



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Geociências/Programa de Pós-Graduação em Geografia

Lilian Aline Machado

***IMPACTOS DA VERTICALIZAÇÃO E ADENSAMENTO DAS
EDIFICAÇÕES EM TOPOCLIMAS E MESOCLIMAS NA
PORÇÃO NORTE DO MUNICÍPIO DE NOVA LIMA (MG)***

Belo Horizonte

2016

Lilian Aline Machado

***IMPACTOS DA VERTICALIZAÇÃO E ADENSAMENTO DAS
EDIFICAÇÕES EM TOPOCLIMAS E MESOCLIMAS NA
PORÇÃO NORTE DO MUNICÍPIO DE NOVA LIMA (MG)***

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Linha de Pesquisa: Climatologia

Orientador: Prof. Dr. Wellington Lopes Assis

Belo Horizonte
2016

M149i Machado, Lilian Aline.
2016 Impactos da verticalização e adensamento das edificações em topoclimas e mesoclimas na porção norte do município de Nova Lima (MG) [manuscrito] / Lilian Aline Machado. – 2016.
182 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Wellington Lopes Assis.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2016.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Bibliografia: f. 147-153.

Inclui anexos e apêndices.

1. Nova Lima (MG) – Clima – Teses. 2. Climatologia urbana – Nova Lima (MG) – Teses. 3. Habitações – Construção – Nova Lima (MG) – Teses. I. Assis, Wellington Lopes. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551.583(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

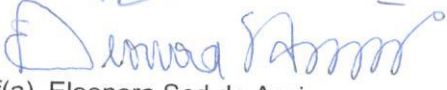
IMPACTOS DA VERTICALIZAÇÃO E ADENSAMENTO DAS EDIFICAÇÕES EM TOPOCLIMAS E MESOCLIMAS NA PORÇÃO NORTE DO MUNICÍPIO DE NOVA LIMA (MG)

LILIAN ALINE MACHADO

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 19 de agosto de 2016, pela banca constituída pelos membros:


Prof(a). Wellington Lopes Assis - Orientador
UFMG


Prof(a). Eleonora Sad de Assis
Escola de Arquitetura - UFMG


Prof(a). Edson Soares Fialho
UFV


Prof(a). Carlos Henrique Jardim
UFMG

Belo Horizonte, 19 de agosto de 2016.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Wellington Lopes Assis que mais uma vez aceitou me orientar com a mesma dedicação e seriedade de sempre.

- Ao Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim pelas conversas motivadoras com relação à carreira acadêmica.

- À minha família que suportou meu distanciamento durante a realização deste trabalho, sobretudo nos meses finais.

- Aos amigos Ana Carolina Caetano, Ana Clara Silva, André Nascimento, Débora Boratto, Felipe Moura, Gustavo Brandão, Luidy Araújo, Marina Gouvêa, Victor Abaurre, Vitória Oliveira, Melissa Rocha, Amanda Ribeiro, Iago Rios, Mariana Machado, Alcione Milagros, Henrique Machado, Marcelo Lois, Joyce Marra, Victor Rocha que, de boa vontade, participaram do experimento de campo deste trabalho. Sem esta ajuda jamais seria concluído este trabalho.

- À Associação de Moradores dos bairros Vila da Serra e Vale do Sereno (AMAVISE) que, na pessoa do senhor Sérgio Americano, auxiliou no contato com os condomínios aonde foram instalados os abrigos meteorológicos de forma muito solícita.

- À Faculdade Milton Campos, à EPO Engenharia, aos condomínios residenciais Metrópole, Alameda, Olymplus e Green Garden, à PHV Engenharia, ao Colégio Rudolf Steiner, à empresa Plansis e à senhora Eustáquia que autorizaram a instalação dos abrigos meteorológicos em seus terrenos e me atenderam de forma muito solícita.

- Aos meus colegas da pós-graduação que enfrentaram esta jornada junto a mim e compartilharam desafios ao longo do curso.

“...o lugar que serve de sítio à materialidade da cidade é algo de muito peculiar tanto pelas repercussões que produz nas esferas lito e biológicas quanto pela própria repercussão na atmosfera. É isto que faz com que a consideração do sistema ‘clima urbano’ exija que sua estrutura interna seja obtida não por meio de uma simples adição ou superposição de partes diferentes complexas tais como compartimentação geoecológica e morfologia urbana mas antes pela íntima conexão entre estas diferentes partes, gerando uma estrutura peculiar tanto pelas novas formas quanto pelas resultantes funções, aglutinando-as (em harmonia ou em conflito) tanto aquelas do ambiente natural primitivo, quanto derivado e urbanizado.”

Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, 1976.

RESUMO

O Município de Nova Lima apresenta uma geomorfologia marcada por terrenos movimentados, inseridos no conjunto sobrelevado do Quadrilátero Ferrífero, característica que, aliada à estrutura de propriedade das terras, retardou o avanço da metrópole belorizontina em seu espaço. Entretanto, após sucessivas mudanças no zoneamento do Município de Belo Horizonte e Nova Lima, e o incentivo do governo municipal desse último, a ocupação urbana se expandiu para a área limítrofe entre os municípios, composta pelos bairros Vila da Serra, Vale do Sereno, Jardinaves, Jardim das Mangabeiras, Jardim das Torres e Piemonte sob um padrão de intensa verticalização e adensamento urbanos. Considerando-se os possíveis impactos climáticos advindos da verticalização, surgiu a preocupação quanto ao padrão de ocupação assumido nesses bairros. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar as relações entre os componentes urbanos e geoecológicos em interação com a atmosfera na porção norte do município de Nova Lima. Foram diagnosticadas as respostas térmica, hídrica e anemométrica frente às características geoecológicas e de ocupação urbana dos bairros, em escala micro e topoclimática, procurando vincular as respostas obtidas nessas escalas à organização escalar em níveis superiores (mesoclimático e local). Foram realizadas coletas de temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos em dois experimentos de campo. A análise rítmica foi empregada para a avaliação dos sistemas atmosféricos atuantes no período amostral. Os resultados atestaram a influência do processo de urbanização e verticalização sobre a camada laminar da atmosfera local. O atual uso e ocupação do solo potencializou o aquecimento atmosférico em determinados períodos do dia, interferindo na direção e velocidade dos ventos e diminuindo a umidade do ar. Foi observado que a topografia e morfologia locais assumem papel primário na dinâmica dos elementos climáticos, tendo seus efeitos influenciados ou potencializados pelo adensamento urbano. Foi elaborado um mapa de unidades topoclimáticas definidas na área de estudo como forma de síntese do diagnóstico realizado. Os processos climáticos envolvidos na discretização de cada unidade foram ilustrados em perfis esquemáticos, bem como as relações escalares identificadas na área.

Palavras-chave: clima urbano, verticalização, impactos topoclimáticos.

ABSTRACT

The city of Nova Lima presents a geomorphology marked by complex terrains inserted on a set of hills of Quadrilátero Ferrífero. This characteristic combined with the structure of land ownership, slowed the advance of the expansion of Belo Horizonte metropolis space. However, after constant changes on the use land laws of Belo Horizonte and Nova Lima, and the support of municipal government, the urban occupation has expanded within the neighborhoods Vila da Serra, Vale do Sereno, Jardinaves, Jardim das Mangabeiras, Jardim das Torres and Piemonte, in the city of Nova Lima, in a pattern of intense vertical and urban densification. Considering the possible climate impacts from the verticalization, there was a concern about the occupation pattern assumed in these neighborhoods. The objective of this study was to analyze the relationship between urban and geocological components interacting with the atmosphere in the northern part of Nova Lima. The thermal, moisture and anemometer answers to geocological and urban occupation characteristics was diagnose, seeking to link the responses obtained on these scales the organization to scale at higher levels (mesoscale and local scale). Temperature samples were collected, relative humidity, direction and speed of winds in two field experiments. The rhythmic analysis was use for the evaluation of active weather systems in the sample period. The results confirmed the influence of urbanization process of the laminar layer of the local atmosphere. The current land use and occupation potentiated atmospheric warming in certain periods of the day, affecting the direction and speed of winds and decreasing humidity. The topography and local morphology assume primary role in the dynamics of climatic elements. It was prepared a map of climatopes units defined in the study area as a method of synthesis of local climate. Some schematic profiles were design to illustrate climatic processes involved in the discretization of each unit and the scalar relationships identified in the area

Key-words: urban climate, verticalization, climatopes impacts.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DO TRÂNSITO DA ENERGIA SOLAR NO SISTEMA TERRA-ATMOSFERA (E-A SYSTEM).	5
FIGURA 2: ALBEDO ESTIMADO DOS MATERIAIS PRESENTES NOS ELEMENTOS URBANOS.	9
FIGURA 3: ESQUEMA DO FLUXO DE AR NO INTERIOR DE UM CANYON URBANO COM VENTOS DE DIREÇÃO (A) PARALELA E (B) LONGITUDINAL.	11
FIGURA 4: EFEITOS AERODINÂMICOS DO VENTO.	12
FIGURA 5: ESQUEMA ILUSTRATIVO DAS ESCALAS CLIMÁTICAS E CAMADAS VERTICAIS SOBRE ÁREAS URBANAS (A) NA MESOESCALA, (B) ESCALA LOCAL E (C) MICROESCALA.	16
FIGURA 6: HIERARQUIA FUNCIONAL SIMPLIFICADA DO SISTEMA CLIMA URBANO. AS SETAS REPRESENTAM O INTERCÂMBIO CONTÍNUO DE ENERGIA E MASSA ENTRE AS DIVERSAS ESCALAS DE ANÁLISE.	18
FIGURA 7: ESTRUTURA METODOLÓGICA DO MAPA DO CLIMA URBANO (UCMAP).	21
FIGURA 8: MAPA DE ANÁLISE DO CLIMA URBANO (UC-ANMAP) DA CIDADE DE STUTTGART.	22
FIGURA 9: MAPA RECOMENDAÇÕES CLIMÁTICAS PARA O PLANEJAMENTO URBANO (UC-REMAP) DA CIDADE DE STUTTGART.	23
FIGURA 10: ESTRUTURA METODOLÓGICA DO MAPA DO CLIMA URBANO (UCMAP).	24
FIGURA 11: METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DO MAPA DO CLIMA URBANO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA.	25
FIGURA 12 - UNIDADES CLIMÁTICAS NATURAIS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE.	28
FIGURA 13: CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES CLIMÁTICAS NATURAIS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE.	29
FIGURA 14 - UNIDADES CLIMÁTICAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE.	30
FIGURA 15 - CHAVE DE CLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES CLIMÁTICAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE.	31
FIGURA 16: A - MAPA RESULTANTE DA ANÁLISE MULTICRITÉRIOS APLICADA POR MENDONÇA E ASSIS (2001) PARA O CAMINHO HIPOTÉTICO DO VENTO. QUANTO MAIS ESCURO É O TOM DE AZUL, MAIOR É A DIFICULDADE DO VENTO DE PERCORRER A ÁREA; B - MAPA SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES PARA O BAIRRO FLORESTA, BELO HORIZONTE.	32
FIGURA 17 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE NOVA LIMA.	33
FIGURA 18 - LOCALIZAÇÃO DOS BAIRROS NA ÁREA DE ESTUDO.	35
FIGURA 19 - EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO URBANA NO BAIRRO VILA DA SERRA E ARREDORES DE 2002 A 2015. ..	37
FIGURA 20 - EDIFICAÇÕES QUE COMPROMETEM A PERCEPÇÃO DA SERRA DO CURRAL.	38
FIGURA 21 - ZONEAMENTO MUNICIPAL NA ÁREA DE ESTUDO.	39
FIGURA 22 - EDIFICAÇÕES CONSTRUÍDAS EM ÁREA DEFINIDA COMO ZEPAM.	40
FIGURA 23 - EDIFÍCIOS EM CONSTRUÇÃO (A) E RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR (B) NO VALE DO SERENO.	41
FIGURA 24 - EDIFÍCIOS NO BAIRRO PIEMONTE.	41
FIGURA 25 - RESIDÊNCIAS NO BAIRRO JARDIM DAS MANGABEIRAS.	42
FIGURA 26: VEGETAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO.	44
FIGURA 27: MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ESTRANGULADO.	45

FIGURA 28: CARACTERÍSTICAS DO RELEVO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO ESTRANGULADO...	46
FIGURA 29: CLIMOGRAMA DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE.	47
FIGURA 30: BALANÇO HÍDRICO DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE COM BASE NAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE 1961-1990.	48
FIGURA 31: ROTEIRO METODOLÓGICO I – ETAPAS DE ELABORAÇÃO DO TRABALHO.....	50
FIGURA 32: (A) PRIMEIRA AFERIÇÃO DOS DATALOGGERS; (B) SEGUNDA AFERIÇÃO DOS DATALOGGERS NO 5°DISME/INMET.	56
FIGURA 33: GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE OS VALORES DE TEMPERATURA DO AR (A) E UMIDADE RELATIVA DO AR (B) OBTIDOS PELO TERMOHIGRÔMETRO DATALOGGER E PELO TERMÔMETRO DE BULBO SECO DO 5° DISME/INMET.....	57
FIGURA 34: INSTRUMENTOS DE REGISTRO EM CAMPO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS; A - TERMOHIGRÔMETRO DATALOGGER TFA; B - ABRIGO METEOROLÓGICO DE CAMPO.	57
FIGURA 35: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS NO CAMPO 1.....	58
FIGURA 36: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS NO CAMPO 2.	60
FIGURA 37: DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS AMOSTRAIS NO CAMPO 1.	65
FIGURA 38: DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS AMOSTRAIS NO CAMPO 2.	65
FIGURA 40: ROTEIRO METODOLÓGICO III: ELABORAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DAS UNIDADES TOPOCLIMÁTICAS.....	70
FIGURA 41: PARTICIPAÇÃO DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS EM BELO HORIZONTE ENTRE OS DIAS 17/08/2015 E 29/09/2015.....	74
FIGURA 42: ANÁLISE RÍTMICA DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS ENTRE OS DIAS 17/08/2015 E 29/09/2015.....	75
FIGURA 43: (A) EVOLUÇÃO DA ANOMALIA DE TSM E IOS DE OUTUBRO DE 2013 A SETEMBRO DE 2015.E; (B) ANOMALIA DE TSM NO MÊS DE SETEMBRO DE 2015.....	76
FIGURA 44: (A) CARTA SINÓTICA E (B) IMAGEM REALÇADA DO SATÉLITE METEOROLÓGICO GOES DE 12H UTC DO DIA 08/09/2015.	77
FIGURA 45: (A) CARTA SINÓTICA E (B) IMAGEM REALÇADA DO SATÉLITE METEOROLÓGICO GOES DE 12H UTC DO DIA 09/09/2015.	78
FIGURA 46: (A) CARTA SINÓTICA E (B) IMAGEM REALÇADA DO SATÉLITE METEOROLÓGICO GOES DE 12H UTC DO DIA 13/09/2015.	79
FIGURA 47 - PERFIL GEOECOLÓGICO - CAMPO 1 (22/08 A 24/09).....	81
FIGURA 48: RADIAÇÃO SOLAR INCIDIDA NA ÁREA DE ESTUDO ENTRE AGOSTO E SETEMBRO DE 2015.	82
FIGURA 49: COMPORTAMENTO MÉDIO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR - CAMPO 1 (22/08 A 24/09).	83
FIGURA 50: TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA NOS PONTOS AMOSTRAIS - CAMPO 1.	84
FIGURA 51: DESVIO PADRÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR - CAMPO 1 (22/08 A 24/09).	85
FIGURA 52: MÉDIA DIÁRIA DA UMIDADE RELATIVA DO AR NOS PONTOS AMOSTRAIS - CAMPO 1.	87
FIGURA 53: ILUMINAÇÃO SOLAR NO PERÍODO DA MANHÃ NO DIA 08/09/2015 NA ÁREA DE ESTUDO.....	90
FIGURA 54: TEMPERATURA MÉDIA DO AR POR PERÍODOS - CAMPO 1 (22/08 A 24/09).	91
FIGURA 55: UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA POR PERÍODOS - CAMPO 1 (22/08 A 24/09).....	93
FIGURA 56: ILUMINAÇÃO SOLAR NO PERÍODO DA TARDE NO DIA 08/09/2015 NA ÁREA DE ESTUDO.....	95

FIGURA 57: COMPORTAMENTO MÉDIO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR - CAMPO 2 (25/09 A 26/09).	102
FIGURA 58 - PERFIL GEOECOLÓGICO - CAMPO 2 (25/09 A 26/09).....	103
FIGURA 59: DESVIO PADRÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR - CAMPO 2 (25/09 A 26/09)...	105
FIGURA 60- GRÁFICO DE ROSA DOS VENTOS E DE FREQUÊNCIA DE VENTOS POR FAIXA DE VELOCIDADE - CAMPO 2 (25/09 A 26/09).	107
FIGURA 61: (A) GRÁFICOS DE OBSTRUÇÃO DA ABÓBADA CELESTE, FATOR DE VISÃO DO CÉU (FVC) E (B) ILUMINAÇÃO DIRETA DOS PONTOS AMOSTRAIS ENTRE AS 12H E AS 18H DO DIA 25/09/2015.	110
FIGURA 62: TEMPERATURA MÉDIA DO AR POR PERÍODOS - CAMPO 2 (25/09 A 26/09).	111
FIGURA 63: TEMPERATURA MÉDIA DO AR POR PERÍODOS - CAMPO 2 (25/09 A 26/09).	113
FIGURA 64: ORGANIZAÇÃO ESCALAR DO CLIMA NA ÁREA DE ESTUDO.	121
FIGURA 65: ORGANIZAÇÃO DAS ESCALAS CLIMÁTICAS E CAMADAS ATMOSFÉRICAS DE BAIXO NÍVEL NA ÁREA DE ESTUDO.	122
FIGURA 66: ESCALAS CLIMÁTICAS NA ÁREA DE ESTUDO.	123
FIGURA 67: ILUSTRAÇÃO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA MESOCLIMÁTICA NA ÁREA DE ESTUDO.....	125
FIGURA 68: ILUSTRAÇÃO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA DO CLIMA LOCAL DAS SERRAS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO..	126
FIGURA 69: ILUSTRAÇÃO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA DO CLIMA REGIONAL TROPICAL DE ALTITUDE.....	126
FIGURA 70: UNIDADES TOPOCLIMÁTICAS.....	127
FIGURA 71: SÍNTESE DOS PROCESSOS CLIMÁTICOS NAS UNIDADES T-I, T-II E T-III DURANTE O DIA.....	130
FIGURA 72: SÍNTESE DOS PROCESSOS CLIMÁTICOS NAS UNIDADES T-I, T-II E T-III DURANTE A NOITE.....	131
FIGURA 73: SÍNTESE DOS PROCESSOS CLIMÁTICOS NAS UNIDADES T-IV, T-V E T-VI DURANTE O DIA.....	134
FIGURA 74: SÍNTESE DOS PROCESSOS CLIMÁTICOS NAS UNIDADES T-IV, T-V E T-VI DURANTE A NOITE.....	135

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CATEGORIAS TAXONÔMICAS DA ORGANIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO CLIMA E SUAS ARTICULAÇÕES COM O CLIMA URBANO.....	19
TABELA 2: CLASSES DE DECLIVIDADE EM GRAUS E PORCENTAGEM.....	53
TABELA 3: CLASSES DE ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES.....	53
TABELA 4: CLASSES DE VEGETAÇÃO	54
TABELA 5: ESTATÍSTICA DOS MODELOS DE INTERPOLAÇÃO TESTADOS	63
TABELA 6: VALORES DE CONVERSÃO DE NÍVEL DE INTENSIDADE DOS VENTOS NA ESCALA BEAUFORT PARA MILHAS POR HORA	68
TABELA 7: CONDIÇÕES MÉDIAS DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS POR SISTEMA ATMOSFÉRICO ATUANTE NO PERÍODO DE 17/08 A 29/09/2015	74
TABELA 8: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO CAMPO 1.....	79
TABELA 9: CONDIÇÕES MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO CAMPO 1.....	86
TABELA 10: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO PERÍODO DA MANHÃ NO CAMPO 1	89
TABELA 11: CONDIÇÕES MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO PERÍODO DA MANHÃ NO CAMPO 1	92
TABELA 12: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO PERÍODO DA TARDE NOO CAMPO 1	94
TABELA 13: CONDIÇÕES MÉDIAS UMIDADE RELATIVA DO AR NO PERÍODO DA TARDE NO CAMPO 1	96
TABELA 14: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO PERÍODO DA NOITE NO CAMPO 1	96
TABELA 15: CONDIÇÕES MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO PERÍODO DA NOITE NO CAMPO 1	97
TABELA 16: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO PERÍODO DA MADRUGADA NO CAMPO 1	98
TABELA 17: CONDIÇÕES MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO PERÍODO DA MADRUGADA NO CAMPO 199	
TABELA 18: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO CAMPO 2.....	101
TABELA 19: CONDIÇÕES MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO CAMPO 2.....	104
TABELA 20: CONDIÇÕES MÉDIAS DA INTENSIDADE DOS VENTOS NO CAMPO 2.....	106
TABELA 21: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO PERÍODO DA TARDE NO CAMPO 2.....	109
TABELA 22: CONDIÇÕES MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO PERÍODO DA TARDE NO CAMPO 2.....	112
TABELA 23: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO PERÍODO DA NOITE NO CAMPO 2	114
TABELA 24: CONDIÇÕES MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO PERÍODO DA NOITE NO CAMPO 2	115
TABELA 25: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO PERÍODO DA MADRUGADA NO CAMPO 2	115
TABELA 26: CONDIÇÕES MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO PERÍODO DA MADRUGADA NO CAMPO 2	116
TABELA 27: CONDIÇÕES MÉDIAS DA TEMPERATURA DO AR NO PERÍODO DA MANHÃ NO CAMPO 2	117
TABELA 28: CONDIÇÕES MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO PERÍODO DA MANHÃ NO CAMPO 2	118
TABELA 29: CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES TOPOCLIMÁTICAS	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB - Alta da Bolívia

AL - Atmosfera Livre

APAS - Anticiclone Polar do Atlântico Sul

ASAS - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

ASTER-GDEM - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer- Global Digital Elevation Model

AVS – Associação do Vila da Serra e Vale do Sereno

BC - Baixa do Chaco

CI - Camada de Inversão

CLP - Camada Limite Estável

CM - Camada de Mistura

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Clima

CR - Camada Residual

DISME - Distrito de Meteorologia

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENOS - El Niño Oscilação Sul

FF - Frente Fria

FIP – Fundação Israel Pinheiro

FPA - Frente Polar Atlântica

FVC - Fator de Visão do Céu

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC - Ilha de Calor

ISS - Imposto Sobre Serviços

IT - Linhas de Instabilidade Tropical

LI - Linhas de Instabilidade

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

MBR - Minerações Brasileiras Reunidas

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDT - Modelo Digital de Terreno

PBL - Planet Boundary Layer

RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte

RS - Roughness Sublayer

S.C.U - Sistema Clima Urbano

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission

SVF - Sky View Factor

UBL - Urban Boundary Layer

UCL - Urban Canopy Layer

UF - Unidade de Federação

UTC - Universal Time Coordinated

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZEPAM - Zona de Proteção Ambiental

ZERU - Zona de Requalificação Urbana

ZOCS - Zona de Comércio e Serviço

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

°C - Grau Celsius

hab/Km² - habitantes por quilômetro quadrado

hpa - Hectopascal

Km - Quilômetros

Km² - Quilômetros quadrados

Km/h - Quilômetros por hora

m - Metros

m² - Metros quadrados

mm - Milímetros

m/s - Metros por segundo

mph – Milhas por hora

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
SUMÁRIO	XII
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E BASES CONCEITUAIS.....	5
1.1 O SISTEMA CLIMA URBANO: ASPECTOS GERAIS	5
1.2 ESCALAS CLIMÁTICAS	14
1.3 TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DO CLIMA URBANO.....	20
CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
2.1 ASPECTOS URBANOS	33
2.2 ASPECTOS FÍSICOS	43
CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1 BASES CARTOGRÁFICAS	51
3.1.1 <i>Modelo Digital de Terreno (MDT)</i>	51
3.1.2 <i>Mapa de declividade e orientação das vertentes</i>	52
3.1.3 <i>Mapa de cursos d'água e vegetação</i>	53
3.1.4 <i>Modelo digital das edificações</i>	54
3.2 EXPERIMENTO DE CAMPO	55
3.2.1 <i>Campo 1</i>	55
3.2.1 <i>Campo 2</i>	59
3.1 ANÁLISE RÍTMICA	61
3.2 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	61
3.3 CARTOGRAMAS E MATERIAIS GRÁFICOS	62
3.3.1 <i>Interpolação dos dados - Campo 1</i>	62
3.3.2 <i>Interpolação dos dados - Campo 2</i>	64
3.3.3 <i>Perfis geoecológicos</i>	64
3.3.4 <i>Imagens de iluminação dos pontos amostrais</i>	66
3.3.5 <i>Gráficos de obstrução da abóbada celeste e Fator de Visão do Céu (FVC)</i>	67
3.3.6 <i>Gráficos de direção e intensidade dos ventos</i>	67
3.4 UNIDADES TOPOCLIMÁTICAS	68
CAPÍTULO 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	73
4.1 ANÁLISE RÍTMICA	73
4.2 CAMPO 1 - COMPORTAMENTO GERAL DOS DADOS	79
4.2.1 <i>Temperatura do ar</i>	79
4.2.2 <i>Umidade relativa do ar</i>	86
4.2.3 <i>Considerações sobre o comportamento geral da temperatura e da umidade relativa do ar</i>	88

4.3	CAMPO 1 - COMPORTAMENTO DOS DADOS POR PERÍODO.....	89
4.3.1	<i>Manhã</i>	89
4.3.2	<i>Tarde</i>	94
4.3.3	<i>Noite</i>	96
4.3.4	<i>Madrugada</i>	98
4.3.5	<i>Considerações sobre o comportamento médio por período do dia da temperatura e umidade relativa do ar</i>	99
4.4	CAMPO 2 - COMPORTAMENTO GERAL DOS DADOS	101
4.4.1	<i>Considerações sobre o comportamento geral da temperatura, umidade relativa do ar e ventos</i>	108
4.5	CAMPO 2 - COMPORTAMENTO DOS DADOS POR PERÍODO.....	108
4.5.1	<i>Tarde</i>	108
4.5.2	<i>Noite</i>	114
4.5.3	<i>Madrugada</i>	115
4.5.4	<i>Manhã</i>	117
4.5.5	<i>Considerações sobre o comportamento médio por período da temperatura, umidade relativa do ar e ventos</i>	118
	CAPÍTULO 5. UNIDADES TOPOCLIMÁTICAS	120
5.1	ORGANIZAÇÃO ESCALAR DO CLIMA	120
5.2	UNIDADES TOPOCLIMÁTICAS.....	127
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	139
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
	APÊNDICES.....	154
	ANEXOS	163

INTRODUÇÃO

A expansão desordenada das grandes cidades brasileiras impulsiona transformações substanciais na paisagem que resultam, de maneira geral, na baixa qualidade ambiental no meio urbano. A ocupação urbana, ao mesmo tempo em que implica em derivações no quadro ecológico, assume diferentes funções e feições da massa edificada ao longo do tempo em um processo evolutivo que é condição básica para que a cidade seja capaz de alterar as manifestações climáticas locais e adquirir características próprias de um "clima urbano" (MONTEIRO, 1990a).

No cerne das alterações climáticas sobre as cidades estão as modificações no balanço de energia local induzidas pelas interações entre os componentes urbanos e a superfície. A morfologia e a geometria urbanas, os materiais utilizados nas construções e suas respectivas propriedades térmicas, a poluição atmosférica e a proporção entre áreas verdes e construídas, são os principais fatores das alterações do balanço energético local (OKE, 1978; MONTEIRO, 1990a; LANDSBERG, 2006). Tais alterações repercutem na dinâmica de variação dos elementos climáticos, o que resulta, em certos casos, no desconforto térmico e em situações de insalubridade.

A tendência geral é que haja aumento das temperaturas e queda da umidade do ar se comparados os núcleos urbanos com as áreas rurais, além de mudanças locais na direção e velocidade dos ventos que podem potencializar o ganho térmico, o desconforto humano e dificultar a dispersão de poluentes. No entanto, dados os múltiplos arranjos espaciais sobre o sítio urbano, a variedade de tipos de sítios, e a localização latitudinal das cidades, o efeito dos elementos construídos sobre o balanço de energia e o comportamento climático pode ser irrisório ou mesmo favorecer o conforto humano.

Considerando-se os possíveis impactos climáticos advindos da verticalização, surgiu a preocupação quanto ao padrão de ocupação assumido na região norte do município de Nova Lima, compreendida pelos bairros Vila da Serra, Vale do Sereno e Piemonte, e outros três bairros em expansão: Jardinaves, Jardim das Mangabeiras e Jardim da Torre. Esses bairros, localizados no limite político-administrativo entre os municípios de Nova Lima e Belo Horizonte, vivem, atualmente, um processo de rápida ocupação e adensamento urbano, permitido após sucessivas mudanças na legislação municipal de uso e ocupação do solo. O local, área de cabeceira de cursos d'água que drenam o centro urbano do município de Nova Lima,

foi alvo de uma pesquisa publicada em 2007 que constatou a influência das edificações construídas nos bairros Belvedere III (Belo Horizonte) e Vila da Serra (Nova Lima) sobre o comportamento da temperatura e da umidade do ar (VILELA, 2007). A pesquisa envolveu a elaboração de dois cenários do comportamento térmico e hídrico do ar: um contendo a situação observada em campo na época do estudo (2006), e outro, contendo um modelo preditivo para o ano de 2016, com base na permissividade construtiva da legislação na data do experimento. Os resultados apontaram possíveis modificações no comportamento dos parâmetros meteorológicos avaliados nas áreas sujeitas a maior adensamento no cenário futuro, com tendência de temperaturas mais altas e umidade relativa do ar mais baixa do que as registradas em 2006.

Em 2007 foi publicada a Lei Municipal nº 2007 (NOVA LIMA, 2007) que definiu o zoneamento do município. A referida legislação acarretou o aumento do número de pavimentos permitidos para as edificações no bairro Vila da Serra. O Vale do Sereno, antes definido como área residencial unifamiliar de baixa densidade ocupacional, se tornou área residencial e comercial multifamiliar. Os demais bairros no entorno (Jardinaves, Jardim das Mangabeiras e Jardim da Torre) estão inclusos na nova legislação em uma zona cuja verticalização das edificações é permitida. Tais modificações não foram consideradas no trabalho de Vilela (2007), a qual também não considerou a influência da circulação atmosférica em nível superficial como agente de transporte de calor.

Machado (2013) observou em pontos distribuídos em transecto no bairro Vila da Serra a desaceleração do processo de arrefecimento térmico noturno no ambiente urbano em função da obstrução da abóbada celeste, que favorece a contínua troca de energia entre a massa edificada. Durante o dia, o sombreamento provocado pelas edificações diminui o ganho térmico dos locais se comparado a área livre de urbanização. Quanto a umidade relativa do ar, não houve diferenças significativas entre a área urbanizada e a área não urbanizada devido à proximidade dos pontos amostrais urbanos a um local de mata ciliar. Com relação à ventilação, houve registro de desvio de ventos em função da organização dos edifícios sobre a superfície. Em alguns locais houve a desaceleração dos ventos devido ao posicionamento das edificações nos arredores.

Considerando o exposto, essa pesquisa objetiva analisar as relações entre os componentes urbanos e geoecológicos em interação com a atmosfera nos bairros

Vila da Serra, Vale do Sereno, Jardinaves, Jardim das Mangabeiras, Jardim das Torres e Piemonte. Pretende-se diagnosticar as respostas térmica, higríca e anemométrica frente às características geoecológicas e de ocupação urbana dos bairros, em escala micro e topoclimática, procurando vincular as respostas obtidas nessas escalas à organização escalar em níveis superiores (mesoclimático e local). Para tanto foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Verificar através de dados obtidos em campo nos bairros Vila da Serra, Vale do Sereno e arredores (bairros Jardim Naves, Jardim das Mangabeiras e Jardim da Torre), o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, e velocidade e direção dos ventos;
- Levantar as características locais de uso e ocupação do solo;
- Levantar as características geoecológicas da área de estudo;
- Elaborar uma síntese das relações observadas entre as características geoecológicas e de ocupação com o comportamento climático por meio da elaboração de um mapa de unidades climáticas e perfis geoecológicos.

Serão testadas as seguintes hipóteses:

1. A conformação do relevo local (orientação, morfologia, declividade e a altimetria) são fatores que atenuam os ganhos térmicos no ambiente urbano.
2. A umidade relativa do ar é reduzida em áreas impermeabilizadas.

O conhecimento científico a respeito do comportamento dos elementos climáticos é oportuno e imprescindível aos planos de desenvolvimento econômico, os projetos de uso racional dos recursos naturais e os diagnósticos ambientais (ASSIS, 2010). Para além da importância do levantamento de possíveis impactos climáticos advindos da urbanização, é necessária a compreensão do clima urbano como um sistema, considerando em sua análise não somente as camadas de características superficiais sobrepostas, mas, principalmente, as conexões que se estabelecem entre elas. Dessa forma, é possível compreender os processos envolvidos na interação atmosfera-superfície, os quais devem fundamentar a visão prognóstica do planejador urbano a fim de se estabelecer bases para a ocupação urbana do espaço de forma congruente entre a conservação da qualidade ambiental e do bem-estar humano.

Além desta introdução, este trabalho inclui outros cinco capítulos, considerações finais, referências bibliográficas, apêndices e anexos. O primeiro

capítulo apresenta os principais aspectos teóricos e bases conceituais relativos ao Sistema Clima Urbano.

No segundo capítulo é realizada a caracterização da área de estudo, a qual compreende a descrição dos aspectos físicos associados ao comportamento atmosférico na porção norte do município de Nova Lima e o histórico de ocupação da área de estudo como subsídio ao entendimento dos processos de ocupação urbana na região, e das premissas legislativas envolvidas na manutenção ou mudança de padrões de ocupação.

O terceiro capítulo trata dos materiais e procedimentos metodológicos que foram empregados nesta pesquisa.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos e análises empreendidas após a coleta e tratamento dos dados, enquanto o quinto capítulo apresenta o resultado da síntese dessas análises. Por fim, nas considerações finais são discutidos os resultados alcançados, relacionando-os às teorias que embasam esse trabalho.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E BASES CONCEITUAIS

Neste capítulo são discutidos os aspectos teóricos do clima urbano e apresentados estudos práticos envolvendo o mapeamento do clima em áreas urbanizadas. São apresentadas, ainda, os conceitos relacionados às escalas climáticas e suas hierarquias. Nesta seção são apresentadas duas correntes teóricas principais a respeito das escalas. Monteiro (1976), fundamentado na climatologia geográfica brasileira, trata das relações escalares de forma horizontal procurando entender as relações entre a função, tamanho e forma das cidades e o clima. Oke (1978) apresenta uma abordagem vertical sobre o clima urbano, buscando elencar camadas climáticas sobre a cidade que se relacionam com o comportamento termodinâmico da atmosfera urbana.

1. 1 O Sistema Clima Urbano: aspectos gerais

A radiação solar, ao incidir sobre a superfície terrestre, interage com os diversos componentes atmosféricos e superficiais, o que resulta no aquecimento da atmosfera próxima à superfície. Oke (1978), ao se expressar a respeito do balanço de energia no sistema Terra-Atmosfera, ilustra o caminho da energia solar em suas principais interações com a superfície e a atmosfera de maneira simplificada (FIG. 1).

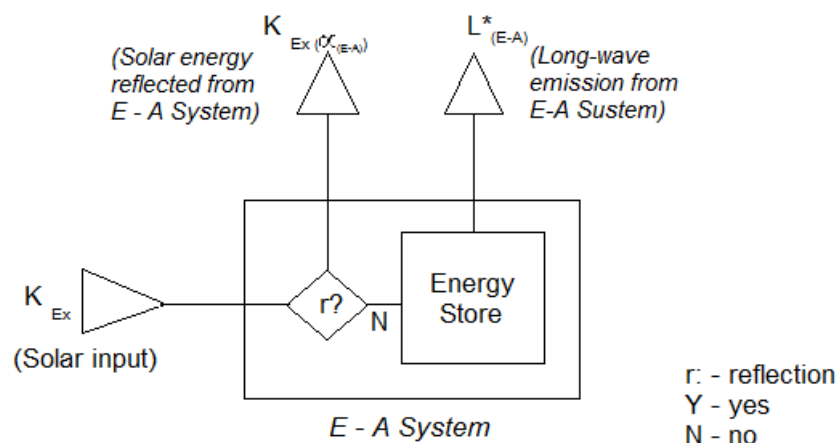


FIGURA 1: Representação simplificada do trânsito da energia solar no sistema Terra-Atmosfera (E-A System). Fonte: Adaptado de Oke (1978).

Sobre áreas urbanas essas interações se tornam complexas. A substituição da cobertura natural do solo por materiais de diferentes propriedades térmicas, a

impermeabilização, a geometria urbana, a supressão da vegetação e a adição de gases e particulados na atmosfera pelas atividades humanas, modificam as propriedades de reflexão, absorção e emissão de radiação pela superfície, alterando a resposta atmosférica a esses processos. Monteiro (1990a, p. 64) explica que o clima da cidade é "*(...) produzido a partir de um fenômeno de transformação de energia num jogo integrado entre o ar atmosférico e o ambiente urbano edificado pelo homem*".

Em síntese, o clima urbano consiste em "*um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização*" (MONTEIRO, 1976, p.116), resultante das modificações no balanço de energia, massa e movimento a partir das transformações no uso e ocupação do solo pelo processo de urbanização (OKE, 1978; MONTEIRO, 1976). O contato entre o sítio urbano e a atmosfera, em constante interação, constitui-se no cerne do Sistema Clima Urbano (S.C.U.), no qual predominam relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere (MONTEIRO, 1976).

As transformações impostas pela urbanização no comportamento climático se manifestam em aspectos quantitativos e qualitativos (JARDIM, 2007). O primeiro refere-se à intensidade dos fenômenos: aumento de temperaturas, diminuição da umidade relativa, aumento na carga de material particulado em suspensão no ar e diminuição na entrada de radiação solar. O segundo aspecto revela o surgimento de novos elementos e/ou fatores, aliados a novos comportamentos como as "ilhas de calor" e as chuvas ácidas.

Landsberg (2006) afirma a existência de três causas básicas das alterações climáticas sobre áreas urbanas. A primeira reitera as afirmações de Oke (1978) e Monteiro (1976) e diz respeito às modificações de uso e ocupação do solo, as quais alteram as características da superfície de contato com a atmosfera. A segunda causa relaciona-se à produção de calor pela cidade como resultado do metabolismo da massa de seres humanos e animais, do calor liberado por fornos, além de aparelhos domésticos que consomem energia, e pela exaustão dos motores dos veículos motorizados que circulam nas vias urbanas. A terceira causa compreende a adição de material sólido inerte, gases e substâncias químicas ativas na atmosfera.

No entanto, é preciso cautela ao se analisar as causas das alterações climáticas nas cidades, uma vez que o impacto nem sempre resulta em consequências negativas. Em determinadas situações, há razões para se acreditar que o adensamento urbano é benéfico para o conforto dos habitantes. Landsberg

(2006) cita o caso de uma cidade em área desértica onde as ruas estreitas podem oferecer sombreamento da superfície durante o dia, aliviando o stress térmico.

Monteiro (1976) propôs que o estudo do clima urbano fosse atrelado à percepção humana e, dessa forma, definiu subsistemas associados ao S.C.U. denominados "canais de percepção do clima". Esses, compreendem o subsistema termodinâmico, relacionado ao conforto térmico; o subsistema físico-químico, atrelado à qualidade do ar; e o subsistema hidromecânico, que diz respeito ao impacto meteórico.

O subsistema termodinâmico perfaz toda a estrutura do S.C.U., já que a energia provinda do Sol, insumo básico do clima, é constantemente transformada na cidade, implicando em fluxos induzidos de calor (MONTEIRO, 1976). Segundo Monteiro (1976, p. 126)

É impossível desvincular a componente térmica das barométricas, de ventilação, condensação e precipitações restritas ao núcleo do S.C.U. A geração da ilha de calor é suficiente para desencadear uma ventilação urbana, que se alterna com aquela local do quadro geoecológico e aquela mais ampla da circulação regional.

As alterações do campo térmico são emblemáticas quando se trata de clima urbano, já que afetam diretamente o conforto humano e se associam, de alguma forma, a todas as outras componentes climáticas. Lombardo (1985) atribui às transformações geradas pela ocupação urbana no balanço de energia a geração de bolsões de ar mais aquecido sobre as áreas urbanas, os quais são denominados de ilhas de calor.

As ilhas de calor urbanas são geradas por efeito da transformação de energia no interior da cidade, pela redução do resfriamento em função da diminuição da evaporação, e a produção de energia e emissão de calor pela atividade industrial, trânsito e habitações (LOMBARDO, 1985). Assis (2010) observou o desenvolvimento de ilhas de calor no município de Belo Horizonte associadas com os locais mais adensados e impermeabilizados do município. O que mais se destaca são as diferenças térmicas noturnas entre campo e grandes cidades. À noite, o calor armazenado durante o período diurno é liberado lentamente para atmosfera livre, uma vez que

"parte da radiação que é emanada por uma superfície qualquer é absorvida por outra próxima, num processo contínuo, até que não haja mais obstrução no caminho da radiação que está sendo dissipada em direção ao espaço (ASSIS, 2010, p. 22)."

Portanto, o processo de arrefecimento térmico noturno no ambiente urbano é desacelerado em função da obstrução da abóbada celeste, que favorece a contínua troca de energia entre a massa edificada, situação observada por Machado (2013) em transecto no bairro Vila da Serra. A medida de obstrução da abóbada celeste é dada pelo fator de visão do céu (FVC), ou *Sky View Factor* (SVF). Este índice consiste na proporção da área de céu obstruída em relação à área total da abóbada celeste visível (OKE, 1981). Os elementos interpostos entre o céu e determinado ponto na superfície consistem em obstruções, as quais podem ser naturais, como o relevo e a vegetação, ou artificiais, como as edificações (VILELA, 2007). Quanto mais próximo de 1 é o valor do FVC, menor é a obstrução da abóbada celeste, enquanto mais próximo de 0 é o seu valor, mais obstáculos se interpõem à abóbada celeste.

Souza (2010a) observou, em estudo realizado na cidade de Bauru (SP), uma relação entre o FVC e o aumento do consumo de energia elétrica em áreas da cidade, o que é explicado pela necessidade de iluminação artificial quando há excesso de sombreamento provocado pelo arranjo das edificações e pela necessidade de refrigeração, dada a retenção de calor na atmosfera urbana. Carmo *et al.* (2011) em estudo exploratório realizado na área central de Belo Horizonte, identificaram que menores coeficientes de FVC proporcionaram, durante o decorrer do dia, menores temperaturas do ar se comparadas aos pontos de maior FVC. Isso ocorre, segundo os autores, devido ao sombreamento provocado pelas edificações nos pontos de menor FVC durante parte da coleta dos dados, mesma relação encontrada por Grawe *et al.* (2013) na cidade de Londres.

As áreas de vegetação no interior das cidades são importantes, pois, por um lado, agem na produção noturna de ar frio e fresco e, por outro, dão equilíbrio térmico durante o dia em locais muito arborizados, em função do sombreamento da superfície provocado pelo dossel arbóreo (BAUMÜLLER *et al.*, 1997). Para áreas de vegetação densa pode-se, inclusive, considerar uma camada atmosférica de influência microclimática abaixo do dossel, a qual Oke (1978) denomina camada dos troncos (*trunkspace*), onde imperam os efeitos microclimáticos impostos pela cobertura das folhas. O esperado é que durante o dia a atmosfera sob a camada de dossel apresente temperatura mais amena do que áreas abertas ou densamente urbanizadas e, durante a noite, a cobertura do dossel dificulte a perda de radiação de ondas longas para a atmosfera, desacelerando o arrefecimento térmico sob o dossel (OKE, 1978; BAUMÜLLER *et al.*, 1997; MACHADO *et al.*, 2014a). Áreas verdes

internas da cidade têm um efeito positivo sobre seu entorno imediato no aspecto microclimático, não se estendendo sobre toda a malha urbana os efeitos de áreas isoladas como parques e praças arborizadas. Ainda assim, a arborização de ruas pode trazer mais conforto climático ao pedestre e habitantes locais.

Os elementos urbanos são compostos por materiais de diferentes albedos, o que, assim como o fator de obstrução da abóbada celeste, é um fator de interferência no balanço de radiação sobre áreas urbanas. O asfalto, por exemplo, apresenta um albedo de até 20% (FIG. 2), enquanto em uma cobertura de grama essa taxa pode chegar a 80% (BIAS *et al.*, 2003). Dessa forma, a superfície de asfalto pode absorver maior quantidade de radiação de ondas curtas do que uma superfície de grama, potencializando, conseqüentemente, a emissão de ondas longas e o aquecimento atmosférico no interior da *Urban Canopy Layer*¹.



FIGURA 2: Albedo estimado dos materiais presentes nos elementos urbanos. Fonte: Bias *et al.* (2003).

Se por um lado algumas superfícies urbanas possuem a propriedade de absorver mais radiação de ondas curtas e, portanto, emitir mais radiação de ondas longas, por outro, a menor umidade contida na superfície urbana devido à impermeabilização desta favorece as trocas de calor sensível em detrimento das de calor latente. As trocas de calor sensível são responsáveis pelo aquecimento atmosférico, enquanto as trocas de calor latente atuam na mudança de estado físico da água, auxiliando no resfriamento do ar. Neste aspecto, os materiais na superfície

¹ A *Urban Canopy Layer* é uma camada atmosférica urbana que compreende o ar contido entre as edificações. Nesta camada o comportamento climático é determinado pela natureza dos elementos imediatamente circundantes, sobretudo os materiais utilizados nas construções urbanas e a geometria das edificações (OKE, 2004).

urbana influem não somente na absorção de energia e aquecimento atmosférico, como também na diminuição da água disponível para evaporação.

Segundo Landsberg (2006), ainda que haja a adição de vapor d'água pelo processo de combustão no meio urbano, o vapor adicionado se difunde rapidamente para os estratos superiores da atmosfera, não contribuindo para a umidade do ar próxima ao solo, exceto em episódios de inversões térmicas pronunciadas. Ademais, nas cidades, o rápido escoamento da precipitação pelas superfícies impermeáveis, além da pouca vegetação, em geral, diminuem a disponibilidade de água para a evaporação e evapotranspiração.

Vilela (2007), em estudo de elaboração de cenários do clima urbano na região dos bairros Vila da Serra e Belvedere III (MG), observou porcentagens inferiores de umidade relativa do ar nas áreas mais adensadas e previu um agravamento desse quadro, caso os bairros fossem ocupados e verticalizados nos anos seguintes de acordo com a permissividade legislativa da época. No entanto, Machado (2013), em experimento comparativo entre uma área não urbanizada e uma área urbanizada e verticalizada no bairro Vila da Serra, não observou diferenças médias expressivas entre os locais quanto a umidade do ar. Isso pode ter ocorrido devido à proximidade do bairro Vila da Serra a áreas ainda vegetadas pertencentes ao bairro Vale do Sereno.

O arranjo das edificações, sobretudo nas áreas mais verticalizadas, não age apenas como barreira à dissipação do calor no período noturno, mas também como um fator de desaceleração local dos ventos. A velocidade do vento no meio urbano, sendo geralmente menor, induz a uma diminuição na perda de calor e na transferência de energia por advecção (NUNEZ e OKE, 1977). A redução da velocidade do vento pode diminuir o resfriamento na cidade durante o inverno e a dissipação de substâncias poluentes, agravando a disseminação de doenças respiratórias (LANDSBERG, 2006).

Quando as edificações se dispõem no espaço de forma adjacente às ruas formam o que Nunez e Oke (1977) denominam de *canyon* urbano (FIG. 3). No interior dos *canyons* urbanos o balanço de energia é regido pela sua geometria, que define a magnitude e o tempo dos processos envolvidos nas trocas de energia em cada componente do ambiente. A circulação atmosférica também é modificada de acordo com a geometria do canyon (FIG. 3).

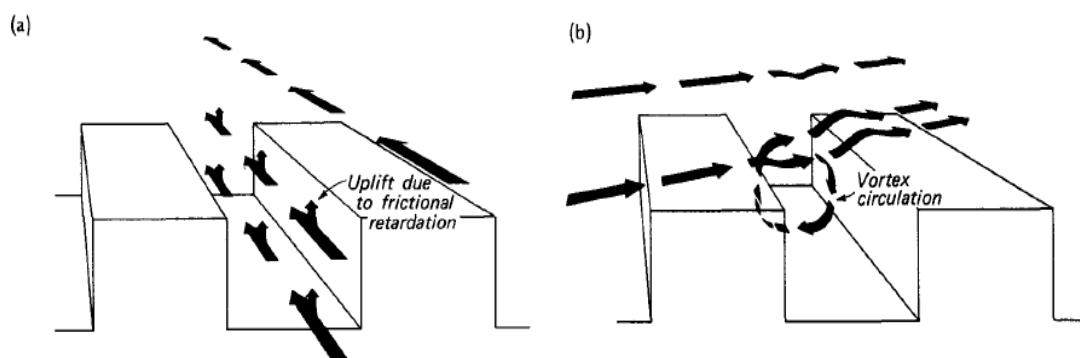


FIGURA 3: Esquema do fluxo de ar no interior de um canyon urbano com ventos de direção (a) paralela e (b) longitudinal. Fonte: Adaptado de Nunez e Oke (1977).

Em ambientes verticalizados verifica-se o aumento da velocidade do ar na medida em que se distancia da superfície, fenômeno responsável por elevar o limite da *Urban Canopy Layer* proporcionalmente ao incremento da rugosidade da superfície (ROMERO, 2000). Segundo Romero (2000, p. 51), "o movimento do ar no meio urbano está em relação direta com as massas edificadas, a forma destas, suas dimensões e sua justaposição". A autora define alguns efeitos que as edificações podem exercer sobre a circulação atmosférica no ambiente urbano (FIG. 4). Conhecendo-se tais efeitos e a direção predominante dos ventos é possível aproveitá-los para a ventilação urbana por meio de um planejamento urbanístico.

O movimento do ar na baixa troposfera afeta diretamente os pedestres e as edificações, podendo aumentar ou diminuir as perdas de calor por advecção. Em locais cujos edifícios possuem o mesmo gabarito há uma tendência de transferência do fluxo de ventos do solo para as coberturas. A diversidade morfológica horizontal e vertical dos gabaritos pode favorecer a ventilação ao nível dos pedestres (DUARTE e SERRA, 2003; ROMERO, 2000).

Lopes (1995) realizou um estudo no vale da Barcarena, em Portugal, para a identificação do mecanismo de acumulação de ar frio nos fundos de vale e depressões e a formação de cinturas térmicas² nas noites de arrefecimento radiativo (calmas e sem nebulosidade). Os pontos amostrais abrangiam áreas com ocupação urbana onde foi observado comportamento diferenciado da drenagem do ar frio durante a noite. O lago de ar frio formado sobre a superfície das encostas apresentava assimetria estrutural, encontrando-se inclinado para a vertente onde se localizava o

² Cinturas térmicas são faixas atmosféricas na meia vertente aquecidas em função do atrito entre o ar que desce do topo das vertentes durante a noite em direção aos fundos de vale e a superfície das encostas (LOPES, 1995).

núcleo urbano de Laveiras. Segundo o autor, este impedia o ar frio formado junto aos topos de atingir o fundo do vale, na medida em que provocava a redução do arrefecimento radiativo noturno.

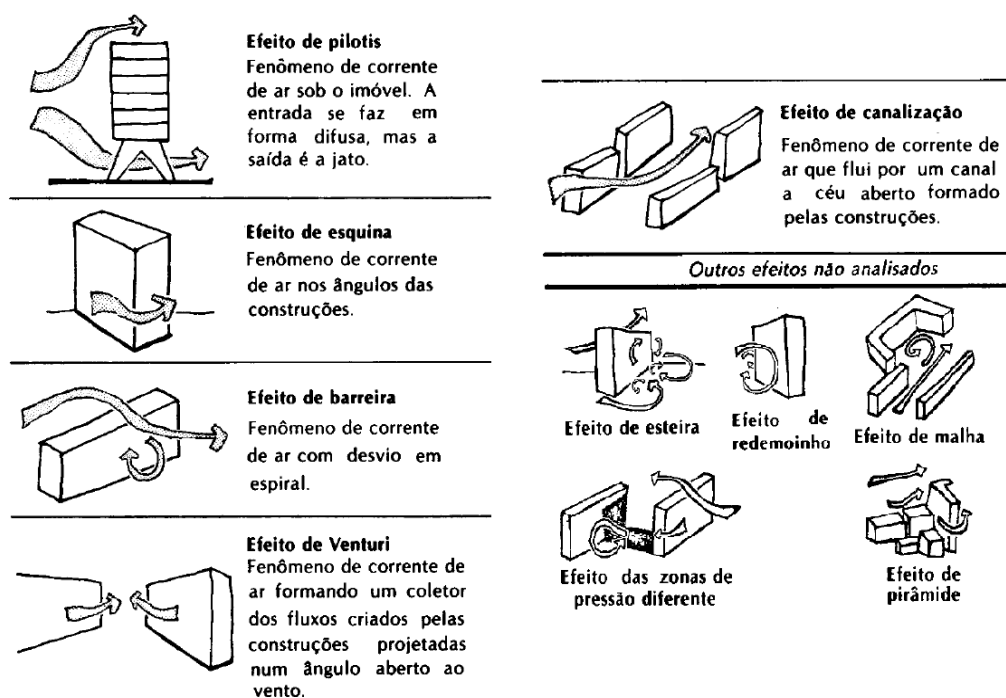


FIGURA 4: Efeitos aerodinâmicos do vento. Fonte: Adaptado de Romero (2000).

Machado (2013) identificou alterações na circulação atmosférica no bairro Vila da Serra em função da verticalização da área estudada. Em comparação com uma área não urbanizada próxima ao bairro, houve desvio de ventos e alteração na circulação de brisas vale-montanha, observada na área não urbanizada.

A urbanização e as atividades humanas desenvolvidas sobre áreas urbanas provocam alterações na composição química da atmosfera, que são a gênese do subsistema físico-químico do S.C.U. As funções urbanas imprimem na atmosfera gases e particulados que alteram a qualidade do ar sobre o tecido urbano. A alteração direta sobre a atmosfera na forma de adição de gases e particulados poluentes, trazem, ainda, consequências indiretas como o bloqueio da radiação. Em um segundo estágio, alteram a temperatura do ar, a precipitação e a umidade do ar (LANDSBERG, 2006). Em sítios urbanos que, topograficamente, contribuem para a concentração de poluentes e fumaça na baixa troposfera, a situação pode ser agravada e se tornar um risco para a população mais susceptível às doenças respiratórias, como idosos e crianças.

O terceiro canal de percepção do clima urbano, que abrange o subsistema hidromecânico, diz respeito ao impacto meteórico sobre áreas urbanas. Nas regiões de climas tropicais, como boa parte do Brasil, esse impacto é sentido na forma de inundações, resultado de fortes eventos pluviais concentrados (MONTEIRO, 1976).

1.2 Escalas climáticas

No intuito de facilitar o estudo e a compreensão da interação superfície-atmosfera, os fatos climáticos são hierarquizados em categorias conceituais que distinguem os processos envolvidos na definição dos climas em escalas espaciais e temporais. Tais categorias são arbitrárias e artificiais, uma vez que os fenômenos atmosféricos não obedecem a limites espaciais estáticos e intransponíveis, manifestando-se de forma contínua e indivisível (OKE, 1978; ASSIS, 2010). Sorre (2006, p. 91) depõe a favor da definição de zonas-limítrofes ou manchas nas quais

"[...] se fazem e se desfazem combinações de elementos característicos de regiões climáticas em contato. Nessas zonas transicionais, combinações fortuitas de fatores podem fazer reaparecer localmente um ou outro clima das vizinhanças em toda sua identidade".

Ainda que não se possa definir limites espaciais rígidos à atuação dos fenômenos atmosféricos, à medida em que se transitam as escalas espaciais, mudam-se os fatores de organização climática e tempo de resposta deste a tais fatores. Monteiro (2001a, p. 200) afirma que

O fundamental à compreensão das relações entre clima e a sociedade deve emanar do conhecimento de que:

- a) comportamento atmosférico, integrado às demais esferas e processos naturais, "organiza" espaços climáticos a partir das escalas superiores em direção às inferiores;
- b) a ação antrópica em derivar ou "alternar" essa organização ocorre no sentido inverso, ou seja, das escalas inferiores para as superiores.

Atendo-se à primeira afirmação, pode-se acrescentar que, na medida em que se transita das escalas climáticas onde há uma repercussão global dos processos de discriminação climática para escalas hierarquicamente menores, ou seja, aquelas em que a distinção dos climas se dá de forma espacialmente limitada, o comportamento dos elementos climáticos torna-se mais atrelado aos fatores geográficos de superfície. Assim, justifica-se a segunda afirmação de Monteiro (2001a, p. 200), uma vez que nas escalas de menor hierarquia climática, o clima está exposto a derivações antrópicas. Monteiro (2001a, p. 200) acrescenta que

Mais importante ainda é compreender que a capacidade do homem em alterar o clima (e os sistemas naturais) não se deve a uma ação direta na atmosfera cujo comportamento obedece a comandos bem mais superiores (à escala do globo), mas a uma ação indireta, ou seja, à atuação na cobertura biótica da crosta terrestre principiando pela comunidade vegetal.

Esta preciosa interfaces da atmosfera, litosfera e hidrosfera que fornece os recursos vitais a antroposfera, é o palco do desempenho humano e para ali deve ser dirigida a atenção sobre a avaliação do desempenho dos sistemas de relações. É ali que o homem corrige os efeitos negativos produzidos no clima. Também é ali que ele interfere, corrige e torna economicamente produtivos, sistemas naturais que, em suas formas primitivas, mostravam-se incapazes de prover as necessidades humanas. Genericamente falando o homem tem dado capacidade de duas coisas: derivar negativamente e positivamente os sistemas naturais.

Nos estudos de clima urbano a análise geográfica deve recair o seu maior interesse sobre a base da atmosfera, ou seja, os três primeiros quilômetros inferiores sobre os quais os efeitos do relevo e o contato com as massas oceânicas resultam na atmosfera geográfica (MONTEIRO, 1999). Nela está concentrada a umidade, as camadas de nuvens e a ação dinâmica do "tempo", sendo diretamente afetada por processos ou eventos que ocorrem na superfície. Esta faixa da atmosfera denomina-se *Planet Boundary Layer (PBL)* ou Camada Limite Planetária³ (CLP) (FIG. 5a).

Oke (1976) propôs a divisão da CLP em duas camadas quando esta abrange áreas urbanas, a fim de se discretizar as influências do tecido urbano sobre o comportamento atmosférico (FIG. 5a). A primeira camada é denominada *Urban Canopy Layer (UCL)* ou Camada de Cobertura Urbana. Esta compreende o ar contido entre os "elementos de rugosidade urbana"⁴, representados pelas edificações. Portanto, ela abrange a extensão da atmosfera que vai do solo até, aproximadamente, o nível médio da altura das edificações. Na UCL, o comportamento climático é dominado pela natureza dos elementos imediatamente circundantes, sobretudo os materiais utilizados nas construções urbanas e a geometria das edificações (OKE, 1976) (FIG. 5b e c).

A segunda camada refere-se à *Urban Boundary Layer (UBL)* ou Camada Limite Urbana. Esta situa-se diretamente sobre a UCL, compreendendo a influência térmica de toda a cidade (OKE, 1976). Ela pode se estender a sotavento da área urbanizada formando a "pluma urbana" (OKE, 1978). O topo da UBL registra, usualmente, uma inversão de temperatura correspondente ao limite vertical de alcance dos gases poluentes emitidos na atmosfera urbana.

Entre a UCL e a UBL, Oke (2004) destaca uma camada de transição, a qual denomina de *Roughness Sublayer* (FIG. 5c). Neste nível da atmosfera urbana, os

³Monteiro (1999) se refere à CLP como "camada de mistura". Oke a denomina de *Planet Boundary Layer - PBL* (OKE, 1978).

⁴*Urban roughness elements* (OKE, 1978).

efeitos microclimáticos de obstáculos individuais presentes na *UCL* se propagam um pouco acima da fonte. No entanto, tais efeitos são misturados e mudados pela ação da turbulência. A profundidade desta camada transicional depende da magnitude do efeito microclimático nos elementos presentes na *UCL*, da velocidade do vento e do grau de estabilidade atmosférica. A profundidade desta camada compreende a altura que vai da superfície urbana até onde a mistura está completa.

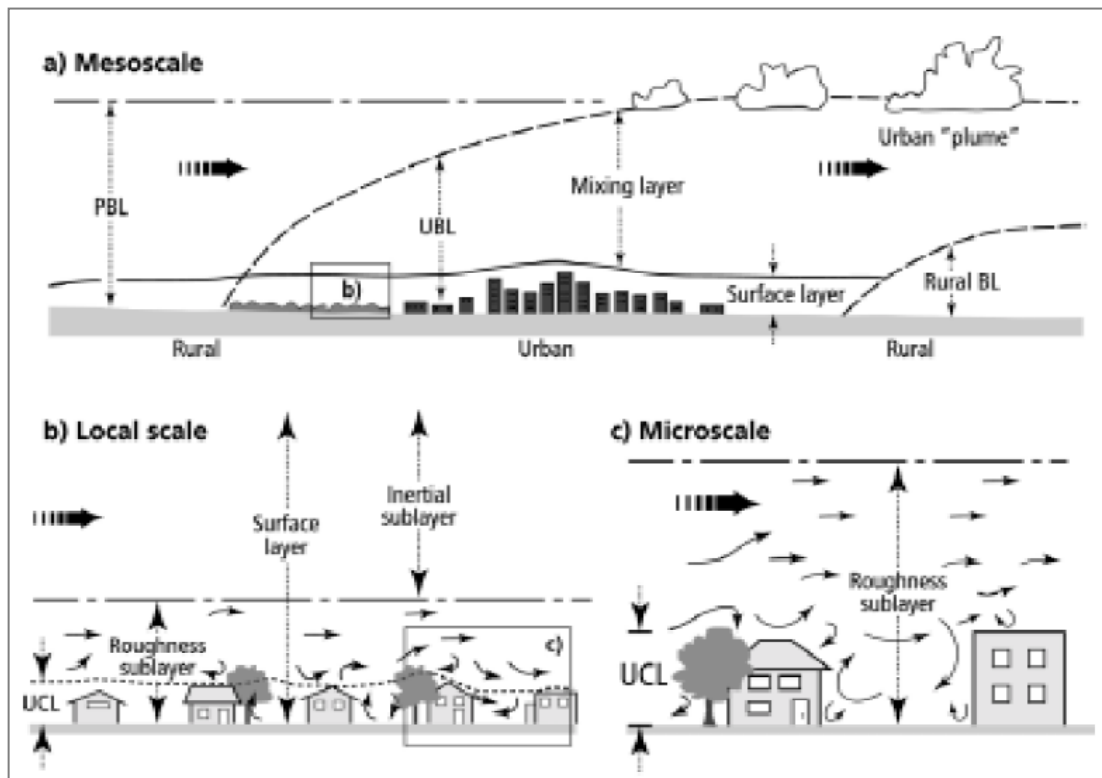


FIGURA 5: Esquema ilustrativo das escalas climáticas e camadas verticais sobre áreas urbanas (a) na mesoescala, (b) escala local e (c) microescala. Fonte: Oke (2004).

Além da divisão vertical da atmosfera, há escalas horizontais de manifestação climática nas quais os níveis verticais estão compreendidos. São elas:

- Microclima: possui uma abrangência espacial relacionada às dimensões de edifícios, árvores, estradas, ruas, jardins e elementos individuais dispostos na superfície. Sua dimensão vertical não ultrapassa a *Urban Canopy Layer*. Em função de sua dimensão espacial reduzida, a temperatura do ar e da superfície pode variar muitos graus em distâncias pequenas e o fluxo de ar pode ser perturbado por objetos pequenos nesta escala (OKE, 2004).
- Topoclima: para Tarifa (1981) e Conti (1995), trata-se de uma categoria taxonômica especial, na qual as características topográficas, ou seja, a declividade, exposição e forma do terreno, influem na quantidade de calor

recebido do sol. Além disso, a circulação atmosférica nessas áreas obedece aos fatores de morfologia do terreno. Baumüller *et al.* (1997) e Assis (2010) utilizam o conceito para definir áreas onde há comportamento microclimáticos parecidos, definidos, em sua maioria, pelos tipos de uso e ocupação do solo.

- Mesoclima: compreende o conjunto de topoclimas em determinada região como um bairro ou subúrbio urbano (Monteiro, 1976). Nesta escala, a manifestação vertical do clima compreende a extensão da UBL.
- Escala local: relaciona-se a abrangência climática de áreas metropolitanas ou áreas em que o controle climático é exercido pelas características da morfologia do terreno em dimensões horizontais que podem variar de 100m até 10.000m (MONTEIRO, 1976; ASSIS, 2010).
- Mesoclima regional: a manifestação do mesoclima se dá pelas influências de tempo e clima, tendo, tipicamente, dezenas de quilômetros de extensão. Nesta escala, a manifestação vertical do clima em áreas urbanas compreende toda a extensão da UBL.
- Macroclima: nesta escala os controles climáticos são de ordem global, assim como a manifestação climática. O clima é definido pela circulação geral da atmosfera e pela atuação de sistemas atmosféricos de larga escala, além de fatores astronômicos como, por exemplo, a atividade solar.

Cabe ressaltar que alguns conceitos relacionados à taxonomia escalar na climatologia apresentam significados diversos na comunidade científica. Um exemplo disso é o conceito de mesoclima, o qual em alguns estudos abrange a escala regional ou local (AYOADE, 1991; ANDRADE, 2005; MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007), e em outros pode ser tratado como inserido no clima local (MONTEIRO, 1976).

Assis (2010), em um esforço de simplificar e organizar as definições consultadas na elaboração de seu estudo, confeccionou um fluxograma com as escalas de análise e a hierarquia funcional relacionadas ao S.C.U. (FIG. 6). Nota-se que o autor considerou o clima local simultâneo à manifestação mesoclimática urbana, a qual compreende o limite máximo de influência direta do S.C.U. sobre o comportamento atmosférico. Para o autor, a *UCL* está atrelada aos fenômenos de ordem microclimática, enquanto a *UBL* alcança os fenômenos de propagação mesoclimática. As manifestações topoclimáticas estariam na interface das camadas atmosféricas do clima urbano, a *UBL* e a *UCL*.

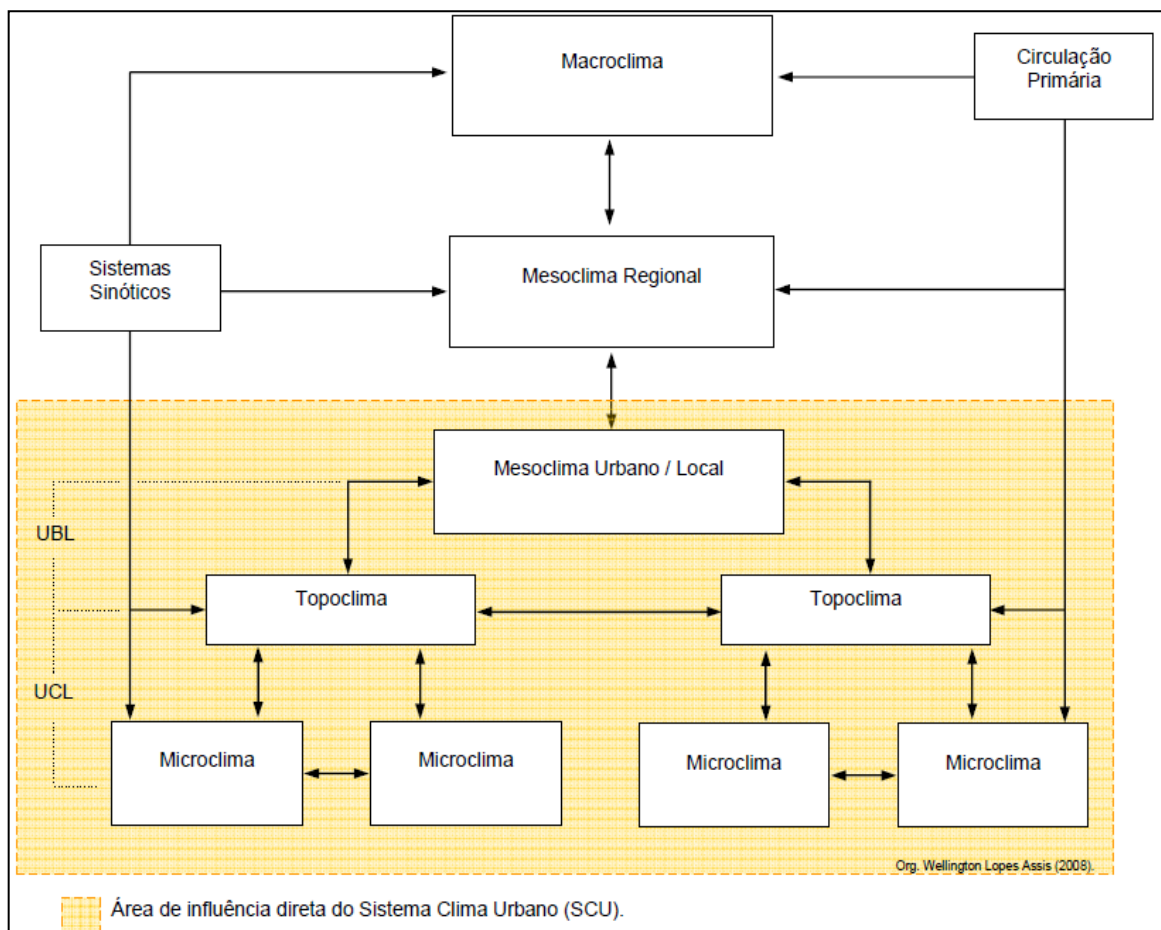


FIGURA 6: Hierarquia funcional simplificada do Sistema Clima Urbano. As setas representam o intercâmbio contínuo de energia e massa entre as diversas escalas de análise. Fonte: Assis (2010).

Assis (2010), no entanto, reforça a visão sistêmica do clima urbano, com variados graus de hierarquia funcional e diferentes níveis de resolução. Segundo o autor,

[...] não seria correto assumir a existência de um único clima urbano, mas de um conjunto de mesoclimas e topoclimas que apresentam um padrão térmico e hídrico organizado, efeito de uma multiplicidade de microclimas que caracteriza o espaço urbano (ASSIS, 2010, p. 19).

A cada escala hierárquica do clima associam-se determinados dados ou fontes de informações meteorológicas e climatológicas que são fundamentais à análise climática, assim como o tratamento metodológico de tais dados (CONTI, 1995). Monteiro (1976) atribui a cada categoria taxonômica da organização geográfica do clima, estratégias de abordagem e sua articulação com o clima urbano (TAB. 1).

Nota-se que nas escalas hierárquicas de maior extensão, ou seja, aquelas que excedem o clima Sub-Regional (para o caso de extensas áreas metropolitanas), não é possível identificar derivações de cunho antropogênico em função da resposta

atmosférica a fatores que excedem a capacidade de "controle" humano nestes níveis, como a circulação secundária de massas de ar. Outro fator que se destaca é o nível de detalhe que é exigido com relação aos meios de observação e às técnicas de análise quando o foco analítico se prende às maiores escalas cartográficas.

TABELA 1: Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano.

ORDENS DE GRANDEZA (CAILLEUX & TRICART)	UNIDADES DE SUPERFÍCIE	ESCALAS CARTOGRÁFICAS DE TRATAMENTO		ESPAÇOS CLIMÁTICOS	ESPAÇOS URBANOS	ESTRATÉGIAS DE ABORDAGEM		
						MEIOS DE OBSERVAÇÃO	FATORES DE ORGANIZAÇÃO	TÉCNICAS DE ANÁLISE
II	10 ⁶ Milhões de Km	1:45.000.000	1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálise	Latitude Centro de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	10 ⁴ Milhares de Km	1:5.000.000	1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Rede Transectos
IV	10 ² Centenas de Km	1:1.000.000	1:500.000	Sub-Regional (Fácies)	Metrópole grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos regionais	Mapeamento sistemático
V	10 Dezenas de Km	1:250.000	1:100.000	Local	Área metropolitana	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geocológica Ação antrópica	Análise espacial
VI	10 ² Centenas de Km	1:50.000	1:25.000	Mesoclima	Cidade grande Bairro ou subúrbio de metrópole Pequena cidade	Registros móveis (episódicos)	Urbanismo	
-	Dezenas de metros	1:10.000	1:5.000	Topoclima	Fácies de bairro/subúrbio de cidade	(detalhe)	Arquitetura	Especiais
-	Metros	1:2.000		Microclima	Grande edificação habitação setor	Bateria de instrumentos espaciais	Habitação	

Fonte: Adaptado de Monteiro (1976).

Quando o foco é o estudo do micro, topo e mesoclima sobre áreas urbanizadas, é necessário o aporte de instrumentos de medição que revelem as especificidades climáticas das múltiplas formas e funções dos espaços urbanos (MONTEIRO, 1990). A rede de estações meteorológicas oficiais mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) não cobre com tal nível de detalhe as áreas urbanas, o que exige do pesquisador a mobilização de equipes para a mensuração *in locu* dos dados necessários à análise científica do clima urbano.

1.3 Técnicas de mapeamento do clima urbano

Segundo Monteiro (2003, p. 25), no espaço urbano, o homem:

[...] na medida em que conhece e é capaz de detectar suas disfunções, pode, através do seu poder de decisão, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de reciclagem e/ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas.

O mapeamento do clima urbano é, dessa forma, instrumento essencial ao planejamento das ações de intervenção na superfície urbana a fim de se conduzir as características de conforto climático. No entanto, não basta sobrepor os modelos de caracterização geocológica e urbana, mas sim considerar, na análise geográfica, a interação desses fatores. Monteiro (1990b) estabelece as premissas do mapeamento do clima urbano, considerando este como um sistema e destacando a necessidade de se observar as características do sítio urbano como base para os estudos. O autor utilizou-se, assim da técnica de croquis e organogramas para a análise das complexas relações entre a superfície e a atmosfera e entre as diferentes escalas climáticas que se organizam e interagem sobre a cidade (MONTEIRO, 1976, MONTEIRO 1990b).

Na Alemanha, desde os anos 70 as pesquisas em clima urbano se desenvolveram voltadas ao mapeamento do clima como forma de auxílio ao planejamento das cidades (REN *et al.*, 2010). Segundo Ren *et al.* (2010), climatologistas da cidade de Stuttgart, encabeçados pelo Dr. Baumüller, foram os primeiros a conduzir estudos da metodologia de Mapa do Clima Urbano (*UCMap*) para a mitigação dos problemas de poluição do ar, e aplicar o conhecimento climático ao planejamento ambiental e do uso do solo. Em meados dos anos 80, países europeus como a Suíça, Áustria, Suécia, Hungria, Checoslováquia, Polônia, Portugal e Reino Unido, desenvolveram estudos de Mapas de Clima Urbano (REN *et al.*, 2010). Recentemente, países sul-americanos e asiáticos estão entre os que desenvolveram pesquisas baseadas na metodologia do *UCMap*, como o Japão, França e Brasil (REN *et al.*, 2010).

O Mapa do Clima Urbano (*UCMap*) é uma ferramenta de informação e avaliação do clima com a finalidade de integrar fatos do clima urbano ao planejamento da cidade. Ele consiste em um sistema com uma série de camadas de entrada básicas e dois componentes principais: o mapa de análise do clima urbano (*Urban Climatic Analysis Map - UC- AnMap*) e o mapa de recomendações climáticas para o

planejamento urbano (*Urban Climatic Planning Recommendation Map - UC-ReMap*) (FIG. 7). O *UC-AnMap* representa as realidades climáticas locais em um panorama bidimensional, feito com base em camadas de entrada as quais compreendem mapas topográficos, plantas da cidade, planos de áreas de aproveitamento e fotografias aéreas (BAUMÜLLER *et al.*, 1997; REN *et al.*, 2010; BAUMÜLLER *et al.*, 2012).

O *UC-AnMap* é elaborado com base em uma série de dados meteorológicos, geográficos e de uso do solo (FIG. 7). Os dados são obtidos por meio de estações meteorológicas, imagens aéreas de infravermelho e pela simulação de modelos de macro e meso-escala, especialmente, na análise do fluxo de ventos e do balanço de energia (BAUMÜLLER *et al.*, 1997; REN *et al.*, 2010). A organização e análise dos dados básicos de entrada resulta na definição de topoclimas como unidades básicas do mapa analítico do clima urbano, as quais compreendem a distribuição das unidades climáticas produzidas por distintos tipos de uso e cobertura do solo urbano (BAUMÜLLER *et al.*, 1997; REN *et al.*, 2010).

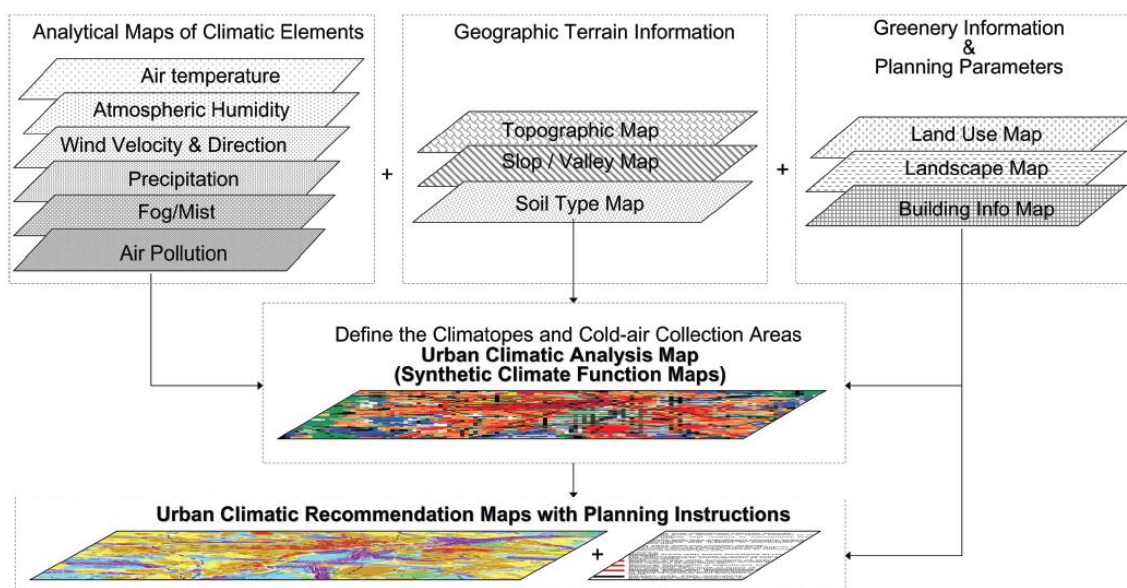


FIGURA 7: Estrutura metodológica do Mapa do Clima Urbano (*UCMap*). Fonte: REN *et al.* (2010).

Para a cidade de Stuttgart, foram desenvolvidas onze categorias de topoclimas (FIG. 8) (BAUMÜLLER *et al.*, 1997), incluindo topoclimas de corpos d'água, campo aberto, floresta, áreas verdes, cidade jardim, periferia, cidade, núcleo de cidade, empresas, indústria e estações. O limite entre os topoclimas, no entanto, não se faz rígido, mas sim uma faixa entre as unidades vizinhas onde há a possibilidade de se observar a manifestação de ambos os tipos climáticos (BAUMÜLLER *et al.*, 1997). Os estudos coordenados pelo Dr. Baumüller na cidade de Stuttgart, originaram

a Cartilha Urbanística do Clima, documento voltado ao uso das autoridades como auxílio ao planejamento urbano local. Atualmente, o *UCMap* passa por revisão periódica. A última atualização do estudo foi publicada em 2008, no Atlas do Clima de Stuttgart (BAUMÜLLER *et al.*, 2008) e em 2012 foi revisada a Cartilha Urbanística do Clima (BAUMÜLLER *et al.*, 2012).

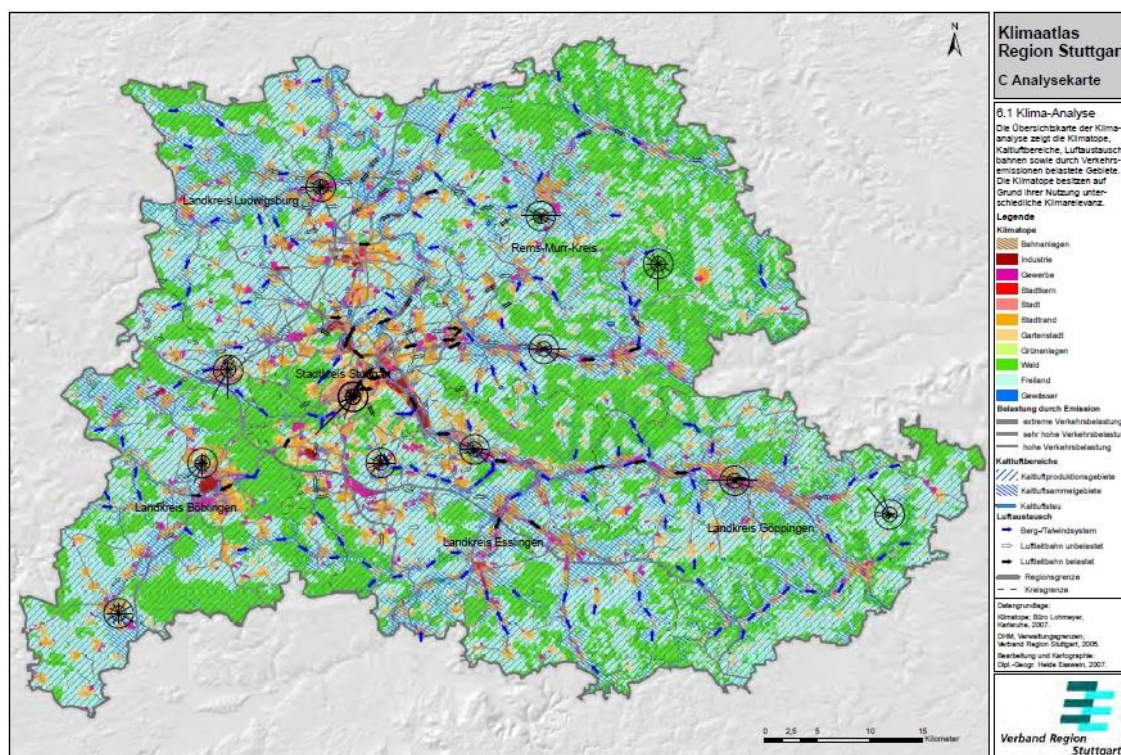


FIGURA 8: Mapa de análise do clima urbano (UC-AnMap) da cidade de Stuttgart. Fonte: Baumüller *et al.* (2008).

O mapa de recomendações climáticas para o planejamento urbano (*UC-ReMap*) constitui-se em uma avaliação das características apresentadas no *UC-AnMap* em relação aos interesses relevantes do planejamento (BAUMÜLLER *et al.*, 1997). Os toposclimas similares são agrupados em zonas que apresentam a sensibilidade de certas áreas perante as mudanças de uso do solo. As zonas são representadas por diferentes cores e símbolos que apresentam pistas para a ação do planejador (FIG. 9). O *UC-ReMap* apresenta não somente a avaliação das características do clima urbano, mas também identifica problemas e áreas climáticas sensíveis que necessitam de atenção estratégica quanto ao desenvolvimento futuro (REN *et al.*, 2010). Nesse estágio, climatologistas urbanos e planejadores precisam trabalhar juntos.

Ren *et al.* (2010) apontam os aspectos positivos e as limitações do *UCMap*. Além de constituir um estudo transdisciplinar e prático, focado na aplicação dos

conhecimentos climáticos ao planejamento urbano, os mapas permitem aos planejadores a visualização simplificada das informações por meio de gráficos e cores, possibilitando a observação das áreas climaticamente problemáticas e sensíveis às mudanças de uso e ocupação do solo. Ademais, a plataforma GIS, onde se desenvolvem os mapas, permitem a manutenção e atualização das informações, exportando materiais com diferentes escalas e layouts, o que os torna flexíveis para o uso no planejamento.

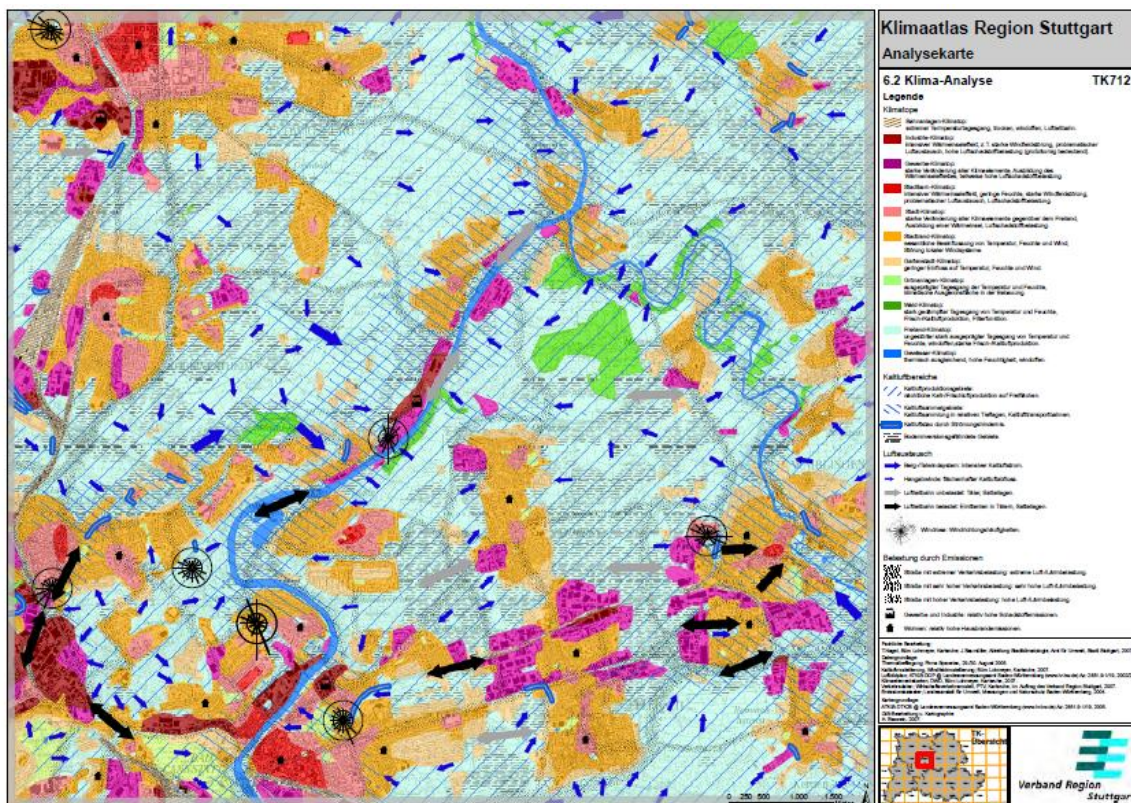


FIGURA 9: Mapa recomendações climáticas para o planejamento urbano (*UC-ReMap*) da cidade de Stuttgart. Fonte: Baumüller *et al.* (2008).

No entanto, o *UC-AnMap* e *UC-ReMap* dependem não apenas dos dados objetivos e empíricos levantados, mas também do conhecimento, experiência e avaliação qualitativa de climatologistas urbanos, sendo possível que suas informações não sejam entendidas pelos planejadores sem o auxílio de um climatologista. REN *et al.* (2010) citam, ainda, a necessidade da calibração quantitativa dos topoclimas definidos para melhor entendimento de seus padrões de distribuição. Atendo-se à realidade das pesquisas brasileiras, adiciona-se as limitações de materiais e instrumentos para o levantamento dos dados de entrada dos mapas, às quais os pesquisadores de clima urbano do país estão submetidos.

Para a cidade de Kassel, também na Alemanha, o Prof. Lutz Katzschner (1993⁵, *apud* REN *et al.*, 2010; KATZSCHNER, 2008) desenvolveu pesquisas para a elaboração do *UCMap*. Observada a realidade da cidade, o autor elaborou oito classes de condições climáticas para o *UC-AnMap*, determinadas por parâmetros de conforto térmico como temperatura de radiação e velocidade do vento (KATZSCHNER, 2008). Os parâmetros utilizados na caracterização climática foram combinados e calculados na plataforma GIS. A metodologia do trabalho é apresentada em seis etapas, traduzidas e demonstradas por Souza (2010b), as quais podem ser observadas na figura 10.

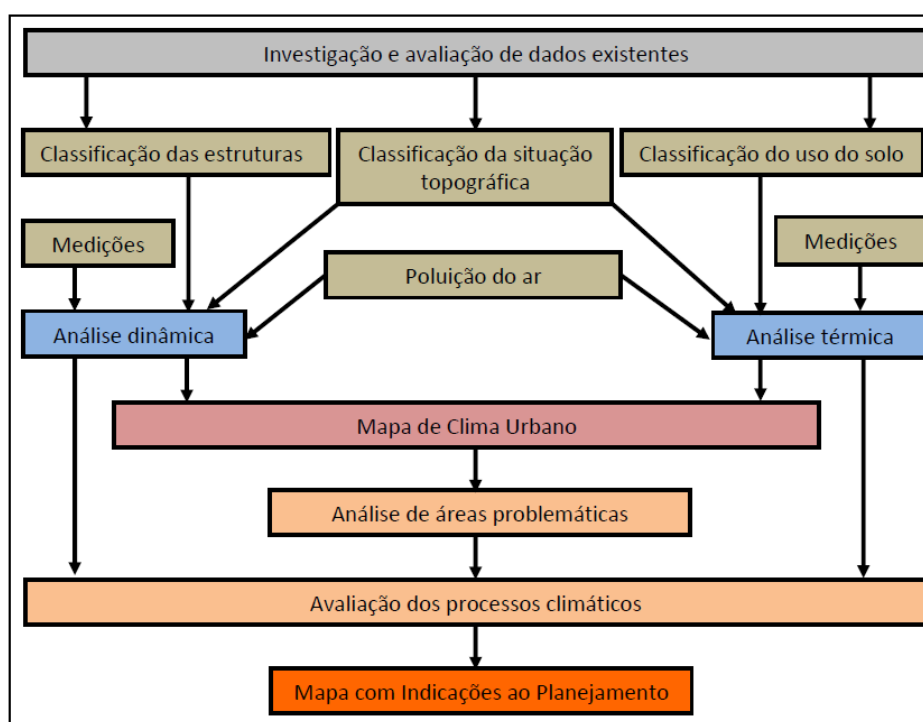


FIGURA 10: Estrutura metodológica do Mapa do Clima Urbano (*UCMap*). Fonte: Souza (2010b).

No Brasil, Souza (2010b) adaptou a metodologia de Katzschner (2008) para a elaboração de um mapa de análise do clima urbano para a cidade de João Pessoa, na Paraíba (FIG. 11). O autor não desenvolveu o mapa de recomendações para o planejamento, porém constatou incompatibilidades entre as premissas legislativas de uso e ocupação do solo da cidade e as características climáticas observadas no mapa e sugeriu a revisão do Plano Diretor Municipal da cidade.

⁵ Katzschner, L. Urban Climatic Analysis Map for Kassel. *Cartographer*, Germany, 1993.

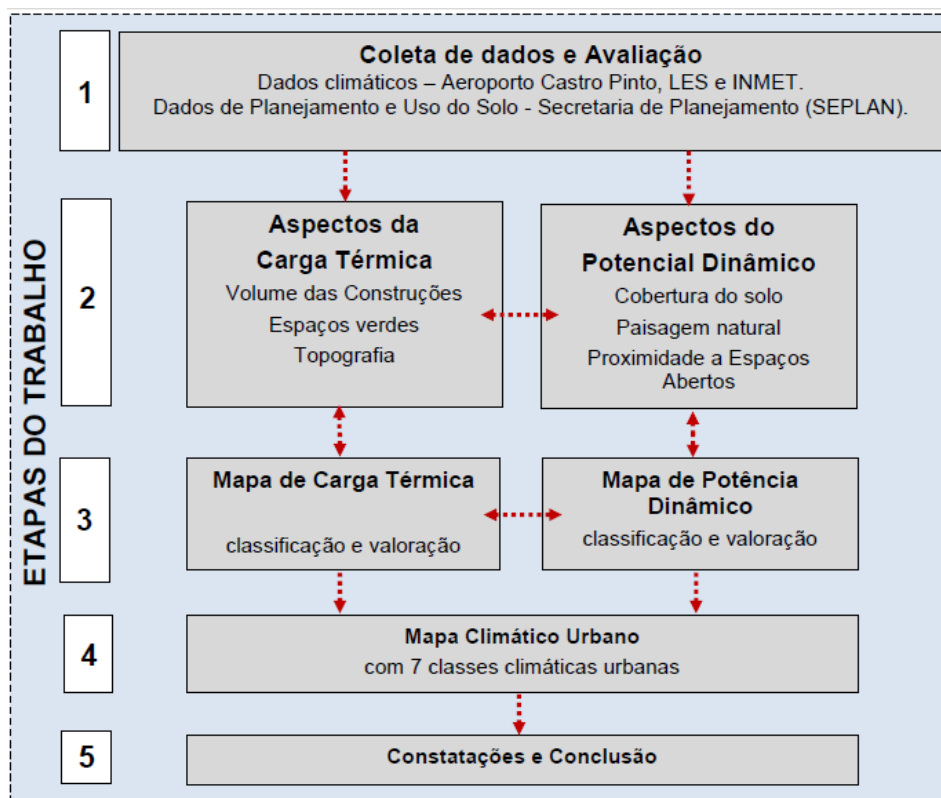


FIGURA 11: Metodologia de elaboração do Mapa do Clima Urbano da cidade de João Pessoa. Fonte: Souza (2010b), adaptado de Katzschner (2008).

Na cidade de São Paulo, Tarifa e Armani (2000) desenvolveram um estudo de mapeamento de unidades climáticas a fim de atualizar informações e integrar o projeto do Atlas Ambiental do Município de São Paulo. Os autores delimitaram e analisaram as unidades climáticas urbanas em três níveis escalares: o primeiro integrou os conjuntos de climas locais e toda a mancha urbana contínua da metrópole paulistana; o segundo nível esteve associado às unidades topoclimáticas, onde as diferenças estariam associadas aos padrões de uso do solo, bem como às diferenças constatadas na concentração dos poluentes atmosféricos decorrentes dos meso e topoclimas naturais e urbanos; o terceiro nível, associado ao habitar, viver e trabalhar, teve foco sobre os ambientes microclimáticos.

A delimitação das unidades climáticas nos três níveis baseou-se na análise de mapas, dados de estações meteorológicas e sensoriamento remoto. A abordagem empregada utilizou o acervo de conhecimento sobre o clima da cidade de São Paulo no Laboratório de Climatologia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, além de dados da Normal Climatológica do Mirante de Santana (1961-1990), dados de frequência e direção do vento do Aeroporto de Congonhas (1987-1993), mapas de pluviosidade da cidade de São Paulo, imagens de satélite Landsat

para termografia da superfície e delimitação de áreas verdes urbanas, mapa de uso do solo e mapa de distribuição de favelas.

A análise dos dados e mapas levantados resultou em dois mapas: Unidades Climáticas Naturais e Unidades Climáticas Urbanas do Município de São Paulo. Tarifa e Armani (2000) definem os espaços climáticos naturais como um artifício analítico para entender melhor as interações superfície-atmosfera entre as várias escalas climáticas e o acompanhamento da evolução têmporo-espacial dos parâmetros meteorológicos. Os principais controles climáticos naturais para definição dos climas locais e mesoclimas foram o Oceano Atlântico, a altitude e o relevo, com as suas diferentes formas e orientações.

Ao final, foram definidos cinco climas locais relacionados à características naturais da área, os quais foram subdivididos em meso ou topo-climas em função das diferentes características topográficas de cada clima local. Após a análise dos mapas e dados relativos à malha urbana e do comportamento dos elementos meteorológicos, foram definidas quatro macro-unidades climáticas urbanas. Estas unidades foram consideradas como “homogêneas” para cada dimensão das relações entre os controles climáticos urbanos (uso do solo, fluxo de veículos, densidade populacional, densidade das edificações, orientação e altura das edificações, áreas verdes, represas, parques e emissão de poluentes) e os elementos meteorológicos (temperatura da superfície, do ar, umidade, insolação, radiação solar, qualidade do ar, pluviosidade, ventilação). Portanto, existe uma série de níveis e dimensões destas unidades hierarquizadas numa “rede” de relações que se definem no espaço (comprimento, altura, largura) e no tempo (sazonal, mensal, diário e horário). Os mapas de Unidades Climáticas Naturais e Unidades Climáticas Urbanas elaborados por Tarifa e Armani (2000) são apresentados no Anexo A. A delimitação gráfica das unidades foi feita com base nas análises empreendidas pelos pesquisadores e o conhecimento técnico-científico desses sobre as relações superfície-atmosfera e suas especificidades sobre o sítio urbano de São Paulo.

Assis (2010) realizou o mapeamento do clima urbano de Belo Horizonte confeccionando o Mapa de Unidades Climáticas Naturais e Urbanas do município. Os limites das unidades climáticas naturais foram definidos conjugando-se informações de controle climático local e homogeneidade estatística dos parâmetros meteorológicos sobre a topografia. Assim, procurou-se identificar a influência da morfologia do terreno e da cobertura vegetal na caracterização dos topo-climas e

mesoclimas da área. Foram definidos dois climas locais relacionados com as características topográficas do terreno, a saber: o Clima Tropical de Altitude das Serras do Quadrilátero Ferrífero e o Clima Tropical de Altitude da Depressão de Belo Horizonte. Foram definidas, ainda, três unidades de mesoclimas e oito classes de topoclimas (FIG. 12 e 13).

As unidades climáticas urbanas foram mapeadas por meio da sobreposição de diversas camadas de informações obtidas pelo autor por meio de coletas de dados em campo organizados em cartogramas, mapa de uso do solo predominante, mapa de densidade demográfica, modelo digital de elevação e o mapa de unidades naturais. A elaboração das unidades topo e mesoclimáticas fundamentou-se na análise integrada dos fatores geocológicos que compõem o tecido urbano e as respostas termais e hígricas dos trabalhos de campo. Não foram empregados algoritmos ou pesos estatísticos na espacialização das unidades, sendo o processo de delimitação das unidades feito de forma manual, observando-se o comportamento das isolinhas (isotermas, isohígras e isotacas) sobre os mapas de uso do solo, densidade demográfica e modelo digital de terreno. O resultado é apresentado nas figuras 14 e 15.

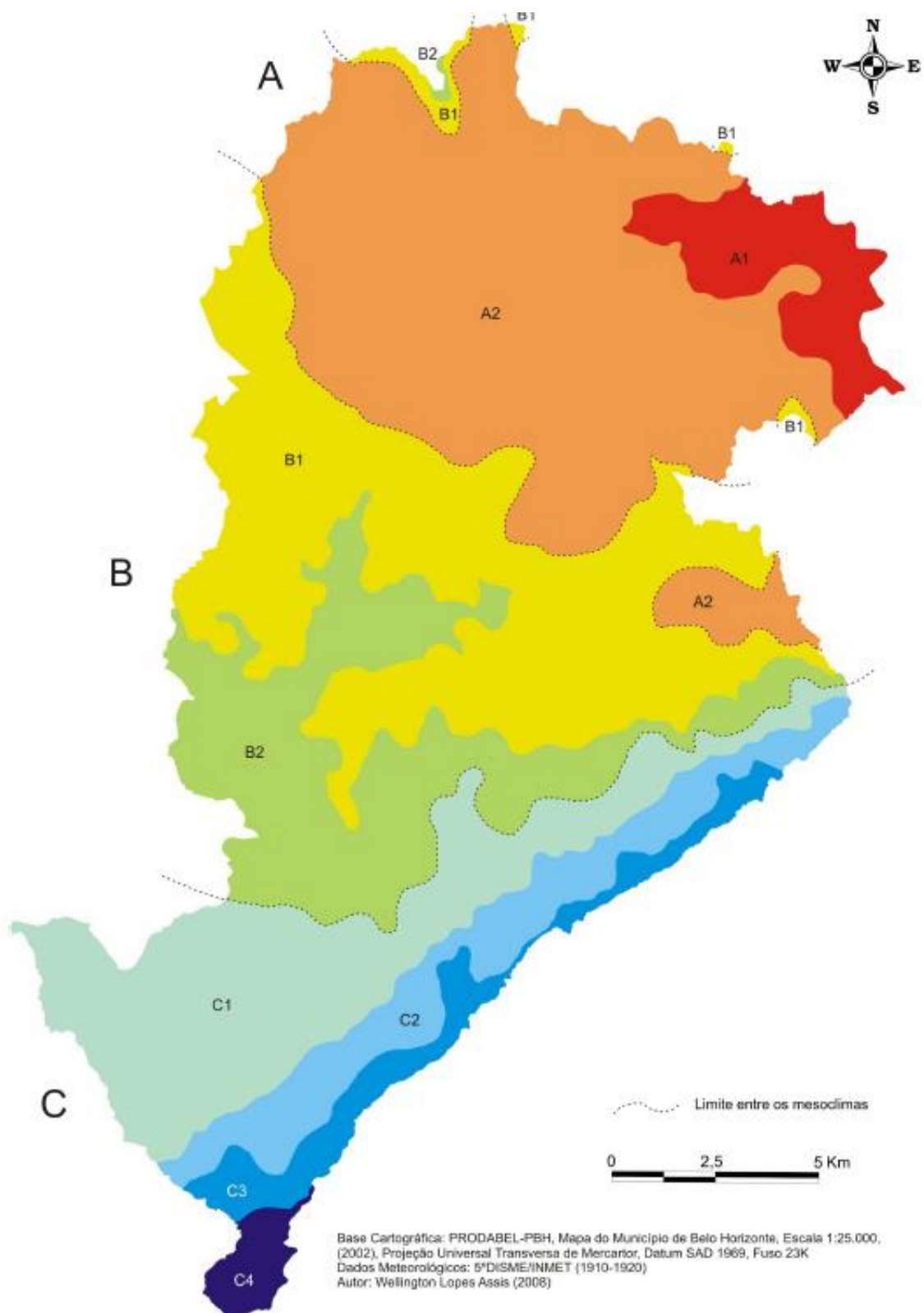


FIGURA 12 - Unidades climáticas naturais do município de Belo Horizonte. Fonte: Assis (2010).

Unidades Climáticas			Fatores Climáticos			Elementos Climáticos			
Clima Local	Mesoclima	Topoclima	Altitude (m)	Morfologia do Terreno		Temperatura do Ar (°C)			UR (%)
				Principais Características	Orientação	Média	Máxima	Mínima	
I - Clima Tropical de Altitude da Depressão de Belo Horizonte	A	A1	675 - 700	Colinas com topos aguçados e vertentes retilíneas na confluência do ribeirão do Onça com o rio das Velhas. Presença de espigões e vales encaixados com seções em forma de "V".	NW - SE	20,4 - 20,9	26,4 - 26,9	15,3 - 15,8	74,5 - 75,0
		A2	700 - 800	Relevo suavemente ondulado com presença de amplas colinas de topos achatados e vales abertos de fundo chato do ribeirão Pampulha-Onça.	W - E	20,0 - 20,4	26,0 - 26,4	14,9 - 15,3	
	B	B1	800 - 900	Relevo ondulado e suavizado da Depressão de Belo Horizonte com vertentes côncavas e vales abertos côncavos. Na porção central e Oeste topos abaulados com vertentes retilíneas e vales côncavos. No extremo Norte do município destacam-se as feições dos espigões do Engenho Nogueira e Venda Nova com vertentes íngremes e ravinadas, cercadas por vales encaixados.	W - E	19,7 - 20,0	25,7 - 26,0	14,6 - 14,9	73,5 - 74,0
		B2	900 - 1000		NNW - SSE	19,3 - 19,7	25,3 - 25,7	14,2 - 14,6	73,0 - 73,5
II - Clima Tropical de Altitude das Serras do Quadrilátero Ferrífero	C	C1	1000 - 1100	No limite entre os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima existem cristas e escarpas da Serra do Curral com vertentes retilíneas ravinadas e vales encaixados em forma de "V". A linha de crista da Serra do Curral desenvolve-se por altitudes entre 1150m e 1510m, disposta na direção Sudoeste-Nordeste. Presença de subcompartimentos moderadamente ondulado entre 1100m a 1200m, assemelhando-se a pequenos tabuleiros em meio a sítios profundamente dissecados. No extremo Oeste do regional Barreiro ocorrência de relevo colinoso do ribeirão Arrudas, colinas alongadas, topos abaulados com vertenes convexas e vales côncavos.	SW - NE	18,8 - 19,3	24,8 - 25,3	13,7 - 14,2	72,5 - 73,0
		C2	1100 - 1200			18,0 - 18,8	24,0 - 24,8	12,9 - 13,7	72,0 - 72,5
		C3	1200 - 1300			17,1 - 18,0	23,1 - 24,0	12,0 - 12,9	71,5 - 72,0
		C4	1300 - 1510			15,7 - 17,1	21,7 - 23,1	10,6 - 12,0	71,0 - 71,5

Base Cartográfica : PRODABEL - PBH, Mapa do Município de Belo Horizonte , Escala 1:25.000, (2002), Projeção Universal Transversa de Mercator , Datum SAD 1969, Fuso 23K
Caracterização Geomorfológica : adaptado de PLAMBEL (1984), BAUMGRATZ (1988) e FERREIRA (1997)
Dados Meteorológicos : 5º DISME INMET (1910-1920)
Autor: Wellington Lopes Assis (2008)

FIGURA 13: Classificação das unidades climáticas naturais do município de Belo Horizonte. Fonte: Assis (2010)

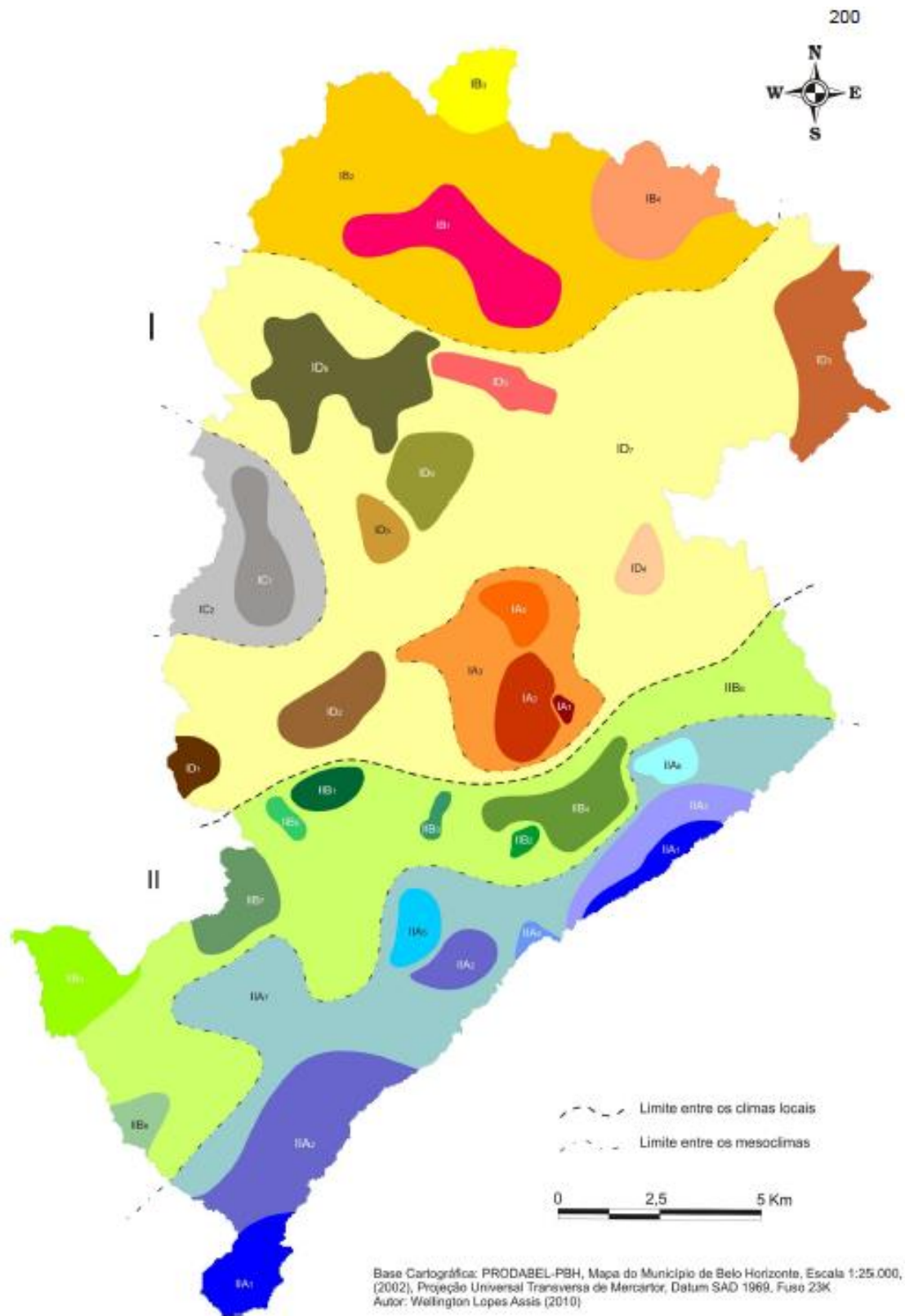


FIGURA 14 - Unidades climáticas urbanas do município de Belo Horizonte. Fonte: Assis (2010).

Unidades Climáticas Urbanas				Chave de Classificação					
Local	Mesoclimas	Topoclimas	Classificação	Temperatura do Ar (°C)				Umidade Relativa (%)	
				Média		Desvio Padrão			
I - Depressão de Belo Horizonte	A - Núcleo Urbano Central	IA ₁	C ₂ U ₄ nepd ₁	20,4 - 21,3	1	3,3 - 3,7	U ₁	56,0 - 58,0	
		IA ₂	D ₁ U ₁ eC ₂ d ₄						
		IA ₃	D ₂ U ₁ emd ₄						
		IA ₄	D ₃ U ₁ nr ₁ d ₄						
	B - Venda Nova - Regional Norte	IB ₁	D ₄ U ₂ nemd ₄	21,4 - 22,3	2	3,8 - 4,2	U ₂	59,0 - 61,0	
		IB ₂	D ₄ U ₂ ner ₁ d ₃						
		IB ₃	D ₄ U ₂ eh ₁ d ₁						
		IB ₄	D ₄ U ₂ nepd ₁						
	C - Alípio de Melo - Castelo - Itatiaia	IC ₁	D ₃ U ₁ nemd ₄	22,4 - 23,3	3	4,3 - 4,7	U ₃	62,0 - 64,0	
		IC ₂	D ₃ U ₁ ner ₁ d ₂						
	D - Depressão Central	ID ₁	D ₃ U ₁ ner ₁ d ₃	23,4 - 24,8	4	4,8 - 5,4	U ₄	65,0 - 66,0	
		ID ₂	D ₃ U ₂ nr ₁ d ₄						
		ID ₃	D ₄ U ₂ sepd ₁						
		ID ₄	D ₃ U ₂ epd ₁						
		ID ₅	C ₂ U ₂ epd ₁						
		ID ₆	D ₃ U ₂ eh ₃ d ₂						
		ID ₇	D ₃ U ₂ er ₁ d ₃						
		ID ₈	D ₂ U ₃ er ₁ d ₁						
		ID ₉	D ₃ U ₂ e'h ₃ d ₁						
II - Serras do Quadrilátero Ferrífero	A - Escarpas e Cristas da Serra do Curral	IIA ₁	A ₂ U ₄ ne'pd ₁	0 - 5.000					
		IIA ₂	B ₂ U ₃ ne'pd ₁						
		IIA ₃	B ₂ U ₃ ne'r ₁ d ₁						
		IIA ₄	C ₁ U ₃ ne'r ₂ d ₂						
		IIA ₅	C ₁ U ₂ ne'r ₂ d ₄						
		IIA ₆	C ₂ U ₃ ne'h ₁ d ₄						
		IIA ₇	C ₂ U ₃ ne'r ₁ d ₃						
	B - Colinas e Vales Barreiro - Centro-Sul	IIB ₁	C ₁ U ₁ n'r ₁ d ₄		5.001 - 10.000				
		IIB ₂	C ₁ U ₂ ne'h ₁ d ₄						
		IIB ₃	C ₁ U ₂ eh ₁ d ₄						
		IIB ₄	C ₁ U ₂ ner ₂ d ₄						
		IIB ₅	C ₂ U ₁ nh ₁ d ₄						
		IIB ₆	C ₂ U ₂ ner ₁ d ₄						
		IIB ₇	C ₂ U ₂ neh ₂ d ₁						
IIB ₈	D ₂ U ₁ se'r ₁ d ₃	10.001 - 20.000							
IIB ₉	D ₂ U ₂ ner ₁ d ₄								

Direção Predominante e Intensidade Média dos Ventos					
n	direção Norte e intensidade entre 0 e 2 na escala Beaufort				
n'	direção Norte e intensidade entre 2 e 4 na escala Beaufort				
ne	direção Nordeste e intensidade entre 0 e 2 na escala Beaufort				
ne'	direção Nordeste e intensidade entre 2 e 4 na escala Beaufort				
e	direção Leste e intensidade entre 0 e 2 na escala Beaufort				
e'	direção Leste e intensidade entre 2 e 4 na escala Beaufort				
se	direção Sudeste e intensidade entre 0 e 2 na escala Beaufort				
se'	direção Sudeste e intensidade entre 2 e 4 na escala Beaufort				

Uso do Solo Predominante	
r ₁	residencial até 4 pavimentos
r ₂	residencial ≥ 4 pavimentos
c ₁	comercial e serviços até 4 pavimentos
c ₂	comercial e serviços ≥ 4 pavimentos
m	misto (comercial e serviços) até 7 pavimentos
h ₁	vilas, aglomerados, área de expansão, vazios urbanos
h ₂	industrial e/ou mineração
h ₃	uso especial
p	áreas verdes, parques, praças,

Densidade Demográfica (hab./Km ²)	
d ₁	0 - 5.000
d ₂	5.001 - 10.000
d ₃	10.001 - 20.000
d ₄	Acima de 20.001

Obs.: chave de classificação elaborada com base nos dados do primeiro (21/08 - 30/08/2008) e segundo trabalho de campo (03/03 - 18/03/2009).

Wellington Lopes Assis (2010)

FIGURA 15 - Chave de classificação das unidades climáticas urbanas do município de Belo Horizonte. Fonte: Assis (2010).

Ainda na cidade de Belo Horizonte, Mendonça e Assis (2001), realizaram um estudo de mapeamento no bairro Floresta, no qual buscaram contribuir para a preservação das condições de conforto térmico do bairro resguardando seus principais canais de vento, em escala topoclimática. Para simular os caminhos preferenciais do vento as autoras utilizaram da técnica de análise multicritérios. Dados de topografia, fator de adensamento e morfologia do terreno foram levantados e atribuídos um peso para as características de cada variável mencionada. A sobreposição dos dados gerados resultou em um mapa que representa o grau de dificuldade que o vento enfrenta ao percorrer o ambiente construído (FIG. 16a). Por

fim, as autoras geraram um mapa síntese contendo recomendações para a área com base nos dados de temperatura e umidade relativa do ar plotados no Diagrama Bioclimático de Givoni e na análise empírica dos pesquisadores (FIG. 16b).

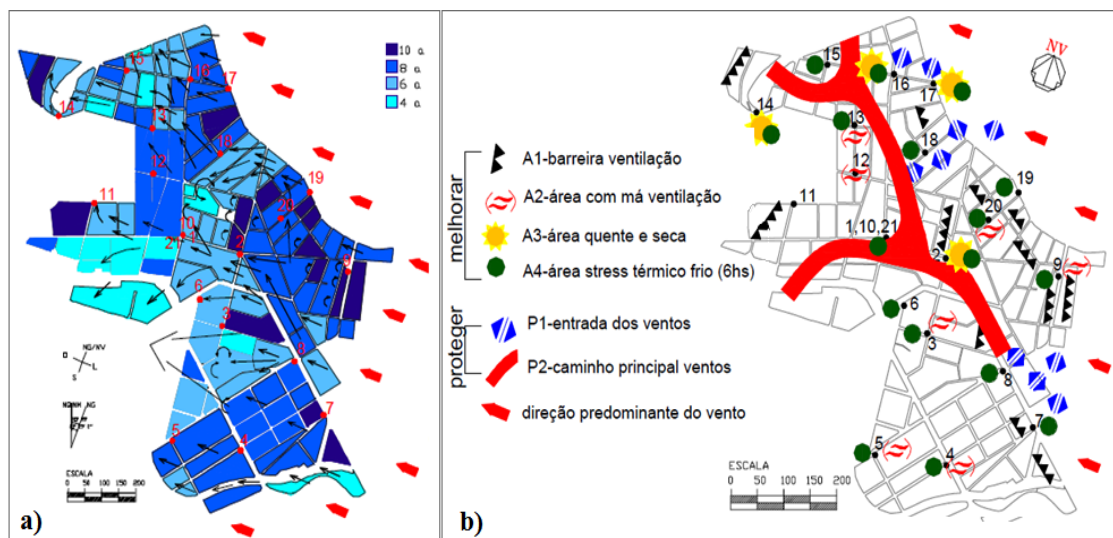


FIGURA 16: a - Mapa resultante da análise multicritérios aplicada por Mendonça e Assis (2001) para o caminho hipotético do vento. Quanto mais escuro é o tom de azul, maior é a dificuldade do vento de percorrer a área; b - Mapa síntese e recomendações para o bairro Floresta, Belo Horizonte. Fonte: Mendonça e Assis (2001).

CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Aspectos urbanos

O município de Nova Lima está localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Sua sede está a 13 Km distante da capital mineira (FIG. 17). Com uma área de aproximadamente 430 Km², o município possui 80.998 habitantes, o que perfaz uma densidade demográfica de 188,78hab/Km² (IBGE, 2010).

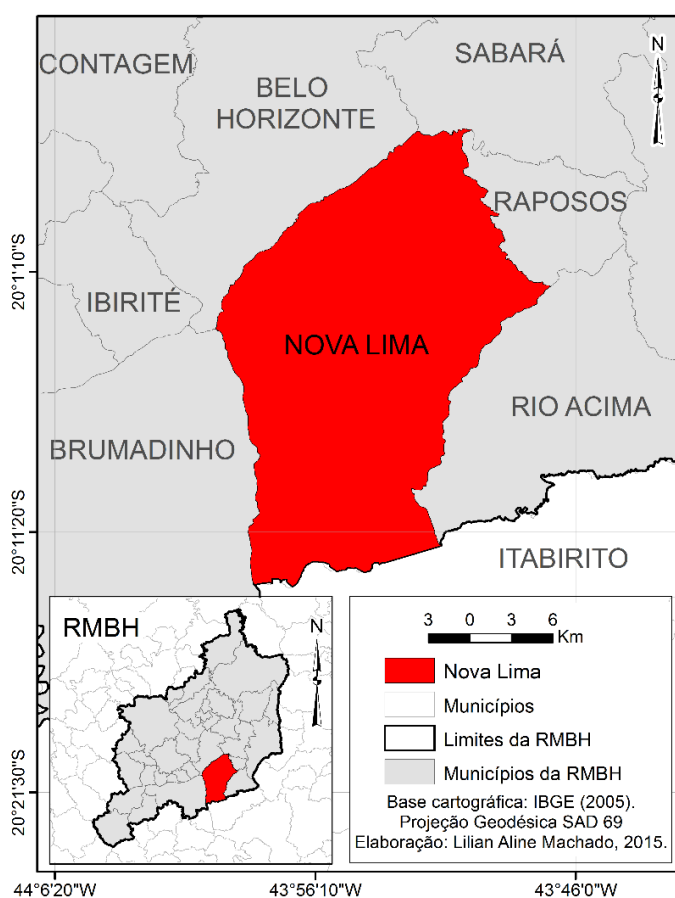


FIGURA 17 - Mapa de localização do Município de Nova Lima.

A ocupação urbana em Nova Lima está historicamente atrelada à atividade mineradora. O primeiro núcleo populacional, aí estabelecido, data de 1701, após o início da exploração garimpeira de ouro (PIRES, 2003).

O progresso da atividade mineradora implicou em uma estrutura fundiária altamente concentrada no município. Segundo Magnani (2009), no período de maior concentração fundiária, a porcentagem de terras em mãos das mineradoras chegava a mais de 90%, o que favoreceu a preservação dos terrenos em detrimento da

expansão urbana, já que era interesse das empresas mineradoras manter terras para futura exploração.

A princípio, esta estrutura da propriedade da terra, aliada às características topográficas irregulares da região, contribuíram para retardar o processo de expansão urbana da metrópole mineira para Nova Lima (COSTA e PACHECO, 2006). A partir do desaquecimento da exploração mineral, as grandes mineradoras instaladas no município direcionaram suas atividades para a urbanização, consolidando a expansão do eixo sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) sob a forma de grandes condomínios voltados a atender as classes média e alta. Este processo ampliou e tem ampliado consideravelmente a área municipal urbanizada e a conurbação metropolitana (VILELA, 2007).

Na área limítrofe entre Nova Lima e Belo Horizonte, especialmente no bairro novalimense Vila da Serra (FIG. 18), a ocupação caracteriza-se por edificações voltadas para o setor de serviços e residenciais multifamiliares. Em intensa verticalização, o Vila da Serra é ocupado por torres que beiram trinta pavimentos. Atualmente os bairros Vale do Sereno, Piemonte, Jardim da Torre, Jardim Mangabeiras e Jardinaves, são alvos do mesmo processo de expansão urbana e ocupação verticalizada.

Tal padrão construtivo é resultado das dinâmicas do mercado imobiliário a partir da implantação do bairro Belvedere III, permitida por meio de uma modificação na lei de uso e ocupação do solo de Belo Horizonte no ano de 1988 (BELO HORIZONTE, 1988). Esta lei tornou possível a verticalização e o adensamento urbano na região limítrofe entre BH e Nova Lima, o que permitiu a rápida ocupação do Belvedere III.

A verticalização do Belvedere III foi alvo de intensa polêmica envolvendo a associação de moradores locais, a prefeitura de Belo Horizonte e os interesses imobiliários na construção de condomínios verticais destinados à uma camada da população com elevado poder aquisitivo e ávidos por uma "suposta qualidade de vida" (VASCONCELOS *et al.*, 2011). Segundo Menegale (2002), enquanto a aprovação do bairro Belvedere III estava sendo amplamente discutida devido aos impactos ambientais negativos esperados pela ocupação verticalizada em uma área de grande importância para a recarga fluvial e próxima à Serra do Curral, o bairro Vila da Serra já estava sendo ocupado.

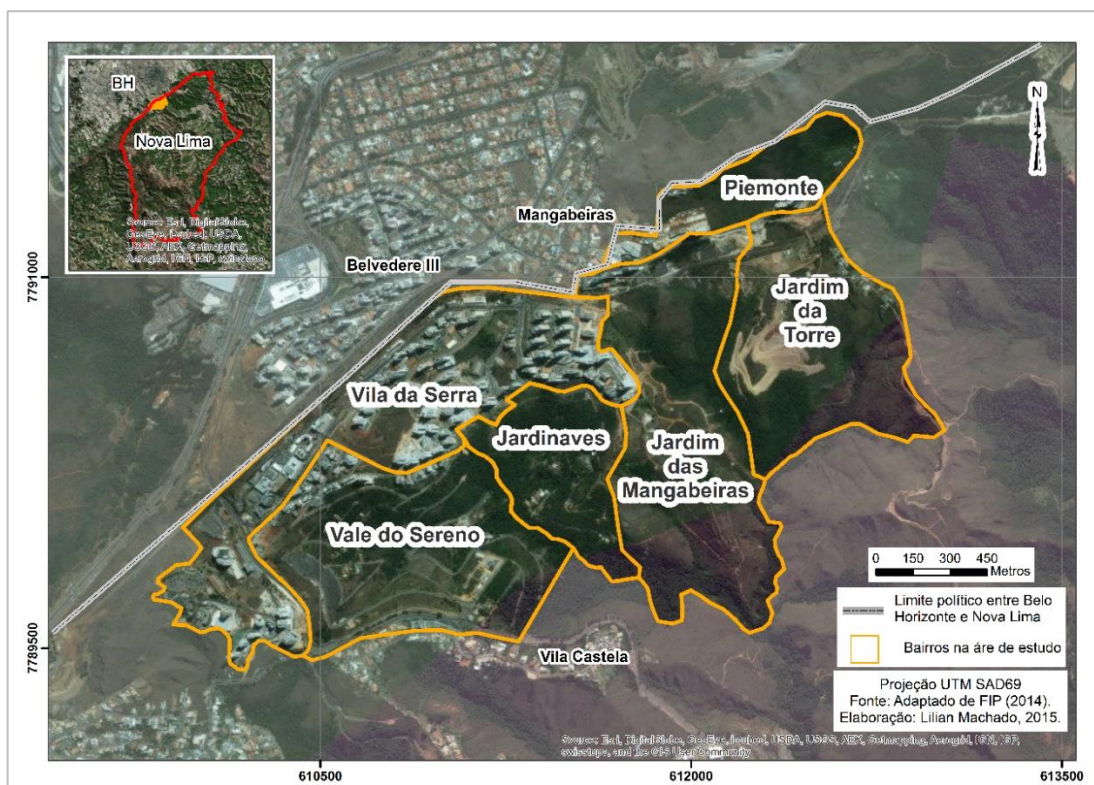


FIGURA 18 - Localização dos bairros na área de estudo.

A oferta de lotes a baixo custo e em condições legais de ocupação e a permissividade da legislação municipal quanto ao potencial construtivo na área, tornaram o Vila da Serra atrativo ao mercado imobiliário. Em contrapartida à sua ocupação, o projeto do bairro foi debatido nas esferas dos poderes executivo e legislativo com relação à viabilidade e impactos provocados pela sua implantação.

Enquanto os empreendedores, a prefeitura e vereadores ligados ao prefeito alegavam que o zoneamento e os modelos de assentamento propostos e a topografia iriam contribuir para uma baixa densidade, não comprometendo o meio ambiente, alguns segmentos do legislativo, apoiados por pareceres da AMDA (Associação Mineira de Defesa do Ambiente), FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente) e PLAMBEL (Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte), não queriam aprová-lo, pois buscavam ampliar e aprofundar os estudos e a discussão da questão. Estes se preocupavam com os parâmetros urbanísticos, definidos por novos usos como residencial multifamiliar vertical, comércio, serviços, institucional, ou seja, uma série de alterações, permitindo um maior adensamento populacional. Ambos os pareceres dos órgãos acima mencionados, apontavam para a questão da preservação do meio ambiente, que sem dúvida seria afetado, pressionando a Mata do Jambreiro, localizada no entorno do loteamento, aumentando a impermeabilização do solo, acentuando voçorocas e ravinas já existentes, aumentando a produção de esgotos sanitários entre outros. Recomendavam que a região se mantivesse com baixa densidade, evitando os problemas acima mencionados (MENECALE, 2002, p. 99).

Contra todos os aspectos negativos de uma verticalização tão próxima a Serra do Curral, o poder público municipal não se opõe a essa ocupação, favorecendo a consolidação do processo de expansão da metrópole belo-horizontina (MENECALE, 2002). O governo municipal estimula o crescimento da região, estabelecendo incentivos fiscais por meio de alíquotas inferiores às cobradas no município de Belo Horizonte ou a isenção fiscal por um período determinado, vantagens locacionais que somam-se à própria localização dos bairros, próximos à zona sul da capital mineira (CRAVEIRO, 2005; MENECALE, 2002).

O Vila da Serra teve sua aprovação no ano de 1981, enquanto o Vale do Sereno foi aprovado em 1966 (MENECALE, 2002). Os bairros foram projetados em uma antiga área de mineração, loteada após a exaustão das reservas de minério em nos anos 70. Segundo a Associação do Vila da Serra e Vale do Sereno (AVS, 2009), o primeiro empreendimento, o hospital Biocor, e o primeiro edifício residencial, que contava com três pavimentos, foram iniciados em 1985 e 1995, respectivamente.

Os loteamentos Vila da Serra e Vale do Sereno sofreram sucessivas modificações em suas diretrizes de ocupação em função da adequação dos lotes ao terreno e a alteração dos coeficientes de aproveitamento e taxa de ocupação.

O bairro vale do Sereno, inicialmente era apenas residencial, cujo zoneamento era o ZR-1 (Zona Residencial 1). Posteriormente seu zoneamento é alterado para ZR-2 (Zona Residencial 2) e ZC-2 (Zona Comercial 2), pela Lei 1396/93. Tais alterações resultaram num maior potencial construtivo do bairro, levando além de maior adensamento, a outros usos que não só o residencial. O uso permitido no bairro passa a ser bastante abrangente, possibilitando desde residência unifamiliar a residência multifamiliar vertical, comércio e serviço local, de bairro e principal e institucional local, de bairro e metropolitano, com modelos de assentamento variáveis.

O mesmo ocorreu com o bairro Vila da Serra. As alterações no seu zoneamento, ocorrido anteriormente ao Vale do Sereno, foram também no sentido de possibilitar um maior potencial construtivo dos lotes. De ZR-1, destinação exclusivamente residencial, passa a permitir zoneamentos diferenciados por quadras, como o ZR-1, ZR-3, ZC-2 e ZE-174 (Zona Especial-1), pela Lei 1306/91. Esta alteração possibilita o uso para fins residencial multifamiliar vertical, comércio, serviços, serviços de uso coletivo e residencial, serviços de uso coletivo etc. (MENECALE, 2002, p. 97).

A aprovação de um novo zoneamento para o Vila da Serra iniciou um processo que alteraria não somente o uso e ocupação do bairro, mas abriria um precedente legal para que ações desta natureza fossem adotadas (RODRIGUES, 2001). O reflexo deste processo é o rápido avanço da ocupação urbana e o aumento dos gabaritos nos últimos anos no bairro e seus arredores (FIG. 19).

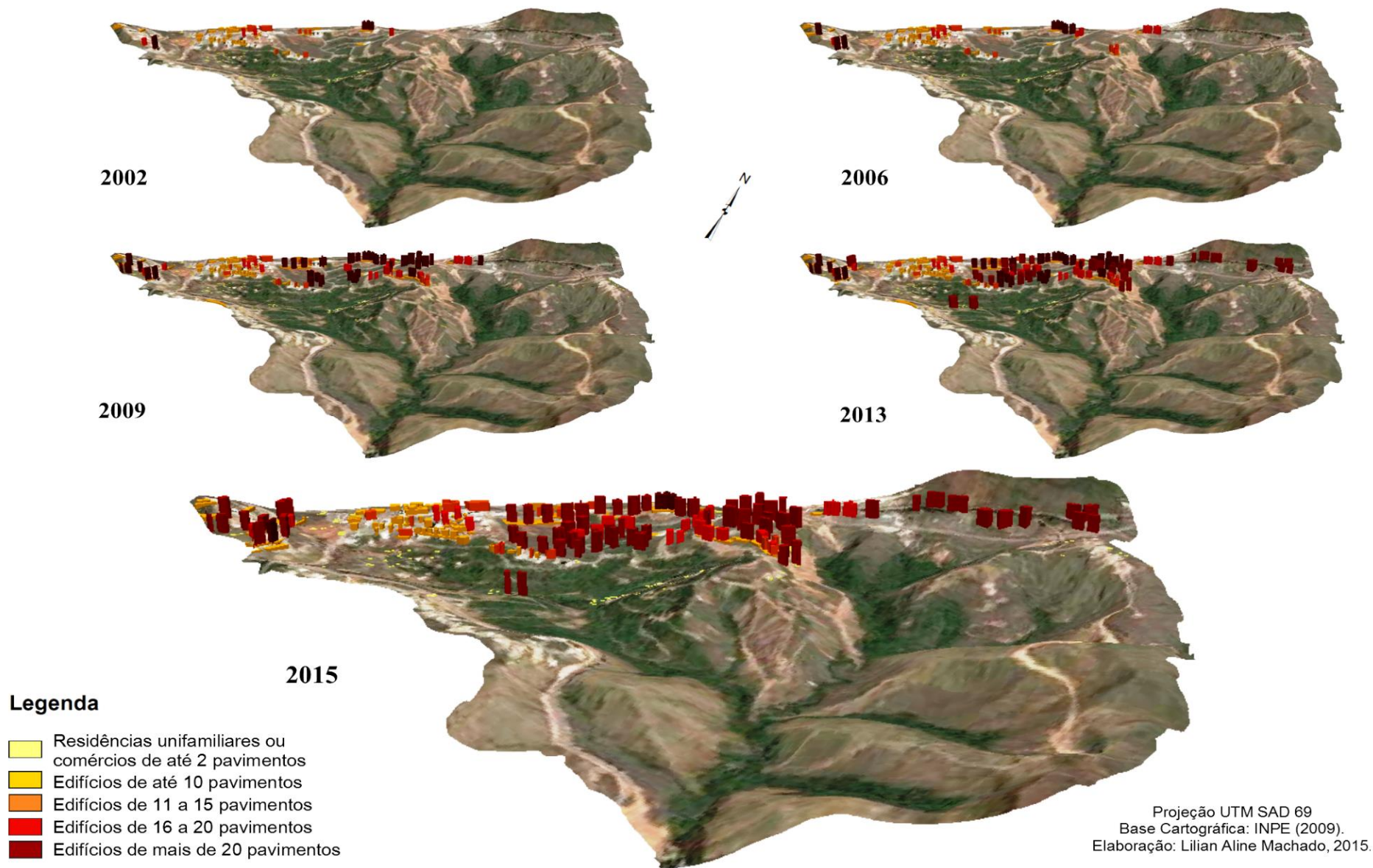


FIGURA 19 - Evolução da ocupação urbana no bairro Vila da Serra e arredores de 2002 a 2015.

Segundo Zyngier (2012), o Plano Diretor Municipal surgiu em um contexto de franco crescimento da zona de fronteira, em um momento pós-Estatuto da Cidade, o que justificaria a necessidade de se apresentar um texto congruente com os novos valores expressos pela legislação nacional em relação à ocupação urbana. De fato, o Plano Diretor (NOVA LIMA, 2007) apresenta diretrizes de preservação da paisagem, conforme é possível observar no trecho transcrito abaixo.

Art. 210 -A edificação de prédio com um ou mais pavimentos superpostos verticalmente será permitida desde que observada a relação entre os limites máximos de gabarito (altura) e mínimos de recuos entre edifícios conforme estabelecida nesta lei, com a finalidade de preservação da linha do horizonte, das perspectivas de observação e de paisagens visuais de beleza natural de modo que não fiquem escondidas pela multiplicação de edifícios altos e excessivamente próximos, que comprometem a vista da paisagem, assim como as condições de insolação tanto dos espaços de públicos, no nível da rua, quanto dos próprios edifícios. (NOVA LIMA, 2007, art. 210).

No entanto, o discurso não funciona na prática. Conforme destaca Zyngier (2012) a caracterização mais recente dos bairros é influenciada pelas normativas anteriores, sucessivamente modificadas para atender ao padrão construtivo de interesse do mercado imobiliário, consolidando os projetos ligados à expressiva verticalização. Vários projetos de edificações foram aprovados com aumento de coeficiente em consequência da lei que regulamentou a Transferência do Direito de Construir, o que aumentou em 50% o coeficiente original das construções (FIP, 2014). Os resultados são edificações que interferem na percepção da Serra do Curral (FIG. 20). Cabe lembrar que a Serra do Curral é tombada como conjunto paisagístico pelo IPHAN na porção pertencente ao município de Belo Horizonte.



FIGURA 20 - Edificações que comprometem a percepção da Serra do Curral.

Atualmente, o Zoneamento Municipal classifica o bairro Vila da Serra, em sua maior parte, como Zona de Comércio e Serviço 3 (ZOCS 3) (FIG. 21),

[...] que permitem o exercício de atividades não residenciais de comércio varejista e serviços de médio e grande porte, acima de 5 pavimentos e tem seus usos estabelecidos no ANEXO II - Parâmetros de Uso, Zonas Predominantes E, Zonas Especiais, e conforme delimitação no Mapa 4 – Zoneamento Municipal. (NOVA LIMA, 2007, art. 192).

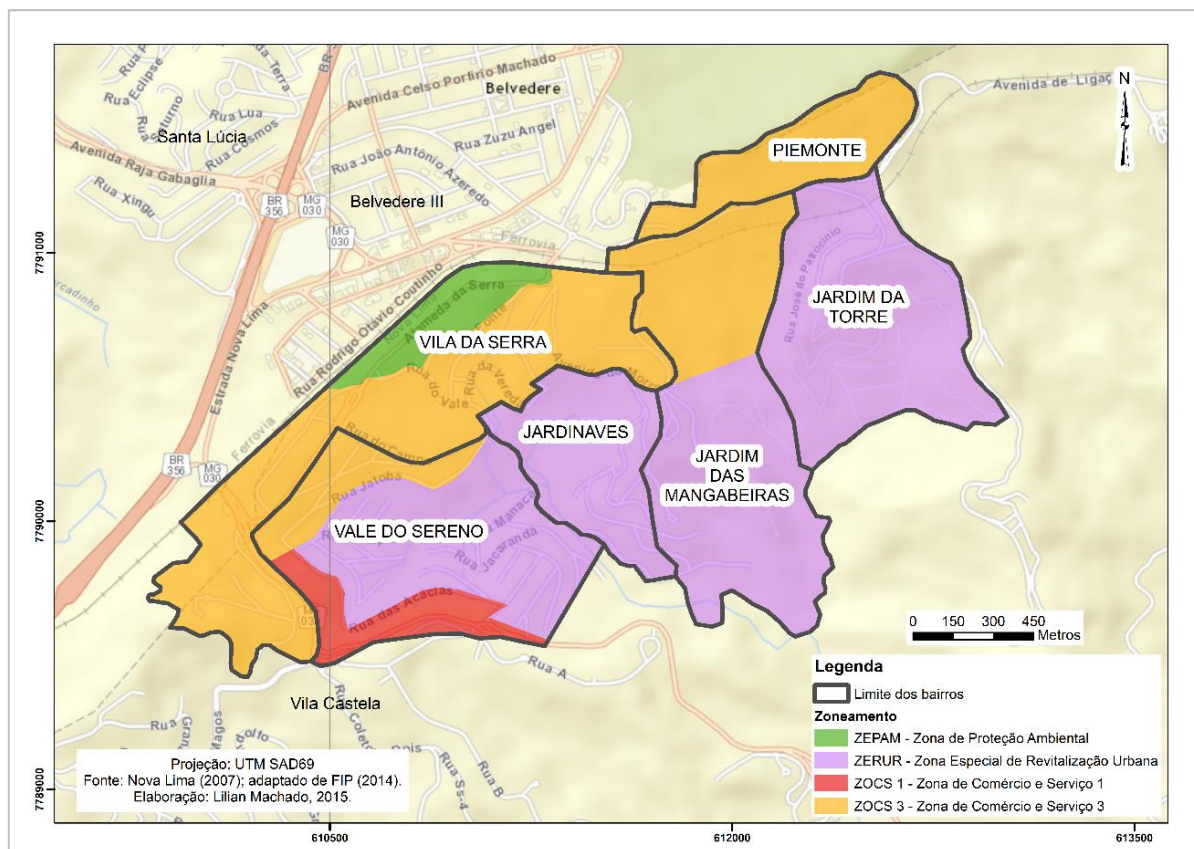


FIGURA 21 - Zoneamento Municipal na área de estudo.

Uma porção do bairro Vila da Serra é classificada como Zona Especial de Proteção Ambiental (ZEPAM) (FIG. 21). As ZEPAM's

São as regiões que, por suas características e pela tipicidade da vegetação, destinam-se à preservação e à recuperação de ecossistemas, visando:

- I. garantir espaço para a manutenção da diversidade das espécies e propiciar refúgio à fauna;
- II. proteger as nascentes e as cabeceiras de cursos d'água;
- III. evitar riscos geológicos;
- IV. proteger espécies vegetais e biológicas endêmicas, áreas com remanescentes de vegetação natural significativos e áreas de alta fragilidade ambiental do ponto de vista físico ou biótico. (NOVA LIMA, 2007, art. 196)

No entanto, esta área está ocupada por edificações, dentre as quais algumas foram implantadas antes da aprovação do Plano Diretor (FIG.22).



FIGURA 22 - Edificações construídas em área definida como ZEPAM.

O bairro Vale do Sereno foi projetado para abrigar residências unifamiliares. No atual zoneamento municipal, a maior parte do bairro está enquadrado na Zona Especial de Revitalização Urbana (ZERUR) (FIG. 21), a qual compreende

[...] áreas já parceladas e inseridas no perímetro urbano onde o Poder Público assegurou a ordenação dos espaços edificáveis através de incentivos urbanísticos buscando reconformar a vocação natural do bairro implantado com a região lindeira e de influência, com ausência da necessidade de regularização fundiária. (NOVA LIMA, 2007, art. 202)

A ocupação verticalizada do Vale do Sereno foi autorizada pela prefeitura municipal e iniciada pela construtora EPO Engenharia, que se responsabilizou junto à Prefeitura de Nova Lima pelo projeto de revitalização urbana do bairro. O projeto consistiu em obras de recapeamento das vias internas e recuperação de meio fio, construção de uma guarita na entrada principal do bairro, implantação de eletrificação, telefonia e dados em redes subterrâneas e melhorias no sistema de abastecimento de água, drenagem pluvial e sistema de esgoto (EPO, s.d.). A proposta atual, segundo a EPO,

é a implantação vertical, com torres que permitem um modelo diferenciado, com respeito à cota mínima para ocupação urbana e extensas áreas verdes nas vias públicas e em todos os prédios. (JORNAL DO BELVEDERE, 2011)

A ocupação urbana no bairro Vale do Sereno na área proposta como ZERUR ainda é esparsa sendo, em sua maior parte, de residências unifamiliares que

variam em um padrão construtivo de médio a alto (FIG 23 a). Entretanto, estão em construção alguns prédios característicos do padrão de ocupação permitido pela lei em vigor na área (FIG. 23b).



FIGURA 23 - Edifícios em construção (a) e residência unifamiliar (b) no Vale do Sereno.

A porção norte do Vale do Sereno está, assim como o Vila da Serra, inserida na ZOCS 3. Esta área comporta edifícios que variam de menos de dez pavimentos até quinze pavimentos. O limite sudeste do bairro está inserido na Zona de Comércio e Serviço 1, a qual compreende

Art. 190 - ZOCS 1 são zonas que permitem o exercício de atividades não residenciais de comércio varejista e serviços de pequeno porte e têm seus usos estabelecidos no ANEXO II - Parâmetros de Uso, Zonas Predominantes e Zonas Especiais, e conforme delimitação no Mapa 04 – Zoneamento Municipal (NOVA LIMA, 2007, art. 190).

Existem projetos e estudos de expansão urbana nos arredores do bairro Vila da Serra e Vale do sereno em direção aos loteamentos Piemonte, Jardim da Torre, Jardim Mangabeiras e Jardinaves. O bairro Piemonte, assim como a maior parte do Vila da Serra, está inserido na ZOCS 3 apresentando o mesmo padrão de ocupação em avanço (FIG. 24).



FIGURA 24 - Edifícios no bairro Piemonte.

Os bairros Jardinaves, Jardim das Mangabeiras e Jardim da Torre foram aprovados no ano de 1975, porém não tiveram a totalidade de seus loteamentos e arruamentos implantados (FIP, 2014). Assim como o Vale do Sereno, a ocupação prevista em sua aprovação seria de residências unifamiliares. No entanto, após a elaboração do Plano Diretor Municipal, esses bairros, assim como a maior parte do Vale do Sereno, foram inseridos na ZERUR (FIG. 21).

Esses bairros caracterizam-se por uma ocupação esparsa e ainda incipiente, onde predominam residências unifamiliares, com baixa densidade de ocupação dos lotes. Segundo a Fundação Israel Pinheiro (2014), os bairros Jardinaves e Jardim das Mangabeiras possuem um elevado número de lotes de baixa metragem, os quais estão destituídos de infra-estrutura adequada de acesso, limitando a ocupação desses loteamentos. As casas no Jardim das Mangabeiras "são construções de alto padrão e alto custo, que tiram partido da declividade do terreno para criar patamares intermediários de ocupação, o que as torna edificações de grande porte, enquanto residências unifamiliares." (FIP, 2014, p. 19) (FIG 25).



FIGURA 25 - Residências no bairro Jardim das Mangabeiras. Fonte: FIP (2014).

O sistema viário aprovado do bairro Jardim da Torre, ainda não foi executado por completo (FIP, 2014). A porção mais antiga do loteamento mantém a característica residencial unifamiliar, com pouco uso dos lotes. Nesta área as residências apresentam até dois pavimentos, com padrão de acabamento de médio a baixo. O bairro passa por um processo de reformulação, proposto por um grupo empresarial, com a finalidade de remembrar os lotes, permitindo a sua ocupação em modelo semelhante ao dos demais loteamentos limítrofes (FIP, 2014).

2.2 Aspectos físicos

A vegetação presente na área de estudo compreende matas de galeria nos fundos de vale em estágio médio e inicial de regeneração, campo cerrado e campo rupestre nas áreas mais íngremes e de maiores altitudes. Nos bairros Vale do Sereno, Jardinaves e Jardim Mangabeiras são encontrados fragmentos florestais e campestres em meio a área loteada. FIP (2014) classificou essas fisionomias como semiurbano campestre e semiurbano florestal (FIG. 26).

Na porção noroeste da área de estudo, a Reserva Particular do Patrimônio Nacional Mata do Jambreiro faz limite com o bairro Jardim da Torre (FIG. 26). A reserva de mata atlântica possui 912 hectares de mata preservada como medida compensatória para a exploração da Mina de Águas Claras, iniciada pela Minerações Brasileiras Reunidas (MBR) no início da década de 1970.

Os bairros da área de estudo localizam-se na vertente da Serra do Curral voltada para sudeste, haja vista o lineamento SW-NE desta serra. Eles estão inseridos na unidade geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero, a qual consiste em um conjunto sobrelevado com altitudes que variam de 900 a 1.500m, com exceção da Serra do Caraça que atinge 2.000m (MEDINA *et al.*, 2005).

O nível de base regional é definido pelo rio das Velhas que, em geral, segundo Davis *et al.* (2005), apresenta afluentes profundamente encaixados e estreitos, registrando amplitudes altimétricas entre os interflúvios e os talwegues que ultrapassam, por vezes, 100m. O bairro Vila da Serra e os bairros do entorno encontram-se na microbacia hidrográfica do córrego Estrangulado (FIG. 27), afluente da margem direita do ribeirão da Mutuca. Este último forma, na confluência com o córrego Capão do Boi, o ribeirão dos Cristais, cuja bacia drena o centro urbano do Município de Nova Lima.

As cotas altimétricas na microbacia do córrego Estrangulado variam de 960 a 1.310m, tendo as edificações dos bairros sido instaladas na área de cabeceira da microbacia hidrográfica (FIG. 28). A declividade do terreno passa em alguns pontos de 45%. As áreas mais declivosas abrangem a linha de cumeada da Serra do Curral a nordeste da microbacia (FIG. 28). Nota-se que os bairros Vila da Serra e Vale do Sereno estão localizados em uma área menos declivosa do que os demais bairros na área de estudo. Áreas mais declivosas favorecem a aceleração dos ventos.

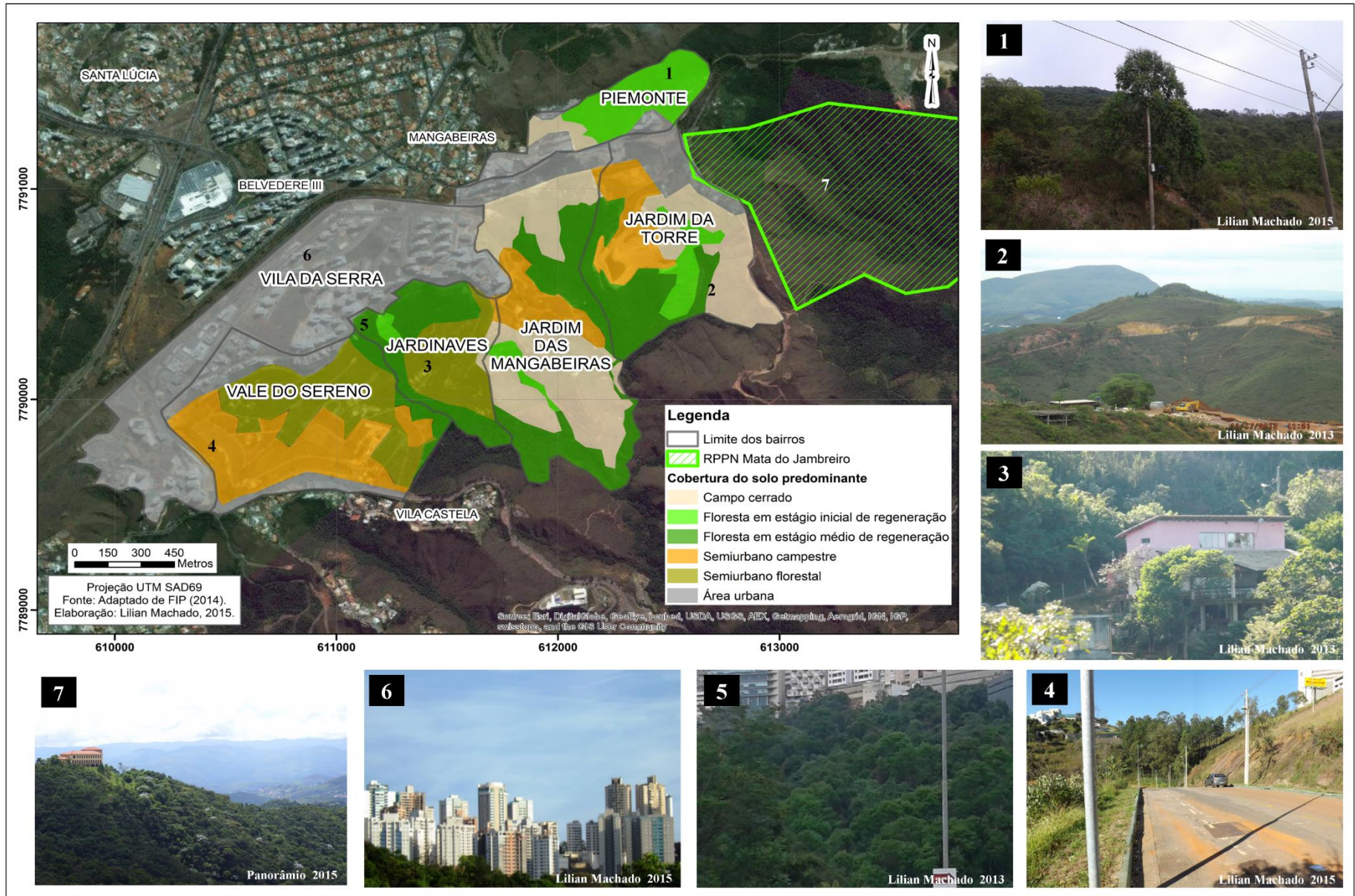


FIGURA 26: Vegetação na área de estudo.

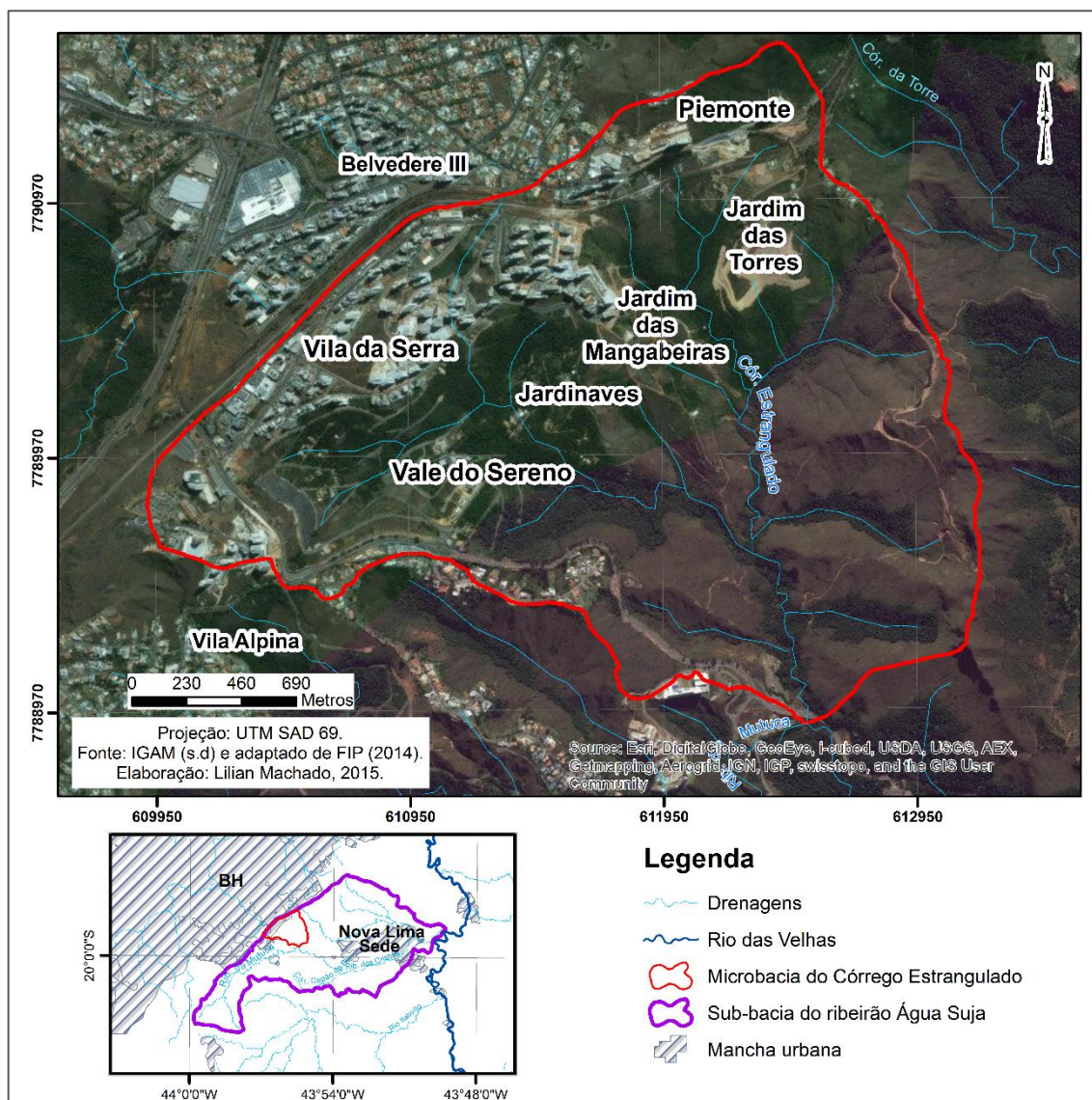


FIGURA 27: Microbacia hidrográfica do córrego estrangulado.

A orientação das vertentes tem influência direta na dinâmica de variação diurna da temperatura do ar. Na porção nordeste da área de estudo, prevalecem vertentes voltadas para sul, sudoeste e oeste, as últimas a receberem radiação direta pela manhã (FIG. 28). Na porção sudoeste, prevalecem vertentes voltadas para leste, nordeste e norte, as quais são iluminadas logo no início da manhã.

Devido a sua localização, aproximadamente 3º de latitude do Trópico de Capricórnio, permanece sobre a capital mineira uma situação de transição entre sistemas atmosféricos tipicamente tropicais, com regime sazonal da precipitação e temperaturas, e sistemas subtropicais, permanentemente úmidos (ASSIS, 2010).

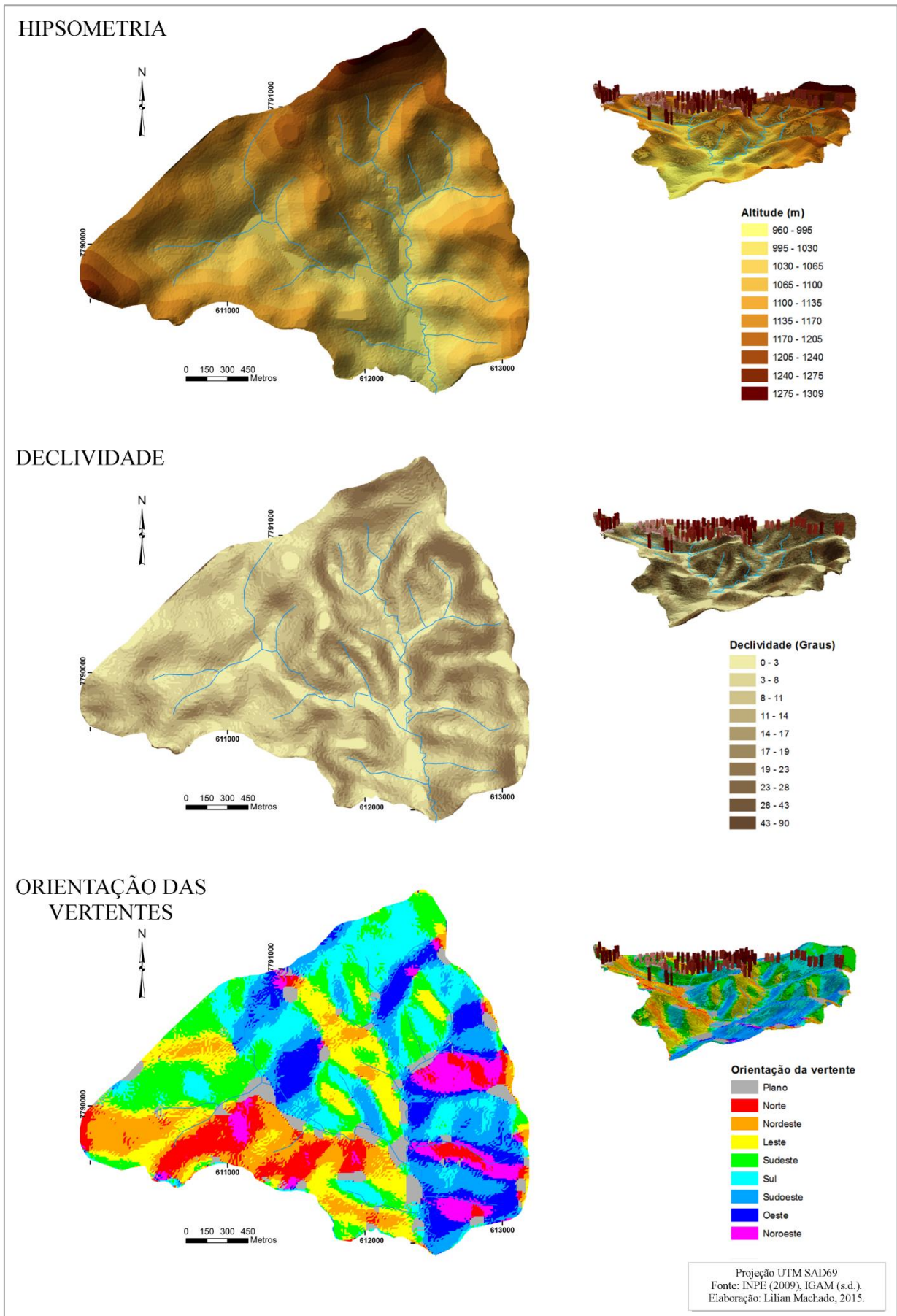


FIGURA 28: Características do relevo na microbacia hidrográfica do córrego Estrangulado.

Segundo as normais climatológica de 1961 a 1990 elaboradas pelo INMET (1961-1990), a temperatura média anual na capital mineira é de 21,1°C, sendo a média das mínimas, 16,7°C e a média das máximas, 27,1°C. O total pluviométrico anual é de 1.463,7 mm, dos quais a maior parte é precipitada entre os meses de outubro e março (FIG. 29).

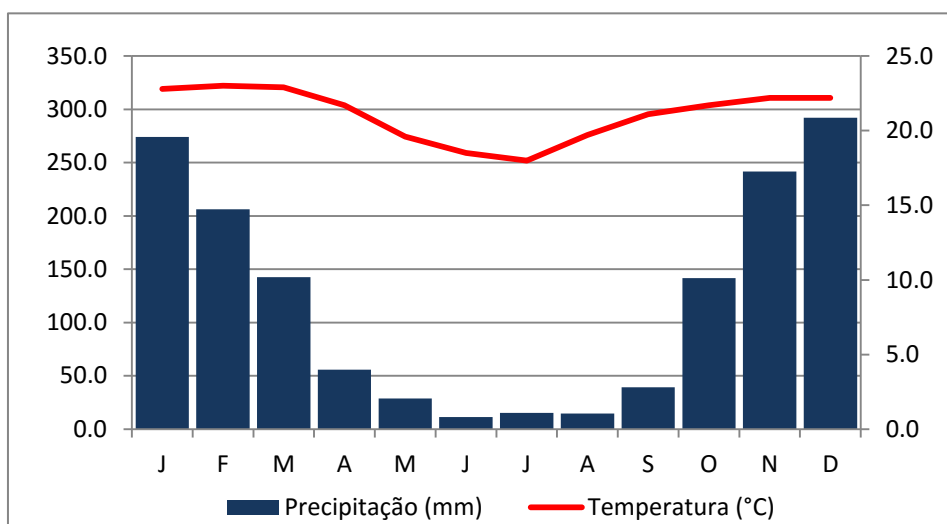


FIGURA 29: Climograma do Município de Belo Horizonte. Fonte: Normais Climatológicas 1961-1990 (INMET, 1961-1990).

Os meses de maior precipitação são também os que registram excedente hídrico (FIG. 30), considerando-se a capacidade de campo do solo de 100 mm (INMET, s.d.). Outubro é exceção a este quadro, já que a precipitação registrada neste mês serve na reposição da umidade perdida pelo solo durante os meses de déficit hídrico (abril a setembro). Entre abril e setembro, a precipitação média fica abaixo de 100 mm (FIG. 29), o que resulta em déficit hídrico durante estes meses (FIG. 30).

A velocidade média anual dos ventos é de 1,4 m/s, sendo sua direção preferencial do quadrante Leste. No entanto, ocorrem ventos de noroeste e de sul associados à atuação de sistemas frontais e linhas de instabilidade (NIMER, 1979). De acordo com Carmo (2013), diversos sistemas atmosféricos controlam o clima na região central de Minas Gerais. Dentre eles, destacam-se como os principais o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), o Anticiclone Subpolar¹² do Atlântico

¹² Segundo 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. O APAS trata-se do mesmo anticiclone polar migratório do tipo Polar Outbreak High (MARENGO *et al.*, 1997) originado em latitudes subpolares, descrito na literatura para caracterizar advecção de ar frio e acentuada queda de temperatura nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, principalmente durante o outono-inverno.

Sul (APAS), a Frente Polar Atlântica (FPA), as Linhas de Instabilidade Tropical (IT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Baixa do Chaco (BC) e a Alta da Bolívia (AB).

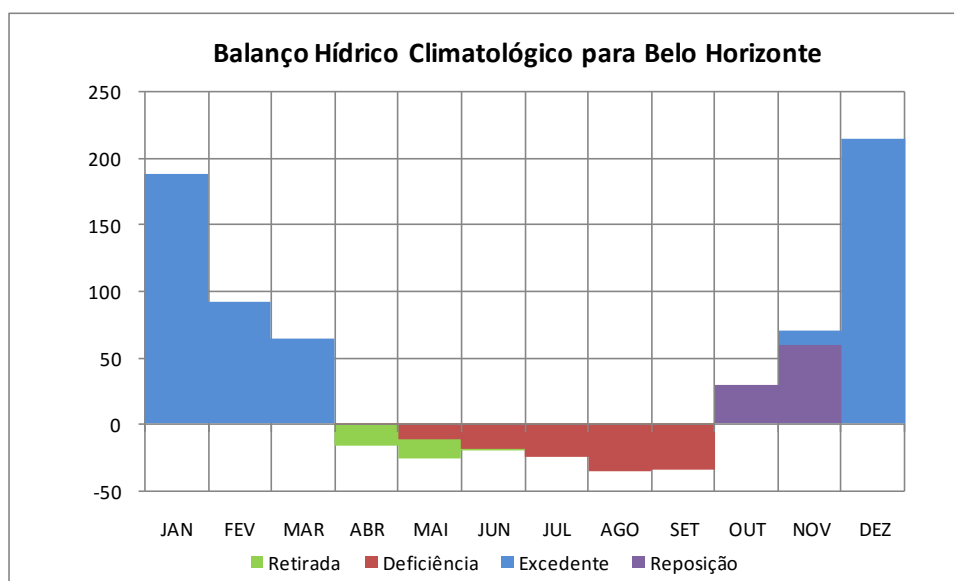


FIGURA 30: Balanço hídrico do Município de Belo Horizonte com base nas Normais Climatológicas de 1961-1990 (INMET, 1961-1990).

O ASAS tem influência sobre o Município de Belo Horizonte durante todo o ano, sobretudo nos meses de outono e inverno quando garante a estabilidade do tempo na região. Entretanto, em determinadas ocasiões, quando os dias são quentes e úmidos, é possível observar chuvas localizadas de baixa intensidade no município devido à formação de núcleos de baixa pressão, dado o aquecimento da superfície.

O APAS origina-se na zona subantártica, nas proximidades do centro-sul da Patagônia (ASSIS, 2010). As massas polares associadas a este sistema atingem a área com frequência, sobretudo no semestre outono-inverno (CAVALCANTI *et al.*, 2009). O APAS ao atingir a região central de Minas Gerais está em processo de tropicalização, com sua temperatura e teor de umidade relativa do ar aumentados. Ainda assim, é responsável pelo registro de temperaturas amenas e reduzidos índices de pluviosidade durante o outono-inverno (ASSIS, 2010). Já durante a estação chuvosa, quando o sistema atinge Belo Horizonte, está "*totalmente descaracterizado, apresentando um pouco mais de umidade e temperaturas mais elevadas se comparado com a sua atuação no outono-inverno*" (ASSIS, 2010, p. 78).

As Frentes Frias (FF), representadas pela Frente Polar Atlântica (FPA), associam-se ao avanço do APAS para as latitudes mais baixas, sendo mais expressivas no inverno, quando há menor aquecimento do continente. No entanto,

como aponta Carmo (2013), neste período a FPA não provoca precipitação expressiva em Belo Horizonte devido às baixas velocidades do vento e a pouca convergência de umidade em baixos níveis. No entanto, a passagem deste sistema sobre a capital durante a primavera e verão, contribui para ocorrência de intensas precipitações, principalmente quando associado à atuação de Linhas de Instabilidade (LI). As LI constituem-se em centros semi-estacionários de baixa pressão caracterizados por uma dinâmica rápida de formação, deslocamento e dissipação, embora possam permanecer estacionárias quando em associação com a FPA (CARMO, 2013). Assis (2010) aponta as LI como um dos principais agentes causadores das chuvas do verão belorizontino, em sua maioria episódios de chuva torrencial e de curta duração.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é formada pela associação entre a FPA e pela convecção tropical proveniente da região amazônica. O sistema configura-se em uma banda de nebulosidade com orientação NW-SE, estendendo-se desde a Amazônia até o Sudeste do Brasil, prolongando-se, com frequência, sobre o oceano Atlântico (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Em Belo Horizonte, segundo Assis (2010), a atuação da ZCAS resulta na ocorrência de eventos pluviais concentrados que podem durar entre 3 e 8 dias (ou mais). A formação deste sistema na região Sudeste acontece, principalmente, entre os meses de outubro e março, com maior frequência entre novembro e janeiro, sendo o responsável pelos altos índices pluviométricos nesta época do ano no Município de Belo Horizonte (FIG. 29).

A Alta da Bolívia (AB) e a Baixa do Chaco (BC) atuam em Belo Horizonte de maneira esporádica e indireta. Sua influência sobre a região se dá principalmente durante o verão devido à fortificação de áreas de baixa pressão sobre o continente Sul-Americano neste período. Segundo Assis (2010, p. 80), "*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*".

CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi organizado um roteiro metodológico a fim de orientar as etapas de elaboração do trabalho (FIG. 31). As hipóteses apresentadas no capítulo introdutório foram elaboradas considerando-se os modelos teóricos do clima urbano apresentados por Monteiro (1976) e Oke (1978), e observando-se a evolução e características da ocupação urbana na área de estudo. Foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito da teoria do Sistema Clima Urbano e estudos aplicados a fim de se levantar os pressupostos teóricos do clima urbano e métodos e técnicas de investigação de seus componentes.

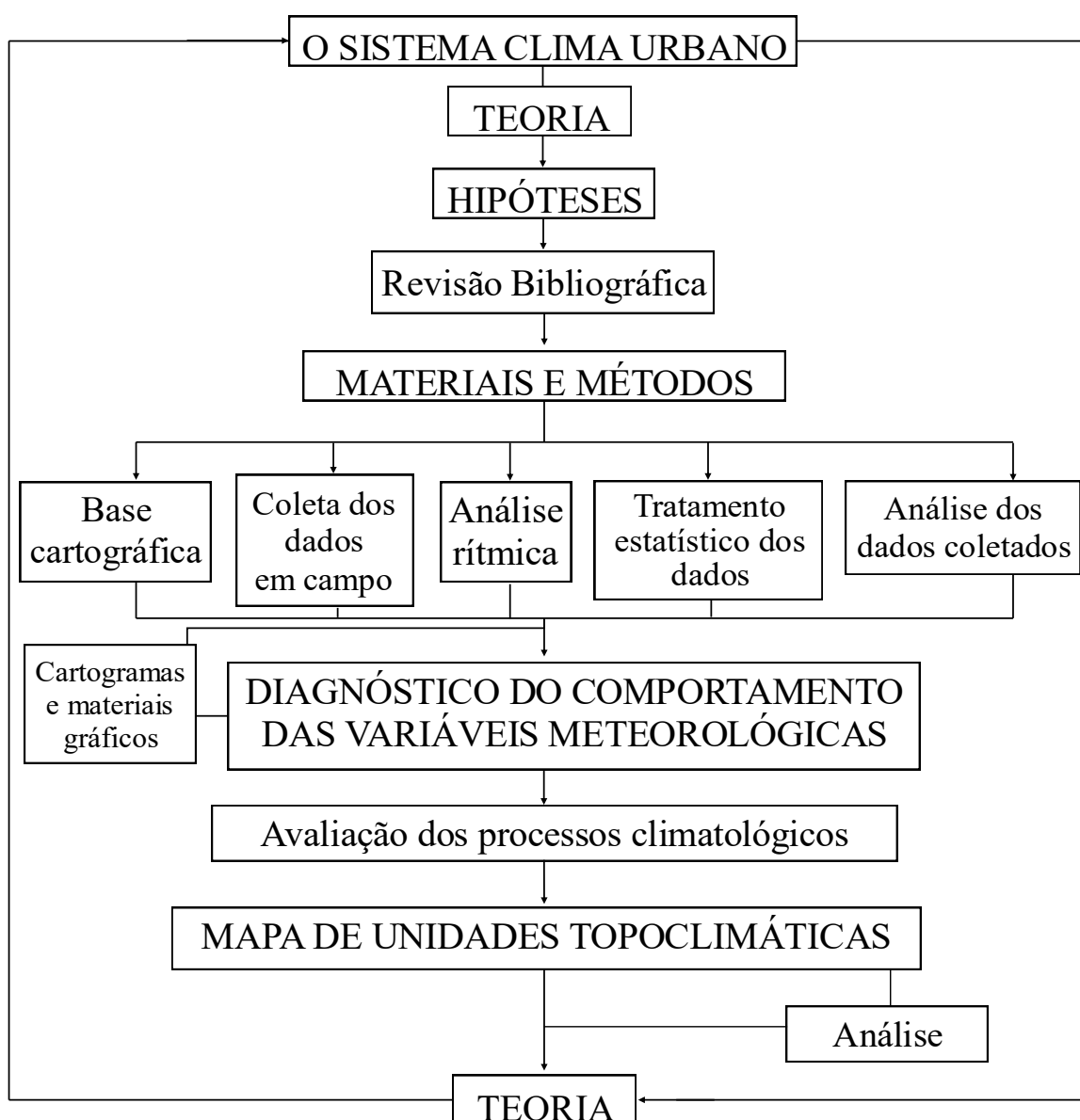


FIGURA 31: Roteiro metodológico I – Etapas de elaboração do trabalho. Elaboração: Lilian Machado, 2015.

3.1 Bases cartográficas

Foi elaborada uma base cartográfica com a função de espacializar os fatores de influência micro e topoclimática na área de estudo. Esta base inclui: modelo digital de terreno; mapa de vegetação, cursos d'água, mapa de orientação das vertentes, mapa de radiação média diária e mapa de declividade, para avaliação das características geoecológicas locais; modelo em três dimensões das edificações presentes nos bairros e imagem de evolução da ocupação urbana para análise do uso e ocupação do solo. Os materiais cartográficos gerados serviram, ainda, na escolha dos pontos amostrais.

3.1.1 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Foi elaborado um Modelo Digital de Terreno (MDT) para a ilustração das formas do relevo local, o qual consiste em um fator climático de influência sobre variação da temperatura do ar e sobre a circulação atmosférica em baixos níveis.

Para a elaboração do MDT foi necessária a construção de uma base digital de curvas de nível da área, já que não havia base elaborada pela prefeitura ou outro órgão com a resolução necessária. A área adotada para geração dos arquivos foi o limite da microbacia hidrográfica do córrego Estrangulado. As curvas de nível foram obtidas por meio de extração automática.

Segundo Landau e Guimarães (2011), a diversidade de métodos para geração destas bases pode gerar modelos digitais que apresentem significativas diferenças entre si. Foram realizados testes de extração de curvas de níveis em dois *softwares*, o *ArcGis* e o *Global Mapper*, com três imagens de satélite para verificação de qual atendia melhor à escala da região pesquisada. As imagens utilizadas foram ASTER-GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model*), SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e TOPODATA das quais foram extraídas curvas altimétricas com equidistância de 10 m. As curvas de nível geradas encontram-se no Apêndice A.

O ASTER-GDEM possui resolução espacial de aproximadamente 30 metros para a América do Sul, enquanto o SRTM atinge resolução de 90 metros. As imagens TOPODATA foram geradas através de processamentos digitais do MDE

(Modelo Digital de Elevação) do SRTM pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados disponíveis do TOPODATA sofreram correções realizadas pelo INPE, incluindo a adição de informações em pontos e áreas anteriormente com ausência de dados (LANDAU; GUIMARÃES, 2011). Esses passaram por um processamento computacional para refinamento no tamanho da célula (pixel) para aproximadamente 30 metros (LANDAU; GUIMARÃES, 2011). Para fins de levantamento altimétrico, foi utilizado o arquivo _ZN neste trabalho, no qual a imagem de satélite apresenta a variável "Altitude – numérica". As imagens podem ser obtidas gratuitamente na internet¹³. Para este trabalho foram utilizadas as imagens ASTER "ASTGTM2_S20W044_dem", SRTM "SE-23-Z-C" e TOPODATA "19S45_ZN", todas na extensão *.tif e georreferenciadas no sistema de coordenadas Lat/Long, Datum WGS84.

Após extraídas as curvas de nível, foram criadas bases de dados topográficos em malhas triangulares no *software ArcGis 10.1*, das quais foram gerados seis Modelos Digitais de Terreno apresentados no Apêndice B, todos georreferenciados no sistema de coordenadas planas UTM - SAD 69 (23S). O que melhor representou a área de estudo foi o modelo gerado por meio da imagem TOPODATA no *software ArcGis 10.1*, já que este apresentou menores quebras bruscas entre uma classe de altitude e outra, e foi o que esteve mais próximo das altitudes contidas na carta topográfica de BH (IBGE, 1979).

3.1.2 Mapa de declividade e orientação das vertentes

O mapa de declividade da área de estudo foi importante para se observar possíveis relações entre a declividade do terreno e a velocidade dos ventos, além da chegada de radiação. Whiteman (1980) preconiza que quanto maior a declividade de um terreno, maior tende a ser a velocidade de escoamento dos ventos sobre ele. Para elaboração do mapa foi utilizada uma opção de simbologia do MDT no *software ArcGis 10.1* denominada "*Face slope with graduated color ramp*". A imagem foi classificada pelo método de quebras naturais (*natural breaks*), a qual permite observar rupturas topográficas no terreno com maior clareza (TAB. 2).

¹³ ASTER-GDEM: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/data.asp>>.
SRTM: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/conteudo/infotec.htm>>.
TOPODATA: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/documentos.php>>.

TABELA 2: Classes de declividade em graus e porcentagem

COR	CLASSE (GRAUS)	EQUIVALÊNCIA EM PORCENTAGEM
	0 - 3	0 - 3,3%
	3 - 8	3,3 - 8,8%
	8 - 11	8,8 - 12,2%
	11 - 14	12,2 - 15,5%
	14 - 17	15,5 - 18,8%
	17 - 19	18,8 - 21,1%
	19 - 23	21,1 - 25,5%
	23 - 28	25,5 - 31,1%
	28 - 43	31,1 - 47,7%
	43 - 90	47,7 - 100%

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

A orientação das vertentes foi obtida por meio da opção "*Face aspect with a graduated color ramp*", a qual gera a chave de classes apresentada na tabela 3.

TABELA 3: Classes de orientação das vertentes

COR	CLASSE
	Plano
	Norte
	Nordeste
	Leste
	Sudeste
	Sul
	Sudoeste
	Oeste
	Noroeste

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

3.1.3 Mapa de cursos d'água e vegetação

O mapa de cursos d'água foi elaborado utilizando-se a base cartográfica do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, s.d.). A vetorização dos cursos d'água nesta base cartográfica é feita em uma escala que gera desajustes da malha quando ampliada para escalas diminutas como a da área de estudo deste trabalho. Assim a posição dos vetores foi ajustada no *software ArcGIS 10.1* utilizando-se uma imagem georreferenciada da área de estudo.

O mapa de vegetação da área de estudo foi necessário devido a correlação existente entre o comportamento térmico e hídrico atmosférico e a colonização vegetal. Para a delimitação das classes utilizou-se a fotointerpretação de imagens do

Google Earth. Esta técnica consiste do "ato de examinar uma imagem com o propósito de identificar objetos e estabelecer julgamentos sobre suas propriedades" (NOVO, 2010, p. 326).

A delimitação dos tipos vegetacionais contou, ainda, com o apoio do mapa de vegetação dos bairros Vila da Serra e Vale do Sereno elaborado pela Fundação Israel Pinheiro (2014). As classes adotadas consistem nas mesmas utilizadas por FIP (2014), as quais estão apresentadas na tabela 4.

TABELA 4: Classes de vegetação

COR	CLASSE
	Área urbana
	Semiurbano campestre
	Semiurbano florestal
	Floresta em estágio inicial de recuperação
	Floresta em estágio médio de recuperação
	Campo cerrado

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

Segundo a Resolução N° 28 do Ministério do Meio Ambiente (1994), a classe floresta em estágio inicial de regeneração consiste em extratos florestais de 3 metros para a floresta semidecidual, enquanto o estágio médio de regeneração contém espécies que superam esta altura. A classe semiurbana florestal consiste em uma área urbanizada, porém de baixa ocupação onde os lotes vagos demarcados são arborizados. A semiurbana campestre comunga destas mesmas características de ocupação, porém com vegetação rasteira de arbustos e árvores de pequeno porte isoladas.

3.1.4 Modelo digital das edificações

Foi criado um modelo digital em três dimensões dos edifícios presentes nos bairros da área de estudo, os quais foram modelados no software *Google Earth 7.1.1.1888*. O atributo z, contendo a altura das construções, foi estimado com base na metodologia proposta por Ribeiro *et al.* (2010), o qual estabelece a altura das edificações através da contagem do número de pavimentos multiplicado por três metros, valor que representa a altura padrão média de pavimentos em edifícios. A base de dados digital contendo as edificações vetorizadas foi salva na extensão

*.Kml, a qual, posteriormente, foi convertida no *software Global Mapper 11.00* para a extensão *shapefile*. Em seguida, foi feita a junção do MDT ao modelo digital das edificações no aplicativo *ArcScene*.

O MDT foi utilizado, ainda, para a elaboração da figura de evolução da ocupação urbana nos bairros Vila da Serra e Vale do Sereno de 2002 a 2015. Neste caso, foram criados cinco arquivos em formato *shapefile* contendo as edificações nos anos de 2002, 2006, 2009, 2013 e 2015. Esses arquivos foram inseridos no MDT gerando cinco imagens, uma para cada ano.

3.2 Experimento de campo

Para alcançar os objetivos da pesquisa foram realizadas duas coletas de dados em campo detalhadas nos tópicos a seguir.

3.2.1 Campo 1

O Campo 1 aconteceu entre os dias 22 de agosto e 24 de setembro de 2015 e consistiu na coleta de dados horários de temperatura e umidade relativa do ar. O período de dados coletados de pouco mais de um mês serviu para avaliar o comportamento térmico e hídrico da região em termos médios e sob a atuação de diferentes sistemas atmosféricos.

O registro dos dados foi realizado por termo higrômetros datalogger fabricados pela TFA Dostman / Wertheim, modelo 30.3015 (FIG. 32a). Os aparelhos possuem função de visualização da temperatura máxima, mínima, média e instantânea, umidade relativa máxima, mínima, média e instantânea, temperatura do ponto de orvalho, calibração e memória para o registro de 3000 conjuntos de dados, além de intervalo de gravação ajustável.

Antes da realização dos experimentos de campo foi feita a aferição dos aparelhos no intuito de que fossem verificadas eventuais falhas de funcionamento que pudessem inutilizar os dados coletos em campo. A aferição foi realizada em duas etapas. Na primeira foram selecionados doze aparelhos os quais foram dispostos sobre um suporte lado a lado em um quarto escuro desprovido de móveis, com portas

e janelas fechadas (FIG. 32a). O objetivo foi minimizar o máximo possível as interferências externas no ambiente fechado, simulando um microclima estável. Os aparelhos permaneceram nesse ambiente em funcionamento durante o período de cinco dias (15 a 20 de julho de 2015), registrando a temperatura e a umidade relativa do ar em intervalos de 30 minutos. Ao final da aferição os *dataloggers* apresentaram diferença média de temperatura entre eles de 0,3°C e de umidade relativa do ar de 2%, mostrando-se aptos à utilização em campo.

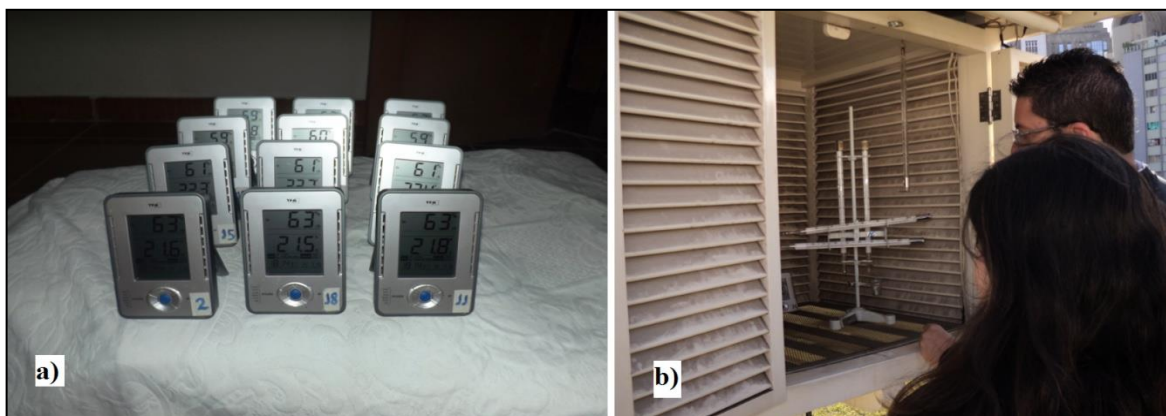


FIGURA 32: (a) primeira aferição dos *dataloggers*; (b) segunda aferição dos *dataloggers* no 5°DISME/INMET.

Na segunda aferição foi escolhido um datalogger dentre os anteriores, o qual foi instalado na estação meteorológica do 5° DISME/INMET para comparação com os pares psicrométricos da instituição¹⁴ (FIG. 32b). A coleta de dados foi realizada no intervalo de meia hora entre as 9 e as 16 horas do dia 23 de julho de 2015. Os valores registrados no *datalogger* apontaram diferença máxima de 0,9°C, em comparação com o termômetro de bulbo seco, e uma diferença média de 0,4°C (APÊNDICE C). A umidade relativa do ar apresentou uma diferença máxima de 11% e média de 4,8%.

Apesar das variações dos valores observados entre os diferentes instrumentos de medição, o índice de correlação entre os dados observados no termohigrômetro *datalogger* e o termômetro padrão do 5°DISME/INMET, foi de 0,948 para a temperatura e 0,906 para a umidade relativa (FIG. 33), indicando uma boa correlação entre os valores obtidos pelos instrumentos utilizados em campo e os aparelhos oficiais do INMET.

¹⁴ O 5°DISME/INMET utiliza dois termômetros analógicos que compõem o par psicrométrico. Um desses aparelhos mede a temperatura de bulbo seco, e o outro, com o auxílio de um pequeno depósito de água, mede a temperatura de bulbo úmido, variáveis necessárias para o cálculo da umidade relativa do ar com o auxílio da tabela psicrométrica disponibilizada na instituição.

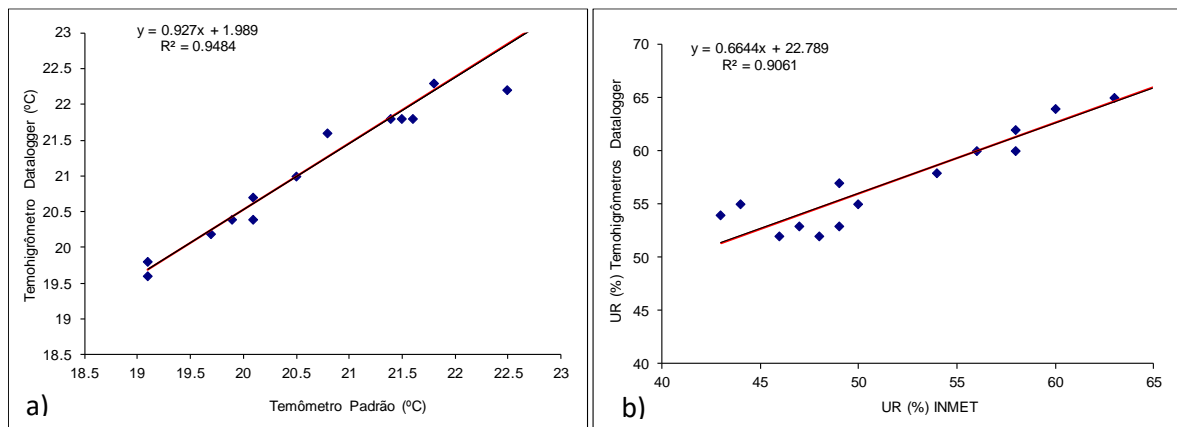


FIGURA 33: Gráfico de correlação entre os valores de temperatura do ar (a) e umidade relativa do ar (b) obtidos pelo termohigrômetro *datalogger* e pelo termômetro de bulbo seco do 5° DISME/INMET.

Os termohigrômetros *datalogger* foram instalados em abrigos meteorológicos de campo (FIG. 34 a e b), confeccionados para realização de pesquisas acadêmicas pelo Prof. Wellington Lopes Assis (ASSIS, 2010) com base no modelo proposto pelo Prof. José Roberto Tarifa do Laboratório de Climatologia da Universidade de São Paulo.

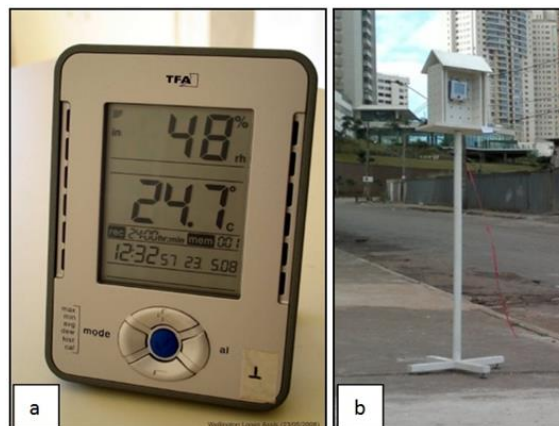


FIGURA 34: Instrumentos de registro em campo das variáveis meteorológicas; a - Termohigrômetro *datalogger* TFA (ASSIS, 2010); b - Abrigo meteorológico de campo.

A coleta foi realizada em dez pontos distribuídos na área de estudo. A escolha dos pontos amostrais foi feita considerando-se a multiplicidade de tipos de uso e ocupação do solo e a posição na vertente. Os abrigos foram instalados em áreas abertas de condomínios, edifícios empresariais e residências. A figura 35 aponta a localização dos pontos e as características do entorno de cada um deles. O Apêndice D apresenta as principais características de cada ponto amostral e os abrigos meteorológicos instalados nos locais.

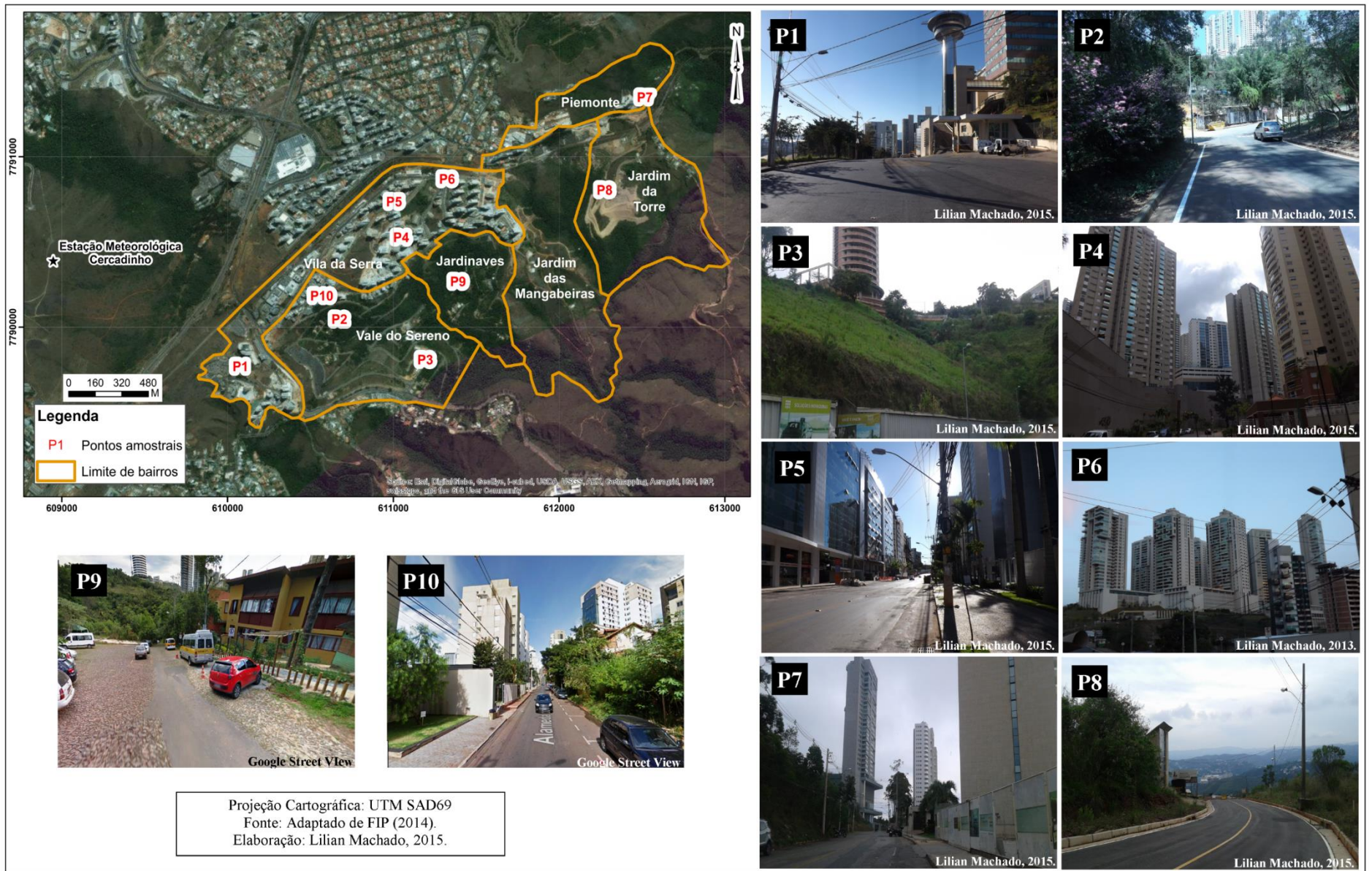


FIGURA 35: Localização dos pontos amostrais no campo 1.

3.2.1 Campo 2

O segundo experimento de campo foi realizado no intuito de obter dados complementares para a análise do clima urbano na área de estudo, cujos os instrumentos utilizados no campo 1 não são aptos a obter de forma automática. Os dados coletados no campo 2 consistem, além da temperatura e umidade relativa do ar, na velocidade e direção dos ventos, temperatura do solo, fluxo de veículos e pedestres, e nebulosidade. A coleta ocorre em intervalos de 1 hora, iniciando-se às 13 horas do dia 25 de setembro e finalizando-se às 12 horas do dia 26 de setembro de 2015.

Para a coleta dos dados foi necessária a mobilização de uma equipe de campo, cujos integrantes se revezaram durante todo o período de realização do experimento na coleta dos dados. Dada a preocupação com a segurança dos voluntários e a dificuldade em acessar determinados locais durante a noite, optou-se pela exclusão de três pontos amostrais que compuseram o campo 1, sendo eles os pontos 8, 9 e 10. Os demais pontos, com exceção do ponto 1, precisaram ter os abrigos deslocados do interior dos condomínios e residências para a via pública devido a impossibilidade de a equipe de campo adentrar os locais durante 24 horas. Os pontos deslocados foram renomeados com o pós-fixado “.1”. A figura 36 mostra a distância do deslocamento em cada ponto amostral. As principais características dos locais estão expostas na tabela apresentada no apêndice E.

A coleta da temperatura e umidade relativa do ar foi realizada utilizando-se os mesmos instrumentos do campo 1. Já a direção e intensidade dos ventos foram obtidas com o auxílio de uma fita presa à haste dos abrigos e uma bússola para orientação. Os dados de intensidade do vento foram estimados por meio da escala Beaufort (Anexo B) na medida em que se observava a movimentação da fita com o deslocamento do ar, a qual foi utilizada ainda para a observação da direção da qual partiam os ventos.

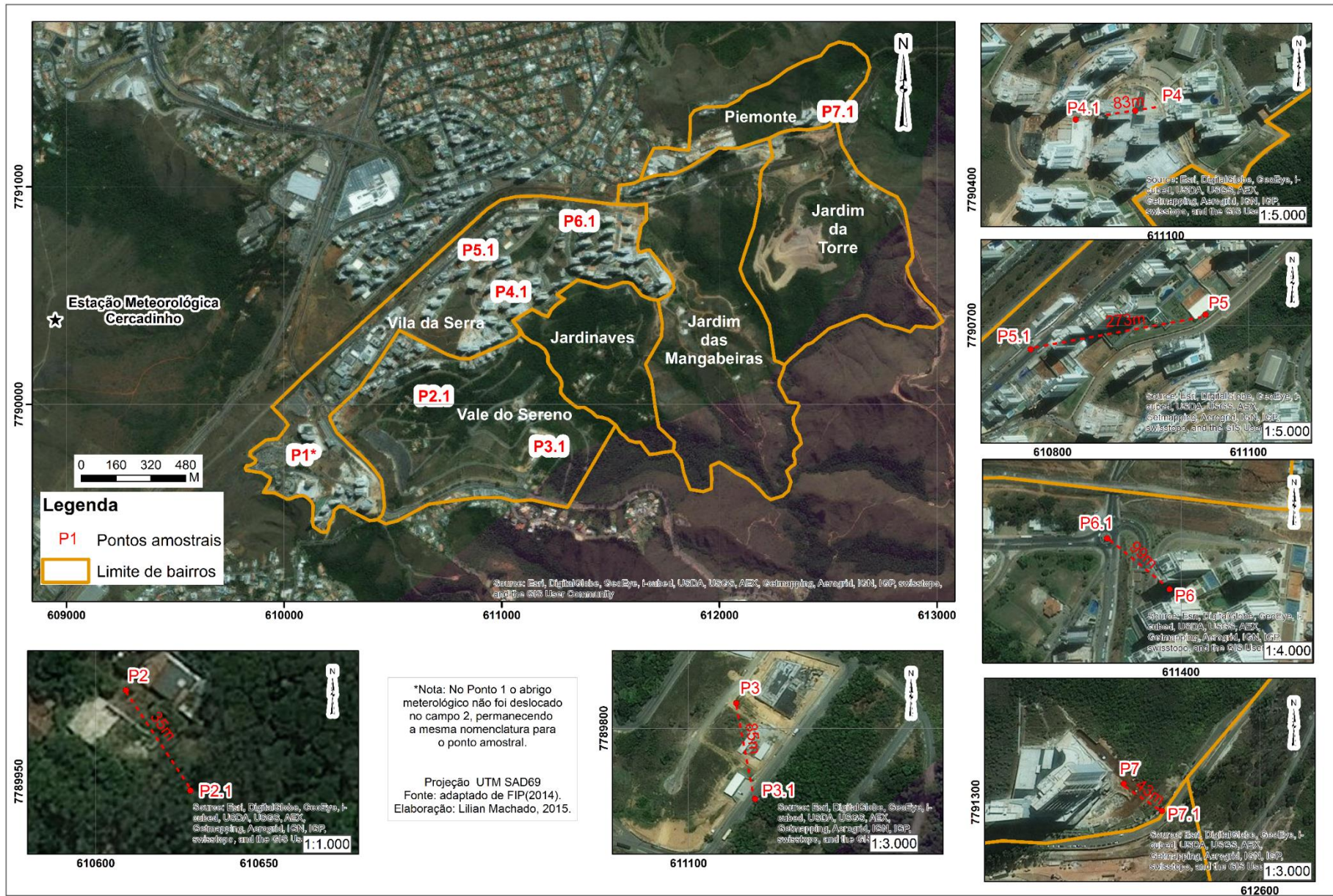


FIGURA 36: Localização dos pontos amostrais no campo 2.

3.1 Análise rítmica

Foi realizada, no período de cinco dias anteriores e cinco dias posteriores à execução da coleta de dados do campo 1 (17/08/2016 a 29/09/2016), a análise da situação sinótica e identificação dos sistemas atmosféricos atuantes na região, conforme metodologia proposta por Monteiro (1971). Para tanto, foram utilizados dados meteorológicos de superfície tais como pressão atmosférica, temperatura do ar (máxima, média e mínima), umidade relativa, pluviosidade diária total e direção e velocidade dos ventos obtidos por meio da estação meteorológica automática do 5º Distrito de Meteorologia (5º DISME/INMET), localizada no bairro Lourdes, em Belo Horizonte. Esta etapa foi necessária já que o comportamento micro e topoclimático, aos quais se dirigem esta pesquisa, são indissociáveis das manifestações do clima em escala regional, a qual está incluída a atuação dos sistemas atmosféricos.

Para auxiliar na interpretação da dinâmica atmosférica e na identificação dos sistemas atuantes, foram utilizadas cartas sinóticas de altitude e superfície disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC/INPE) e imagens dos satélites GOES e METEOSAT nos horários sinóticos, sendo eles 00h00 min, 12h00 min e 18h00 min UTC¹⁵.

3.2 Tratamento estatístico dos dados

Os dados coletados passaram por dois processos principais de tratamento. Primeiramente foi computada a estatística descritiva dos valores obtidos no campo 1 e no campo 2 por meio do *software Excel*. Foram calculados os valores médios, mínima absoluta, máxima absoluta, amplitude média diária e desvio padrão da amostra para cada ponto amostral. A partir destes dados foram realizadas análises sobre o comportamento geral dos elementos climáticos a fim de se identificar padrões gerais de variação entre eles.

Em seguida, os dados coletados em campo foram separados em quatro períodos: manhã (7 às 12h); tarde (13 às 18h); noite (19 à 0h) e; madrugada (1 às 6h).

¹⁵UTC - Universal Time Coordinated.

Foi calculada a estatística descritiva para cada ponto amostral considerando-se os dados de cada período estabelecido. A análise da estatística por período permitiu observar como os fatores geográficos locais em interação entre si e com a atmosfera, interferem e condicionam a dinâmica de variação dos elementos climáticos.

3.3 Cartogramas e materiais gráficos

Para auxiliar a análise dos dados foram gerados cartogramas com a distribuição das variáveis climáticas na área de estudo, além de materiais gráficos complementares apresentados a seguir.

3.3.1 Interpolação dos dados - Campo 1

Após concluído o campo 1, os dados obtidos de temperatura e umidade relativa do ar foram interpolados no *software ArcGis 10.1*, a fim de se obter a representação espacial do comportamento térmico e hídrico na área de estudo. Foram utilizados os valores médios gerais e por período das variáveis que foram inseridos em um arquivo de formato *shapefile* contendo os pontos amostrais do trabalho.

Foram realizados testes com cinco diferentes métodos de interpolação para se obter as melhores representações possíveis do comportamento atmosférico médio do local. Os interpoladores testados foram: *Inverse Distance Weighting (IDW)*, *Radial Basis Function (RBF)*, *Local Polynomial Interpolation (LPI)*, *Kriging* e *Kernel Smoothing*.

O IDW é um interpolador de método determinístico de processamento rápido, que permite tomar poucas decisões sobre os parâmetros do modelo. Portanto, pode ser uma boa maneira de tomar um primeiro olhar sobre uma superfície interpolada (ESRI, s.d.). O método tende a gerar "*bull eyes*" os quais consistem em representações concêntricas dos valores da variável interpolada.

Ordinary Kriging ou Krigagem ordinária é um interpolador muito flexível que permite a investigação da variável por meio de cálculos da autocorrelação espacial dos valores. A Krigagem utiliza modelos estatísticos que permitem uma variedade de superfícies de saída, incluindo previsões, erro padrão de predição, probabilidade e

quantil. A flexibilidade do *kriging*, no entanto, exige tomadas de decisão no processamento do interpolador que requerem conhecimento do comportamento da variável analisada (ESRI, s.d.).

O *Radial Basis Function* (RBF) é um interpolador determinístico moderadamente rápido. Em comparação com IDW, ele é flexível, porém requer compreensão acerca do comportamento da variável, já que há mais decisões de parâmetros do modelo a serem tomadas. O método proporciona superfícies de previsão que são comparáveis com a forma de krigagem, no entanto não permitem a investigação da autocorrelação dos dados, tornando-o menos flexível e mais automático do que a Krigagem (ESRI, s.d.).

Polynomial Local Interpolation (LPI) é um método que fornece previsão, erro padrão de previsão e superfície interpolada que são comparáveis aos resultados da Krigagem ordinária. Métodos polinomiais locais não permitem a investigação da autocorrelação dos dados, tornando-o menos flexível e mais automático do que a Krigagem (ESRI, s.d.).

O método de interpolação de *Kernel* demonstra a intensidade pontual de determinado fenômeno em toda a região de estudo. Assim, temos uma visão geral da intensidade do processo em todas as regiões do mapa (MEDEIROS, s.d.). O interpolador utiliza a menor distância entre os pontos para fazer as predições, tendo a propriedade de suavizar a representação dos dados (ESRI, s.d.).

Os modelos de interpolação gerados são apresentados no Apêndice F. O modelo LPI apresentou os melhores resultados estatísticos e visuais para a interpolação dos dados médios de temperatura e umidade do ar (TAB. 5). O erro médio produzido pelo modelo, considerando-se os dados de temperatura do ar, foi de -0,051 com coeficiente de correlação (R^2) de 0,93.

TABELA 5: Estatística dos modelos de interpolação testados

PARÂMETROS DO MODELO	IDW	RBF	LPI	KRIGING	KERNEL
R^2	0.88	0.87	0.93	0.80	0.86
Erro médio	-0,054	-0,020	-0,051	-0,037	-0,033
Erro mínimo	-1,22°C	-1,48°C	-1,47°C	-1,48°C	-1,53°C
Erro máximo	1,94°C	1,95°C	1,96°C	1,84°C	1,90°C

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

3.3.2 Interpolação dos dados - Campo 2

A princípio, a interpolação dos dados do campo 2 seguiu as mesmas etapas da interpolação do campo 1. Foram utilizados os valores médios gerais e por período dos dados obtidos de temperatura e umidade relativa do ar e esses foram inseridos em um arquivo de formato *shapefile* contendo os pontos amostrais do campo 2. Em seguida, os dados foram interpolados no *software ArcGis 10* utilizando o método interpolador *Local Polynomial (LPI)*.

No entanto, a interpolação apresentou resultados não condizentes com as características geológicas da área central do espaço amostral devido à exclusão, no campo 2, dos pontos 8 e 9 utilizados no campo 1. Para corrigir o erro de distribuição dos pontos amostrais, foram sobrepostas as bases cartográficas de edificações, vegetação, topografia e direcionamento das vertentes sob a base de interpolação e corrigido manualmente o posicionamento das classes geradas pelo interpolador.

3.3.3 Perfis geológicos

Para elaboração dos perfis geológicos foram interpolados os dados coletados no campo 1 e 2 no *software Surfer*, a fim de se obter a representação espacial e temporal das variáveis. O *software* representa as variáveis horárias de acordo com a distância espacial entre elas. Assim, para o campo 1, o Ponto 10 assumiu a terceira posição na representação devido a sua proximidade do Ponto 2, enquanto o Ponto 3 foi o último na representação, conforme é apresentado na figura 37.

A figura 38 apresenta a sequência de representação dos pontos no campo 2 e a distância calculada entre eles para a construção do segundo perfil geológico.

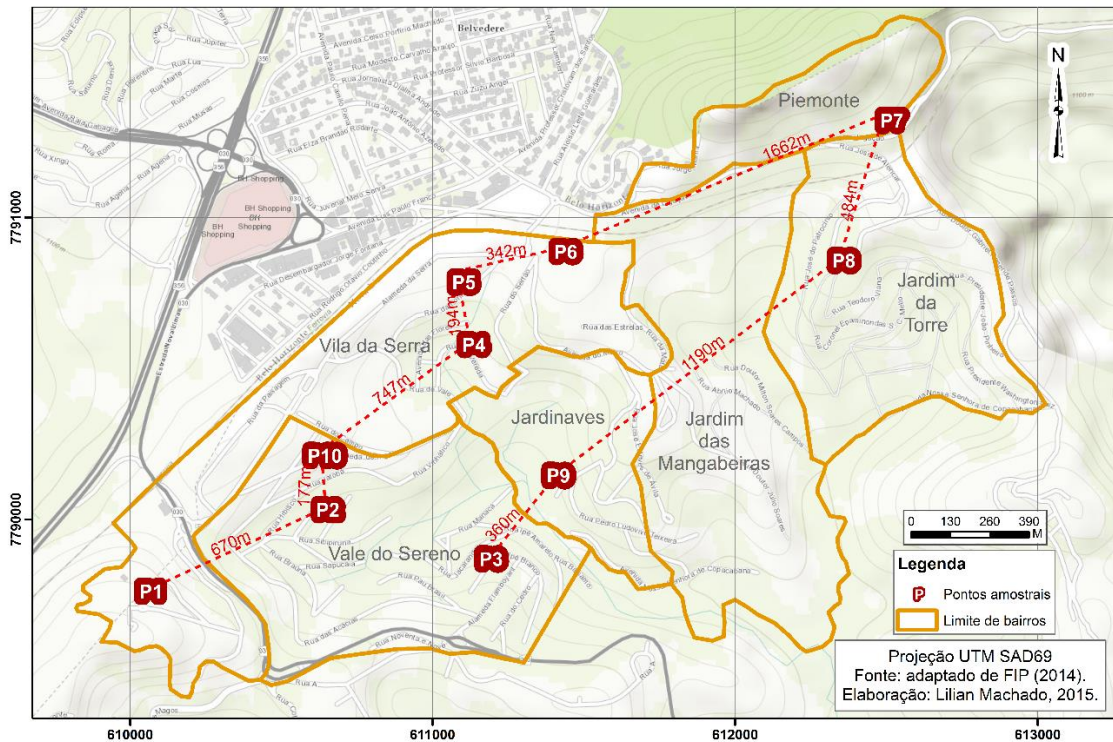


FIGURA 37: Distância entre os pontos amostrais no Campo 1.

Os perfis topográficos foram gerados no *software Excel*. As informações de uso e ocupação do solo foram obtidas por meio de análise de imagens de satélite no *software Google Earth*, enquanto as direções de vertentes foram obtidas no mapa elaborado e apresentado no capítulo II.

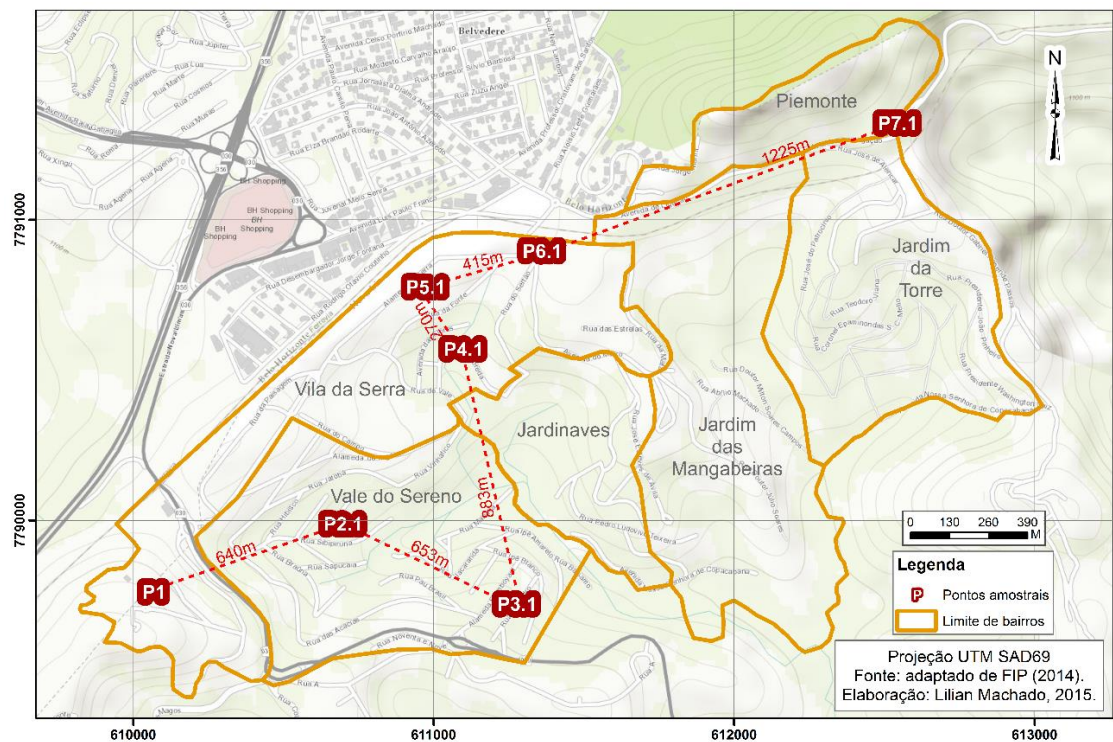


FIGURA 38: Distância entre os pontos amostrais no Campo 2.

3.3.4 Imagens de iluminação dos pontos amostrais

Para fundamentar a análise da variação da temperatura e umidade relativa do ar nos períodos do dia, foram elaborados gráficos e imagens de iluminação solar direta.

Na elaboração das imagens do sombreamento provocado pelas formas de relevo sobre os pontos amostrais no Campo 1 foi utilizada a ferramenta “Mostrar a luz do sol na paisagem” do *software Google Earth*. Por meio dela, foram ajustados os horários com intervalos de duas horas nos períodos da manhã e da tarde, e salvos arquivos no formato **.jpg*. Foi escolhido o dia 8 de setembro como data das imagens geradas por esse ser um dia intermediário no período de dados coletos, já que o *software* não produz uma média de iluminação para dias consecutivos.

Para análise da dinâmica de variação da temperatura do ar no Campo 2 foram elaborados gráficos de iluminação pontual, já que, por se tratar de uma série de dados reduzidos, referentes a um período de tempo de 24 horas, foi necessária a avaliação em maior detalhe da iluminação local. Depois de elaborado o modelo 3D das edificações na área de estudo, este foi inserido no *ArcScene* e exportado no formato **.vrmf*, o qual mantém o atributo Z (altura) dos dados. Posteriormente, o *software* Vivaty Studio foi utilizado para converter o arquivo **.vrmf* das edificações para o formato **.3ds*, o qual foi inserido no *Google Sketchup 8*. No *Google Sketchup* foi indicada a localização geográfica do arquivo inserido e a data de realização do experimento de campo. Por meio do *plugin Chrono Lux* e da ferramenta *draw ray cluster*, foram gerados os gráficos de iluminação horária para a tarde do dia 25 e a manhã do dia 26 de setembro.

Embora essa técnica auxilie na visualização do sombreamento provocado pelas edificações, o procedimento descrito acima não permite inserir e projetar, simultaneamente, o sombreamento provocado pelas formas do relevo local. Sendo assim, o tempo de incidência direta dos raios solares sobre os pontos pode ser menor na realidade em alguns locais do que o projetado pelo *software*.

3.3.5 Gráficos de obstrução da abóbada celeste e Fator de Visão do Céu (FVC)

Para auxiliar na análise da dinâmica de variação dos elementos climáticos foi calculado o Fator de Visão do Céu (FVC) e gerados gráficos de obstrução da abóbada celeste. Um método convencional de obtenção do FVC é o uso de câmeras fotográficas acopladas às lentes olho-de-peixe, as quais possuem uma abertura angular de 180°, gerando imagens em projeção estereográfica (VILELA, 2007). No entanto, recentemente foram desenvolvidas ferramentas de geoprocessamento que são capazes de calcular, simultaneamente, o FVC de diversos pontos na malha urbana e gerar o gráfico de obstrução da abóbada celeste (VILELA, 2007; RIBEIRO et al., 2010; RIBEIRO, 2009). Portanto, dada a ausência dos equipamentos necessários para obtenção dos dados em campo e a possibilidade de gerá-los por meio de ferramentas digitais, optou-se por utilizar do recurso computacional disponível de maneira gratuita.

Para gerar os gráficos de obstrução da abóbada celeste e o cálculo do FVC foi utilizado o *plugin Chrono Lux* do *software Google Sketchup 8*. Para realizar o cálculo do FVC e gerar os gráficos de obstrução da abóbada celeste, foi utilizada a ferramenta “*click to calculate sky view factor*”.

3.3.6 Gráficos de direção e intensidade dos ventos

Para a análise das variáveis direção e velocidade dos ventos coletadas no Campo 2, foram elaborados gráficos de rosa dos ventos, os quais ilustram a direção e velocidade dos ventos, e gráficos de frequência dos ventos por velocidade. Para a confecção dos gráficos foi utilizado o *software* livre *WRPLOT View* e o *Excel*.

O *software* não trabalha com dados em valores de intensidade da Escala Beaufort. Portanto, foi necessário converter os valores coletados em campo para milha por hora (mph) (TAB. 6). Os valores referentes aos períodos de calmaria, os quais são representados pela intensidade zero na Escala Beaufort, foram plotados como 0,3 milha por hora, já que o *WRPLOT View* considera como calmaria valores acima de zero e abaixo de 0,5 milha por hora. Durante a execução dos cálculos, o *software* converte os valores de mph para metros por segundo (m/s).

TABELA 6: Valores de conversão de nível de intensidade dos ventos na Escala Beaufort para milhas por hora

NÍVEIS DE INTENSIDADE NA ESCALA BEAUFORT	VALORES EM MPH
0	0,30
1	2
2	5
3	10

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

3.4 Unidades topoclimáticas

Para a elaboração do mapa de unidades topoclimáticas foram estabelecidas as etapas apresentadas na figura 39. De posse dos dados climáticos coletados nos campos 1 e 2 (tratados conforme descrito anteriormente) e do material cartográfico de apoio, foi realizado o diagnóstico do comportamento climático, apresentado e discutido no capítulo IV.

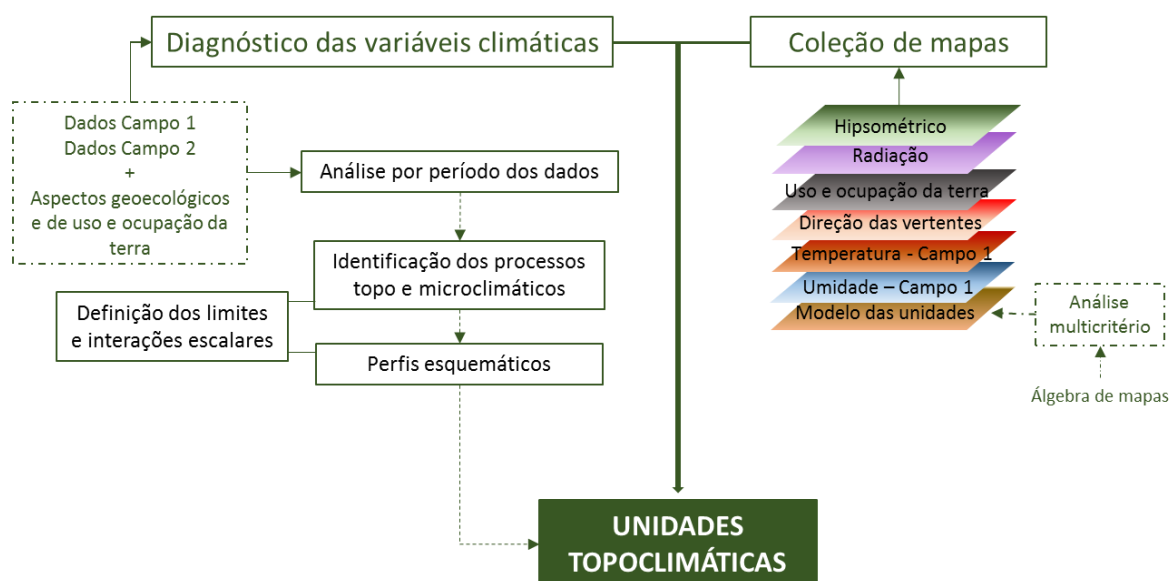


FIGURA 39: Roteiro metodológico II: Mapa de unidades topoclimáticas. Elaboração: Lilian Machado, 2016.

Para fundamentar a delimitação das unidades topoclimáticas, foi elaborado um modelo matemático dessas unidades utilizando-se da metodologia de análise multicritérios. Esta metodologia 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. Cada mapa recebe um peso em porcentagem que, no conjunto dos mapas, deve somar 100, sendo este um valor percentual.

Após realizado o diagnóstico do comportamento climático na área de estudo, foi observado que as características geológicas que mais se relacionavam com a dinâmica de variação dos elementos climáticos consistiam na radiação solar, uso e ocupação do solo e altimetria, as quais refletiam fortemente no comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar. Assim, estes cinco mapas foram utilizados como bases de entrada na análise multicritérios para gerar o modelo matemático das unidades topoclimáticas (FIG. 40).

Todos estes mapas foram convertidos para o formato matricial. As notas atribuídas a cada classe desses mapas foram definidas a partir da relação da categoria com o comportamento térmico atmosférico (FIG. 40). Portanto, uma classe de radiação alta, por exemplo, influenciaria a temperatura positivamente, recebendo notas mais altas, enquanto maiores umidades, seriam relacionadas a temperaturas menores e, portanto, notas menores.

Embora na teoria locais mais altos sejam mais frios, foi observado na área de estudo que os topos estavam entre os locais mais aquecidos, por isso as mais elevadas altitudes receberam notas maiores. Além disso, a quantidade de radiação incidida na superfície expressa, de maneira indireta, relação com a altimetria e a orientação de vertentes, fatores de influência importante do comportamento topoclimático na área estudo.

Os pesos adicionados para cada mapa temático foram definidos com base na análise diagnóstica dos dados coletados em campo, que apontou os fatores que mais se relacionavam com a distinção climática entre as diferentes localidades da área de estudo. Assim, a radiação solar incidida na superfície recebeu o maior peso já que consiste no input do sistema solar, sendo sua distribuição na superfície um elemento de primária importância na variação da temperatura e umidade relativa do ar, e, indiretamente, na indução de sistemas de circulação em baixos níveis, como as brisas vale-montanha. A temperatura do ar recebeu o segundo maior peso por representar uma resposta direta à distribuição da radiação solar na superfície.

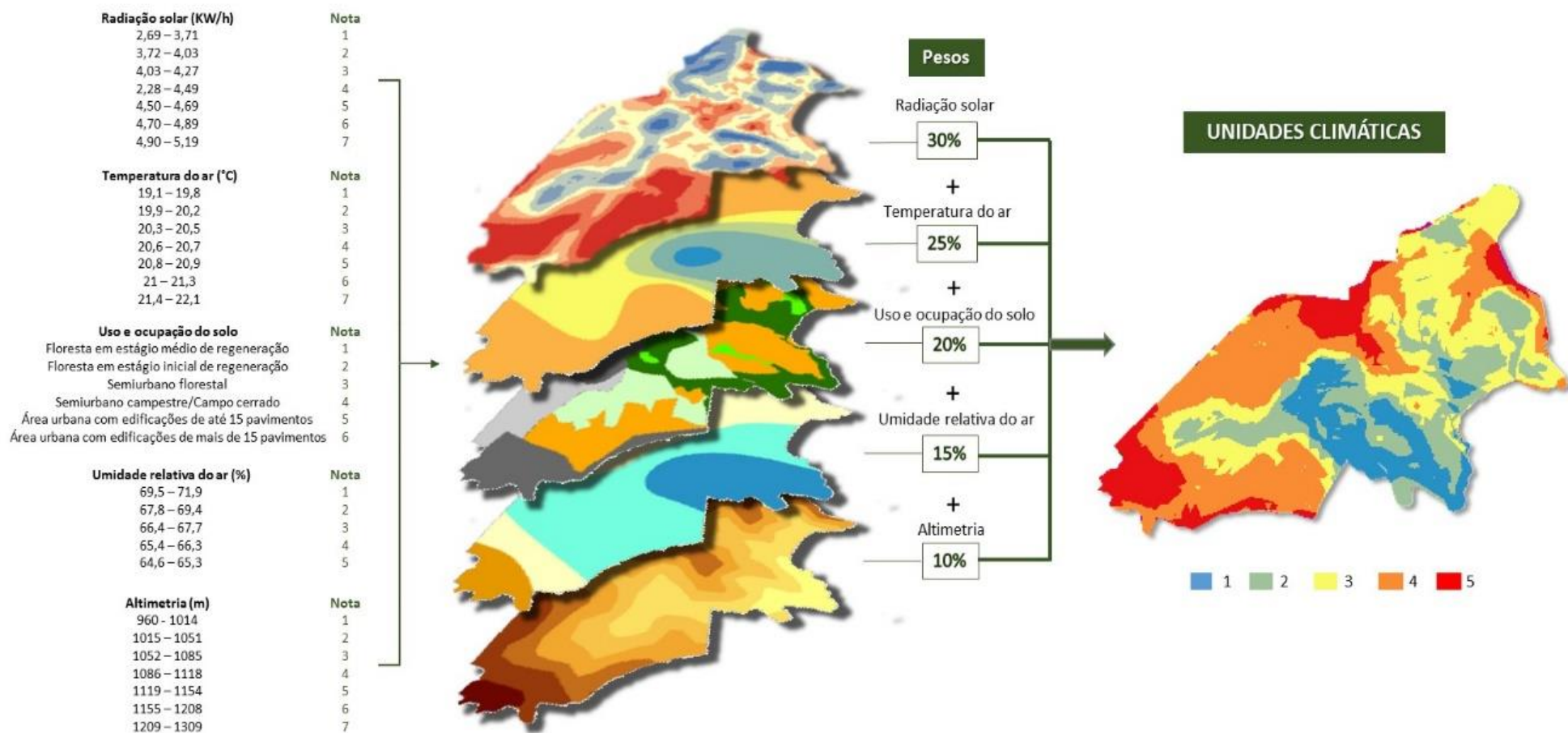


FIGURA 40: Roteiro Metodológico III: Elaboração do modelo matemático das unidades topoclimáticas. Elaboração: Lilian Machado, 2016.

O uso e ocupação do solo foi responsável pela intensificação dos efeitos da radiação na superfície sobre a temperatura do ar. Assim, recebeu o terceiro maior peso na definição de unidades topoclimáticas, enquanto a umidade relativa do ar e a altimetria receberam os menores pesos, já que representam respostas atreladas ao comportamento térmico, no caso da umidade, e à distribuição de radiação na superfície, no caso da altimetria.

Em seguida, foi realizada a álgebra de mapas utilizando-se a seguinte fórmula:

Equação 1

$$[\text{Radiação_solar} * 0,3] + [\text{Temperatura_do_ar} * 0,25] + \\ [\text{Uso_e_ocupação_do_solo} * 0,2] + [\text{Umidade_relativa_do_ar} * 0,15] + [\text{Altimetria} * 0,1]$$

O resultado é apresentado na figura 40. O mapa modelado serviu para uma primeira análise sobre as possíveis unidades topoclimáticas. Em seguida, foi adicionada uma coleção de mapas no *software ArcGis 10.1* contendo as cinco bases cartográficas utilizadas na entrada da análise multicritério e o mapa resultante da mesma. A partir da sobreposição dessas informações e dos conhecimentos obtidos por meio da análise diagnóstica do clima da área, foram vetorizadas as unidades topoclimáticas finais. Esta vetorização foi feita de forma manual, considerando-se as unidades topoclimáticas apontadas pelo modelo matemático gerado através da análise multicritério, porém ajustando estas unidades às manifestações climáticas observadas ao longo do diagnóstico da área cujo modelo não foi capaz de delimitar.

As unidades 1 e 2 apresentadas no mapa modelado (FIG. 40) foram consideradas como uma única unidade definida a partir das altimetrias locais, confinadas em ambiente de vale, e do uso e ocupação do solo desta área, marcado pela boa arborização. A unidade 4 foi desmembrada em duas unidades, uma na vertente voltada para norte do bairro Vale do Sereno e outra na área central do bairro Vila da Serra. A unidade 5 é característica de topos bem iluminados. Assim, os três topos destacados nela foram individualizados em três unidades topoclimáticas distintas entre si devido às diferenças de uso e ocupação do solo e altimetria que existem entre elas. Por fim, a unidade 3 foi considerada como um topoclima de transição entre as demais unidades. Destaca-se o topo referente ao bairro Piemonte que, embora tenha sido definido no modelo como a unidade 3, foi individualizado no

mapa final como uma unidade topoclimática distinta devido ao comportamento térmico diferenciado desta área ao longo do dia que se assemelha aos demais topos no período da manhã e noite e, no entanto, no período da tarde está mais próximo ao comportamento das unidades 1 e 2.

Com o apoio da análise por período dos dados de ambos os campos e a bibliografia consultada, foram identificados os processos climáticos que atuam nos diferentes ambientes da área de estudo e estes foram representados em perfis esquemáticos com o objetivo de facilitar a compreensão da dinâmica desses processos ao longo do dia e da noite (FIG. 71 a 74). Foram representados nos perfis as características e processos topoclimáticos que se configuram sob condições de estabilidade atmosférica conferida pela predominância da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. Sob atuação de sistemas sinóticos instáveis a resposta superficial torna-se menos variável entre os ambientes de características distintas, o que não diminui a importância de seu estudo. No entanto, como pretendia-se definir unidades de topoclimas distintos entre si, optou-se pela representação de dias estáveis.

Embora não seja possível delimitar com precisão as dimensões espaciais de abrangência de determinada escala climática, foi necessária a caracterização das escalas utilizadas no trabalho a fim de se esclarecer os conceitos nos quais as análises foram baseadas, fundamental para a determinação da extensão de atuação dos processos climáticos. Esta caracterização baseou-se nos estudos de Monteiro (1976), Oke (1978), Witheman (1980) e Assis (2010).

A fim de ilustrar as abrangências escalares e seus principais controles, foram elaborados perfis, os quais são apresentados no capítulo V (FIG. 67 a 69). Para a elaboração do perfil escalar mesoclimático, foram utilizados dados de temperatura de Assis (2010). Os dados de temperatura e precipitação apresentados no perfil do clima local das Serras do Quadrilátero Ferrífero foram extraídos de Climate-Data (s.d.), com exceção da cidade de Belo Horizonte, cujos dados provêm de INMET (1961-1990). Para elaboração do perfil do clima regional Tropical de Altitude foram utilizados dados das normais climatológicas de 1961-1990. Não foram utilizados os dados oficiais do INMET para a ilustração do clima local devido à ausência de informações para a extensão espacial adotada no perfil. Os perfis topográficos foram elaborados no software Google Earth e vetorizados no software Power Point 2016.

CAPÍTULO 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos por meio da análise estatística dos dados coletados nos campos 1 e 2. É apresentada a análise rítmica que permitiu a compreensão da sucessão dos estados de tempo durante o período de coleta dos dados, primordial para o entendimento da dinâmica de variação dos elementos climáticos na área de estudo.

4.1 Análise rítmica

Durante a realização dos experimentos de campo, entre os dias 22/08/2015 e 26/09/2015, as condições meteorológicas no Município de Belo Horizonte foram predominantemente estáveis, com ventos fracos e nuvens de baixo desenvolvimento vertical. Aconteceram duas exceções a este quadro (entre os dias 07-10/09 e 11-13/09), quando houve incursão de circulações sinóticas instáveis (linhas de instabilidade e sistemas frontais).

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) foi responsável por 79,8% das condições meteorológicas, atuando no período de 17/08 a 06/09, e 15/09 (parte do dia) a 29/09 (FIG. 41 e 42). As Linhas de Instabilidade (LI) foram responsáveis por 3,9% das condições de tempo, atuando durante todo o dia 07/09 e parte do dia 08/09. Houve, ainda, a passagem de duas Frentes Frias (FF). A primeira atuou entre parte do dia 08/09 e parte do dia 10/09. Após sua passagem predominou o Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul (APAS) com características tropicalizadas. A segunda Frente Fria avançou sobre a região no dia 11/09 e permaneceu estacionada na área até parte do dia 13/09, quando passou a atuar o Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul, que rapidamente adquiriu características tropicais.

Sob domínio do ASAS não aconteceram episódios de precipitação, mantendo-se condições de tempo estável com céu claro e nuvens de pequeno desenvolvimento vertical. No campo 2 (25 e 26 de setembro) foram observadas nuvens do tipo *cumulus* de bom tempo no início do experimento e *altocumulus* no decorrer da tarde. À noite o céu esteve limpo, surgindo, por volta das 6 horas do dia 26 de setembro, nuvens *cirrus* que cobriram o céu durante todo o dia.

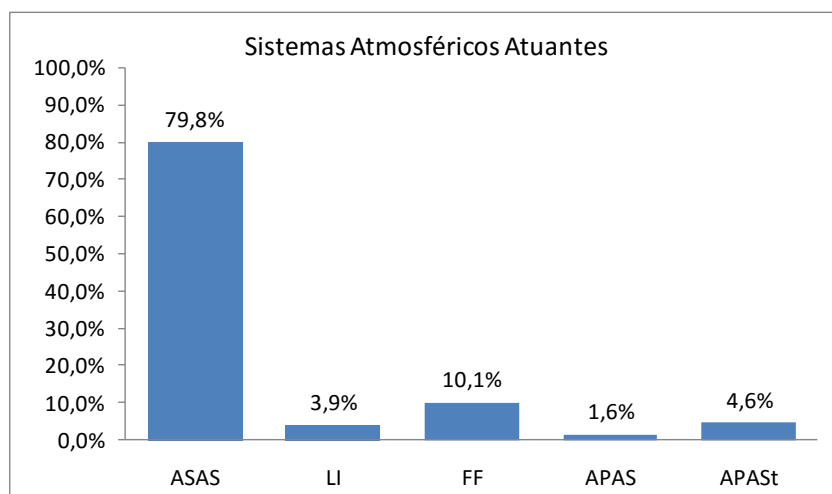


FIGURA 41: Participação dos sistemas atmosféricos em Belo Horizonte entre os dias 17/08/2015 e 29/09/2015. Fonte: CPTEC (2015a) e INMET (2015).

Durante a atuação do ASAS, a pressão atmosférica apresentou valores elevados com média de 914hpa (TAB 7). A baixa nebulosidade, característica da atuação do ASAS, favoreceu amplitudes térmicas diárias que atingiram até 15,2°C. A temperatura média foi de 25,3°C. O primeiro período de atuação do ASAS (de 17/08 a 06/09) apresentou uma média de temperaturas de 23,8°C, 3,6°C mais baixa do que o segundo período (de 15/09 a 29/09) que apresentou uma média de 27,4°C.

TABELA 7: Condições médias dos elementos climáticos por sistema atmosférico atuante no período de 17/08 a 29/09/2015

	Temperatura média (°C)	Umidade relativa do ar média (%)	Pressão média (hpa)	Precipitação Média (mm)
ASAS	25,3	47,5	914,0	0,0
LI	23,7	62,2	912,0	3,7
FF	20,7	74,5	912,8	6,6
APAS	19,8	81,0	916,5	0,0
APASSt	22,8	65,1	914,5	0,0

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O período de realização dos experimentos de campo compreendeu temperaturas acima da média se comparadas às normais climatológicas da região. O mês de agosto apresentou temperatura média de 22,0°C, 3°C a mais do que o registrado nas normais climatológicas para o mês no município de Belo Horizonte. Em setembro a temperatura média foi de 25,5°C, quando o esperado segundo as normais climatológicas de 1961 a 1990 seria de 21°C.

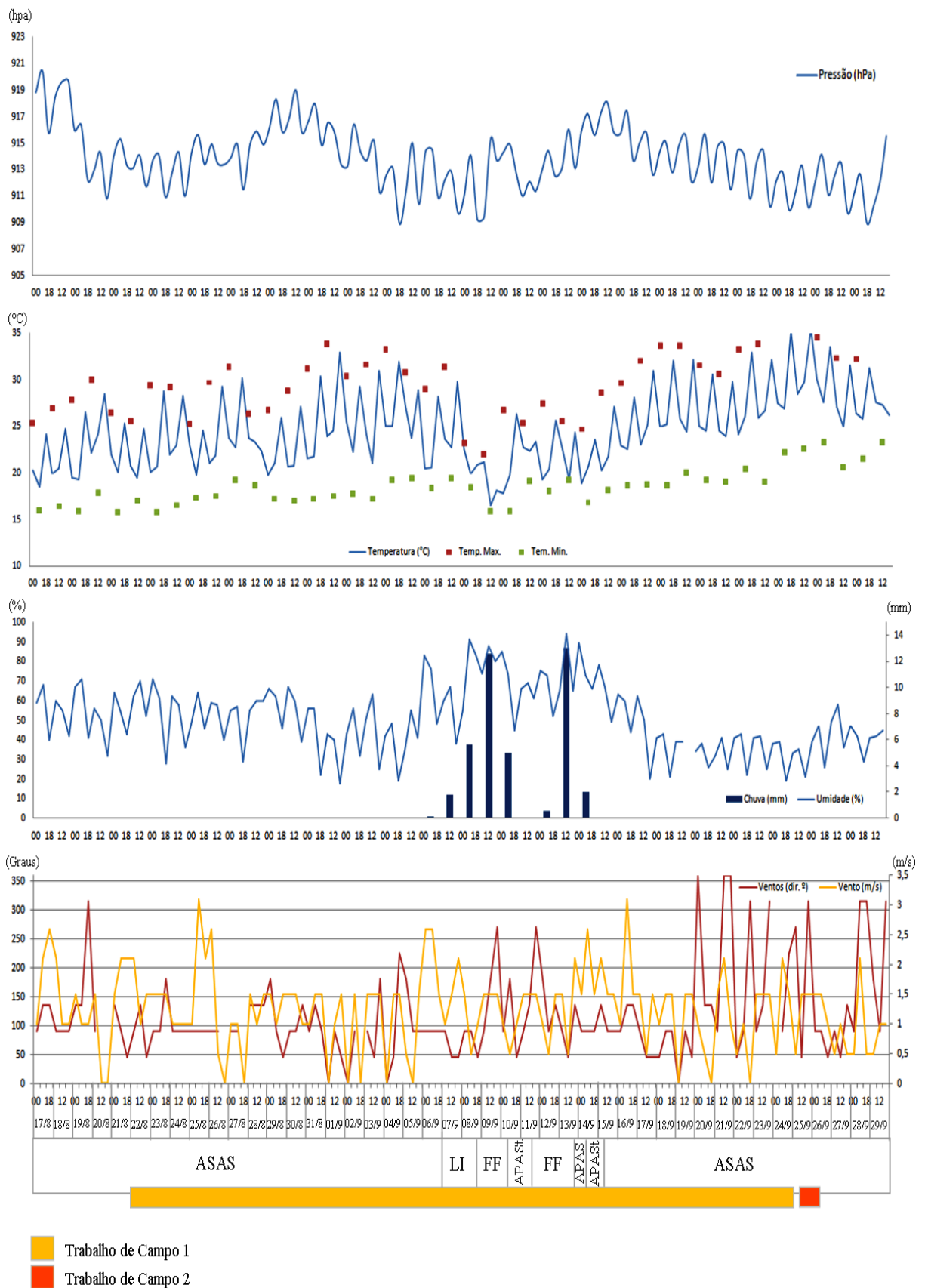


FIGURA 42: Análise rítmica dos elementos climáticos entre os dias 17/08/2015 e 29/09/2015. Fonte: CPTEC (2015a) e INMET (2015).

As temperaturas acima da média se relacionam com a permanência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) na região equatorial do Pacífico. O fenômeno teve início entre o fim de março e o início de abril do ano de 2014 (FIG. 43a). A anomalia positiva da TSM sobre o oceano Pacífico Equatorial se intensificou desde então, atingindo, valores acima dos 4°C no mês de setembro de 2015, enquanto o Índice de Oscilação Sul atingiu valores negativos chegando a -1,6°C (FIG. 43b). Entre os anos de 1997 e 1998 o ENOS atuou de forma semelhante, alcançando anomalias de até 5°C de TSM no oceano Pacífico Equatorial e IOS de -1,5°C no mês de setembro de 1997 (CPTEC, 1997). Neste mesmo ano, assim como em 2015, as temperaturas no sudeste brasileiro apresentaram valores acima da média, anomalia favorecida pela permanência do ASAS sobre o continente proporcionando baixa nebulosidade e aquecimento pronunciado da superfície continental.

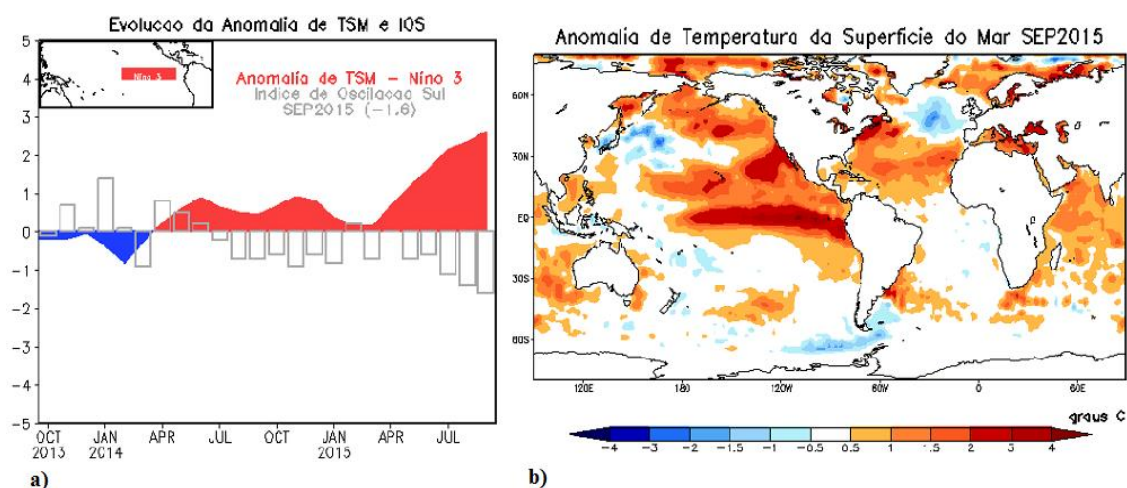


FIGURA 43: (a) Evolução da anomalia de TSM e IOS de outubro de 2013 a setembro de 2015.e; (b) Anomalia de TSM no mês de setembro de 2015. Fonte: CPTEC (2015b).

Durante a atuação do ASAS houve registro de média diária de umidade relativa do ar de 47,5%. O período compreendido na análise apresentou dias com índice de umidade crítico que chegaram aos mínimos de 18% (dia 01/09 às 18h UTC) e 19% (dias 04/09 e 24/09 às 18h UTC), reflexo das temperaturas altas e da permanência do ASAS, inibindo a entrada de sistemas atmosféricos instáveis na região. No decorrer do período de atuação do ASAS prevaleceram ventos do quadrante Leste, alternando para Nordeste e Noroeste, típicos da atuação de sistemas anticiclônicos no território mineiro.

Nos dias 7 e 8 de setembro observou-se a participação de uma Linha de Instabilidade (LI) associada à presença de um cavado, desenvolvido em função do avanço da FPA da região Sul da América do Sul (FIG. 44) (CPTEC, 2015a). Na

ocasião foi registrada precipitação diária acumulada para o dia 7 de setembro de 1,8mm, enquanto 5,6 mm foram registrados até as 12 horas do dia seguinte. A umidade relativa do ar média durante atingiu 62,2%, enquanto a temperatura média foi de 23,7°C, sendo a máxima de 29,7°C e a mínima de 19,9°C. Houve queda da pressão atmosférica média para 912hpa (TAB. 7).

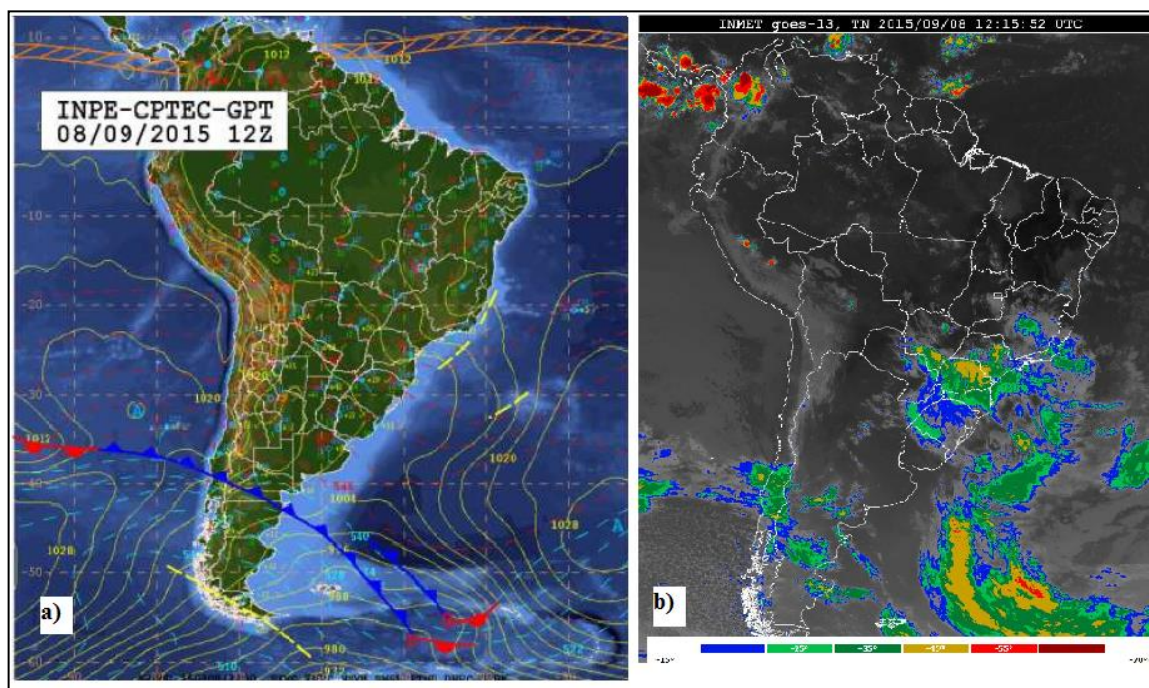


FIGURA 44: (a) Carta sinótica e (b) imagem realçada do satélite meteorológico GOES de 12h UTC do dia 08/09/2015. Fonte: CPTEC (2015a).

No período de análise houve a incursão de duas Frentes Frias (FF) (FIG. 42). Durante a atuação desses sistemas a temperatura média do ar foi de 20,7°C. A máxima temperatura chegou a 25,6°C (dia 12/09 às 18h UTC) e a mínima foi de 16,5°C (dia 09/09 às 12h UTC). A umidade relativa do ar média registrou 74,5%, melhorando as condições de umidade em comparação com o período de atuação do ASAS. A pressão média foi de 912,8hpa (TAB. 7).

A primeira frente fria chegou a Belo Horizonte no dia 8 de setembro e permaneceu sobre a região até parte do dia 10, com ventos do quadrante Sul e Oeste (FIG. 45). A passagem do sistema resultou em um total pluviométrico de 17,6 mm entre esses dias.

Após a passagem da Frente, atuou brevemente sobre a região o Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul que estabilizou o tempo na região. O sistema permaneceu na área entre as 18h UTC do dia 10/09 e as 12h UTC do dia 11/09 apresentando

características tropicalizadas como temperatura média elevada e queda da umidade relativa do ar. Durante sua permanência a temperatura média do ar foi de 23,7°C, sendo a máxima 26,3°C e a mínima 22,3°C. A umidade média caiu para 60% (TAB. 7).

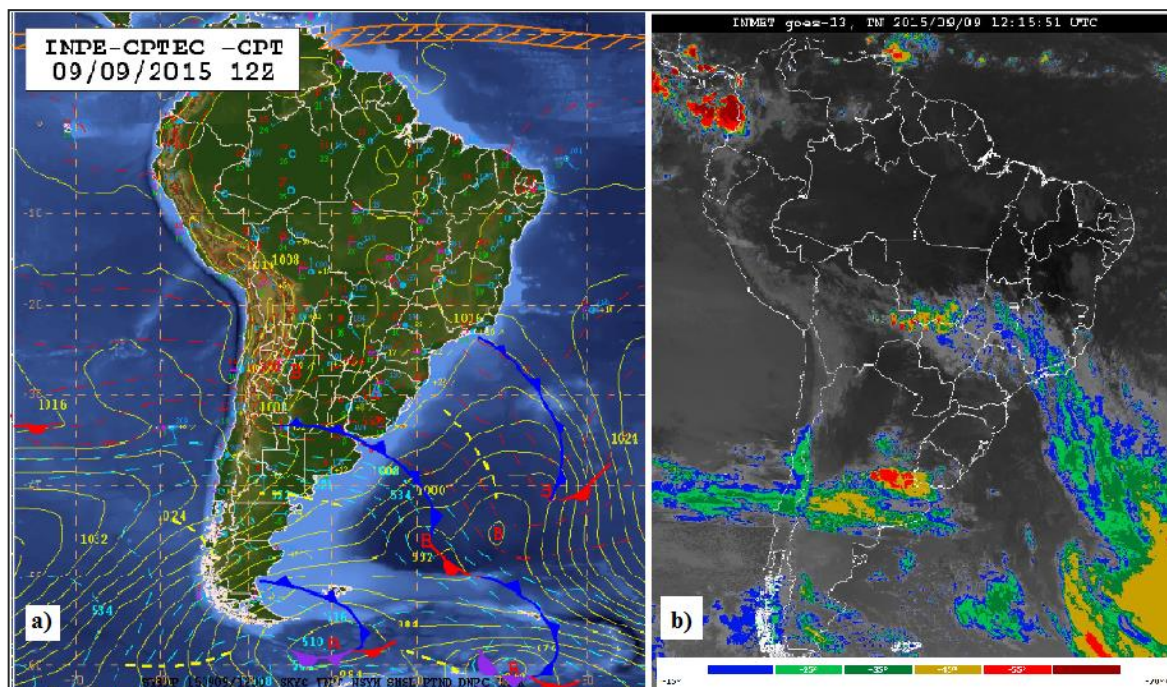


FIGURA 45: (a) Carta sinótica e (b) imagem realçada do satélite meteorológico GOES de 12h UTC do dia 09/09/2015. Fonte: CPTEC (2015a).

Às 18h UTC do dia 11/09 uma nova FF avançou sobre a região permanecendo na área até o dia 13/09 (FIG. 46). O sistema provocou um total de 15,6 mm de precipitação, concentrada entre as 12h UTC do dia 12 e 13/09 (13mm). A umidade relativa do ar se elevou para 71%, enquanto a temperatura teve queda de pouco mais de um grau com relação a atuação do APAS (22,1°C). A máxima foi de 25,6°C e a mínima de 19,3°C. A pressão média foi de 913hpa.

Após a passagem da frente predominou a atuação do APAS, com tempo estável e aumento da pressão atmosférica média para 916,5hpa (FIG. 42). A temperatura média do ar foi de 19,8°C e a umidade do ar subiu para 81%. No entanto, devido ao avanço lento do sistema e o aquecimento rápido do continente, o sistema adquiriu características tropicalizadas elevando a temperatura para 21,8°C e baixando a umidade do ar para 69%.

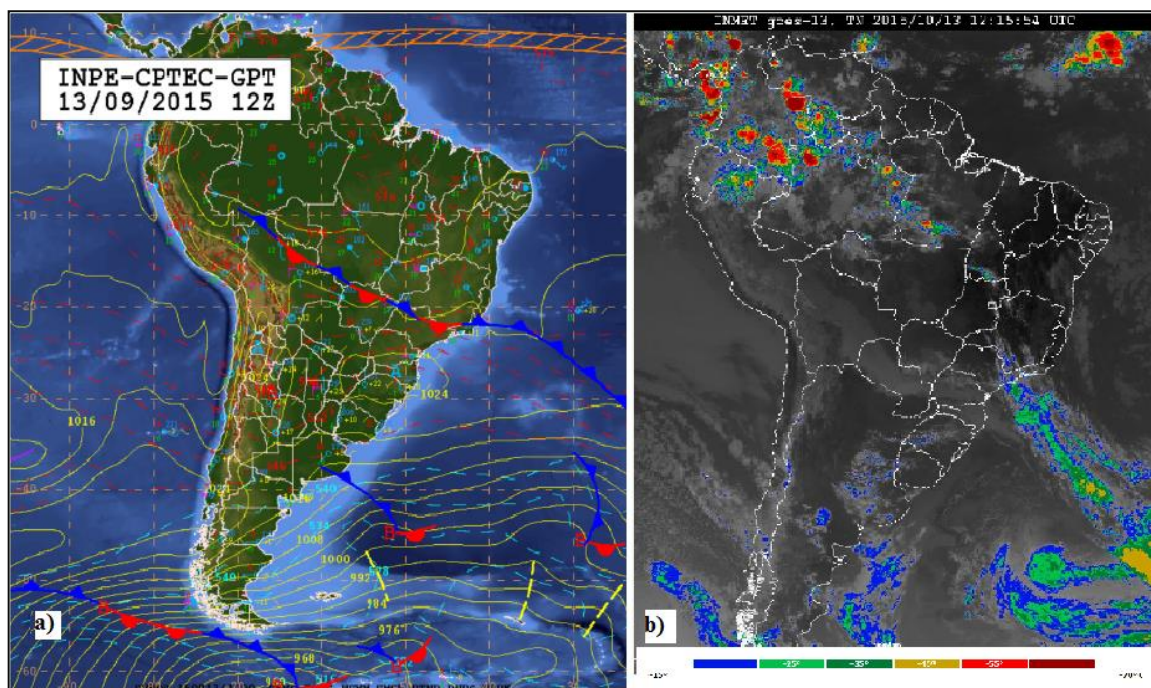


FIGURA 46: (a) Carta sinótica e (b) imagem realçada do satélite meteorológico GOES de 12h UTC do dia 13/09/2015. Fonte: CPTEC (2015a).

4.2 Campo 1 - Comportamento geral dos dados

4.2.1 Temperatura do ar

A temperatura média do ar registrada na Estação Meteorológica oficial do INMET, localizada na Reserva do Cercadinho, entre os dias 22/08 e 24/09/2015 foi de 20,6°C, valor 1,5°C menor que o ponto amostral de maior média registrada (P6) (TAB 8). A temperatura média entre os pontos amostrais distribuídos na área de estudo variou entre 19,1°C (P9) e 22,1°C (P6).

TABELA 8: Condições médias da temperatura do ar no campo 1

	Campo 1 - Temperatura(°C)										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Est. Cercadinho
Média	20.9	20.5	21.3	20.6	20.9	22.1	20.9	20.7	19.1	20.6	20.6
Desvio padrão	4.6	4.9	5.9	4.4	4.3	6.4	3.9	4.3	4.8	4.8	4.2
Amplitude média diária	11.5	13.2	16.0	11.6	10.8	17.6	9.0	10.7	12.5	14.2	10.5
Mínimo	14.0	12.9	12.5	14.3	13.9	14.2	13.7	13.6	10.4	13.2	13.9
Máximo	33.6	34.2	37.6	34.7	33.5	40.9	32.4	32.4	32.0	40.8	32.4

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

As menores médias da temperatura foram observadas no P9 (19,1°C) e no P2 (20,5°C), locais onde os abrigos estiveram cercados por edificações de um

pavimento com o entorno arborizado (FIG. 47). No P9 também foram observadas as menores temperaturas mínima e máxima, o que evidencia o potencial de resfriamento de áreas arborizadas. Além disso, a localização no fundo de vale próximo a um curso d'água, favorece temperaturas amenas.

Os locais de maior média térmica compreenderam os pontos 6 (22,1°C) e 3 (21,3°C). O P6 está localizado no topo de uma vertente voltada para o quadrante norte cercada por edificações de até 27 pavimentos com vegetação composta por gramados, o que favorece a iluminação no local sobretudo no período da tarde elevando as temperaturas (FIG. 47). Este mesmo ponto registrou a maior temperatura máxima do período (40,9°C no dia 19/09 às 14h) e a maior amplitude térmica diária, em função do aquecimento pronunciado ao longo do dia, dado o elevado nível de radiação solar que o local recebe (FIG. 48). Já o P3, embora esteja em uma área de baixo adensamento urbano, está localizado em uma vertente bem iluminada e com vegetação rasteira que favorece o aquecimento diurno local (FIG. 47 e 48).

A maior temperatura mínima absoluta foi registrada no P4 (14,3°C). Embora este não esteja em uma área com altos índices de radiação solar incidida, o local é cercado por edifícios de até 25 pavimentos em uma área com vegetação inexpressiva (FIG. 47). O adensamento urbano favorece o aumento das temperaturas mínimas, variável extremamente sensível às interferências no uso e ocupação do solo produzidas pela urbanização (ASSIS, 2010).

A amplitude térmica diária mínima foi de 9°C observada no P7. Este ponto, localizado na meia vertente voltada para SE, recebe baixa insolação (FIG. 48). Ademais, a região é voltada para um vale com boa ventilação o que favorece o transporte de calor por advecção na área, diminuindo os ganhos térmicos durante o dia e baixando a amplitude térmica. O P8, localizado em uma vertente voltada para SE, compartilha de características semelhantes ao P7 quanto a iluminação, com amplitude térmica diária de 10,7°C.

Campo 1—Perfil Geocológico

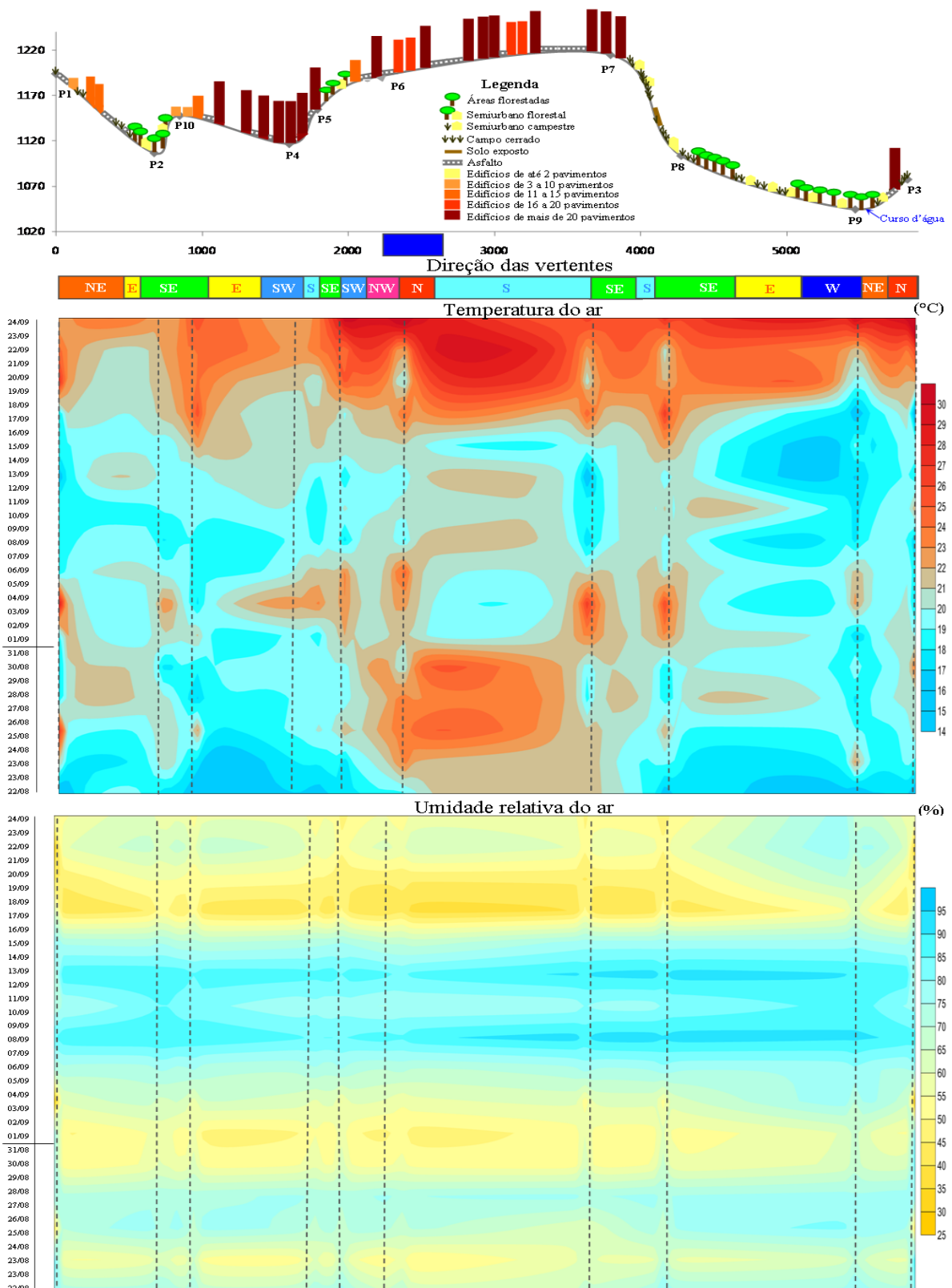


FIGURA 47 - Perfil geocológico - Campo 1 (22/08 a 24/09)²⁰. Elaboração: Lilian Machado, 2015.

²⁰ A representação dos edifícios na figura não guarda relação com a proporção real das edificações. O espaço entre os dias no gráfico de distribuição espacial das variáveis temperatura e umidade do ar compreendem as medidas de 24 horas de dados.

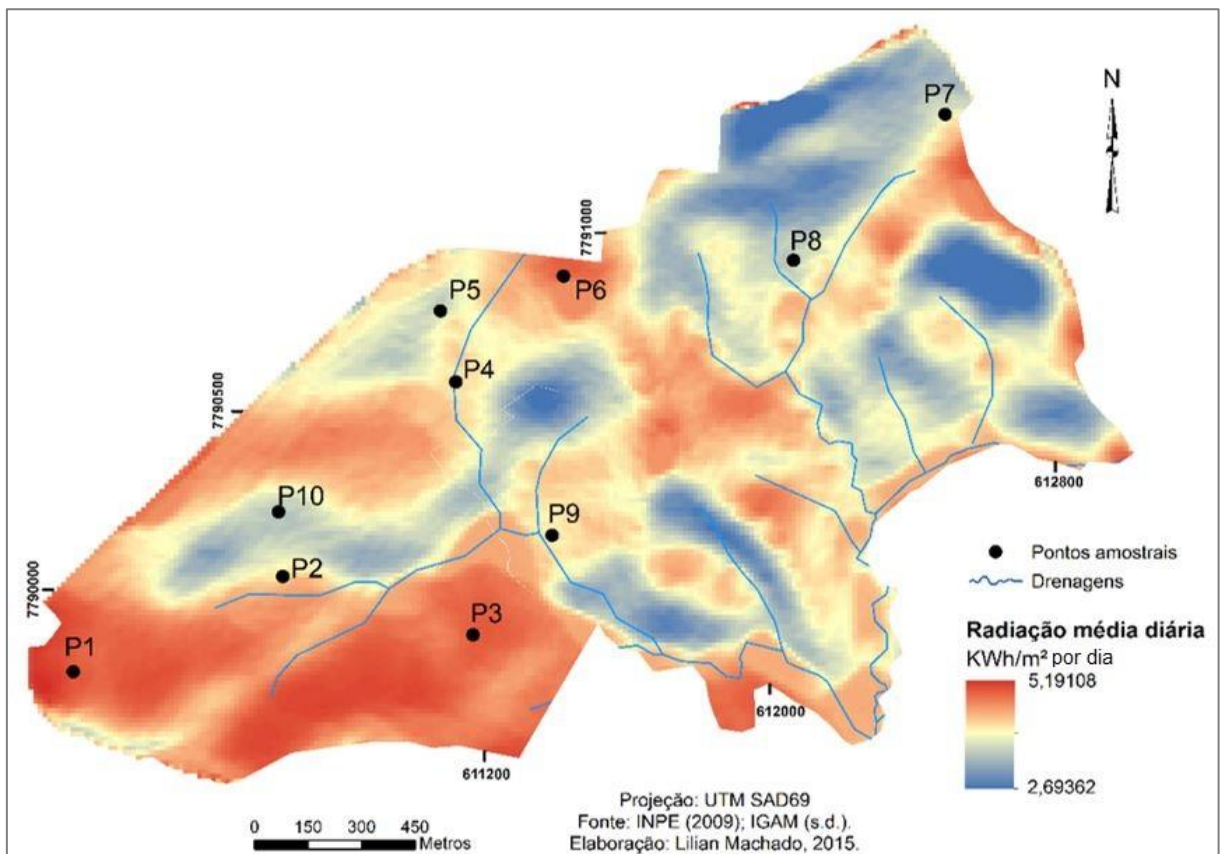


FIGURA 48: Radiação solar incidida na área de estudo entre agosto e setembro de 2015.

As áreas de fundo de vale foram as mais frescas, já que essas possuem cobertura de mata em estágio inicial e médio de regeneração, reduzindo a insolação no local. É notável uma área central no bairro Vila da Serra mais aquecida, referente ao ponto amostral 6 (FIG. 49). No local a boa iluminação solar ao longo do dia, a vegetação inexpressiva, a impermeabilização do solo e a concentração de edificações de até 27 pavimentos favorecem o aquecimento atmosférico.

É interessante notar que durante a participação de sistemas atmosféricos instáveis (entre os dias 7 e 10/09; 11 e 13/09) o comportamento térmico entre os pontos amostrais tornou-se próximo de homogêneo, com variações térmicas espaciais que não ultrapassaram 1,5°C (FIG. 50). A nebulosidade em dias instáveis é um fator que favorece a homogeneização da dinâmica de variação da temperatura do ar, minimizando a amplitude térmica entre os pontos amostrais que se manifestam em função das diferenças geológicas e urbanas entre os pontos.

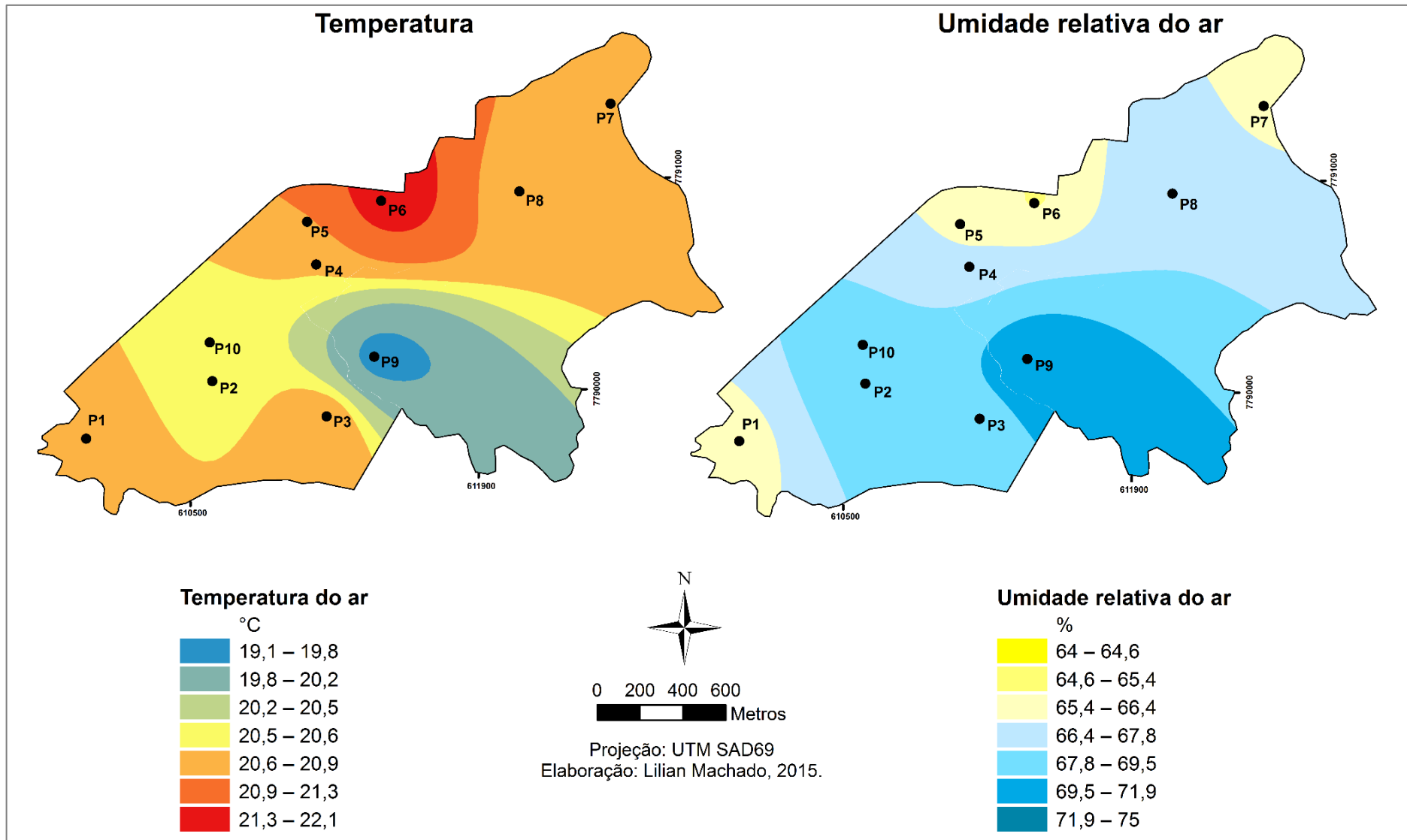


FIGURA 49: Comportamento médio da temperatura e umidade relativa do ar - Campo 1 (22/08 a 24/09).

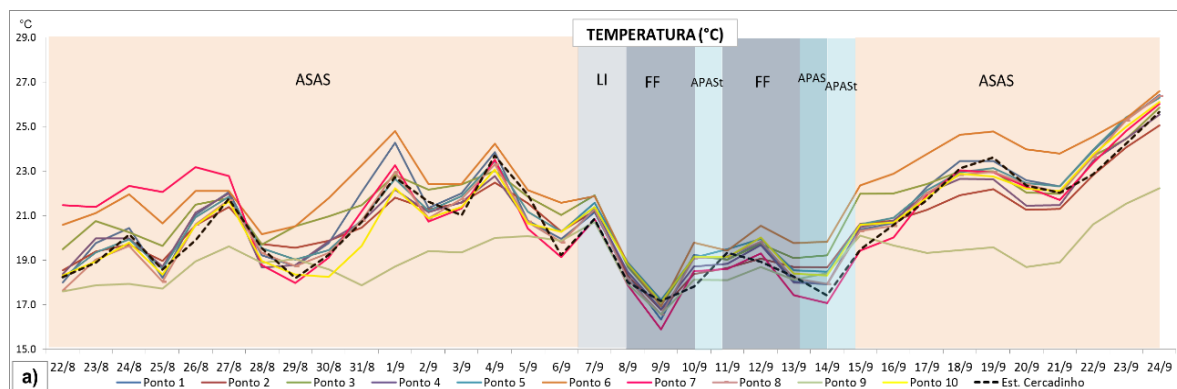


FIGURA 50: Temperatura média diária nos pontos amostrais - Campo 1. Elaboração: Lilian Machado, 2015.

Sob atuação do APAS e do APASSt, a amplitude térmica entre os pontos amostrais tende a se ampliar. No entanto, dada a umidade do ar mais elevada após a passagem dos sistemas instáveis, e a características térmicas amenas do APAS, as médias térmicas não são tão pronunciadas quanto sob a atuação do ASAS. Este último favorece as amplitudes térmicas entre os pontos amostrais destacando a resposta atmosférica aos diferentes atributos geocológicos da superfície e tipos de uso e ocupação do solo. É interessante observar que o P6, mesmo sob atuação da LI, FF e dos ASPAS e APASSt apresenta temperaturas em média mais altas do que os demais pontos.

Os dados de desvio padrão dão indícios que as vertentes a nordeste da área de estudo, bem como as áreas mais adensadas e urbanizadas (pontos 4 e 5), apresentam um padrão de dissipação do calor mais lento durante a noite. Isto ocorre em função da verticalização e da posição dos pontos nas vertentes, em locais de onde partem os ventos catabáticos. Por outro lado, locais abertos, como o ponto 3, têm como característica a rápida dissipação do calor durante a noite, assim como um rápido e acentuado aquecimento durante o dia, justificando o alto desvio padrão do local. Já o ponto 6, embora esteja em uma área altamente adensada, está localizado ao lado de uma área aberta que favorece a dissipação do calor após o pôr do sol, embora haja aquecimento pronunciado durante o dia.

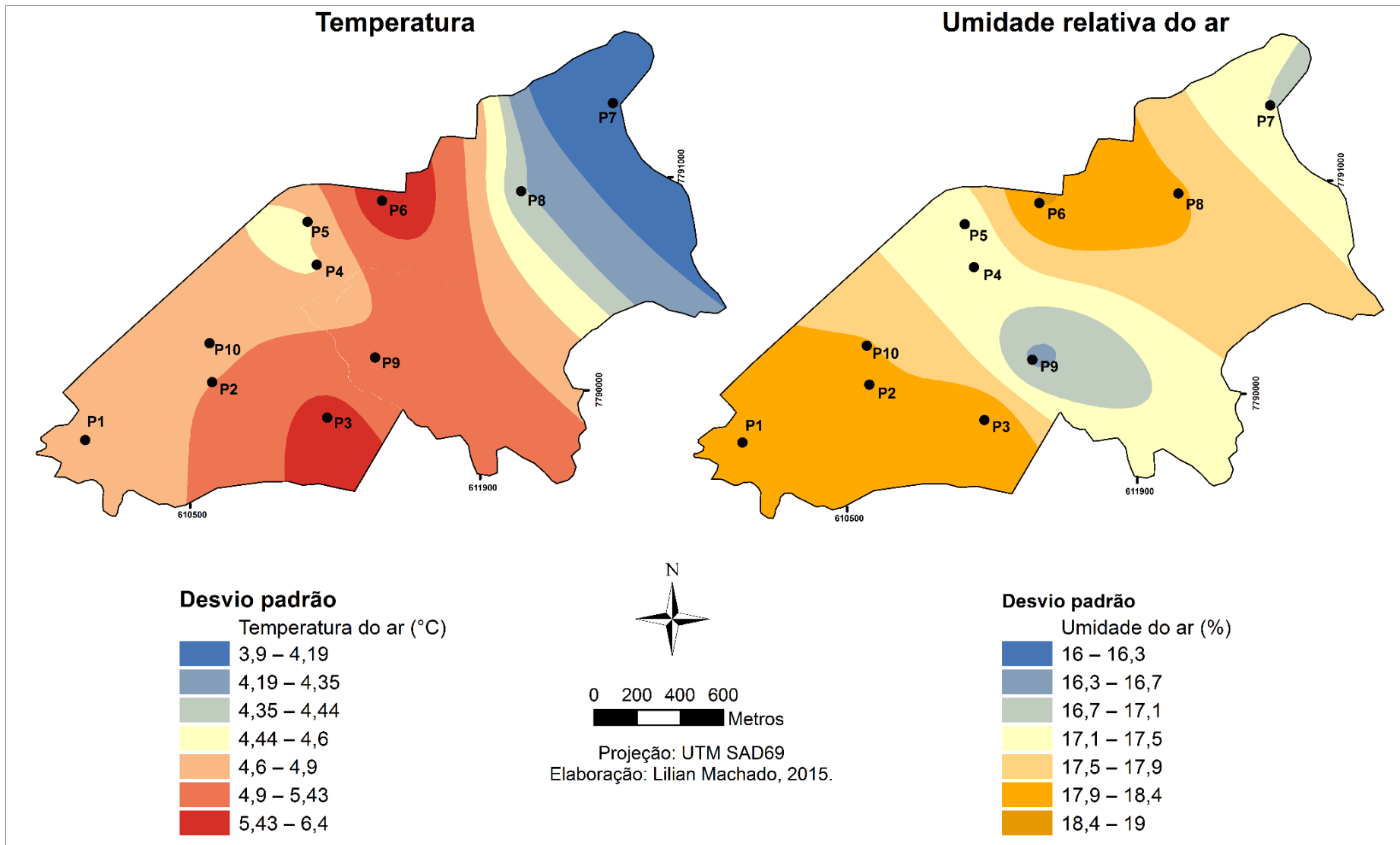


FIGURA 51: Desvio padrão da temperatura e umidade relativa do ar - Campo 1 (22/08 a 24/09).

4.2.2 Umidade relativa do ar

Durante o período de realização do campo 1 a média da umidade relativa do ar na Estação do Cercadinho foi de 63%, enquanto a média da umidade relativa nos pontos amostrais variou de 64% (P6) a 75% (P9) (TAB. 9).

TABELA 9: Condições médias da umidade relativa do ar no campo 1

Campo 1 - Umidade Relativa do Ar (%)											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Est. Cercadinho
Média	65	70	67	66	66	64	66	68	75	68	63
Desvio padrão	18	18	19	17	17	19	17	18	16	18	21
Amplitude média diár	37	39	44	36	35	44	29	36	38	40	43
Mínimo	15	18	18	17	21	17	21	21	22	18	11
Máximo	93	93	93	92	92	90	95	95	93	93	95

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

Os pontos 2 e 9 apresentaram as maiores médias hígricas, o que condiz com as características locais de cobertura do solo (FIG. 47). Estes foram os únicos pontos em que a umidade relativa média esteve igual ou maior a 70%. Além da arborização local, ao P9 adiciona-se a proximidade a um curso d'água o que favorece o aporte de umidade no ar. Os demais pontos apresentaram valores médios próximos oscilando entre 64 e 68%. Assim, o comportamento médio da variável não se alterou de maneira significativa entre locais de diferentes características geológicas e urbanas, exceto naqueles em que há arborização considerável ou proximidade a fontes de umidade.

O mínimo da umidade relativa do ar observado foi de 15% (P1 no dia 19/09 às 13h). Os pontos 2, 3, 4, 6 e 10 apresentaram valores mínimos de 17% e 18% que também foram observados no dia 19/09. Vale lembrar que a Organização Mundial de Saúde define como 30% o índice mínimo aceitável de UR para a saúde humana (SANTOS, s.d.). Já o Centro de gerenciamento de Emergências do Estado de São Paulo adotou uma escala psicrométrica²¹ que aponta os níveis de críticos da umidade do ar, a qual classifica como estado de alerta índices entre 12 e 20%. Nesses casos é necessário tomar uma série de cuidados em prol da manutenção da saúde humana, sobretudo de crianças e idosos²² (CGE, s.d.). Mesmo o P9, local bem arborizado e

²¹ Classificação dos estados de criticidade: estado de atenção (entre 21 e 30% de umidade relativa do ar), estado de alerta (entre 12 e 20% de UR) e estado de emergência (abaixo de 12% de UR).

²² Cuidados recomendados: evitar exercícios físicos ao ar livre entre as 10 e as 16 horas; umidificar o ambiente; sempre que possível permanecer em locais protegidos do sol, em áreas vegetadas; consumir

próximo a um curso d'água, apresentou níveis críticos de umidade relativa absoluta (22% no dia 19/09 às 14h), embora tenha sido a maior mínima registrada.

Quanto ao comportamento espacial médio da umidade relativa do ar, fundos de vale arborizados e áreas semiurbanas florestais apresentaram os maiores valores médios da variável (FIG. 49). Estes também apresentaram os menores desvios padrões (FIG. 51), o que indica que neles há menor variação da umidade do ar ao longo do dia. Nos pontos topograficamente mais altos foi observada atmosfera urbana menos úmida, bem como os maiores valores de desvio padrão. Neste caso, a umidade do ar é mais variável nesses locais ao longo do dia, ocorrendo períodos de umidade mínima crítica durante o dia.

Os maiores valores médios diários de UR foram observados durante a atuação de sistemas atmosféricos instáveis entre os dias 7 e 10/09 e 11 e 13/09, quando a média diária ultrapassou os 70% em todos os pontos amostrais (FIG. 52). Nesse período não houve discrepâncias entre os valores observados em cada ponto amostral. Já sob a atuação de sistemas atmosféricos estáveis o P9 se destacou dos demais como a área mais úmida. Em dias críticos para a umidade relativa do ar, como os dias 19 e 20/09, o local apresentou média diária da UR de 63%, 10% a mais que o segundo ponto mais úmido nesses dias (P2).

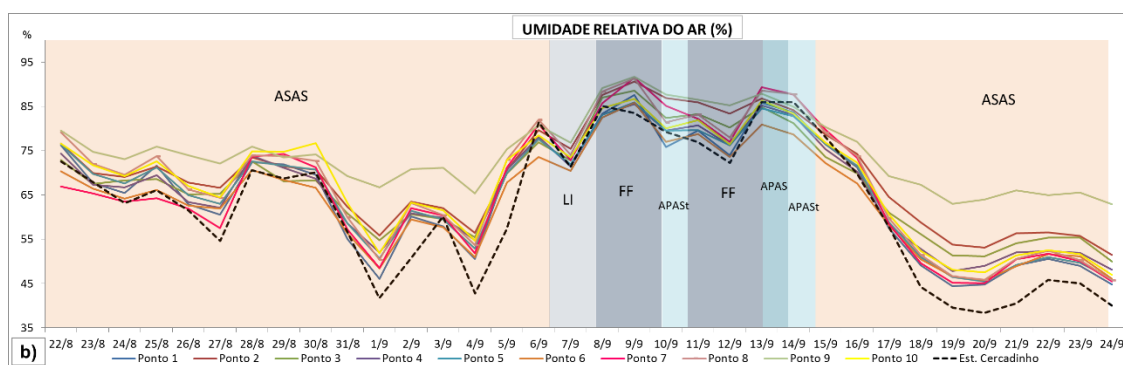


FIGURA 52: Média diária da umidade relativa do ar nos pontos amostrais - Campo 1. Elaboração: Lilian Machado, 2015.

água à vontade; evitar aglomerações em ambientes fechados; usar soro fisiológico para olhos e narinas.

4.2.3 Considerações sobre o comportamento geral da temperatura e da umidade relativa do ar

- As áreas arborizadas apresentaram menores médias de temperatura. O efeito de atenuação média sobre a temperatura máxima foi maior do que sobre a mínima. A diferença entre a maior e menor máxima foi de 8,9°C, enquanto entre as mínimas foi de 3,9°C.
- Os pontos de maior aquecimento estiveram relacionados a exposição da vertente à radiação solar direta e ao adensamento urbano.
- A temperatura mínima provou ser mais afetada pela urbanização e verticalização.
- O entorno do P3, local de vegetação aberta em uma vertente bem exposta a iluminação solar, apresenta potencial de aquecimento. Sua urbanização e adensamento podem elevar as temperaturas mínima e máxima na região.
- Áreas arborizadas e próximas a fontes d'água, ainda que em área semiurbana florestal, foram as mais úmidas. O baixo desvio padrão amostral nesses locais indica a manutenção de umidade na baixa atmosfera durante o dia.
- Nos dias mais secos, mesmo os pontos arborizados e próximos a fonte de umidade apresentam índices de UR críticos à saúde humana. No entanto, a média diária da umidade nessas áreas se mantém acima dos 60% recomendado para a salubridade, em contrapartida aos demais. Assim a arborização de vias públicas poderia trazer maior conforto aos pedestres e moradores locais, podendo atenuar a baixa umidade em dias secos.
- As áreas de topo de vertentes conservam atmosfera menos úmida, o que pode ser potencializado pela impermeabilização.
- Em dias chuvosos e nublados mesmo os pontos mais impermeabilizados e verticalizados apresentam índices de UR em níveis adequados para a saúde humana.

4.3 Campo 1 - Comportamento dos dados por período

4.3.1 Manhã

O P9 apresentou a menor temperatura média da manhã (19,9°C), bem como as menores mínima e máxima absoluta (10,9°C e 29,8°C, respectivamente) o que condiz com sua localização em uma vertente voltada para W e no fundo do vale, local que recebe pouca iluminação no início do dia (TAB. 10). Além disso, a cobertura de dossel da vegetação sobre o ponto diminui os ganhos térmicos, dada a predominância da radiação difusa neste ambiente.

TABELA 10: Condições médias da temperatura do ar no período da manhã no campo 1

CAMPO 1 - TEMPERATURA DO AR (°C)											
MANHÃ											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Est. Cercadinho
Média	21,7	21,8	21,4	20,7	22,2	20,8	21,6	22,1	19,9	21,0	17,0
Desvio padrão	4,2	4,9	4,9	4,2	4,3	4,7	4,2	3,9	4,2	4,1	1,5
Amplitude absoluta	17,4	20,2	21,1	18,5	19,1	20,4	18,7	16,8	18,9	20,0	8,3
Amplitude média diária	8,8	11,4	11,9	9,2	8,8	12,2	7,1	7,0	10,0	8,9	1,5
Mínimo	14,2	13,3	13,1	14,3	14,4	14,5	13,7	14,4	10,9	13,5	13,9
Máximo	31,6	33,5	34,2	32,8	33,5	34,9	32,4	31,2	29,8	33,5	22,2

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P5 foi o mais aquecido no período com 22,2°C, seguido pelo P8, com 22,1°C. Localizados em vertentes voltadas para SE, os locais recebem iluminação solar direta no início da manhã potencializando o ganho térmico logo no início do dia (FIG. 53). Um diferencial entre os dois locais é o adensamento urbano no P5.

A maior temperatura mínima absoluta foi observada no P6 no dia 23/08 às 7 horas (14,5°C), seguido pelos pontos 5 e 8 que apresentaram 14,4°C no mesmo dia e horário. Interessante observar que o P6, embora só receba iluminação solar direta no meio da manhã, apresentou a maior temperatura máxima e mínima absoluta, efeito do adensamento local (TAB. 10). O P6 registrou, ainda, a maior amplitude térmica diária do período matutino (12,2°C), o que indica um aquecimento rápido a partir do início da insolação sobre o ponto.

Com relação à distribuição espacial da variável no período da manhã, as áreas de topo foram as mais aquecidas, em oposição às áreas de vale, o que condiz com a condição de iluminação do terreno imposta pela topografia e modelagem rugosa da superfície (FIG. 54).

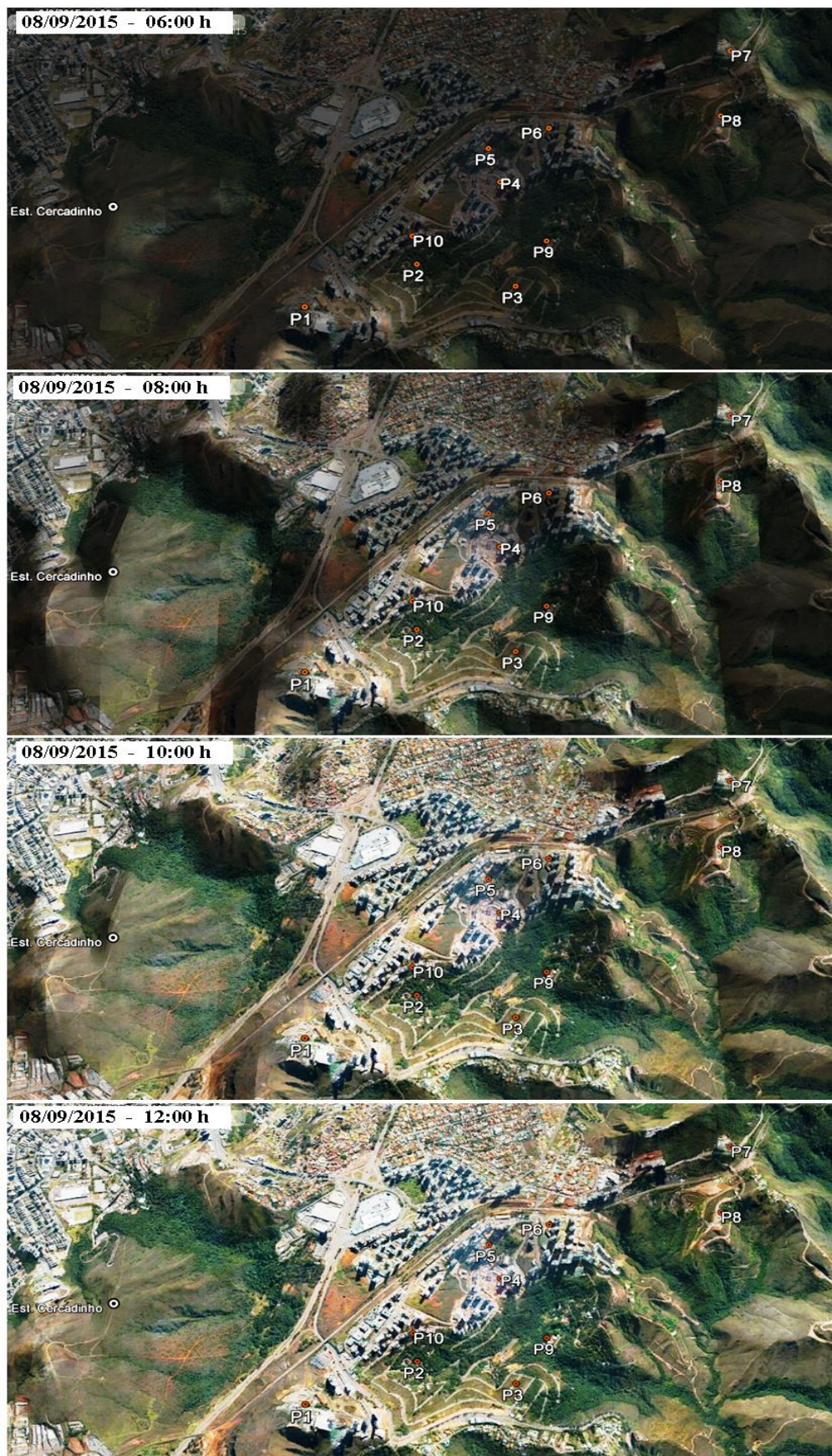


FIGURA 53: Iluminação solar no período da manhã no dia 08/09/2015 na área de estudo. Elaboração: Lilian Machado, 2015.

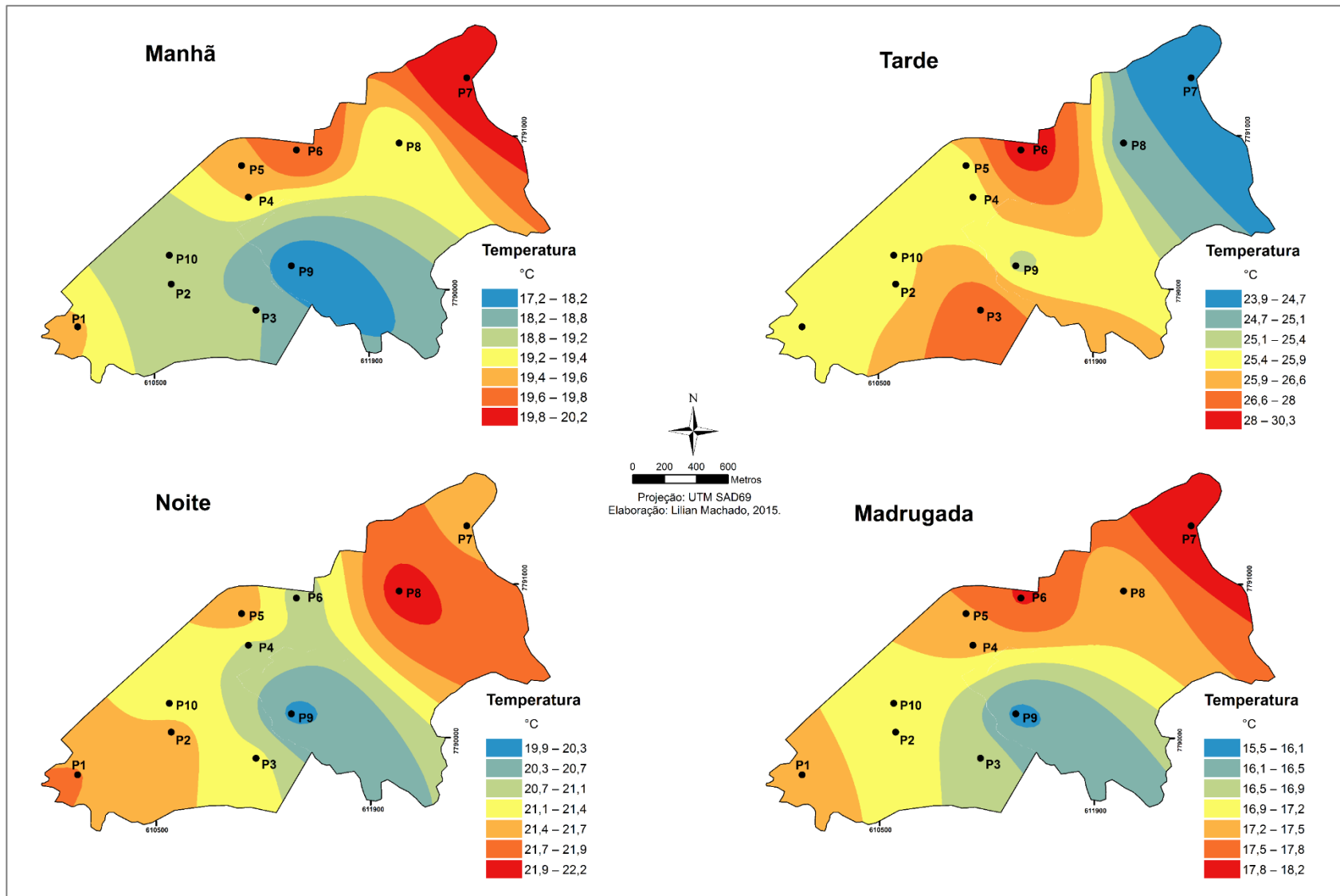


FIGURA 54: Temperatura média do ar por períodos - Campo 1 (22/08 a 24/09).

O ponto mais úmido no período da manhã, com 75% de umidade média, coincidiu com o de menor média da temperatura (P9), assim como o ponto menos úmido, com 65% de umidade, coincidiu com o mais quente (P5) (TAB. 11).

TABELA 11: Condições médias da umidade relativa do ar no período da manhã no campo 1

CAMPO 1 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%)											
MANHÃ											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Est. Cercadinho
Média	65	69	70	68	65	69	67	67	75	69	76
Desvio padrão	16	18	17	16	16	15	17	17	16	16	14
Amplitude absoluta	64	65	64	65	61	62	67	66	57	61	65
Amplitude média diária	26	33	33	27	26	31	20	23	30	25	9
Mínimo	29	28	29	27	31	28	27	29	36	32	30
Máximo	93	93	93	92	92	90	94	95	93	93	95

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P9, o mais arborizado dentre os demais, apresentou ainda a maior mínima absoluta da umidade relativa (36% no dia 19/09 às 12h). A localização na baixa vertente, a proximidade a um curso d'água e a arborização local são fatores que favorecem a maior umidade na baixa atmosfera. Os pontos de menor umidade relativa absoluta foram os P4 e P7, com 27% de umidade registrados no dia 19/09 às 12h. O P7 se encontra na alta vertente o que justifica a baixa umidade. O P4, localizado na meia vertente, não possui áreas fontes de umidade.

Com relação às máximas absolutas, a diferença entre os pontos foi pequena, de apenas 5% de umidade, o que dá indícios de que o efeito das características urbanas, topográficas e vegetais sobre a umidade relativa é maior sobre a mínima do que sobre a máxima. A amplitude média diária foi maior nos pontos 2 e 3 (33%) e menor no P7 (20%).

A distribuição da variável no período da manhã apresentou relação próxima com a topografia e com a vegetação da área de estudo. Os fundos de vale e os locais mais arborizados, como as áreas semiurbanas florestais, foram as mais úmidas em relação aos topos e áreas impermeabilizadas (FIG. 55).

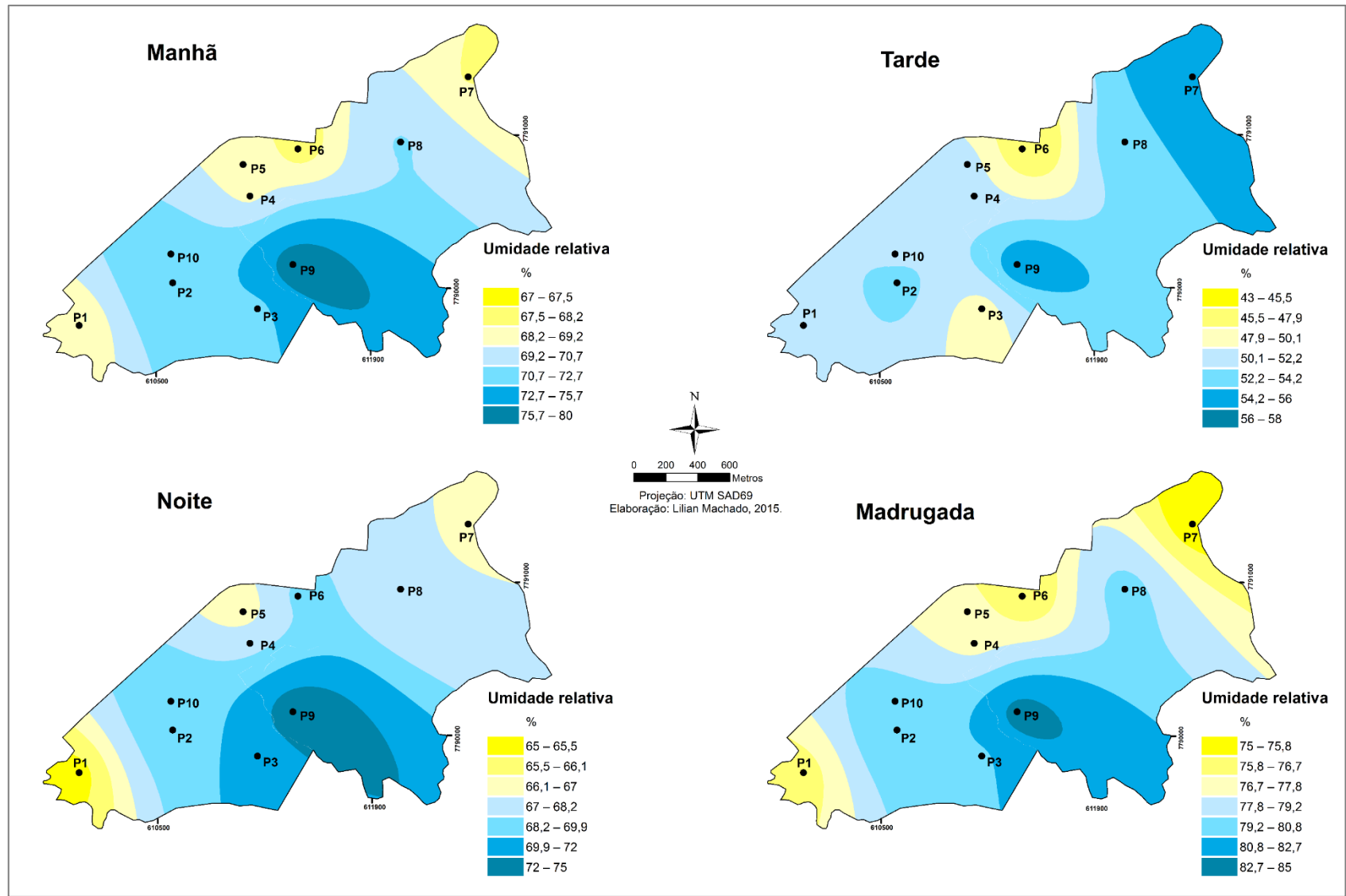


FIGURA 55: Umidade relativa do ar média por períodos - Campo 1 (22/08 a 24/09).

4.3.2 Tarde

O P6 foi o mais aquecido no período da tarde, registrando uma média de 30,3°C (TAB. 12). Este também foi o ponto com a maior amplitude térmica média diária do período da tarde (10,4°C) e a maior temperatura máxima (40,9°C registrado no dia 19/09 as 14h).

TABELA 12: Condições médias da temperatura do ar no período da tarde no campo 1

CAMPO 1 - TEMPERATURA DO AR (°C)											
TARDE											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Est. Cercadinho
Média	25,6	25,5	28,5	25,2	25,0	30,3	23,9	24,8	24,6	25,9	21,7
Desvio padrão	4,2	4,1	5,2	4,0	3,4	6,1	3,4	3,6	3,4	4,5	4,0
Amplitude absoluta	17,9	17,5	20,8	18,0	15,3	24,4	15,4	16,4	15,4	24,2	16,6
Amplitude média diária	5,8	7,0	8,5	5,6	4,8	10,4	3,3	5,0	5,5	8,6	7,7
Mínimo	15,7	16,7	16,8	16,7	16,8	16,5	15,6	16,0	16,6	16,6	14,4
Máximo	33,6	34,2	37,6	34,7	32,1	40,9	31,0	32,4	32,0	40,8	31

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P5 apresentou comportamento diferenciado com relação ao período da manhã, quando foi o mais quente. À tarde ele não esteve entre os pontos de maior aquecimento devido ao sombreamento no local. Apresentou, no entanto, a maior temperatura mínima (16,8°C) em função do adensamento urbano. O P3 obteve o mesmo valor de temperatura mínima, resultado da boa iluminação local no período da tarde, o que elevou o ganho térmico (FIG. 56).

O P7 apresentou a menor temperatura mínima média (23,9°C), 0,7°C superior ao P9, do qual era esperada a menor temperatura. O P7 permanece sombreado no período da tarde devido ao posicionamento da vertente, tornando-o mais frio do que o P9, em altitude menor e sob o dossel vegetal. Destaca-se a temperatura máxima que foi 1,4°C menor no P7 (31°C registrado no dia 27/08 as 13h) do que no 9 (32,4°C registrados no dia 24/09 as 15h).

Quanto a distribuição espacial da temperatura no período da tarde, as vertentes a leste e nordeste estiveram mais resfriadas do que as demais áreas devido ao sombreamento da região que se iniciou por volta das 15h (FIG. 56). Os locais a sul da área de estudo, últimos a serem sombreados no fim da tarde, foram os mais aquecidos, com exceção da área central, a qual apresentou um núcleo de aquecimento em função da boa iluminação e do adensamento urbano (FIG. 54).



FIGURA 56: Iluminação solar no período da tarde no dia 08/09/2015 na área de estudo. Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P9 foi o mais úmido (58%), apresentando ainda a maior mínima absoluta no período da tarde (22% no dia 19/09 às 14h) (TAB. 13). É interessante observar que

mesmo sendo uma área arborizada e na baixa vertente, o ponto apresentou níveis críticos de umidade relativa do ar nos dias mais secos.

TABELA 13: Condições médias umidade relativa do ar no período da tarde no campo 1

CAMPO 1 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%)											
TARDE											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Est. Cercadinho
Média	50	54	47	51	52	43	56	54	58	51	60
Desvio padrão	18	18	18	17	16	18	18	18	16	17	20
Amplitude absoluta	75	73	73	69	66	72	73	71	69	71	75
Amplitude média diária	15	17	17	14	12	19	10	13	17	19	29
Mínimo	15	18	18	17	21	17	21	21	22	18	20
Máximo	90	91	91	86	87	89	94	92	91	89	95

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P6 foi o mais seco do período da tarde com média de 43% de UR, o que está relacionado com o comportamento térmico da área em função da posição na vertente e da impermeabilização local. No entanto, o ponto com a menor umidade relativa absoluta no período foi o P1, (15%), o que condiz com a boa iluminação solar da vertente que permite ganhos térmicos consideráveis.

O comportamento espacial da variável no período da tarde tendeu novamente para o acúmulo de umidade nos fundos de vale e locais arborizados, em contrapartida aos topos e áreas impermeabilizadas (FIG. 55).

4.3.3 Noite

O P7 foi o mais quente do período noturno, em oposição à tarde quando foi o mais frio (TAB. 14). A drenagem do ar mais frio em direção aos fundos de vale, onde foi registrada a menor temperatura média da noite (17,2°C no P9), justifica a temperatura mais elevada no topo.

TABELA 14: Condições médias da temperatura do ar no período da noite no campo 1

CAMPO 1 - TEMPERATURA DO AR (°C)											
NOITE											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Est. Cercadinho
Média	19,5	18,8	19,1	19,6	19,5	20,0	20,2	19,2	17,2	19,0	24,4
Desvio padrão	2,7	2,0	2,3	2,3	2,4	2,6	2,9	2,6	1,8	2,4	4,1
Amplitude absoluta	12,6	10,0	11,1	10,1	11,6	12,6	12,7	11,8	9,3	11,0	17
Amplitude média diária	3,8	3,6	4,3	3,5	3,5	4,1	3,5	3,6	4,1	3,5	6,1
Mínimo	15,2	15,3	15,0	15,5	15,5	15,9	15,0	14,9	12,8	15,0	15,4
Máximo	27,8	25,3	26,1	25,6	27,1	28,5	27,7	26,7	22,1	26,0	32,4

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P9 apresentou a menor mínima (12,8°C no dia 01/09 à 00h) e máxima (22,1°C no dia 24/09 às 19h), o que condiz com o fluxo de ventos frios para o fundo do vale no início da noite. O P6, embora não tenha sido o mais quente do período noturno, apresentou as maiores temperaturas máxima (28,5°C no dia 24/09 às 19h) e mínima absolutas (15,9°C no dia 09/09 das 21h às 00h), influência de sua posição da vertente e do adensamento e local.

No período noturno as vertentes a leste e nordeste da área de estudo apresentaram comportamento oposto ao observado durante a tarde, quando estavam mais resfriadas que as demais áreas amostrais. Durante a noite a perda térmica torna o ar mais denso, o qual assume, então, movimento descendente dos topos para os fundos de vale e áreas topograficamente deprimidas. Dessa forma, o ar resfriado é transportado para as áreas mais baixas, permanecendo os topos e meias vertentes aquecidos.

O P9 foi o mais úmido da noite, sendo o único que atingiu 80% de umidade relativa média, condizente com sua localização e características de arborização. O local apresentou ainda a maior mínima absoluta do período (59% no dia 24/09 às 19h) (TAB. 15).

TABELA 15: Condições médias da umidade relativa do ar no período da noite no campo 1

CAMPO 1 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%)											
	NOITE										Est. Cercadinho
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
Média	68	73	71	68	69	67	68	71	80	71	47
Desvio padrão	16	13	14	14	15	15	15	16	8	15	22
Amplitude absoluta	58	48	52	49	53	57	60	58	33	54	84
Amplitude média diária	16	14	17	15	16	17	15	17	13	16	23
Mínimo	34	44	39	41	37	33	35	37	59	38	11
Máximo	92	92	91	90	90	90	95	95	92	92	95

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P6 foi o mais seco da noite com 67% de umidade relativa média, assim como o que apresentou a menor mínima (33% no dia 24/09 às 19h) e menor máxima absolutas, juntamente aos pontos 4 e 5 (90% nos dias 25/09 e 09/09 entre 22h e 23h). Os pontos 7 e 8 apresentaram as maiores máximas absolutas (95% nos dias 09/09 e 13/09 entre 22h e 23h). Ficou visível que a diferença entre as mínimas é maior do que entre as máximas. No período noturno a diferença das mínimas foi de 26%, enquanto das máximas foi de apenas 5%.

Durante a noite o movimento dos ventos catabáticos favorecem o acúmulo de ar frio e úmido nos fundos de vale (FIG. 54 e 55). Embora as vertentes a leste e nordeste estejam mais aquecidas no período, é possível observar umidade média significativa no local, referente às áreas de transporte de umidade para os vales.

4.3.4 Madrugada

O P7 foi o mais quente da madrugada apresentando uma média de 17,8°C, seguido pelos pontos 6 (17,3°C), 1 e 5 (17,0°C) (TAB. 16). Cabe lembrar que os pontos 1, 6, e 7 estão localizados em áreas de topo de onde partem os ventos catabáticos drenando o ar frio para os fundos de vale e mantendo o ar mais aquecido nos topos.

TABELA 16: Condições médias da temperatura do ar no período da madrugada no campo 1

CAMPO 1 - TEMPERATURA DO AR (°C)											
MADRUGADA											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Est. Cercadinho
Média	17,0	16,1	16,1	16,9	17,0	17,3	17,8	16,6	14,5	16,6	19,1
Desvio padrão	1,5	1,3	1,5	1,4	1,4	1,2	2,0	1,4	1,9	1,4	2,4
Amplitude absoluta	8,5	6,9	7,5	7,6	8,3	7,5	8,5	8,6	7,6	8,8	12,5
Amplitude média diária	1,4	1,5	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	2,4
Mínimo	14	12,9	12,5	14,3	13,9	14,2	14,3	13,6	10,4	13,2	14,9
Máximo	22,5	19,8	20	21,9	22,2	21,7	22,8	22,2	18	22	27,4

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P9 foi o mais frio da madrugada com média de 14,5°C. Este foi, ainda, o ponto que apresentou as menores mínima e máxima absolutas (10,4°C no dia 20/09 as 06h, e 18°C nos dias 28/08 a 01h e 08/09 às 02h, respectivamente). A localização na baixa vertente favorece o acúmulo de ar frio no período. Interessante observar o efeito de resfriamento que os locais arborizados e em fundos de vale tem no período da madrugada. A menor temperatura mínima difere 2,5°C do segundo ponto com a menor mínima (P3) e 3,9°C dos pontos mais quentes da madrugada, localizados em topos de vertentes (P4 e P7). Já a menor máxima absoluta difere 2°C do segundo ponto de menor valor da variável (P3) e 4,8°C do ponto de maior registro (P7).

A perda de calor para a atmosfera durante a madrugada foi menor do que nos demais períodos, tendo a amplitude térmica não ultrapassado 1,7°C. A variação de amplitude térmica entre os pontos amostrais neste período é de 0,3°C, valor irrisório que demonstra que, durante a madrugada, as diferenças de uso e ocupação do solo não têm influência significativa sobre a perda de calor nesta situação

específica, embora seja conhecido que nos demais períodos do dia a variação dos elementos climáticos na UCL está fortemente atrelada aos atributos superficiais.

Durante a madrugada o comportamento térmico na área de estudo foi semelhante ao período noturno. Assim, o ar resfriado é transportado para as áreas mais baixas pelos ventos catabáticos a noite e se acumulam nesses locais durante toda a madrugada, permanecendo os topos e meias vertentes mais aquecidos e secos (FIG. 54 e 55). Neste período é esperado que em situações de atmosfera estável a velocidade dos ventos seja mais baixa, permanecendo a descida do ar frio para os locais topograficamente deprimidos como uma leve brisa - situação observada em campo na região por Machado (2013).

O P7 foi o menos úmido (75%) durante a madrugada, em oposição ao P9 que registrou a maior mínima absoluta (76% no dia 29/08 entre 01h e 02h) (TAB. 17), mantendo as tendências observadas durante a noite. A menor mínima absoluta foi registrada nos pontos 1 e 7 (49% no dia 21/09 às 01h), estando eles nos locais topograficamente mais elevados dentre os demais.

TABELA 17: Condições médias da umidade relativa do ar no período da madrugada no campo 1

CAMPO 1 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%)											
MADRUGADA											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Est. Cercadinho
Média	77	83	82	78	78	77	75	81	87	80	67
Desvio padrão	12	7	8	9	10	10	12	11	3	10	18
Amplitude absoluta	44	28	32	39	41	39	45	43	17	38	68
Amplitude média diária	6	5	6	6	6	6	5	6	3	5	12
Mínimo	49	65	60	53	51	51	49	52	76	54	27
Máximo	93	93	92	92	92	90	94	95	93	92	95

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

4.3.5 Considerações sobre o comportamento médio por período do dia da temperatura e umidade relativa do ar

- O P9 foi o mais fresco nos períodos da noite, madrugada e manhã. No entanto, no período da tarde o P7 teve a menor média térmica o que destaca a importância da direção da vertente sobre o resfriamento local. Nesse período o sombreamento provocado pela vegetação torna a área no entorno do P9 mais aquecida do que o sombreamento provocado pelo direcionamento da vertente no P7. A posição na vertente pode influenciar o comportamento térmico de

áreas arborizadas durante a noite. Neste período, a cobertura do dossel poderia diminuir as perdas térmicas tornando a área mais aquecida em relação a outras. Porém a posição do ponto no fundo do vale é um fator que determina as baixas temperaturas noturnas em função da drenagem de ar frio para esses locais.

- Nos períodos da noite e da madrugada, O P7 foi o mais aquecido seguido pelo P1 em função de sua posição no topo de vertentes conforme observado no tópico anterior. Em seguida os pontos de maior adensamento urbano (pontos 4, 5 e 6) foram os mais aquecidos nesse período, o que demonstra que na área de estudo as diferenças topográficas têm maior influência sobre o comportamento térmico, seguido do fator adensamento urbano.
- O P6 destoa dos demais em termos de temperatura no período da tarde em função da boa iluminação, impermeabilização e adensamento locais. O fluxo intenso de veículos e a produção artificial de calor pelas edificações, podem contribuir para o aquecimento da área.
- Interessante observar que os pontos 4 e 5, localizados no entorno de edificações de mais de 20 pavimentos, não possuem um aquecimento destacado no período diurno em comparação com os demais devido ao sombreamento que os prédios provocam na área. Em comparação com o P10, o qual está numa área de edificações de no máximo 15 pavimentos, durante o dia ele é mais aquecido que os pontos citados anteriormente, porém a noite e durante a madrugada ele é mais frio. Isso implica que áreas muito verticalizadas podem proporcionar um alívio térmico durante o dia em comparação com áreas de menor verticalização. No entanto, durante a noite, o efeito é o contrário.
- Pontos vegetados, com vegetação rasteira como o 3, possuem potencial de aquecimento elevado durante o dia, enquanto durante a noite se resfriam rapidamente.
- Nos dias mais secos mesmo os pontos arborizados apresentaram níveis críticos de umidade relativa do ar para a saúde humana, o que reforça a importância de se manter áreas arborizadas e espelhos d'água como forma de amenizar esses eventos críticos.

4.4 Campo 2 - Comportamento geral dos dados

Durante o período de realização do experimento de campo 2 atuou sobre a região o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), o que proporcionou ganhos térmicos elevados e umidade do ar reduzida na área de estudo. A média térmica dos pontos amostrais esteve próxima da registrada na Estação Meteorológica do Cercadinho (TAB.18).

TABELA 18: Condições médias da temperatura do ar no Campo 2

	Campo 2 - Temperatura do ar (°C)							
	P1	P2.1	P3.1	P4.1	P5.1	P6.1	P7.1	Est. Cercadinho
Média	27.2	25.7	27.6	27.7	27.8	28.3	26.9	26.9
Desvio padrão	4.6	5.1	6.2	5.2	4.7	5.5	3.6	4.0
Amplitude	15.1	15.6	19.0	17.1	14.5	17.2	11.7	12.9
Mínimo	20.1	19.0	20.0	21.2	21.2	21.1	20.7	20.5
Máximo	35.2	34.6	39.0	38.3	35.7	38.3	32.4	33.4

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P6.1 apresentou a maior média de temperatura do experimento (28,3°C), sendo ainda o que registrou a segunda maior temperatura mínima absoluta (21,1°C às 06h), o que evidencia a influência do adensamento urbano sobre o ganho térmico. Em oposição, o P2.1, o mais arborizado dentre os demais, apresentou a menor temperatura média (25,7°C), bem como a menor mínima absoluta (19°C às 06h), ainda que esteja em área urbana.

A menor máxima absoluta foi observada no P7.1 (32,4°C às 15h do dia 25/09 e as 12h do dia 26/09), 2,6°C mais baixa do que o P2.1, o qual registrou máxima de 34,6°C no mesmo horário (15h do dia 25/09). O local também apresentou a menor amplitude térmica do período (11,7°C). No Campo 1 notou-se que o Ponto 7 resfriou durante a tarde em função do sombreamento ocasionado pela direção da vertente. No Campo 2 essa característica teve influência novamente sobre a dinâmica térmica no local, o qual apresentou a segunda menor temperatura média (26,9°C). A maior temperatura máxima absoluta foi registrada no Ponto 3.1 (39°C as 14h), o que está relacionado com a boa iluminação solar do local durante o dia.

Considerando os valores médios da temperatura do ar, o entorno do P6.1 foi a área mais aquecida (FIG. 57). O local, além de compreender áreas de topo e meia vertentes, é densamente urbanizado e verticalizado, o que favorece o aquecimento atmosférico (FIG 58).

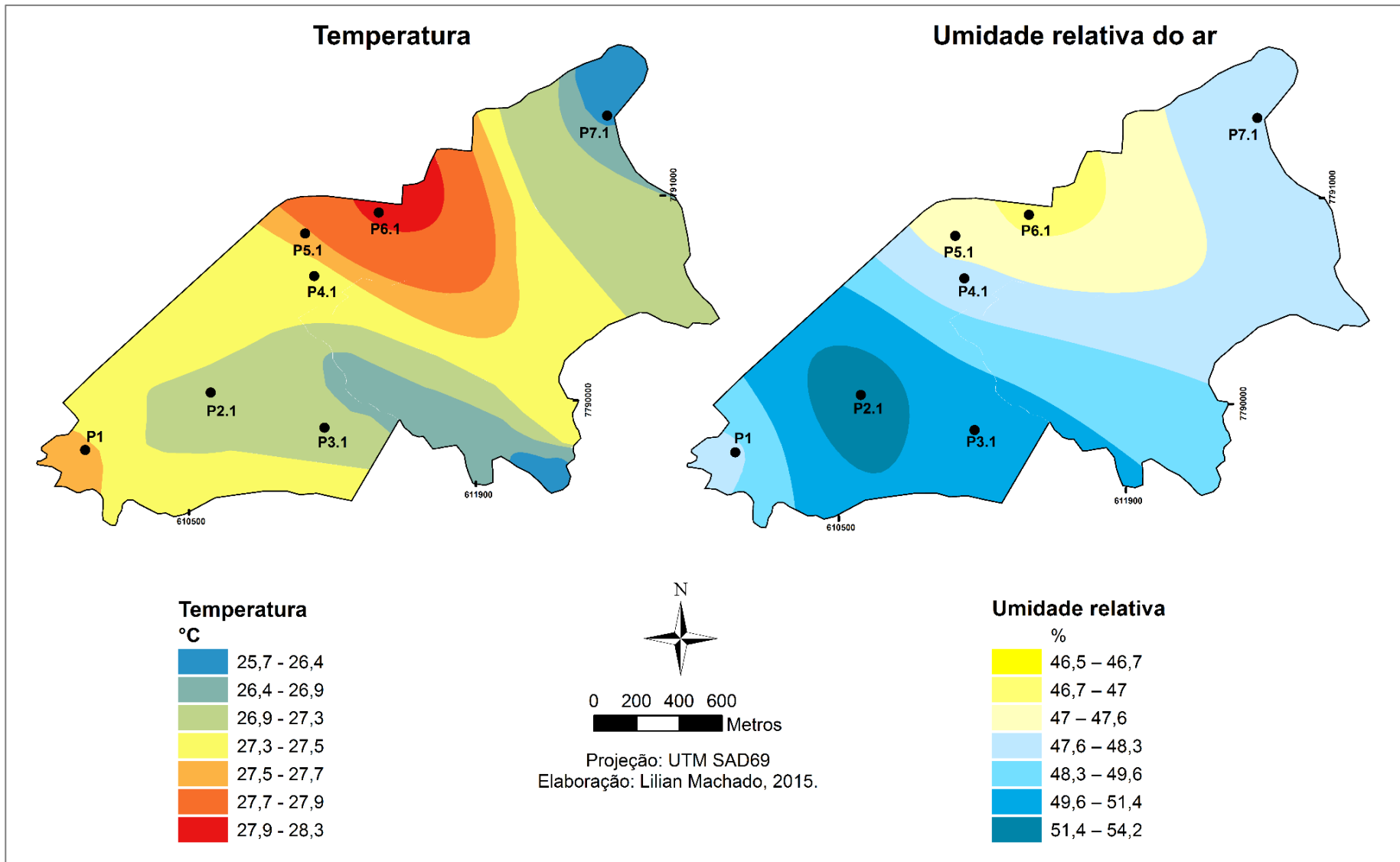


FIGURA 57: Comportamento médio da temperatura e umidade relativa do ar - Campo 2 (25/09 a 26/09).

Campo 2—Perfil Geocológico

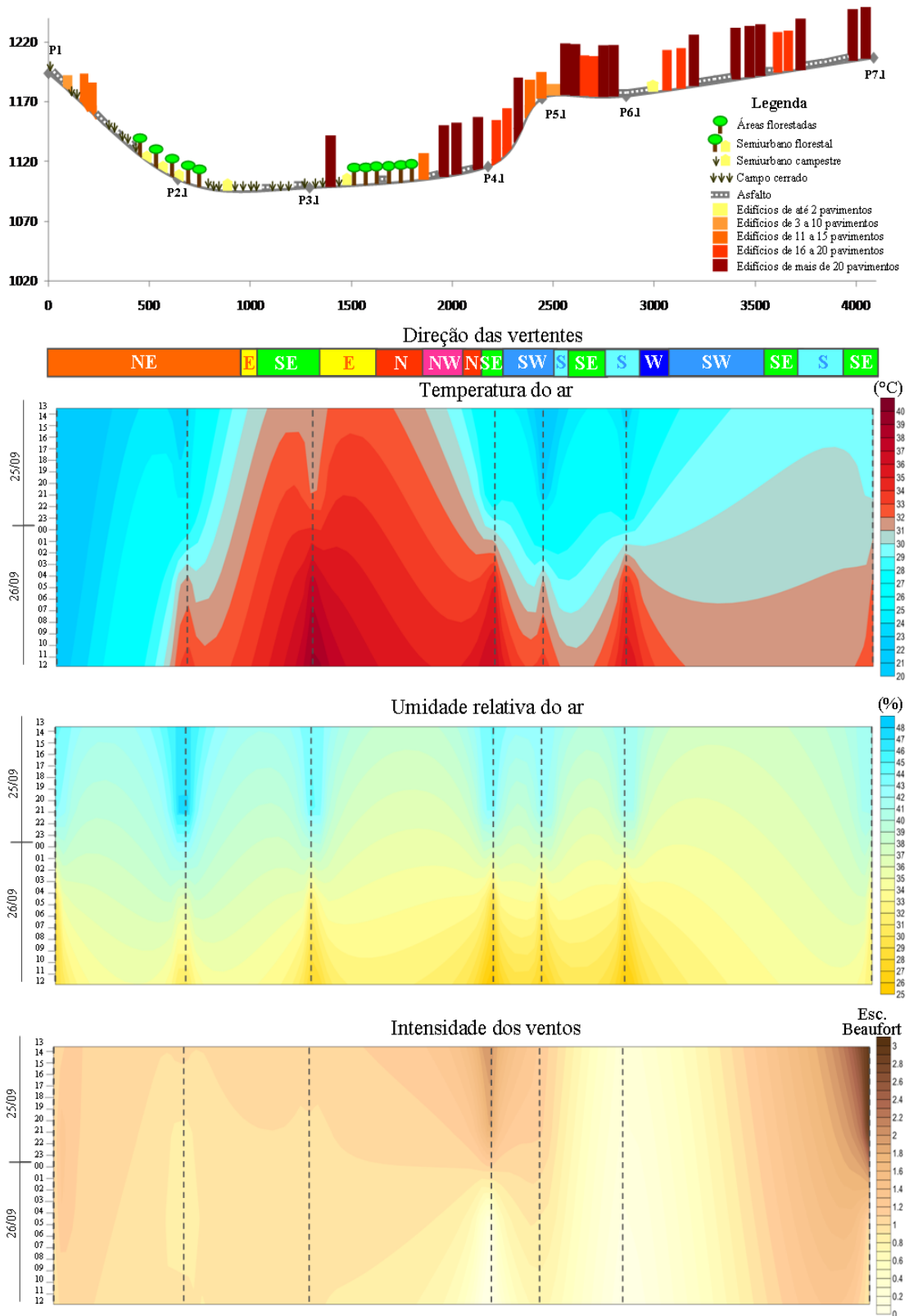


FIGURA 58 - Perfil geocológico - Campo 2 (25/09 a 26/09). Elaboração: Lilian Machado, 2016.

As vertentes a nordeste da área de estudo são mais resfriadas, bem como os fundos de vale arborizados e os locais de uso do solo semiurbano florestal. Estes locais apresentam os menores desvios padrões, o que indica que são áreas que retêm calor durante a noite em função da obstrução da abóbada celeste e o direcionamento e posição das vertentes (FIG. 59). O entorno dos pontos 3.1, 4.1, 5.1 e 6.1 apresenta um núcleo de aquecimento que perdura, com exceção do P3.1, durante a noite. Este último, apresentou um desvio padrão elevado, o que indica ser uma área onde há fácil absorção de calor, bem como acelerada dissipação. Os locais mais adensados e urbanizados (pontos 4.1, 5.1 e 6.1) não apresentam desvio padrão dos mais baixos, já que as áreas de topo superam o efeito urbano quanto à retenção de calor na noite. Porém estão numa faixa de desvio padrão que abrange áreas onde a verticalização funciona como um fator de desaceleração da perda de calor no período noturno.

Devido à atuação do ASAS, que permanecia sobre a região há cerca de 11 dias, a média de umidade do ar na área de estudo esteve baixa (TAB. 19). A maior média foi de 54%, observada no P2.1, o qual registrou ainda as maiores mínima (26% as 15h) e máxima (75% as 6h) absolutas. Durante o dia, mesmo a arborização local não é suficiente para elevar os índices de umidade relativa do ar a níveis ideais para o conforto e a saúde humana.

TABELA 19: Condições médias da umidade relativa do ar no Campo 2

	<i>Campo 2 - Umidade relativa do ar (°C)</i>							
	P1	P2.1	P3.1	P4.1	P5.1	P6.1	P7.1	Est. Cercadinho
Média	48	54	50	48	47	46	48	41
Desvio padrão	13	16	16	13	13	14	11	14
Amplitude	43	49	48	44	42	44	37	45
Mínimo	26	26	24	24	25	23	30	20
Máximo	69	75	72	68	67	67	67	65

Elaboração: Lilian Machado, 2015

O P6.1 apresentou a menor média da umidade (46%), bem como a maior mínima (23% entre 14h e 15h) e máxima absolutas (67% entre 6h e 7h), juntamente aos pontos 5.1 e 7.1. A impermeabilização justifica os valores registrados nos pontos 5.1 e 6.1, dos quais o entorno é o mais árido da área de estudo (FIG. 57 e 58). Já o P7.1, assim como o P1, apresentou níveis baixos de umidade atmosférica em função de sua posição no topo.

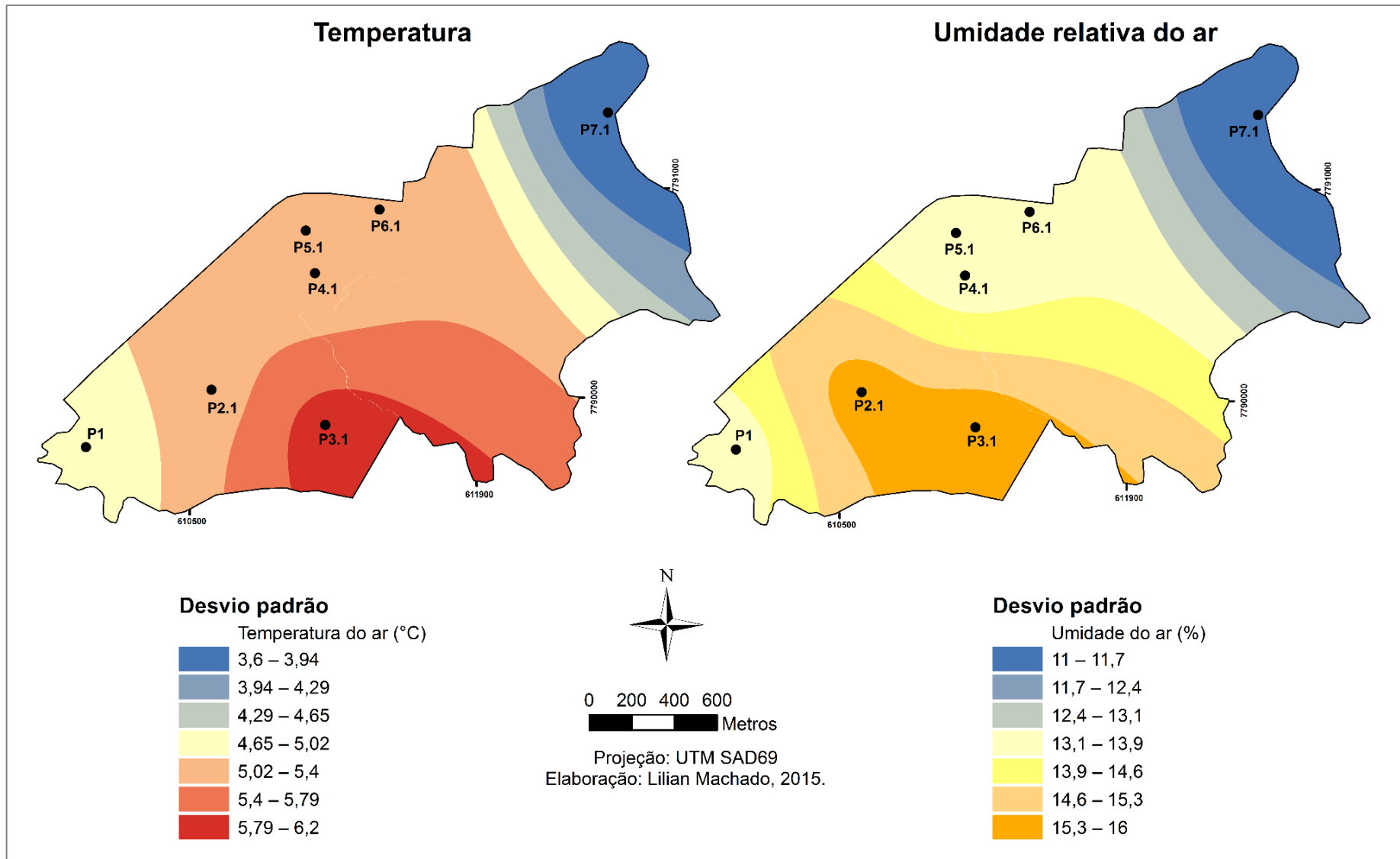


FIGURA 59: Desvio padrão da temperatura e umidade relativa do ar - Campo 2 (25/09 a 26/09).

As áreas de topos, vertentes a nordeste e de alta densidade urbana apresentam atmosfera mais seca e uma variação maior nos índices de umidade do ar ao longo do dia, já que tais locais não favorecem a manutenção de umidade nos períodos mais quentes. Esta característica fica clara analisando-se as imagens do desvio padrão da variável no campo 2 (FIG. 59).

O P1 apresentou a maior média da intensidade dos ventos (TAB. 20). Embora os pontos 5.1 e 7.1 tenham apresentado média mais baixa, durante alguns períodos do dia foram registrados ventos de intensidade 3 em seus arredores. É possível observar na figura 60 que esses pontos são os de maior aceleração atingindo velocidades de até 5,7 m/s. A frequência de calmarias nesses locais é mais baixa do que nos demais, sobretudo no P1 que apresenta frequência de 8,7%, enquanto registra 56,5% de ventos na faixa de 3,6 a 5,7 m/s.

TABELA 20: Condições médias da intensidade dos ventos no Campo 2

<i>Campo 2 - Intensidade dos ventos</i>								
	P1	P2.1	P3.1	P4.1	P5.1	P6.1	P7.1	Est. Cercadinho
Média	2	0	1	1	1	1	1	2
Desvio padrão	1	0	1	1	1	1	1	1
Intervalo	3	1	2	2	3	2	3	3
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	1
Máximo	3	1	2	2	3	2	3	4

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

No P5.1 a aceleração dos ventos parece estar ligada ao fluxo intenso de veículos em determinados horários e ao alinhamento das edificações no local que, formando uma espécie de cânion urbano, tende a canalizar os ventos. Já nos Pontos 1 e 7.1 a posição da vertente favorece o deslocamento do ar, bem como a dinâmica térmica diária que influencia o desenvolvimento de brisas vale-montanha na região. Essa circulação atmosférica fica visível nos gráficos de rosa dos ventos nos quais os principais vetores de ventos se encontram em posições geográficas opostas (FIG. 60). Esses aspectos foram aprofundados na análise por período dos dados coletados no Campo 2.

O P2.1 apresenta a menor média de intensidade dos ventos e a segunda maior frequência de calmarias (69,6%), devido à barreira que a arborização consiste à passagem dos ventos próximos à superfície. O P6.1 registrou a segunda menor frequência de ventos (72,2%). Embora a área tenha um fluxo de veículos constante, não sofre influência na intensidade dos ventos como no P5.1, em função do abrigo ter sido instalado em uma rotatória onde a velocidade de trânsito dos carros é baixa.

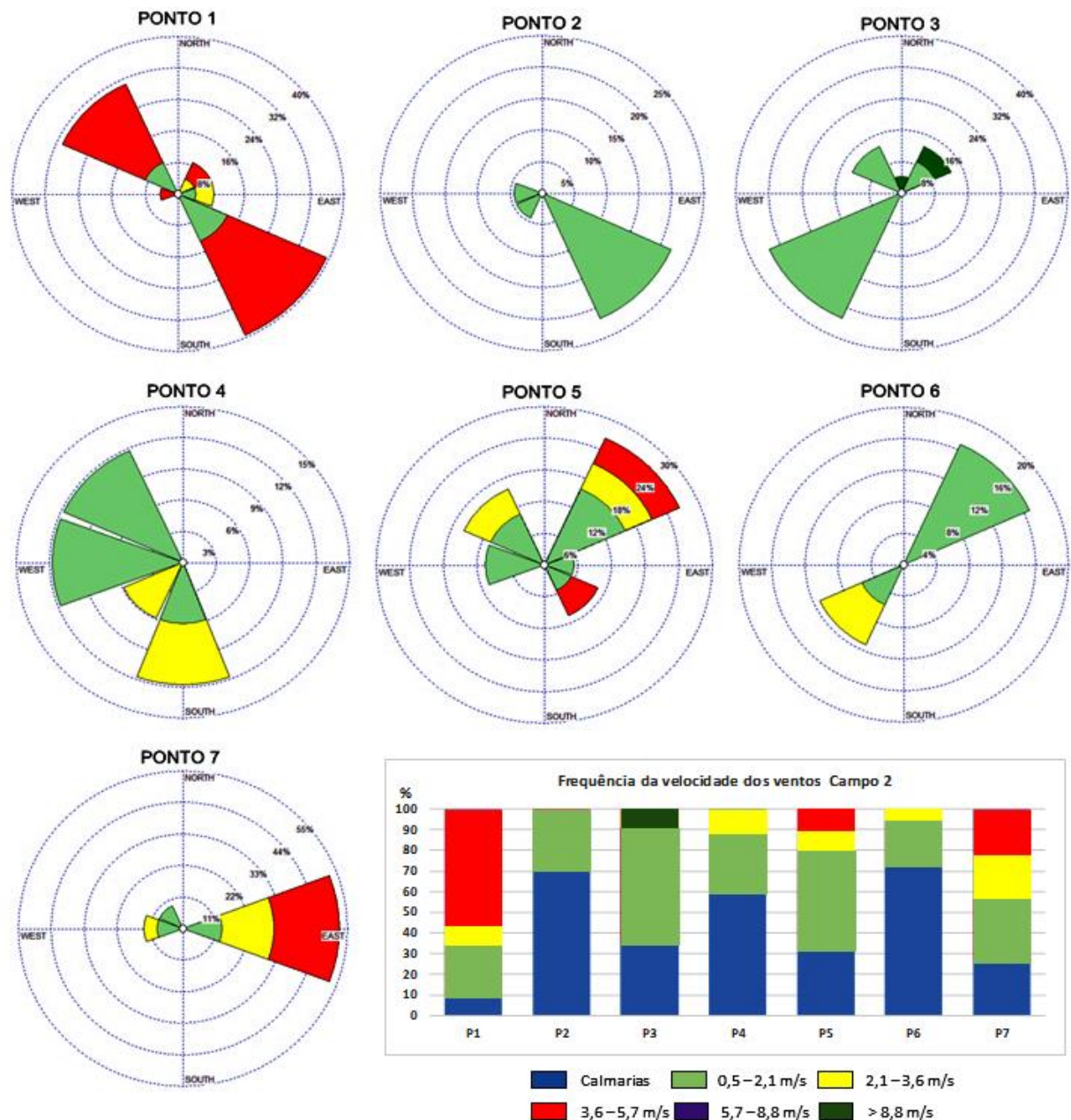


FIGURA 60- Gráfico de rosa dos ventos e de frequência de ventos por faixa de velocidade - Campo 2 (25/09 a 26/09). Elaboração: Lilian Machado, 2016.

Os pontos 4.1 e 5.1, diferente dos demais, apresentaram direções variadas dos ventos, como é possível observar na figura 60. Estas características estão relacionadas ao efeito de turbulência e desvio dos ventos que a os edifícios provocam na camada atmosférica de cobertura urbana (UCL).

4.4.1 Considerações sobre o comportamento geral da temperatura, umidade relativa do ar e ventos

- O entorno do P3 é uma área de potencial de aquecimento já que mesmo sem apresentar urbanização adensada registra médias de temperatura pronunciadas.
- Áreas arborizadas, ainda que urbanizadas e ocupadas em baixa densidade, tendem a ser mais frescas e mais úmidas.
- As menores máximas absolutas de temperatura apresentam relação com a exposição da vertente à radiação solar direta, superando a influência da arborização.
- Durante o dia, no período mais seco, mesmo a arborização local não é suficiente para elevar os índices de umidade relativa do ar a níveis ideais para o conforto e a saúde humana.
- Os locais mais adensados e impermeabilizados apresentam menores índices de umidade do ar, bem como os topos.
- O alinhamento dos edifícios e o tráfego de veículos podem ser responsáveis pelo aumento da velocidade do escoamento atmosférico próximo à superfície.
- Os topos mais altos, referentes aos pontos 1 e 7.1 apresentaram as maiores intensidades e frequência de ventos, assim como o P2, arborizado, apresentou a maior frequência de calmarias. Também foram observadas calmarias nas áreas mais adensadas, turbulência e desvio dos ventos.

4.5 Campo 2 - Comportamento dos dados por período

4.5.1 Tarde

No dia 25 de setembro a média da temperatura entre as 13 e as 18 horas na Estação Meteorológica do Cercadinho foi de 32,4°C, valor próximo aos observados na área de estudo (TAB. 21). Durante a tarde o P3.1 foi o mais quente, com média térmica de 36,2°C. Vale lembrar que a atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul na região, favoreceu o ganho térmico.

TABELA 21: Condições médias da temperatura do ar no período da tarde no Campo 2

CAMPO 2 - TEMPERATURA DO AR (°C)								
TARDE								
	P1	P 2.1	P 3.1	P 4.1	P 5.1	P 6.1	P 7.1	Est. Cercadinho
Média	33.3	32.2	36.2	34.7	33.9	35.5	31.0	32.4
Desvio padrão	1.9	2.3	3.1	3.4	1.7	3.0	1.3	0.7
Amplitude	5.3	6.3	7.8	9	4.7	7.5	3.4	2.1
Mínimo	29.9	28.3	31.2	29.3	31	30.8	29	31.3
Máximo	35.2	34.6	39	38.3	35.7	38.3	32.4	33.4

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

A boa iluminação solar da vertente onde foi instalado o abrigo 3.1 potencializou o ganho térmico local (FIG. 57). Embora o ponto estivesse sombreado durante algumas horas, no início da tarde, período de maior intensidade da radiação solar, o abrigo recebia radiação direta (FIG. 61a e b).

Interessante observar o comportamento térmico dos pontos 4.1, 5.1 e 6.1, ambos localizados nas regiões mais verticalizadas e adensadas da área de estudo. Estes pontos apresentaram as maiores médias térmicas depois do P3.1, registrando, respectivamente, 34,7°C, 33,9°C e 35,5°C. No P4.1 e 6.1 justifica-se o aquecimento dada a iluminação direta do local que perdura durante quase toda a tarde, somado à absorção de calor pela cobertura asfáltica e pelas edificações (FIG. 62). No P5.1, embora as edificações provoquem o sombreamento do local, é observado o aquecimento atmosférico em função do adensamento urbano.

O P7.1 foi o mais frio da tarde com temperatura média de 31°C, 6,2°C a menos do que o ponto mais quente. Este foi, ainda, o local que registrou a menor temperatura máxima absoluta (32,4°C) e a menor amplitude térmica (3,4°C). O Ponto 7, localizado em vertente voltada para SE, recebe pouca iluminação solar à tarde (FIG. 61), o que, somado à boa ventilação, favorece o resfriamento.

Durante a tarde os locais mais adensados e bem iluminados compreenderam as áreas de maior aquecimento atmosférico, enquanto coube às vertentes mal iluminadas, áreas urbanas arborizadas e aos fundos de vale bem arborizados as áreas de maior frescor (FIG. 62). Os arredores do P1, apresentaram temperaturas relativamente mais baixas, o que pode ser uma influência da boa ventilação local além da altitude.

Obstrução da abóbada celeste

Incidência dos raios solares

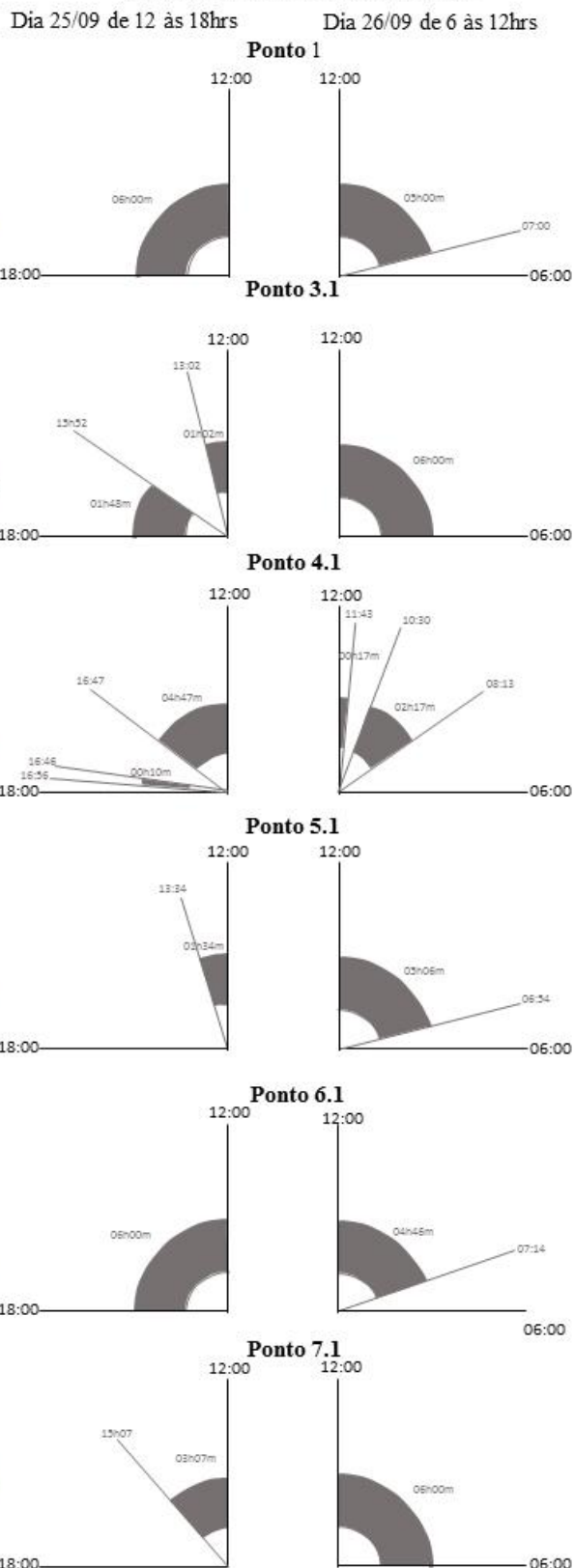


FIGURA 61: (a) Gráficos de obstrução da abóbada celeste²³, Fator de Visão do Céu (FVC) e (b) iluminação direta dos pontos amostrais²⁴ entre as 12h e as 18h do dia 25/09/2015.

²³ As áreas cinzas observadas na figura 61a correspondem à porção da abóbada celeste obstruída.

²⁴ Os arcos na cor cinza na figura 61b correspondem ao tempo em que o local ficou sob iluminação direta do sol.

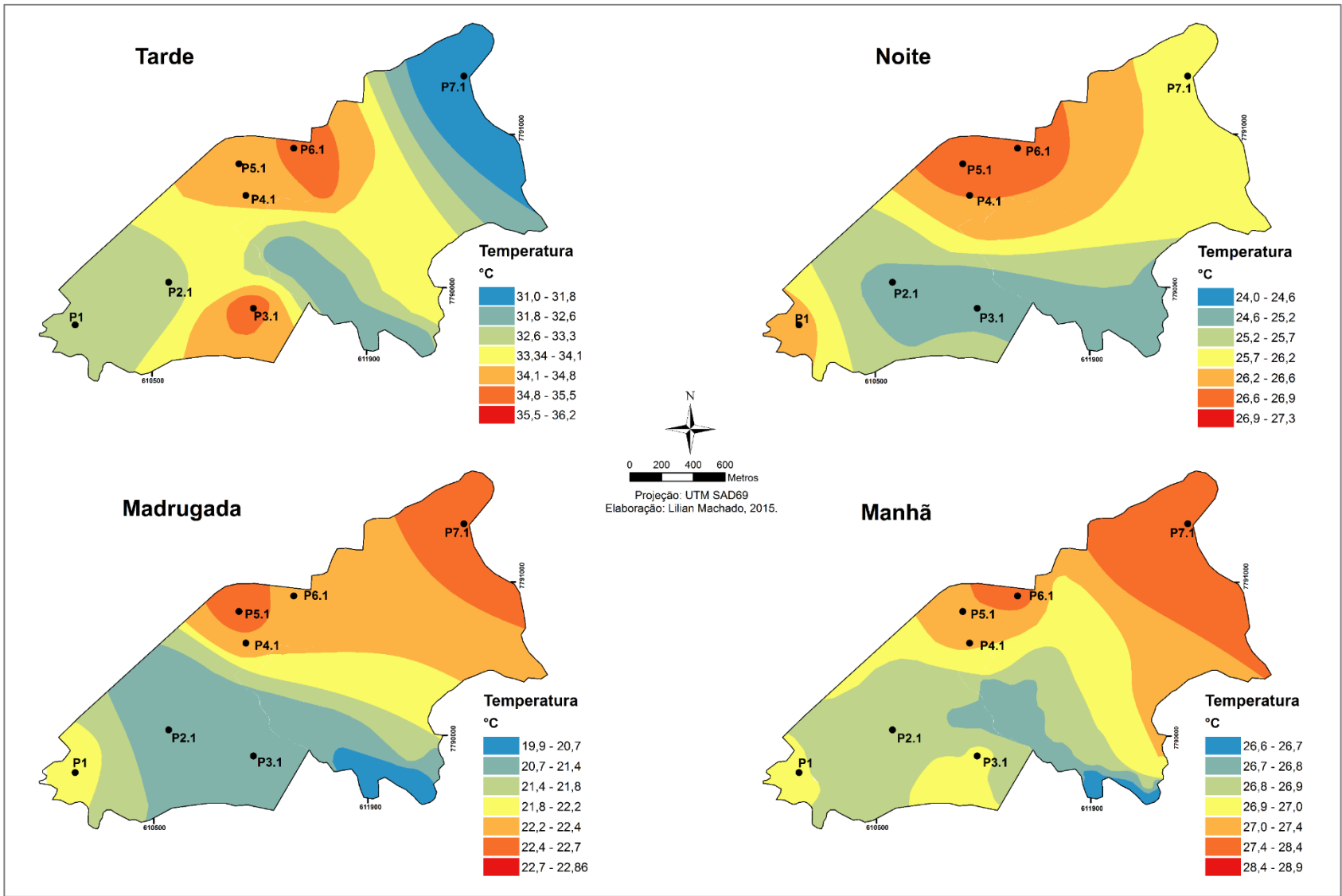


FIGURA 62: Temperatura média do ar por períodos - Campo 2 (25/09 a 26/09).

A tarde do dia 25 de setembro registrou índices de umidade relativa do ar baixos. A estação do Cercadinho apresentou valores abaixo do recomendado para a saúde humana (23%), enquanto os pontos da área de estudo registraram valores próximos do limite (TAB. 22). Os pontos 3.1 e 6.1 apresentaram a menor mínima (27%), o que está relacionado com a boa iluminação desses locais no período e com a impermeabilização.

TABELA 22: Condições médias da umidade relativa do ar no período da tarde no Campo 2

CAMPO 2 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%)								
TARDE								
	P1	P 2.1	P 3.1	P 4.1	P 5.1	P 6.1	P 7.1	Est. Cercadinho
Média	29	33	27	30	29	27	33	23
Desvio padrão	3	5	4	5	2	4	2	2
Amplitude	8	15	9	14	7	10	6	6
Mínimo	26	26	24	24	25	23	30	20
Máximo	34	41	33	38	32	33	36	26

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P2.1 foi o mais frio, o que condiz com sua condição de arborização. Este foi, ainda, o local que registrou a maior umidade absoluta (41%). Os pontos arborizados em áreas urbanas e os fundos de vale acumularam mais umidade do que as áreas adensadas, havendo relação indireta entre a umidade do ar e a temperatura (FIG. 63).

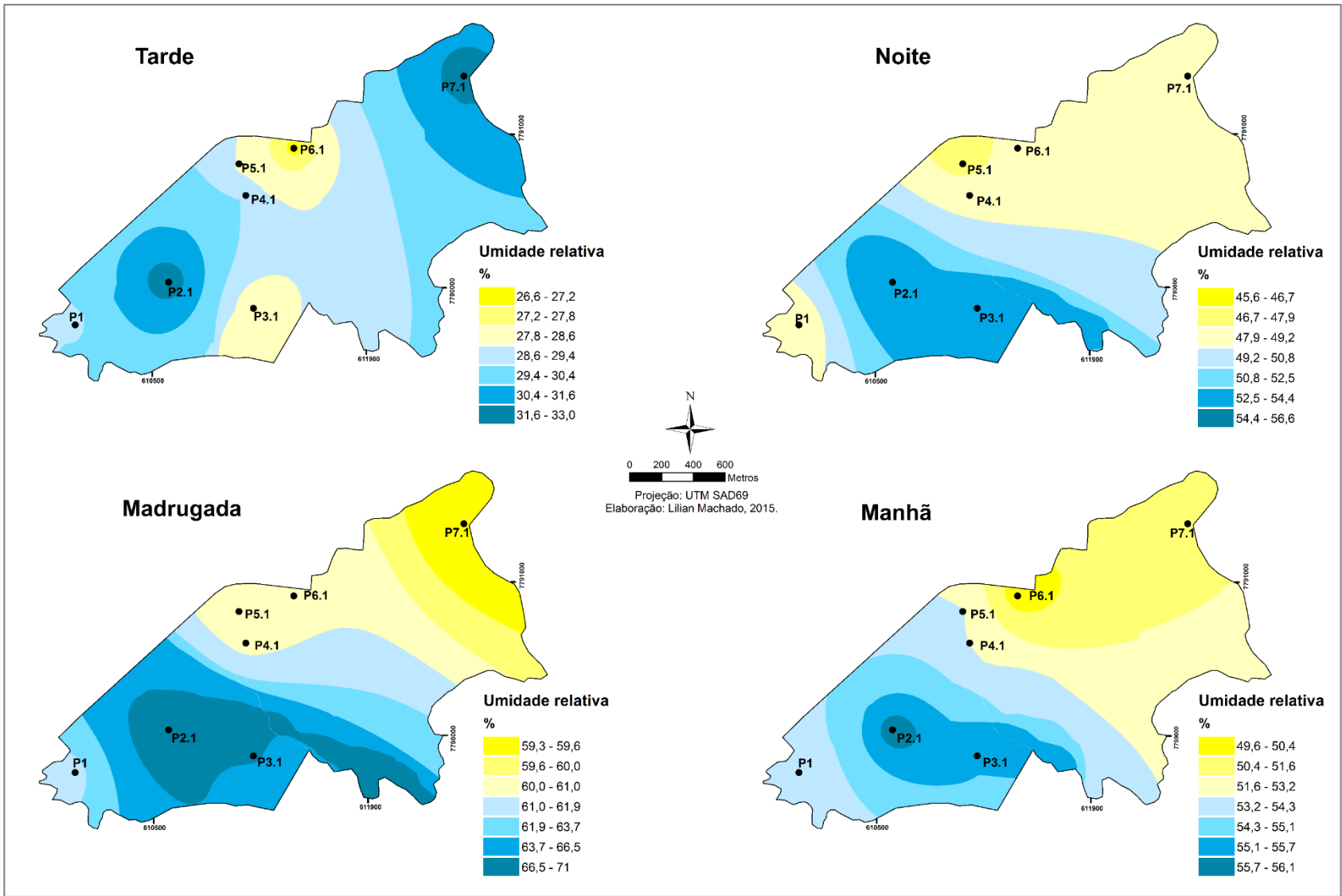


FIGURA 63: Temperatura média do ar por períodos - Campo 2 (25/09 a 26/09).

4.5.2 Noite

Durante o período noturno a maior média térmica foi registrada no P5.1 (27,3°C). O aquecimento do local durante a noite se justifica dada sua característica de obstrução da abóbada celeste. Este ponto é o segundo de menor FVC (FIG. 61). Ainda que o local receba iluminação direta solar durante um período curto da tarde, diminuindo o aquecimento local, durante a noite a energia radiativa absorvida ao longo do dia pelas edificações e elementos urbanos como o asfalto, é retida na baixa atmosfera pela troca de calor entre tais elementos. Este mesmo local registrou a maior máxima absoluta (29,7°C às 19h) e a maior mínima (25,7°C à 00h), reforçando a influência urbana sobre a retenção de calor no local durante a noite (TAB. 23).

TABELA 23: Condições médias da temperatura do ar no período da noite no Campo 2

CAMPO 2 - TEMPERATURA DO AR (°C)								
NOITE								
	P1	P 2.1	P 3.1	P 4.1	P 5.1	P 6.1	P 7.1	Est. Cercadinho
Média	26,7	24,0	25,7	26,6	27,3	26,6	26,1	27,1
Desvio padrão	1,3	1,8	1,7	1,7	1,5	1,9	1,2	1,5
Amplitude	3,7	4,7	4,7	4,2	4,0	5,1	3,1	3,9
Mínimo	25,4	21,8	23,7	24,2	25,7	24,3	24,8	25,7
Máximo	29,1	26,5	28,4	28,4	29,7	29,4	27,9	29,6

Elaboração: Lillian Machado, 2015.

Os pontos 4.1 e 6.1, com média de 0,7°C mais baixa que o 5.1, são áreas em que a impermeabilização e a verticalização também têm influência sobre o comportamento térmico. No entanto, no P6.1 adiciona-se sua localização em topo de vertente, mesmo fator que influencia a temperatura durante a noite nos P1 e 7.1, de onde partem os ventos catabáticos no início da noite transportando o ar frio para os fundos de vale e mantendo a atmosfera nos topos mais aquecida. É relevante apontar que o P6 apresentou calmaria durante quase todo o período e movimentos turbulentos do ar influenciados pelo tráfego de veículos, o que também pode ter favorecido a manutenção térmica no local.

O P2.1 foi o local mais frio da noite com média térmica de 24°C. Interessante observar que, estando localizado em área com FVC muito baixo devido à cobertura de dossel, seria esperada a manutenção térmica no local. No entanto, sua posição no fundo de vale, para onde é drenado o ar frio noturno, condiciona

temperaturas amenas. Cabe ressaltar que o P2.1 foi o que registrou as menores temperaturas mínima (21,8°C à 0h) e máxima (26,5°C às 19h).

Durante a noite a tendência de resfriamento das vertentes a norte e nordeste da área de estudo observada durante a tarde se inverteu e os pontos mais altos, referentes aos topos e áreas adensadas, foram as mais aquecidas. Os fundos de vale e as áreas arborizadas, mesmo em ambientes urbanos, foram as mais frias.

Os pontos mais adensados (P4.1 e P6.1) e em topos de vertentes (P1, P6.1 e P7.1) foram os mais secos durante a noite, em oposição às áreas arborizadas e em fundos de vale, onde se acumula o ar resfriado e úmido (TAB. 24 e FIG. 63).

TABELA 24: Condições médias da umidade relativa do ar no período da noite no Campo 2

CAMPO 2 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%)								
NOITE								
	P1	P 2.1	P 3.1	P 4.1	P 5.1	P 6.1	P 7.1	Est. Cercadinho
Média	47	57	52	49	46	49	49	38
Desvio padrão	6	8	7	6	6	6	3	7
Amplitude	14	20	18	17	15	18	9	17
Mínimo	36	45	40	40	36	37	42	27
Máximo	50	65	58	57	51	55	51	44

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

Durante a noite os pontos mais altos obtiveram as maiores velocidades do ar (P1 e P7.1). Os pontos 4.1, 5.1 e 6.1 apresentaram direções do vento diversas durante a noite, além de movimento turbulento do ar, o que ocorre em função da movimentação de automóveis e da presença de edifícios nos locais que redirecionam o ar. Nos pontos 3.1 e 7.1 ficaram evidentes os movimentos de descida do ar em direção às partes mais baixas do relevo, os ventos catabáticos.

4.5.3 Madrugada

Durante a madrugada as tendências observadas à noite se mantiveram. O P2.1 foi novamente o de menor média térmica (20°C), bem como o que apresentou as menores temperaturas mínima (19°C as 06h) e máxima absoluta (21,1°C às 01h) (TAB. 25). O P5.1 registrou a maior temperatura média (22,9°C), máxima (24,8°C) e mínima absoluta (21,1°C).

TABELA 25: Condições médias da temperatura do ar no período da madrugada no Campo 2

CAMPO 2 - TEMPERATURA DO AR (°C)								
MADRUGADA								
	P1	P 2.1	P 3.1	P 4.1	P 5.1	P 6.1	P 7.1	Est. Cercadinho
Média	22.2	20.0	21.2	22.6	22.9	22.3	22.5	23.1
Desvio padrão	1.7	0.9	1.1	1.0	1.4	1.1	1.5	1.7
Amplitude	4.5	2.1	2.7	2.5	3.6	2.7	4.0	4.6
Mínimo	20.1	19.0	20.0	21.2	21.2	21.1	20.7	20.7
Máximo	24.6	21.1	22.7	23.7	24.8	23.8	24.7	25.3

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

Novamente foi observado que as áreas mais adensadas e verticalizadas têm efeito sobre a manutenção de calor na atmosfera durante a noite e madrugada, assim como áreas de topo. As áreas urbanizadas e os pontos mais altos preservaram atmosfera mais quente do que os fundos de vale, para onde migram os ventos catabáticos (FIG. 62). As áreas ao redor do P3.1, de FVC alto e de vegetação rasteira, apresentaram tendência a perda de temperatura acentuada durante a noite, sendo o segundo local mais frio.

Assim como no comportamento térmico, a dinâmica hídrica durante a madrugada seguiu a tendência observada durante a noite. Os locais mais adensados, referentes aos Pontos 4.1 (60%), 5.1 (59%) e 6.1 (61%) e os locais mais altos, Pontos 1 (61%) e 7.1 (59%), foram os mais seco (TAB. 26).

TABELA 26: Condições médias da umidade relativa do ar no período da madrugada no Campo 2

CAMPO 2 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%)								
MADRUGADA								
	P1	P 2.1	P 3.1	P 4.1	P 5.1	P 6.1	P 7.1	Est. Cercadinho
Média	61	71	66	60	59	61	59	52
Desvio padrão	6	3	4	2	5	4	5	6
Amplitude	14	8	11	5	14	11	14	18
Mínimo	55	67	61	57	53	56	53	44
Máximo	69	75	72	62	67	67	67	62

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

Os pontos mais altos e adensados acumularam umidade em torno dos 60% durante a madrugada, índice considerado ideal para a saúde humana, sendo este o único período do campo 2 em que os valores de umidade chegaram a este nível. Os fundos de vale e áreas urbanizadas registraram os índices mais altos de umidade, tendo o P2.1 apresentado uma média de 72%.

Durante a madrugada houve períodos de calmaria dos ventos já que a amplitude térmica entre os pontos amostrais diminuiu, baixando também a diferença de pressão entre os locais. O P1 apresentou as maiores velocidades, com intensidade

média dos ventos de 3 pontos na escala Beaufort e direção preferencial NW. Este ponto e o P7.1 ficam expostos aos ventos dada sua altitude e posição em topos de onde partem os ventos catabáticos.

Os pontos 4.1, 5.1 e 6 apresentaram ventos de direções diversas e movimentos turbulentos do ar, associados à presença dos edifícios que desviam o ar em movimento. No P4.1 os ventos foram preferencialmente de NW e W, podendo ser ventos catabáticos desviados pelo alinhamento paralelo dos prédios.

4.5.4 Manhã

No período da manhã o P6.1 foi o mais quente, com média térmica de 28,9°C. Nele foi registrada ainda a maior máxima absoluta (33,8°C às 12h). O local foi bem iluminado durante a manhã (TAB. 27), embora o P7 tenha recebido radiação direta das 6h ao meio dia, 1h10min a mais que o P6.1 (FIG. 61). Este último pode ter se aquecido em função da altitude, do adensamento urbano local e do tráfego de veículos, sendo o P7.1 o segundo mais aquecido no período, o qual apresentou ainda a maior temperatura mínima (23,3°C às 07h).

TABELA 27: Condições médias da temperatura do ar no período da manhã no Campo 2

CAMPO 2 - TEMPERATURA DO AR (°C)								
MANHÃ								
	P1	P 2.1	P 3.1	P 4.1	P 5.1	P 6.1	P 7.1	Est. Cercadinho
Média	26.8	26.7	27.1	27.0	27.0	28.9	27.9	25.2
Desvio padrão	3.9	3.8	4.4	4.1	4.6	4.3	3.3	3.6
Amplitude	10.4	10.2	12.0	10.5	11.8	11.9	9.1	9.3
Mínimo	21.0	20.7	21.0	21.3	21.4	21.9	23.3	20.5
Máximo	31.4	30.9	33.0	31.8	33.2	33.8	32.4	29.8

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

O P2.1 foi o mais frio com média térmica de 26,7°C. Registrou, ainda, as menores temperaturas mínimas (20,7°C às 07h) e máximas absolutas (30,9°C às 12h). A cobertura do dossel arbóreo atrasa o aquecimento local tornando-o, em média, até 2,2°C mais frio. Durante a manhã os locais verticalizados (pontos 4.1, 5.1 e 6.1) apresentaram aquecimento semelhante ao de outros pontos menos adensados que, no entanto, receberam boa iluminação solar no período matutino, como os pontos 3.1 e 7.1 (FIG. 62).

Durante a manhã a umidade média foi muito próxima entre os pontos amostrais, havendo uma amplitude de apenas 3% entre o ponto de maior média (56% nos P2.1 e P3.1) e menor média (50% no P6.1) (TAB. 28).

TABELA 28: Condições médias da umidade relativa do ar no período da manhã no Campo 2

CAMPO 2 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%)								
MANHÃ								
	P1	P 2.1	P 3.1	P 4.1	P 5.1	P 6.1	P 7.1	Est. Cercadinho
Média	53	56	56	53	53	50	51	51
Desvio padrão	10	11	11	11	11	10	8	11
Amplitude	25	29	30	26	27	27	21	27
Mínimo	43	45	42	42	40	40	41	38
Máximo	68	74	72	68	67	67	62	65

Elaboração: Lilian Machado, 2015.

Os locais a norte e nordeste da área de estudo foram mais secos durante a manhã do que os demais, o que pode ter relação com a iluminação dessas vertentes, que se inicia cedo (FIG. 61). Os fundos de vale e áreas arborizadas foram as mais úmidas, dada a baixa térmica nesses ambientes.

Durante a manhã foram observados ventos anabáticos partindo dos fundos de vale em direção aos topos. Esses foram responsáveis por intensidades de ventos mais pronunciadas nos pontos 1 e 7.1, que chegaram a 3 pontos na escala Beaufort. Nos pontos 4.1 e 5.1 foi observado um efeito de desvio desses ventos em função da posição das edificações, bem como efeitos de turbulência dos ventos nesses locais.

4.5.5 Considerações sobre o comportamento médio por período da temperatura, umidade relativa do ar e ventos

- O entorno do P3.1, embora não seja densamente ocupado, é o mais quente da tarde em função da iluminação e da pouca vegetação. Nesse caso, o efeito de inclinação da vertente é mais eficiente no aquecimento do que o adensamento urbano. Já nos pontos 4.1, 5.1 e 6.1 o aquecimento durante a tarde tem influência da massa construída local.
- Durante a tarde, vertentes sombreadas foram mais frias do que áreas arborizadas. Destaca-se, aí, a importância do direcionamento das vertentes na dinâmica de variação da temperatura do ar.

- A radiação solar direta por tempo prolongado e a impermeabilização da superfície são fatores que determinam as áreas de baixa umidade relativa durante o dia.
- Durante a noite o resfriamento de locais verticalizados é desacelerado devido à troca de calor entre os elementos urbanos locais. Por outro lado, áreas abertas e descampadas se resfriam rapidamente após o pôr do sol.
- Os ventos catabáticos favorecem a manutenção do ar menos frio e mais seco nos topos em comparação com o ar drenado para os fundos de vale durante a noite e madrugada.
- Mesmo durante a noite os índices de umidade foram em média mais baixos do que o ideal em função da permanência prolongada do ASAS.
- Nos locais de maior adensamento e verticalização foram observados ventos de direções diversas e movimentos turbulentos do ar, associados à presença dos edifícios que desviam o ar em movimento.

CAPÍTULO 5. UNIDADES TOPOCLIMÁTICAS

Neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos por meio da elaboração de uma síntese do comportamento climático na área de estudo. É apresentado um mapa das unidades de topoclimas definidas e discutida a hierarquia escalar do clima.

5.1 Organização escalar do clima

Foi possível identificar na área de estudo a configuração de seis topoclimas bem definidos, além de um topoclima de transição entre eles. A estas unidades estão associados microclimas que foram definidos a partir das diversas características geoecológicas e de uso e ocupação do solo.

Os microclimas resultam da interferência direta dos elementos que compõem a superfície sobre o comportamento dos parâmetros meteorológicos em uma escala espacial reduzida (pontual/local). A presença de árvores, a proximidade de edificações e o sombreamento provocado pelas construções, são fatores determinantes das características dos microclimas observados na área de estudo.

A abrangência espacial e temporal dos microclimas e topoclimas nos locais urbanizados e densamente ocupados está restrita à Camada de Cobertura Urbana (UCL) (FIG. 64 e 65). Já nas áreas de encostas não urbanizadas, semiurbanas florestais e campestres, predominam processos atmosféricos normalmente restritos à atmosfera de encosta (FIG. 64 e 65).

A conexão e a transição entre as camadas climáticas da *Urban Canopy Layer*, *Urban Boundary Layer*, da atmosfera de encosta e de vale são complexas já que, os ambientes urbanizados e não urbanizados se distribuem no espaço de maneira desconectada. Assim, não foi possível definir limites rígidos de predominância dos processos climáticos relacionados às camadas atmosféricas urbanas e de locais não urbanizados, uma vez que a área de influência dos elementos geoecológicos e de uso e ocupação do solo é variável. Em locais arborizados, por exemplo, com baixa densidade de edificações, compostas por residências unifamiliares esparsas, predominam as características da camada atmosférica de encosta, porém, com influência de processos isolados referentes às áreas urbanas.

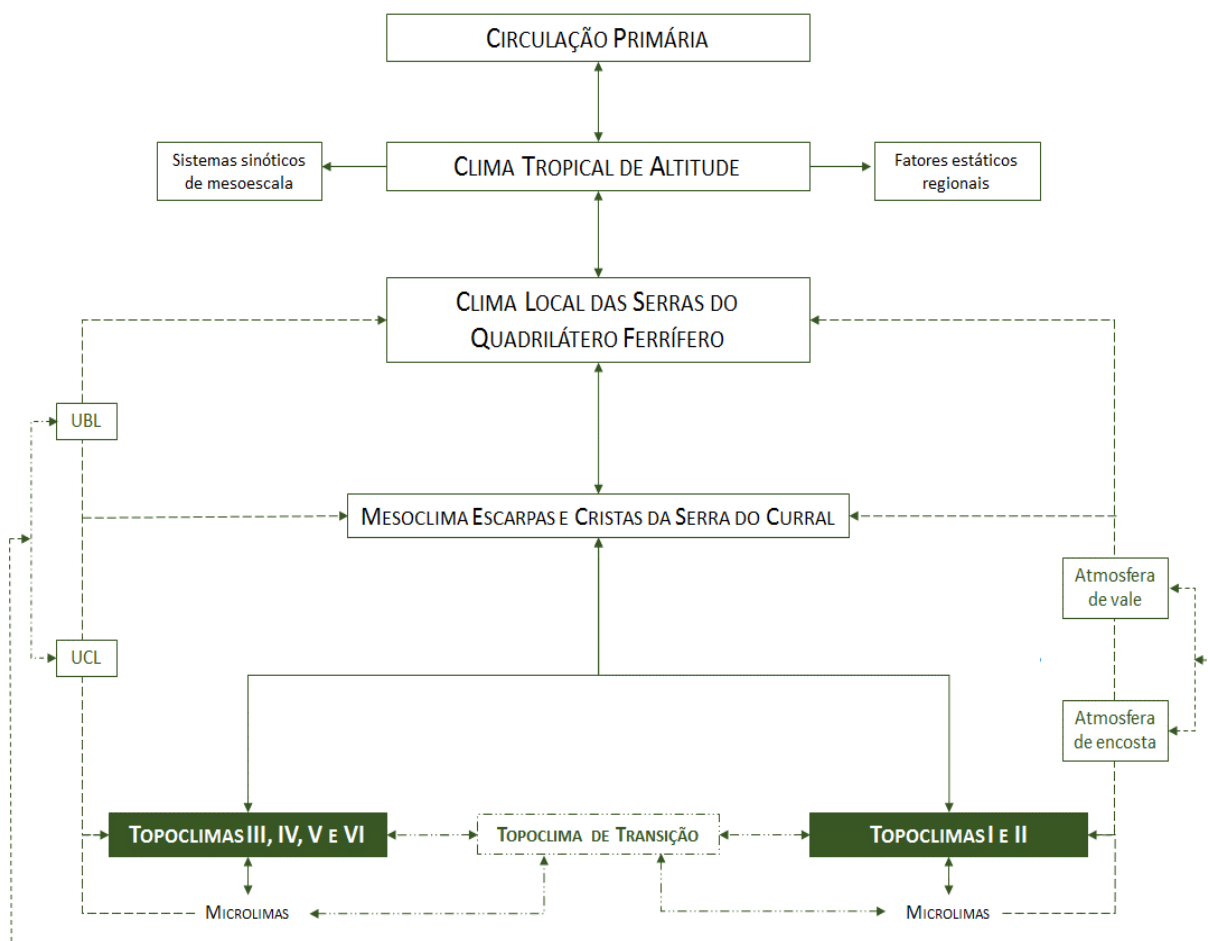


FIGURA 64: Organização escalar do clima na área de estudo. Fonte: Adaptado de Assis (2010), organizado por Lilian Machado, 2016.

O mesoclima na área de estudo é fortemente influenciado pela hipsometria e topografia da região. Assis (2010) definiu para o município de Belo Horizonte uma área de abrangência mesoclimática denominada *Mesoclima de Escarpas e Cristas da Serra do Curral*. Por apresentar características topográficas semelhantes, a área de estudo deste trabalho pode se encaixar na unidade acima. A figura 66 apresenta a localização aproximada do limite mesoescalar demarcado por Assis (2010) e a extrapolação desse limite para a vertente sudoeste da Serra do Curral onde estão localizados os bairros da área de estudo. Esta extrapolação foi feita considerando-se o alinhamento topográfico da Serra do Curral (SW-NE).

Na escala mesoclimática a Serra do Curral age como um interposto orográfico que induz a ascensão mecânica do ar, aumentando a turbulência e favorecendo a instabilidade da parcela. No período chuvoso, esta influência é traduzida em elevados acumulados diários e mensais de precipitação no entorno da Serra conforme observado nos trabalhos de Moreira (2002), Lucas (2015) e Assis (2015) (FIG. 67).

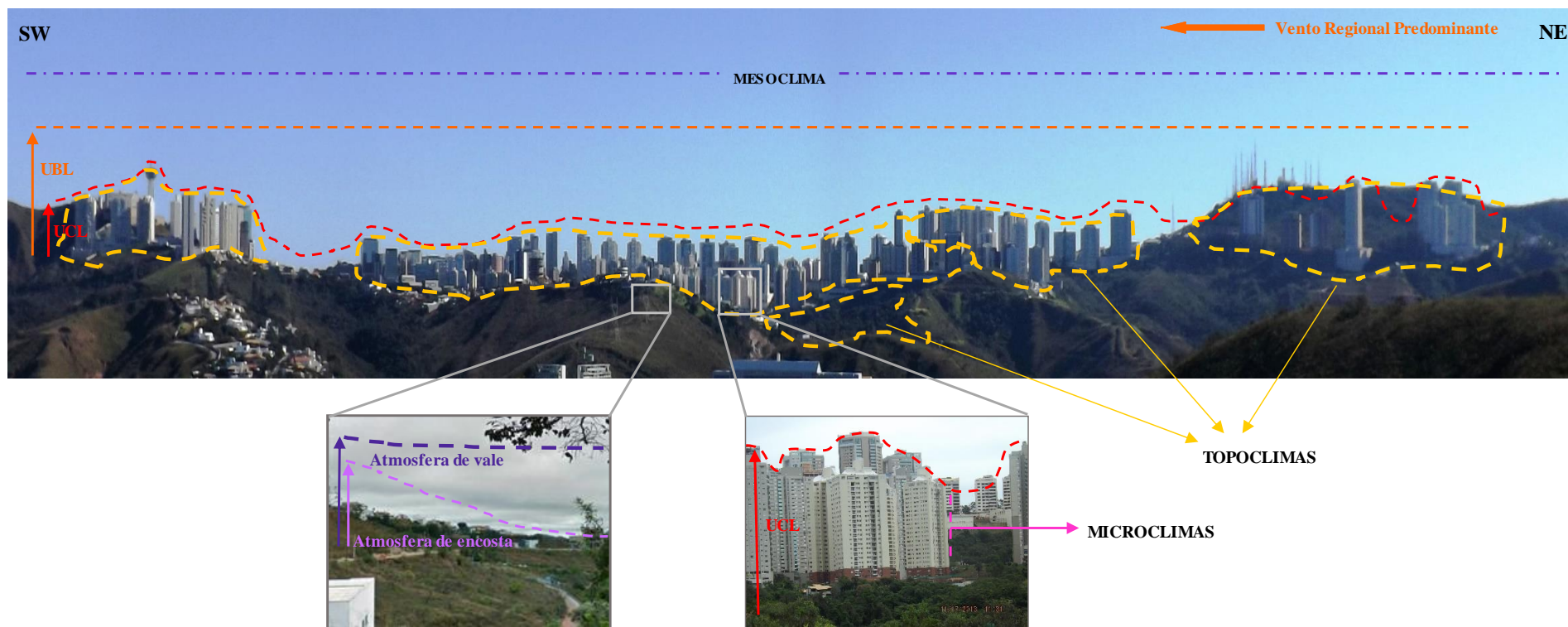


FIGURA 65: Organização das escalas climáticas e camadas atmosféricas de baixo nível na área de estudo. Elaboração: Lilian Machado, 2016.

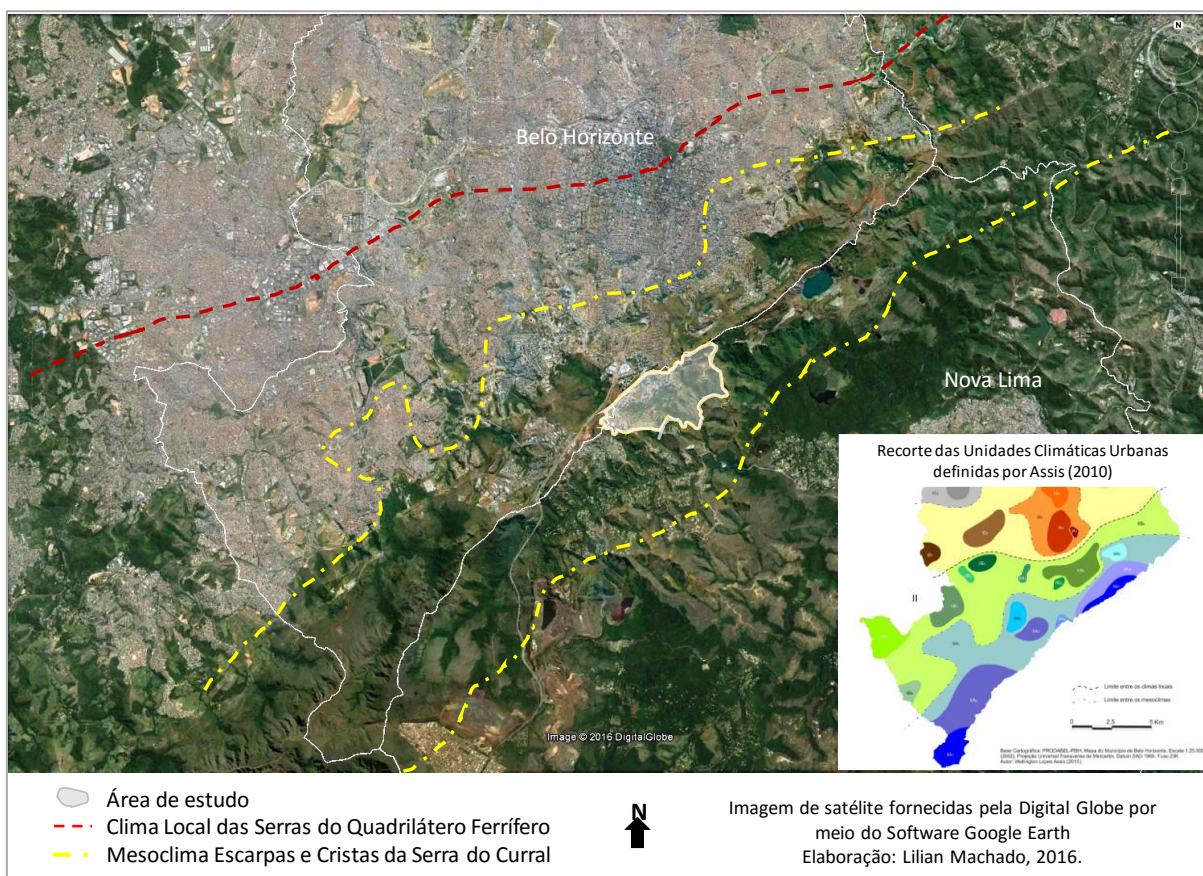


FIGURA 66: Escalas climáticas na área de estudo. Fonte: Adaptado de Assis (2010), Organização e elaboração Lilian Machado, 2016.

As características topográficas favorecem a boa ventilação e a drenagem noturna de ar frio dos topos em direção aos fundos de vales e depressões, com o estabelecimento dos ventos catabáticos (FIG. 67). Durante o dia, sobretudo no início da manhã, é comum a formação dos ventos anabáticos que partem dos vales em direção ao topo da serra. A presença de edificações de grande porte na região, edifícios de 15 pavimentos ou mais, pode potencializar o efeito de turbulência causado pela irregularidade da topografia nas camadas atmosféricas próximas ao nível do solo (UCP, UBL, atmosfera de encosta e vale). A altimetria tem influência direta sobre as médias térmicas. A temperatura do ar é significativamente reduzida na área de abrangência do mesoclíma de Escarpas e Cristas da Serra do Curral, em relação aos demais mesoclimas urbanos do município de Belo Horizonte, já que esta área está num patamar altimétrico mais elevado que o restante da extensão da capital. As altitudes locais variam de 960m a 1310m (FIG. 67).

O clima local que compõe a hierarquia escalar na área de estudo consiste na unidade climática denominada por Assis (2010) de *Clima Local das Serras do Quadrilátero Ferrífero*. Segundo o autor, esta unidade estende-se por toda a região

sul e sudeste do município de Belo Horizonte e pode abranger os municípios limítrofes a capital, como Nova Lima, Sabará e Caeté. Nesta unidade o principal controle climático é a morfologia do terreno marcada por vales encaixados, com gradientes topográficos que, por vezes, excedem os 100m. O relevo movimentado e a variedade de vales interpostos favorece o desenvolvimento localizado de sistemas brisas vale-montanha, bem como a movimentação turbulenta do ar nas camadas acima da atmosfera em contato com a superfície (FIG. 68). É comum na região, em períodos de outono-inverno, a formação de névoa nos fundos de vales associada a inversão térmica no início da manhã. Nos bairros da área de estudo este é um fenômeno recorrente nesta época do ano. Na escala local as elevações que se destacam ao longo do Quadrilátero Ferrífero interferem nas precipitações, induzindo a ascensão do ar e favorecendo elevados acumulados anuais de chuva, embora as localidades distribuídas ao longo do quadrilátero apresentem índice pluviométrico anual próximo dos 1400mm/1500mm (FIG. 68).

Associado ao clima local das Serras do Quadrilátero Ferrífero, estão os mecanismos de clima regional que configuram o Clima Tropical de Altitude. O principal fator estático regional de influência térmica é a altitude mais elevada que condiciona as médias a uma faixa próxima dos 20°C (FIG. 69). Além disso, a morfologia movimentada da região é uma influência orográfica significativa que se reflete nos elevados totais pluviométricos das localidades (FIG. 69). Os fatores climáticos dinâmicos consistem em uma sucessão na atuação de sistemas sinóticos estáveis e instáveis ao longo do ano, com destaque para a ZCAS, ZCOU, FF e LI durante a primavera-verão, e do ASAS e APAS no outono-inverno. Estes sistemas dão a característica de sazonalidade pluviométrica regional (FIG. 69).

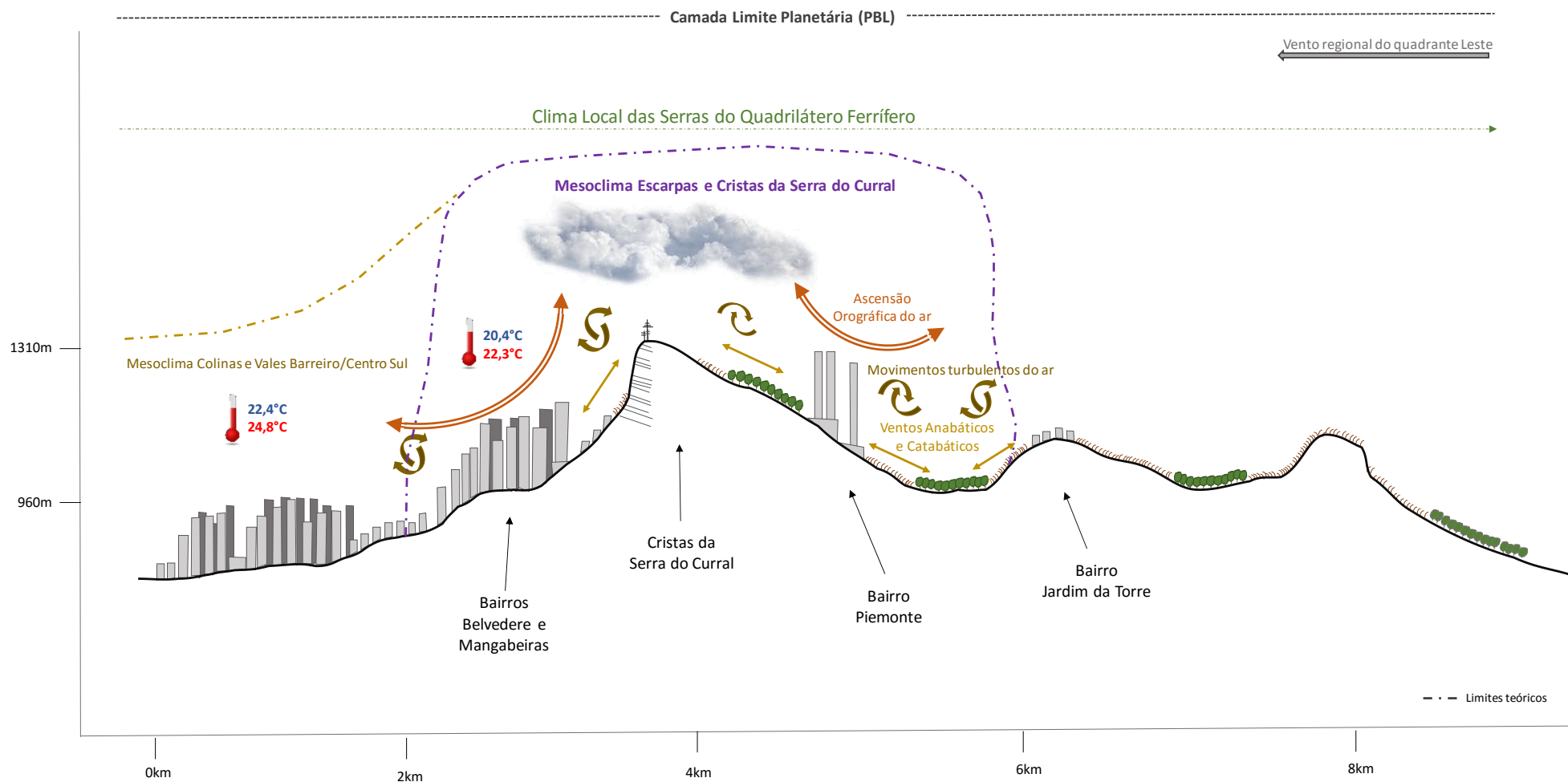


FIGURA 67: Ilustração dos fatores de influência mesoclimática na área de estudo. Elaboração: Lilian Machado, 2016.

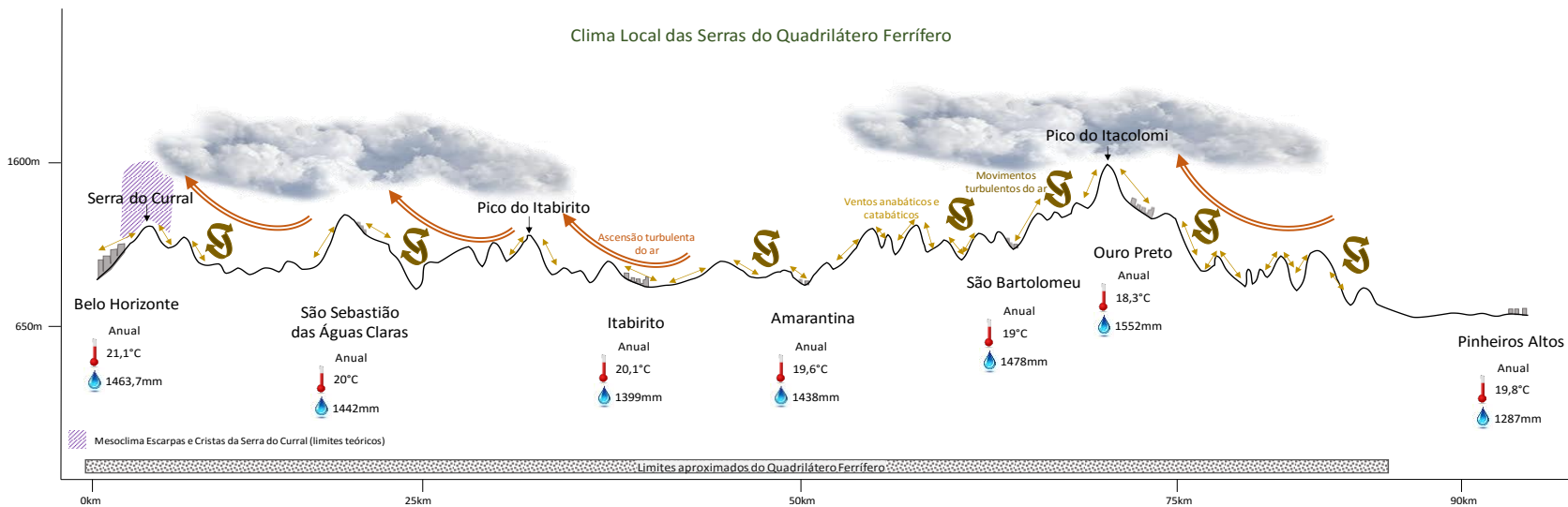


FIGURA 68: Ilustração dos fatores de influência do clima local das Serras do Quadrilátero Ferrífero. Elaboração: Lilian Machado, 2016.

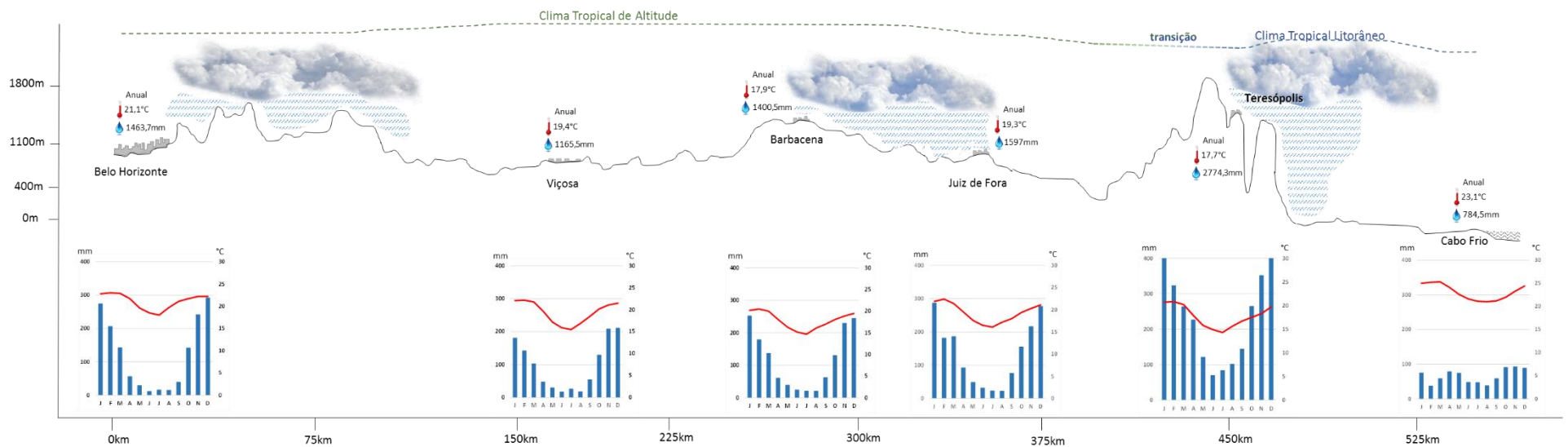


FIGURA 69: Ilustração dos fatores de influência do clima regional Tropical de Altitude. Elaboração: Lilian Machado, 2016.

5.2 Unidades Topoclimáticas

As unidades topoclimáticas definidas são apresentadas na figura 70 e na tabela 29. Ressalta-se que as características e processos topoclimáticos descritos a seguir se configuram sob a predominância de condições de estabilidade atmosférica conferida pela atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

A unidade T-I compreende áreas topograficamente mais baixas (960 a 1080 metros aproximadamente), bem arborizadas e no entorno dos cursos d'água da região. Nesta unidade a média térmica foi a mais baixa, variando de 19,1°C a 20,5°C, e a média de umidade relativa do ar foi a mais alta, variando de 69,4% a 71,9%.

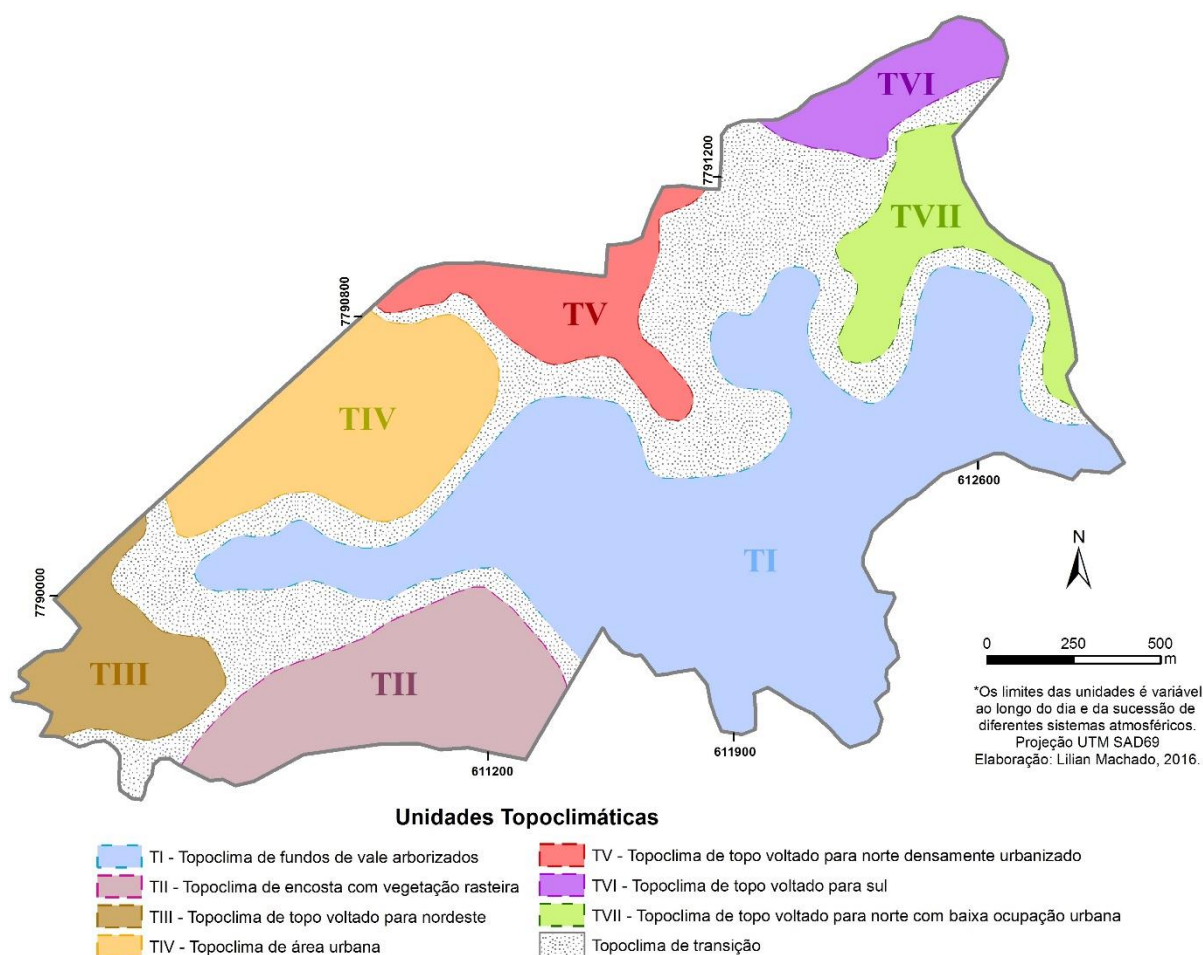


FIGURA 70: Unidades topoclimáticas.

TABELA 29: Características das unidades topoclimáticas

	Unidade	Altitude (metros)	Uso e ocupação do solo	Vertentes	Temperatura	Umidade Relativa do Ar
T-I	Topoclíma de fundos de vale arborizados	960 a 1080	Florestas em estágio médio e inicial de regeneração e semiurbano florestal	Quadrante sul	19.1°C a 20.5°C	69.4% a 71.9%
T-II	Topoclíma de encosta com vegetação rasteira	1025 a 1130	Campo cerrado e semiurbano campestre	Quadrante norte	20.5°C a 20.9°C	67.8% a 69.5%
T-III	Topoclíma de topo voltado para nordeste	1150 a 1250	Urbano com edificações comerciais e residenciais entre 3 e 25 pavimentos	Nordeste	20.6°C a 20.9°C	65.4% a 66.4%
T-IV	Topoclíma de área urbana	1060 a 1160	Urbano com edificações comerciais e residenciais de até 24 pavimentos	Quadrante sul	20.5°C a 20.9°C	66.4% a 69.5%
T-V	Topoclíma de topo voltado para norte e densamente urbanizado	1150 a 1200	Urbano com edificações residenciais de 20 a 27 pavimentos	Norte	20.9°C a 22.1°C	65.4% a 64.6%
T-VI	Topoclíma de topo voltado para sul	1150 a 1310	Urbano com edificações residenciais de 16 a 27 pavimentos	Sul	20.6°C a 20.9°C	65.4% a 66.4%
T-VII	Topoclíma de topo voltado para norte com ocupação urbana esparsa	1150 a 1200	Urbano com edificações residenciais esparsas	Quadrante norte	20.6°C a 20.9°C	66.4% a 67.8%

Elaboração: Lilian Machado, 2016.

Próximo da superfície a ventilação é reduzida pela vegetação arbórea. A camada do dossel é responsável pelo bloqueio da radiação solar, que chega, na maior parte, em forma de radiação difusa na camada dos troncos (FIG. 71). A orientação das vertentes, em sua maioria voltadas para o quadrante sul, condiciona menor quantidade de radiação incidida no topo do dossel. Assim, durante o dia a atmosfera abaixo da camada do dossel se mantém mais fresca do que nos arredores onde não há vegetação arbórea expressiva, já que a absorção de radiação de ondas curtas pela superfície é reduzida. A ocupação urbana nesta área, caracterizada pela distribuição esparsa de residências unifamiliares, não é suficiente para alterar as condições topoclimáticas de maneira a configurar um clima urbano. A absorção e emissão de radiação pelas superfícies asfálticas e de alvenaria nesta unidade correspondem a manifestações microclimáticas que são superadas pela resposta climática à densa arborização local.

À noite, a camada do dossel funciona como uma barreira à dissipação da radiação de ondas longas para a atmosfera, reemitindo-a para a superfície e desacelerando o arrefecimento térmico (FIG. 72). No entanto, este fator, que poderia favorecer a manutenção térmica ao longo da madrugada, tem seu efeito superado pelos resultados da dinâmica advectiva noturna. A unidade T-I está localizada em terrenos topograficamente rebaixados, no entorno de calhas fluviais. Os desníveis topográficos favorecem a drenagem de ar frio e úmido pelos ventos catabáticos para essas áreas ao longo da noite, tornando-a mais fria do que as demais unidades

topoclimáticas (FIG. 72). Em meses de outono-inverno, após noites frias e sem nebulosidade, a atmosfera resfriada nos fundos de vales favorece a inversão térmica comum a ambientes de vale no princípio da manhã. A umidade presente no ar é então condensada formando uma névoa espessa que é dissipada ao longo da manhã por mecanismos de circulação de vale-montanha e o aquecimento gradual da superfície.

A evatranspiração vegetal, assim como a proximidade a cursos d'água, condicionam atmosfera úmida no interior da camada de troncos que, na madrugada, atingiu médias entre 79,2% e 85% na unidade T-I. Além disso, quanto menor a temperatura do ar, menor é sua capacidade de retenção de vapor d'água (umidade absoluta) e maior será o percentual de umidade relativa. No entanto, em dias muito secos, mesmo tais características não são suficientes para elevar os índices de umidade no início da tarde para níveis ideais à saúde humana, embora ainda assim sejam estes os locais mais úmidos.

A unidade T-II compreende uma área de encosta voltada para norte com boa iluminação solar. A cobertura vegetal de gramíneas e arbustos favorece o aquecimento da superfície durante o dia e o rápido resfriamento durante a noite. A temperatura ficou em torno dos 21°C e a umidade relativa variou de 67,8% a 69,5%.

Durante o dia, a cobertura vegetal rasteira e a exposição da vertente, favorecem a absorção da radiação de ondas curtas e a emissão de ondas longas para a atmosfera, potencializando o aquecimento na área (FIG. 71). A evapotranspiração vegetal aporta umidade ao ar, embora, ao longo do dia, o aquecimento do ar reduza a capacidade atmosférica de retenção da umidade.

No início da noite a superfície emite para a atmosfera a radiação de ondas longas absorvida durante o dia (FIG. 72). Como não há interpostos entre a superfície e a abóbada celeste capazes de reter com eficiência a radiação terrestre, o calor é rapidamente dissipado, tornando o local um dos mais frios do período. O resfriamento do ar condiciona sua umidificação. O ar frio e úmido é, então, transportado por ventos catabáticos para as áreas mais rebaixadas, como os terrenos que abrangem a unidade T-I. A vegetação rasteira não oferece obstáculo ao escoamento atmosférico na baixa atmosfera, configurando uma área de boa ventilação natural.

DIA

CONTROLE CLIMÁTICO DINÂMICO REGIONAL

Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)

Tempo estável e céu limpo

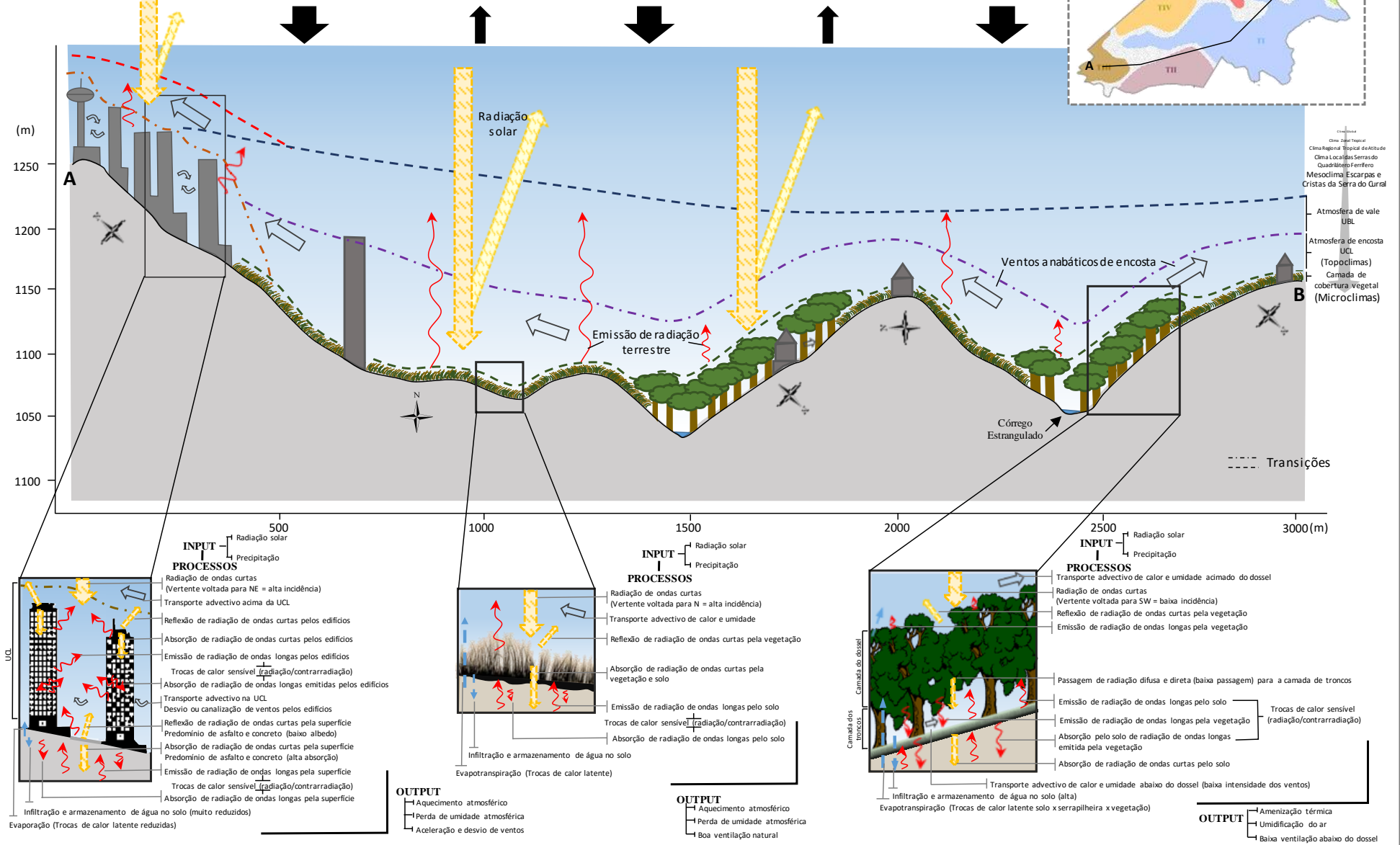


FIGURA 71: Síntese dos processos climáticos nas unidades T-I, T-II e T-III durante o dia. Elaboração: Lilian Machado, 2016.

NOITE

CONTROLE CLIMÁTICO DINÂMICO REGIONAL

Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)

Tempo estável e céu limpo

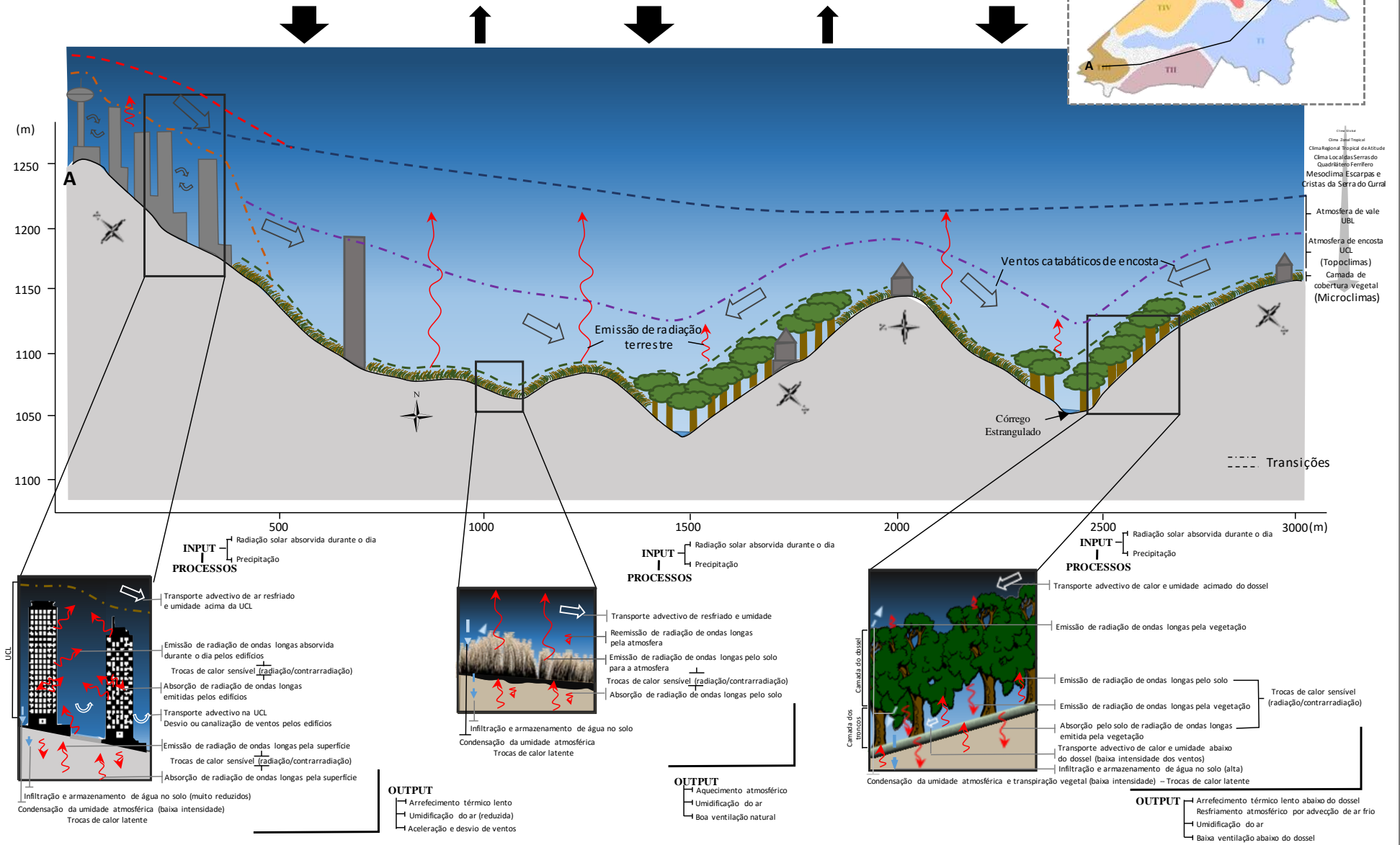


FIGURA 72: Síntese dos processos climáticos nas unidades T-I, T-II e T-III durante a noite. Elaboração: Lilian Machado, 2016.

Alguns edifícios de cerca de 30 pavimentos estão em construção na unidade T-II. No entanto, dada sua pontualidade e distância entre eles, não configuram atmosfera urbana nesta unidade.

A unidade T-III compreende um terreno elevado que varia de 1150 a 1250 metros de altitude, ocupado por edificações empresariais e multifamiliares de 3 a 24 pavimentos. A orientação das vertentes na área compreende o quadrante norte, com boa iluminação solar direta. A temperatura média ficou entre 20,6°C e 20,9°C. A umidade relativa média variou de 65,4% a 66,4%.

A boa iluminação solar da vertente ao longo do dia, principalmente à tarde, e as superfícies de asfalto e concreto potencializam a absorção de radiação de ondas curtas e a emissão de ondas longas no ambiente urbano para a atmosfera, aquecendo o ar e reduzindo os ganhos hídricos (FIG. 71). Durante a tarde, a média da umidade relativa do ar foi de 50%. Em função da altitude e da presença de uma área aberta gramada pertencente à Faculdade Milton Campos, a ventilação é boa. No entanto, os edifícios instalados a leste, sudeste e noroeste nesta unidade desviam os ventos.

Durante a noite, a radiação de ondas longas emitida pela superfície e pelos edifícios é gradualmente absorvida e reemitida entre eles retardando o arrefecimento térmico (FIG. 72). À medida que o ar se resfria, os ventos catabáticos o transporta para áreas de fundo de vale mantendo o ar mais aquecido e menos úmido do que em locais mais baixos.

A unidade T-IV compreende a maior parte do bairro Vila da Serra e um trecho ao norte do bairro Vale do Sereno (FIG. 70). Sua extensão é caracterizada pela presença de edifícios empresariais, comerciais e residenciais de até 24 pavimentos. A arborização das vias públicas é irrisória. Não há praças ou áreas de convívio social. A média da temperatura do ar variou de 20,5°C a 20,9°C e a da umidade relativa ficou entre 66,4% e 69,5%.

Embora seja o perímetro mais urbanizado e ocupado da área de estudo, esta unidade apresenta comportamento térmico e hídrico intermediário entre as áreas mais frias e úmidas e as mais quentes e secas. Em alguns períodos do dia, a disposição dos edifícios na malha urbana provoca o sombreamento da superfície reduzindo a absorção de radiação de ondas curtas e os ganhos térmicos nos locais sombreados. No entanto, o albedo diminuto das superfícies asfálticas e de concreto permite a absorção elevada da radiação de ondas curtas, e a emissão de ondas longas, favorecendo as trocas de calor latente na baixa atmosfera (FIG. 73).

Já durante a noite, a obstrução da abóbada celeste provocada pela proximidade das edificações torna o arrefecimento térmico lento, dada a troca de radiação de ondas longas que se configura entre as coberturas de asfalto e as superfícies de concreto (FIG. 74). Ainda assim, esta não é a unidade topoclimática mais aquecida neste período. Os fatores morfologia e orientação das vertentes superam a influência urbana quanto à configuração de áreas de atmosfera mais aquecida durante a noite na área de estudo.

O arranjo das edificações na malha urbana influencia o escoamento dos ventos na baixa atmosfera. Em locais cuja a orientação das ruas e dos edifícios em seus arredores obedece ao eixo SW-NE, foi observada aceleração e canalização dos ventos, além de movimentos turbulentos. Em outros locais, foi observado o desvio dos ventos que desciam a vertente ao longo da noite em função da presença dos edifícios

A unidade T-V está localizada em uma área de topo no bairro Vila da Serra, a qual compreende altimetrias que variam de 1150 a 1200 metros. Toda a área está ocupada por edificações de 20 a 27 pavimentos. A média térmica compreendeu o intervalo de 20,9°C a 22,1°C, enquanto a umidade relativa do ar variou de 65,4% a 64,6%.

Este local recebe radiação solar direta ao longo de quase todo o dia, o que, adicionado às superfícies de asfalto e concreto predominantes, potencializa os ganhos térmicos (FIG. 73). Ao longo do dia, a área consiste em um núcleo aquecido que se destaca dos demais, com média térmica que variou de 26,6°C a 30,3°C. Em função do aquecimento atmosférico e da escassez de fontes hígricas, o ar torna-se mais seco atingindo níveis médios de 43% durante a tarde. A baixa arborização das ruas aumenta o desconforto térmico para os transeuntes.

DIA

CONTROLE CLIMÁTICO DINÂMICO REGIONAL

Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)

Tempo estável e céu limpo

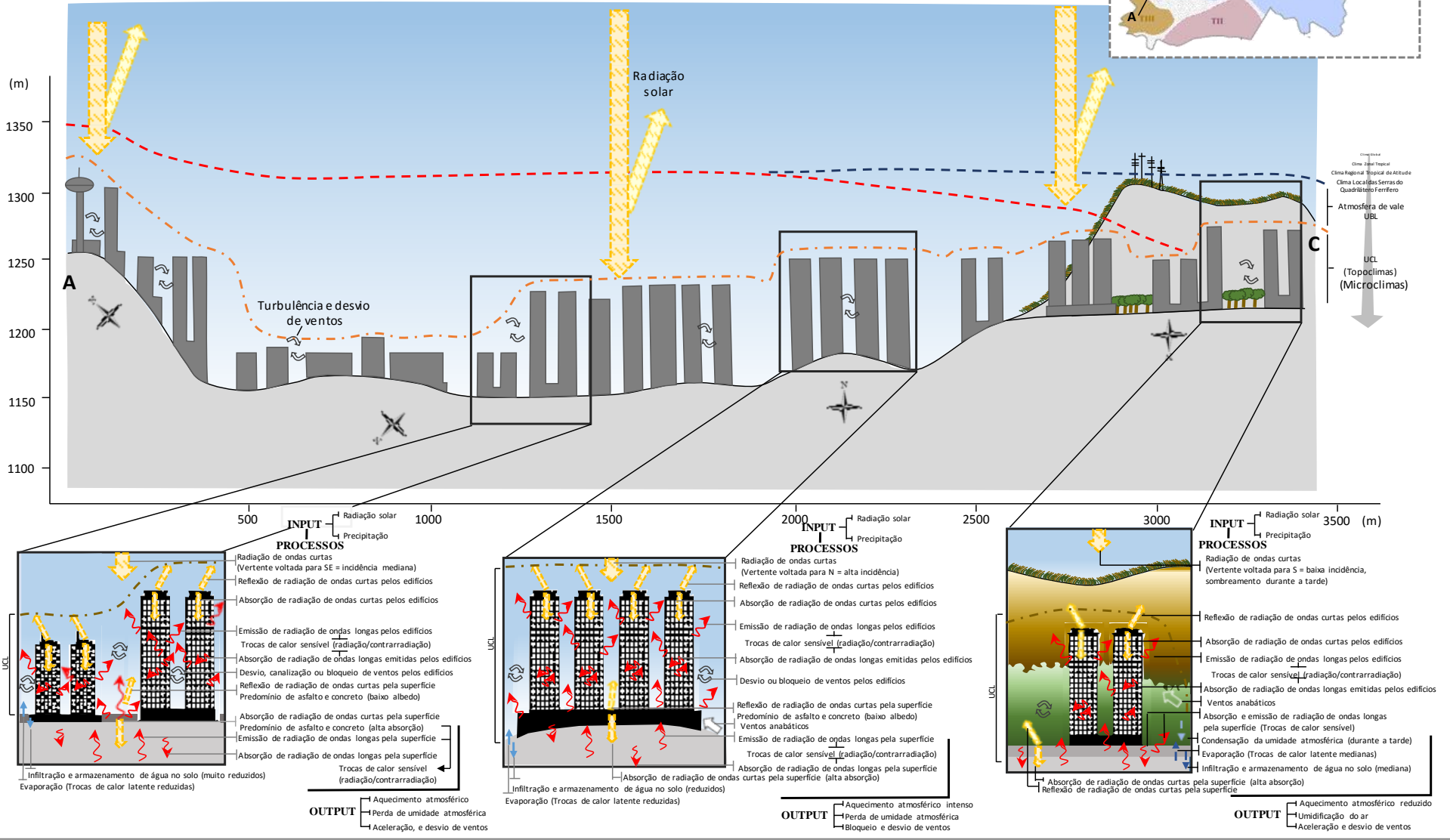
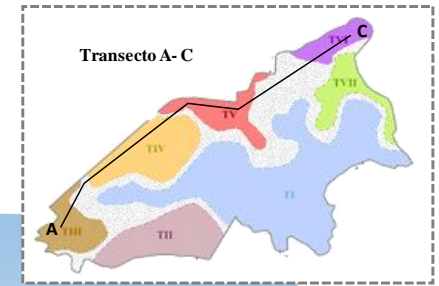


FIGURA 73: Síntese dos processos climáticos nas unidades T-IV, T-V e T-VI durante o dia. Elaboração: Lilian Machado, 2016.

NOITE

CONTROLE CLIMÁTICO DINÂMICO REGIONAL

Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)

Tempo estável e céu limpo

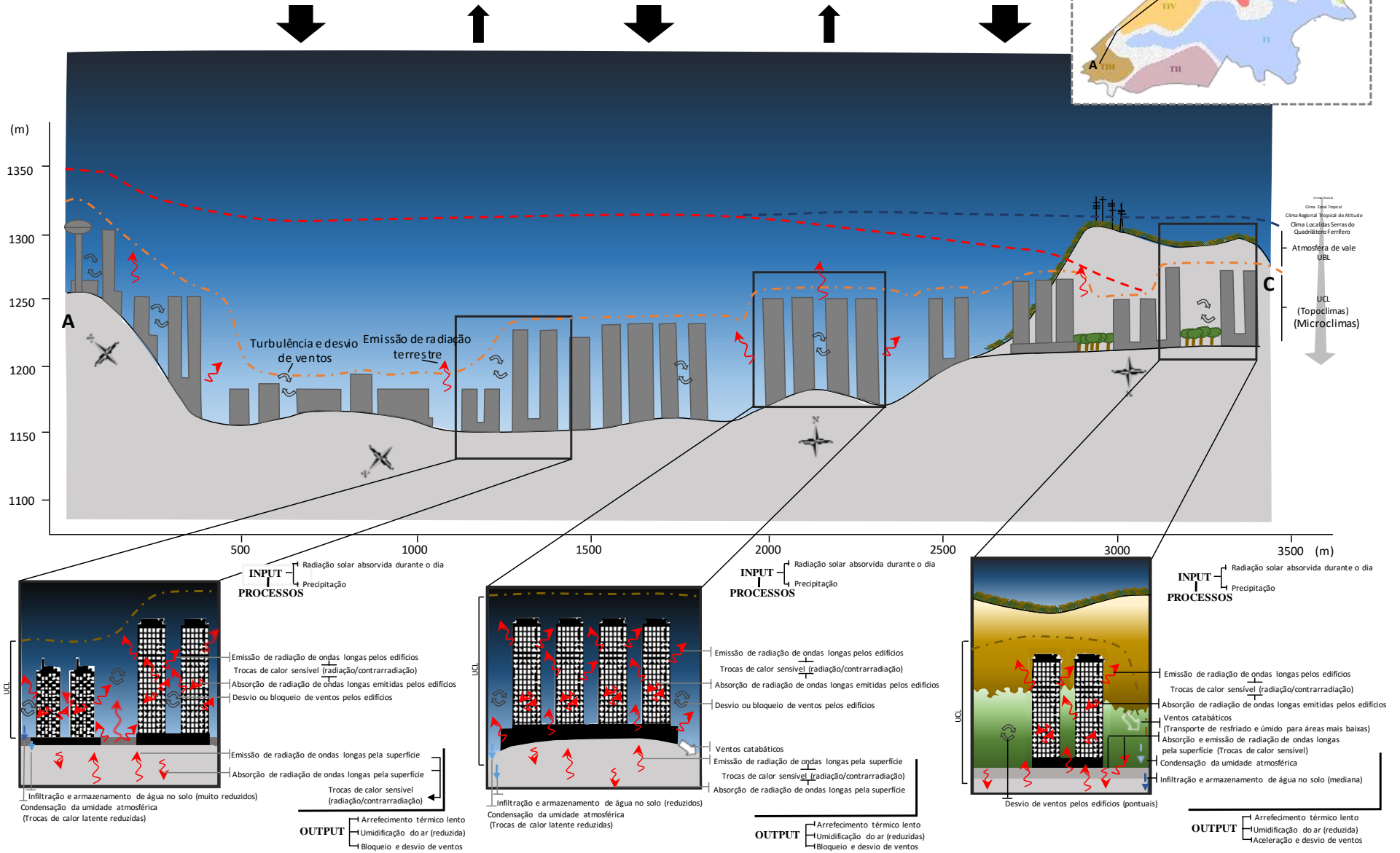
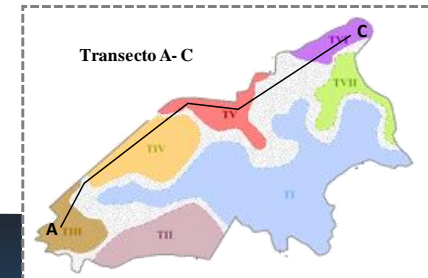


FIGURA 74: Síntese dos processos climáticos nas unidades T-VI, T-V e T-VI durante a noite. Elaboração: Lilian Machado, 2016

Durante a noite, a proximidade dos edifícios favorece a troca de radiação de ondas longas entre eles retardando a dissipação do calor na baixa atmosfera (FIG. 74). A ventilação no local é reduzida, sendo uma das áreas que registra a maior frequência de calmarias, o que diminui ainda mais a perda térmica, tornando esta unidade uma das mais aquecidas e mais secas ao longo da noite e madrugada. A média térmica noturna variou de 21,4°C a 21,7°C. A umidade ficou entre 45,5% e 50,1% no mesmo período. Na madrugada, a temperatura média caiu para uma faixa entre 17,5°C e 18,2°C, enquanto a umidade relativa média variou de 75% a 76,7%.

A unidade T-VI abrange uma área de topo com altimetrias que variam de 1150 a 1310m referentes aos cumes da Serra do Curral. A média térmica compreende valores entre 20,6°C e 20,9°C, com umidade relativa entre 65,4% e 66,4%, um comportamento médio semelhante ao da unidade T-III. No entanto, a dinâmica de variação dos elementos climáticos ao longo do dia e da noite discretiza esta unidade.

A vertente é iluminada pelos raios solares logo no início da manhã, sendo um dos primeiros locais a receber radiação solar direta, que permanece até por volta das 15 horas. Assim, durante a manhã o processo de absorção da radiação de ondas curtas e sua emissão sob a forma de ondas longas pela superfície é adiantada com relação aos demais locais, tornando esta unidade a mais quente do período matutino (média térmica entre 19,8°C a 20,2°C) (FIG. 73). Como resultado, a unidade T-VI foi a mais seca no período (umidade relativa entre 67,5% e 68,2%). Embora a unidade compreenda uma região vegetada, em vertentes de alto declive da Serra do Curral não ocupadas, os solos ali são rasos e a maior parte da vegetação rasteira, diminuindo a infiltração e o armazenamento de água no solo e reduzindo as fontes hígricas.

Já durante a tarde, com o fim da incidência da radiação direta no local e a boa ventilação natural, as temperaturas baixam significativamente, reduzindo a média térmica para uma faixa entre 23,9°C e 25,4°C. Neste período, esta é a unidade mais fria dentre as demais, superando, inclusive, a unidade T-I.

À noite, as condições de aquecimento se invertem. No início do período, o ar que se resfria é logo transportado por ventos catabáticos para as áreas rebaixadas mantendo a atmosfera local mais aquecida e seca que os fundos de vale. Ademais, a proximidade das edificações construídas na região pode retardar o arrefecimento térmico local, bem como causar efeitos de turbulência e desvio dos ventos (FIG. 74). Tanto à noite, quanto durante a madrugada, as médias térmicas e hígricas desta unidade são semelhantes à unidade T-V. Enquanto nesta última o adensamento

urbano é o principal responsável pela manutenção térmica local ao longo da noite, na unidade T-VI a topografia e morfologia do terreno são os principais fatores de manutenção das temperaturas na medida em que possibilitam o desenvolvimento dos ventos de encosta rumo aos fundos de vale.

A unidade T-VII está localizada em uma área de topo voltada para o quadrante norte em uma altitude que varia entre 1150 e 1120 metros, assim como a unidade T-V. A principal diferença entre elas consiste na ocupação urbana que, na unidade T-VII é incipiente e esparsa não tendo efeito intensificador sobre o comportamento térmico atmosférico no local, como foi observado em relação à T-V.

Ao longo do dia esta unidade apresenta comportamento próximo à unidade T-VI em relação às médias térmicas e hídricas. No entanto, recebe maior quantidade de radiação no período da tarde e ao longo do dia tornando-se mais aquecida neste período. Durante a noite e madrugada, sua altitude e forma influencia a formação de ventos catabáticos que tornam o local mais aquecido que os fundos de vale, como é observado nos demais topos na área de estudo.

Entre as unidades topoclimáticas definidas é perceptível um topoclima de transição, o qual adquire características distintas de acordo com sua variação espacial. As áreas de transição entre as unidades topoclimáticas se configuram em função do caráter contínuo do clima, que torna gradual a propagação dos efeitos superficiais sobre os elementos meteorológicos nas camadas inferiores da atmosfera.

As transições entre a unidade T-I/T-II e T-I/T-IV abrange um espaço curto. Isto porque a extensão da influência do topoclima T-I é reduzida, uma vez que as condições de sombreamento oferecidas pela vegetação se restringem às áreas de povoamento vegetal arbóreo, reduzindo a influência sobre o arrefecimento térmico atmosférico a seu entorno próximo. Por outro lado, as unidades T-II e T-IV apresentam características climáticas intrínsecas à topografia e ao uso e ocupação do solo. Como não há uma transição espacialmente longa entre as características superficiais desses topoclimas e a unidade T-I, a transição entre eles ocorre em um espaço reduzido.

Entre as unidades T-IV e T-V a ocupação urbana apresenta características semelhantes quanto à altura e espaçamento entre os edifícios. A transição entre esses topoclimas se relaciona com o relevo local, no qual se destaca uma área de topo onde se assenta a unidade T-V.

A transição entre as unidades T-I/T-V/T-VI acontece em um espaço maior por apresentar, este local, características mistas das três unidades. Há, ali: áreas de topo que não são tão aquecidas quanto a unidade T-V devido à baixa ou inexistente ocupação urbana; áreas arborizadas, porém reduzidas e isoladas; vegetação rasteira; e variações altimétricas significativas (1000 a 1170 metros, aproximadamente).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A motivação para a elaboração deste estudo surgiu da preocupação com o padrão de avanço urbano na área limítrofe entre os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima, nos bairros Vila da Serra, Vale do Sereno, Piemonte, Jardinaves e Jardim das Mangabeiras. O principal objetivo da pesquisa foi diagnosticar as respostas térmica, hídrica e anemométrica frente às características geoecológicas e de ocupação urbana dos bairros, em escala micro e topoclimática, procurando vincular as respostas obtidas nestes níveis à organização escalar em níveis superiores (mesoclimático e local).

A princípio levantou-se duas hipóteses. A primeira afirma que a conformação do relevo e a altimetria local são fatores que atenuam os ganhos térmicos no ambiente urbano. Observou-se que, sob atuação predominante do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), as áreas urbanas de maior altitude são, na verdade, as mais aquecidas já que estão, em sua maior parte, voltadas para norte, favorecendo o aquecimento no ambiente urbano. Portanto, neste caso, a orientação das vertentes supera o efeito atenuador esperado da altitude sobre o ambiente urbano, provocando núcleos de aquecimento nas áreas de topo ocupadas por edifícios. Nestes locais, durante a noite, a altitude e a condição de topo torna o ar mais aquecido em relação às áreas rebaixadas devido ao transporte do ar frio para os fundos de vale. Concomitantemente, a proximidade dos edifícios favorece a perda lenta da temperatura devido à redução do Fator de Visão do Céu. Assim, a verticalização em áreas de topo favorece o aquecimento local durante o dia e a noite.

Por outro lado, a conformação do relevo na área de estudo favorece a atenuação das temperaturas nos fundos de vale e vertentes voltadas para o quadrante sul. Nestes locais, a ocupação urbana é composta por edificações unifamiliares esparsas que não interferem o suficiente no comportamento atmosférico para gerar um topoclima urbano.

A segunda hipótese deste trabalho foi confirmada. As áreas mais adensadas e impermeabilizadas apresentaram menores índices médios de umidade do ar. Em contrapartida, sobre vertentes voltadas para norte e ocupadas por campo cerrado com urbanização incipiente, a iluminação solar direta no período da tarde eleva as temperaturas e reduz a umidade do ar em níveis semelhantes às áreas densamente urbanizadas. Já nos perímetros urbanos de baixa ocupação e lotes bem

arborizados, os elementos urbanos influenciam pouco a dinâmica hídrica atmosférica. Nessas áreas, a cobertura vegetal arbórea condiciona atmosfera amena e úmida.

A interação entre os fatores de superfície e os elementos climáticos apontou para a configuração de seis unidades topoclimáticas. Entre elas, identificou-se um topoclima de transição no qual se alternam combinações de elementos característicos das unidades topoclimáticas próximas, nos moldes do que define Sorre (2006, p. 91) como manchas limítrofes climáticas.

A principal distinção entre essas unidades foi a dinâmica de variação dos elementos climáticos ao longo dos períodos do dia. Ficou claro que o relevo ocupa função primária nas características dessas unidades, uma vez que a orientação das vertentes interfere na distribuição da radiação solar na superfície, determinando a resposta térmica diurna, enquanto a altitude, junto aos atributos de geomorfologia que configuram no período noturno a circulação catabática, influenciam na distribuição de calor na superfície no período noturno. Em experimentos realizados na Serra do Souza por Machado (2013), na Serra do Cipó por Machado *et al.* (2014), ambas em Minas Gerais, e no vale do rio Barcarena por Lopes (1995), em Portugal, foi observada a mesma relação entre relevos de topo e a manutenção de calor na atmosfera no período noturno, em comparação com os fundos de vale.

A cobertura vegetal e as características de ocupação urbana distinguem as intensidades de aquecimento ou resfriamento atmosférico. As áreas de fundo de vale, de altitude reduzida, são sombreadas durante parte do dia, o que as torna mais amenas do que os locais de altitude elevada. A predominância de vegetação de porte arbóreo nesses espaços potencializa o efeito topográfico, tornando-as as áreas mais frescas na região. Da mesma forma, a ocupação urbana densa e verticalizada em áreas de topo intensifica o aquecimento atmosférico, já favorecido pela condição topográfica desses locais. Nas áreas mais adensadas e verticalizadas, onde se configuram os topoclimas IV e V, foram observadas as maiores temperaturas mínimas, efeito produzido pelas características urbanas no entorno.

No que diz respeito à influência das áreas arborizadas sobre a temperatura do ar abaixo da camada do dossel, esperava-se observar um efeito térmico atenuador durante o dia e a retenção de calor sob o dossel ao longo da noite, conforme observaram Oke (1978), Baumüller *et al.* (1997), Machado *et al.* (2014). Durante o dia, foi observada a atenuação térmica sob a camada de dossel. Porém, a superfície arborizada está concentrada no entorno de talvegues nos fundos de vale e áreas mais

rebaixadas do relevo, destino para o qual flui o ar resfriado e denso que desce as encostas durante a noite. Logo, o ar frio transportado pelos ventos catabáticos se acumula nesses locais, tornando-os mais frios que os demais no período noturno.

Durante a realização dos experimentos de campo, as temperaturas médias na região Sudeste do Brasil apresentaram valores acima da média, em função da configuração do fenômeno El Niño-Oscilação Sul. A anomalia térmica foi favorecida pela permanência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre o continente proporcionando baixa nebulosidade e aquecimento pronunciado da superfície continental. Na área de estudo, a atuação prolongada do ASAS resultou na queda acentuada da umidade relativa do ar a níveis críticos para a saúde humana nos dias mais quentes e secos. Nestas ocasiões, mesmo as áreas arborizadas apresentaram índices absolutos baixos, próximos dos 20%, embora a média diária tenha alcançado os 60% de umidade relativa do ar.

Sob o aspecto climático, esta pesquisa buscou contribuir com o entendimento das interações superfície-atmosfera e a conexão entre diferentes níveis escalares do clima. Foi observado que, a nível micro e topoclimático, a resposta climática às características superficiais está intimamente atrelada aos aspectos geoecológicos e ao padrão de ocupação urbana da região. A resposta atmosférica nesses níveis, no entanto, é mutável conforme se alternam os sistemas atmosféricos regionais.

A atuação do ASAS, o qual permaneceu sobre o continente durante a maior parte dos experimentos de campo, permitiu amplitudes térmicas pronunciadas entre os locais de arranjos geoecológicos distintos na área de estudo. Sua predominância definiu a configuração das unidades topoclimáticas observadas.

Já sob atuação de sistemas sinóticos instáveis, como as Linhas de Instabilidade (LI) e Frentes Frias (FF), as temperaturas variaram pouco entre os pontos amostrais, com diferença média de 1,4C entre o local mais frio e o mais aquecido, embora se manteve o núcleo de aquecimento na unidade T-V. A mesma resposta se obteve sob a permanência do Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul (APAS), embora as médias de temperatura do ar nesse caso tenham sido as mais baixas, por volta dos 15/16°C.

No que diz respeito à metodologia desenvolvida para elaboração do mapa de unidades topoclimáticas, o uso da análise multicritérios permitiu investigar matematicamente possíveis unidades climáticas, integrando um método estatístico à

análise qualitativa do clima. Esta técnica foi útil na medida em que permitiu enxergar padrões superficiais que determinaram respostas climáticas de uma maneira integradora, proporcionando maior fundamentação à visão do pesquisador na delimitação das unidades.

Por outro lado, os resultados da análise multicritério gera ruídos típicos da estrutura de entrada matricial dos dados, havendo a necessidade da intervenção do pesquisador na delimitação dos limites das unidades. Outro limite a esta técnica consiste na definição das variáveis envolvidas na diferenciação das unidades climáticas e os pesos atribuídos a cada uma delas. Nesse aspecto é necessário o conhecimento prévio do pesquisador a respeito da área por meio de um diagnóstico que norteie a definição destes valores. Assim, esta técnica apresenta um potencial de replicação para outras áreas, desde que haja o cuidado do pesquisador em elaborar um diagnóstico que permite definir as principais características da superfície envolvidas nos climas estudados e sua hierarquia na definição de tais climas. Cabe ressaltar que as unidades topoclimáticas delimitadas servem como artifício analítico das características climáticas observadas na área de estudo, sendo os limites apresentados variáveis ao longo do dia e conforme a alternância dos sistemas atmosféricos.

Uma discussão importante a se considerar a respeito da ocupação urbana e a resposta do ambiente natural a esta, é a balança entre qualidade de vida e qualidade ambiental. O discurso do mercado imobiliário relativo aos bairros Vila da Serra, Vale do Sereno e arredores é voltado, sobretudo, para as vantagens locais em relação à paisagem local. A natureza “preservada” da região, anunciada nas propagandas imobiliárias, induz a ideia de um estilo de vida privilegiado, que congrega o sossego e o contato com a natureza à comodidade de uma localização próxima à capital mineira e a importantes centros comerciais e empresariais. É certo que uma habitação construída em meio a floresta preservada, em total harmonia com a natureza, sem as facilidades que o asfalto e a luz elétrica garantem, não resultam em qualidade de vida desejável, embora seja inegável a garantia da qualidade ambiental. Seria utopia almejar a construção de cidades de importância metropolitana que não interferissem nas relações ambientais “naturais”¹⁵.

¹⁵ Entenda-se por relações naturais aquelas que se conservam entre os aspectos geoecológicos da superfície, sem que haja modificações bruscas nesses aspectos induzidas pelo homem, apesar do mesmo ser parte da natureza.

A esse respeito, Monteiro (2001a e b) apresenta um diagrama de relações de derivação da natureza e exploração dos recursos básicos pela sociedade em um processo evolutivo que assegure a otimização do sistema (ANEXO C). Nesse esquema, quanto maior é o rendimento econômico, menor é a qualidade ambiental, na medida em que os recursos básicos da sociedade, retirados da natureza, são explorados em favor do ganho econômico. No entanto, se as relações natureza/sociedade forem vistas como um sistema aberto, singular, complexo, evolutivo e auto regulável, como sugere Monteiro (2001a e b), pode-se estabelecer um limiar entre a exploração dos recursos básicos e a garantia desses para o futuro, em um processo diacrônico que garanta a manutenção da qualidade ambiental simultânea à qualidade de vida (ANEXO C).

Durante o processo histórico de ocupação dos bairros Vila da Serra e Vale do Sereno, a visão de mercado evoluiu em direção ao pensamento progressista, expandindo os empreendimentos sobre o espaço, inclusive verticalmente. À princípio, uma ocupação que seria de baixa verticalização no Vila da Serra e unifamiliar no Vale do Sereno, foi substituída por uma opção de maior rentabilidade econômica. Contraditoriamente, as características geocológicas da área apresentam baixo suporte para esta perspectiva de ocupação urbana. No entanto, os mesmos que vendem a qualidade de vida e a paisagem preservada, exploram e suprimem os recursos locais no objetivo de oferecer um produto que, temporalmente, caso se mantenha os atuais processos de derivação da natureza local, podem se esgotar.

A velocidade de transformação na região da área de estudo ultrapassa a capacidade de intervenção das organizações sociais nas decisões públicas, que, por vezes, correm em processos mascarados, para evitar o confronto com as organizações locais. Da data de realização dos experimentos de campo (09/2015) até a atual data (08/2016), projetos importantes foram aprovados e iniciados na região. Dentre eles, destacam-se dois: a construção do edifício Concordia (TUPINAMBÁS, 2015); e a terraplanagem do futuro bairro Bellagio (JORNAL DO BELVEDERE, 2015).

O edifício Concórdia será uma construção inovadora com relação ao número de pavimentos previstos, um total de 43 andares que somam 170 metros de altura. As obras começaram este ano e tem previsão de serem concluídas em 2017 (TUPINAMBÁS, 2015). O edifício será construído na Alameda Oscar Niemeyer, antiga Alameda da Serra, numa área que atualmente conserva um uso e ocupação do solo de edifícios de no máximo 15 pavimentos. Do ponto de vista topoclimático, a

construção que se destaca em altura, pode não interferir na delimitação das unidades topoclimáticas locais, mas trazer interferências no microclima em seu entorno devido ao sombreamento da superfície e a supressão de vegetação na área. Sob a ótica urbana, além do impacto visual, a possível sobrecarga no trânsito de veículos local é vista com preocupação pelos moradores dos bairros, já que somente este edifício contará com 30 pisos comerciais, quatro lofts e oito pavimentos de estacionamento, resultando em um aporte de veículos significativo (TUPINAMBÁS, 2015).

A construção do bairro Bellagio se iniciou este ano, com obras de terraplanagem para implantação de vias urbanas. O loteamento contará com 28 lotes para construção de edifícios comerciais e residenciais. A construção de 16 torres já está prevista, as quais totalizam 480 apartamentos. Os empreendedores afirmam que o projeto do novo bairro compreende diretrizes sustentáveis e priorizará a arborização de ruas, vias largas, e a manutenção das áreas de preservação permanentes (APP's) adjacentes aos cursos d'água próximos ao empreendimento (JORNAL DO BELVEDERE, 2015). As obras iniciaram-se em um contexto conturbado, já que os moradores dos bairros vizinhos não tiveram conhecimento prévio da aprovação e licenciamento da obra nos órgãos municipais e estaduais, vindo com desconfiança e preocupação o avanço das máquinas na região (JORNAL DO BELVEDERE, 2015). Recentemente, as obras foram embargadas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, que suspendeu a autorização ambiental para o loteamento Bellagio sob orientação do Ministério Público de Minas Gerais (MPMG). O órgão alega que o empreendimento, antes considerado de baixo impacto, precisa passar por um licenciamento ambiental completo, devido ao seu potencial de adensamento e às características ambientais da região (MIRANDA, 2016).

A expansão urbana na direção leste da área de estudo, representada pelo bairro Bellagio, além da ocupação do Jardim da Torre por edifícios previstos para serem instalados após o fim das obras de arruamento realizadas na região pela PHV Engenharia (ROSCOE, s.d.), pode trazer consequências ambientais para além das climáticas. Ao todo há previsão de construção de 276 edifícios nos próximos anos nos bairros Vale do Sereno, Jardinaves, Jardim das Mangabeiras e Jardim da Torre, um aumento de 20.700 unidades habitacionais (ROSCOE, s.d.), e um salto de fluxo médio de 19.800 veículos por hora na atualidade, para 21.800 (TUPINAMBÁS, 2015).

A ETE Vila da Serra, projetada para uma vazão média de 25 litros por segundo, já apresenta picos de 56 litros por segundo, atualmente. Caminhando-se

próximo às drenagens locais, é perceptível a ejeção de dejetos nas águas, feita irregularmente. O próprio Bellaggio tem projetos de edifícios próximos à ETE.

A leste está a RPPN Mata do Jambreiro, no limite com os bairros Piemonte e Jardim das Mangabeiras. Seria necessário, ali, a delimitação de uma faixa de amortecimento que garantisse a preservação de espécies na reserva. A passagem de animais da reserva para a área urbana é uma possibilidade em vista da proximidade que haverá entre elas, o que pode resultar em atropelamentos e morte de espécimes da fauna nativa. Ademais, a verticalização próxima ao cume da Serra do Curral atrapalha a percepção do sítio paisagístico, garantida por lei nos próprios planos de zoneamento do município (NOVA LIMA, 2007).

É importante a análise do aspecto da interação social nos bairros e sua perspectiva futura. Apesar de haver uma organização entre os moradores empenhada pela preservação dos espaços naturais locais e da possibilidade de uso das trilhas da região como área de lazer, não há nos bairros da área de estudo praças ou parques para o convívio social. As ruas não apresentam arborização e, em alguns locais, nem mesmo passeio para os pedestres. Não há áreas destinadas a caminhadas ou atividades físicas ao ar livre, para além das academias confinadas nos edifícios de alto padrão. Para o pedestre, Zyngier (2012) ainda aponta uma característica urbanística da região que torna a caminhada pelas ruas dos bairros uma atividade monótona que é o fechamento das áreas de garagem e a formação de paredões cegos, que podem desestimular o uso do espaço público urbano.

Considerando-se as possíveis resultantes da concretização dos planos de expansão urbana do bairro Vila da Serra e arredores, tanto no que diz respeito aos impactos climáticos, quanto aos demais impactos ambientais e sociais, é recomendável que os estudos de revisão do Plano Diretor Municipal considerem a manutenção das áreas verdes existentes, as quais consistem em locais de produção de ar fresco e proteção dos córregos. A arborização das ruas pode trazer maior conforto térmico aos transeuntes nas áreas de concentração de calor, como no entorno das unidades T-III, TIV e T-V. Concomitantemente, parques e praças públicas podem favorecer a ventilação natural, além de proporcionarem o uso recreativo do espaço público e o convívio social. A mata ciliar ainda preservada na região, as encostas ocupadas por cerrado, os cursos d'água locais, e os cumes de áreas mais elevadas ainda não ocupados, são características que tornam a criação de trilhas ecológicas e parques lineares um potencial para a região.

As superfícies de relevo de topo devem ser preservadas de construções verticais para se evitar a conformação de núcleos de calor nesses locais. É recomendável a ocupação das áreas de atual uso e ocupação do solo semiurbano campestre e semiurbano florestal por unidades habitacionais unifamiliares ou de baixa verticalização, mantendo-se lotes que permitam uma distância entre elas que favoreça a ventilação natural. No entanto, dada a atual conjuntura de interesses entre governo municipal e mercado imobiliário na região, sabe-se que a realidade futura está mais próxima da ocupação verticalizada. Neste caso, sendo inevitável a modificação radical desses planos, as torres devem possuir gabaritos variados entre si, que favoreçam a ventilação ao nível do pedestre como sugere Romero (2000), em lotes amplos com taxa de ocupação menor, que permitam a menor supressão possível da vegetação.

Os resultados obtidos nesta pesquisa, apontam para a necessidade de revisão dos planos de expansão urbana na área de estudo. Vilela (2007) elaborou um estudo preditivo que constatou o aumento das temperaturas e queda da umidade relativa do ar nas áreas de adensamento, considerando-se a ocupação máxima dos bairros Vila da Serra e Vale do Sereno permitida pela legislação à época. Sob a perspectiva atual de expansão da região, tais efeitos podem ser potencializados, além dos impactos citados, relacionadas ao trânsito, supressão da vegetação, mudanças na paisagem e à capacidade de suporte de carga de efluentes dos córregos locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H. O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa, v. 50, n. 80, p. 67-91, 2005.

ASSIS, W. L. *O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial*. 2010, 299 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

_____, 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*, v.9, n.2, p.38-55, 2013.

_____. Influência dos núcleos de aquecimento nos totais pluviométricos: análise dos períodos chuvosos de 2011-2012 e 2012-2013 no município de Belo Horizonte (MG). *Geografias*. Ed. Especial. Ano 2015. 66-79p.

ASSOCIAÇÃO DO VILA DA SERRA E VALE DO SERENO - AVS. Portal virtual da Associação dos bairros Vila da Serra e Vale do Sereno. *História do bairro*. 2009. Disponível em: <<http://www.associacaoavs.com.br/historico>>. Acesso em: agosto de 2013.

AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. 3ª.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, Brasil, 1991. 332 p.

BAUMÜLLER, J; HOFFMAN, U; REUTER, U. *Cartilha urbanística do clima - Sequência 2*. Tradução de Francisco Assis Gonçalves da Silva. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1997. 194p.

_____. *Klimaatlas Region Stuttgart*. Verband Region Stuttgart, Stuttgart, 168p., 2008.

_____. *Climate booklet for urban development: indications for urban land-use planning*. Ministry of Economy Baden-Wuerttemberg (Wirtschaftsministerium), Environmental Protection Department (Amt für Umweltschutz). 275p, 2012.

BELO HORIZONTE. *Lei N.º 5.488*, de 28 de dezembro de 1988. Dispõe sobre a Lei de Uso e Ocupação do Solo, e dá outras providências. Belo Horizonte, 28 de dezembro de 1988.

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: *Anais... XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Belo Horizonte, Minas Gerais, p. 1741-1748, 2003.

CARMO, A. M. R.; SOUZA, A. H.; ALBERTO, F. L. A.; MEDEIROS, A. L.; JARDIM, C. H. Influência do sombreamento dos edifícios na variação dos elementos climáticos no interior de canyons urbanos em Belo Horizonte - MG. In: *Anais eletrônicos...IV Simpósio Internacional de Climatologia*, João Pessoa, Paraíba, p. 1-5, 2011.

CARMO, A. M. R. *Sucessão e encadeamento de tipos de tempo e repercussão espacial da temperatura e umidade do ar em Belo Horizonte e municípios limítrofes*

no período entre 26/10/2012 e 25/11/2012. 2013, 85f. Monografia (Bacharelado em Geografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

CAVALCANTI, I. F.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463p.

CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS - CGE. Sítio virtual do Centro de Gerenciamento de Emergências. *Contém informações sobre os índices de umidade relativa do ar saudáveis à população*. s.d. Disponível em: <<http://www.cgesp.org/v3/umidade-relativa-do-ar.jsp>>. Acesso em: dezembro de 2015.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC. *Boletim Climanalise: boletim de monitoramento e análise climática*. Vol. 12, nº 09, setembro de 1997. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0997/index.html>>. Acesso em: novembro de 2015.

Boletim técnico: Análise sinótica de 17/08/2015 a 29/09/2015. 2015a. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/noticias/faces/noticias.jsp?idConsulta=&idQuadros=142>>. Acesso em: novembro de 2015.

Sítio virtual do CPTEC. *Contém informações sobre o fenômeno El Niño - oscilação Sul*. 2015b. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: novembro de 2015.

CLIMATE-DATA. Sítio virtual Climate-Data. *Dados climáticos para cidades mundiais*. S.d. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: maio de 2016.

CONTI, J. B. *As escalas do clima*. Apostila do curso de Geografia. Departamento de Geografia-Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 5p., 1995.

COSTA, G.M.; PACHECO, P.D. Planejamento urbano no ambiente metropolitano: o caso do município de Nova Lima na Região Metropolitana de Belo Horizonte. In: COSTA, H. S. de M. (Org.). *Novas Periferias Metropolitanas: a expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no eixo Sul*. Belo Horizonte, C/Arte, 2006.

CRAVEIRO, C. A produção do espaço do espaço das Seis Pistas como nova centralidade periférica no espaço metropolitano Belo-Horizontino. *Caderno de Geografia*, Belo Horizonte, v. 15, n. 24, p. 68-77. 2005.

DAVIS, E. G.; PINTO, E. J. A.; PINTO, M. C. F. Hidrologia. In: *Projeto APA Sul RMBH: estudos do meio físico*, Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. 192 p.

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, abr./jun. 2003.

ENGENHARIA E PLANEJAMENTO E OBRAS - EPO. Sítio virtual da EPO. *Projeto de revitalização urbana do bairro Vale do Sereno*. s. d. Disponível em: <<https://epo.com.br/empreendimentos/vale-do-sereno/>>. Acesso em: abril de 2015.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE -ESRI. Informações de ferramentas embutidas no software ArcGis 10.1. s.d.

FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO – FIP. *Estudos preliminares para regulamentação de área de diretrizes especiais: loteamentos Vila da Serra, Vale do Sereno, Jardim das Mangabeiras, Jardim da Torre, Jardinares e entorno*. Nova Lima, 23 de julho de 2014, 76f.

GRAWE, D.; THOMPSON, H. L.; SALMOND, J. A.; CAI, X.; SCHLUNZEN, HK. H. Modelling the impact of urbanisation on regional climate in the Greater London. *Internacional Journal of Climatology*, v. 33, p. 2388-2401, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. IBGE - Diretoria de Geodésia e Cartografia. *Carta topográfica folha Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil*. Minas Gerais, 1979. Carta topográfica. Escala: 1:50.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Cidades@: Minas Gerais*, Nova Lima. Atualizado em 2010. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: maio de 2013.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Base cartográfica digital em formato shapefile contendo a rede hidrográfica do Estado de Minas Gerais*. Escala 1:50.000. s.d. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/1312-hidrografia>>. Acesso em: abril de 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET: *Normais Climatológicas - Brasil de 1961 a 1990*. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária – Departamento Nacional de Meteorologia.

_____. Sítio virtual do INMET. *Normais Climatológicas – Dados climatológicos da estação meteorológica de Belo Horizonte – Pampulha de 17/08/2015 a 29/09/2015*. 2015b. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: setembro de 2015.

_____. Sítio virtual do INMET. *Contém informações sobre a metodologia utilizada pelo órgão para o estabelecimento do balanço hídrico climático*. s.d. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/agro.html>>. Acesso em: novembro de 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Imagens de satélite TOPODATA, Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. *Folhas 19s 45_ e 20s45_*. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso em: abril de 2014.

JARDIM, C. H. *Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas*. 2007, 338f. Tese (Doutorado em Geografia)– Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, 2007.

JORNAL DO BELVEDERE. Lei altera verticalização em seis quadras. *Jornal do Belvedere*, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://jornaldobelvedere.com.br/portal/index.php/cotidiano/empreendimento/item/143-lei-altera-verticaliza%C3%A7%C3%A3o-em-seis-quadras>>. Acesso em: abril de 2015.

_____. Um novo bairro surge na região, o Bellagio. *Jornal do Belvedere*, Belo Horizonte, 26/10/2015. Disponível em: <<http://www.jornaldobelvedere.com.br/index.php/2016-04-13-16-28-18/empreendimento/item/3046-um-novo-bairro-surge-na-regiao-o-bellagio>>. Acesso em: junho de 2016.

KATZSCHNER, L. *Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment - Feasibility Study: Final Report Hong Kong*. School of Architecture, CUHK, China. 528p, 2008.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise comparativa entre modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: *Anais...Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba. p. 4003-4010, 2011.

LANDSBERG, H. E. O clima das cidades. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 18, p. 95-111. 2006.

LOMBARDO, M. A. *A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

LOPES, A. Drenagem e acumulação de ar frio em noites de arrefecimento radiativo. Um exemplo no vale de Barcarena (Oeiras). *Finisterra*, v. 30, n. 59-60, p. 149-164. 1995.

LUCAS, T. P. B. *Gênese e espacialidades das precipitações nas estações chuvosas de 2010/2011 e 2011/2012 em Belo Horizonte, Minas Gerais, e correlações com os impactos hidrológicos*. 2015. 300f. Tese (Doutorado em Geografia e Análise Ambiental): Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MACHADO, L. A. *Implicações da verticalização dos bairros Vila da Serra e Vale do Sereno (Nova Lima, MG) na circulação atmosférica local*. 2013, 144f. Monografia (Bacharelado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

_____, L. A.; GONCALVES, I. ; MAGALHAES, M. A. N. ; ASSIS, W. L. . Análise do comportamento térmico e hídrico em área do Parque Nacional da Serra do Cipó. In: *Anais... XI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*, Curitiba: UFPR, 2014. v. 1. p. 449-460.

MAGNANI, N. R. *Subjetivações em Nova Lima: (trans)formações de uma cidade operária em acelerado processo de metropolização*. 2009, 208 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2009.

MARENGO, J.; CORNEJO, A.; SATYAMURTY P.; NOBRE, C.; SEA, W. Cold surges in the tropical and extratropical South America - The strong event in June 1994. *Mon. Wea. Rev.*, 125:2759-2786, 1997.

MEDEIROS, A. *Introdução aos mapas de Kernel*. Sitio virtual Anderson Medeiros, consultor de geotecnologias, s.d. Disponível em: <<http://andersonmedeiros.com/mapas-de-kernel-parte-1/>>. Acesso em: novembro de 2015.

MEDINA, A. I. M.; DANTAS, M. E.; SAADI, A. Geomorfologia. In: *Projeto APA Sul RMBH: estudos do meio físico*, Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. 54 p.

MENDONÇA, R. S. R.; ASSIS, E. S. Conforto térmico urbano - estudo de caso do bairro Floresta - Belo Horizonte. In: *Anais...VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído*, São Pedro (SP), p. 1-8, 2001.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. *Climatologia noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.

MENEGALE, M. B. C. S. A. *Transformação territorial de um município de tradição mineradora: estudo de caso sobre a recente ocupação do norte de Nova Lima, circundante à Mata do Jambreiro*. 2002. 164 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA N°28*, de 7 de dezembro de 1994. Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no Alagoas. Publicado Diário Oficial, 7 de dezembro de 1994. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1994_028.pdf>. Acesso em: agosto de 2015.

MIRANDA, B. Semad cancela licença para novo bairro em Nova Lima. *Jornal O Tempo*, Belo Horizonte, 24/05/2016. Disponível: <<http://www.otempo.com.br/cidades/semad-cancela-licen%C3%A7a-para-novo-bairro-em-nova-lima-1.1304966>>. Acesso em: junho de 2016.

MONTEIRO, C. A. F. *Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho*. São Paulo, Série Climatologia Dinâmica I, USP-IG, 1971, 21p.

_____, C. A. F. *Teoria e clima urbano*. São Paulo: IG06-USP, 1976. (Série Teses e Monografias n. 25). 181p.

_____, C. A. F. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano - Estratégias na abordagem geográfica. *GEOSUL*, Florianópolis, v. 5, nº 9, p. 80-114. 1990a.

_____, C. A. F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. *GEOSUL*, Florianópolis, v. 5, nº 9, p. 61-79. 1990b.

_____, C. A. F. O estudo geográfico do clima. *Cadernos de Geografia*, Florianópolis, nº 1, p. 7-37. 1999.

_____, C. A. F. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. *RA'EGA*, Paraná, n. 5, p. 197-226, 2001a.

_____, C. A. F. *Geossistemas: História de uma procura*. São Paulo: Editora Contexto, 2001b. v. 01. 154p.

_____. *Teoria e clima urbano: Um projeto e seus caminhos*. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (orgs). *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, p.9-67, 2003.

MOREIRA, J. L. B. *Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno*. 2002. 186f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise

- Ambiental): Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 421p.
- NOVA LIMA. *Lei Nº 2007*, de 28 de agosto de 2007. Dispõe sobre Plano Diretor de Nova Lima, o sistema e o processo de planejamento e gestão do desenvolvimento urbano do Município e dá outras providências. Nova Lima, 28 de agosto de 2007.
- NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. 4ª ed. São Paulo: Blucher, Brasil, 2010. 387p.
- NUNEZ, M; OKE, T. R. The energy balance of an urban canyon. *Applied Meteorology*, v. 16, p. 11-19, 1977.
- OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat island. *Atmosphere*, British Columbia, nº 4, v. 14, p. 268-277, 1976.
- _____. *Boundary layer climates*. London: Methuem & Co. LTD, 1978. 372p.
- _____. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale and field observations. *Journal of Climatology*, v. 1, p. 237-254, 1981.
- _____. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. In: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZACION. *Instruments and observing methods: report nº81*. WMO/TD nº 1250. 2004.
- PIRES, C. T. P. *Evolução do processo de ocupação urbana do município de Nova Lima: um enfoque sobre a estrutura fundiária e a produção de loteamentos*. 340 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.
- REN, C.; YAN-YUNG, E; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies: a review. *International Journal of Climatology*, n. 31, p. 2213-2233, 2010.
- RIBEIRO, C. A. M. *Aplicação de técnicas de geoprocessamento para análises das relações entre o fator de visão do céu e as diferentes orientações da malha urbana*. 83 f. Monografia (Tecnólogo em Geoprocessamento) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, 2009.
- RIBEIRO, C. A. M.; CARVALHO, H. J. M; SANTOS, M. A. Metodologia para análise do sombreamento em centros urbanos. In: *Anais...III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife. Recife: p. 1 - 9, 2010.
- RODRIGUES, Maysa G. *Zona de fronteira: os limites da gestão urbana*. 2001. Dissertação de conclusão de curso - Curso de Mestrado em Ciências Sociais, Gestão de Cidades, PUC, Belo Horizonte, 2001.
- ROMERO, M. A. B. *Princípios Bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo Copy Market, 2000. 63p. Disponível em: <http://airesfernandes.weebly.com/uploads/5/1/6/5/5165255/principios_bioclimticos_para_o_desenho_urbano.pdf>. Acesso em: outubro de 2012.
- ROSCOE, R. *Novas áreas de expansão do Vila da Serra em Nova Lima*. Sítio virtual Ronaldo Corretor, Nova, Lima, s.d. Disponível em: <http://www.ronaldocorretor.com.br/vila_da_serra_na_planta.html>. Acesso em: junho de 2016.

SANTOS, F. *Baixa umidade do ar exige cuidados com a saúde, veja dicas*. *Sítio virtual Terra*. s.d. Disponível em: <<http://saude.terra.com.br/bem-estar/baixa-umidade-do-ar-exige-cuidados-com-a-saude-veja-dicas,54583f04c2f27310VgnCLD100000bbcceb0aRCRD.html>>. Acesso em: dezembro de 2015.

SORRE, M. Objeto e método da climatologia. *Revista do Departamento de Geografia USP*, São Paulo, nº 18, p. 89-94, 2006.

SOUZA, L. C. L. Relações entre ilhas de calor, geometria urbana e consumo de energia elétrica. *Fórum Patrimônio: ambiente construído e patrimônio sustentável*. Belo Horizonte, v. 4, n. 1, jan./jun. 2010a.

SOUZA, V. S. *Mapa climático da cidade de João Pessoa - PB*. 145f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Paraíba, 2010b.

TARIFA, J.R. Clima e organização do espaço. Bioclimotologia: A análise topo é microclimática e o trabalho de campo. In: *Curso de Geoecologia e Paisagismo*. São Paulo, 1981.

_____; ARMANI, G. Unidades climáticas da cidade de São Paulo: 1ª aproximação. *Atlas Ambiental do Município de São Paulo*, Fase I: Diagnósticos e bases para a definição de políticas públicas para as áreas verdes no município de São Paulo. Universidade Federal de São Paulo - USP, 86f. 2000.

TUPINAMBÁS, G. Construtoras anunciam o maior Edifício de Minas e moradores temem impactos. *Veja BH*, Belo Horizonte, 16/01/2015. Disponível em: <<http://vejabh.abril.com.br/materia/cidade/maior-edificio-minas-vale-serrano-concordia-corporate-alameda-serra>>. Acesso em: junho de 2016.

VASCONCELOS, F. C. W.; CORRÊA, A. S.; NEVES, A. L. B.; CARVALHO, C. P. D. S.; SALES, D. L. M.; PROTA, L. Ocupação do bairro Belvedere III: histórico e aspectos legais Belo Horizonte/Minas Gerais/Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, número Especial EGAL 2011 – Costa Rica, p. 1-15, 2011.

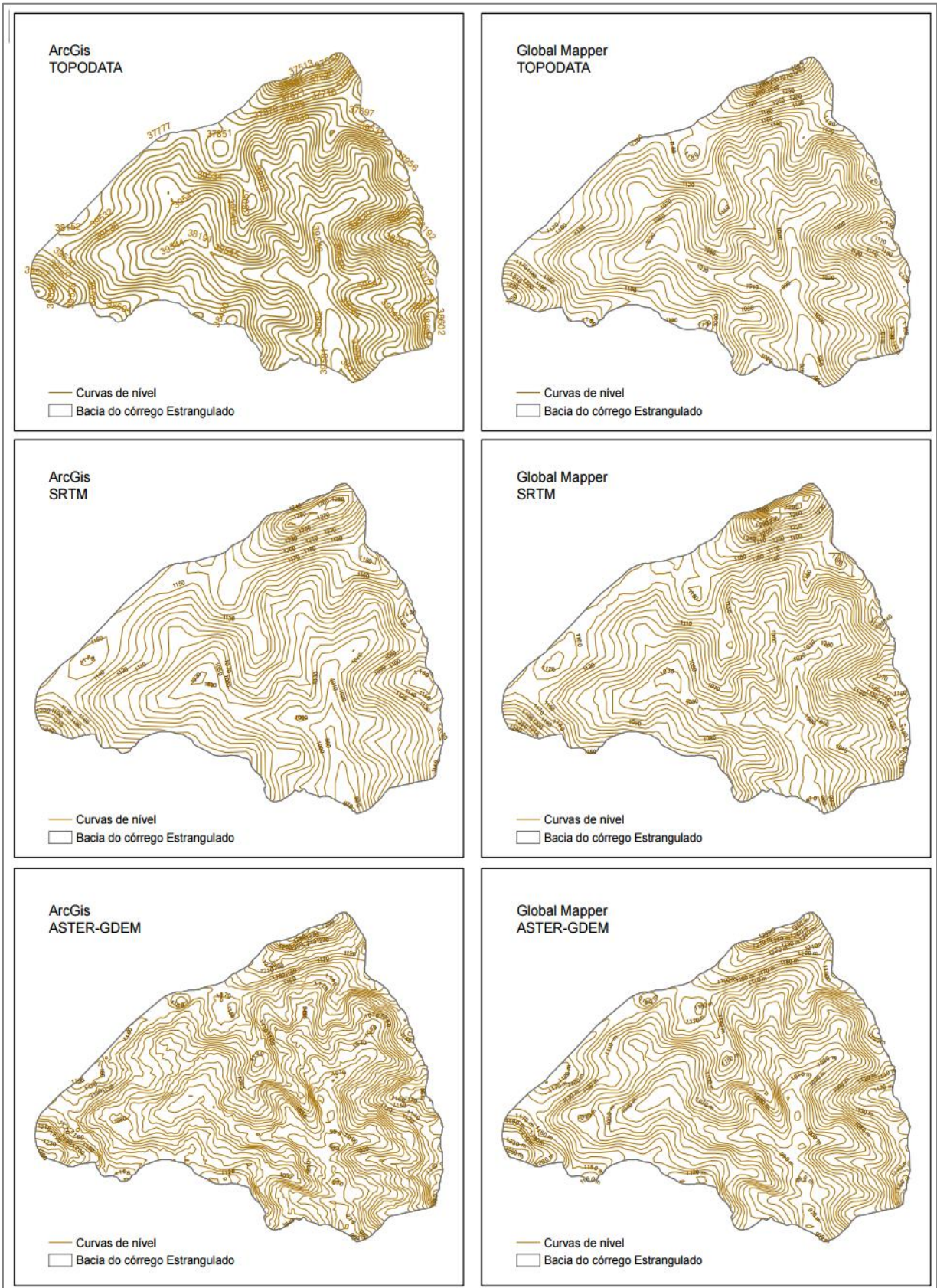
VILELA J. A. *Variáveis do clima urbano: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III*, Belo Horizonte, MG. 2007, 213f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

ZYNGIER, C. M. *Paisagens possíveis: geoprocessamento na análise da ação de agentes modelares das paisagens urbanas dos bairros Santa Lúcia e Vale do Sereno*. 2012, 297 f. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

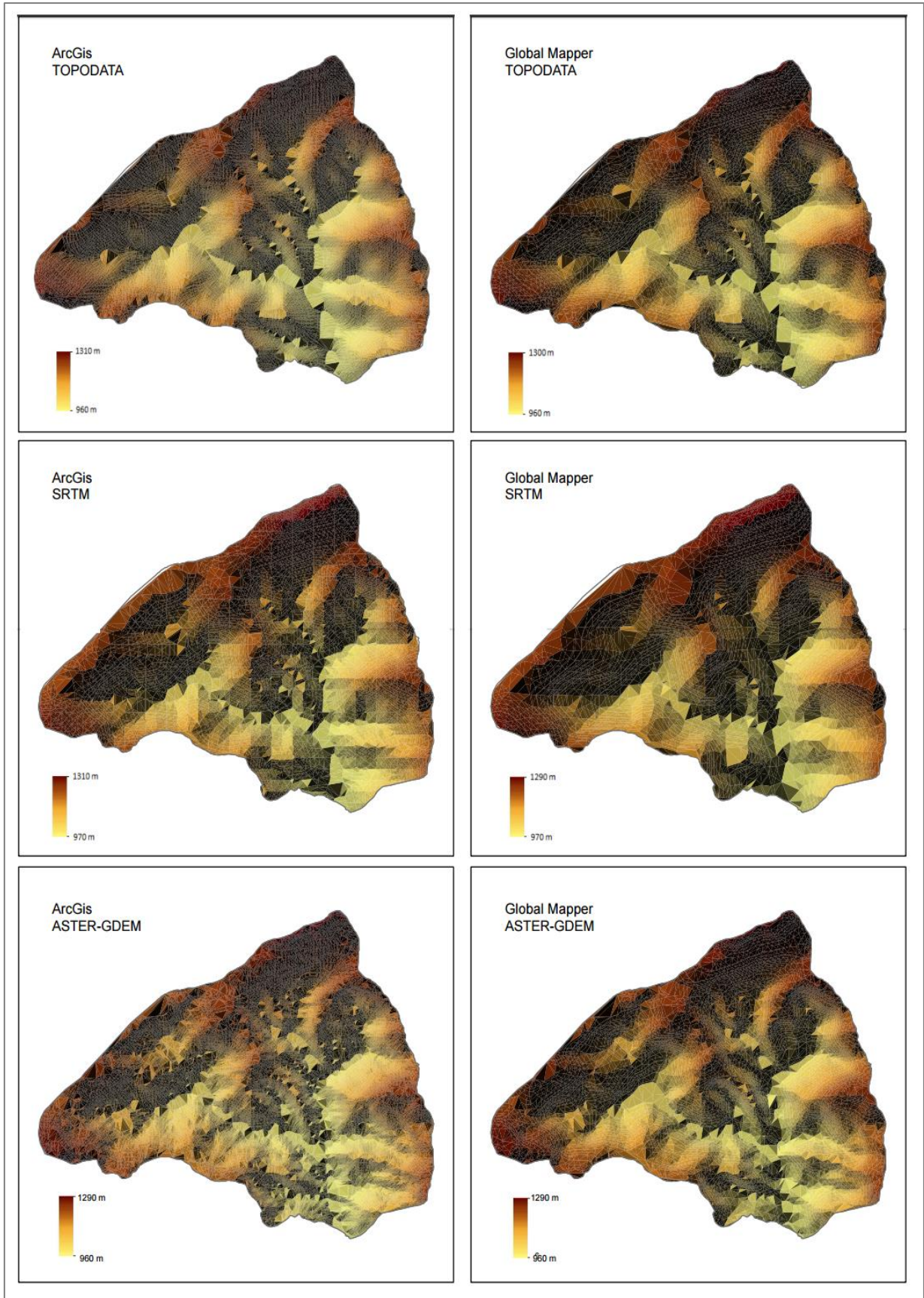
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. IBGE - Diretoria de Geodésia e Cartografia. *Carta topográfica folha Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil*. Minas Gerais, 1979. Carta topográfica. Escala: 1:50.000.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Teste de curvas de nível.



APÊNDICE B: Teste de modelos digitais de terreno.



APÊNDICE C - Dados de Aferição dos termohigrômetros dataloggers

Temperatura do Ar (°C) - Cálculo de $r e r^2$										
	T1 (x)	T2 (y)	x . y	x ²	y ²	y - \bar{y}	(y - \bar{y}) ²	?	(? - \bar{y})	(? - \bar{y}) ²
1	19.1	19.8	378.180	364.810	392.040	-4.547	20.676	19.271728	-5.0753308	25.75898257
2	20.1	20.4	410.040	404.010	416.160	-3.947	15.579	20.248858	-4.0982005	16.79524754
3	19.7	20.2	397.940	388.090	408.040	-4.147	17.198	19.858006	-4.4890526	20.1515935
4	19.1	19.6	374.360	364.810	384.160	-4.747	22.535	19.271728	-5.0753308	25.75898257
5	19.9	20.4	405.960	396.010	416.160	-3.947	15.579	20.053432	-4.2936266	18.43522918
6	20.8	21.6	449.280	432.640	466.560	-2.747	7.546	20.932849	-3.4142093	11.65682543
7	20.1	20.7	416.070	404.010	428.490	-3.647	13.301	20.248858	-4.0982005	16.79524754
8	20.5	21	430.500	420.250	441.000	-3.347	11.203	20.63971	-3.7073484	13.74443231
9	22.1	23.1	510.510	488.410	533.610	-1.247	1.555	22.203119	-2.14394	4.596478743
10	22.5	22.2	499.500	506.250	492.840	-2.147	4.610	22.593971	-1.7530879	3.073317187
11	22.7	23.2	526.640	515.290	538.240	-1.147	1.316	22.789397	-1.5576618	2.426310434
12	21.6	21.8	470.880	466.560	475.240	-2.547	6.488	21.714554	-2.6325051	6.930083283
13	22.9	23.2	531.280	524.410	538.240	-1.147	1.316	22.984823	-1.3622358	1.855686365
14	21.8	22.3	486.140	475.240	497.290	-2.047	4.190	21.90998	-2.4370791	5.939354455
15	21.5	21.8	468.700	462.250	475.240	-2.547	6.488	21.616841	-2.7302182	7.454091204
16	21.4	21.8	466.520	457.960	475.240	-2.547	6.488	21.519128	-2.8279312	7.997194796
?	335.8	343.1	7222.500	7071.000	7378.550		156.0666087			189.3690571
Média	20.98750000	21.44375000								

T1 = Termômetro do 5ºDISME/INMET $r = 0,997834$
 T2 = Termohigrômetro Datalogger

Umidade Relativa (%) - Cálculo de r					
	U1 (x)	U2 (y)	x . y	x ²	y ²
1	66	67	4422.000	4356.000	4489.000
2	60	64	3840.000	3600.000	4096.000
3	63	65	4095.000	3969.000	4225.000
4	66	67	4422.000	4356.000	4489.000
5	58	62	3596.000	3364.000	3844.000
6	54	58	3132.000	2916.000	3364.000
7	58	60	3480.000	3364.000	3600.000
8	56	60	3360.000	3136.000	3600.000
9	49	53	2597.000	2401.000	2809.000
10	43	54	2322.000	1849.000	2916.000
11	46	52	2392.000	2116.000	2704.000
12	49	57	2793.000	2401.000	3249.000
13	48	52	2496.000	2304.000	2704.000
14	47	53	2491.000	2209.000	2809.000
15	50	55	2750.000	2500.000	3025.000
16	44	55	2420.000	1936.000	3025.000
?	857	934	50608.000	46777.000	54948.000

U1 = Termômetro do 5ºDISME/INMET $r = 0,987582007143064$
 U2 = Termohigrômetro Datalogger

APÊNDICE D – Pontos amostrais – Campo 1

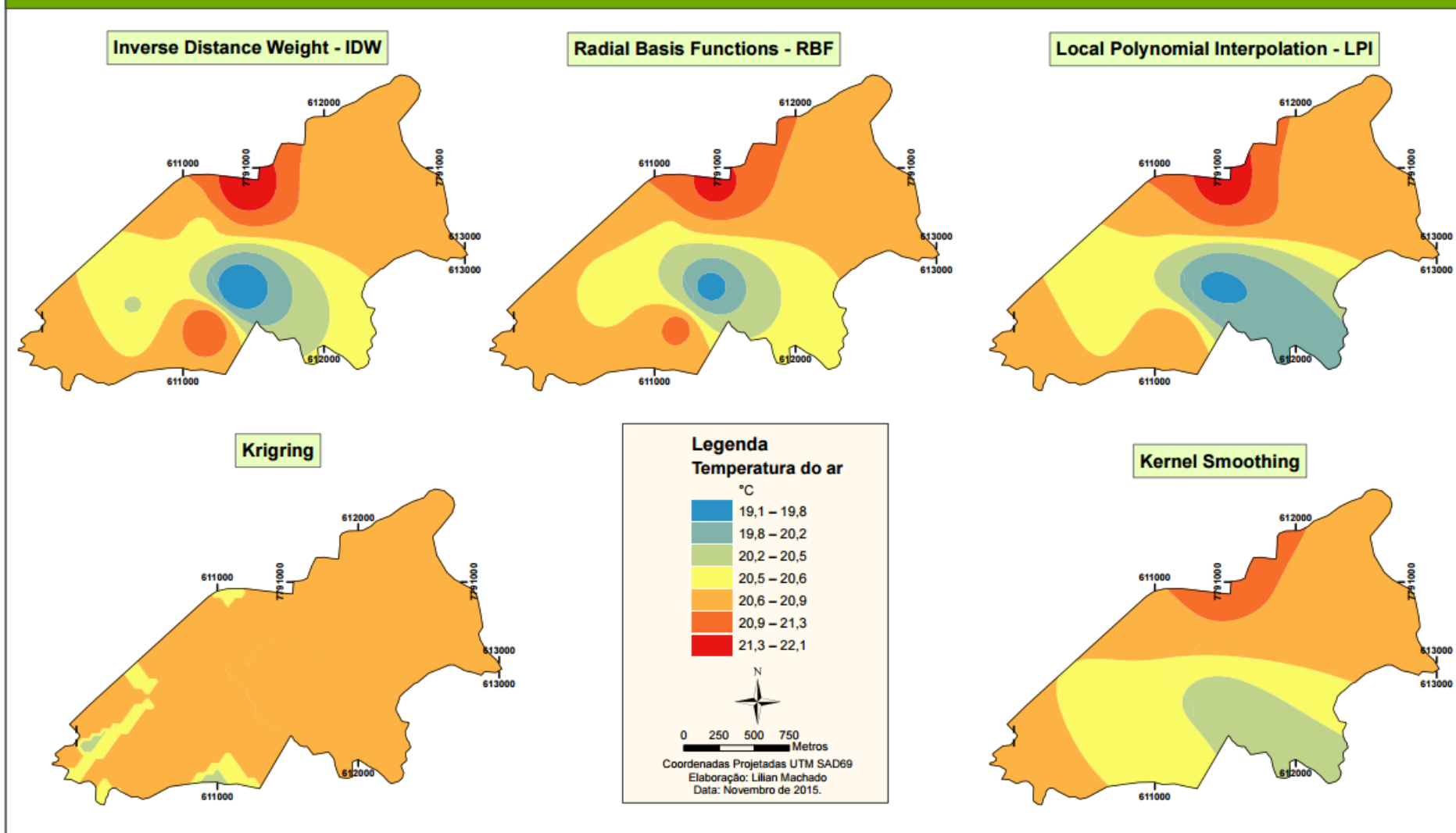
PTO	LOCALIZAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	FOTO	PTO	LOCALIZAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	FOTO
P1	Faculdade Milton Campos, Vila da Serra.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1194 metros. • Vegetação: Árvores isoladas de médio porte. • Uso do solo: Área urbanizada com residências unifamiliares e edifícios comerciais de até 10 pavimentos. • Orientação da vertente: NE. • Posição na vertente: Topo. 		P6	Alameda do Morro, 65, Vila da Serra, Residencial Grand Lider Olympus.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1189 metros. • Vegetação: Vegetação inexpressiva. Área pavimentada com poucas árvores isoladas em passeios e gramado no local de instalação do abrigo. • Uso do solo: Área urbanizada com edifícios residenciais e comerciais de até 27 pavimentos. • Orientação da vertente: NW • Posição na vertente: Topo. 	
P2	Rua Vinhático, 67, Vale do Sereno.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1107 metros. • Vegetação: Vegetação expressiva, com árvores médio e grande porte. • Uso do solo: Área urbanizada com residências unifamiliares com presença de quintais arborizados. • Orientação da vertente: SE. • Posição na vertente: Meia vertente. 		P7	Avenida de ligação, 857, Piemonte, Green Garden Residence Park.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1215 metros. • Vegetação: Na região transição entre vegetação típica de cerrado e mata atlântica. No local de instalação do abrigo, gramado e árvores isoladas. • Uso do solo: Área urbanizada com edifícios residenciais de até 25 pavimentos finalizados e em construção. • Orientação da vertente: SW. • Posição na vertente: Meia vertente. 	
P3	Alameda Flamboyant, 68, Vale do Sereno, Edifício Terra.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1078 metros. • Vegetação: Vegetação rasteira com arbustos. O local de instalação do abrigo consistia em uma área isolada com vegetação no canteiro de obras de um empreendimento da construtora EPO. • Uso do solo: Área urbanizada, com edificações em construção que atingem até 27 pavimentos. • Orientação da vertente: NW. • Posição na vertente: Meia vertente. 		P8	Escritório da PHV Engenharia, bairro Jardim da Torre.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1104 metros. • Vegetação: Vegetação rasteira com arbustos e árvores de pequeno porte. O abrigo foi instalado em uma varanda sem vegetação. • Uso do solo: A área passa por projeto de urbanização sendo asfaltada para recebimento de torres residenciais. Atualmente, ocupação de residências unifamiliares. • Orientação da vertente: SE. • Posição na vertente: Topo. 	
P4	Rua Vereda, 50, Vila da Serra, Residencial Metrôpole.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1117 metros. • Vegetação: Vegetação inexpressiva. Área pavimentada com poucas árvores isoladas em passeios e gramados. O abrigo foi instalado em um gramado próximo à área de lazer do residencial. • Uso do solo: Área urbanizada com edifícios residenciais de até 25 pavimentos. • Orientação da vertente: SE. • Posição na vertente: Meia vertente. 		P9	Rua Nossa Senhora de Fátima, 190, Jardimaves, Colégio Rudolf Steiner.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1045 metros. • Vegetação: Vegetação expressiva com árvores de grande porte típicas de mata atlântica. Área próxima a curso d'água com mata ciliar preservada. • Uso do solo: Residências unifamiliares e prédios comerciais de até dois pavimentos. • Orientação da vertente: W. • Posição na vertente: Baixa vertente. 	
P5	Avenida Oscar Niemeyer, 1100, Vila da Serra, Residencial Alameda.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1155 metros. • Vegetação: Vegetação inexpressiva. Área pavimentada com poucas árvores isoladas em passeios e gramado no local de instalação do abrigo. • Uso do solo: Área urbanizada com edifícios residenciais e comerciais de até 25 pavimentos. • Orientação da vertente: SE • Posição na vertente: Meia vertente. 		P10	Alameda do Ingá, 222, Valc do Sereno, Empresa Plansis.	<ul style="list-style-type: none"> • Altitude: 1148 metros. • Vegetação: Vegetação inexpressiva. Área pavimentada com poucas árvores isoladas em passeios e gramado no local de instalação do abrigo. • Uso do solo: Edifícios residenciais e comerciais de até 15 pavimentos. • Orientação da vertente: SE. • Posição na vertente: Meia vertente. 	

APÊNDICE E – Pontos amostrais – Campo 2

PTO	LOCALIZAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	FOTO	PTO	LOCALIZAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	FOTO
P1	O abrigo meteorológico do Ponto 1 permaneceu instalado no mesmo local durante a realização do campo 2.						
P2.1	Rua Vinhático, em frente ao número 63, Vale do Sereno.	<ul style="list-style-type: none"> Altitude: 1105 metros. Vegetação: Vegetação expressiva, com árvores médio e grande porte. Uso do solo: Área urbanizada com residências unifamiliares com presença de quintais arborizados. Orientação da vertente: SE. Posição na vertente: Meia vertente. 		P5.1	Avenida Oscar Niemeyer, em frente ao número 1021, Vila da Serra.	<ul style="list-style-type: none"> Altitude: 1173 metros. Vegetação: Vegetação inexpressiva. Área pavimentada com poucas árvores isoladas em passeios. O abrigo foi instalado em um passeio de concreto. Uso do solo: Área urbanizada com edifícios residenciais e comerciais de até 25 pavimentos. Orientação da vertente: S Posição na vertente: Topo. 	
P3.1	Alameda Flamboyant, em frente ao número 68, Vale do Sereno.	<ul style="list-style-type: none"> Altitude: 1098 metros. Vegetação: Vegetação rasteira com arbustos e fragmentos de vegetação densa com árvores de médio porte. O abrigo foi instalado em um passeio com solo exposto. Uso do solo: Área urbanizada, com edificações em construção que atingem até 27 pavimentos. Orientação da vertente: N. Posição na vertente: Meia vertente. 		P6.1	Alameda do Morro, Vila da Serra, rotatória em frente ao Residencial Grand Lider Olympus.	<ul style="list-style-type: none"> Altitude: 1175 metros. Vegetação: Vegetação inexpressiva. Área pavimentada com poucas árvores isoladas em passeios e gramado e arbustos no local de instalação do abrigo. Uso do solo: Área urbanizada com edifícios residenciais e comerciais de até 27 pavimentos. Orientação da vertente: W Posição na vertente: Topo. 	
P4.1	Rua Vereda, 50, Vila da Serra, ao lado da portaria do Residencial Metrópole.	<ul style="list-style-type: none"> Altitude: 1116 metros. Vegetação: Vegetação inexpressiva. Área pavimentada com poucas árvores isoladas em passeios e gramados. O abrigo foi instalado em um gramado próxima ao lado da portaria do residencial. Uso do solo: Área urbanizada com edifícios residenciais de até 25 pavimentos. Orientação da vertente: SW. Posição na vertente: Meia vertente. 		P7.1	Avenida de ligação, em frente ao número 857, Piemonte.	<ul style="list-style-type: none"> Altitude: 1207 metros. Vegetação: Na região transição entre vegetação típica de cerrado e mata atlântica. No local de instalação do abrigo, passeio de concreto com árvores isoladas. Uso do solo: Área urbanizada com edifícios residenciais de até 25 pavimentos finalizados e em construção. Orientação da vertente: SE. Posição na vertente: Meia vertente. 	

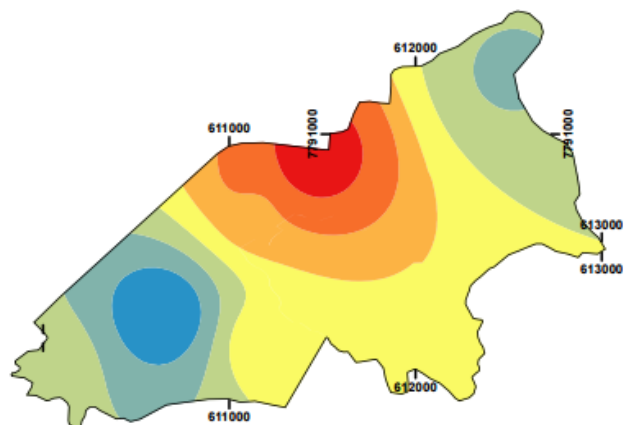
APÊNDICE F – Testes de interpolação das variáveis coletadas nos campos 1 e 2

TESTE DOS MODELOS DE INTERPOLAÇÃO PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÉDIA DO AR - CAMPO 1

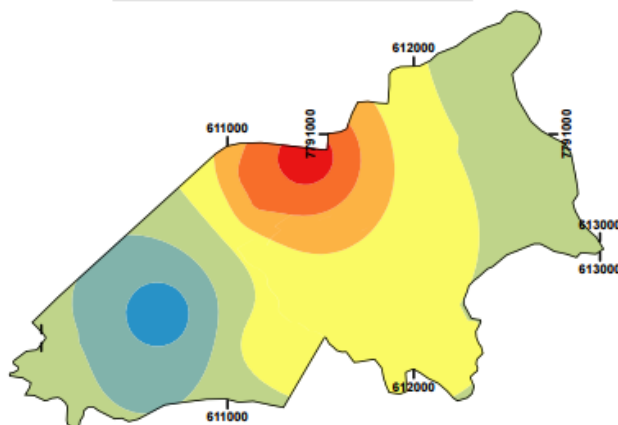


TESTE DOS MODELOS DE INTERPOLAÇÃO PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÉDIA DO AR - CAMPO 2

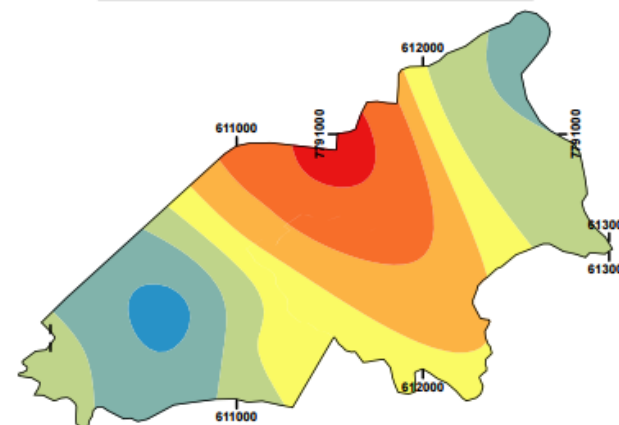
Inverse Distance Weight - IDW



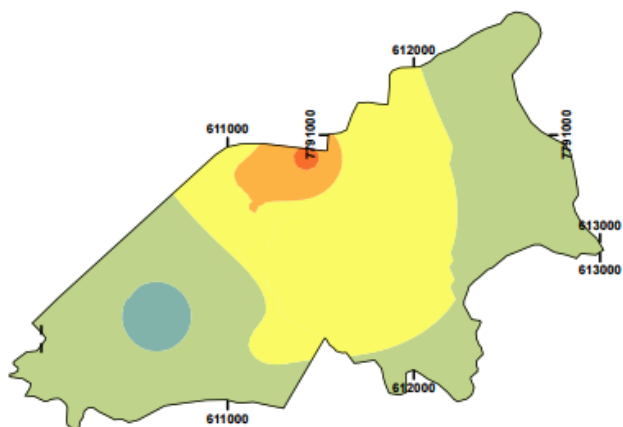
Radial Basis Functions - RBF



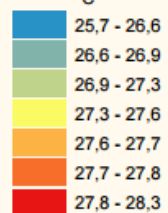
Local Polynomial Interpolation - LPI



Kriging



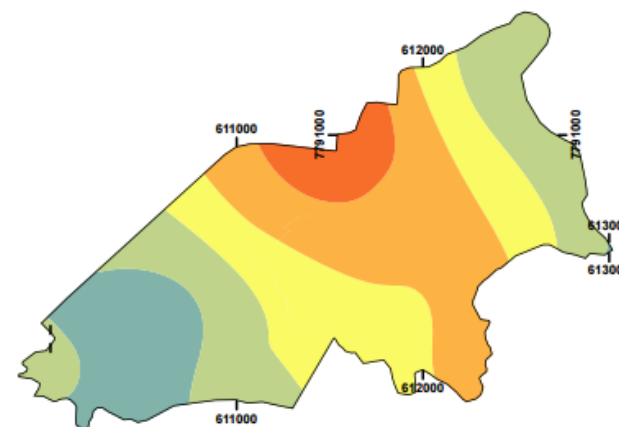
Legenda
Temperatura do ar
°C



0 250 500 750 Metros

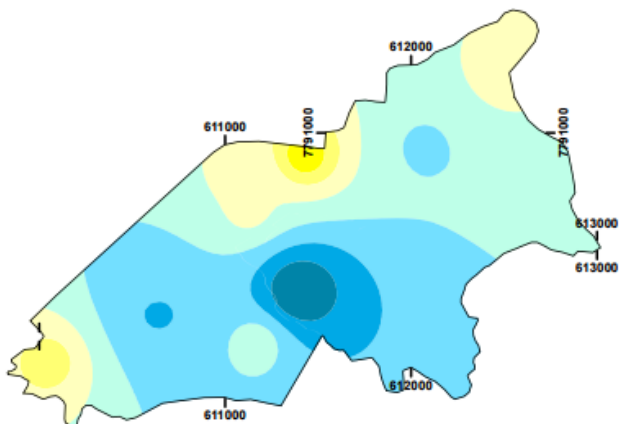
Coordenadas Projetadas UTM SAD69
Elaboração: Lilian Machado
Data: Novembro de 2015.

Kernel Smoothing

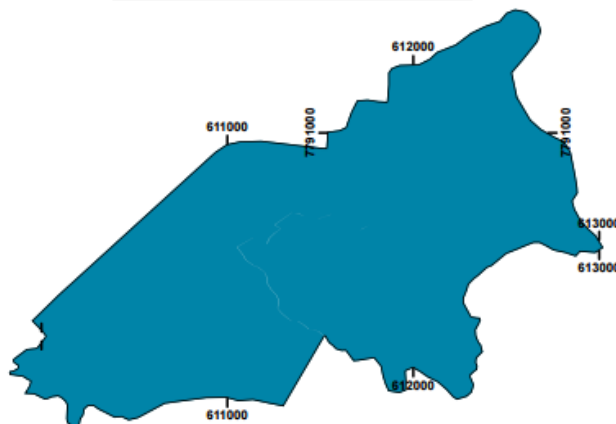


TESTE DOS MODELOS DE INTERPOLAÇÃO PARA A VARIÁVEL UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA - CAMPO

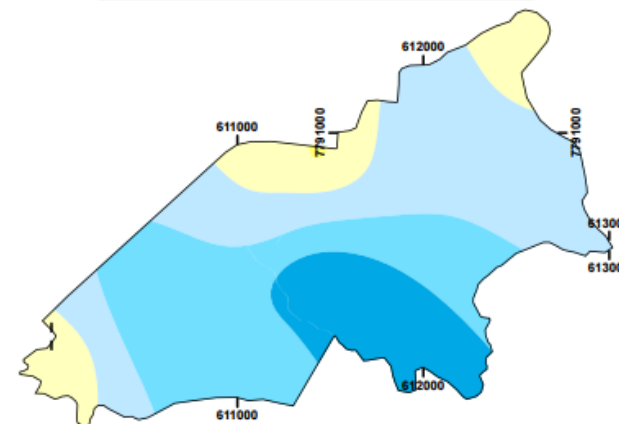
Inverse Distance Weight - IDW



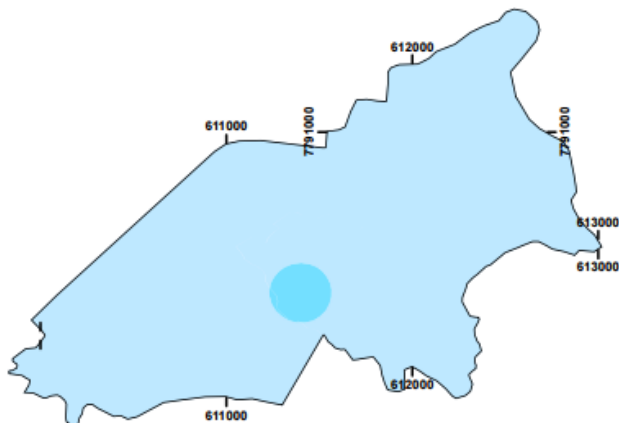
Radial Basis Functions - RBF



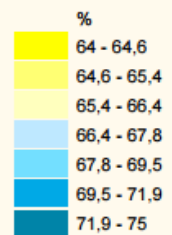
Local Polynomial Interpolation - LPI



Kriging



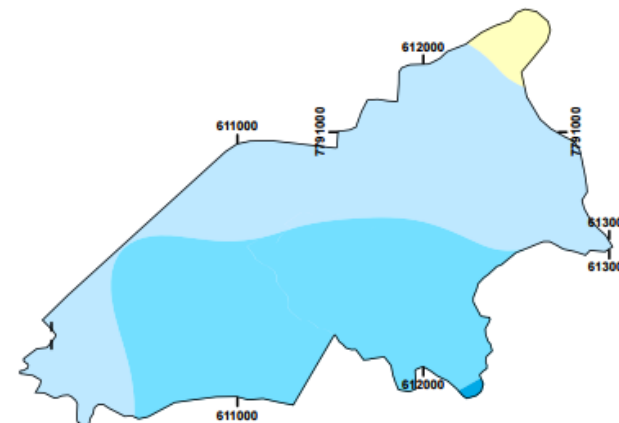
Legenda
Umidade relativa do ar



0 250 500 750 Metros

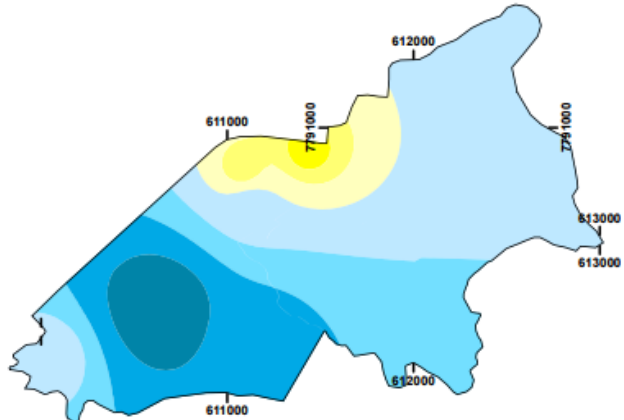
Coordenadas Projetadas UTM SAD69
Elaboração: Lilian Machado
Data: Novembro de 2015.

Kernel Smoothing

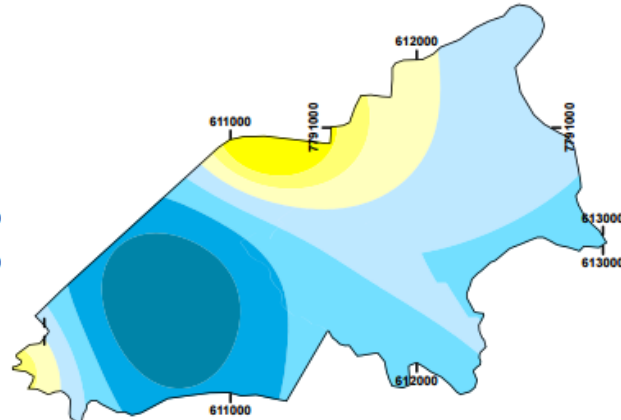


TESTE DOS MODELOS DE INTERPOLAÇÃO PARA A VARIÁVEL UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA - CAMPO 2

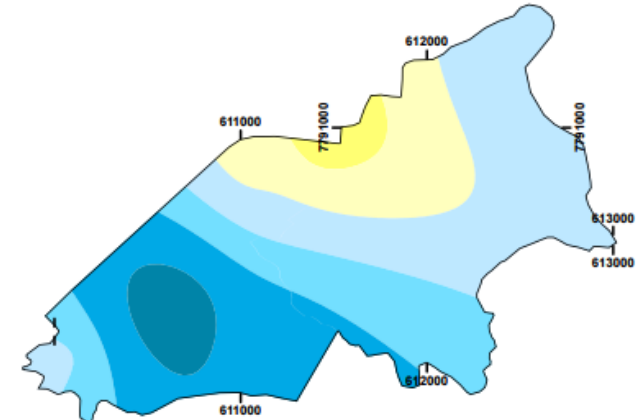
Inverse Distance Weight - IDW



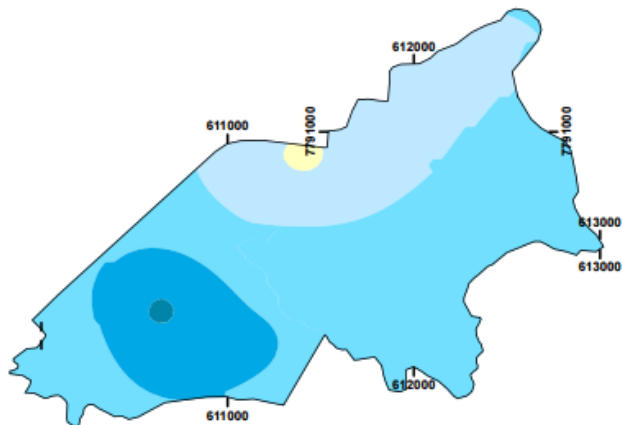
Radial Basis Functions - RBF



Local Polynomial Interpolation - LPI

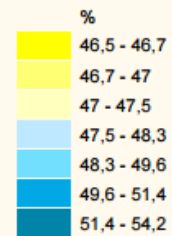


Kriging



Legenda

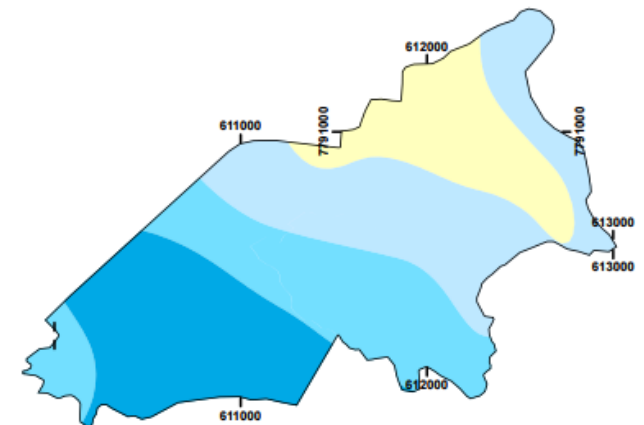
Umidade relativa do ar



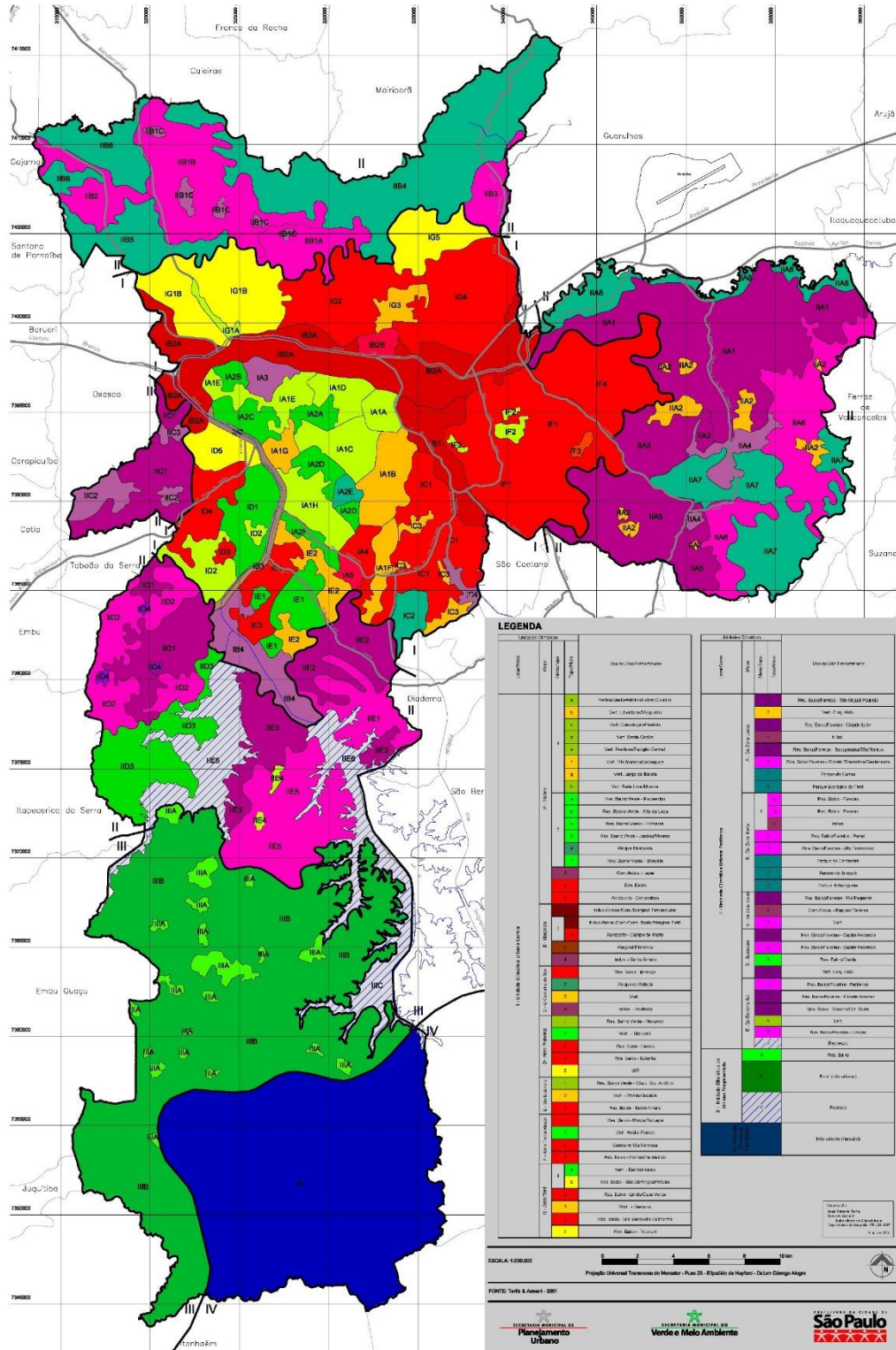
0 250 500 750 Metros

Coordenadas Projetadas UTM SAD69
Elaboração: Lillian Machado
Data: Novembro de 2015.

Kernel Smoothing
















ANEXO A: Mapa dos climas urbanos de São Paulo.



ANEXO B: Escala Beaufort.

La Escala de Beaufort

"Durante miles de años, los marinos han aprendido a reconocer la fuerza del viento de un modo intuitivo, observando el entorno. Esta técnica maduró hasta lo que hoy conocemos como la Escala de Beaufort. El Universo puede decirte todo lo que necesitas saber, si es que estás listo para observar, para escuchar, para oler."
Howtoons 2006

FUERZA 0	velocidad 0 Nudos 0 mph 0 km/h	mar Terra	El mar como un espejo El humo se eleva verticalmente		FUERZA 1	velocidad 1-3 Nudos 1-3 mph 1-6 km/h	mar Terra	Se forman arrugas con la aparición de escumas, pero sin crestas de espuma El humo de chimeneas muestra la dirección del viento, pero las velotas aún no		FUERZA 2	velocidad 4-6 Nudos 4-7 mph 7-11 km/h	mar Terra	Pequeñas ondulaciones. Las crestas tienen poca orientación viciosa y no rampen. Se siente el viento en la cara y se aje tu peinado. Las velotas se mueven.		FUERZA 3	velocidad 7-10 Nudos 8-12 mph 12-19 km/h	mar Terra	Ondulaciones más grandes. Algunos crestas rampen en espuma viciosa. Hojas y pequeños ramos se mueven. El viento estirando pequeñas banderolas.	
FUERZA 4	velocidad 11-16 Nudos 13-18 mph 20-29 km/h	mar Terra	Pequeñas olas que se alargan, borreguitos sea y frecuentes Levanta polvo y papeles sueltos, se mueven las ramas pequeñas		FUERZA 5	velocidad 17-21 Nudos 19-24 mph 30-39 km/h	mar Terra	Olas moderadas alargándose de forma pronunciado; muchos borreguitos Pequeños árboles con hojas se balancean, forma ondulaciones en aguas interiores		FUERZA 6	velocidad 22-27 Nudos 25-31 mph 40-50 km/h	mar Terra	Comienzan a formarse grandes olas, crestas de espuma blanca por dequiar. Se mueven grandes ramos, el viento silba en cables telefónicos. Difícil usar paraguas		FUERZA 7	velocidad 28-33 Nudos 32-38 mph 51-62 km/h	mar Terra	El mar se encrespa con espuma en las rompientes que es llevado por el viento. Árboles en movimiento. Paraguas descartados. Incomodidad al caminar.	
FUERZA 8	velocidad 34-40 Nudos 39-46 mph 63-75 km/h	mar Terra	Olas altas moderadas de poca longitud, bordes de crestas rampen en "tubo". Ranpa brotes de ramas, generalmente impide progresar caminando		FUERZA 9	velocidad 41-47 Nudos 47-54 mph 76-87 km/h	mar Terra	Olas Altas. Rompientes con tubos pronunciados. El spray impide ver. Ligeras daños estructurales. Chimeneas y tejados pueden ramparse y salir volando.		FUERZA 10	velocidad 48-55 Nudos 55-63 mph 88-102 km/h	mar Terra	Olas muy altas. La superficie del mar se pone blanquecina. Visibilidad afectada Árboles arrancados. Daño estructural considerable.		FUERZA 11	velocidad 56-63 Nudos 64-72 mph 103-117 km/h	mar Terra	Olas excepcionales. Mar cubierto con parches alargados de espuma. Raramente sentido en tierra y acompañado de daños extensos.	
FUERZA 12	SPEED 63 Nudos 72 mph 117 km/h	mar Terra	Olas ventisqueros. El aire está lleno de espuma y spray. El mar está blanco, visibilidad muy reducida. El campo queda devastado.																

ANEXO C: Modelo de análise sistêmica proposto por Monteiro (2001a).

