área destinada às indústrias no município, nas dependências da MPC Service. A área é caracterizada por grandes lotes, ocupados por indústrias de diversos segmentos. As superfícies são bastante impermeabilizadas e a vegetação escassa, concentrada em alguns pontos. O fluxo de veículos no local é moderado, sendo mais intenso na Avenida São Lucas (principal via de acesso ao município de Betim). O abrigo foi instalado a 755 metros de altitude em baixa vertente de uma colina côncava-convexa.

### PONTO 6: Fazenda Matter



<b>Latitude:</b> 20°02'27,1" S	<b>Longitude:</b> 44°09'09,9" W	<b>Altitude:</b> 780m
-----------------------------------	------------------------------------	--------------------------

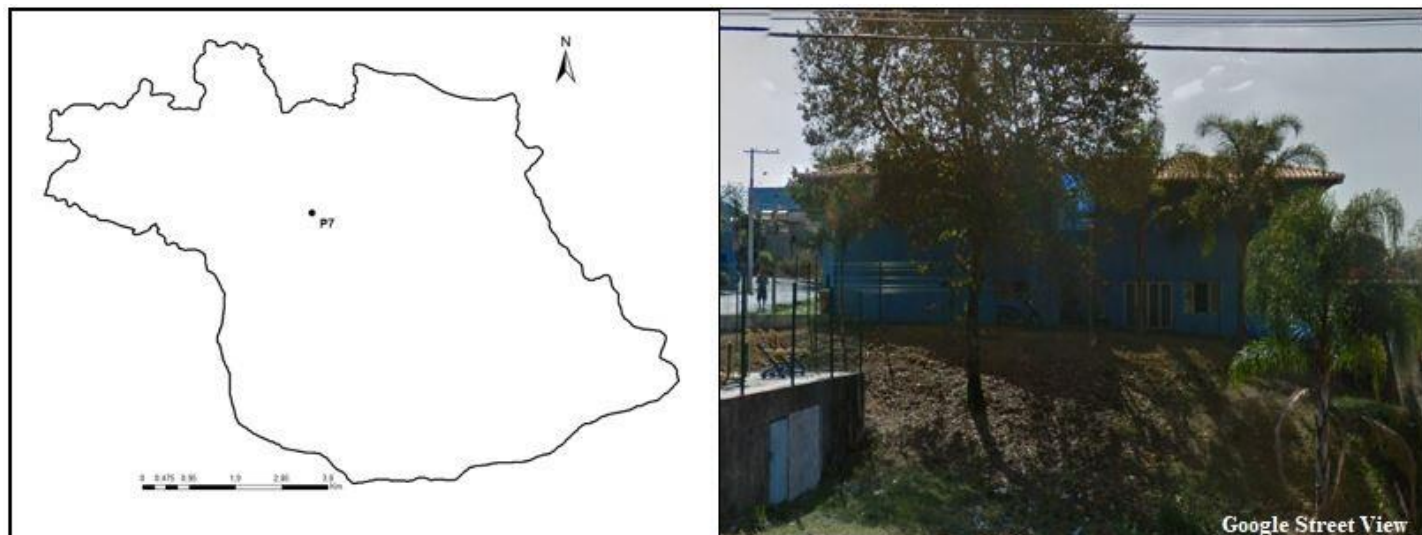
**Localização:**

Rua Elói Cândido Melo - Bairro Santa Mônica.

**Descrição:**

O P6 foi instalado na propriedade Fazenda Matter. Apesar de estar inserido no perímetro urbano do município, o local apresenta características rurais, com o uso destinado à pecuária. As superfícies nas proximidades do abrigo são utilizadas para a pastagem, com ausência de vegetação arbórea, a qual fica restrita à pequenas porções de matas de galeria. O fluxo de pessoas e veículos é baixo a moderado. Em função da proximidade à uma escola, em determinados horários do dia, esse fluxo tende a aumentar. O abrigo foi instalado a 780 metros de altitude, em média vertente de uma colina convexa.

## PONTO 7: Bairro Brasília



**Latitude:**

20°02'57,0" S

**Longitude:**

44°07'54,2" W

**Altitude:**

815m

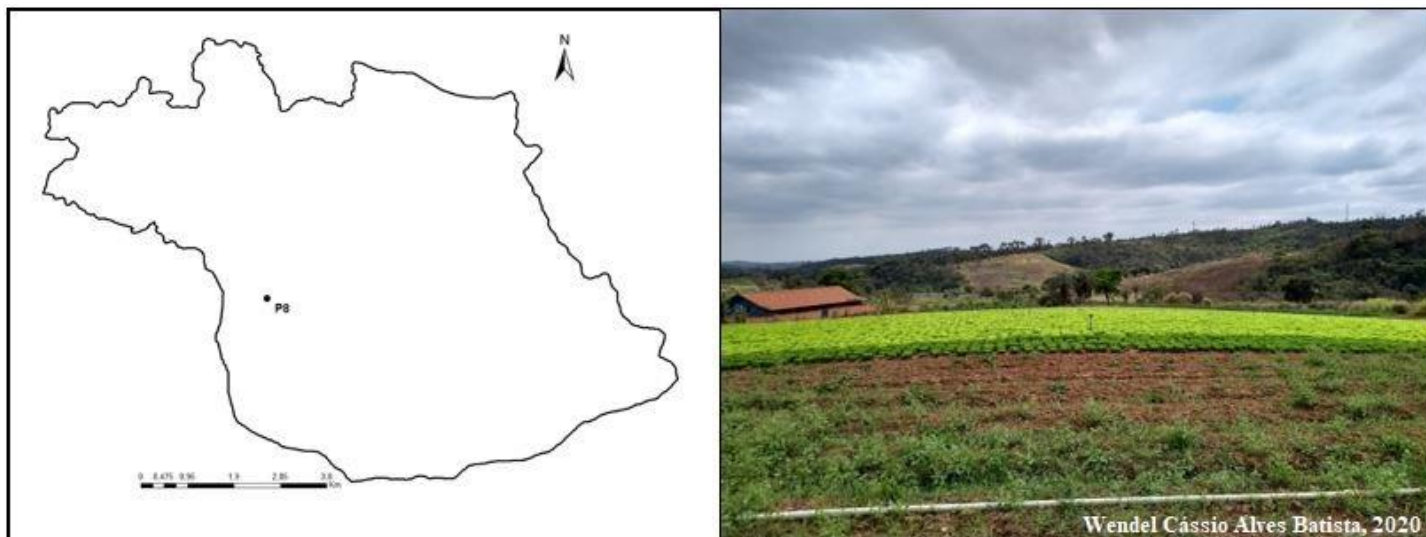
**Localização:**

Rua Iolanda Martins - Bairro Brasília.

**Descrição:**

O P7 foi instalado no bairro Brasília, nas dependências da Unidade de Saúde Antônio Afonso Magalhães. O bairro é predominantemente residencial, com habitações unifamiliares e edificações que raramente ultrapassam dois pavimentos. A superfície apresenta elevado grau de impermeabilização e a vegetação é escassa, sendo mais comuns em alguns quintais. O fluxo de pessoas e veículos é moderado e contínuo nos arredores do local de coleta, tanto em função da unidade de saúde, quanto pela presença de uma escola nas proximidades. O abrigo foi instalado a 815 metros de altitude, em baixa vertente de uma colina côncava-convexa. O relevo nesse local é bastante acidentado, caracterizado pela transição entre as colinas côncavo-convexas de baixa declividade da porção norte do município e as escarpas da Serra do Curral.

## PONTO 8: Lambari



**Latitude:**

20°03'54,8" S

**Longitude:**

44°08'23,2" W

**Altitude:**

835m

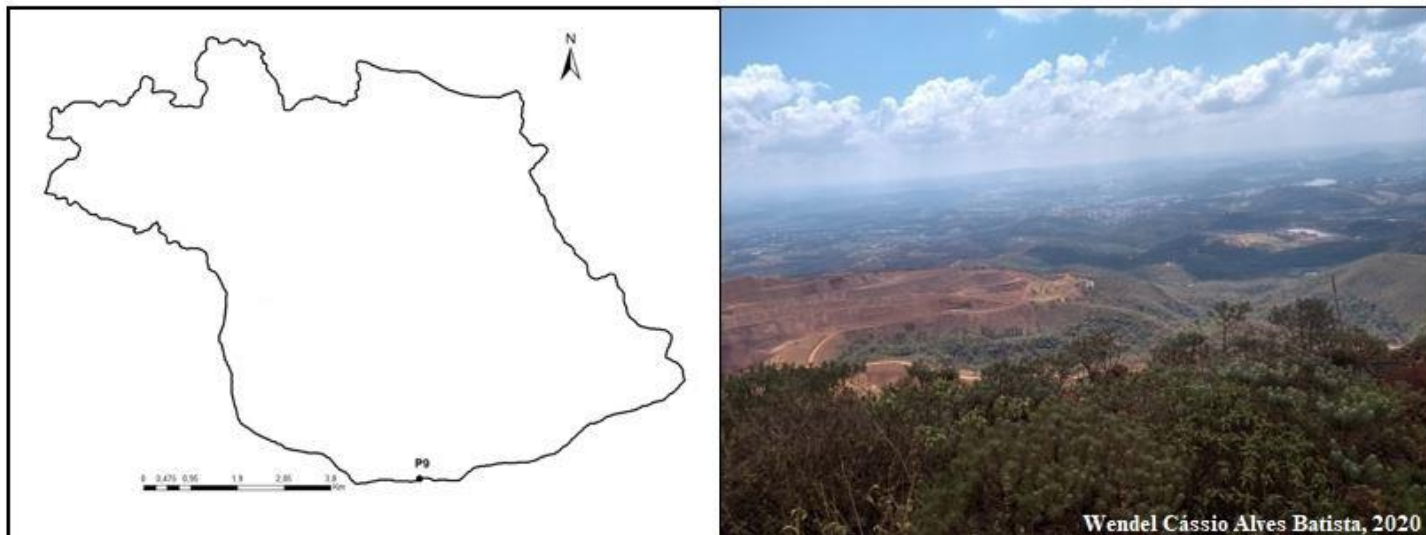
**Localização:**

Comunidade Lambari.

**Descrição:**

O ponto 8 foi instalado na Comunidade Lambari, local amplamente dedicado à agricultura familiar. Os solos são ocupados pelas lavouras - sazonais e perenes - e, próximo ao local de coleta, observa-se a presença de uma mata semidecídua. O fluxo de pessoas e veículos é baixo, sendo basicamente composto pelos donos das propriedades e trabalhadores das lavouras. O abrigo foi instalado a 835 metros de altitude, no topo de uma colina côncavo-convexa. O relevo é bastante acidentado, caracterizado pela transição entre as colinas côncavo-convexas de baixa declividade da porção norte do município e as escarpas da Serra do Curral.

### PONTO 9: Itaminas



**Latitude:**

20°05'53,0" S

**Longitude:**

44°06'45,3" W

**Altitude:**

1418m

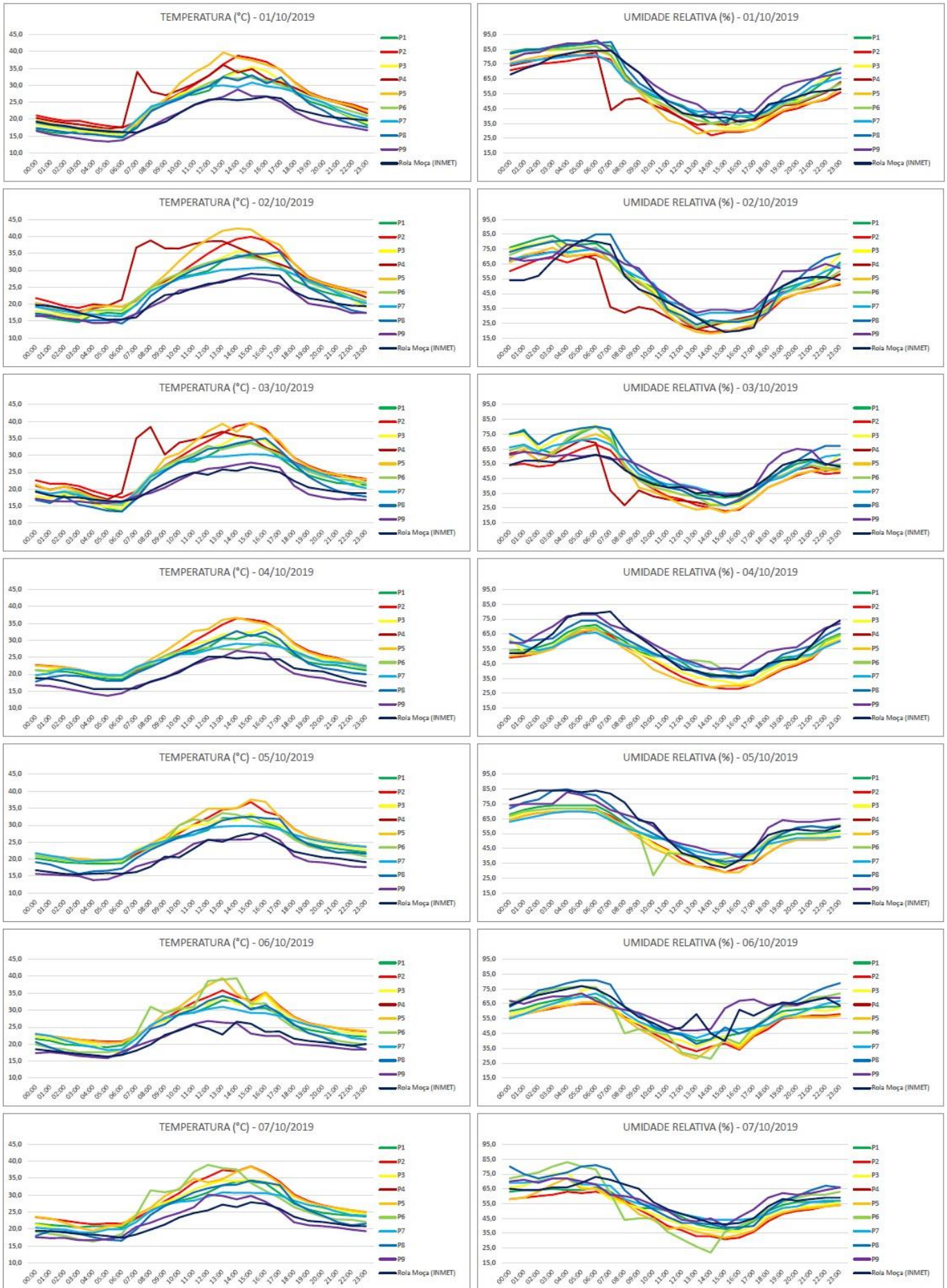
**Localização:**

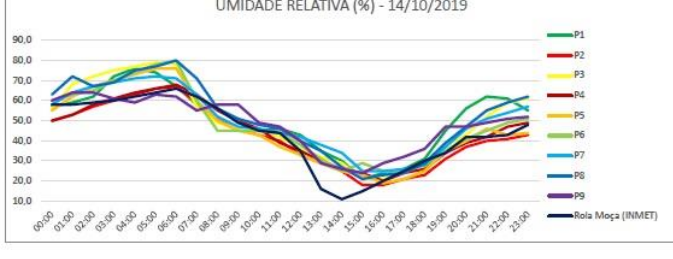
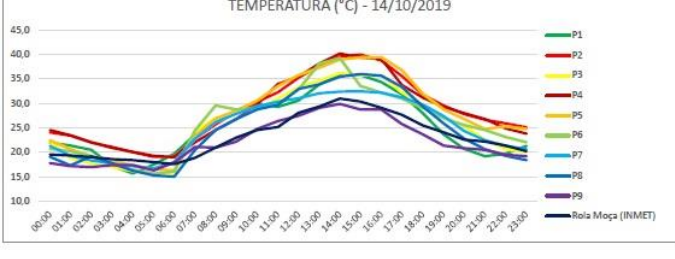
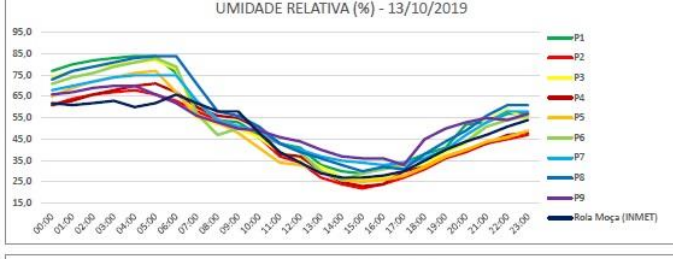
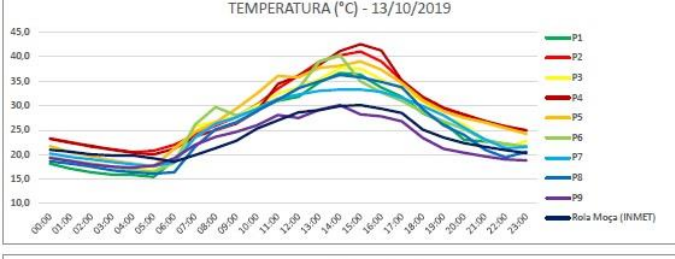
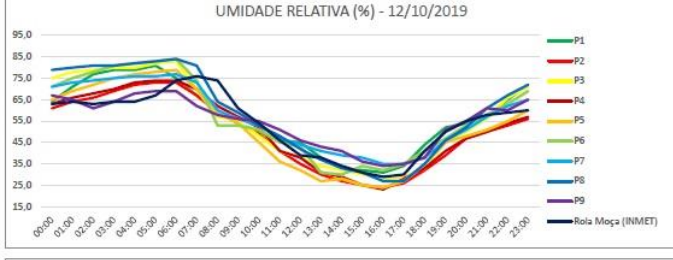
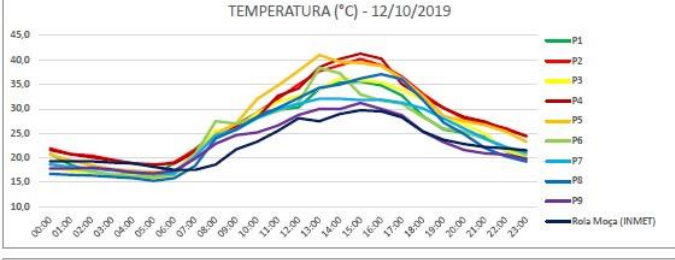
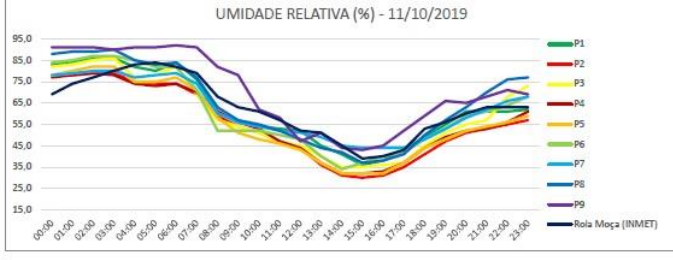
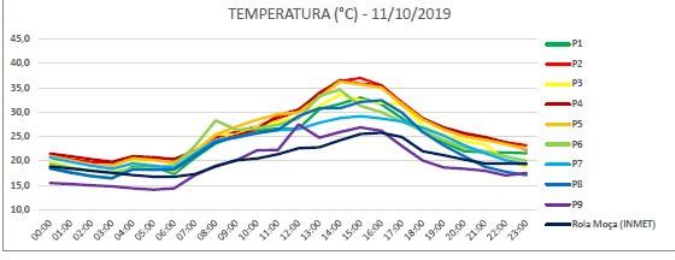
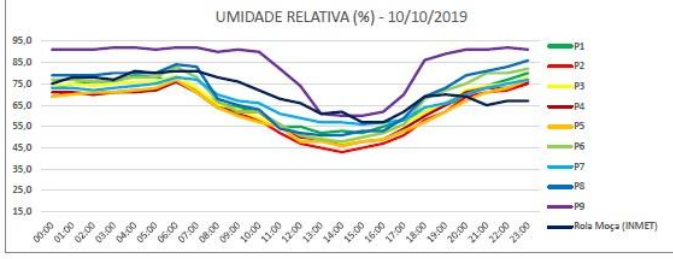
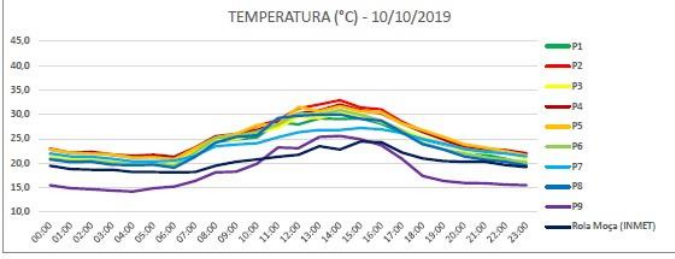
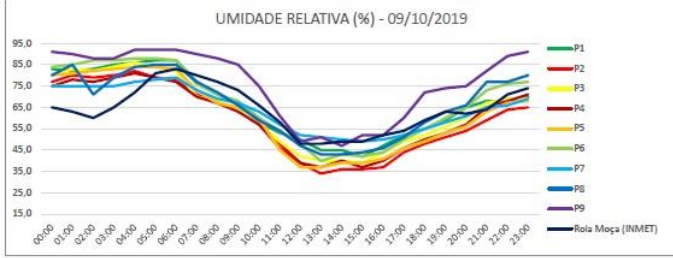
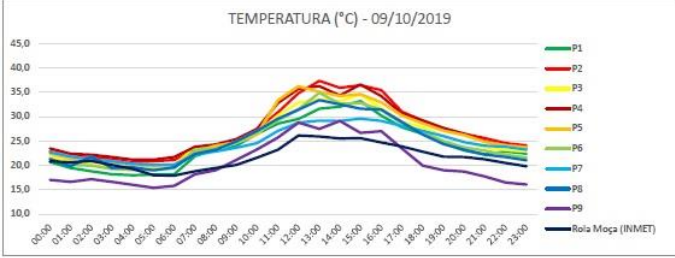
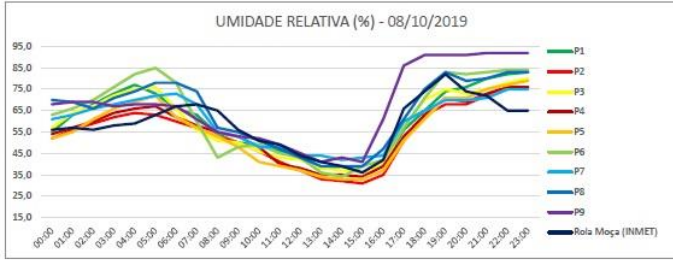
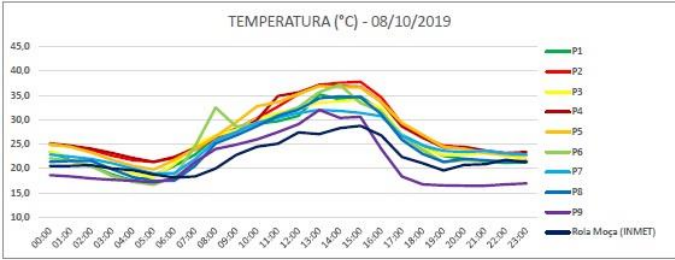
Itaminas Comércio de Minério S/A.

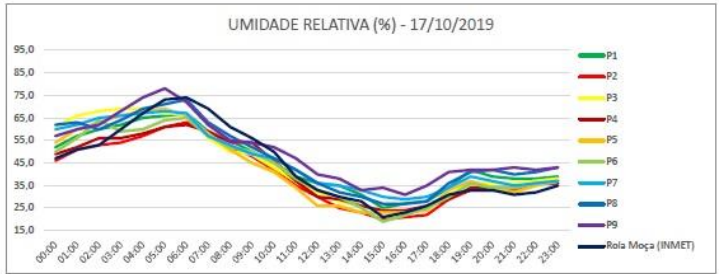
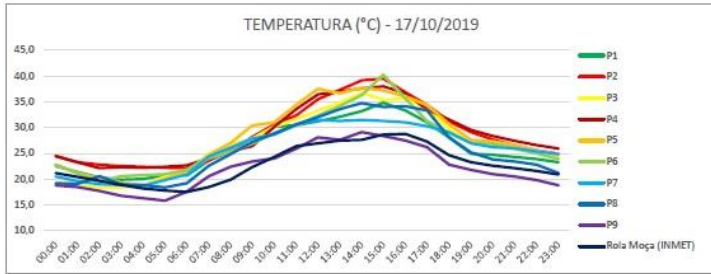
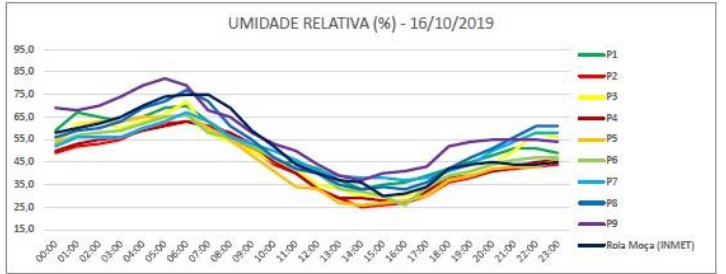
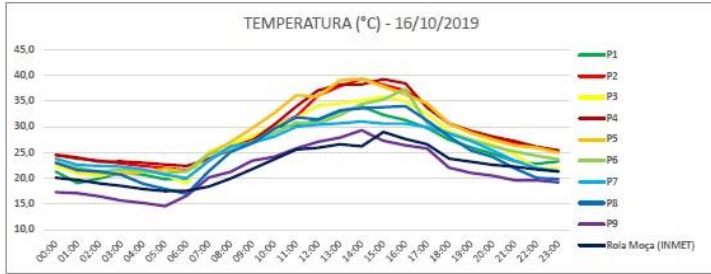
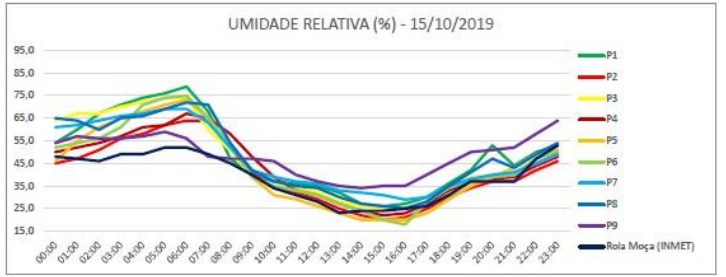
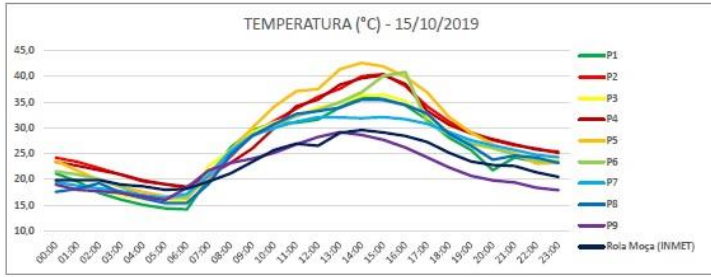
**Descrição:**

O ponto 9 foi instalado em área destinada à mineração, na porção sul de Sarzedo, próximo à divisa com o município de Brumadinho. O abrigo foi instalado em topo de morro, a 1418 metros de altitude, sendo o mais elevado topograficamente entre todos os pontos amostrais. A vegetação é marcada por campos cerrados e campos de altitude. O fluxo de pessoas e veículos é baixo, sendo restrito a trabalhadores e maquinários de mineração. O relevo é bastante acidentado, em conformidade com as configurações da Serra do Curral.

# APÊNDICE C – Gráficos com comportamentos diários da Temperatura e da Umidade Relativa do ar, durante o Campo 1

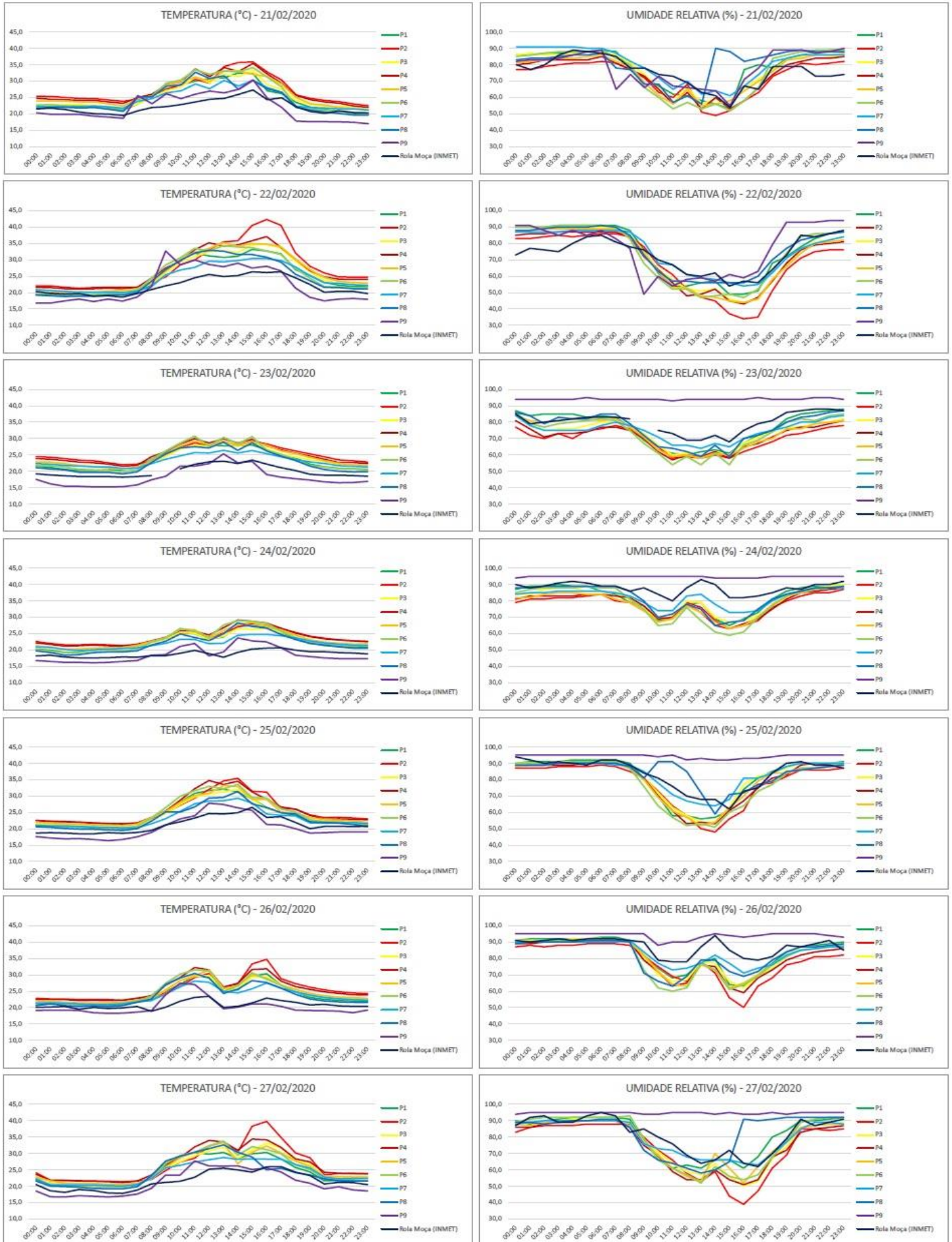


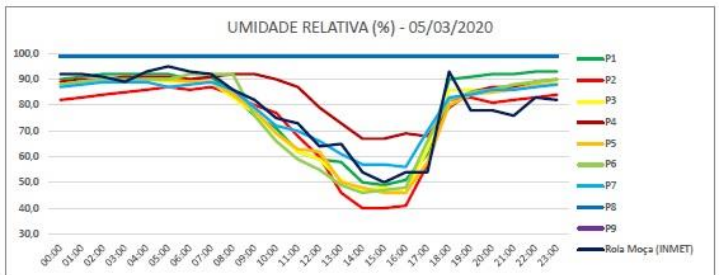
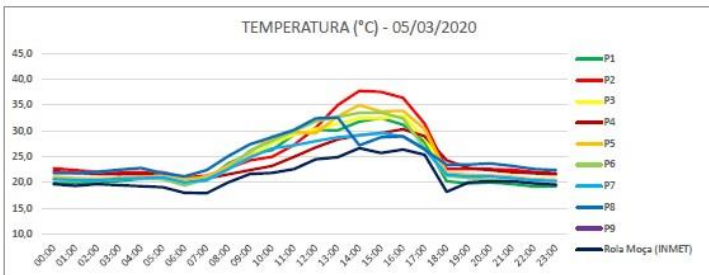
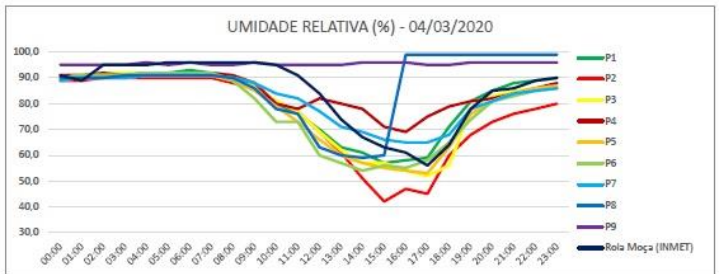
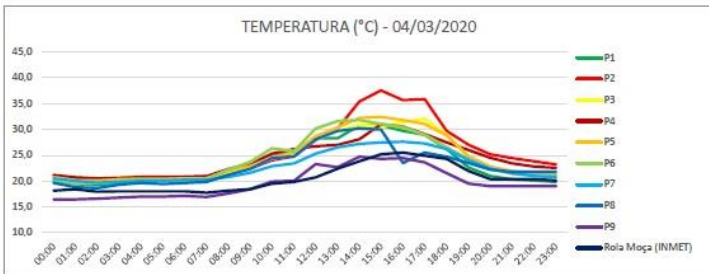
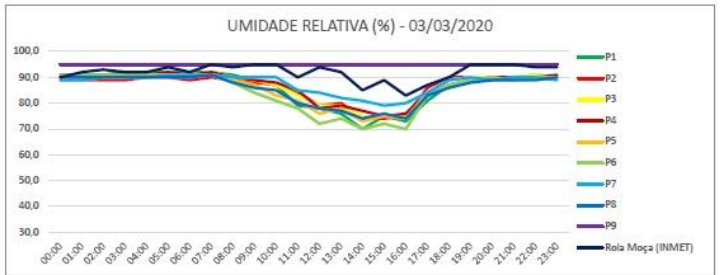
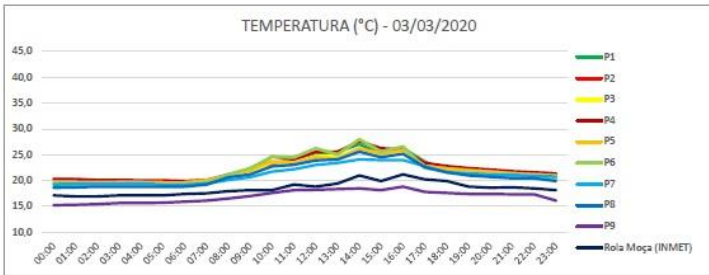
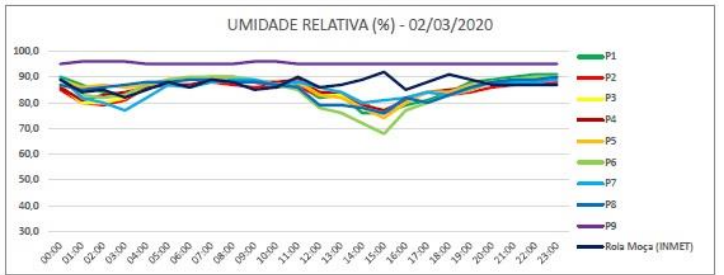
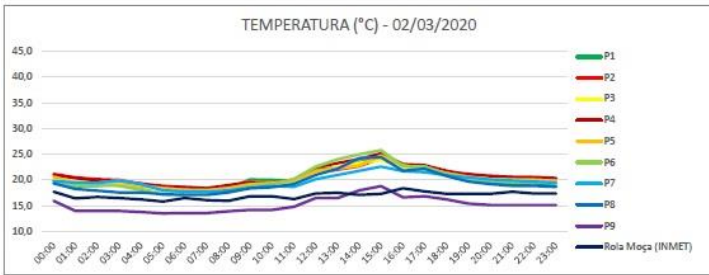
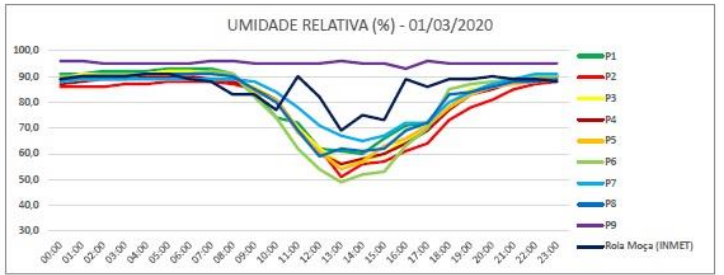
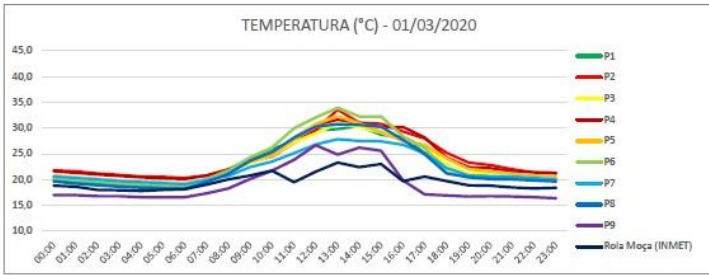
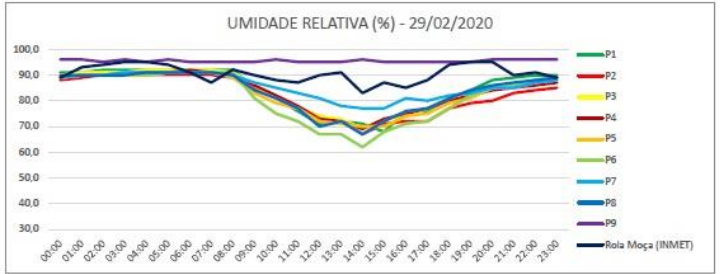
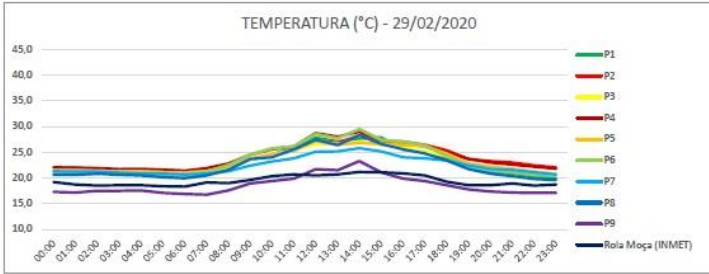
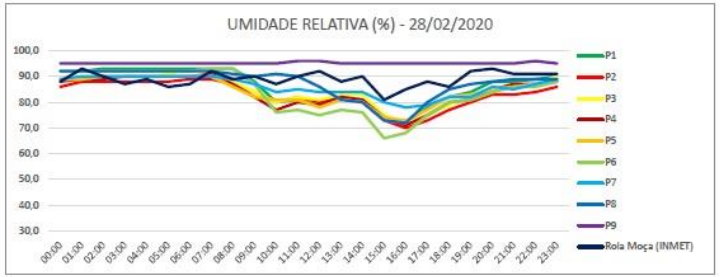
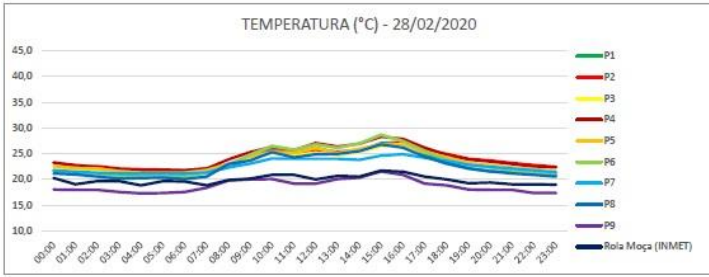


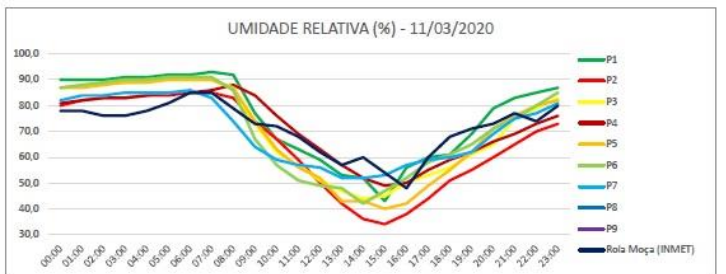
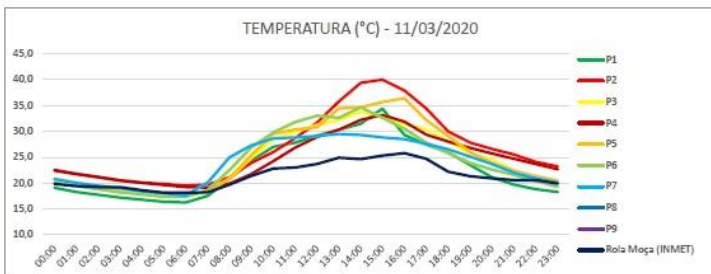
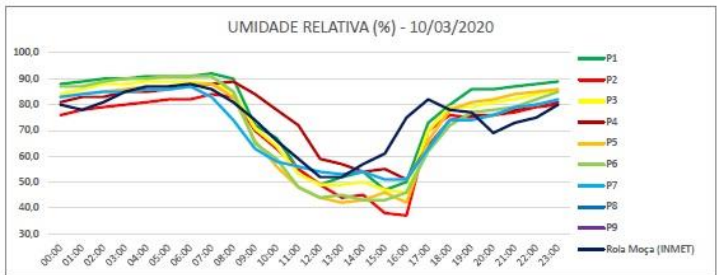
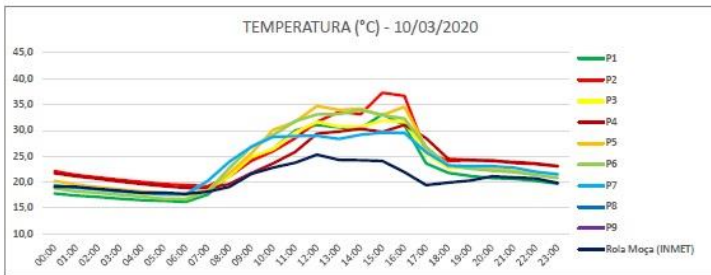
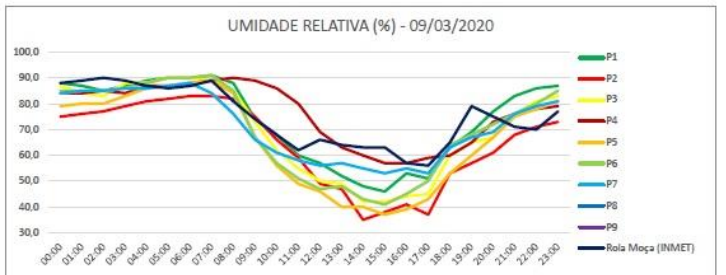
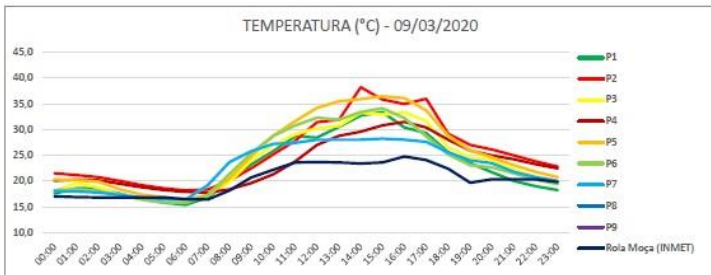
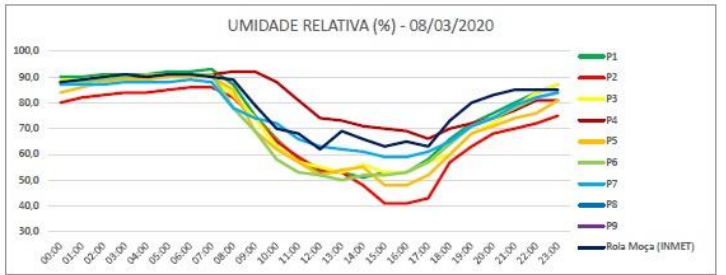
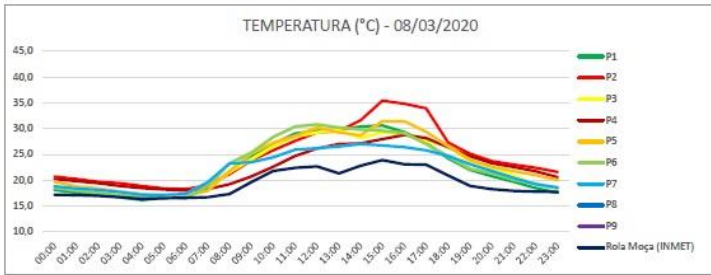
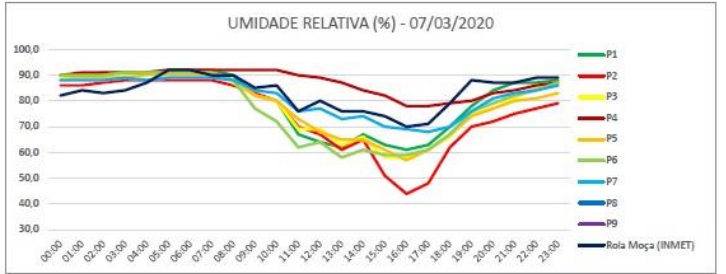
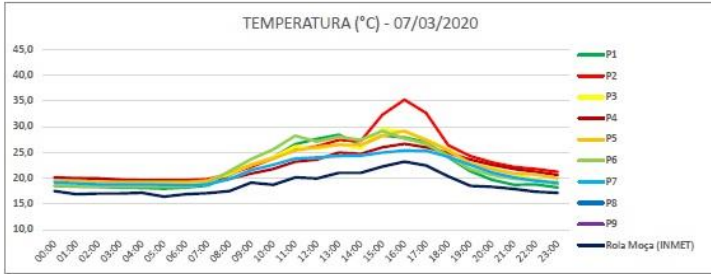
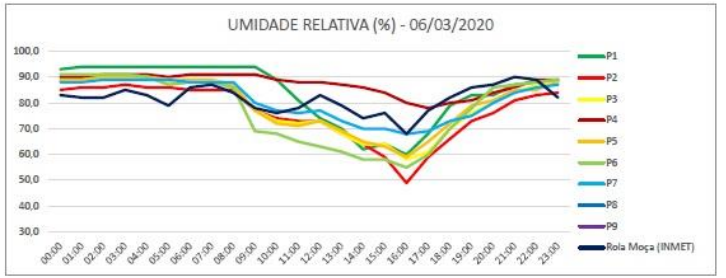
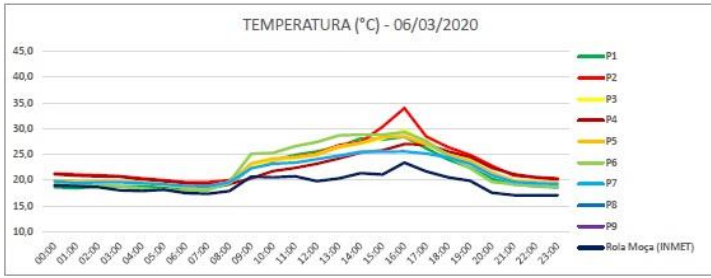




## APÊNDICE D – Gráficos com comportamentos diários da Temperatura e da Umidade Relativa do ar, durante o Campo 2

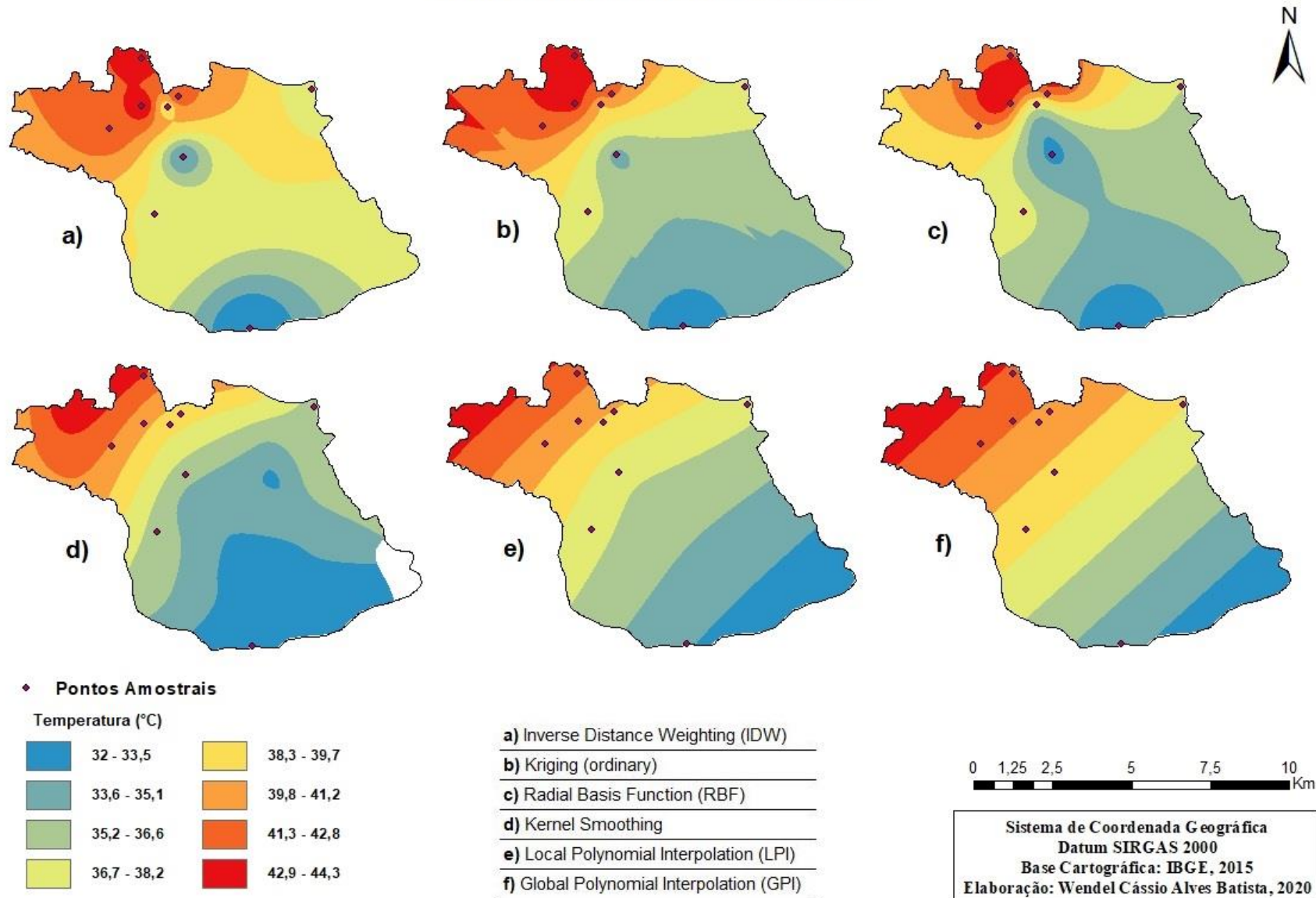




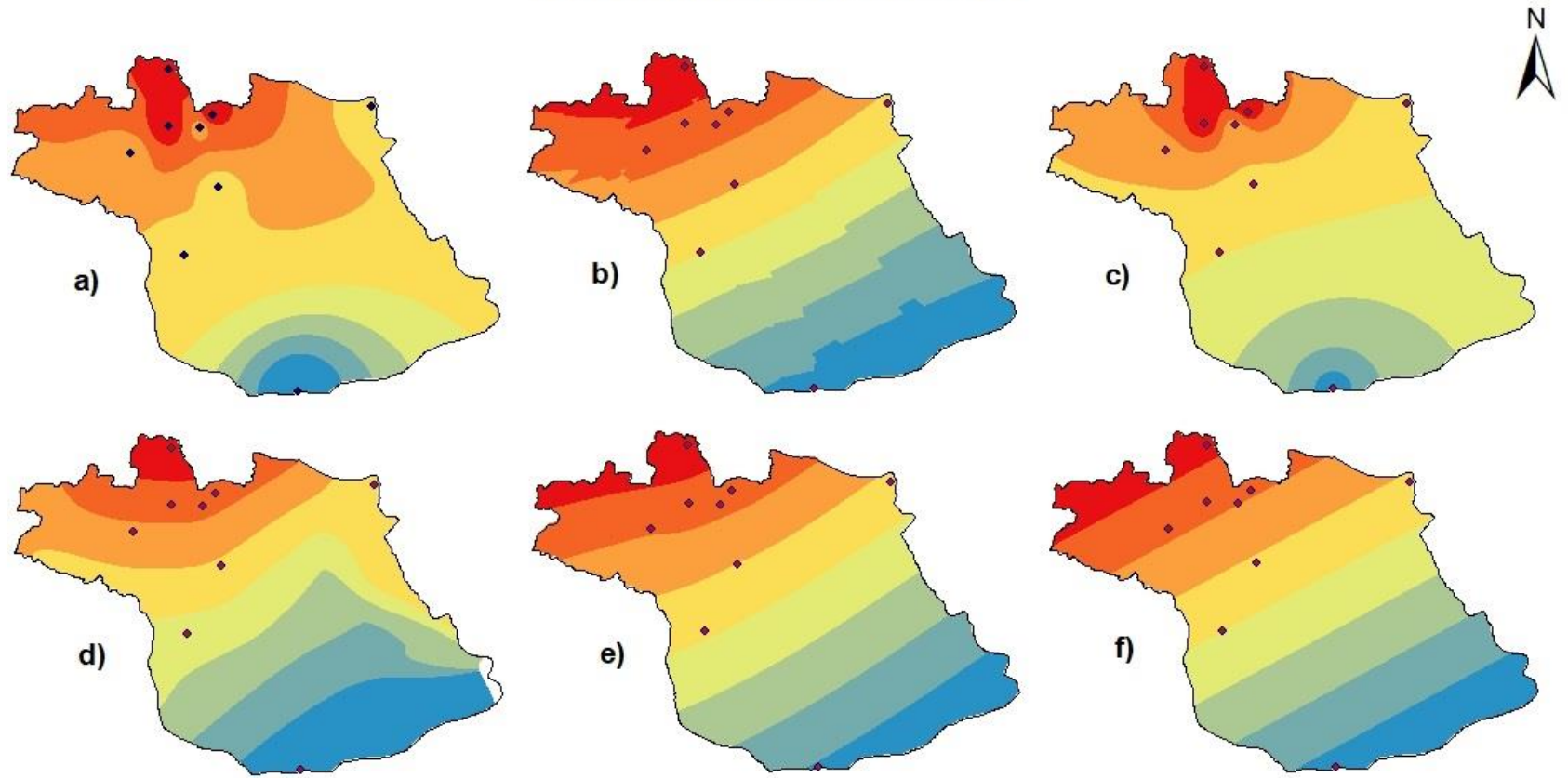


## APÊNDICE E – Testes de modelos de interpoladores para Temperatura e Umidade Relativa – Campo 1

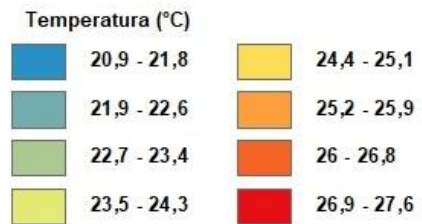
### TEMPERATURA MÁXIMA - CAMPO 1



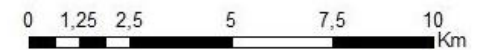
## TEMPERATURA MÉDIA - CAMPO 1



◆ **Pontos Amostrais**

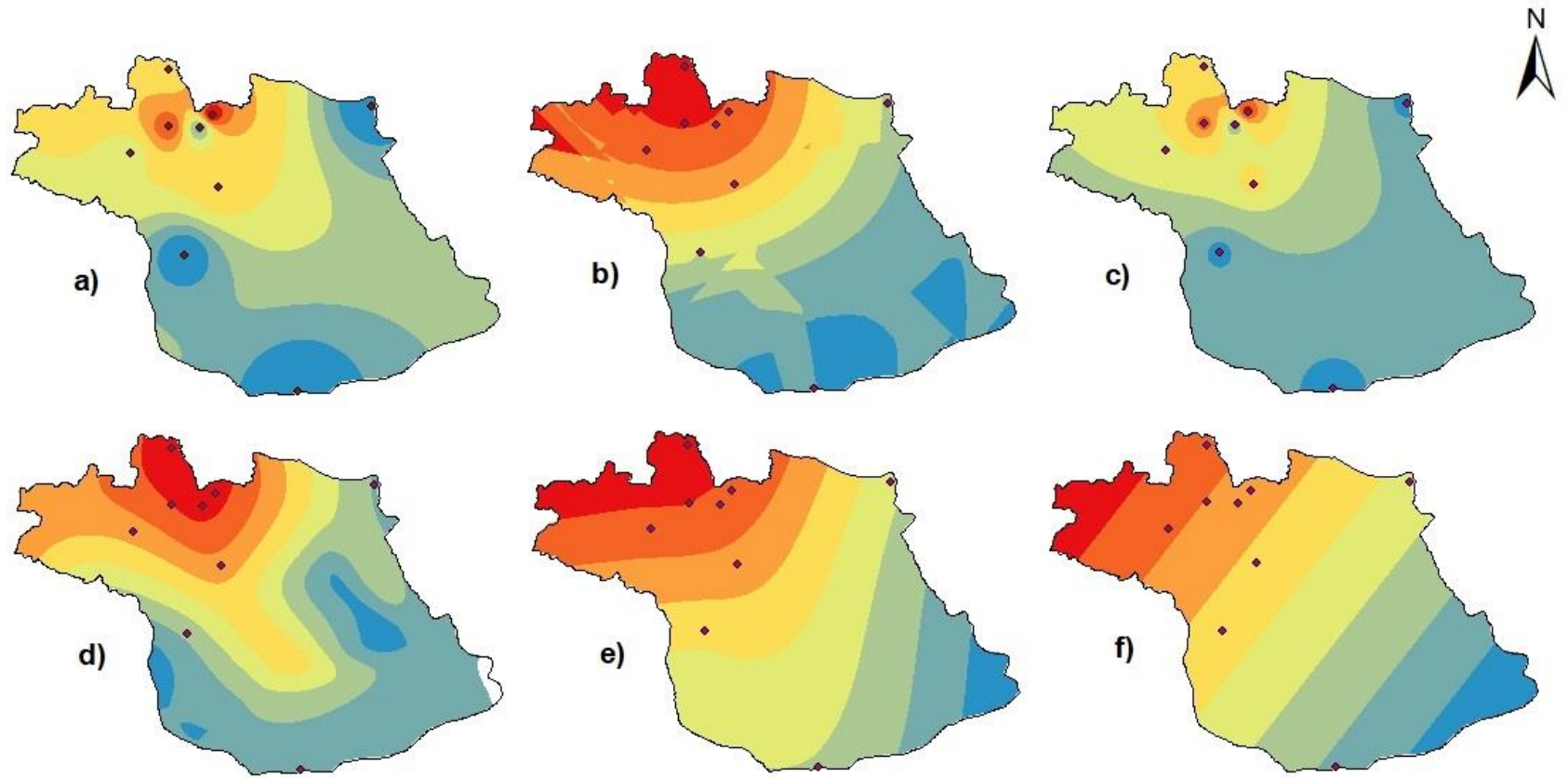


- a) Inverse Distance Weighting (IDW)
- b) Kriging (ordinary)
- c) Radial Basis Function (RBF)
- d) Kernel Smoothing
- e) Local Polynomial Interpolation (LPI)
- f) Global Polynomial Interpolation (GPI)

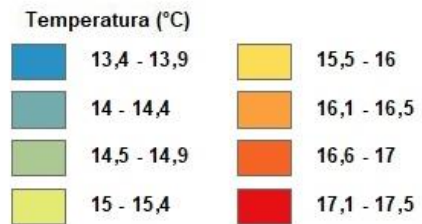


Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum SIRGAS 2000  
Base Cartográfica: IBGE, 2015  
Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020

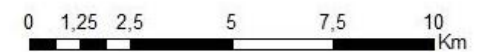
## TEMPERATURA MÍNIMA - CAMPO 1



◆ **Pontos Amostrais**

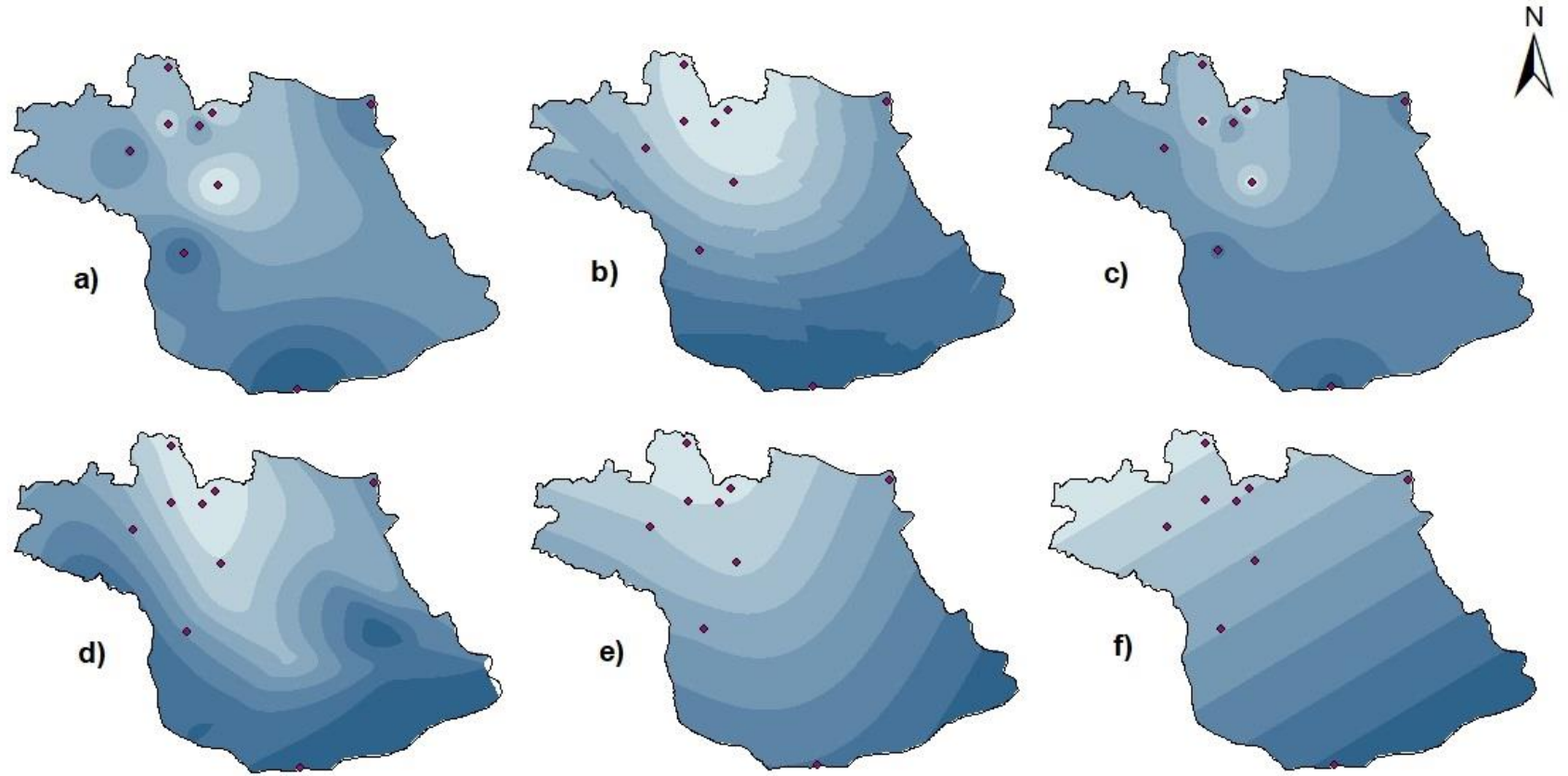


- a) Inverse Distance Weighting (IDW)
- b) Kriging (ordinary)
- c) Radial Basis Function (RBF)
- d) Kernel Smoothing
- e) Local Polynomial Interpolation (LPI)
- f) Global Polynomial Interpolation (GPI)



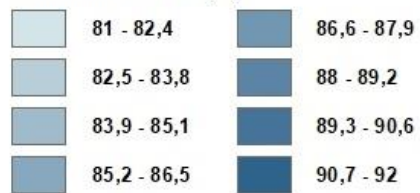
Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum SIRGAS 2000  
Base Cartográfica: IBGE, 2015  
Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020

## UMIDADE RELATIVA MÁXIMA - CAMPO 1



◆ **Pontos Amostrais**

**Umidade Relativa (%)**



**a)** Inverse Distance Weighting (IDW)

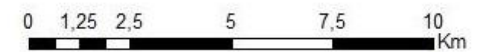
**b)** Kriging (ordinary)

**c)** Radial Basis Function (RBF)

**d)** Kernel Smoothing

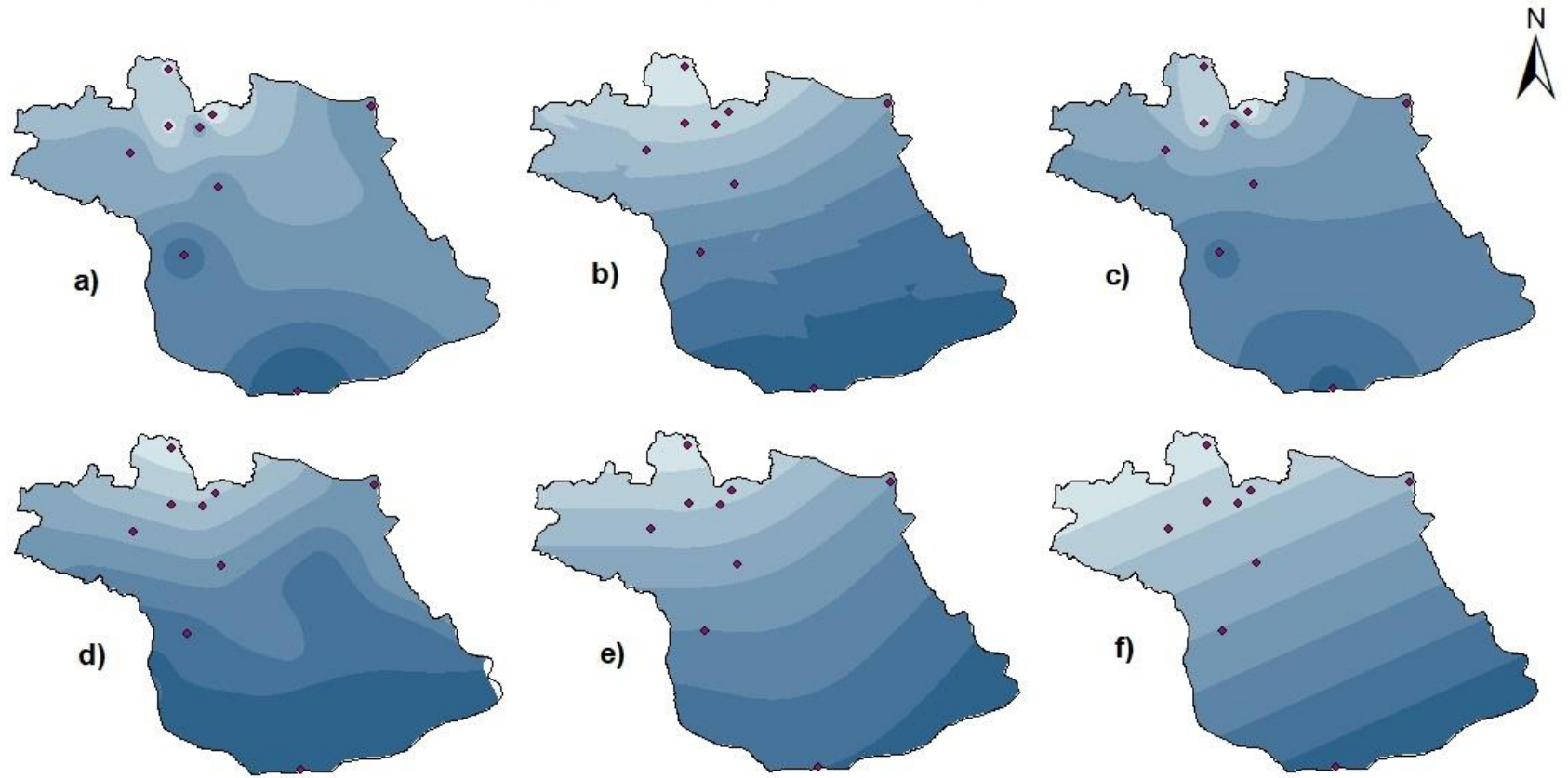
**e)** Local Polynomial Interpolation (LPI)

**f)** Global Polynomial Interpolation (GPI)



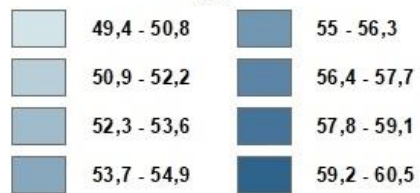
Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum SIRGAS 2000  
Base Cartográfica: IBGE, 2015  
Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020

## UMIDADE RELATIVA MÉDIA - CAMPO 1



◆ **Pontos Amostrais**

**Umidade Relativa (%)**



**a)** Inverse Distance Weighting (IDW)

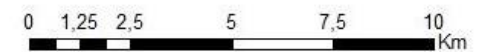
**b)** Kriging (ordinary)

**c)** Radial Basis Function (RBF)

**d)** Kernel Smoothing

**e)** Local Polynomial Interpolation (LPI)

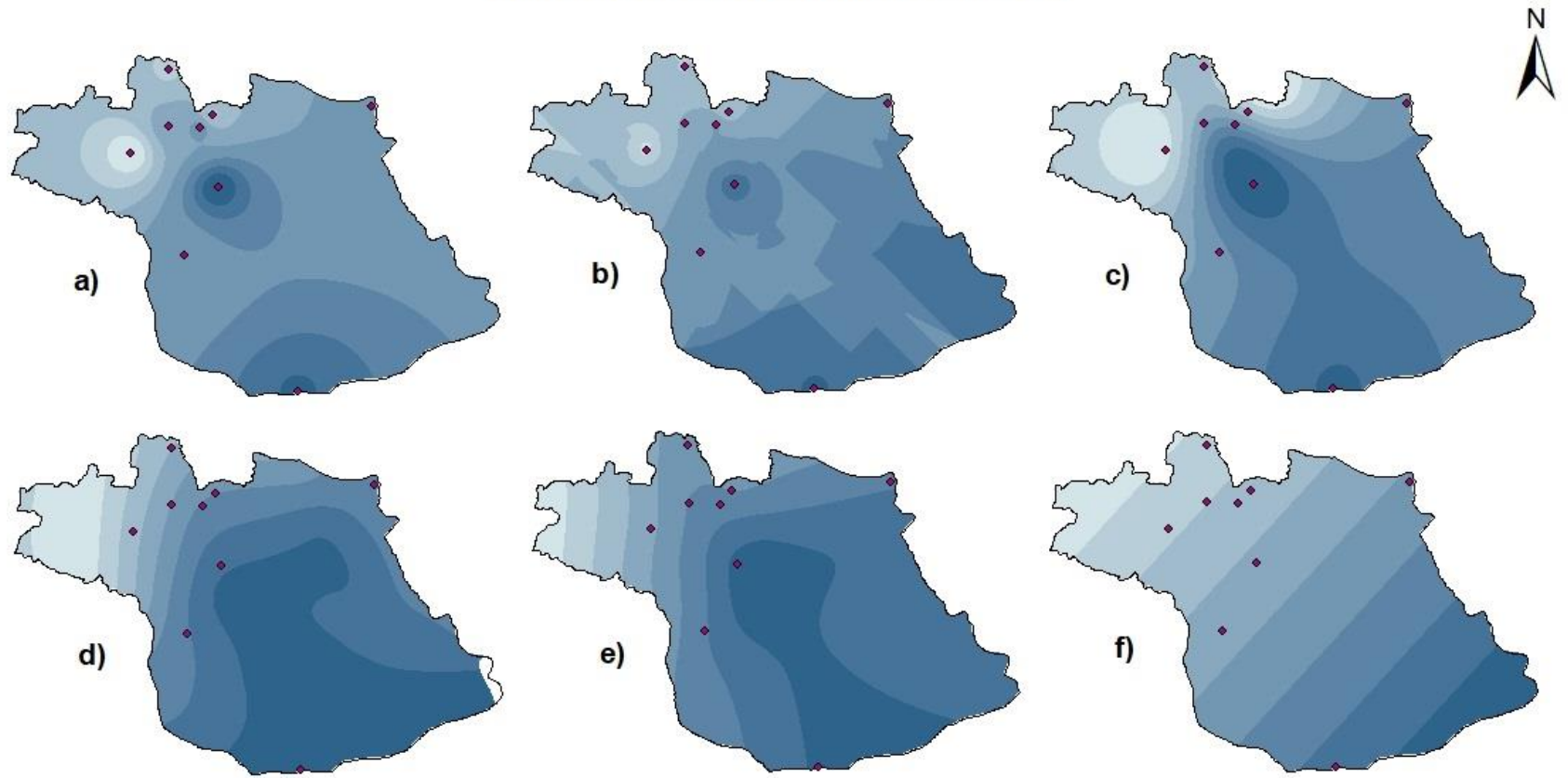
**f)** Global Polynomial Interpolation (GPI)



Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum SIRGAS 2000  
Base Cartográfica: IBGE, 2015  
Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020



### UMIDADE RELATIVA MÍNIMA - CAMPO 1



◆ **Pontos Amostrais**



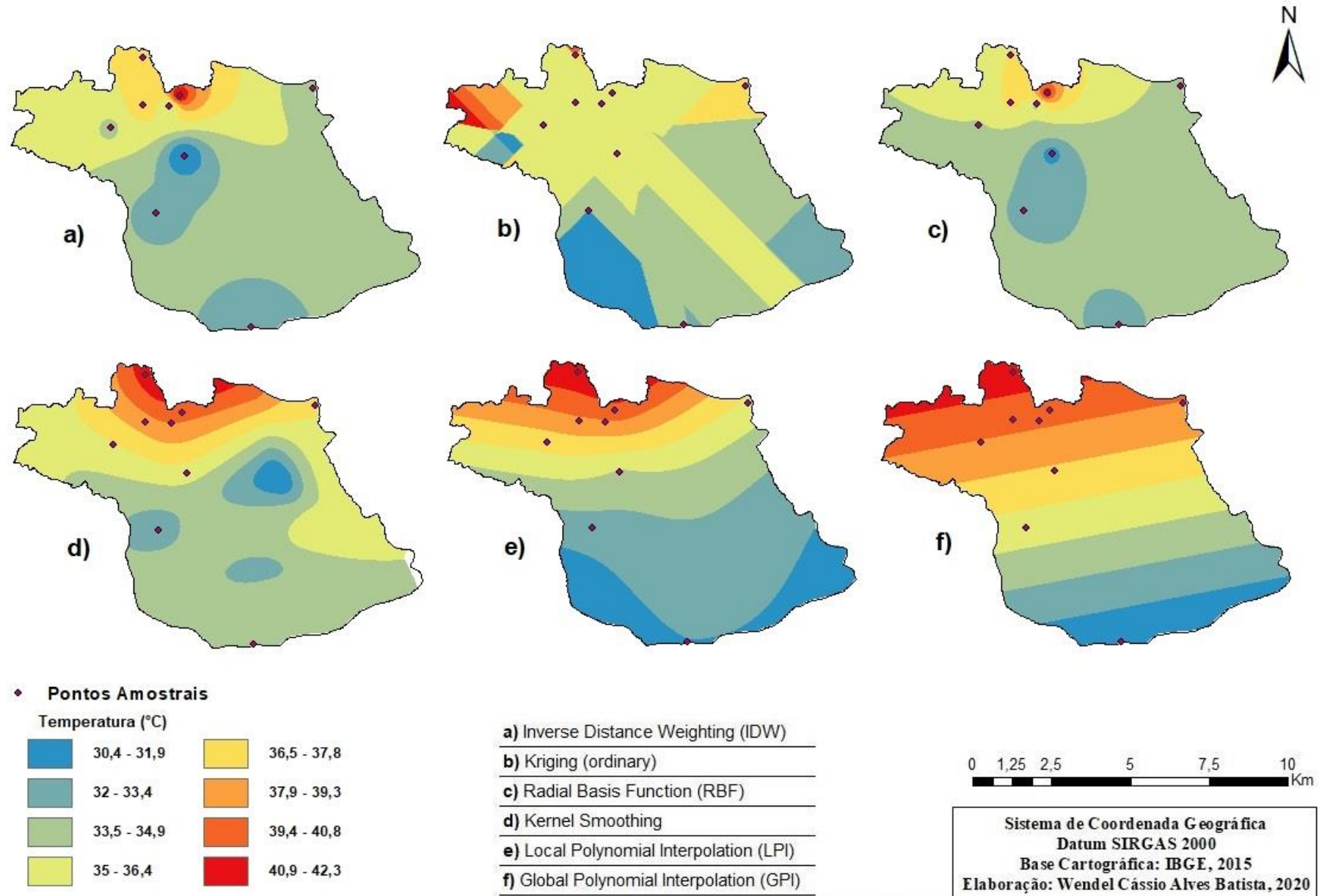
- a) Inverse Distance Weighting (IDW)  
 b) Kriging (ordinary)  
 c) Radial Basis Function (RBF)  
 d) Kernel Smoothing  
 e) Local Polynomial Interpolation (LPI)  
 f) Global Polynomial Interpolation (GPI)



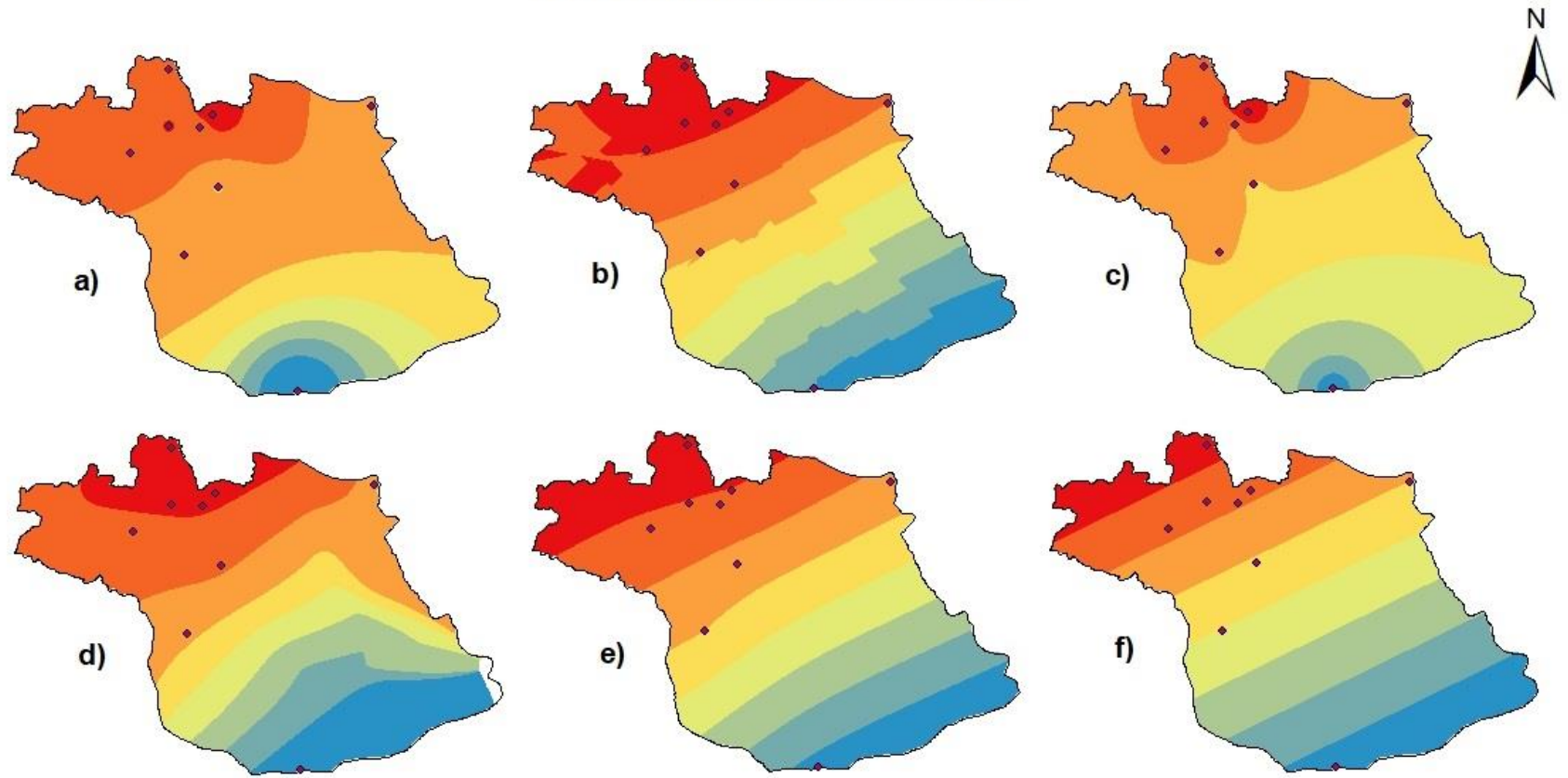
Sistema de Coordenada Geográfica  
 Datum SIRGAS 2000  
 Base Cartográfica: IBGE, 2015  
 Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020

## APÊNDICE F – Testes de modelos de interpoladores para Temperatura e Umidade Relativa – Campo 2

### TEMPERATURA MÁXIMA - CAMPO 2

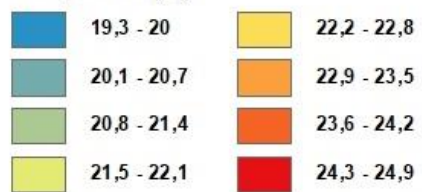


## TEMPERATURA MÉDIA - CAMPO 2



♦ **Pontos Amostrais**

Temperatura (°C)



a) Inverse Distance Weighting (IDW)

b) Kriging (ordinary)

c) Radial Basis Function (RBF)

d) Kernel Smoothing

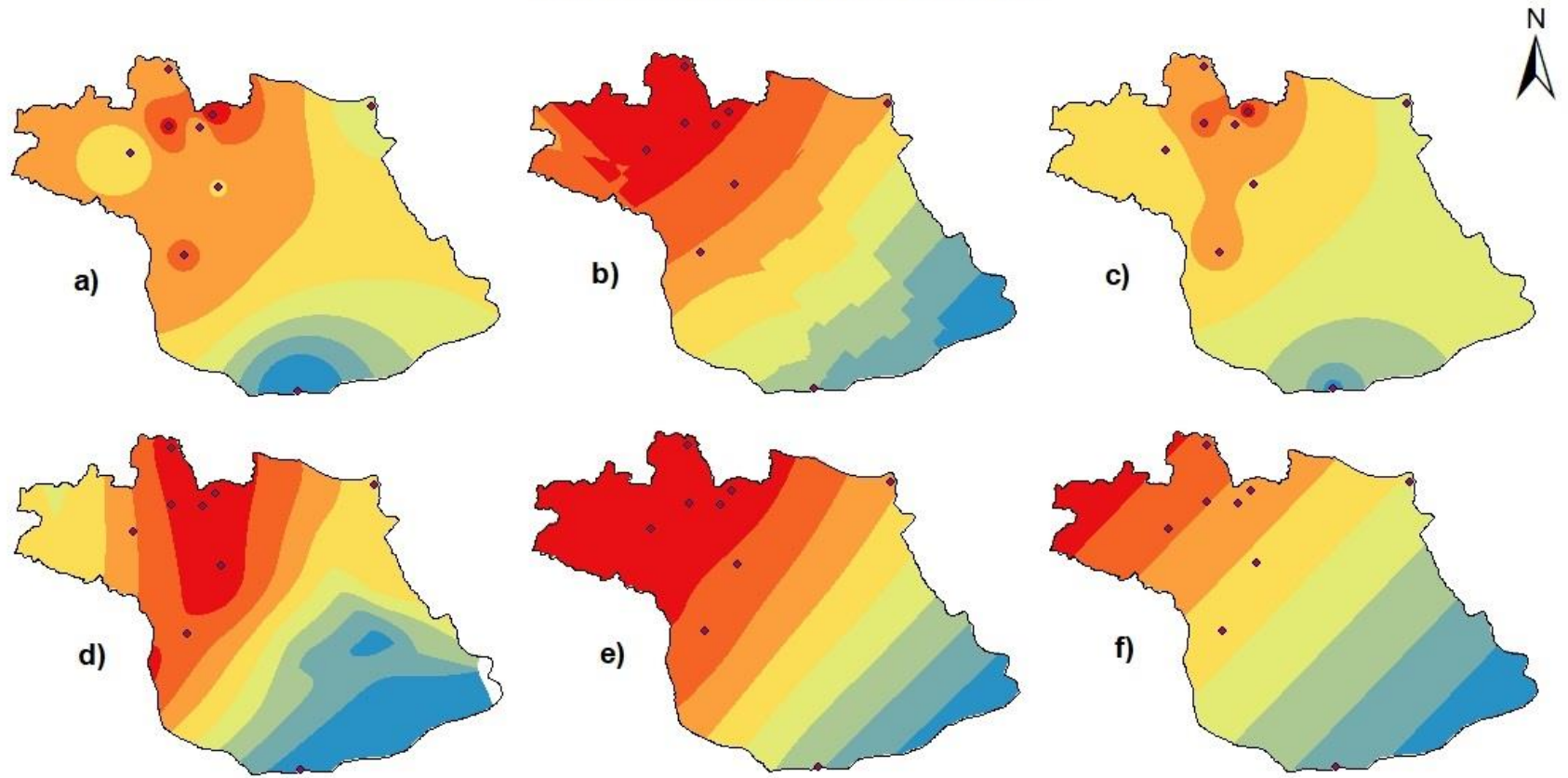
e) Local Polynomial Interpolation (LPI)

f) Global Polynomial Interpolation (GPI)



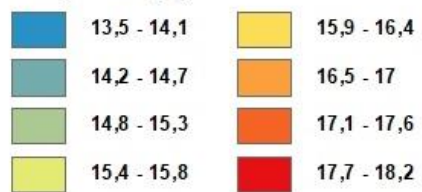
Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum SIRGAS 2000  
Base Cartográfica: IBGE, 2015  
Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020

## TEMPERATURA MÍNIMA - CAMPO 2



♦ **Pontos Amostrais**

Temperatura (°C)



a) Inverse Distance Weighting (IDW)

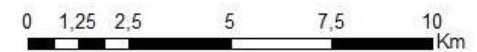
b) Kriging (ordinary)

c) Radial Basis Function (RBF)

d) Kernel Smoothing

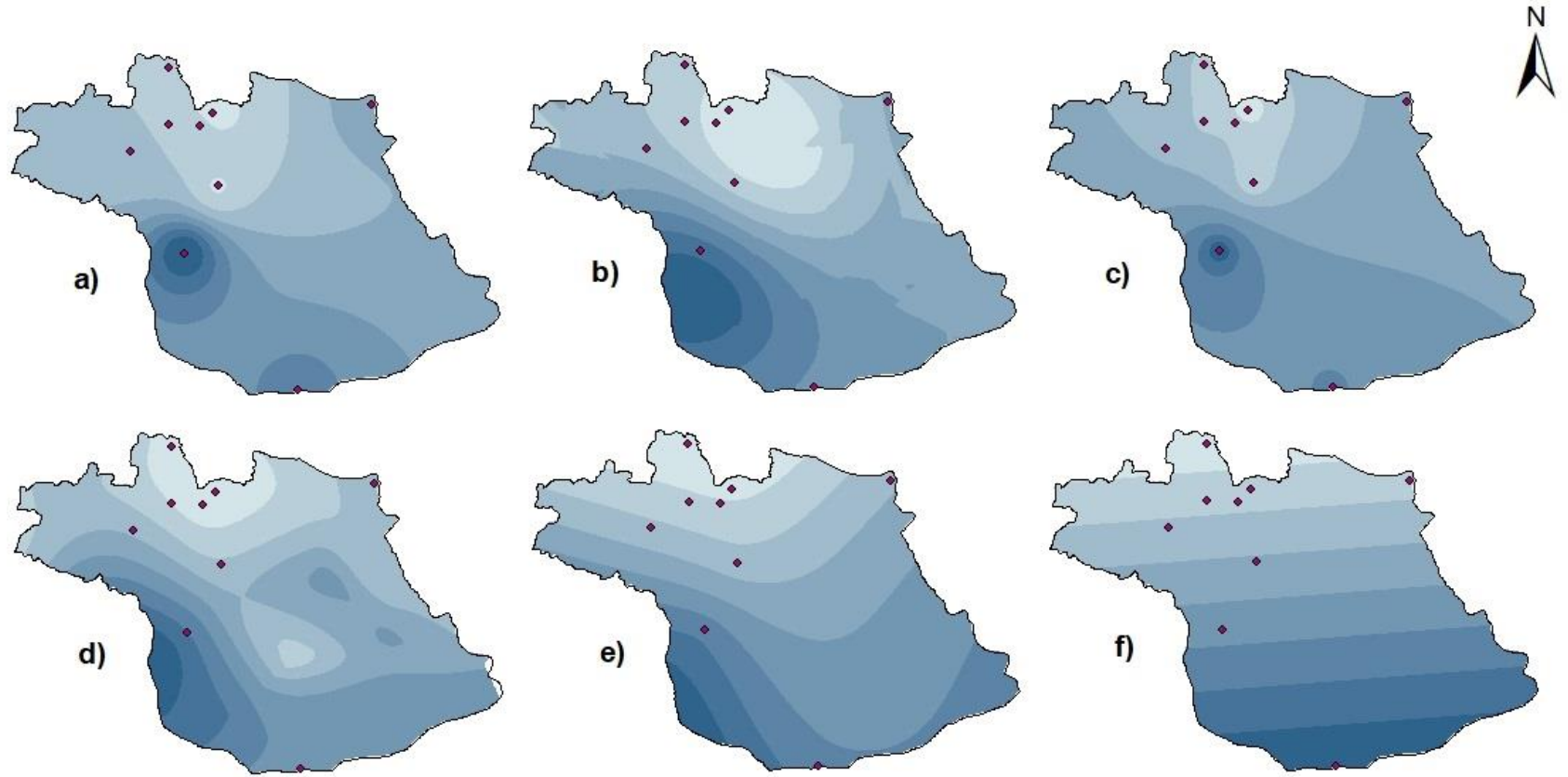
e) Local Polynomial Interpolation (LPI)

f) Global Polynomial Interpolation (GPI)



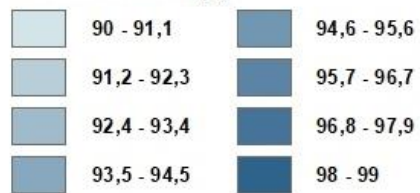
Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum SIRGAS 2000  
Base Cartográfica: IBGE, 2015  
Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020

## UMIDADE RELATIVA MÁXIMA - CAMPO 2



◆ **Pontos Amostrais**

**Umidade Relativa (%)**



**a)** Inverse Distance Weighting (IDW)

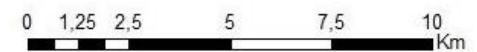
**b)** Kriging (ordinary)

**c)** Radial Basis Function (RBF)

**d)** Kernel Smoothing

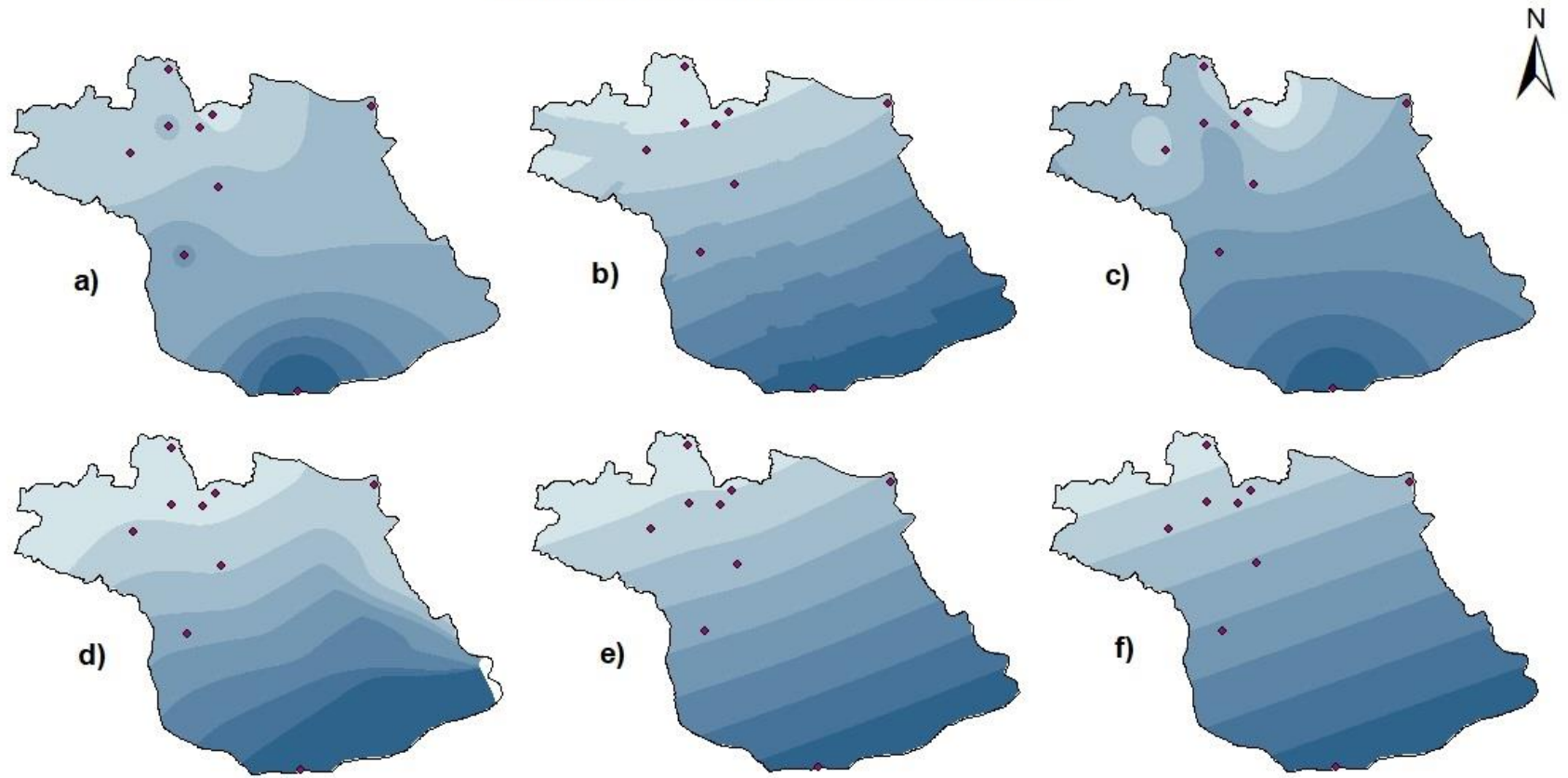
**e)** Local Polynomial Interpolation (LPI)

**f)** Global Polynomial Interpolation (GPI)



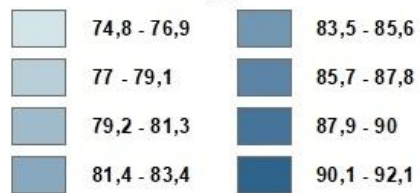
Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum SIRGAS 2000  
Base Cartográfica: IBGE, 2015  
Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020

## UMIDADE RELATIVA MÉDIA - CAMPO 2



◆ **Pontos Amostrais**

Umidade Relativa (%)



a) Inverse Distance Weighting (IDW)

b) Kriging (ordinary)

c) Radial Basis Function (RBF)

d) Kernel Smoothing

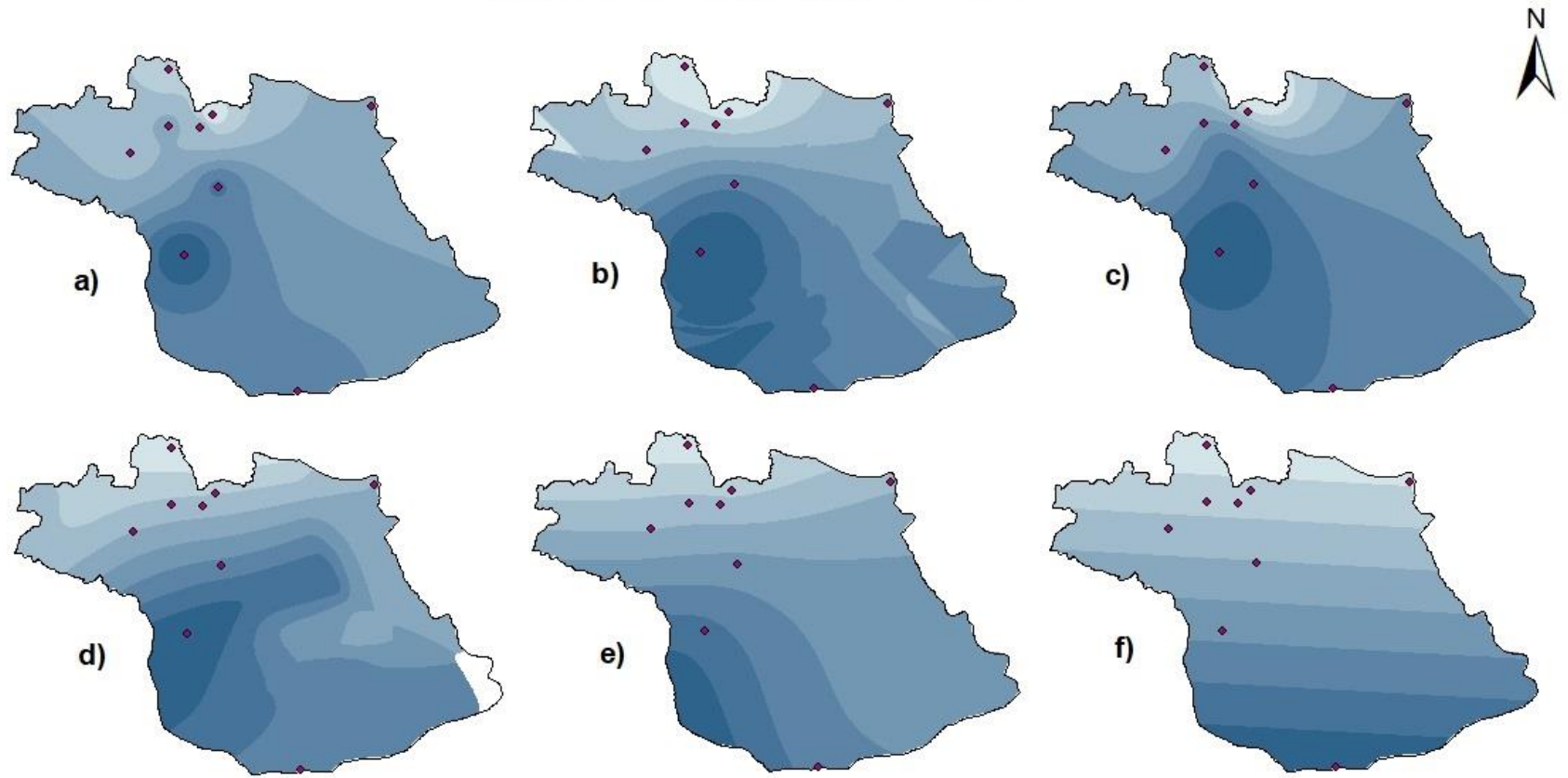
e) Local Polynomial Interpolation (LPI)

f) Global Polynomial Interpolation (GPI)



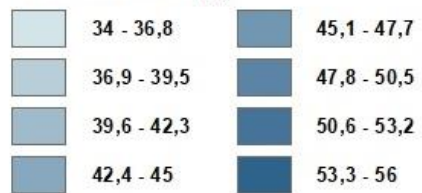
Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum SIRGAS 2000  
Base Cartográfica: IBGE, 2015  
Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020

## UMIDADE RELATIVA MÍNIMA - CAMPO 2



◆ **Pontos Amostrais**

Umidade Relativa (%)



a) Inverse Distance Weighting (IDW)

b) Kriging (ordinary)

c) Radial Basis Function (RBF)

d) Kernel Smoothing

e) Local Polynomial Interpolation (LPI)

f) Global Polynomial Interpolation (GPI)



Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum SIRGAS 2000  
Base Cartográfica: IBGE, 2015  
Elaboração: Wendel Cássio Alves Batista, 2020

### APÊNDICE G – Mapas resultantes da Análise Multicritério para os campos 1 e 2

