

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**VARIÁVEIS DE OCUPAÇÃO DO SOLO E
MICROCLIMAS URBANOS NO PERÍODO NOTURNO –
BAIRRO CAMOBI, SANTA MARIA - RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gerusa Lazarotto

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**VARIÁVEIS DE OCUPAÇÃO DO SOLO E MICROCLIMAS
URBANOS NO PERÍODO NOTURNO – BAIRRO CAMOBI,
SANTA MARIA - RS**

Gerusa Lazarotto

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Giane de Campos Grigoletti

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lazarotto, Gerusa
Variáveis de ocupação do solo e microclimas urbanos no período noturno - Bairro Camobi, Santa Maria - RS. / Gerusa Lazarotto.-2015.
194 p.; 30cm

Orientadora: Giane de Campos Grigoletti
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2015

1. Ocupação do solo 2. Microclima urbano 3. Bairro Camobi I. Grigoletti, Giane de Campos II. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Gerusa Lazarotto. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**VARIÁVEIS DE OCUPAÇÃO DO SOLO E MICROCLIMAS URBANOS
NO PERÍODO NOTURNO – BAIRRO CAMOBI, SANTA MARIA - RS**

elaborada por
Gerusa Lazarotto

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Giane de Campos Grigoletti, Dr.^a
(Presidente/Orientadora)

Léa Cristina Lucas de Souza, Dr.^a (UFSCar)

Cássio Arthur Wollmann, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 03 de março de 2015.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

À Universidade Federal de Santa Maria que, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, oportunizou a realização desta pesquisa.

À Prof.^a Giane de Campos Grigoletti, pela orientação, confiança e atenção dedicada em todas as horas necessárias.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq), pela bolsa de mestrado concedida.

Ao Prof. José Américo de Mello Filho, por sua colaboração e dedicado auxílio no georreferenciamento das fotografias aéreas.

Ao Prof. Arno Bernardo Heldwein, pelos conhecimentos compartilhados e esclarecimentos de muitas dúvidas.

Ao Prof. Ivanor Muller, pelo auxílio na análise estatística.

Ao Prof. Cássio Wollmann, por possibilitar o empréstimo dos abrigos meteorológicos e pelos ensinamentos na disciplina de Clima Urbano.

À Prof.^a Denise Helena Silva Duarte, pela indicação de fontes bibliográficas sobre clima urbano, recomendações e informações.

À Prof.^a Léa Cristina Lucas de Souza e ao Prof. Cássio Arthur Wollmann, por aceitarem participar da banca examinadora.

À arquiteta e urbanista Sheila Comiran, pelos esclarecimentos de dúvidas sobre a legislação urbanística do município e utilização dos aparelhos *hobos*.

Ao meteorologista Daniel Caetano Santos, pelo auxílio na escolha e descrição sinótica dos dias para análise.

À secretária Marília, do PPGEC, e todos os professores e colegas do PPGEC pelos agradáveis momentos compartilhados nesses dois anos de convivência.

À Tiele, pela ajuda na instalação dos abrigos meteorológicos.

A todos os proprietários e moradores das residências onde foram instalados os abrigos meteorológicos.

À minha amiga Clarissa, pelo apoio e ajuda na revisão do texto.

Ao Lessandro e à minha filha Isabela, pelo apoio, compreensão e paciência na adaptação de suas vidas durante esses dois anos que estivemos longe, perto, mas sempre juntos.

À minha mãe, Maria Edithe, pelo apoio durante toda a minha vida e durante esses dois anos de volta à Santa Maria, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

Aos meus irmãos, Daniel e Marília, e à toda minha família.

Aos meus amigos e a todas aquelas pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

VARIÁVEIS DE OCUPAÇÃO DO SOLO E MICROCLIMAS URBANOS NO PERÍODO NOTURNO – BAIRRO CAMOBI, SANTA MARIA - RS

AUTORA: GERUSA LAZAROTTO

ORIENTADORA: GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 03 de março de 2015.

Considerando a urbanização como fator responsável por alterações do clima na escala local, esta pesquisa investigou a influência do ambiente construído na formação de microclimas urbanos no bairro Camobi, Santa Maria, RS. O clima do local é subtropical úmido com verões quentes e invernos frios. O método buscou analisar a relação entre padrões de ocupação do solo (densidade construída, revestimentos do solo e quantidade de vegetação) e variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa do ar). O cálculo aproximado das variáveis físico-urbanísticas dentro das amostras foi elaborado a partir de fotos aéreas e observações diretas de trabalho de campo. As variáveis climáticas foram obtidas por equipamentos registradores de dados em estações fixas, localizadas em 10 pontos do bairro, com distintos padrões de ocupação do solo. A análise foi feita com base em dados noturnos de três dias de verão e três dias de inverno, no ano de 2014. Através de avaliação qualitativa, foi possível observar a variabilidade térmica entre os pontos, de acordo com as diferentes formas de ocupação do solo. Na análise estatística, pelo método de regressão linear simples, os resultados apontaram, em alguns dias e horários noturnos, correlações significativas entre as variáveis dependentes (temperatura ou umidade relativa) e variáveis independentes (densidade construída, pavimento, revestimento vegetal e árvore). Em geral, os resultados apresentaram, no verão e no inverno: correlação positiva entre pavimento e temperatura do ar, correlação negativa entre revestimento vegetal e temperatura do ar, correlação negativa entre pavimento e umidade relativa do ar e correlação positiva entre revestimento vegetal e umidade relativa do ar. Somente no verão, os resultados também mostraram: correlação positiva entre densidade construída e temperatura do ar, correlação negativa entre densidade construída e umidade relativa do ar, correlação negativa entre vegetação arbórea e temperatura do ar e correlação positiva entre vegetação arbórea e umidade relativa do ar. As informações obtidas pelo trabalho corroboram com a teoria sobre a abordagem de ilha de calor e revelam que as variáveis atuam de forma complexa nas trocas de calor no ambiente urbano. Ainda assim, os resultados indicam apenas uma tendência, devido ao pequeno número de amostras e de dias analisados. Os resultados também apontam para a necessidade de estudos mais específicos sobre a influência da ocupação do solo para o tipo de clima em questão, com enfoque para as distintas formas de configuração espacial relacionadas à densidade construída e à vegetação arbórea. Apesar de algumas limitações no método de trabalho e dificuldades de medições no meio urbano, o trabalho conseguiu demonstrar que a urbanização do bairro provoca alterações microclimáticas e, por isso, devem ser consideradas nas práticas de desenho e planejamento urbano que busquem a qualidade ambiental das cidades.

Palavras-chave: Ocupação do solo. Microclima urbano. Bairro Camobi.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Civil Engineering, Post-Graduation Program
Federal University of Santa Maria

OCCUPATION OF URBAN LAND AND NOCTURNAL URBAN MICROCLIMATES – CAMOBI DISTRICT, SANTA MARIA - RS

AUTHOR: GERUSA LAZAROTTO

ADVISOR: GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI

Place and date: Santa Maria, March 03rd, 2015.

Considering the urbanization as factor responsible for climate changes at the local scale, this research has investigated the influence of the environment built in the formation of urban microclimates in Camobi District, Santa Maria City, RS. The climate of the place is humid subtropical, with hot summers and cold winters. The method seeks to analyze the relationship between the occupation of urban land patterns (building density, ground cover and amount of vegetation) and climatic variables (temperature and relative humidity). The approximate calculation of urban variables within the samples was done from aerial photos and field work observation. The climate variables were obtained by data loggers at fixed stations, located in 10 points of the district with different land occupation patterns. The analysis was based on the data nighttime from 3 days in the summer and 3 days in the winter, in 2014. Through qualitative assessment, it was observed the thermal variation among points, according to the different ways of land use. In the statistical analysis, by simple linear regression method, the results have showed, in a few days, significant correlations between the dependent variables (temperature or relative humidity) and independent variables (building density, pavement, covering plant and tree). In general, the results have showed, in the summer and in the winter: positive correlation between pavement and air temperature, negative correlation between covering plant and air temperature, negative correlation between pavement and relative humidity and positive correlation between covering plant and relative humidity. Only in the summer, the results have showed: positive correlation between building density and air temperature, negative correlation between building density and relative humidity, negative correlation between tree and air temperature and positive correlation between tree and relative humidity. Information obtained by the work corroborate with the theory about approach of heat island and show that the variables act in a complex way in the heat exchange in the urban environment. Even so, the results indicate only a tendency, due to the small number of sample and the analyzed days. The results also indicate the need for more specific studies on the influence of land use for the type of climate in question, focusing on the different forms of spatial configuration related to the building density and tree vegetation. Despite some limitations in the working method and difficulties of measurements in urban areas, the study was able to show that the urbanization of the district causes microclimate changes and therefore must be considered in the design practices and urban planning aimed at environmental quality of cities.

Keywords: Urban occupation. Urban microclimate. Camobi District.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Solstícios no Hemisfério Sul.	35
Figura 2 – Esquema de escalas climáticas e camadas verticais nas áreas urbanas. [Oke modificado a partir de 1997].	44
Figura 3 – Ilha de calor urbana.	48
Figura 4 – Esquema transversal de uma típica ilha de calor urbana.....	51
Figura 5 – Localização de Santa Maria no contexto estadual.	73
Figura 6 – (esquerda) Município de Santa Maria com destaque para o perímetro urbano. Figura 7 – (direita) Localização do bairro Camobi no perímetro urbano do município.	74
Figura 8 – Mapa do bairro Camobi.....	75
Figura 9 – Representação do relevo de Santa Maria, através de Modelo Digital de Elevação.	77
Figura 10 – Sistema de circulação atmosférica. Principais centros de ação da América do Sul.....	80
Figura 11 – Estação Convencional e Automática do INMET de Santa Maria, no Campus da UFSM.....	82
Figura 12 – (esquerda) – Vista da Avenida Roraima no sentido sul-norte em 1965-1966, UFSM, com Camobi escassamente ocupado ao fundo. Figura 13 (direita) – Vista parcial do bairro em 2008, destacando-se a Av. Roraima e ao fundo a Serra Geral.....	92
Figura 14 – Recorte do Anexo 10 da Lei 072/2009 - Mapa do Zoneamento Urbanístico do 1º Distrito, mostrando as diferentes zonas na área do bairro Camobi.....	95
Figura 15 – Fluxograma metodológico da pesquisa.....	97
Figura 16 – Imagem aérea do bairro com a marcação dos pontos da pesquisa.....	98
Figura 17 – Exemplo de determinação do percentual das superfícies de ocupação do solo. Ponto 07 – Centro Comercial.	112
Figura 18 – Classificação do número de pavimentos das estruturas edificadas para a determinação da densidade construída. Exemplo: Ponto 07 – Centro Comercial.	113
Figura 19 – Base ótica USB e HOBO U23-001 para leitura e coleta dos dados de temperatura e umidade relativa do ar.....	116
Figura 20 – Miniabrigo instalado próximo à estação do INMET, no Campus da UFSM. Ponto 01 – UFSM-INMET da pesquisa.	118
Figura 21 – Identificação das superfícies de ocupação do solo dos Pontos 1, 2 e 3.	124
Figura 22 – Identificação das superfícies de ocupação do solo dos Pontos 4, 5 e 6.	125
Figura 23 – Identificação das superfícies de ocupação do solo dos Pontos 7, 8 e 9.	126
Figura 24 – Identificação das superfícies de ocupação do solo do Ponto 10.....	127
Figura 25 – Identificação das edificações e número de pavimentos para determinação da densidade construída de cada ponto amostral.	129
Figura 26 – Área ocupada por cada tipo de elemento (em %), nas 10 amostras...	130
Figura 27 – (a) a (j) – Porcentagem de cada tipo de elemento urbano nas amostras.	131

Figura 28, 29 e 30 – Imagens do Satélite GOES-13 às 15:00UTC (12 horas, desconsiderando horário de verão), nos dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014, respectivamente.	135
Figura 31, 32 e 33 – Imagens do Satélite GOES-13 às 15:00UTC (12 horas), nos dias 08, 19 e 20 de julho de 2014, respectivamente.	136
Figura 34 – Temperatura média das seis horas noturnas dos dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014 e dos dias 08, 19 e 20 de julho de 2014.	139
Figura 35 – Umidade relativa média das seis horas noturnas dos dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014 e dos dias 08, 19 e 20 de julho de 2014.	141
Figura 36 – Imagens aéreas das 10 amostras com raio de 150 metros e raio de 50 metros em torno de cada ponto de medição.	143
Figura 37 – Índices das variáveis de ocupação do solo versus temperatura do ar às 21 horas dos dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014, período de verão.	145
Figura 38 – Índices das variáveis de ocupação do solo versus temperatura do ar às 21 horas dos dias 08, 19 e 20 de julho de 2014, período de inverno.	146
Figura 39 – (esquerda) e 40 – (direita) À esquerda, foto de 07 de julho (durante as medições de inverno) e à direita, foto de 07 de setembro (final do inverno).	149
Figura 41 – Diferença térmica entre os pontos, às 21 horas - medições de verão.	150
Figura 42 – Diferença térmica entre os pontos, às 21 horas - medições de inverno.	151
Figura 43 – Média noturna de temperatura entre os pontos, visualizada em ordem crescente, para os dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014, período de verão; e 08, 19 e 20 de julho, período de inverno.	154
Figura 44 – (esquerda) e 45 (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e temperatura (22 horas) para os dias 05 e 06 de fevereiro de 2014, respectivamente.	161
Figura 46 – (esquerda) e 47 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e umidade relativa (22 horas) para os dias 05 e 06 de fevereiro de 2014, respectivamente.	161
Figura 48 – (esquerda) e 49 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre pavimento e temperatura (22 horas) para os dias 05 e 06 de fevereiro de 2014, respectivamente.	162
Figura 50 – (esquerda) e 51 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre pavimento e temperatura (21 horas) para os dias 19 e 20 de julho de 2014, respectivamente.	163
Figura 52 – (esquerda) e 53 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre pavimento e umidade relativa para os dias 06 de fevereiro (22 horas) e 19 de julho (21 horas) de 2014, respectivamente.	163
Figura 54 – (esquerda) e 55 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre revestimento vegetal e temperatura para os dias 06 de fevereiro (22 horas) e 20 de julho (21 horas) de 2014, respectivamente.	164
Figura 56 – (esquerda) e 57 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre revestimento vegetal e umidade relativa para os dias 06 de fevereiro (22 horas) e 20 de julho (21 horas) de 2014, respectivamente.	165

- Figura 58 – (esquerda) e 59 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre a quantidade de vegetação arbórea e temperatura (22 horas) para os dias 03 e 05 de fevereiro de 2014, respectivamente..... 167
- Figura 60 – (esquerda) e 61 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre a quantidade de vegetação arbórea e umidade relativa (20 horas) para os dias 03 e 05 de fevereiro de 2014, respectivamente... 168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentual das superfícies de ocupação do solo em projeção.....	127
Tabela 2 – Densidade construída de cada amostra da pesquisa, em porcentagem.	130
Tabela 3 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre variáveis físico-urbanísticas e temperatura do ar em dias e horários da estação de verão nas 10 amostras.....	157
Tabela 4 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre variáveis físico-urbanísticas e temperatura do ar em dias e horários da estação de inverno nas 10 amostras.	158
Tabela 5 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre variáveis físico-urbanísticas e umidade relativa do ar em dias e horários da estação de verão nas 10 amostras.	159
Tabela 6 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre variáveis físico-urbanísticas e umidade relativa do ar em dias e horários da estação de inverno nas 10 amostras.....	160
Tabela 7 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre a variável árvore e a temperatura do ar em dias e horários das estações de verão e inverno em 8 amostras da pesquisa.....	166
Tabela 8 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre a variável árvore e a umidade relativa do ar em dias e horários das estações de verão e inverno em 8 amostras da pesquisa.....	167

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Organização das escalas espacial e temporal do clima.....	43
Quadro 2 – Normais climatológicas de Santa Maria (1961-1990).....	83
Quadro 3 – Descrição do Ponto 01 – UFSM-INMET.....	99
Quadro 4 – Descrição do Ponto 02 – Montebello.....	100
Quadro 5 – Descrição do Ponto 03 – Fernando Ferrari.	101
Quadro 6 – Descrição do Ponto 04 – Santa Lúcia.	102
Quadro 7 – Descrição do Ponto 05 – Alto da Colina.....	103
Quadro 8 – Descrição do Ponto 06 – Supermercado.....	104
Quadro 9 – Descrição do Ponto 07 – Centro Comercial.	105
Quadro 10 – Descrição do Ponto 08 – Arco UFSM.....	106
Quadro 11 – Descrição do Ponto 09 – Cruz e Souza.	107
Quadro 12 – Descrição do Ponto 10 – Pedro Américo.....	108
Quadro 13 – Critérios adotados para a classificação das superfícies de ocupação do solo.....	111
Quadro 14 – Dados meteorológicos registrados em Santa Maria, durante os dias de medições da pesquisa no período de verão.....	133
Quadro 15 – Dados meteorológicos registrados em Santa Maria, durante os dias de medições da pesquisa no período de inverno.....	134
Quadro 16 – Dados registrados na Estação Convencional do INMET às 21 horas.	137
Quadro 17 – Dados registrados na Estação Automática do INMET às 21 horas. ...	137

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASV	– <i>Actual Sensation Vote</i>
BASM	– Base Aérea de Santa Maria
CPTEC	– Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ETP	– Evapotranspiração potencial
FEPAM	– Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FVC	– Fator de Visão de Céu
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU	– Ilha de calor urbana
INMET	– Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPLAN-SM	– Instituto de Planejamento de Santa Maria
PBL	– <i>Planetary Boundary Layer</i>
PDDUA	– Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Santa Maria
PET	– <i>Physiological Equivalent Temperature</i>
RSL	– <i>Roughness Sublayer</i>
SCU	– Sistema Clima Urbano
UBL	– <i>Urban Boundary Layer</i>
UCL	– <i>Urban Canopy Layer</i>
UCZ	– <i>Urban Climate Zones</i>
UFES	– Universidade Federal de Santa Maria
UR	– Umidade relativa do ar

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Resultado dos testes dos <i>hobos</i> : temperatura e umidade relativa...187	187
Apêndice B – Teste comparativo entre os dados de temperatura da pesquisa e os dados da Estação Automática do INMET, no Campus da UFSM, em janeiro de 2014.187	187
Apêndice C – Dados de radiação de Santa Maria nos dias selecionados da pesquisa.....188	188
Apêndice D – Resultados das medições das variáveis climáticas para os seis dias selecionados durante as 24 horas do dia.188	188

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 Objetivos	29
1.1.1 Objetivo geral	29
1.1.2 Objetivos específicos.....	30
1.2 Justificativa	30
1.3 Estrutura do trabalho	31
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1 Clima	33
2.1.1 Definição de clima e Climatologia	33
2.1.2 Fatores e elementos do clima	34
2.2 Radiação solar e balanço de energia	37
2.3 Escalas de abordagem do clima	39
2.4 Clima Urbano	44
2.5 Aspectos da bioclimatologia urbana	52
2.5.1 Forma urbana.....	52
2.5.2 Recobrimento do solo.....	54
2.5.3 Vegetação	56
2.5.4 Água	58
2.5.5 Ventos	59
2.5.6 Relevo	61
2.6 Conforto térmico exterior	62
2.7 Clima e Planejamento Urbano	64
2.8 Pesquisas na área de clima urbano	67
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: SANTA MARIA E CAMOBI	73
3.1 Aspectos gerais	73
3.2 Aspectos naturais	75
3.2.1 Relevo	75
3.2.2 Vegetação	77
3.2.3 Hidrografia.....	78
3.2.4 Tempo e Clima.....	79
3.2.4.1 Circulação atmosférica na Região Sul do Brasil.....	79
3.2.4.2 Registro de dados climatológicos de Santa Maria.....	82
3.2.4.3 Normais climatológicas do INMET para Santa Maria (RS)	82
3.2.4.4 Clima	83
3.2.4.4.1 Temperatura	84
3.2.4.4.2 Insolação	85
3.2.4.4.3 Precipitação pluviométrica.....	85
3.2.4.4.4 Umidade relativa do ar	87
3.2.4.4.5 Vento	87
3.2.4.4.6 Evapotranspiração.....	89
3.3 Aspectos antrópicos	90
3.3.1 Breve histórico e processo de urbanização do município de Santa Maria	90
3.3.2 Breve histórico e processo de urbanização do bairro Camobi	91
3.3.3 Considerações sobre a legislação urbanística do município	93

4 METODOLOGIA	97
4.1 Pontos de coletas de dados	98
4.2 Descrição qualitativa dos locais de medição	99
4.3 Descrição quantitativa das variáveis físico-urbanísticas	109
4.3.1 Critérios adotados para o cálculo das superfícies de ocupação urbana e densidade construída.....	110
4.3.2 Determinação do percentual das superfícies de ocupação urbana	112
4.3.3 Determinação da Densidade Construída	113
4.4 Método para coleta de dados climáticos	114
4.4.1 Dias e horários de medição	114
4.4.2 Equipamentos utilizados	115
4.5 Procedimentos de análise	119
4.6 Incertezas experimentais e limitações da pesquisa	120
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	123
5.1 Resultados do levantamento das variáveis físico-urbanísticas	123
5.1.1 Identificação e percentual das superfícies de ocupação urbana	123
5.1.2 Densidade construída	128
5.2 Resultados da coleta das variáveis climáticas – temperatura e umidade relativa do ar	132
5.2.1 Dias selecionados para análise	132
5.2.2 Resultados dos dados climáticos coletados.....	138
5.3 Integração dos Resultados	141
5.3.1 Análise qualitativa / descritiva	141
5.3.1.1 Associação entre as características físico-urbanísticas e térmicas das amostras	144
5.3.1.2 Condições térmicas das amostras nos períodos de verão e inverno.....	153
5.3.2 Análise estatística	155
5.3.2.1 Densidade construída	161
5.3.2.2 Pavimento	162
5.3.2.3 Revestimento vegetal	164
5.3.2.4 Vegetação arbórea.....	165
5.3.2.5 Considerações finais da análise estatística	168
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	171
6.1 Recomendações finais	174
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	175
APÊNDICES	185

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento urbano de muitas cidades do mundo, ocorrido principalmente após a Revolução Industrial, promoveu impactos nos padrões de qualidade de vida da população e de qualidade ambiental urbana.

Grande parte das cidades de hoje é marcada pelo consumo excessivo de recursos naturais e energéticos, pela poluição e pelos desperdícios. A cidade exerce uma enorme pressão sobre os sistemas naturais: depende deles para a entrada de recursos e eliminação de resíduos (HOUGH, 2004). Esse processo tem consequência direta nos inúmeros problemas urbanos que desafiam planejadores, técnicos e sociedade na busca de alternativas que minimizem os prejuízos sociais e ambientais.

No Brasil, o expressivo crescimento urbano ocorreu pelo crescimento vegetativo da população e principalmente pelo êxodo rural, responsável pela expansão das grandes cidades e pelo surgimento e evolução de diversas cidades de médio e pequeno porte (SAYDELLES, 2005).

Conforme já apontava Lombardo (1985), a cidade é a maior expressão social do espaço produzido, sendo a sua realidade bastante complexa e transformada. As atividades urbanas determinadas pelas relações de produção econômica, aliadas à falta de planejamento adequado, transformam e degradam o espaço urbano e natural. Uma das consequências do aumento da população urbana e da transformação da paisagem é a alteração do clima em escala local, criando o denominado clima urbano.

A urbanização provoca alterações no clima através das transformações de sua superfície, como a redução da vegetação natural, aumento de impermeabilização do solo e área construída, canalização de cursos d'água; e também pela liberação de calor antropogênico na atmosfera pela concentração de equipamentos, veículos e pessoas durante as atividades diárias. Tais fatores alteram o clima em escala local e são determinantes nas modificações dos fluxos de vento, aumento de calor e diminuição da umidade relativa na área urbana (AMORIM, 2010; CARDOSO; AMORIM, 2014; DUARTE, 2000; SAYDELLES, 2005).

Essas alterações, que proporcionam a formação do clima urbano, têm efeitos nas condições de conforto térmico dos espaços abertos e no consumo de energia para climatização dos espaços internos das edificações. Para Barbosa, Barbirato e Vecchia (2003), as alterações climáticas decorrentes da ocupação desordenada do solo têm contribuído para o desconforto dos habitantes, refletindo também no desempenho energético da cidade.

Hough (2004) afirma que o controle mecânico do clima nos edifícios teve um impacto fundamental sobre a cidade moderna. Ele libertou os edifícios da restrição de tempo atmosférico, permitindo o desenvolvimento de edificações onde a climatização e iluminação dependem totalmente de sistemas mecânicos. A cidade dá as costas ao ambiente externo, que se tornou cada vez mais contaminado por poeira, poluição e desconforto térmico. Com os ambientes externos cada vez mais insalubres, há uma maior confiança nos espaços interiores e, assim, cada vez mais, o desenvolvimento das atividades humanas restringe-se ao interior das edificações (HOUGH, 2004).

O autor destaca a enorme quantidade de energia e esforço investido em proporcionar conforto climático no interior, enquanto se mantém um meio ambiente cada vez mais inóspito no exterior.

Este atual cenário precisa ser controlado ou convertido especialmente pela relevância dos espaços abertos na vida social urbana e pela necessária redução no consumo energético nas edificações. Para Torres et al. (2013), a bioclimatologia deve ser aplicada no projeto arquitetônico e, sobretudo, no projeto urbano.

O equilíbrio térmico entre o homem e o meio não admite interrupções; deve ser resolvido em qualquer espaço habitado, seja interior ou exterior, devendo merecer a preocupação do arquiteto tanto no projeto de edifícios como no planejamento de unidades de vizinhança, bairros ou cidades (RIVERO, 1986, p. 58).

De maneira geral, a preocupação com as condições climáticas visam ao conforto higrotérmico dos ambientes internos das edificações, enquanto poucas vezes a adequação climática do espaço urbano é considerada (AMORIM, 2010; DUARTE, 2000). No entanto, as condições térmicas do meio onde se insere a edificação de um determinado lugar podem variar significativamente de acordo com a morfologia urbana. Por exemplo, um terreno em área adensada, carente de áreas verdes, com restrições de ventilação, insolação e iluminação natural apresenta

poucos recursos naturais que possam ser utilizados no condicionamento térmico natural de uma edificação. O arranjo urbano pode favorecer ou impedir que estratégias bioclimáticas sejam adotadas nos projetos de edifícios.

Além disso, os estudos de adequação climática para arquitetura consideram, em geral, o clima regional e o edifício, sem uma análise climática do seu contexto urbano (DUARTE, 2000). Esta situação se mostra deficiente já que “entre a região e o edifício há um sensível hiato posto que a variação do ‘local’ dentro do quadro regional é considerável” (MONTEIRO, 1990b, p. 107).

Diante desse quadro, o planejamento urbano apresenta-se como uma alternativa para solucionar os impasses urbanos. As pesquisas sobre clima urbano podem fornecer valiosas recomendações para legislação municipal, como os planos diretores, por exemplo.

Assim como a formação do clima urbano e os problemas decorrentes dele dependem do próprio clima regional, das condições geoecológicas do lugar, do nível de urbanização e industrialização (RIBEIRO, 1993), os resultados das pesquisas não podem ser generalizadas, ficando restritos, quanto à aplicação e às conclusões, às áreas estudadas. Apenas as metodologias desenvolvidas podem ser aplicadas a outras áreas, com alguns ajustes, podendo contribuir para gerar recomendações mais objetivas ao planejamento urbano (ASSIS, 2005).

Sobre esse aspecto, as pesquisas de clima urbano, em áreas de clima tropical do Brasil, por exemplo, trazem respostas bastante claras: arborizar, sombrear, permitir ventilação para amenizar o calor, entre outras. Mas no caso de Santa Maria, será que estratégias como estas podem ser utilizadas, tendo em vista o seu tipo de clima de acentuados contrastes térmicos? A vegetação também contribui de forma favorável à amenização deste clima? Em quais estações? Os atuais padrões de ocupação do solo do bairro Camobi, de baixa e média densidade, contribuem para a definição de distintos microclimas e formação de ilhas de calor? A impermeabilização do solo tem papel determinante na formação de microclimas ou será a densidade construída fator de maior influência? As respostas a essas perguntas podem servir de diretrizes na implantação de novas áreas urbanizáveis ou para a requalificação de espaços públicos já existentes.

A intervenção ou planejamento em climas compostos é um ponto a ser equacionado, porque muitas vezes apresentam requisitos contraditórios frente às diferentes estações do ano (DUARTE, 2000). Givoni (1992) aborda as dificuldades

de se trabalhar em climas formados por mais de uma estação termicamente estressante. Discutindo os aspectos de desenho urbano das regiões tropicais, tanto a quente-seca quanto a quente-úmida, o autor lembra que assim como as causas físicas e fisiológicas do estresse climático são diferentes nestes dois tipos de clima, a construção de diretrizes de projeto também deve ser específica (GIVONI, 1992). No caso de Santa Maria, essa questão também precisa de maior atenção, porque o estresse térmico se dá tanto pelo frio quanto pelo calor.

Alguns estudos sobre clima urbano já foram desenvolvidos na cidade por geógrafos. Utilizando técnicas e ferramentas diferenciadas, as pesquisas abordaram o campo térmico ou termo-higrométrico, ventilação, ilhas de calor e de frescor intraurbanas de Santa Maria, mostrando a influência das características naturais do sítio, da urbanização e das atividades agrícolas sobre o clima urbano na cidade (COSTA, 2009; SARTORI, 1979, 1986; SAYDELLES, 2005).

Rovani et al. (2014), analisaram o campo termo-higrométrico e a formação de ilhas de calor e frescor no bairro Camobi, Santa Maria (RS), em um dia de inverno e outro de primavera. Em geral, as ilhas de calor coincidiram com as áreas de forte ocupação urbana, escassa presença de vegetação, alta impermeabilização do solo e intenso fluxo de veículos. De modo geral, a partir das 18 horas melhor se define o contraste térmico entre o núcleo urbano e seu entorno, quando as ilhas de calor assumem maior magnitude sobre a malha urbana. Na periferia menos urbanizada do bairro e com maior presença de vegetação, o resfriamento noturno é bem mais rápido, enquanto no núcleo urbanizado, o calor armazenado durante o dia pelas superfícies é dissipado para o espaço mais lentamente (ROVANI et al., 2014).

Muitas características da estrutura física da cidade podem afetar o clima urbano, porém, através do desenho adequado, dentro de uma linguagem comum entre Climatologia e planejamento, é possível modificar o clima urbano, a fim de melhorar o conforto dos habitantes, tanto ao ar livre como em ambientes fechados, reduzindo a demanda energética dos edifícios para o resfriamento no verão e para o aquecimento no inverno (ASSIS, 1997; GIVONI, 1992).

A partir desses desdobramentos, a presente pesquisa toma como objeto de estudo o clima urbano do bairro Camobi, no município de Santa Maria, localizado na região central do Estado do Rio Grande do Sul. O clima é subtropical úmido com verão quente e inverno frio (TORRES; MACHADO, 2011).

Este estudo pretende investigar as relações entre parâmetros de ocupação do solo (densidade construída, revestimentos de solo e vegetação) e parâmetros climáticos na escala microclimática do bairro Camobi, Santa Maria, no verão e no inverno.

Apesar de alguns estudos relacionarem as ilhas de calor com o número de habitantes, diversos autores concordam ser mais adequado substituir o parâmetro **população** por **densidade construída** nos modelos de correlação com alterações climáticas, uma vez que essa variável apresenta uma relação causal com o microclima urbano (DUARTE, 2000; ASSIS, 2005; GIVONI, 1998; GUSSON, 2014). Além disso, Gomes (2008) comenta que o parâmetro densidade construída tem uma relação direta com a legislação urbanística, já que relaciona a quantidade de edificações por unidade de área (taxa de ocupação) e a respectiva altura dessas edificações (coeficiente de aproveitamento).

Na construção do modelo metodológico de sua tese, Duarte (2000, p. 19) comenta que em muitos estudos, o fato a ser investigado não é reproduzível em laboratório, assim como as pesquisas em urbanismo são baseadas em observações, pela dificuldade ou impossibilidade de executar ensaios em alguns casos. Pela complexidade e multidisciplinaridade do assunto, existem lacunas nos conhecimentos e nos métodos, que ainda devem ser aperfeiçoados.

Apesar das dificuldades, os resultados dos estudos de clima urbano podem ajudar na formulação de diretrizes quantitativas para o planejamento e desenho urbano (CARDOSO; AMORIM, 2014; OKE, 1988).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral o estudo de microclima urbano no bairro Camobi, na cidade de Santa Maria (RS), através da análise de correlação entre parâmetros climáticos e padrões de ocupação do solo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar a relação entre parâmetros climáticos (temperatura e umidade relativa do ar) e variáveis de ocupação do solo (densidade construída, revestimentos do solo e quantidade de vegetação).

- Verificar a influência da vegetação arbórea na variabilidade dos atributos climáticos dos locais avaliados, no verão e no inverno.

- Avaliar se o aumento da nebulosidade e do vento é capaz de homogeneizar a temperatura do ar nos locais com distintos padrões de ocupação do solo.

- Verificar se, dentro do total de pontos investigados, os padrões de variabilidade térmica mais frios e mais aquecidos se repetem nos mesmos locais e nas duas estações climáticas.

1.2 Justificativa

A escolha da cidade de Santa Maria e do bairro Camobi para a realização desta investigação se deu pelos fatores apresentados a seguir.

Santa Maria caracteriza-se como uma cidade de porte médio, com significativo crescimento demográfico. Camobi é atualmente o maior bairro do município em área e população, com expressivo desenvolvimento na área da construção civil. Segundo dados dos censos do IBGE 2000 e 2010 (IBGE, 2013), houve um aumento de mais de 60% na população residente no bairro entre os anos de 2000 e 2010.

Esse atual quadro de crescimento urbano do local, diferente daquelas áreas já consolidadas da cidade, sugere que os resultados desta pesquisa sejam mais bem aproveitados para diretrizes de planejamento urbano e de requalificação de áreas de uso público.

A cidade caracteriza-se pelo rigor climático no verão e no inverno e, apesar do expressivo número de pesquisas de clima urbano no mundo, ainda são poucas aquelas realizadas nessa região do Brasil, onde o desconforto térmico e consumo energético se dão tanto pelo frio quanto pelo calor. Esta pesquisa, portanto, pretende

investigar a relação entre variáveis urbanísticas e climáticas para o tipo de clima avaliado.

O estudo é restrito ao bairro Camobi para garantir um menor número de variáveis relacionadas, tais como topografia, ventos e distância da estação meteorológica do INMET de Santa Maria, localizada no Campus da UFSM, bairro Camobi.

A topografia relativamente plana do bairro e a mistura de usos do solo (comércio, residências e serviço), em especial nas vias principais, favorecem os deslocamentos à pé ou de bicicleta para as atividades diárias dos habitantes. Nesse sentido, a busca por soluções que propiciem melhor conforto térmico nos espaços públicos implica na melhor qualidade de vida dos usuários.

A diversidade dos padrões de ocupação do bairro favorece a realização do experimento porque, apesar de não apresentar significativas áreas verticalizadas, a área é caracterizada por padrões heterogêneos de ocupação do solo.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos: Introdução; Revisão Bibliográfica; Caracterização da Área de Estudo; Metodologia; Resultados e Discussões; Conclusões e Recomendações.

A Introdução apresenta o tema a ser estudado, aborda a sua importância, justifica a relevância para a realização da pesquisa e apresenta os objetivos a serem alcançados.

Na Revisão Bibliográfica são abordados assuntos relacionados ao tema: clima, escalas de abordagem do clima, clima urbano, aspectos da bioclimatologia urbana, conforto térmico exterior, clima e planejamento urbano e pesquisas na área de clima urbano.

Na Caracterização da Área de Estudo, terceiro capítulo, são apresentados os aspectos gerais, naturais e antrópicos da cidade de Santa Maria e do bairro Camobi, fundamentais para a compreensão do tema investigado.

O quarto capítulo apresenta a metodologia utilizada na pesquisa e os procedimentos utilizados nos levantamentos de dados.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos no levantamento de dados das variáveis urbanas e climáticas nos períodos de inverno e verão, bem como a análise e interpretação dos resultados.

O sexto e último capítulo trata das conclusões obtidas a partir da análise dos resultados e aponta recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As informações abordadas neste capítulo buscam contextualizar o objeto da pesquisa com as bases teóricas sobre o tema e pesquisas atuais existentes. Os assuntos estão direta ou indiretamente relacionados ao tema da pesquisa: clima, escalas de abordagem do clima, clima urbano, aspectos da bioclimatologia urbana, conforto térmico exterior, clima e planejamento urbano, e pesquisas na área.

2.1 Clima

O desenho do espaço urbano está ligado a várias condicionantes sociais, econômicas e ambientais. O clima é umas das variáveis ambientais que influenciam as condições de vida dos habitantes de um determinado lugar e, para Gomes (2008), o clima é considerado uma componente para a qualidade de vida.

2.1.1 Definição de clima e Climatologia

Conforme Monteiro (1976, p. 22), a definição de clima proposta por Max Sorre é a seguinte: “O clima é a série dos estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual”. Esse conceito procura evidenciar o caráter dinâmico do clima, introduzindo a ideia de variação e ritmo, ao contrário de outras definições que enfatizavam a caracterização das condições médias da atmosfera e que muitas vezes mascaram a realidade (BORGES, 2009).

A Climatologia é o estudo científico do clima e situa-se entre as ciências humanas (Geografia) e as ciências naturais (Meteorologia-Física). A Climatologia trata dos padrões de variabilidade da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície do planeta durante um longo período de tempo (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

2.1.2 Fatores e elementos do clima

A fim de compreender os diferentes climas existentes no planeta, os conteúdos da Climatologia geralmente são estruturados em **fatores do clima** e **elementos do clima**. Mesmo assim, não se deve tomar com rigidez essa divisão, porque eventualmente um elemento pode ser ativo no controle do outro ou o número de elementos pode ser ampliado de acordo com a análise climática (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Os fatores climáticos são os agentes responsáveis pela diversidade climática na Terra e correspondem às características geográficas estáticas diversificadoras da paisagem que provocam a grande variação espacial e temporal dos elementos climáticos. Os fatores do clima são: latitude, altitude, relevo, vegetação, continentalidade e maritimidade, superfície do solo e atividades humanas. Já os elementos climáticos são os atributos físicos que representam as propriedades da atmosfera geográfica de um dado lugar: temperatura, umidade do ar e pressão, sendo esses influenciados pela diversidade geográfica e manifestam-se por meio de precipitação, vento, nebulosidade, ondas de calor e frio, etc. (BORGES, 2009; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Portanto, os elementos climáticos definem e fornecem os componentes do clima, enquanto os fatores climáticos têm a qualidade de condicionar, determinar e dar origem ao clima (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

Dentre os fatores climáticos, a latitude é fundamental porque determina a quantidade de energia solar recebida em cada local, de acordo com o ângulo de incidência na superfície terrestre (Figura 1). A latitude é a distância contada em graus da linha do Equador, no sentido Norte e Sul, de 0° a 90°, medida pelos paralelos (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011). A concentração de energia por unidade de área é maior quanto mais perpendicularmente for a incidência do feixe de raios solares sobre a superfície (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O sol é a chave dos fenômenos atmosféricos. Ao incidir, sob os mais diferentes ângulos, sobre a superfície da Terra, por tempos que variam de 0 a 24 horas, conforme a latitude e a época do ano, e ainda sobre variadas formas, materiais e cores, determina os mais variados climas (FROTA, 2004, p. 11).



Figura 1 – Solstícios no Hemisfério Sul.

Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira, 2007.

O relevo é outro fator importante para a diversificação dos climas em função das variações de altitude, forma, declividade e orientação das vertentes. A direção, a intensidade e o conteúdo da umidade dos fluxos de ar são muito influenciados pela topografia, assim como a incidência solar, as precipitações e a incidência de ventos (ROMERO, 1988).

Mesmo em lugares de mesma latitude, mas com altitudes diferentes, a temperatura decresce em média 0,6°C a cada 100 metros de elevação de altitude (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). As diferenças de temperatura também dependem da declividade do relevo.

Quanto à orientação do relevo, nas zonas mais carentes de energia solar (latitudes extratropicais), a orientação do relevo em relação ao sol define vertentes mais aquecidas e secas e aquelas mais frias e úmidas. No Hemisfério Sul (abaixo dos trópicos), por exemplo, as vertentes mais quentes são aquelas voltadas para o Norte devido à incidência dos raios solares, enquanto as vertentes voltadas ao Sul ficam à sombra e, portanto, são mais frias (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Além disso, a proporção e a distribuição de massas de terra e corpos d'água na superfície terrestre produzem impactos no clima. A maritimidade (mares e oceanos) é fundamental na ação reguladora da temperatura e umidade dos climas, pois interage com a dinâmica das massas de ar, definindo áreas secas e chuvosas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). O processo mais lento de aquecimento e resfriamento das águas oceânicas, devido ao elevado calor específico da água, favorece a redução das amplitudes térmicas junto às áreas costeiras.

Por outro lado, a continentalidade do lugar diz respeito ao seu distanciamento dos oceanos e mares. Conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 49), “na ausência dos efeitos amenizadores dos oceanos sobre as temperaturas, o aquecimento/resfriamento das superfícies continentais ocorre de forma mais rápida e com menor participação da umidade do ar”, por isso, regiões mais distantes dos oceanos tendem a ser mais secas e a apresentar maiores amplitudes térmicas diárias.

A cobertura do solo também é determinante na definição dos climas. As massas d’água, a cobertura vegetal e as diferenças entre solos naturais e construídos definem as diferentes condições de permeabilidade, rugosidade e albedo¹ e, conseqüentemente, influenciam os elementos climáticos do lugar. O albedo ou coeficiente de reflexão é a relação entre a radiação refletida e a recebida por uma superfície (GEIGER, 1961).

A vegetação é outro fator climático que contribui de forma significativa para o estabelecimento de microclimas, pois desempenha papel regulador de umidade e temperatura. Em áreas florestadas, por exemplo, as temperaturas são inferiores quando comparadas às áreas vizinhas com outro tipo de cobertura, uma vez que as árvores atuam como barreira à radiação solar direta, diminuindo a disponibilidade de energia para aquecer o ar (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Além disso, Romero (1988) explica que, mesmo absorvendo energia solar, uma superfície com vegetação irradia menor quantidade de calor do que uma superfície construída, pois grande parte da energia absorvida é utilizada para o processo metabólico das plantas. Esse processo favorece a diminuição da temperatura e aumento da umidade. Em outros materiais, toda a energia solar absorvida é transformada em calor, que pode ser absorvido, transmitido, refletido e emitido para o ambiente.

As atividades humanas podem alterar significativamente algumas feições da superfície da terra. As alterações no relevo, nos cursos d’água, na rugosidade, no recobrimento do solo e na vegetação natural, que ocorrem principalmente nos

¹ A relação entre o fluxo de radiação refletido e o total de radiação incidente em uma superfície é denominada albedo (STEINKE, 2012). O albedo é um índice da capacidade que o material tem de refletir parte da radiação solar incidente, variando de 0 a 1. Quanto maior o albedo, maior a porcentagem da radiação incidente que é refletida, e, portanto, uma menor parcela de energia é convertida em calor, resultando em temperaturas superficiais menores. A retenção maior ou menor desse calor no interior do material dependerá da emissividade da superfície (GIORDANO; KRÜGER, 2013, p. 464).

aglomerados urbanos, contribuem para a alteração de alguns elementos climáticos, pelo menos nas escalas inferiores.

2.2 Radiação solar e balanço de energia

A radiação solar é a energia eletromagnética, de onda curta, emitida pelo sol, sendo parcialmente absorvida pela atmosfera terrestre (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

A radiação eletromagnética pode ser classificada com base no seu comprimento de onda (λ). Os comprimentos de onda maiores que 4 μm são chamados de radiação de onda longa, e os menores que 4 μm são chamados de radiação de onda curta (STEINKE, 2012). Quanto menor o comprimento de onda, maior a frequência e maior a energia contida na radiação emitida. Segundo Ayoade (2004, p. 25), a radiação solar é quase 99% de curto comprimento de onda, de 0,15 a 4 μm .

Da radiação solar que chega ao nosso planeta, 9% encontram-se na faixa do ultravioleta, 45% na faixa do visível e 46% na porção de onda curta da faixa do infravermelho solar. A radiação solar incidente na Terra varia conforme a latitude, período do ano e período do dia (STEINKE, 2012).

Grande parte da radiação solar global atravessa a atmosfera sem qualquer interação (radiação direta), alcançando diretamente a superfície terrestre. A parcela que interage com a atmosfera, incidindo posteriormente na superfície do solo, é chamada de radiação difusa (OMETTO, 1981). A atmosfera, portanto, absorve, reflete, difunde e reirradia a energia solar (AYOADE, 2004).

Ao atingir a superfície terrestre, a radiação solar, direta ou difusa, é mais absorvida ou mais refletida, dependendo do ângulo de incidência do raio solar e das características da superfície, como o albedo (STEINKE, 2012). Quando aquecida pela absorção da radiação solar, a superfície terrestre torna-se uma fonte de radiação de ondas longas, sendo que “a maior parte da radiação emitida pela Terra está na faixa espectral infravermelha de 4 μm até 100 μm , com um máximo em torno de 10 μm .” (AYOADE, 2004, p. 33). Então, a parcela de radiação absorvida pelas

superfícies terrestres é reemitida ao meio sob a forma de ondas longas, e tal reemissão varia segundo o albedo de cada superfície (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

De acordo com o descrito, o espectro solar é chamado de ondas curtas e o terrestre de ondas longas (OMETTO, 1981). Conforme Ayoade (2004), a radiação terrestre também pode ser chamada de radiação noturna, pois é a principal fonte radiativa à noite. No entanto, a radiação infravermelha não é somente terrestre, uma vez que o sol e a atmosfera também irradiam energia nos comprimentos de onda infravermelhos. Além disso, a emissão de onda proveniente da superfície terrestre ocorre tanto durante o dia quanto à noite. Ela só predomina durante a noite porque, nesse período, a radiação solar não está presente (AYOADE, 2004).

Assim como o solo, a atmosfera também absorve e emite energia radiante. A atmosfera absorve pouca radiação de ondas curtas (radiação solar), mas apresenta alta capacidade de absorção de radiação infravermelha (AYOADE, 2004). Portanto, diz-se que a atmosfera é aquecida a partir da superfície terrestre pela energia, em forma de calor, que a superfície da Terra emite (STEINKE, 2012). A atmosfera reirradia a radiação terrestre e solar absorvida, em parte para o espaço e em parte de volta para a Terra (contrarradiação) (AYOADE, 2004).

Quanto ao balanço de energia, por convenção, quando um corpo recebe energia, ela é computada como positiva; e quando perde, negativa (OMETTO, 1981). A diferença entre os fluxos totais da radiação incidente e da radiação emitida e/ou refletida por um sistema é chamado de balanço ou saldo de radiação. O saldo de radiação é a energia disponível aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre (STEINKE, 2012).

O saldo de radiação na superfície terrestre tende a ser positivo de dia, porque a radiação incidente (global e atmosférica) é maior que a radiação refletida e emitida. Durante a noite, o saldo de radiação é negativo (quase sempre, mas relativamente pequeno), pois, uma vez que não existe mais radiação solar incidindo na superfície terrestre, o fluxo incidente passa a ser somente o da atmosfera, mas a energia emitida pela superfície terrestre é superior a ele (OMETTO, 1981; STEINKE, 2012).

No decorrer de um ano, o balanço de radiação é positivo na superfície da Terra e negativo na atmosfera. Para o sistema Terra-atmosfera como um todo, o balanço é positivo entre as latitudes 30°S e 40°N, e negativo no restante. Esse

padrão tem implicação na circulação geral da atmosfera (AYOADE, 2004). O equilíbrio no sistema é mantido através de trocas de energia entre Terra e atmosfera e entre os trópicos e os polos, pela evaporação e condensação da água, condução de calor, convecção, massas de ar e correntes oceânicas (AYOADE, 2004; STEINKE, 2012).

O balanço de energia global é a distribuição da radiação líquida disponível em um sistema nos diversos fenômenos que dela se utilizam. O balanço de energia da Terra é estabelecido pelos processos de transferência de calor por emissão de radiação, condução, convecção de calor sensível e de calor latente (OMETTO, 1981). Nas áreas urbanizadas, os processos de troca de energia e umidade entre solo e ar assumem ampla complexidade, devido à diversidade espacial das superfícies urbanas e pela própria dinâmica das atividades desenvolvidas (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 48).

2.3 Escalas de abordagem do clima

“A escala é uma referência de valor arbitrada segundo critérios que interessam à compreensão de um fenômeno” (RIBEIRO, 1993, p. 288). Os estudos dos fenômenos climáticos buscam compreender sua extensão (espaço) e sua duração (tempo) (RIBEIRO, 1993). As trocas recíprocas de energia, entre os processos atmosféricos e a superfície terrestre, podem ocorrer tanto numa escala planetária como local (SAYDELLES, 2005). Nas pesquisas relacionadas ao clima urbano, a seleção da escala de abordagem é fundamental para compreender a relação entre variáveis climáticas e urbanísticas.

Ainda não existe um consenso entre os pesquisadores sobre a classificação das escalas climáticas, nem uma equivalência ou correspondência relativa entre elas. Porém, como as propostas não visam estabelecer limites absolutos a cada unidade, para as pesquisas de clima urbano, o objetivo é entender a hierarquia entre as escalas e seus métodos de investigação. A nomenclatura, abrangência espacial e periodicidade não estão muito bem definidas, principalmente nos níveis intermediários e inferiores (BORGES, 2009; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; MONTEIRO, 1976; SAYDELLES, 2005). No entanto, é importante definir o nível que

se quer investigar, porque para cada nível de abordagem exigem-se métodos e técnicas diferentes de medição, bem como a representação gráfica e interpretação.

A cada nível escalar deve corresponder uma abordagem específica, no sentido da coerência entre extensão e duração do fenômeno climático com as técnicas analíticas, desde a obtenção dos dados, passando pelo seu tratamento estatístico-matemático, até sua apresentação gráfica e cartográfica (RIBEIRO, 1993, p. 288).

Podem-se observar, no crescente número de pesquisas na área de clima urbano, diferentes formas de análise, ferramentas e obtenção de dados no desenvolvimento dos métodos. Entre elas se destacam as redes de pontos fixos, os transectos, as imagens de satélite, os questionários de avaliação de conforto e mais recentemente os programas computacionais de simulação das variáveis meteorológicas e dos índices de conforto térmico.

Ribeiro (1993) apresenta alguns critérios orientadores, importantes para a compreensão das hierarquias propostas para o fenômeno climático. Um dos critérios é que são consideradas escalas superiores aquelas mais próximas do nível planetário e, escalas inferiores aquelas mais próximas da superfície terrestre. Os processos físicos interativos numa escala superior resultam em modificações sucessivas no comportamento da atmosfera nas escalas inferiores e os processos físicos que ocorrem nas escalas inferiores possuem limitada repercussão nas escalas superiores. O autor também cita que o grau de dependência da radiação extraterrestre é maior nas escalas superiores, enquanto os elementos da superfície terrestre, inclusive a ação antrópica, exercem maior influência nas escalas inferiores.

Neste item são citadas as hierarquias de escala para a abordagem climática propostas por alguns autores.

Na área da Geografia, Monteiro (1976) apresentou uma classificação escalar voltada aos estudos climáticos, relacionando-os aos níveis de urbanização e estratégias específicas de investigação para cada unidade. O autor propõe a divisão de abordagem do clima em: Zonal, Regional, Sub-regional e Local. A escala Local se subdivide em Mesoclima, Topoclima e Microclima.

Já Ribeiro (1993) apresenta uma proposta de escala tempo-espacial para o fenômeno climático dividida em: Clima Zonal, Regional, Mesoclima ou Clima Local, Topoclima e Microclima. O clima na **escala zonal** é definido pela distribuição latitudinal da radiação solar, onde a circulação primária ou circulação geral da

atmosfera é produzida. A extensão horizontal desta escala tem uma abrangência que varia de 1.000 a 5.000 km e verticalmente engloba toda a atmosfera. A permanência temporal nessa escala pode durar de uma semana a seis meses e a compreensão dos fenômenos pode ser obtida por registros de período mínimo de 30 anos (RIBEIRO, 1993). Saydelles (2005, p. 43) comenta que “[...] as escalas zonais correspondem a uma espécie de mantenedora das demais escalas inferiores”.

O clima na **escala regional** dentro de um clima zonal deve-se à modificação da circulação geral da atmosfera ocasionada por fatores de superfície, como a distribuição entre regiões continentais e oceânicas, a forma e rugosidade dos continentes, as correntes marítimas e a continentalidade/maritimidade (RIBEIRO, 1993). Apresentam extensão horizontal entre 150 e 2.500 km. O estado de tempo nesta escala dura de um a 30 dias e a abordagem deve apoiar-se na compreensão do ritmo da variação anual, sazonal e mensal dos elementos climáticos associados à circulação atmosférica (RIBEIRO, 1993). Como ferramentas de observação e análise dos fenômenos climáticos na escala regional, recomenda-se a utilização de cartas sinóticas, rede de transectos, imagens de satélite e registros obtidos nas estações climatológicas (MONTEIRO, 1976; RIBEIRO, 1993).

As significativas variações dentro de um clima regional – devido à ação de feições fisiográficas ou antrópicas que interferem no fluxo energético ou na massa de circulação regional – ocasionam subsistemas de circulação e o chamado **clima local** ou **mesoclima** (RIBEIRO, 1993). A configuração do relevo, as diferenciações altimétricas, a substituição da cobertura vegetal por materiais artificiais e o lançamento de gases e partículas na atmosfera pelas ações antrópicas, são responsáveis pela formação dos climas locais (MONTEIRO, 1976; RIBEIRO, 1993; SAYDELLES, 2005).

É sobre as cidades que ocorre a maior deterioração da qualidade do ar e do clima devido à extrema artificialização da cobertura do solo e emissão de poluentes. Por isso, o clima urbano está fortemente ligado à escala mesoclimática ou local, desde que a cidade tenha atividade poluente significativa e tamanho suficiente para se distinguir do espaço rural ou natural dos seus arredores (RIBEIRO, 1993).

A extensão horizontal do fenômeno mesoclimático é muito variável, já que a combinação dos fatores fisiográficos e antrópicos que lhe dão origem não possuem uma dimensão padrão ou pré-determinada (RIBEIRO, 1993). O limite vertical dos mesoclimas varia de 1.200 a 2.000 metros de altura. A permanência dos estados

atmosféricos nesta escala pode durar de 12 horas a uma semana e os registros necessários para sua análise são aqueles derivados das estações meteorológicas básicas e postos pluviométricos (RIBEIRO, 1993).

Outra subdivisão do clima local e mesoclima é o **topoclima**. Segundo Ribeiro (1993, p. 291), o topoclima deriva do clima local devido à rugosidade do terreno, tendo como consequência a diferenciação da exposição solar frente às diferentes orientações das vertentes. A extensão horizontal dos topoclimas restringe-se à forma do relevo ou tamanho da vertente que lhe dá origem, podendo variar entre 0,5 e 5 km. A extensão vertical limita-se de 50 até 100 metros de altura (RIBEIRO, 1993).

Para o estudo dos topoclimas, Ribeiro (1993) recomenda as estações não convencionais, fixas ou móveis, de preferência com medições na escala horária. O tempo estável, com céu claro e ausência de ventos, favorece a investigação dos topoclimas. Saydelles (2005) e Gomes (2008) ressaltam que os níveis de abordagem topoclimático e mesoclimático têm sido alvo de inúmeros estudos, principalmente aqueles voltados à compreensão do fenômeno das ilhas de calor.

Por fim, tem-se a escala do **microclima**, que se define, conforme Ribeiro (1993, p. 292) “através das trocas gasosas e energéticas entre as feições ou estruturas particularizadas (inclusive objetos, plantas e animais) dispostas na superfície terrestre e o ar que as envolve”. O autor explica que a microrrugosidade, a cor e a textura das superfícies, edificações e da vegetação promovem as trocas energéticas e gasosas que modificam o comportamento do ar circundante na escala microclimática.

Não há um limite determinado de extensão horizontal ou vertical do microclima, porque depende da natureza da superfície que lhe dá origem (RIBEIRO, 1993). Para Geiger (1961), o microclima é a camada de ar junto ao solo até o limite de cerca de 2 metros. Saydelles (2005, p. 49) acredita que, conforme muitos autores, o clima nesta escala refere-se ao ar que circunda os seres humanos. Segundo Ribeiro (1993) e Monteiro (1976), os estudos nesta escala de abordagem devem ser feitos através da observação de registros obtidos com aparelhos de alta sensibilidade e precisão.

Mendonça e Danni-Oliveira (2007), ao proporem uma escala de abordagem para os estudos de clima, apresentam um quadro síntese, embasado na flexibilidade entre diversas grandezas e que tem boa aceitação no meio climático-meteorológico (Quadro 1).

Ordem de Grandeza	Subdivisões	Escala Horizontal	Escala Vertical	Temporalidade Variações mais representativas	Exemplificação espacial
Macroclima	Clima zonal Clima regional	> 2.000 km	3 a 12 km	Algumas semanas a vários decênios	O globo, um hemisfério, oceano, continente, etc.
Mesoclima	Clima regional Clima local Topoclima	2.000 km a 10 km	12 km a 100 metros	Várias horas a alguns dias	Região natural, montanha, região metropolitana, cidade, etc.
Microclima		10 km a alguns metros	Abaixo de 100 metros	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, uma casa/edificação, etc.

Quadro 1 – Organização das escalas espacial e temporal do clima.

Fonte: Adaptado de Mendonça e Danni-Oliveira, 2007.

A proposta de escala apresentada por Oke (2006) é baseada numa estrutura tridimensional, estruturada na escala horizontal e vertical (VILELA, 2007). As escalas horizontais propostas por Oke (2006) são a Microescala, onde cada superfície e objeto têm seu próprio microclima nele e em suas imediações; a Escala Local, que inclui características da paisagem tais como topografia, mas exclui efeitos de microescala; e a Mesoescala, onde pode-se perceber a influência da circulação atmosférica sobre toda a cidade.

Para as escalas verticais, Oke (1982; 2006) propõe divisões da PBL (*Planetary Boundary Layer*), ou camada limite atmosférica, em níveis, como a UCL (*Urban Canopy Layer*), ou camada urbana ao nível das coberturas, UBL (*Urban Boundary Layer*), ou camada limite urbana, e RSL (*Roughness Sublayer*), ou subcamada de rugosidade (Figura 2).

A UCL abrange a extensão do solo até a altura média dos principais elementos de rugosidade do recinto urbano (edifícios e árvores), a UBL é a camada de ar acima das coberturas sob influência da área urbana abaixo e a RSL se estende a partir do nível do solo até uma altura em que os efeitos microclimáticos das superfícies e dos obstáculos são sentidos e se misturam (OKE, 1982; OKE, 2006; VILELA, 2007).

Como já sugerido por Monteiro (1976), é importante entender as relações entre as escalas com grande margem de elasticidade e sem estabelecer limites rígidos entre as unidades. Muitas pesquisas na área de clima urbano concentram sua investigação nas escalas locais: meso, topo e microclimática. Pelas técnicas de

medição e interpretação aplicadas, o presente estudo tem como objetivo a investigação microclimática do espaço urbano.

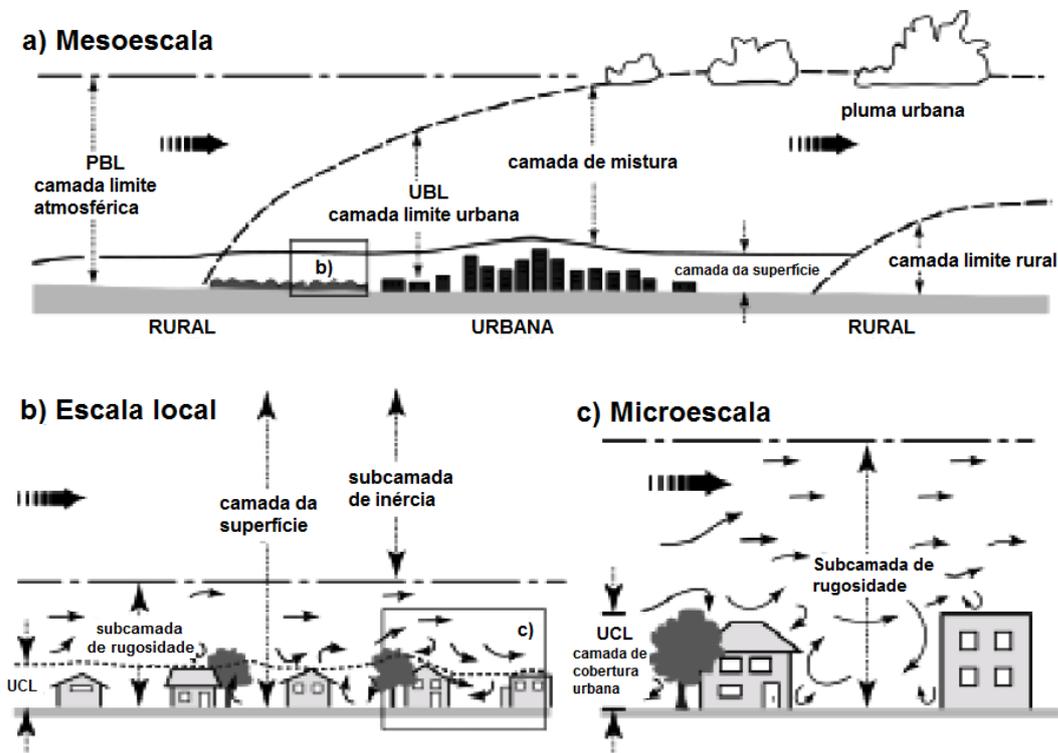


Figura 2 – Esquema de escalas climáticas e camadas verticais nas áreas urbanas. [Oke modificado a partir de 1997].

Fonte: Adaptado de Oke, 2006, p. 3.

2.4 Clima Urbano

A elevada concentração de população nos assentamentos urbanos resulta na grande demanda e consumo de energia, água e matérias-primas e provocam contínuas alterações no sítio onde estão implantados. O processo de urbanização transforma o espaço primitivo (sítio natural), configurando a paisagem urbana.

A interação entre o clima regional e a paisagem urbana cria condições capazes de modificar as características climáticas locais, gerando o chamado clima urbano (GOMES, 2008). O clima urbano pode ser entendido como um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização (MONTEIRO,

2003). Ainda assim, Monteiro (2003) evita a definição de clima urbano em termos precisos, pois o sistema abrange dois conjuntos plenos de múltiplas variáveis: clima local (fato natural) e a cidade (fato social). Já Lombardo (1985, p. 22), explica que o clima urbano “é um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos”.

Entretanto, avaliando os estudos descritivos do clima urbano em várias cidades, Assis (2005) explica que a alteração no comportamento climático local, provocada pela urbanização, pode variar muito, em função do tipo de clima regional, do entorno (natural, rural ou industrial), do relevo do sítio, da influência de grandes massas d’água, das propriedades térmicas dos materiais das superfícies e do próprio tamanho e morfologia da área urbanizada.

Assim como os fatores geográficos ou do clima têm a qualidade de condicionar, determinar e dar origem ao clima, os fatos urbanos podem provocar alterações ou intensificar os efeitos da temperatura e umidade do ar, das chuvas e do padrão dos ventos em determinadas escalas. Embora a ideia da influência da urbanização na mudança climática global ainda seja polêmica, geralmente os pesquisadores concordam sobre o impacto do ambiente construído no clima, pelo menos em nível local ou mesoclimático (ASSIS, 2005).

A percepção de que a construção do espaço físico da cidade e as atividades antrópicas produzem alterações nas características locais do clima, motivou o desenvolvimento de um novo ramo na Climatologia, conhecido como Climatologia Urbana (GOMES, 2008).

A Climatologia Urbana é uma ciência interdisciplinar em que geógrafos, arquitetos, urbanistas, engenheiros e meteorologistas compartilham de mesmo campo material, embora com propósitos diferentes (DUARTE, 2000; GOMES, 2008; MONTEIRO, 1976). A Climatologia Urbana busca descrever as transformações climáticas que ocorrem na atmosfera da cidade, relacionando os fenômenos climáticos com o meio ambiente urbano (BARBUGLI, 2004).

Segundo Mendonça (2003b), a passagem do estágio de população predominantemente rural para urbana originou os aglomerados urbanos e gerou a preocupação com as alterações introduzidas pelo processo de urbanização na qualidade do ar da cidade. Esse fator constituiu-se no principal alerta a despertar o interesse para a elaboração de estudos do clima urbano.

Um dos primeiros estudos sobre clima urbano surgiu em Londres, no início da era industrial, com a obra de Luke Howard, em 1833, que analisou os contrastes meteorológicos entre a metrópole e seu entorno (MONTEIRO, 1976). Depois disso, as inquietações e os estudos nessa área aumentaram e abrangeram primeiramente as cidades industrializadas da Europa Ocidental e posteriormente as cidades da América do Norte (MONTEIRO, 1976).

Após a Segunda Guerra Mundial, os estudos nessa área se multiplicaram, voltados à qualidade ambiental das cidades e concentrados principalmente na variável temperatura (ASSIS, 2005; SAYDELLES, 2005). Dos estudos clássicos de clima urbano, destaca-se a obra *The Climate of London*, onde Chandler (1965)² faz uma análise especial sobre o clima urbano da metrópole e também a obra de Landsberg, *The urban climate*, de 1981.

No Brasil, de acordo com Mendonça (2003b), a preocupação com a queda na qualidade ambiental das grandes cidades brasileiras, a partir da década de 1960, impulsionou o surgimento dos estudos relacionados ao clima urbano. Entretanto, foi a partir da década de 1970 que a pesquisa em Climatologia Urbana registrou os primeiros estudos e, daquela fase para os dias atuais, observa-se um grande avanço.

Monteiro (1976) apresenta uma proposição teórico-metodológica para o estudo do clima urbano, definida como Sistema Clima Urbano (SCU), sendo uma das mais significativas contribuições na área. Na proposta do geógrafo, o clima urbano é abordado como um sistema a partir de três canais de percepção humana. O sistema está dividido em: termodinâmico, que corresponde ao canal de percepção do conforto térmico; físico-químico, que corresponde à qualidade do ar e o hidrometeorológico que se refere ao impacto meteórico (chuvas).

Nas últimas décadas, vários estudos têm sido realizados na busca da compreensão das características da estrutura urbana que são responsáveis pela diferença do comportamento climático entre área urbana e rural (GOMES, 2008).

Segundo Geiger (1961), a alteração do clima na cidade pode ser explicado pelo processo de urbanização que ocasiona a alteração dos balanços térmico e hídrico do lugar. O balanço térmico da superfície terrestre é constituído por

² CHANDLER, T. J. *The Climate of London*. London: Hutchinson & Co. LTd, 1965. 292p.

fenômenos como evaporação, convecção, condução e emissão de radiação de ondas longas (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

Assis (2005) explica que, a partir do modelo desenvolvido por Oke (1982; 1988³), pode-se perceber que a diferença primária entre os processos térmicos da área urbana e de seu entorno natural ou rural está na distribuição entre os fluxos de calor sensível (trocas térmicas secas, QH) e de calor latente (trocas térmicas úmidas, QE). Portanto, o clima urbano e a influência do ambiente construído podem ser compreendidos sob a ótica dos balanços de energia.

Ainda segundo Assis (2005), de modo geral, as áreas naturais ou rurais adjacentes à cidade perdem mais calor por meio do resfriamento evaporativo. No meio urbano, onde as superfícies têm mais capacidade térmica, o grau de impermeabilização é muito maior e o escoamento das águas pluviais é muito rápido, ao contrário, a maior parte do fluxo térmico é de calor sensível. As estruturas urbanas favorecem, ainda, o estoque de calor (ΔQS), pois, durante a noite, a intensidade da perda térmica é função da quantidade de calor armazenado e disponibilizado na superfície (ASSIS, 2005; GOMES, 2008; OKE, 1982).

Então, conforme suas distintas áreas de ocupação e uso do solo, cada cidade é formada por um mosaico de microclimas distintos, formando áreas quentes e frias. Os mesmos fenômenos que caracterizam o mesoclima urbano ocorrem em miniatura por toda a cidade – ilhas de calor, ilhas de frescor, bolsões de poluição atmosférica, mudanças no comportamento dos ventos (ELIASSON, 2000; SPIRN, 1995).

Durante o dia, os pavimentos, telhados e paredes do meio urbano absorvem e conservam o calor da radiação solar. Os conjuntos de edifícios aumentam a rugosidade da superfície, ocasionando a redução da velocidade do vento sobre a cidade. As atividades urbanas também são fontes de calor e aliados a esses fatos, ocorre o aumento das poeiras na atmosfera urbana, poluição e escoamento rápido das águas pluviais. Todas essas transformações no espaço urbano são capazes de gerar as chamadas ilhas de calor urbano (GEIGER, 1961; SPIRN, 1995).

Os estudos têm comprovado que as temperaturas do ar são frequentemente mais elevadas nas áreas urbanas do que em seus arredores rurais durante parte do dia e maior parte da noite. A ilha de calor tem sido objeto de vários estudos, pelos

³ OKE, T. R. (1988). The urban energy balance. **Progress in Physical Geography**, n. 12, p. 471-508.

quais foi possível identificar suas causas e descrever um modelo típico de sua formação espacial (horizontal e vertical) e temporal (GOMES, 2008). (Figura 3).

A ilha de calor pode ser entendida, em grande parte, como um fenômeno noturno atribuível às diferenças de resfriamento urbano e rural (ao invés de aquecimento), especialmente ou com intensidade máxima no período em torno e seguinte ao pôr do sol. Considerando as camadas mais próximas ao solo, na área rural, por volta do pôr do sol, o resfriamento é relativamente rápido, enquanto na cidade esse processo é mais lento (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011; OKE, 1982).

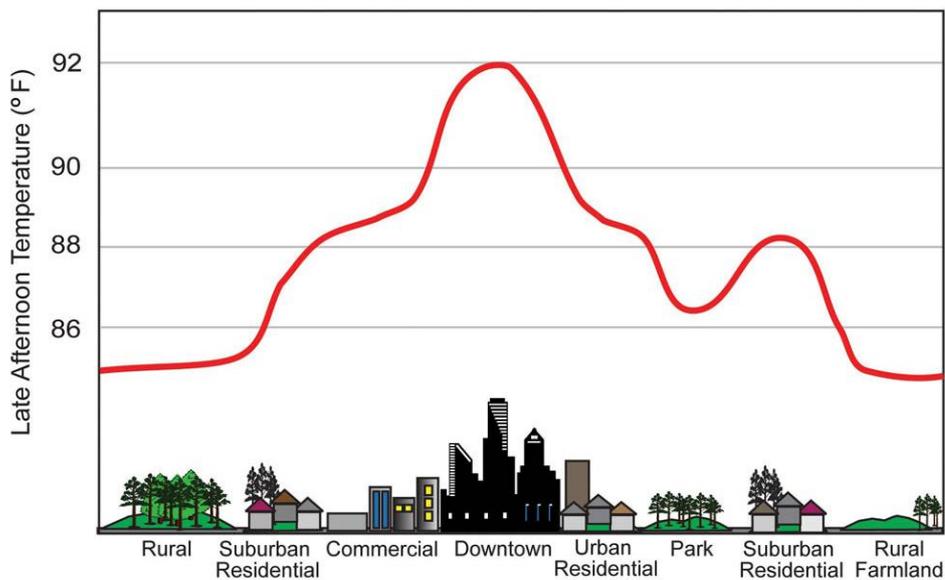


Figura 3 – Ilha de calor urbana.

Fonte: EPA, 2015.

A disparidade na temperatura do ar entre o centro da cidade e a periferia é mais pronunciada nas noites calmas e claras, algumas horas após o pôr-do-sol. Nessas noites, o campo perde calor rapidamente para o céu sem nuvens. A cidade esfria lentamente: ela absorveu mais calor, e a irradiação desse calor para o céu noturno é inibido pelas paredes paralelas dos edifícios. Pela manhã, a diferença de temperatura entre a cidade e o campo é mínima e pode mesmo ser eliminada, mas, na metade da tarde, a cidade fica mais quente novamente. (SPIRN, 1995, p.69).

Segundo Oke (1982), a ilha de calor típica começa a se formar no limite entre a área rural e urbana, atingindo as maiores temperaturas na região mais central das

idades, junto aos chamados cânions urbanos⁴, onde as ruas são mais estreitas e as edificações mais altas e mais próximas, ou seja, onde a densidade construída e a impermeabilização do solo são altas e o Fator de Visão de Céu (FVC)⁵ é baixo.

Por outro lado, esse perfil pode ser interrompido por pontos mais quentes ou mais frios, associados às áreas com diferentes densidades construídas. A área de um parque ou lago pode ser relativamente fresca, já uma área industrial, um complexo residencial, um centro de compras ou a área central da cidade pode ser relativamente quente (OKE, 1982). Lombardo (1985) encontrou diferenças de até 10°C entre a área central e as áreas periféricas florestadas de São Paulo (SP). Pode-se dizer que, “em sua configuração espacial, a ilha de calor não é uma estrutura única, mas sim um conjunto de microclimas dinâmico, podendo ter vários núcleos” (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011, p. 59).

A ilha de calor e os demais efeitos microclimáticos característicos do clima urbano se manifestam em condições de ventos fracos e sem nuvens. A influência gerada pela cidade sobre o clima é suprimida em condições de ventos fortes, alta nebulosidade e chuva (LANDSBERG⁶, 1981 apud BORGES, 2009). Lombardo (1985), no seu estudo da Metrópole Paulistana, encontrou as maiores intensidades de ilha de calor, tanto no verão quanto no inverno, nos dias de tempo estável, com calmaria, associado à poluição atmosférica devido às atividades antropogênicas.

Isso indica que a ilha de calor não é um fenômeno fixo ou permanente. Sua formação, intensidade, duração e abrangência dependem dos fatores estáticos da geografia e da configuração urbana, e dos temporais, como a época do ano, momento do dia e dos controles meteorológicos diários (estado do tempo).

Oke (1982) comenta que muitas vezes ocorre uma variação sazonal da ilha de calor nas cidades de latitudes temperadas. Isso está ligado, em parte, à sazonalidade dos controles de tempo (ventos, nuvens e estabilidade de massa de ar), mas provavelmente também pelas variações na cobertura da superfície, tais

⁴ O canyon urbano refere-se ao volume de ar delimitado pelas paredes e o solo entre dois edifícios adjacentes, e as inter reflexões produzidas nas superfícies que o compõe, resultando em microclimas particulares dentro do clima urbano (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

⁵ Fator de Visão de Céu (FVC) é calculado por fatores como dimensões da caixa viária, altura das edificações e grau de arborização. Em certas situações, quanto menor o valor de FVC, ou seja, quanto mais obstruído é um local no meio urbanizado, menor a troca térmica radiativa com o meio (LOURA; ASSIS, 2004).

⁶ LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.

como neve e vegetação, e pelas influências solares, tais como os ângulos de incidência em relação à geometria de cânions urbanos.

A forma e intensidade da ilha de calor dependem do regime climático, estações do ano e características da cidade, portanto podem apresentar uma variabilidade periódica ou aperiódica. Os estudos existentes apontam que o seu maior desenvolvimento ocorre em noites claras e calmas, de 2 a 5 horas após o pôr do sol (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

A intensidade ou magnitude das ilhas de calor pode ser estabelecida com base no exposto em García (1996): de fraca magnitude, quando as diferenças entre os pontos oscilam entre 0°C e 2°C; de média ou moderada magnitude, entre 2°C e 4°C; de forte magnitude, entre 4°C e 6°C; e de magnitude muito forte, quando as diferenças são superiores a 6°C.

As cidades de porte médio e pequeno possuem características geográficas diferenciadas daquelas de grande porte e metropolitanas e, apesar de apresentarem facilidades para a identificação de suas paisagens intraurbanas, do ponto de vista conceitual, nota-se uma expressiva lacuna na bibliografia para o estudo específico dessas cidades (MENDONÇA, 2003a).

Para Mendonça (2003a, p. 96), “os espaços caracterizados como *urban boundary layer*, *cannopy boundary layer*, *pick*, *cliff* e *plateau* por exemplo, são facilmente observáveis em cidades cujos aglomerados urbanos possuem considerável extensão, porém podem não se manifestar da mesma maneira em cidades de menor porte” (Figura 4).

Sob outro aspecto, Spirn (1995) argumenta que a ilha de calor pode ter um efeito benéfico ou prejudicial sobre a conservação de energia. O fenômeno pode reduzir o consumo de energia para aquecimento no inverno, mas por outro lado, no verão de climas quentes, isso significa aumento das despesas com ar-condicionado e maior desconforto térmico. Mendonça (2003b, p. 180) comenta ainda que “para as áreas urbanas de baixas latitudes, as ilhas de frescor têm importância significativa, enquanto para aquelas das latitudes médias a altas, é a ilha de calor de inverno que parece trazer mais benefícios para a sociedade”.

Enquanto, sob determinadas condições atmosféricas, as áreas mais densamente construídas e impermeabilizadas configuram ilhas de calor, os parques ajardinados, vales de rios, áreas verdes e vertentes de morros voltadas ao sul (no Hemisfério Sul) apresentam temperaturas mais baixas, configurando as chamadas

ilhas de frescor dentro do espaço urbano (SAYDELLES, 2005; SPIRN, 1995). Nas primeiras horas da manhã, também podem ocorrer temperaturas mais baixas nas áreas centrais das cidades, especialmente onde há excessivo sombreamento, causado pela concentração de edifícios altos (AMORIM, 2010; SAYDELLES, 2005).

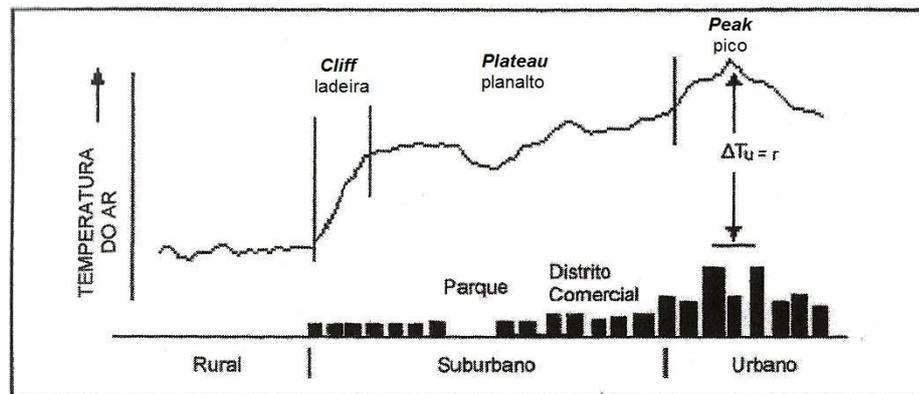


Figura 4 – Esquema transversal de uma típica ilha de calor urbana.

Fonte: Adaptado de Oke (1978⁷ apud Mendonça, 2003a, p. 97).

Para os estudos de clima urbano, Oke (2006) destaca a necessidade de se descrever adequadamente as propriedades das áreas urbanas que afetam a atmosfera e sugere uma classificação simplificada de formas urbanas distintas (*Urban Climate Zones – UCZ*), organizadas pela sua capacidade de impactar o clima local. Por exemplo, zonas urbanas intensamente desenvolvidas, com edifícios altos, poucos espaçados entre si, ausência de vegetação arbórea e altas taxas de impermeabilização do solo têm maior capacidade de impactar o clima local do que uma região suburbana de média e baixa densidade, habitações de um ou dois pavimentos, taxas médias de impermeabilização do solo e presença de vegetação arbórea.

Não existe esquema universalmente aceito de classificação urbana para fins climáticos. Porém, sua importância não é a precisão absoluta para descrever o local, mas classificar as áreas que são semelhantes em sua capacidade de modificar o clima local e identificar possíveis transições para diferentes zonas de microclima

⁷ Oke, T. R. **Boundary layer climate**. London: Methuen & CO, 1978.

urbano (OKE, 2006). Para organizar a classificação, a morfologia da área urbana deve ser avaliada através de mapas detalhados, fotografias aéreas, imagens de satélite (visível ou térmica), mapas de uso do solo, documentos de planejamento ou, pelo menos, um pesquisa visual *in loco* (OKE, 2006).

2.5 Aspectos da bioclimatologia urbana

Esta seção aborda os elementos da paisagem urbana, tanto construídos quanto naturais, que influenciam o clima urbano e que podem ser explorados estrategicamente nos projetos de desenho e planejamento urbano, para a adequação ao clima.

O controle do clima urbano através do desenho e planejamento urbano contribui para a melhoria do conforto dos habitantes tanto ao ar livre como em ambientes fechados, e também na redução da demanda energética dos edifícios para aquecimento no inverno e para o arrefecimento no verão.

Para Givoni (1998), as características físicas da área urbana que interferem em seu clima são: a localização da cidade dentro da região, o tamanho da cidade, a densidade da área construída, a cobertura do solo, a altura dos edifícios, a orientação e largura das ruas, a subdivisão dos lotes e os detalhes especiais de projetos dos edifícios.

2.5.1 Forma urbana

A influência da forma urbana sobre o clima local tem sido destacada por diversos pesquisadores (BORGES, 2009; CARDOSO; AMORIM, 2014; GIVONI, 1992; GOMES, 2008; OKE, 1988; ROMERO, 2011). Em geral, o estudo da forma urbana aplica as relações matemáticas entre a altura das edificações e a largura das vias (H/W), o Fator de Visão de Céu (FVC), o envelope solar, a orientação da malha viária, a compactidade urbana e a densidade construída (ou índice de ocupação e aproveitamento do solo).

O FVC é um parâmetro adimensional de geometria urbana que indica uma relação geométrica entre a Terra e o céu e representa uma estimativa da área visível de céu (SOUZA et al., 2010).

Para Oke (1981, apud SOUZA et al., 2010), o FVC é uma medida mais apropriada para a geometria de radiação de determinado local, pois representa a fração de céu disponível para a troca de calor, embora o calor antropogênico, a poluição do ar, determinadas características das superfícies urbanas e suas propriedades térmicas também contribuam para a formação das ilhas de calor. Por exemplo, uma área obstruída por vegetação arbórea apresenta comportamento térmico distinto daquelas altamente obstruídas por edificações.

Em estudo realizado em Porto Alegre (RS), Mascaró (1996) explica que as ruas estreitas e secas, delimitadas por edifícios altos e com pequeno ângulo de visão do céu não são adequadas para o clima subtropical úmido, pois acentua o desconforto pelo calor, umidade e falta de ventilação.

Gomes (2008) estudou a relação entre o microclima e o FVC, encontrando correlação positiva significativa entre o aumento da obstrução do céu e o aumento da temperatura do ar no período noturno.

Gonçalves e Souza (2013) avaliaram a influência da compactidade urbana sobre o comportamento térmico de duas frações urbanas da cidade de Sorocaba (SP), considerando a recepção de radiação solar. A primeira área selecionada apresenta alturas relativamente homogêneas de edifícios, entre 1 e 4 pavimentos, e foi classificada como mais compacta por apresentar mais área exposta à radiação. A segunda área foi classificada como menos compacta, com alturas heterogêneas de construção, contendo edifícios de 14 pavimentos ou mais, bem como terrenos baldios. As autoras puderam concluir pelo estudo que, quanto mais compacto o ambiente, maiores as diferenças térmicas entre área urbana e rural.

Duarte (2000), Gomes (2008) e Borges (2009) pesquisaram, em diferentes cidades, além de fatores como vegetação, água e superfícies impermeáveis, a correlação entre densidade construída e os aspectos climáticos como temperatura e umidade relativa do ar. Os autores encontraram correlação positiva entre aumento da temperatura e de densidade construída.

Muitos estudos relacionam o tamanho da população com a intensidade da ilha de calor. Porém, para os estudos de relação com as alterações microclimáticas, Givoni (1998, p. 281) considera conveniente substituir o parâmetro do tamanho da

população da cidade pela sua densidade construída por esta apresentar relação causal mais direta com os elementos climáticos. Os estudos sobre a influência da densidade construída no microclima urbano podem contribuir para projetos que busquem adensamento com qualidade ambiental (GUSSON, 2014).

Em seu estudo exploratório sobre a relação entre H/W e densidade de construção em cânions urbanos, Oke (1988) observa que muitas vezes as escolhas são contraditórias, mas conclui que existe uma zona de compatibilidade onde os objetivos principais podem ser atingidos. Obviamente, não existe uma solução única, ou seja, não há geometria universalmente ideal. No entanto, isso não deve impedir a busca por diretrizes gerais flexíveis o suficiente para atender às necessidades e situações especiais. Não existe uma solução rígida cuja aplicação cega levaria a mais problemas (OKE, 1988).

2.5.2 Recobrimento do solo

O tipo de recobrimento do solo interfere diretamente no clima do lugar. Os revestimentos do solo podem ser massas d'água, cobertura vegetal ou revestimentos artificiais de urbanização que, com diferentes propriedades térmicas, acarretam a alteração da relação com o meio e conseqüentemente o microclima (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011; BORGES, 2009).

As massas d'água funcionam no amortecimento das variações térmicas, provocam aumento de umidade, alteração de pluviosidade e indução de ventos locais. A cobertura vegetal, em geral, provoca a diminuição da temperatura média local, redução da amplitude térmica e aumento da umidade relativa (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

Por outro lado, o aumento de áreas impermeáveis na superfície do solo no espaço urbano, através de calçamentos, estradas e edifícios, reduz significativamente a evaporação na superfície do solo e, conseqüentemente, aumenta o armazenamento de calor no solo, contribuindo para a elevação da temperatura da superfície e do ar (TAKAMUNE; FONTES, 2013).

Giordano e Krüger (2013) estudaram o potencial de redução da temperatura de superfície pelo aumento do albedo nas diversas regiões brasileiras. Os resultados

mostram que a adoção de materiais de elevado albedo nas superfícies urbanas pode ter um impacto bastante significativo na melhoria do conforto térmico urbano e na redução dos efeitos da ilha de calor para uma grande extensão do território brasileiro.

O Potencial de Arrefecimento é consideravelmente mais intenso durante o verão, com irradiâncias mais elevadas do que durante o inverno, quando tal potencial diminui. Isso de certa forma dá ao albedo uma característica “seletiva”, ou seja, apresentando um efeito maior de resfriamento quando é mais necessário (verão) e reduzindo seu efeito quando ele é menos desejado (inverno). Este efeito pode ser bastante útil se explorado adequadamente em altas latitudes, onde é preciso tratar do conforto térmico para situações muito distintas entre os períodos de inverno e verão (GIORDANO; KRÜGER, 2013, p. 468).

O uso de materiais de alto albedo pode ajudar a reduzir a temperatura das superfícies urbanas expostas ao sol, mas, por outro lado, pode causar ofuscamento para o pedestre e piora do conforto térmico nos edifícios do entorno devido à absorção da parcela refletida dos materiais do meio urbano (GIORDANO; KRÜGER, 2013).

Na Região Sul do Brasil, onde o inverno é mais rigoroso, o interesse energético de redução do calor no meio urbano depende do ponto de equilíbrio onde a economia com refrigeração no verão não ultrapasse o possível maior gasto com calefação no inverno (GIORDANO; KRÜGER, 2013).

Takamune e Fontes (2013) avaliaram o conforto térmico em áreas de estacionamento e observaram, além da influência da vegetação no sombreamento das áreas, a influência do tipo de revestimento em cada local. Através de medições, as autoras observaram as diferenças nos valores das temperaturas superficiais coletadas no piso de asfalto e de grama, no sol e na sombra. As maiores temperaturas no asfalto foram de 40°C na sombra e 53°C no sol. Já as temperaturas no gramado foram de 31°C na sombra e 37°C no sol.

Os padrões de uso do solo também foram importantes na pesquisa de Lombardo (1985) devido às suas diferentes emissividades e diferentes relações com a temperatura de superfície. Foram relacionados os dados de temperatura das imagens termais de satélite com os diferentes tipos de solo urbano, tais como edificações, ruas pavimentadas, indústria, vegetação, corpos d'água e outros.

É fundamental entender a diferença entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar. Um elevado gradiente de temperatura de superfície de um local

não caracteriza elevada temperatura do ar a nível microclimático. Porém, dependendo das condições do clima diário (temperatura, nebulosidade e vento), elas estão fortemente relacionadas através dos mecanismos de trocas de calor.

Segundo Geiger (1961), o transporte de calor entre o ar e a superfície do solo não se efetua apenas pela condução física de calor, mas também, devido à fácil mobilidade do ar, através da convecção. Além disso, a nível microclimático, a temperatura de superfície dos espaços abertos urbanos pode interferir no conforto térmico dos habitantes através do mecanismo de troca de calor por radiação.

2.5.3 Vegetação

A vegetação desempenha importante papel no ambiente urbano. Além de suas funções estéticas e psicológicas, contribui na melhoria da qualidade ambiental das cidades. As áreas verdes podem contribuir para a melhoria do clima urbano, reduzindo o estresse térmico no espaço público, através do sombreamento, resfriando o ar e aumentando a umidade através da evapotranspiração, atenuando os efeitos da ilha de calor urbana, filtrando e absorvendo poluentes do ar, atenuando os ruídos urbanos, protegendo contra ventos indesejáveis, auxiliando no sistema de drenagem urbana e podendo cumprir ainda importante função social dentro do contexto urbano (DUARTE, 2000; HOUGH, 2004; LOMBARDO, 1985; MASCARÓ, 1996; ROMERO, 1988; SPIRN, 1995).

Sobre os efeitos na amenização climática, Romero (1988) explica que as áreas verdes podem absorver grande quantidade de radiação solar, mas irradiam uma quantidade menor de calor do que qualquer superfície construída porque grande parte da energia absorvida pelas folhas é utilizada para seu processo metabólico.

Para Duarte (2000), o uso da vegetação no meio urbano, tem duas principais vantagens: o de sombreamento, reduzindo o estresse térmico; e o de resfriamento indireto do ar, pela evapotranspiração das folhas. Sob grupamentos arbóreos, a temperatura pode ficar em média 3°C mais baixa que áreas expostas à radiação solar (MASCARÓ, 1996).

Além disso, as árvores de folhas caducas são as melhores em regiões climáticas que sofrem os rigores das temperaturas de verão e de inverno, porque elas fornecem sombra na estação quente e permitem a passagem do sol de inverno até o solo (HOUGH, 2004).

Avaliando o conforto térmico em áreas de estacionamento de um ambiente universitário em Bauru (SP), Takamune e Fontes (2013) verificaram que, em condições de tempo quente, o estacionamento em área completamente arborizada foi considerado o mais confortável, ficando em 40% do tempo dentro da faixa de conforto. Porém, em situações de temperaturas baixas, a ausência de sol pode aumentar o desconforto dos usuários, como observado no período da manhã. Já na área sem arborização, foi verificado maior desconforto por calor em 92,9% do tempo.

Analisando o fenômeno da ilha de calor em São Paulo, Lombardo (1985) verificou que, na Serra da Cantareira e bairros residenciais com índice de vegetação elevado, as temperaturas apresentaram-se mais baixas. Lombardo (1985) julga fundamental uma adequação na legislação que garanta uma proporção mínima de área verde em relação à quantidade de concentração de concreto. Duarte (2000) também acredita que ao invés de contabilizar a área verde em função do número de habitantes, é mais importante determinar esse parâmetro em função da densidade construída para cada bairro ou zona da cidade.

Por outro lado, Mascaró (1996) salienta a importância do tipo de vegetação adequada para cada clima, comentando que a tipologia de recinto urbano com edificações isoladas sobre um gramado verde contínuo e pouca vegetação arbórea não parece muito eficiente para certos tipos de clima. Na pesquisa realizada em Porto Alegre (RS), por exemplo, esse tipo de recinto urbano apresentou as maiores amplitudes térmicas no verão e menor temperatura no inverno.

Em estudo realizado em Maceió (AL), Barbosa, Barbirato e Vecchia (2003) constataram que espaços com vegetação heterogênea e copas não muito densas favorecem o movimento do fluxo de ar ao nível do usuário e demonstram melhores resultados quanto à obtenção de ambientes com temperaturas do ar mais amenas em diferentes horários. Por outro lado, grupamentos mais homogêneos e com copas densas podem configurar barreiras à penetração dos ventos e reduzir o fluxo de ar em seu interior (BARBOSA; BARBIRATO; VECCHIA, 2003, p. 728).

As árvores contribuem para a redução da temperatura do ar no período de insolação diurna, mas em alguns casos podem ser verificadas temperaturas noturnas mais elevadas em áreas vegetadas do que em áreas mais abertas (ROCHA; SOUZA; CASTILHO, 2011), principalmente sob agrupamentos arbóreos densos e sob condições de ventos fracos.

A água e as plantas são elementos naturais importantes para melhorar o clima da cidade. Mas, a área de influência, a quantidade de área de vegetação e água ou o local onde elas devem estar localizadas para alcançar um efeito significativo sobre o clima da cidade dependem das variações do clima da região, natureza, topografia e demais características do local (HOUGH, 2004).

O impacto de grandes espaços abertos, os chamados **pulmões verdes**, só se aplicam aos espaços verdes em si mesmos e nas suas proximidades, e têm pouco efeito sobre a qualidade global do ar da cidade. Sob o ponto de vista climático, uma mistura de espaços pequenos, distribuídas uniformemente por toda a cidade, é mais eficaz do que a concentração de alguns sítios verdes muito grandes, pois além de contribuir para a regulação microclimática dos espaços públicos, favorecem a redução do consumo de energia para resfriamento dos edifícios (BORGES, 2009; DUARTE, 2000; HOUGH, 2004).

Com isso, está claro que a vegetação deve servir como estratégia bioclimática de desenho e planejamento urbano para melhoria do clima urbano em várias escalas, de acordo com cada clima e características locais.

2.5.4 Água

Devido ao seu alto calor específico, a água leva mais tempo para aquecer ou esfriar, condição que determina seu efeito regulador de temperaturas. “O efeito de qualquer corpo de água sobre seu entorno imediato reduz as temperaturas extremas diurnas e estacionais; grandes massas de água possuem um pronunciado efeito estabilizador” (ROMERO, 1988, p. 29).

Quanto à influência dos fatores climáticos sobre o clima urbano, a presença de corpos d’água é bastante significativa. Cidades litorâneas ou próximas a grandes corpos d’água com ventos de forte intensidade, por exemplo, estão menos sujeitas à

influência da forma urbana sobre a temperatura do ar (ASSIS, 2000 apud DUARTE, 2000). A presença de água reduz as oscilações térmicas e a velocidade do vento promove continuamente trocas por convecção.

Uma das maneiras mais eficazes para controlar o clima local é por evaporação de água no ar, especialmente em climas secos. Este controle pode ser obtido por evaporação direta da água no exterior e por transpiração das plantas (HOUGH, 2004). Os elevados coeficientes de superfícies pavimentadas, supressão de mata ciliar e remoção eficiente das águas superficiais (drenada através das redes pluviais da área urbana) têm diminuído sua disponibilidade para evaporação e resfriamento nas áreas urbanas (HOUGH, 2004).

Gomes (2008) comenta ainda que a localização de superfícies de água nos caminhos dos ventos predominantes pode contribuir para a penetração de ventos úmidos nos núcleos urbanos, sendo uma estratégia favorável para a melhoria da umidade em climas secos.

2.5.5 Ventos

O vento é um dos fatores que tem grande impacto no clima em todas as escalas. A presença ou ausência de vento na cidade influencia fortemente o conforto térmico nos recintos urbanos (HOUGH, 2004).

As condições do vento dentro da cidade são bastante alteradas pela presença de edifícios, pois o aumento da rugosidade da superfície diminui a velocidade do vento e altera sua circulação natural (BORGES, 2009). Proporcionalmente, há menos vento na cidade do que no campo aberto. Por outro lado, a presença de torres isoladas, separadas por grandes áreas abertas, e a disposição das ruas pode fazer a velocidade do vento aumentar localmente, criando as desagradáveis rajadas de vento (HOUGH, 2004).

Algumas configurações urbanas, principalmente aquelas próximas de cânions urbanos, podem direcionar, intensificar a velocidade do vento e causar turbulência em determinadas regiões (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

Segundo Duarte (2000), a complexidade do traçado urbano dificulta os estudos de ventilação urbana. Porém, é possível simular setores da cidade que

apresentam algum padrão de homogeneidade quanto à ventilação. Algumas cidades já incorporam à legislação, diretrizes para a manutenção da ventilação no ambiente urbano com o propósito de dissipar os poluentes e amenizar as temperaturas de regiões centrais. Hough (2004) comenta o caso das pesquisas de clima urbano em Stuttgart, cidade com terreno acidentado na Alemanha onde os ventos são aproveitados na dissipação de poluentes.

As características da forma urbana, condições de relevo e presença de áreas livres, influenciam na direção e velocidade dos ventos. Áreas muito adensadas, com pouca penetração de vento, por exemplo, favorecem a formação das ilhas de calor urbanas. “Parece haver, também, uma relação entre a velocidade e orientação dos ventos e a intensidade da ilha de calor, principalmente no período da tarde e à noite” (LOMBARDO, 1985, p. 67). Como a ventilação favorece as trocas de calor por convecção, em dias de ventos fortes o fenômeno da ilha de calor é inexistente ou de fraca intensidade.

Ao avaliar o campo térmico e as ilhas de calor urbanas em Santa Maria (RS), através de experimentos de campo, Saydelles (2005) observou que, em virtude da atuação do vento Norte⁸, ocorrida em um dos dias de medição, não houve formação de significativas ilhas de calor na cidade. Fato que não se repetiu em outro dia de medição com tempo estável e ventos fracos, quando foi registrada formação de ilha de calor de elevada magnitude.

Por outro lado, Oke (1988) ressalta a importância de maximizar o abrigo, garantindo a segurança e o conforto de pedestres para não expô-los a ventos fortes naquelas cidades de média ou alta latitude, evitando o desconforto térmico pelo frio.

Destaca-se a importância da aplicação dos conhecimentos da ventilação urbana nos projetos de desenho e planejamento urbano, a fim de garantir o conforto dos pedestres nos espaços abertos e melhores condições microclimáticas junto às edificações.

Mendonça e Assis (2001) investigaram as condições de ventilação de um bairro de Belo Horizonte (MG). Características locais como topografia, adensamento urbano e orientação das ruas foram identificadas e espacializadas em mapas. Os

⁸ O vento Norte é um fenômeno marcante na cidade de Santa Maria por sua alta velocidade e temperatura. A cidade está localizada no sopé da Serra Geral que separa o Planalto Médio da Depressão Central, localizando-se a barreira orográfica ao norte da cidade. Ao descer a escarpa do Planalto, o vento Norte sofre aumento na velocidade e se aquece (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

dados de temperatura, umidade e ventos coletados em campo foram também espacializados. Como resultado, gerou-se um mapa síntese com recomendações para áreas que deveriam ser melhoradas e aquelas que deveriam ser preservadas com baixa ocupação do solo, para possibilitar as condições de acesso aos ventos predominantes.

2.5.6 Relevo

O relevo, além de ser um dos fatores geográficos definidores do clima na escala regional, é um fator determinante também na escala do clima local. Em uma região acidentada, por exemplo, diferentes topoclimas ou microclimas podem ser identificados. As diferentes orientações de vertentes determinam diferentes ângulos de incidência solar e conseqüentemente a quantidade de radiação recebida (COSTA, 2009). Além das orientações das vertentes, a altitude também é um fator definidor do clima que influencia a temperatura do ar.

O relevo também pode ter influência no padrão da ventilação urbana, definindo áreas de boa exposição aos ventos ou formando áreas de estagnação de massas de ar (GOMES, 2008). Portanto, o perfil da declividade, os fundos de vale, planícies e encostas são capazes de gerar diferenças climáticas dentro do sítio urbano.

Costa (2009) utilizou a metodologia dos transectos para analisar a formação de ilhas de calor e de frescor urbanas em Santa Maria (RS). O autor relacionou os dados climáticos com as variáveis geourbanas e geoecológicas, entre elas, um mapa de orientação de vertentes da área de estudos.

Analisando o campo térmico de um dia de verão, por exemplo, nos cinco horários de coleta de dados, o estudo revelou o movimento migratório das ilhas de calor da vertente leste, para as vertentes voltadas para o quadrante norte e oeste. Segundo o autor, o uso do solo urbano e a exposição das vertentes são importantes elementos geourbanos e geoecológicos que contribuem para a formação de ilhas de calor e de frescor no espaço intraurbano (COSTA, 2009, p. 80).

Também em Santa Maria (RS), Saydelles (2005) observou a influência do relevo e outros fatores naturais e antrópicos no campo térmico da cidade através de

imagens de satélite na banda termal e rede fixa de coleta de dados de temperatura. Como resultado da pesquisa, o autor identificou diferentes áreas a nível topoclimático de acordo com as temperaturas observadas: áreas mais aquecidas, áreas com temperaturas moderadas, áreas com temperaturas brandas e áreas com temperaturas mais baixas. Em geral, os bairros com topografia suave e edificações térreas favorecem a incidência solar direta e conseqüentemente temperaturas mais elevadas em alguns horários do dia. Por outro lado, aqueles bairros situados na vertente sul dos morros do Rebordo do Planalto e com elevado índice de vegetação foram classificados como áreas de temperaturas mais baixas (SAYDELLES, 2005).

Em São Paulo (SP), Lombardo (1985) verificou a influência da topografia nas temperaturas da metrópole paulista observando que as menores temperaturas muitas vezes apareceram na Serra da Cantareira, devido ao efeito da topografia associado à vegetação.

O relevo, a forma urbana, o recobrimento do solo, a vegetação, as superfícies de água e os ventos são elementos que interagem de forma dinâmica dentro do espaço urbano criando condições climáticas diversificadas. Cabe, portanto, à arquitetura e ao desenho urbano – entre outros aspectos a se considerar nos projetos – neutralizar as condições climáticas desfavoráveis e potencializar as favoráveis, através desses elementos (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

2.6 Conforto térmico exterior

“O conforto térmico de um indivíduo se alcança quando as condições do meio permitem que o sistema termorregulador esteja em estado de mínima tensão” (RIVERO, 1986, p. 62). Os intercâmbios térmicos entre o homem e o meio dependem de múltiplas variáveis. Algumas delas dependem do próprio indivíduo: vestimenta, atividade física, idade, sexo e grau de aclimatação. As outras variáveis dependem do ambiente: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar, radiação ou temperatura média radiante (RIVERO, 1986).

A análise do conforto térmico em ambientes externos urbanos é mais complexa do que aquela em ambientes internos porque envolve maiores variações de condições climáticas (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011; GOMES, 2008).

Vasilikou e Nikolopoulou (2013) destacam a importância da velocidade do vento e da radiação solar na sensação de conforto nos ambientes externos.

Diversos estudos procuram estabelecer relações entre a resposta subjetiva e comportamento humano em função de condições climáticas externas. Nesses estudos estão incluídas medições de parâmetros meteorológicos como temperatura do ar, vento, umidade e radiação solar, bem como questionários para medição da resposta fisiológica humana frente às condições que se estabelecem simultaneamente às medições, além do estabelecimento de relações entre a atividade, o metabolismo, vestimenta e taxas de sudorese (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

Minella, Kruger e Prigol (2013) compararam as condições microclimáticas em três áreas com morfologias urbanas distintas no período de inverno em Curitiba (PR). Para avaliar o nível de conforto térmico foi utilizado o índice denominado PET (*Physiological Equivalent Temperature* – Temperatura Fisiológica Equivalente).

Através das coletas de dados meteorológicos dos locais e cálculo do PET, os resultados mostraram que o maior desconforto térmico em situação de inverno foi observado na avenida cuja morfologia urbana é caracterizada por cânion urbano, projetando sombra na via e reduzindo o acesso à radiação solar (MINELLA; KRUGER; PRIGOL, 2013). Os autores salientam ainda que as condições do campo térmico urbano em cada ponto influenciam não somente o nível de estresse térmico externo, mas as condições de insolação e ventilação das edificações.

Recentemente, Vasilikou e Nikolopoulou (2013) investigaram o impacto da morfologia urbana no conforto térmico dos pedestres em espaços urbanos do centro de Roma e de Londres. A metodologia obteve dados através do monitoramento das variáveis ambientais e humanas simultaneamente, numa série de passeios estruturados com participantes, realizada no verão de 2012 e inverno de 2013. No estudo, foram avaliadas a influência das diferentes morfologias urbanas espaciais (H/W e FVC), as variações microclimáticas (variações de temperatura, velocidade do vento, radiação solar, etc.) e a sensação percebida, ou seja, a experiência subjetiva e as variáveis psicológicas dos pedestres em avaliar as variações físicas acima. Embora a temperatura e a umidade relativa tenham permanecido relativamente estáveis ao longo dos percursos num mesmo dia, os níveis de conforto térmico entre os participantes, representados através do ASV (*Actual Sensation Vote*), foram bastante variados (VASILIKOU; NIKOLOPOULOU, 2013).

Isso demonstrou que a velocidade do vento e a posição ao **sol** ou à **sombra** foram os principais parâmetros climáticos desta variação. Os resultados iniciais também sugerem que os espaços termicamente agradáveis não partilham uma característica geométrica específica e podem variar entre as estações (VASILIKOU; NIKOLOPOULOU, 2013).

A boa qualidade do espaço público, incluindo o conforto térmico, pode favorecer a permanência em uma espacialidade tranquila, o desenvolvimento de atividades sociais e, conseqüentemente, a vitalidade urbana (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011).

2.7 Clima e Planejamento Urbano

O caráter multidisciplinar do espaço urbano, onde aspectos naturais, sociais e econômicos estão relacionados de forma dinâmica, torna a tomada de decisão para fins de ordenação do solo uma tarefa bastante complexa. Nesse jogo de variáveis conflitantes, as questões ambientais são muitas vezes desconsideradas em benefício das demais variáveis (GOMES, 2008; ROMERO, 1988).

As características do clima urbano, suas causas e seus efeitos sobre o conforto humano, a qualidade do ar e o consumo de energia são bem conhecidos (SPIRN, 1995).

No entanto, Eliasson (2000) e Assis (2005) esclarecem que o conhecimento do clima tem produzido baixos impactos na prática do planejamento urbano. Os motivos e barreiras que contribuem para a ausência das questões climáticas no processo de planejamento urbano devem-se principalmente a problemas de comunicação, interesses conflitantes, fatores econômicos, falta de conhecimento, fatores políticos e fator tempo (AMORIM, 2010; ASSIS, 2005; ELIASSON, 2000).

Os climatologistas têm restringido seus estudos à elaboração de diagnósticos detalhados das condições atmosféricas urbanas, mas por outro lado “a parte do processo de planejamento concernente ao levantamento de diretrizes e à implementação do planejamento tem ficado, genericamente, sob a responsabilidade de urbanistas com formação em outras áreas do conhecimento” (MENDONÇA, 2003b, p. 178).

Gomes (2008) aponta ainda algumas limitações para pesquisas em clima urbano em muitas cidades, como a dificuldade em obter os dados climáticos (dados oficiais por estações, estações fixas ou transectos), a falta de dados cartográficos, fotos aéreas, levantamentos planialtimétricos e cadastro imobiliário atualizado nas prefeituras.

Alguns autores apontam a falta de uma ferramenta simplificada que possa ser aplicada na legislação urbanística como um dos fatores que dificultam a aplicação dos resultados das pesquisas de clima urbano no planejamento urbano (DUARTE, 2000; GOMES, 2008; SOUZA et al., 2010).

Torres et al. (2013), por exemplo, analisaram o Plano Diretor da cidade de Arapiraca (AL), e constataram que, apesar do discurso voltado ao tema da sustentabilidade urbana e urbanismo bioclimático, a grande maioria dos instrumentos necessita ainda de definições específicas. Percebe-se, portanto, grande dificuldade para passar dos níveis mais abstratos dos princípios e objetivos, para os níveis mais concretos, como diretrizes, estratégias, táticas, ações específicas e definição de instrumentos que fechem o círculo da proposta (TORRES et al., 2013, p. 391).

Por outro lado, Oke (1988) adverte que, mesmo quando estamos preocupados principalmente com resultados físicos, excluindo os fatores sociais e econômicos, as escolhas não são óbvias. No caso de projetos para urbanismo bioclimático, os objetivos podem ser mutuamente exclusivos. Por exemplo, enquanto a geometria aberta é favorável para a dispersão da poluição do ar e ao acesso solar, um arranjo mais densamente agrupado é favorável ao abrigo e à conservação de energia. Porém, ao concentrar-se sobre as relações quantificáveis, parece ser possível encontrar uma variedade de geometrias que são compatíveis com os objetivos de projeto aparentemente conflitantes (OKE, 1988).

Vários autores também acreditam que há recompensas ao se projetar a cidade de acordo com o clima, a natureza e os princípios bioclimáticos (HOUGH, 2004; ROMERO, 1988; SPIRN, 1995). Spirn (1995) relata o caso de algumas cidades que se adaptaram engenhosamente à natureza, entre elas Stuttgart, na Alemanha, que aproveitou seus espaços na canalização de ar fresco e limpo para o centro congestionado. A autora acredita que mudanças realizadas através de pequenos projetos podem ser mais viáveis e, quando coordenadas, podem ter um efeito de longo alcance.

Quanto ao consumo energético nas cidades, sabe-se que o aumento da população em áreas urbanas significa aumento de demanda energética. Habitantes de áreas urbanas submetidos às condições de estresse térmico usam muito mais energia para condicionamento artificial. Esses custos podem ser reduzidos através do planejamento e desenho urbanos adequados a cada realidade climática (DUARTE, 2000).

As edificações são influenciadas pelo entorno ou recinto urbano no qual estão inseridas. Por outro lado, esse recinto urbano também é influenciado pelos elementos construídos que dele fazem parte, de tal forma que o desempenho energético e conforto ambiental dos espaços internos e externos estão fortemente relacionados. Mascaró (1996) afirma que a necessidade de consumo energético que garanta um conforto ambiental apropriado não se deve apenas a um problema decorrente das condições climáticas, mas, em muitas ocasiões, ao desconforto gerado por uma organização espacial urbana e arquitetônica não adequada ao meio.

Loura e Assis (2004) abordam a questão da eficiência da malha urbana através de parâmetros como o adensamento ou dispersão urbana, o acesso aos recursos naturais e a mobilidade urbana. Todas estas questões estão diretamente relacionadas às condições climáticas do espaço urbano.

As altas densidades podem diminuir a porção de terra ocupada pela cidade. Uma malha densa não precisa avançar sobre o ambiente no seu entorno, assim mais áreas verdes podem ser preservadas. Como a malha é menor, ocorre também menos impermeabilização dos solos devido à construção de infra-estrutura. Entretanto grandes densidades podem contribuir para alterações microclimáticas. A forma e a altura das edificações têm influência direta nos ventos e no acesso aos recursos solares. Quando a penetração dos ventos na malha urbana fica prejudicada ocorre um aumento da temperatura local, já que a ventilação é um contribuinte importante para a perda de calor latente (LOURA; ASSIS, 2004, p. 4).

Sobre a questão da dispersão ou adensamento urbano, Oke (1988) lembra que, embora não exista uma pesquisa conclusiva que relacione H/W e densidade construída de cidades europeias e norte-americanas, a maioria dos pesquisadores concorda que a moderna forma de cidade norte-americana composta por dois extremos – um núcleo muito denso e subúrbios espalhados – é um projeto urbano climaticamente pobre.

Portanto, a questão das taxas de densidade construtiva deve ser equacionada de acordo com a realidade de cada cidade, buscando o equilíbrio entre qualidade ambiental, custos de implantação de infraestrutura e eficiência energética. Duarte

(2000) acredita que o equilíbrio entre densidade construída e elementos naturais, como vegetação e corpos d'água na configuração urbana pode contribuir para ambientes adequados ao clima local. Para se chegar a um índice ideal, estudos devem ser realizados para cada realidade climática.

De acordo com as contribuições teóricas já desenvolvidas através dos estudos da Climatologia urbana, Torres et al. (2013) sugerem as principais diretrizes de planejamento para construção da cidade bioclimática permeada pelos princípios da sustentabilidade urbana:

- promover linhas de ação baseadas nas particularidades de cada sítio urbano (clima, topografia, etc.), sem adoção de soluções urbanísticas padronizadas;

- promover o uso misto e diversidade de atividades concentradas em áreas urbanas centrais para reduzir deslocamentos e consumo de energia para o transporte;

- integrar, ampliar e projetar rede de espaços urbanos abertos para corrigir e moderar extremas condições ambientais adversas, servindo também como espaços de uso social;

- estimular as densidades (construtivas) moderadas ou altas em comparação com a baixa densidade de casas dispersas, onde o custo da energia, infraestrutura e impacto sobre o meio ambiente são muito elevados;

- promover o aproveitamento dos recursos naturais, sol, vento, chuva, na estrutura urbana, e o controle de reciclagem dos resíduos sólidos e recuperação de matéria orgânica.

É importante que os resultados das pesquisas climatológicas urbanas forneçam argumentos, métodos e ferramentas adequadas, melhorando a conscientização sobre a importância do clima urbano, entre técnicos planejadores, população e poder público (ELIASSON, 2000).

2.8 Pesquisas na área de clima urbano

A quantidade de pesquisas sobre o tema clima urbano impressiona, tornando muito difícil uma revisão bibliográfica completa. Portanto, são comentados brevemente neste item apenas alguns trabalhos de relevância quanto à sua

metodologia e resultados, que são bastante úteis para o embasamento teórico do presente estudo.

O trabalho de Monteiro (1976) apresenta uma proposição teórico-metodológica para o estudo do clima urbano, definida como Sistema Clima Urbano (SCU), sendo referência no Brasil para os estudos de clima urbano.

Na pesquisa de ilha de calor urbana na Metrópole Paulistana, Lombardo (1985) utilizou as imagens de satélite (temperatura de superfície) combinadas com medições fixas e móveis (temperatura do ar). Os resultados mostraram a correlação entre os diferentes usos do solo (edifícios, vegetação, grama, estacionamento, indústria, etc.) e a formação de ilhas de calor, bem como a influência das atividades antrópicas e da condição atmosférica na magnitude da ilha. De modo geral, as maiores temperaturas foram encontradas no centro comercial; as maiores variações de temperatura ocorreram durante a tarde até o período noturno; e, aos domingos, a intensidade da ilha de calor diminuiu devido à redução das atividades urbanas.

Em Santa Maria (RS), Saydelles (2005) analisou o campo térmico e as ilhas de calor urbanas (ICU) da cidade e de seu entorno durante o inverno, relacionando os comportamentos térmicos e espaciais com as variáveis urbanas e naturais (relevo, vegetação, altimetria, solos rurais). Para a análise do campo térmico, foi empregada imagem do satélite *Landsat 7*, resultando numa definição de quatro situações térmicas distintas: áreas mais aquecidas; com temperaturas moderadas; com temperaturas mais brandas e com temperaturas baixas. Para o estudo da ICU foram realizados experimentos de campo com rede fixa em dois dias de medição. Sob a ação do vento Norte não houve formação de significativas ICU, já sob condições de ventos fracos houve registro de ICU de elevada magnitude em áreas urbanas.

Costa (2009) também realizou estudo em Santa Maria (RS), em nível topoclimático, utilizando a metodologia dos transectos, que consiste em coletas móveis dos dados climáticos em pontos preestabelecidos. Os dados foram coletados às 9, 12, 15, 18 e 21 horas em um dia de verão e outro de inverno. Após a coleta dos dados, foi possível elaborar os cartogramas do campo termo-higrométrico e identificar ilhas de calor e de frescor em diferentes horários do dia. Uma das principais contribuições do trabalho foi a observação entre as variações climáticas e sua relação com a urbanização e com as diferentes orientações de vertentes do relevo.

Através de equações de regressão linear, Duarte (2000) analisou a correlação entre as variáveis ligadas à legislação urbanística, tais como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, presença de água e de vegetação e dados de temperatura do ar da cidade de Cuiabá (MT). Os resultados mostraram que as variáveis **taxa de ocupação** e **coeficiente de aproveitamento** mantêm correlação positiva com a temperatura do ar. Já com as variáveis **arborização** e **água**, a correlação foi negativa com a temperatura do ar. Ao final, Duarte (2000) propõe um parâmetro relacionando **densidade construída** (taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento), **arborização** e **superfícies d'água** em áreas urbanizadas, salientando que a proporção ideal entre os elementos precisa ser definida e testada.

No estudo do clima urbano da cidade de Montes Claros (MG), Gomes (2008) também utilizou a técnica de regressão linear simples para estabelecer o grau de correlação entre as variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa) e algumas variáveis urbanísticas, como a densidade construída, por exemplo. Pelos resultados, a correlação positiva entre densidade construída e temperatura foi significativa no período noturno.

Chen-Yi et al. (2009) investigaram a influência de três parâmetros sobre o microclima em duas ruas de Taiwan com mesma orientação (Leste-Oeste). Os parâmetros utilizados foram a densidade de vegetação, a densidade de construção e a razão H/W (razão entre a altura dos edifícios e a distância entre eles ou largura da rua). Os autores encontraram correlações significativas entre a temperatura e os três parâmetros, nas alturas de 3 e 4 metros, no período noturno. Ao combinar todos os parâmetros ambientais que influenciam o ambiente térmico, a temperatura mais baixa noturna ocorreu em lugares de baixa densidade de construção e baixa razão H/W e alta densidade de vegetação.

A relação entre a temperatura do ar e densidade de vegetação não foi significativa durante o dia, porque, segundo os autores, a temperatura do ar foi fortemente influenciada pelo asfalto, radiação, sombra e tráfego. Ainda conforme os autores, mesmo que a vegetação não forneça evaporação para resfriar o ambiente durante a noite, a cobertura vegetal ainda é mais fria do que outros tipos de superfícies, tais como concreto e asfalto (CHEN-YI et al., 2009).

Borges (2009) utilizou a técnica de regressão linear múltipla para avaliar a influência do ambiente construído no microclima urbano do Campus da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis (SC). Os dados climáticos obtidos e os

mapas da área de estudo serviram de base para compreender a influência do ambiente construído no microclima urbano e verificar o efeito da vegetação como elemento mitigador do clima urbano. Os resultados obtidos demonstraram uma grande influência do ambiente construído sobre a variação térmica da área de estudo, sendo a área edificada a variável de maior influência.

O autor destaca a dificuldade na obtenção dos dados climáticos durante a pesquisa, devido à necessidade de condições atmosféricas estáveis, como céu claro, sem nuvens e ventos fracos. Além disso, “pode-se destacar, ainda, a complexidade do processo de medição do clima urbano sob condições reais, sendo impossível ‘isolar’ alguma variável, para que se avalie o efeito apenas desta no clima local” (BORGES, 2009, p. 98).

A transmissividade da radiação de ondas curtas total e direta através das copas das árvores urbanas individuais foi medida em dias de verão e de inverno na cidade de alta latitude de Gotemburgo, na Suécia. Os índices de transmissividade foram calculados como a razão entre a irradiância medida sob a copa da árvore por aquela incidente sobre ela (KONARSKA et al., 2012).

O estudo mostrou que as árvores estudadas (de folhas caducas) diferem em altura e diâmetro, mas as copas são caracterizadas por uma transmissividade similar de radiação de ondas curtas. Densas copas de árvores isoladas no verão eram quase impermeáveis para a radiação solar e apenas 1 a 5% do feixe direto incidente atingiu o chão sob sua copa. A transmissividade da radiação total foi maior (média de 8 a 15% para diferentes árvores com folhas) que a do componente direto devido à alta proporção de radiação difusa na sombra de árvore. No inverno, porém, as árvores sem as folhas bloquearam em média entre 40 e 52% da componente direta e de 48 a 59% da radiação solar total (KONARSKA et al., 2012).

Esse nível de sombreamento de árvores sem folhas é uma desvantagem em cidades de altas latitudes, onde o acesso à luz solar no inverno é limitado. Mas, para cidades de média latitude com inverno menos rigoroso, talvez esse índice seja suficiente, pela própria altura solar do inverno ser mais baixa, permitindo a penetração da radiação sob as copas (KONARSKA et al., 2012).

Conforme já comentado, recentemente, Rovani et al. (2014) analisaram o campo termo-higrométrico e a formação de ilhas de calor e frescor no bairro Camobi, Santa Maria (RS), em um dia de inverno (julho de 2009) e outro de primavera (dezembro de 2009). Com os dados de temperatura e umidade relativa do ar,

obtidos através de transectos móveis, a análise integrada foi realizada com mapas de orientação de vertentes e uso do solo. Segundo o mapa de uso do solo apresentado, na porção central do bairro predominam as áreas urbanas e no seu entorno, as áreas de campos e de agricultura. De forma dispersa, em toda a área de estudo, foram encontradas pequenas porções de florestas (ROVANI et al., 2014).

Nos dois episódios foi possível observar, em diferentes horários, ilhas de calor e de frescor no bairro. Em alguns horários foram verificadas ilhas de calor e de frescor de magnitude muito forte. Segundo os autores, às 15, 18 e 21 horas os centros das ilhas de calor localizaram-se nas áreas mais urbanizadas e impermeabilizadas do bairro. As ilhas de frescor se definiram melhor na periferia do bairro, especialmente na porção sul, marcada pela presença de campos, florestas, solos expostos e áreas agrícolas (ROVANI et al., 2014).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: SANTA MARIA E CAMOBI

3.1 Aspectos gerais

O município de Santa Maria localiza-se na região central do Estado do Rio Grande do Sul, a 29°41' de latitude sul e 53°48' de longitude oeste (SARTORI, 1979) ficando distante aproximadamente 293 km de Porto Alegre, capital do estado (Figura 5). A altitude média do município é de 155 metros (IPLAN-SM, 2014b).



Figura 5 – Localização de Santa Maria no contexto estadual.

Fonte: Dados da FEPAM, Organização: Gerusa Lazarotto, 2014.

Além da sede, fazem parte do município mais nove distritos (São Valentim, Pains, Arroio Grande, Arroio do Só, Passo do Verde, Boca do Monte, Palma, Santa Flora e Santo Antão), totalizando uma área de 1.791,65 km² (SANTA MARIA, 2005). Fazem parte do distrito sede do município 41 bairros, localizados dentro do perímetro urbano, conforme Lei Complementar nº 042, de 29 de dezembro de 2006 (SANTA MARIA, 2006).

A população do município, conforme o Censo do IBGE 2010 é de 261.031 habitantes, sendo que 248.347 (95,1%) residem na zona urbana (IBGE, 2013).

O bairro Camobi localiza-se na porção leste de Santa Maria, entre as coordenadas geográficas 53°45" e 53°40" de longitude oeste e 29°43" e 29°41" de latitude sul (COMIN, 2013). A amplitude altimétrica do bairro está entre 63 e 120 metros (IPLAN-SM, 2014b). A figura 6 mostra o mapa do município de Santa Maria. A figura 7 mostra o perímetro urbano do município, com a localização do bairro Centro e destaque para o bairro Camobi. A figura 8 mostra o mapa do bairro Camobi.

Camobi é o maior bairro do município em área territorial e população, com área de aproximadamente 20,35 km² e população de 21.822 habitantes conforme Censo IBGE 2010, resultando numa densidade demográfica de 1.072,53 hab/km² (IBGE, 2013; IPLAN-SM, 2013b).

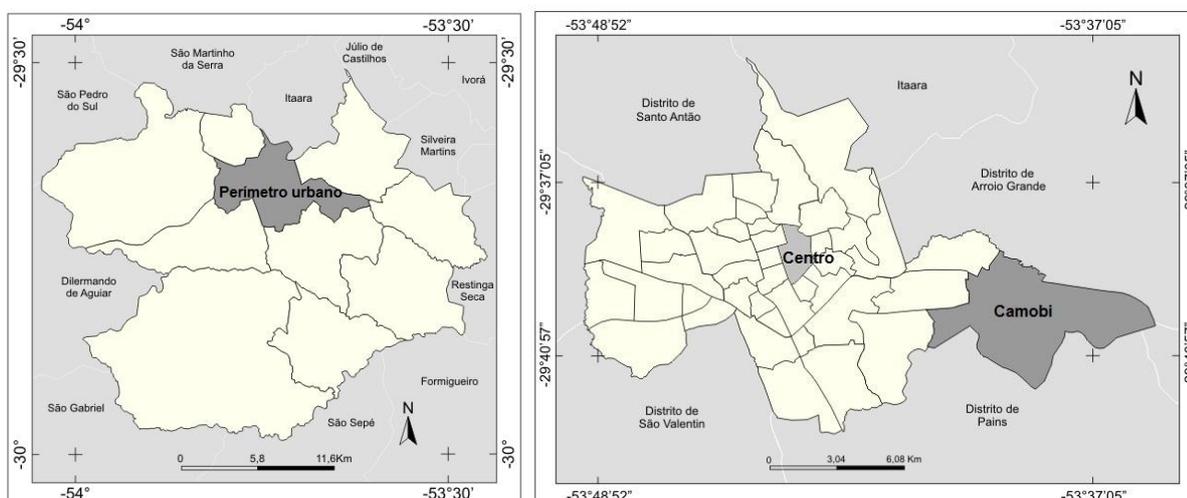


Figura 6 – (esquerda) Município de Santa Maria com destaque para o perímetro urbano. Figura 7 – (direita) Localização do bairro Camobi no perímetro urbano do município.

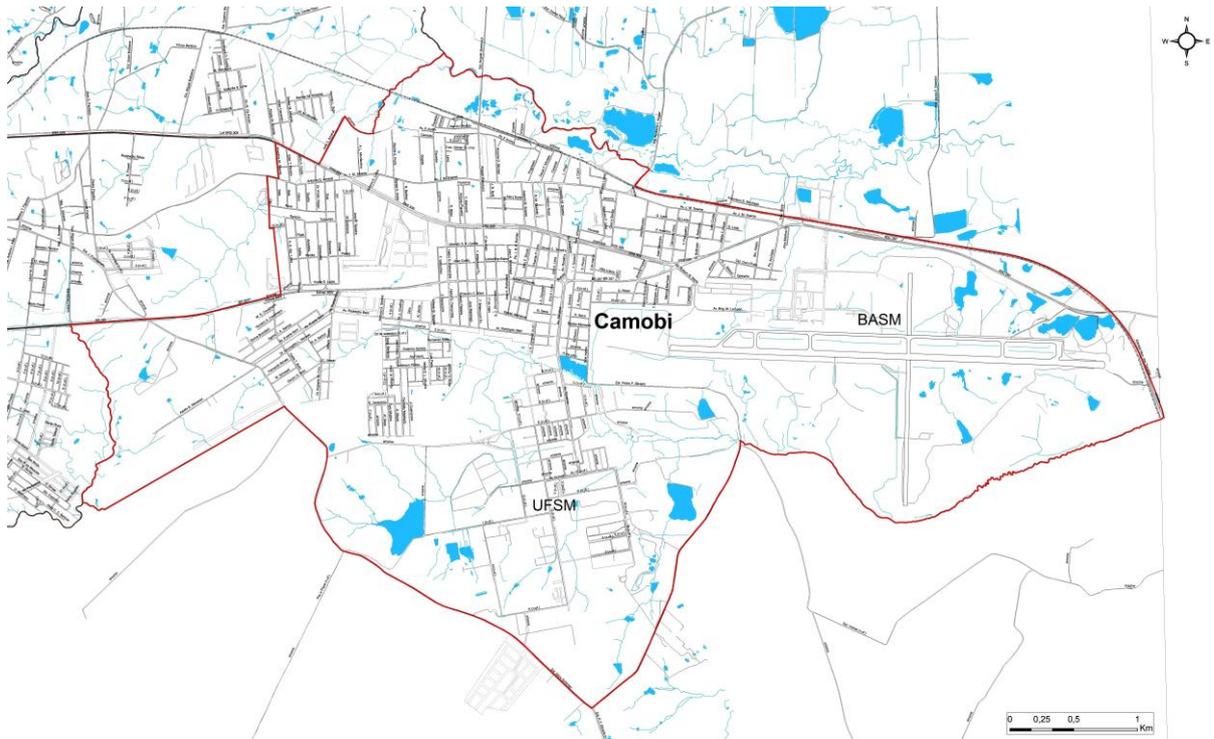


Figura 8 – Mapa do bairro Camobi.

Fonte: Adaptado de IPLAN-SM, 2014a.

O estudo dos condicionantes naturais e antrópicos do sítio é fundamental para pesquisas de clima urbano, servindo de base para a compreensão dos resultados encontrados nos levantamentos.

3.2 Aspectos naturais

3.2.1 Relevo

A paisagem de Santa Maria é marcada pelo contraste entre as suaves coxilhas campestres da Depressão Central e a densa floresta da Serra Geral ao norte da cidade (MARCHIORI; NOAL FILHO, 2009).

A Depressão Central do Rio Grande do Sul, onde está localizado o município de Santa Maria, caracteriza-se por uma faixa deprimida que se estende no sentido leste-oeste e é limitada pelos compartimentos geomorfológicos mais elevados: o Planalto da Bacia do Paraná e seu Rebordo ao norte, e o Escudo Sul-rio-grandense ao sul (SAYDELLES, 2005).

As áreas geomorfológicas reconhecidas na região do município são o planalto, serra, depressão, planícies e terraços fluviais (MACIEL FILHO, 1990).

O planalto ou topo do planalto possui morfologia fracamente ondulada com declives suaves, entre 8 e 12% e altitudes entre 400 e 500 metros. A Serra Geral ou Rebordo do Planalto representa a zona de transição entre o Planalto e a Depressão e possui alta energia de relevo, com declividade média (6%) e alta (45%) e escarpa com desnível de até 400 metros (SAYDELLES, 2005).

A Depressão é constituída por colinas suaves, com exceção de locais isolados, com altitudes que variam de 70 a 164 metros. As Planícies de inundação são reconhecíveis pela sua planura e por serem periodicamente inundadas. Fazem parte dessas áreas as várzeas do Arroio Cadena, do Vacacaí-Mirim, do Ferreira e das Tropas. Os terraços fazem parte do sistema fluvial e estão relacionados ao rio que lhe deu origem. Estão alguns metros acima das planícies ou várzeas, em cotas entre 70 a 110 metros, e não estão sujeitos a inundações (MACIEL FILHO, 1990).

O bairro Camobi localiza-se sobre a Depressão Central e, de acordo com a compartimentação geomorfológica elaborada por Dal Asta (2009), parte do bairro está assentada sobre colinas de Lamito e Arenito, com declividades inferiores a 15% e altitudes entre 70 e 130 metros, e parte assentada sobre o terraço fluvial do Vacacaí-Mirim.

A amplitude altimétrica do perímetro urbano do município é de aproximadamente 372 metros. O ponto mais elevado é de 432 metros acima do nível do mar, na porção norte do município, e o ponto de menor altitude é de 60 metros, localizado na porção sul (DAL ASTA, 2009). Uma representação do relevo da cidade pode ser observada na figura 9. “Na porção leste, em Camobi, a escassa amplitude das formas caracteriza uma topografia quase plana, onde predominam declividades inferiores a 2%” (DAL ASTA, 2009, p. 96).

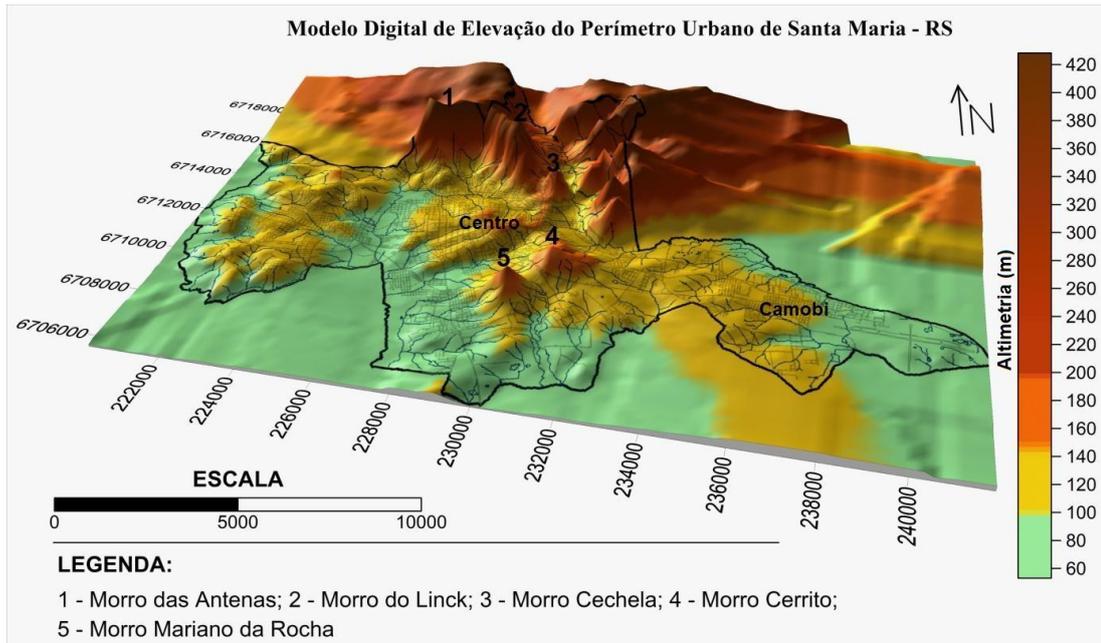


Figura 9 – Representação do relevo de Santa Maria, através de Modelo Digital de Elevação.

Fonte: Adaptado de Pires e Dal Asta (2011).

3.2.2 Vegetação

O município de Santa Maria apresenta um singular caráter fitogeográfico devido à transição de dois biomas: o da Floresta Atlântica e o do Pampa. Na encosta da Serra Geral, a vegetação é composta de densas florestas. Já nas planícies e coxilhas da Depressão Central do Rio Grande do Sul, predominam os campos naturais entremeados de matas ciliares e capões⁹ (LONGHI et al., 2000; MARCHIORI, 2009).

A floresta que reveste a encosta da Serra Geral, ao norte do município, e os morros testemunhos têm caráter estacional, marcados fisionomicamente pela caducidade do estrato superior (MARCHIORI, 2009).

Já nos locais de altitudes mais baixas, formados pela depressão, planícies e terraços fluviais, a vegetação é formada por campos, capões de mato e matas

⁹ De origem indígena, a palavra capão aplica-se, regionalmente, às ilhas de vegetação silvática dispersas em áreas campestres (MARCHIORI, 2009).

ciliares ao longo de arroios e riachos, além de atividades agropastoris e agrícolas (SAYDELLES, 2005). As matas ciliares são formações silváticas associadas à margem de cursos d'água. Os capões localizam-se geralmente junto às encostas de coxilhas, fontes de água ou locais mais bem favorecidos por umidade permanente, apresentando estrutura semelhante à da Floresta Estacional. Já os campos nativos são formados principalmente por espécies herbáceas e arbustivas (MARCHIORI, 2009).

Uma grande parte de vegetação nativa sofreu processo de alteração antrópica, decorrente do uso agrícola da terra e desenvolvimento urbano. Segundo Marchiori (2009), as alterações na vegetação natural iniciaram de forma mais expressiva a partir do século XIX, com a chegada dos primeiros colonos italianos à região que, assentados em terras florestais, destruíram partes da floresta, sobretudo nas encostas da Serra Geral. A implantação da ferrovia promoveu mais devastação às florestas nativas, para o fornecimento de madeira para dormentes e lenha para alimentar as caldeiras das locomotivas. Já a redução de áreas na zona campestre, matas ciliares e capões iniciou-se após o cultivo de arroz irrigado e pecuária extensiva (MARCHIORI, 2009).

Partes das florestas suprimidas foram naturalmente recompostas ao longo do tempo e atualmente, nas porções de maior altitude e declividade, as florestas apresentam-se poucas alteradas, existindo fragmentos da floresta com vegetação nativa em vários estágios de sucessão (LONGHI et al., 2000). Por outro lado, conforme ressalta Dal Asta (2009), as matas ciliares preservadas no município estão associadas às áreas de menor adensamento urbano. No meio urbano, a mata ciliar resume-se a pequenos fragmentos bastante descaracterizados, mesmo que leis estabeleçam restrições de ocupação junto aos cursos d'água e nascentes.

3.2.3 Hidrografia

Em termos hidrográficos, a maior parte da área do município de Santa Maria, pertence à bacia do Guaíba (Laguna dos Patos), sendo que grande parte das águas é recolhida por dois cursos de água: o Rio Vacacaí-Mirim e o Vacacaí, contribuintes do Jacuí, maior rio do interior do Estado (SUTILI; DURLO; BRESSAN, 2009).

O município não é cortado por nenhum grande rio, pois o Vacacaí apenas delimita sua fronteira sul, enquanto o Vacacaí-Mirim e Arroio Cadena, ambos situados integralmente dentro do limite municipal, não possuem características de um grande rio (SUTILI; DURLO; BRESSAN, 2009).

No perímetro urbano, a rede hídrica é composta pelos afluentes das bacias do Arroio Cadena, Arroio Ferreira, Arroio Passo das Tropas e Vacacaí-Mirim, sendo esta última junto ao bairro Camobi (DAL ASTA, 2009).

Grande parte dos cursos d'água do município teve suas características alteradas pela ação antrópica no meio rural e urbano, através da supressão da vegetação ciliar, construção de represas, pontes, retificações, canalizações, desvios, entre outras ações. Esses processos modificam a dinâmica natural dos cursos d'água, favorecem a degradação de suas margens e eliminam seus valores ecológicos e paisagísticos (SUTILI; DURLO; BRESSAN, 2009).

3.2.4 Tempo e Clima

3.2.4.1 Circulação atmosférica na Região Sul do Brasil

A dinâmica da circulação atmosférica é bastante complexa e difícil de ser explicada em poucas palavras. Como não é objetivo do estudo detalhar os processos atmosféricos, é descrito neste item, de forma muito sucinta, os centros de ação que atuam no estado gaúcho, buscando uma melhor compreensão do ritmo habitual e dos padrões climáticos do local de estudo.

O território do Rio Grande do Sul e de toda a Região Sul do Brasil encontram-se numa posição de transição no que se refere ao quadro climático, refletindo a participação dos sistemas atmosféricos de origem extratropical, como as Massas e Frentes¹⁰ Polares, e aqueles de gênese intertropical (SAYDELLES, 2005).

Compreendida nas latitudes médias, a região é atingida pelos principais centros de ação que atuam na América do Sul, sejam das latitudes baixas ou

¹⁰ Frentes: são zonas limites que separam massas de ar de propriedades diferentes (AYOADE, 2004).

aqueles originários das latitudes altas (NIMER, 1989). Esses centros de alta e baixa pressão deslocam-se no decorrer do ano, dependendo da estação, avançando ou recuando sobre o território brasileiro e caracterizando os diferentes tipos climáticos que predominam no País (TORRES; MACHADO, 2011).

Dos centros de ação que atuam na América do Sul (Figura 10), três deles têm influência e ação direta sobre a Região Sul: o Anticiclone¹¹ Migratório Polar, o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul e a Baixa do Chaco (SAYDELLES, 2005).

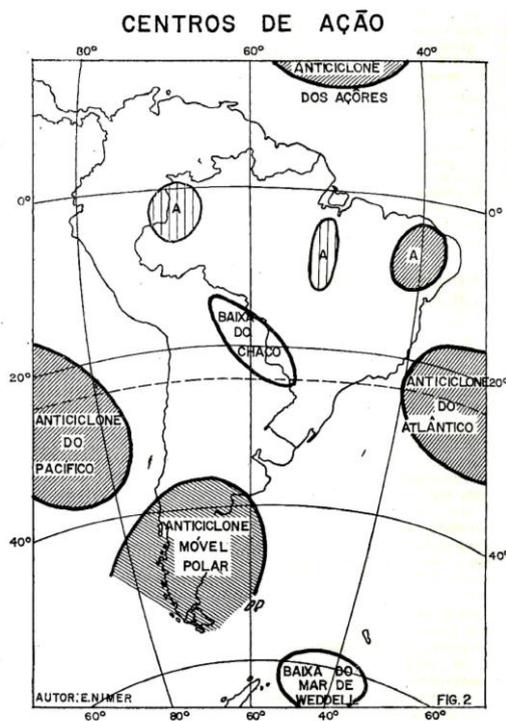


Figura 10 – Sistema de circulação atmosférica. Principais centros de ação da América do Sul.

Fonte: Nimer (1989, p. 202)

O Anticiclone do Atlântico Sul tem atuação na Região Sul durante todo o ano, mas seus efeitos variam com a sazonalidade anual, sendo que no inverno, geralmente, o domínio deste anticlone na região mantém a estabilidade do tempo, com ventos que sopram de SE e NE (NIMER, 1989; SAYDELLES, 2005). O

¹¹ Ciclone é o termo usado para descrever a distribuição da pressão atmosférica na qual há uma baixa pressão central em relação às áreas circundantes. O termo Anticlone é utilizado onde há uma alta pressão central em relação às áreas circundantes (AYOADE, 2004).

Anticiclone Migratório Polar, ao invadir a Região Sul, traz consigo uma série de tempo instável, dentre os quais a **frente polar**. Após a passagem da frente, sob o domínio da massa polar, com ar mais seco e céu limpo, é que se registram as menores temperaturas no inverno gaúcho. A Baixa do Chaco somente adquire muita importância na Região Sul do Brasil, nos anos de verão pouco chuvoso ou verão seco (NIMER, 1989).

Portanto, Santa Maria “fica continuamente submetida aos efeitos tanto dos Sistemas Extratropicais, de maior participação, quanto dos Sistemas Intertropicais que se alternam na circulação secundária do Estado” (SARTORI, 1979, p. 8).

O Anticiclone Migratório Polar, por sua constante e periódica migração para o continente, torna-se o principal responsável pela formação dos tipos de tempo da Região Sul, sobretudo no Rio Grande do Sul (SAYDELLES, 2005). Conforme Torres e Machado (2011) as invasões da Massa de ar Polar são mais intensas e frequentes no inverno devido à menor entrada de energia solar em todo o Hemisfério Sul. No Rio Grande do Sul a frequência é de uma invasão por semana ou mais (TORRES; MACHADO, 2011).

Durante os ciclos de sucessivas passagens de frentes no estado, ou seja, nos períodos de domínio que antecedem e sucedem as frentes, ocorrem na região alterações nos padrões de vento, temperatura, pressão e umidade. Essa condição determina uma distribuição mais ou menos uniforme de chuva ao longo do ano (GRIMM, 2009), mas torna a região sujeita a mudanças bruscas de tempo.

Apesar da uniformidade de pluviometria e do ritmo estacional de seu regime (NIMER, 1989), pode haver significativas oscilações interanuais de chuva e de temperatura na Região Sul, em razão dos episódios *El Niño* e *La Niña*¹² (GRIMM, 2009). Além disso, o clima de uma determinada região jamais apresenta as mesmas condições a cada ano. Refletindo a variabilidade a que está sujeita a atmosfera, os elementos constituintes do clima também são irregulares, estando, por isso, sujeitos a variações e desvios de um ano para outro (NIMER, 1989).

¹² El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no Oceano Pacífico Tropical, e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao El Niño, e que caracteriza-se por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical. Alguns dos impactos de La Niña tendem a ser opostos aos de El Niño, mas nem sempre uma região afetada pelo El Niño apresenta impactos significativos no tempo e clima devido à La Niña. Fonte: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>.

3.2.4.2 Registro de dados climatológicos de Santa Maria

Os dados climatológicos de Santa Maria são registrados na Estação Meteorológica oficial do INMET em Santa Maria, localizada no Campus da UFSM, a 29°42' de latitude sul, 53°42' de longitude oeste e 95 metros de altitude (INMET, 2009). No local, encontram-se a Estação Meteorológica Convencional e a Estação Meteorológica Automática (Figura 11).



Figura 11 – Estação Convencional e Automática do INMET de Santa Maria, no Campus da UFSM.

3.2.4.3 Normais climatológicas do INMET para Santa Maria (RS)

O quadro 2, apresenta as normais climatológicas de Santa Maria entre os anos de 1961 e 1990, baseado nos dados do INMET. Segundo o INMET (2009, p. 7), **normais** são “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas”.

O conhecimento da média histórica ou **normal climatológica** é essencial para a aplicação do conceito de **desvio** ou **anomalia** de uma variável, que significa a diferença entre o valor observado e a normal climatológica correspondente. Por

exemplo, chuvas acima da normal climatológica caracterizam anomalias positivas e chuvas abaixo da normal caracterizam anomalias negativas (INMET, 2009).

Atributos climáticos	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Ano
Temp. Média Compensada (°C)	24,2	23,9	21,9	18,4	15,9	13,9	14,1	14,2	16,5	18,6	21,0	23,3	18,8
Temp. Máxima (°C)	30,4	30,0	28,2	25,0	22,1	19,2	19,6	20,3	22,5	24,8	27,3	29,5	24,9
Temp. Mínima (°C)	19,1	19,5	17,9	14,5	11,8	9,3	9,5	10,4	11,3	13,5	15,9	18,3	14,3
Temp. Máxima Absoluta (°C) Ano	39,3	37,6	37,2	35,0	32,4	30,9	30,7	33,3	35,4	35,5	40,0	38,3	40,0
	1963	1975	1978	1973	1978	1962	1967	1974	1977	1977	1962	1962	1962
Temp. Mínima Absoluta (°C) Ano	11,4	10,4	5,9	3,0	0,1	-2,6	-2,2	-0,6	0,2	3,6	5,8	7,2	-2,6
	1975	1962	1964	1971	1978	1971	1962	1963	1964	1969	1970	1971	1971
Umidade relativa (%)	71,0	76,0	79,0	80,0	82,0	81,0	80,0	78,0	78,0	73,0	71,0	69,0	76,5
Insolação (horas)	225,2	196,7	184,9	168,7	151,3	125,0	133,1	141,4	160,7	206,8	223,3	244,7	2.161,8*
Nebulosidade (décimos)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Precipitação acumulada (mm)	163,0	127,2	136,2	121,4	127,5	139,3	144,9	142,1	124,3	128,2	120,5	142,2	1616,8*
Vento - Intensidade (m/s)	2,93	2,89	2,51	2,18	2,17	2,64	2,91	2,91	3,12	3,30	3,18	3,08	2,82

* Total anual

Quadro 2 – Normais climatológicas de Santa Maria (1961-1990).

Fonte: Organizado pela autora com base nos dados do INMET, 2009.

3.2.4.4 Clima

O clima de Santa Maria é mesotérmico e, conforme classificação de Köppen, é do tipo *Cfa*, que corresponde ao tipo climático subtropical, sempre úmido de verões quentes (TORRES; MACHADO, 2011).

Santa Maria é um dos locais mais quentes do Rio Grande do Sul em função de sua continentalidade e baixa altitude. Ainda assim, nos meses de abril a setembro, a região está sujeita a geadas fracas e moderadas. Embora predomine o vento Sudestado, o vento Norte é um fenômeno marcante na cidade por sua alta velocidade e temperatura. A umidade relativa do ar é elevada durante todo o ano, condicionando um clima úmido com chuvas bem distribuídas. Os totais mensais de precipitação pluviométrica ficam, por vezes, abaixo dos totais mensais de evaporação e evapotranspiração, causando deficiência hídrica, mais pronunciada no verão (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009, p. 43).

Para a descrição das variáveis climatológicas de Santa Maria nos itens a seguir, além dos dados oficiais do INMET (2009), são utilizadas informações do trabalho de Heldwein, Buriol e Streck (2009) que apresentam dados desde 1912 até 2004, 2006 ou 2007, dependendo da variável climatológica.

3.2.4.4.1 Temperatura

Conforme as normais climatológicas de 1961 a 1990 do INMET (2009), a temperatura média anual de Santa Maria é de 18,8°C, considerada baixa em relação à média do Brasil. Porém, o verão é bastante quente, com média mensal normal das temperaturas máximas diárias do ar acima de 29,5°C entre dezembro e fevereiro.

A temperatura máxima registrada, conforme as normais climatológicas de 1961 a 1990 do INMET (2009), foi de 40,0°C em novembro de 1962. Porém, de acordo com os dados de 1912 a 2006, as temperaturas máximas absolutas já registradas nos cinco meses mais quentes (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março) foram de 40,2°C, 41,0°C, 41,2°C, 39,8°C e 39,6°C, respectivamente (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). Segundo os autores, os períodos contínuos de dias muito quentes, com temperatura máxima acima de 35°C, podem prolongar-se por 3 a 7 dias, dependendo do mês, desde outubro até março.

Ainda de acordo com Heldwein, Buriol e Streck (2009), o inverno é ameno, mas sujeito a ondas de frio provocadas pelo deslocamento frequente de anticiclones migratórios polares, que podem causar geadas. Na série histórica de 1912 a 2007, as temperaturas mínimas absolutas do ar registradas chegaram a -2,6°C em junho de 1971, -2,9°C em julho de 2000 e -2,0°C em agosto de 1995.

A amplitude térmica anual (diferença entre as médias do mês mais quente e o mais frio) é de aproximadamente 10,7°C, sendo janeiro o mês mais quente e junho e julho os meses mais frios (MACHADO, 1950 apud HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). A partir dos dados expostos é possível notar a grande amplitude térmica anual no município, decorrente do tipo de clima com estações bem definidas. Mesmo assim, nos dias de predominância de vento Norte podem ocorrer períodos de grande flutuação de temperatura no inverno, alcançando valores altos para a época (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

Quanto à amplitude térmica diária de Santa Maria, ou seja, a variação diária da temperatura do ar, é maior em dezembro, com média de 11,5°C, e menor em junho, com média de 9,5°C (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

3.2.4.4.2 Insolação

Insolação é o tempo em horas de brilho solar na superfície, ou seja, o tempo em que não há sombreamento por nuvens e nevoeiros. O valor da insolação é sempre menor do que a duração astronômica do dia, que significa o tempo entre o nascer e o pôr do sol no horizonte do local (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

A disponibilidade de radiação solar e de insolação em Santa Maria é uma das menores do Rio Grande do Sul, principalmente em decorrência da grande frequência de nevoeiros (92 dias por ano) e nebulosidade ligeiramente maior (MACHADO, 1950 apud HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). Nos meses de junho a agosto, o valor normal de insolação se aproxima de 5,1 horas por dia e nos meses de dezembro e janeiro ultrapassa ligeiramente 8,0 horas por dia (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

A duração astronômica do dia também varia ao longo do ano, sendo máxima de 13 horas e 55 minutos, em 21 de dezembro, e mínima de 10 horas e 05 minutos em 21 de junho. A disponibilidade de energia solar também é máxima em dezembro, entre os dias 15 a 25 e mínima na segunda quinzena de junho (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

3.2.4.4.3 Precipitação pluviométrica

O regime pluviométrico do município é isoigro, ou seja, a precipitação anual é razoavelmente bem distribuída ao longo do ano. De acordo com as normais climatológicas de 1961 a 1990 do INMET (2009), a média normal do total acumulado no ano é de 1.616,8 mm.

Pela distribuição quase equitativa de chuva ao longo do ano na maior parte da Região Sul do Brasil, é impossível prever, pela Climatologia, a época ou trimestre do ano em que as máximas e mínimas concentrações vão se verificar (NIMER, 1989).

Segundo o mesmo autor, a distribuição da chuva ao longo do ano depende diretamente das **frentes polares** que frequentemente atingem a região. Por isso, a época de máxima ou mínima concentração pluviométrica depende mais da intensidade das chuvas proporcionadas pelas **frentes** do que da maior ou menor frequência de invasões de tais correntes. A intensidade das chuvas depende da estrutura da frente polar, do índice de umidade absoluta contida na massa de ar tropical no momento que precede sua chegada e de sua velocidade, quer dizer, o tempo que fica sobre a região (NIMER, 1989).

Apesar disso, através da análise de dados de precipitação pluviométrica do período de 1969 a 1973, para Santa Maria e mais dois municípios da região, Sartori (1979) pode observar que os maiores valores são registrados no inverno e no verão. A concentração de chuva no inverno está vinculada a uma participação mais frequente do Sistema Frontal Polar nesse período do ano. O verão, apesar de ser uma das épocas mais chuvosas, apresenta variação de um ano para outro, devido aos sistemas atmosféricos a que estão vinculadas, sendo chuvas mais variáveis e descontínuas espacialmente (SARTORI, 1979).

Nimer (1989) observa que o fato de a Região Sul se caracterizar por baixos índices de variabilidade pluviométrica não deve ser entendido como uma situação constante, mas tão somente como uma situação de maior frequência. Em determinados anos, a precipitação é tão abundante que em certas áreas chega a atingir valores maiores que o dobro da média representativa da normal, enquanto, em outros anos, ocorre um decréscimo aquém da metade da precipitação média.

Sobre os desvios positivos e negativos, a maior precipitação mensal já registrada em Santa Maria, com 615,3 mm, foi em maio de 1941. No mesmo ano também foi registrada a máxima precipitação anual, de 2.953,4 mm. A menor precipitação mensal foi de 0,0 mm em fevereiro de 1989 e o menor total anual foi de apenas 640,0 mm no ano de 1917 (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

Portanto, apesar do regime pluviométrico ser equilibrado no município, em alguns anos ocorrem chuvas intensas ou aguaceiros, podendo causar enchentes, principalmente próximo às várzeas de rios. Já em outros anos, podem ocorrer fortes desvios negativos, causando estiagem (NIMER, 1989). Além dos problemas

causados nas áreas rurais, o clima e o conforto térmico na área urbana também são afetados pelos extremos pluviométricos, pois a variabilidade de chuvas influencia também a temperatura, umidade do ar e insolação.

3.2.4.4.4 Umidade relativa do ar

A umidade do ar é o termo usado para descrever a quantidade de vapor de água contido na atmosfera. A umidade relativa do ar (UR) varia de 0 a 100% e é definida como a razão entre o conteúdo real de vapor de água de um volume de ar e o conteúdo de vapor de água que o mesmo volume pode conservar na mesma temperatura e pressão quando saturado (AYOADE, 2004).

Em decorrência do regime pluviométrico isoigro e da variação da temperatura ao longo do ano, o município de Santa Maria tem um clima subtropical úmido, com umidade relativa do ar alta durante todo o ano, podendo, contudo, ocorrer esporadicamente episódios de baixa umidade relativa do ar (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). Conforme as normais climatológicas de 1961 a 1990 do INMET (2009), a UR média anual de Santa Maria é de 76,5%.

Como a curva diária de UR tem variação inversa à da temperatura do ar, em geral, os valores de UR são menores às 15 horas e maiores às 9 e 21 horas. Considerando as quatro estações do ano, a UR é maior no outono e inverno e menor na primavera e verão (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

3.2.4.4.5 Vento

O município de Santa Maria é atingido por ventos de diferentes quadrantes, principalmente os de Leste e Sudeste. Os ventos locais da região são o Sudestado ou Carpinteiro, o vento Minuano e o vento Norte ou São Martinho, resultantes da

circulação geral e secundária da atmosfera¹³ que atuam no estado do Rio Grande do Sul (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

O vento predominante em Santa Maria é o Sudestado, tratando-se de um vento frio e úmido com direção média do quadrante leste, mas variando desde a direção sul a nordeste, com maior frequência de direção sudeste, daí o seu nome. Origina-se do Anticiclone do Atlântico Sul e em geral tem intensidade de fraca a moderada (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). De acordo com Sartori (1979), o predomínio da direção de ventos leste no município também é favorecido pela orientação leste-oeste da Serra Geral.

O vento Minuano caracteriza-se como frio e seco, com direção média do quadrante oeste e velocidade, geralmente, de fraca a moderada. Esse vento tem origem nas invasões do Anticiclone Migratório Polar de forte intensidade que chegam ao Continente Sul-Americano pelo Oceano Pacífico, transpondo a Cordilheira dos Andes e entrando no sul do Brasil pelo oeste do estado gaúcho. A esse vento está associada uma queda acentuada de temperatura e condição de céu límpido, especialmente à noite (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

O vento Norte caracteriza-se como quente e seco, com direção média do quadrante norte e velocidade de moderada a forte, atingindo com frequência rajadas acima de 50 km/h (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

Segundo Sartori (1979), o aumento da velocidade do vento Norte está relacionado às fortes fases pré-frontais (que antecedem as chegadas das frentes) que afetam a região principalmente do fim do outono ao começo da primavera. Em Santa Maria, esse vento tem maior velocidade e temperatura em relação a outras cidades do estado devido ao fator orográfico. Ao descer a escarpa do Planalto, com desnível de aproximadamente 400 metros, o vento sofre aumento de velocidade e temperatura (SARTORI, 1979).

Quanto às rajadas diárias e horárias de vento no município, os valores médios das rajadas máximas horárias são maiores no período entre 10 e 18 horas, enquanto por volta das 20 horas e durante a madrugada ocorrem os menores valores. Porém quando há vento Norte, as maiores rajadas diárias ocorrem, em geral, das 4 às 12 horas (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

¹³ Inseridos dentro da circulação geral ou primária da atmosfera estão os sistemas circulatórios secundários, tais como as depressões, os anticlones das latitudes médias e as várias perturbações tropicais (AYOADE, 2004).

Sobre esse aspecto, com base nos dados diários de vento do ano de 1973, Sartori (1979) também observou que a maior potência da ventilação relaciona-se ao período da tarde, sendo comum as intensidades máximas diurnas ocorrerem entre 15 e 17 horas. Já no outono e inverno, as máximas são registradas mais cedo, entre 12 e 14 horas, devido ao período mais curto de insolação nessas estações. Com base nessas observações, a autora encontrou forte associação entre a maior velocidade do vento e o maior aquecimento diurno. Em decorrência do aquecimento, na maioria das tardes, o ar torna-se instável, aumentando a velocidade e turbulência (SARTORI, 1979, p. 111).

Com relação às estações do ano, segundo Heldwein, Buriol e Streck (2009), é no outono que se registram as menores rajadas diurnas, enquanto na primavera ocorrem as rajadas mais fortes, no período diurno. Sartori (1979) também observou no outono o maior número de calmas no município. Por outro lado, os vendavais na região são mais comuns de julho a novembro, mas têm caráter aleatório e extremamente variável quanto à direção e horário do dia (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

Diferente das escalas **regional** e **local**, no nível **urbano**, devido ao arruamento, edifícios e pela própria influência da ilha de calor, a circulação do ar é menor e desorganizada, podendo ocorrer redemoinhos e turbilhões. A ventilação tipicamente urbana, que depende da estrutura da cidade e do sítio sobre a qual se assenta, é mais bem definida quando as condições regionais e locais são de calmas (SARTORI, 1984).

Além disso, o vento é um elemento meteorológico bastante instável, que muda de direção e velocidade em distâncias limitadas e em curtos períodos de tempo, especialmente nas áreas urbanas, próximo à superfície (SARTORI, 1984).

3.2.4.4.6 Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial (ETP) é a perda potencial de água na forma de vapor de uma superfície gramada sob condições de ótimo suprimento de água pelo solo, sendo a água perdida para a atmosfera pelos processos de evaporação na superfície do solo e, principalmente ($\approx 90\%$), pelo processo de transpiração das plantas (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009, p. 56).

Além dos fatores relacionados à planta (entre eles, o índice de área foliar) e ao solo (entre eles, a disponibilidade de água no solo), os fatores meteorológicos que afetam a evapotranspiração são o fluxo de radiação solar, a temperatura do ar, a velocidade do vento e a umidade ou déficit de saturação do ar.

Em Santa Maria, de acordo com os registros, os meses com maior média mensal de ETP é dezembro (126 mm) e janeiro (124 mm), devido à maior disponibilidade de energia solar, temperaturas mais altas e menor umidade relativa do ar nesses meses. Pela menor demanda de água pela atmosfera, os meses com menor ETP são junho e julho, em torno de 30 mm por mês. Ao contrário de dezembro e janeiro, esses meses de inverno são mais frios, com maior umidade e menor disponibilidade de energia solar (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

De acordo com os registros, os valores diários mais altos de ETP ocorrem “em dias quentes e secos, com céu límpido e ocorrência de vento Norte, ratificando que é a condição meteorológica diária que determina a magnitude da evapotranspiração potencial” (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009, p. 57).

3.3 Aspectos antrópicos

3.3.1 Breve histórico e processo de urbanização do município de Santa Maria

O território do município de Santa Maria era ocupado, desde o início do século XVII, por jesuítas e indígenas, em missões não necessariamente permanentes até meados do século XVIII (SERRA, 1987). A ocupação do sítio, onde se originou o núcleo central de Santa Maria, iniciou no final do século XVIII, com o estabelecimento do acampamento militar da Comissão Demarcadora de Limites, encarregada de delimitar as áreas entre os domínios de Espanha e Portugal no Sul da América (BELÉM, 2000).

Posteriormente, a cidade se desenvolveu com a chegada de migrantes e imigrantes, com atividades comerciais, de agricultura, pastoril e ferroviárias (BELÉM, 2000; COMIN, 2013; DAL ASTA, 2009; KLARMANN, 1990; SAYDELLES, 2005).

Entre os anos de 1950 e 1960 houve um crescimento bastante significativo da população urbana, característico de lugares onde há transferência da população do meio rural para o meio urbano (COMIN, 2013).

Quanto à expansão da malha urbana, Serra (1987) destacou um vetor de crescimento leste-oeste, a partir do núcleo central, acentuado pela criação e construção, a leste, do Aeroporto de Santa Maria (concluído em 1945), da Universidade Federal de Santa Maria (em 1960) e da Base Aérea de Santa Maria (em 1970); e a oeste, do Distrito Industrial (instalado em 1975) (COMIN, 2013; SERRA, 1987).

Hoje, Santa Maria é considerado um município de porte médio, exercendo expressiva influência na região central do Rio Grande do Sul. A economia está baseada principalmente no comércio e prestação de serviços, com destaque para o setor educacional, que funciona como forte vetor da economia. O município destaca-se também como centro de serviços médicos e hospitalares para as populações de cidades vizinhas. O setor secundário ainda é pouco expressivo, mas por outro lado, a indústria da construção civil é bastante forte, impulsionada pela grande demanda de habitação para estudantes e população do setor terciário, militar e servidores públicos federais (COMIN, 2013; DAL ASTA, 2009; SAYDELLES, 2005).

Conforme Dal Asta (2009), a expansão urbana é limitada por algumas áreas de uso rural, áreas de uso institucional, como a Base Aérea (BASM) e UFSM e aquelas geradas pelos condicionantes naturais, como as áreas de alta declividade junto ao Rebordo do Planalto e aos Morros Testemunhos. Desta forma, além da ocupação dos vazios urbanos existentes no perímetro urbano, a expansão urbana segue alguns vetores de crescimento nas porções oeste, sul e leste. A porção leste do município, onde se encontra o bairro Camobi, teve impulso com a implantação da UFSM e BASM e, hoje, encontra-se em pleno desenvolvimento (DAL ASTA, 2009).

3.3.2 Breve histórico e processo de urbanização do bairro Camobi

A ocupação inicial do atual bairro Camobi esteve ligada à ferrovia e aos imigrantes italianos procedentes da colônia de Silveira Martins. O núcleo original se

deu em torno da Estação Ferroviária e da igreja, atual Paróquia Nossa Senhora da Glória (COMIN, 2013; KLARMANN, 1990).

Em suas origens, o bairro foi local de assentamento dos colonos italianos que desenvolviam atividades econômicas voltadas ao setor rural. A partir de 1885, com a instalação da Estação Ferroviária, o local passou a ser ponto de atração de pessoas e de concentração e distribuição de mercadorias. Na época, o local era denominado Estação Colônia e funcionava como um empório colonial, pois concentrava a produção agrícola da região (COMIN, 2013).

Embora, nesse período, a população fosse basicamente rural, com a instalação da ferrovia, o local, então 3º Distrito de Santa Maria, assume características urbanas, com as atividades econômicas e vida social girando em torno da ferrovia e tendo como principal via rodoviária a Avenida João Machado Soares (antiga Avenida Carlos Gomes) (COMIN, 2013).

Com a desativação do transporte ferroviário e implantação da rodovia RS-509, a expansão do distrito passou a se concentrar ao longo da rodovia. De acordo com Klarmann (1990), a partir da instalação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na década de 1960, e da Base Aérea de Santa Maria (BASM), na década de 1970, deflagrou-se um contínuo processo de evolução urbana do bairro e de conurbação entre esse e o centro de Santa Maria (Figuras 12 e 13).

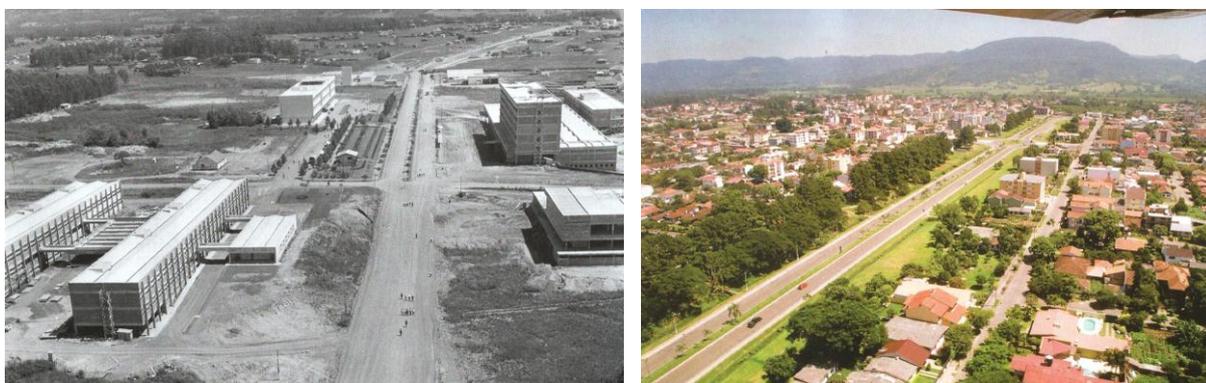


Figura 12 – (esquerda) – Vista da Avenida Roraima no sentido sul-norte em 1965-1966, UFSM, com Camobi escassamente ocupado ao fundo. Figura 13 (direita) – Vista parcial do bairro em 2008, destacando-se a Av. Roraima e ao fundo a Serra Geral.

Através do Plano Diretor de 1979, a sede do distrito foi incorporada ao perímetro urbano do município, passando a fazer parte da área de expansão urbana (KLARMANN, 1990).

Posteriormente, com a implantação da BR-287, o bairro ganhou outro importante meio de ligação com o centro da cidade e outros municípios da região. Além disso, conforme Comin (2013), ocorreu um incremento populacional formado por pessoas que trabalhavam na UFSM e BASM e que passaram a fixar residências no bairro, provocando aumento no número de loteamentos e valorização imobiliária do solo urbano.

De 1980 a 2006, o território de Camobi passou por uma série de transformações em sua formação e delimitação, através de leis municipais. Em síntese, o bairro passou por três fases até chegar a sua conformação atual: sendo 3º Distrito do Município de Santa Maria, sendo bairro e parte ainda como distrito e, por último, a consolidação recente como bairro (COMIN, 2013).

Atualmente, Camobi caracteriza-se como um bairro de média e baixa densidade populacional, com predomínio de residências unifamiliares e concentração de comércio, serviços e fluxo de veículos ao longo das rodovias. As instituições federais localizadas no bairro também refletem no desenvolvimento do comércio local e da construção civil. O aumento de edificações de uso multifamiliar nos últimos anos refletiu numa verticalização do bairro que, entretanto, é limitada pelos índices urbanísticos e pelas restrições de altura estabelecidas pelo Comando Aéreo Regional (COMAR), do Comando da Aeronáutica.

Hoje o bairro é o maior do município em território e população e, segundo Comin (2013), encontra-se em pleno desenvolvimento, sendo quase independente do centro da cidade, pois são poucos os serviços não oferecidos localmente.

3.3.3 Considerações sobre a legislação urbanística do município

Diversas leis e instrumentos legais controlam a organização do município e influenciam a configuração física do espaço urbano. Entre elas podemos destacar o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (Lei Complementar nº 034 de

29 de dezembro de 2005), Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei Complementar nº 072 de 04 de novembro de 2009) e Código de Obras e Edificações (Lei Complementar nº 070 de 04 de novembro de 2009) (SANTA MARIA, 2005, 2009a, 2009b).

Parte dessas leis trata do regime urbanístico, como os índices de aproveitamento dos lotes, índices de ocupação, áreas verdes, recuos, afastamentos de divisas, alturas, entre outros; refletindo, ao longo dos anos, nas porcentagens de densidade construída, impermeabilização do solo e áreas verdes do espaço urbano.

A Lei Complementar nº 034 de 2005 com seus sete anexos (SANTA MARIA, 2005), integram o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Santa Maria (PDDUA), que tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e do meio rural e garantir o bem-estar de seus habitantes. Um dos objetivos do Modelo Espacial Urbano proposto pelo PDDUA é mudar a modalidade de crescimento da cidade para passar da expansão urbana dispersa à densificação multipolar, aproveitando as tendências de crescimento urbano atual, apoiados nas infraestruturas disponíveis.

Conforme Artigo 37 e anexo E do PDDUA, o perímetro urbano do município é constituído por oito macrozonas. O bairro Camobi se enquadra em parte das macrozonas H (Parques ou áreas naturais de preservação), A (Corredor de urbanidade) e E (Cidade Leste). Nas macrozonas A e E, destacam-se as características de espaço urbano estruturado, de média e baixa densidade e usos miscigenados do solo (SANTA MARIA, 2005).

Segundo informações do IPLAN-SM, atualmente o Plano Diretor do município está sendo reavaliado e revisado pela equipe técnica do próprio instituto (informação verbal)¹⁴.

A Lei Complementar nº 072 de 2009 e seus anexos (SANTA MARIA, 2009a) integram a Lei de Uso do Solo do Município de Santa Maria, que estabelece as normas e as condições para o uso, ocupação, parcelamento do solo, perímetro urbano e sistema viário do município. Parte da lei refere-se ao regime urbanístico das áreas urbanas e rurais, definindo os índices de aproveitamento (relação entre a área total edificada computável e a área total do terreno), índice de ocupação

¹⁴ Informação fornecida pela arquiteta e urbanista Sheila Comiran, integrante da equipe técnica do IPLAN, em entrevista realizada na sede do IPLAN, em Santa Maria, em 22 de outubro de 2014.

(relação entre a área da projeção horizontal da edificação e a área total do terreno), índices verdes, recuos, afastamentos, categorias de usos, alturas de edificações, tamanho dos lotes, entre outros.

No bairro Camobi, encontram-se parte da zona 10.f, parte da zona 12.b, parte da zona 17.g e zonas 12.c, 12.d, 12.e, 12.f (BASM) e 12.g (UFSM), conforme figura 14. As zonas da BASM e UFSM não têm regime urbanístico determinado pela lei municipal, pois são áreas federais com normas independentes.

De acordo com os quadros do regime urbanístico (Índices e Usos da Sede do Município), as alturas das edificações no município, dependendo da zona onde se encontram, são limitadas por valores fixados em metros, limitadas apenas pelos índices de aproveitamento e de ocupação, ou limitadas pelo COMAR.

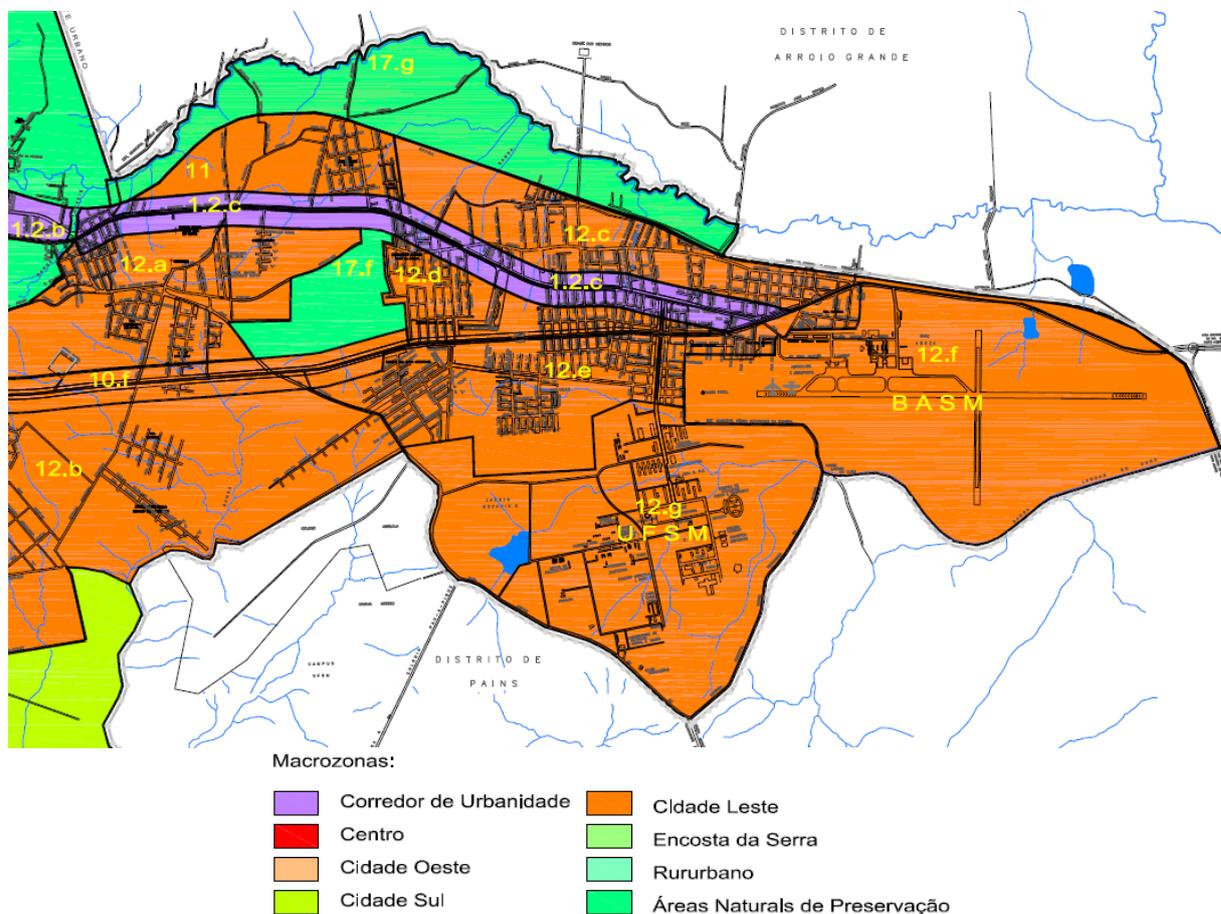


Figura 14 – Recorte do Anexo 10 da Lei 072/2009 - Mapa do Zoneamento Urbanístico do 1º Distrito, mostrando as diferentes zonas na área do bairro Camobi.

Fonte: Adaptado de SANTA MARIA, 2009a.

No bairro Camobi, zonas 10.f e 17.g, as alturas são fixadas em metros e, nas demais zonas do bairro, pelos limites de altura permitidos, de acordo com as cotas altimétricas de cada lote e distâncias da Base Aérea e aeroporto, conforme Anexo 13 (Mapa da Zona de Proteção do Aeródromo) e COMAR (SANTA MARIA, 2005, 2009a).

A análise do regime urbanístico permite avaliar que, comparadas com o restante da área municipal, as áreas mais centrais do município e os corredores de urbanidade apresentam índices de aproveitamento maiores, o que permite maior adensamento construtivo dessas áreas. No bairro Camobi, os índices de aproveitamento ficam entre 0,55 e 2,5, evidenciando, segundo a atual legislação, uma proposta urbanística de baixa e média densidade para o bairro.

4 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi estruturada a partir de um modelo empírico e sua metodologia é apresentada neste capítulo em cinco tópicos gerais: pontos de coleta de dados, descrição qualitativa dos locais de medição, método de levantamento quantitativo das variáveis físico-urbanísticas, método para coleta das variáveis climáticas e método para os procedimentos de análise. A figura 15 ilustra, de forma simplificada, as etapas para o desenvolvimento da pesquisa.

Pesquisas em urbanismo são baseadas fundamentalmente em observações, pela dificuldade e até impossibilidade de realização de ensaios ou de se isolar as variáveis (BORGES, 2009; DUARTE, 2000). Mesmo assim, considerando a complexidade do “mundo real”, onde se inserem as inúmeras pesquisas de clima urbano, os estudos têm revelado importantes informações sobre as variáveis envolvidas na formação e transformação de microclimas urbanos.

A fim de verificar a correlação entre os elementos de ocupação do solo e as variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa do ar) foram selecionados 10 pontos no bairro Camobi, com diferentes níveis de densidade construída, tipos de revestimento do solo e quantidade de vegetação arbórea para as medições das variáveis.

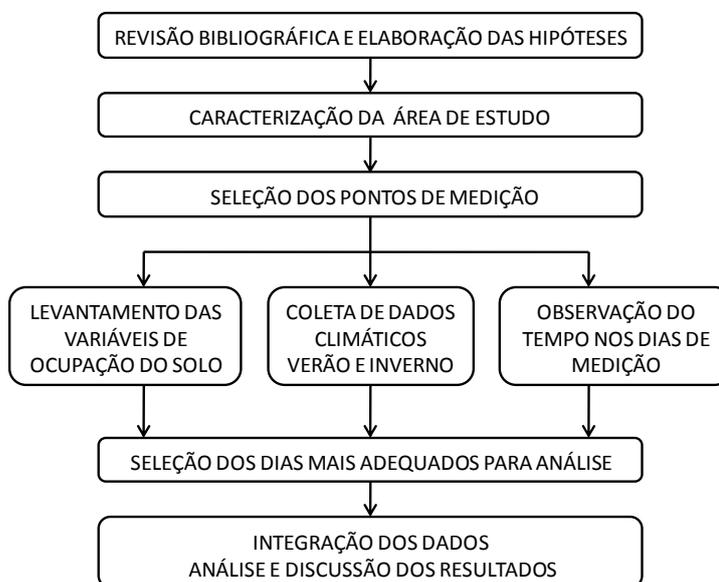


Figura 15 – Fluxograma metodológico da pesquisa.

4.1 Pontos de coletas de dados

Para a pesquisa, foram escolhidos pontos (Figura 16) com diferentes padrões de ocupação urbana e, ao mesmo tempo, com certa uniformidade dentro de cada amostra estudada, seguindo a metodologia de trabalhos na área de clima urbano (DUARTE, 2000; GOMES, 2008). Para Monteiro (1990a, p. 66), o bom senso deve orientar a escolha da rede de distribuição dos pontos e “deve ser norteada por toda a percepção teórica que se elaborou sobre a concepção geográfica de clima urbano”.

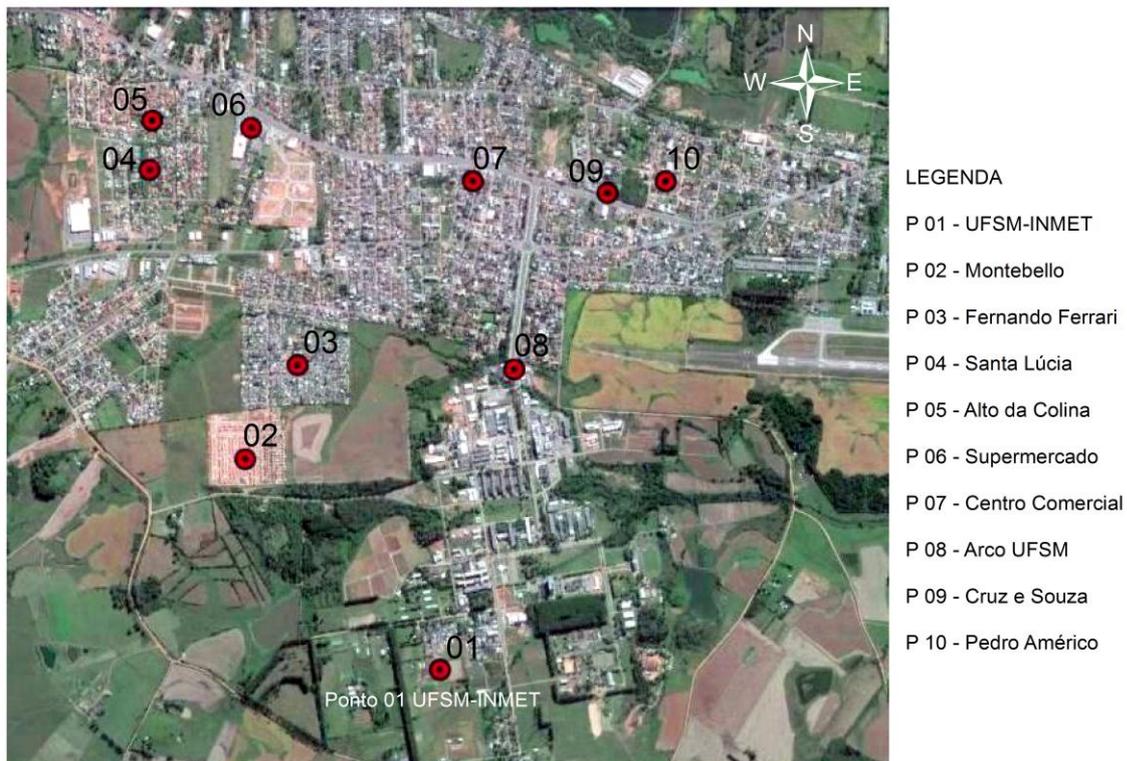


Figura 16 – Imagem aérea do bairro com a marcação dos pontos da pesquisa.

Fonte: Adaptado do Google Earth, 2014.

A escolha dos locais de medição foi feita através da análise das características do bairro, fotos aéreas e visitas exploratórias aos locais em potencial. A segurança dos aparelhos também foi um critério adotado na escolha dos locais de implantação. Entre os 10 abrigos, um deles (ponto 01) foi implantado próximo à

estação do INMET no Campus da UFSM. Esse ponto serviu de referência para análise comparativa, considerado ponto representativo das condições climáticas regionais, com pouca intervenção urbana.

4.2 Descrição qualitativa dos locais de medição

Neste item, cada local de medição é apresentado através de fotografia e descrição textual. Os dados de altitude, informados em cada ponto a seguir, foram obtidos pelo *Google Earth* (2014), sendo valores aproximados, suficientes para descrever a situação de cada área e sua relação com as demais áreas da pesquisa.

Ponto 01 – UFSM-INMET	
	
Foto de 26 de outubro de 2014.	Abrigo instalado no local. Foto de 07 de julho de 2014.
<p>Localização: campus da UFSM, próximo à estação oficial do INMET.</p> <p>Características gerais: área de baixa intervenção urbana, ocupada por poucas edificações de 1 pavimento e estufas. Predomínio de vegetação baixa.</p> <p>Instalação do miniabrigo: sobre área gramada e cercada, ao lado da estação oficial do INMET. Altitude aproximada: 103 metros.</p>	

Quadro 3 – Descrição do Ponto 01 – UFSM-INMET.

Ponto 02 – Montebello

Foto de 26 de outubro de 2014.

Abrigo instalado no local.
Foto de 07 de julho de 2014.

Localização: loteamento Montebello

Características gerais: padrão de ocupação construtivo horizontal bastante homogêneo. Os loteamentos (Montebello I, II e III) foram implantados entre os anos de 2010 e 2013 (COMIN, 2013). Como trata-se de uma área recente de ocupação urbana, algumas ruas, calçadas e lotes encontram-se sem revestimento pavimentado ou gramado e a vegetação arbórea é escassa. Durante o levantamento de campo foi possível observar que algumas alterações estão sendo feitas nas edificações, principalmente ampliações para garagem.

Uso do solo: predominantemente residencial, com edificações térreas padronizadas.

Ruas: pavimentadas com blocos de concreto ou sem pavimentação (solo exposto ou brita). O fluxo de veículos é característico de áreas residenciais, sendo que em algumas ruas circulam ônibus urbanos.

Altitude aproximada: 117 metros

Instalação do miniabrigo: sobre área gramada no pátio frontal de uma residência do loteamento.

Ponto 03 – Fernando Ferrari



Foto de 26 de outubro de 2014.



Abrigo instalado no local.
Foto de 07 de julho de 2014.

Localização: Núcleo Habitacional Fernando Ferrari (Cohab)

Características gerais: padrão de ocupação construtivo predominantemente horizontal. O Núcleo foi criado em 1978 e atualmente apresenta poucas residências que ainda mantêm a forma original, pois muitas delas passaram por ampliações, demolições ou reformas (COMIN, 2013). A maioria das edificações residenciais são térreas. A área tem baixa quantidade de vegetação arbórea, sendo a maioria de pequeno e médio porte.

Uso do solo: predominantemente residencial. Dentro do perímetro analisado, localizam-se alguns estabelecimentos comerciais ou de serviços, uma escola de ensino fundamental, posto de saúde e igreja.

Ruas: a pavimentação das ruas é de pedra ou asfáltica. O fluxo de veículos é característico de áreas residenciais, sendo que em algumas ruas circulam ônibus urbanos.

Altitude aproximada: 107 metros

Instalação do miniabrigo: sobre área gramada no pátio frontal de uma residência do Núcleo Habitacional.

Ponto 04 – Santa Lúcia



Foto de 26 de outubro de 2014.



Abrigo instalado no local.
Foto de 07 de julho de 2014.

Localização: Parque Residencial Santa Lúcia

Características gerais: padrão de ocupação construtivo predominantemente horizontal. O ano de criação do loteamento foi 1988 (COMIN, 2013). A vegetação arbórea das ruas é significativa.

Uso do solo: predominantemente residencial. A área é ocupada por residências de alto padrão com 1 ou 2 pavimentos. Próximo ao local de medição encontra-se uma escola de ensino fundamental e uma praça.

Ruas: todas pavimentadas com pedra. O fluxo de veículos é característico de áreas residenciais.

Altitude aproximada: 112 metros

Instalação do miniabrigo: sobre solo natural no pátio de fundos de uma residência do loteamento.

Ponto 05 – Alto da Colina

Foto de 26 de outubro de 2014.

Abrigo instalado no local.
Foto de 07 de julho de 2014.

Localização: Loteamento Alto da Colina

Características gerais: padrão de ocupação construtivo predominantemente horizontal. O ano de criação do loteamento foi 1990 (COMIN, 2013). A vegetação arbórea é distribuída entre os pátios residenciais e as calçadas públicas.

Uso do solo: predominantemente residencial. A área é contígua ao Residencial Santa Lúcia, ocupada também por residências com 1 ou 2 pavimentos, predominantemente.

Ruas: todas pavimentadas com pedra. O fluxo de veículos é característico de áreas residenciais.

Altitude aproximada: 104 metros

Instalação do miniabrigo: sobre área gramada no pátio de uma residência do loteamento.

Ponto 06 – Supermercado



Foto de 26 de outubro de 2014.



Abrigo instalado no local.
Foto de 07 de julho de 2014.

Localização: localiza-se numa área junto à RS-509.

Características gerais: padrão de ocupação construtivo predominantemente horizontal. Nesta área, merece destaque a grande área asfaltada da rodovia, do estacionamento do supermercado e do posto de combustível que se localizam no entorno do ponto de medição. A quantidade de vegetação arbórea é baixa, ficando mais concentrada no acesso do condomínio fechado Vila Verde.

Uso do solo: misto (residencial, comércio e serviços).

Ruas: com exceção da rodovia, as demais ruas são pavimentadas com pedra. Durante os dias de semana, o fluxo de veículos na região é elevado, em geral, no período diurno.

Altitude aproximada: 101 metros

Instalação do miniabrigo: sobre área com cobertura vegetal, na via de acesso do condomínio residencial Vila Verde, entre o supermercado e posto de combustível.

Ponto 07 – Centro Comercial



Foto de 26 de outubro de 2014.



Abrigo instalado no local.
Foto de 07 de julho de 2014.

Localização: localiza-se numa área próxima à rodovia RS-509 e ao denominado Centro Comercial Camobi, sendo este uma edificação térrea com alguns estabelecimentos de comércio e serviços do bairro.

Características gerais: padrão de ocupação construtivo mais verticalizado, se comparado aos outros pontos da pesquisa, com edificações de 1 até 7 pavimentos. A quantidade de vegetação arbórea é baixa, especialmente nas calçadas públicas.

Uso do solo: misto (residencial, comércio, rede bancária e outros serviços).

Ruas: a pavimentação das vias é predominantemente de asfalto e pedras. Durante os dias de semana, o fluxo de veículos na região é elevado, em geral, no período diurno.

Altitude aproximada: 97 metros

Instalação do miniabrigo: sobre área gramada, no pátio lateral de uma edificação térrea, onde atualmente funciona um consultório odontológico.

Ponto 08 – Arco UFSM



Foto de 26 de outubro de 2014.



Abrigo instalado no local.
Foto de 07 de julho de 2014.

Localização: localiza-se na área do principal acesso da UFSM, na Avenida Roraima.

Características gerais: padrão de ocupação construtivo predominantemente horizontal, com edificações de 1 e 2 pavimentos. A vegetação arbórea concentra-se mais próxima da avenida e junto ao curso de água que atravessa a área do perímetro analisado.

Uso do solo: uso misto (educacional, residencial, comércio, rede bancária e outros serviços).

Ruas: a pavimentação das vias é, em geral, de asfalto e pedras. O fluxo de veículos na região é bastante elevado principalmente durante a semana, devido às atividades concentradas na Universidade.

Altitude aproximada: 93 metros

Instalação do miniabrigo: canteiro central da Avenida Roraima, próximo ao arco que marca o acesso à instituição e onde pode ser monitorado por câmeras de segurança.

Ponto 09 – Cruz e Souza

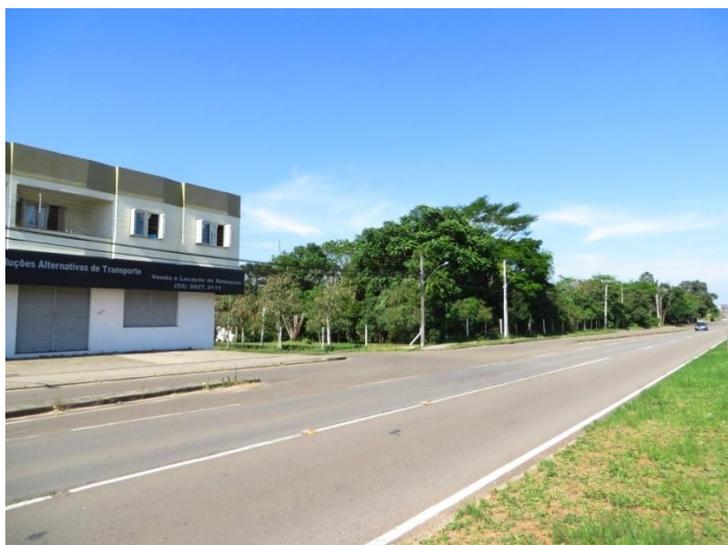


Foto de 26 de outubro de 2014.



Abrigo instalado no local.
Foto de 07 de julho de 2014.

Localização: localiza-se numa área junto à rodovia RS-509 e a Rua Cruz e Souza.

Características gerais: se comparado aos outros pontos da pesquisa, a área apresenta um padrão de ocupação construtivo mais heterogêneo, com edificações de 1 até 7 pavimentos. A quantidade de vegetação arbórea é elevada, comparada aos outros pontos da pesquisa, mas concentra-se em lotes particulares.

Uso do solo: misto (residencial, comércio e serviços).

Ruas: a pavimentação das vias é predominantemente de asfalto e pedras. Durante os dias de semana, o fluxo de veículos na região é elevado, principalmente na rodovia.

Altitude aproximada: 93 metros

Instalação do miniabrigo: sobre área gramada, no pátio de uma residência.

Ponto 10 – Pedro Américo

Foto de 26 de outubro de 2014.

Abrigo instalado no local.
Foto de 07 de julho de 2014.

Localização: localiza-se numa área junto à Rua Pedro Américo.

Características gerais: padrão de ocupação construtivo basicamente horizontal, ocorrendo, no entanto, alguns edifícios de uso multifamiliar com 3 até 7 pavimentos. A quantidade de vegetação arbórea é escassa.

Uso do solo: a área é basicamente de uso residencial, mas ocorrem, pontualmente, alguns estabelecimentos de comércio e serviços.

Ruas: a pavimentação das vias é de pedra ou solo natural. O fluxo de veículos é característico de áreas residenciais.

Altitude aproximada: 88 metros

Instalação do miniabrigo: sobre área gramada, no pátio de fundos de uma residência, na Rua Pedro Américo.

4.3 Descrição quantitativa das variáveis físico-urbanísticas

Para as medições dos parâmetros de ocupação do solo, foi considerada uma circunferência com raio de 150 metros em torno de cada ponto de medição climática, totalizando uma área com pouco mais de 7 hectares em cada um dos 10 pontos da pesquisa. Embora ainda não exista um consenso entre os pesquisadores sobre qual área deve ser adotada para análise da influência da ocupação do solo no microclima urbano, esse valor foi adotado tomando como referência estudos realizados no Brasil (BARBUGLI, 2004; GOMES, 2008).

A escolha de cada local de medição procurou atender a alguns princípios, como a diversidade de morfologia urbana entre os pontos, a homogeneidade do padrão de ocupação dentro de cada um deles e altitudes similares (DUARTE; SERRA, 2003).

Para correlacionar as variáveis físico-urbanísticas com os dados climáticos, em cada amostra, foram classificados diferentes tipos de ocupação do solo em projeção horizontal: edificação, áreas pavimentadas (ruas e calçadas com revestimento de asfalto, concreto ou pedra), áreas permeáveis não vegetadas (solo exposto ou brita), áreas gramadas, corpos d'água e vegetação arbórea.

Através dessa classificação, foi efetuado o cálculo de porcentagens de cada tipo, bem como o cálculo de densidade construída de cada local. O tipo de uso do solo (residencial, comercial ou industrial) não foi computado, apenas as proporções entre os elementos construídos e elementos naturais acima citados.

A identificação dos elementos foi realizada através de interpretação de fotos aéreas, juntamente com observações de trabalho de campo. As fotos aéreas têm resolução de 10 cm e foram cedidas pelo Instituto de Planejamento de Santa Maria (IPLAN - SM, 2013a), provenientes do levantamento aerofotogramétrico de 29 de março de 2013.

Foi utilizado o programa *ArcGis 10*, desenvolvido pela empresa ESRI, para o georreferenciamento das fotos, vetorização e cálculo das porcentagens das diferentes superfícies de ocupação do solo. Seguem os dados do sistema de coordenadas adotado:

- sistema de coordenadas planas;
- Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 22S;

- projeção: Transversa de Mercator;
- unidade linear: metro;
- sistema de coordenadas geográficas: GCS_SIRGAS;
- elipsóide de referência: GRS_1980;
- semieixo maior: 6.378.137,0;
- semieixo menor: 6.356.752,314140356;
- achatamento: 298,25722210.

É importante salientar que o cálculo das diferentes classes de ocupação do solo é aproximado, devido a diversos fatores, dentre eles, dois são comentados a seguir. Primeiro, porque, embora as fotos sejam de alta resolução, não foram ortorretificadas, portanto sempre ocorrem distorções inerentes à projeção cônica da fotografia aérea, principalmente nos elementos mais altos como edificações de dois pavimentos ou mais. Segundo, porque, embora as fotos sejam bastante recentes (29/03/2013) muitas alterações podem ter sido feitas desde a referida data até o levantamento (por exemplo, pequenas reformas, alteração de pavimentos, plantações) e muitas delas são de difícil identificação pelo trabalho de campo, porque ficam dentro dos lotes.

4.3.1 Critérios adotados para o cálculo das superfícies de ocupação urbana e densidade construída

Durante o levantamento quantitativo das variáveis físico-urbanísticas, alguns critérios foram adotados a fim de padronizar a classificação dos elementos de ocupação entre as amostras (Quadro 13).

Além disso, outros critérios foram adotados na classificação dos elementos:

- Para a vetorização, foi considerado o elemento que está acima, por ser aquele que recebe a radiação solar e por se tratar de um levantamento em vista superior e não em três dimensões. Por exemplo, árvores sobre edificações, árvores sobre revestimentos, beirais sobre revestimentos de piso.

- A densidade construída foi calculada considerando-se um pé direito de 3 metros de altura para cada pavimento.

Classe	Elementos considerados
Edificação de 1 pavimento	edificação de 1 pavimento, coberturas
Edificação de 2/3/4/5/6/7 pav.	edificação de 2, 3, 4, 5, 6 ou 7 pavimentos
Árvore	árvores isoladas e conjuntos de palmeiras e árvores de pequeno porte
Revestimento vegetal	gramados, arbustos, etc.
Pavimento	asfalto, pedra, concreto
Solo exposto / brita	solo exposto, brita, areia, hortas com vegetação escassa, etc.
Água	açudes, piscinas, cursos d'água à vista

Quadro 13 – Critérios adotados para a classificação das superfícies de ocupação do solo.

- Edificações (pavilhões) com pé direito duplo foram computadas como de dois pavimentos (3 metros de altura cada pavimento), por ser considerado mais importante para o meio urbano a volumetria externa do que o uso interno.

- Só foram computados os subsolos que estivessem aproximadamente 1,5 metro acima do terreno ou nível da rua.

- Foram feitos ajustes ou compensações devido às distorções das edificações mais altas, movendo a projeção da cobertura para um ponto da edificação no terreno e, juntamente com o trabalho de campo, classificado de forma correta o trecho de revestimento não visualizado pela foto aérea.

- Nos edifícios com beiral e mais de três pavimentos, o polígono foi desenhado um pouco menor que o telhado, para que, ao multiplicar pelo número de pavimentos, a largura do beiral também não fosse multiplicada várias vezes, evitando um superdimensionamento de densidade construída.

- Pequenos elementos presentes junto a grandes áreas de outra classe foram desconsiderados (caminhos, calçadas em meio a gramados; árvores/arbustos de pequeno porte em meio a calçadas, gramados ou solo exposto; pequenas frestas entre edificações; entre outros).

- Árvores de pequeno porte e palmeiras isoladas foram desconsideradas como arborização, a não ser que formassem conjuntos expressivos. Para ser classificado ou não como árvore, o principal critério adotado foi o tamanho e a sombra projetada.

- Muros, áreas de reservatórios e chaminés de edificações não foram computados.

- Alterações ou supressões de árvores e edificações observadas no trabalho de campo foram consideradas, por serem mais atualizadas que as fotos aéreas.

4.3.2 Determinação do percentual das superfícies de ocupação urbana

Em cada uma das 10 amostras estudadas, foram identificadas as diferentes superfícies de ocupação do solo (edificação, vegetação arbórea, pavimentação, revestimento vegetal, solo exposto ou brita e corpos d'água). Para cada tipo de superfície foi relacionada uma cor (Figura 17) e em seguida, calcularam-se suas áreas.



Figura 17 – Exemplo de determinação do percentual das superfícies de ocupação do solo. Ponto 07 – Centro Comercial.

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de fotografias aéreas de 2013 (IPLAN-SM, 2013a).

4.3.3 Determinação da Densidade Construída

Neste estudo, a densidade construída de cada amostra é a relação entre a área total construída dentro da amostra e a área da amostra. O parâmetro foi determinado através da projeção horizontal das edificações, levantadas no item anterior (4.3.2), multiplicado pelo respectivo número de pavimentos de cada edificação, verificados no trabalho de campo.

A densidade construída é um fator bastante relevante para a compreensão da ilha de calor e tem relação direta com a legislação urbanística, porque está ligada à quantidade de edificações por unidade de área e a respectiva altura dessas edificações. Esses parâmetros construtivos se relacionam com a taxa de ocupação e com o coeficiente de aproveitamento, dois importantes índices urbanísticos (GOMES, 2008, p. 105).

Através da projeção das edificações levantadas na etapa anterior (item 4.3.2), do levantamento de campo e seguindo os critérios do item 4.3.1, cada estrutura edificada recebeu uma cor conforme o número de pavimentos (Figura 18).

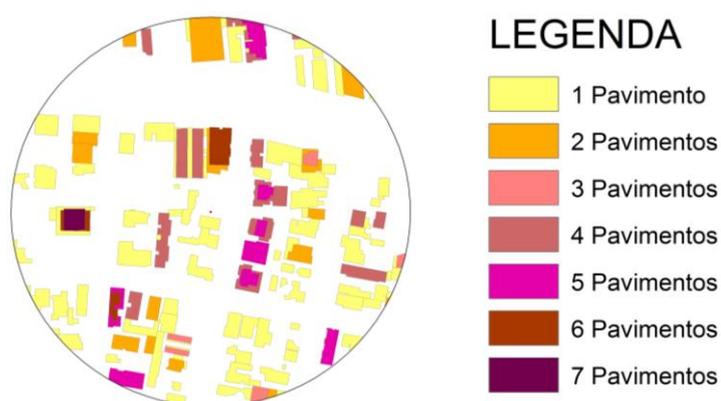


Figura 18 – Classificação do número de pavimentos das estruturas edificadas para a determinação da densidade construída. Exemplo: Ponto 07 – Centro Comercial.

Em seguida, foi possível calcular a área total construída por amostra, multiplicando-se a área de cada classe (cor) pelo respectivo número de pavimentos e somando-se todos os resultados.

Posteriormente, a densidade construída por amostra (em %) foi efetuada através da Equação 1:

$$\text{Densidade construída (\%)} = \frac{(\text{Área total construída} \times 100)}{(\text{Área da amostra})} \quad (1)$$

Os resultados do levantamento quantitativo das variáveis físico-urbanísticas das 10 amostras estudadas (percentual das superfícies de ocupação urbana e densidade construída) são apresentados no item 5.1.

4.4 Método para coleta de dados climáticos

Para a análise de clima urbano de qualquer cidade, o método ideal de investigação deveria abranger uma série de mensurações realizadas nas quatro estações ao longo de vários anos e sob condições de tempo (meteorológico) diversas (MONTEIRO, 1990a). Porém, conforme o mesmo autor, um experimento inicial deve avaliar no mínimo dois eventos em estações opostas – verão e inverno – em situações de tempo relativamente neutras. O experimento, em cada estação, deve ter duração mínima de 24 horas, preferencialmente com leituras horárias (MONTEIRO, 1990a). Seguindo essas recomendações e tendo como referência outros estudos sobre microclima urbano, procurou-se arranjar os experimentos da forma descrita a seguir.

4.4.1 Dias e horários de medição

As coletas de dados climáticos foram feitas por estações fixas, com aparelhos registradores de dados climáticos (*dataloggers*), em duas estações distintas, representativas do clima regional: a primeira, no verão, e a segunda, no inverno. Os dados foram coletados simultaneamente em todos os pontos amostrais.

No verão, os dias de medição ocorreram entre 31 de janeiro e 06 de fevereiro de 2014, totalizando sete dias completos e consecutivos de medição (os aparelhos iniciaram os registros no dia 30/01 e foram interrompidos no dia 07/02).

No inverno, devido às previsões e condições de instabilidade atmosférica, as medições foram realizadas em dois períodos: de 08 a 13 de julho e de 19 a 20 de julho de 2014, totalizando oito dias completos de medição. Os abrigos permaneceram nos locais de medição de 07 a 21 de julho e os aparelhos registraram os dados desde o dia 07/07 até 14/07 e, posteriormente, de 18/07 até 21/07. O dia de início e de término de registro de dados nos aparelhos não foram considerados como dias de medição para garantir dados completos de 24 horas, a partir da 0h00min de cada dia.

Para a análise dos resultados, foram selecionados três dias, preferencialmente de céu claro, sem nuvens e ventos fracos, para cada estação. Desta forma, conforme literatura sobre o tema, a influência dos elementos urbanos sobre as variáveis climáticas pode ser mais bem identificada.

A seleção dos dias foi feita conforme análise do tempo por observação diária, pelos dados de Santa Maria do INMET (INMET, 2014) e através de imagens de satélite (CPTEC/INPE, 2014a).

Os *dataloggers* foram programados para registrar os dados de temperatura e umidade relativa do ar de uma em uma hora. Da mesma forma que as medições do INMET, para as medições realizadas nesta pesquisa não foi considerado o horário brasileiro de verão, ou seja, o registro dos dados foi avaliado pelo horário solar da região (UTC-3)¹⁵.

4.4.2 Equipamentos utilizados

As medições das variáveis climáticas foram feitas com estações fixas nos 10 pontos selecionados. Para as medições foram empregados os aparelhos registradores de dados (*dataloggers*) fabricados pela *Onset Computer Corporation*.

¹⁵ UTC é o acrônimo em inglês para Tempo Universal Coordenado, o fuso horário de referência a partir do qual se calculam todas as outras zonas horárias do mundo. É o sucessor do Tempo Médio de Greenwich, abreviado por GMT (INMET, 2009).

O modelo utilizado foi o HOBO® U23-001 Temperatura/Umidade Relativa à prova de intempéries (Figura 19). As principais características técnicas são: faixa de operação de temperatura de -40°C a +70°C e de umidade de 0% a 100%; precisão de temperatura de +/- 0,2°C (para a faixa de 0°C a 50°C) e resolução de 0,02°C a 25°C; precisão de umidade de +/- 2,5% e resolução de 0,03%.

A leitura e coleta de dados do *data logger* são realizadas através de uma base ótica e acoplador que se conecta ao computador através de um cabo USB. A leitura de dados foi realizada através do programa *HOBOware Pro* versão 3.5.0, da *Onset*. Posteriormente, os dados coletados foram exportados para o programa *Microsoft Excel* para a elaboração de gráficos.



Figura 19 – Base ótica USB e HOBO U23-001 para leitura e coleta dos dados de temperatura e umidade relativa do ar.

Os 10 aparelhos registradores de dados (Hobos) são novos, da mesma marca e modelo, mesmo assim, antes das medições de campo, foram submetidos a um teste para verificar possíveis discrepâncias nas leituras dos dados climáticos. Os 10 aparelhos foram programados para fazer registros horários e colocados numa caixa térmica fechada para minimizar as influências externas. Após nove horas, foram feitas as leituras, verificadas cada medição horária, obtendo-se as médias de cada aparelho e a média geral, conforme **Apêndice A**. Em termos de diferença numérica num mesmo horário, a diferença máxima encontrada entre todos os hobos foi de 0,1°C para temperatura e menos de 1% para umidade relativa.

Como as diferenças encontradas não foram significativas, todos os aparelhos foram implantados sem nenhum tipo de correção nos dados obtidos em campo. Antes das medições de inverno, os aparelhos foram novamente testados, apresentando resultados semelhantes ao primeiro teste. As pequenas variações de temperatura e umidade entre os aparelhos entraram como margem de erro da pesquisa de campo.

Durante as medições, os aparelhos *dataloggers* foram protegidos em miniabrigos de madeira. Monteiro (1990a) lembra que os abrigos de madeira podem ser de baixo custo e fácil construção, desde que sejam multiplicados em condições absolutamente idênticas por todos os pontos (tipo de abrigo, distância do solo, orientação solar, etc.).

Os miniabrigos são de madeira, pintados de branco, com paredes duplas furadas, possibilitando a ventilação e evitando a incidência solar direta. Apoiados numa haste de madeira a 1,5 metro do solo, os miniabrigos foram instalados em espaços abertos, sobre solo natural ou com cobertura vegetal, em pátios particulares ou locais que assegurassem a segurança dos equipamentos. Com a frente voltada para o Sul, a abertura foi fechada apenas por uma cartolina branca plastificada e perfurada, permitindo a ventilação no interior do abrigo.

Os miniabrigos foram emprestados para esta pesquisa pelo Departamento de Geociências e Geografia da UFSM, sendo que já haviam sido utilizados em outras pesquisas de clima urbano, orientadas pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências da UFSM. Sobre a pintura branca já existente, uma nova camada de tinta branca foi aplicada para uniformizar a cor de todos os abrigos.

Para analisar o desempenho do miniabrigo quanto às medições climáticas, foi realizado um teste comparativo entre os dados da estação automática do INMET e os dados da pesquisa com o equipamento *Hobo*. Para isso, o miniabrigo foi instalado no Campus da UFSM, em área cercada e gramada, ao lado da estação do INMET, com o *Hobo* programado para fazer leituras horárias de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 20). O teste foi realizado em janeiro de 2014.

Conforme a leitura, observou-se diferença entre os dados da pesquisa e aqueles da estação automática do INMET (**Apêndice B**). Durante as 24 horas de medição do teste, a maior diferença absoluta de temperatura entre os dados foi de 1,5°C, podendo, contudo, ocorrer valores superiores a este.



Figura 20 – Miniabrigo instalado próximo à estação do INMET, no Campus da UFSM. Ponto 01 – UFSM-INMET da pesquisa.

Esse resultado já era esperado, tendo em vista as diferenças entre os tipos de aparelhos e abrigos empregados. Serafini Júnior e Alves (2014) avaliaram a eficiência de três tipos de abrigos em relação aos dados de uma estação automática de referência. De acordo com os autores, mesmo ocorrendo diferenças entre as medições obtidas em cada abrigo, os resultados foram considerados satisfatórios. As variações dependem também da época do ano e do período do dia.

Como as diferenças encontradas no teste foram inconstantes, e hora para mais, hora para menos, julgou-se desnecessárias alterações no abrigo, como o aumento de ventilação, por exemplo.

Todos os miniabrigos e aparelhos registradores utilizados nos 10 pontos da pesquisa são iguais, incluindo o ponto 01 – UFSM-INMET. Portanto, os dados oficiais do INMET (INMET, 2014) não foram utilizados para a análise dos dados (resultados das variáveis climáticas, análise qualitativa e estatística). Os dados oficiais do INMET (temperaturas, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação, insolação e nebulosidade) foram utilizados apenas para a seleção dos dias mais adequados para a análise. Os dados de radiação da Estação Automática do INMET (INMET, 2014) foram utilizados para a seleção dos horários de análise nas duas estações (verão e inverno).

Não foi realizada correção de temperatura entre os pontos por diferença de altitude, já que o bairro é relativamente plano.

4.5 Procedimentos de análise

Para a análise de relação entre as variáveis físico-urbanísticas e variáveis climáticas foram selecionados preferencialmente aqueles dias considerados típicos para formação de ilha de calor, ou seja, dias de céu claro, sem nuvens e ventos fracos.

Embora as medições tenham sido feitas durante vários dias consecutivos, com seleção daqueles dias de tempo mais estável, a análise foi elaborada utilizando-se apenas os dados noturnos desses dias porque, em geral, no período noturno, define-se melhor o contraste térmico entre o núcleo urbano e seu entorno natural. Os dados noturnos revelam o quanto cada fração urbana acumula de calor e o libera por radiação de ondas longas. Segundo Vasconcelos, Souza e Teixeira (2013, p. 4), “as temperaturas noturnas são o parâmetro térmico que evidenciam de maneira mais clara a influência da morfologia urbana sobre o ambiente térmico”.

A disparidade na temperatura do ar entre os centros urbanos e a periferia ou área rural é mais pronunciada nas noites calmas e claras, algumas horas após o pôr do sol, quando o calor armazenado pelas superfícies urbanas durante o dia é liberado (BARRY; CHORLEY, 2004; SPIRN, 1995). Este efeito também ocorre, em menor intensidade, nos bairros ou periferias de considerável intervenção urbana.

Além disso, utilizando-se os dados noturnos, foi possível eliminar o efeito das variações de sombreamento causado pela configuração urbana, nos abrigos e seus entornos, nos diferentes horários do dia, e assim evitar possíveis distorções de resultados.

Portanto, o horário escolhido para as análises foi pouco antes do pôr do sol até seis horas depois: das 19 às 24 horas no verão, e das 17 às 22 horas no inverno. A primeira hora considerada em cada estação foi aquela de duas horas antes dos registros de radiação negativa pela estação automática do INMET, conforme **Apêndice C**. Durante a madrugada até o início da manhã, o processo de resfriamento das superfícies continua, mas a diferença térmica entre os pontos, em geral, é menor.

Na etapa de integração dos resultados, primeiro foi realizada uma análise qualitativa, através de gráficos comparativos, relacionando os dados climáticos com o contexto urbano em torno dos pontos de medição. Para essa etapa foram

analisadas as diferenças entre os pontos considerando a temperatura média das seis horas noturnas (das 19 às 24 horas no verão, e das 17 às 22 horas no inverno) e também o horário das 21 horas, tanto no verão quanto no inverno, coincidindo com o horário oficial dos registros de dados noturnos da Estação Convencional do INMET (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e nebulosidade).

Para a análise, foram utilizados como referência das condições climáticas regionais os dados do ponto 01 da pesquisa, denominado UFSM-INMET por estar localizado no Campus da UFSM, próximo à estação oficial do INMET, local com baixa intervenção urbana.

Posteriormente, foi realizada uma análise quantitativa, através de testes estatísticos de correlação e regressão linear simples para cada horário noturno. O método de regressão linear simples busca identificar o grau de correlação entre duas variáveis, uma dependente (Y) e outra independente (X). A equação de regressão tem por objetivo estimar valores de uma variável, com base em valores conhecidos de outra (UFSM, 2009).

O Coeficiente de Correlação (r), conhecido como “r de Pearson”, pode assumir valores positivos (+) ou negativos (-). Quando (r) se aproxima de +1 indica pouca dispersão e uma correlação muito forte e positiva. Quando (r) se aproxima de zero indica muita dispersão e ausência de relacionamento entre as variáveis. Quando (r) se aproxima de -1 indica pouca dispersão e uma correlação muito forte e negativa. O Coeficiente de Determinação (r^2) é o quadrado do coeficiente de correlação de Pearson. O valor de (r^2) varia de 0 a 1, sendo sempre positivo. Um valor de r^2 próximo de 1, por exemplo, indica uma relação forte entre as duas variáveis (UFSM, 2009). Utilizando a regressão e os gráficos de dispersão foi possível diagnosticar a influência das variáveis urbanísticas (variável independente) sobre a temperatura e umidade relativa (variável dependente).

4.6 Incertezas experimentais e limitações da pesquisa

A dificuldade ou até impossibilidade de isolar variáveis no meio urbano é um dos desafios das pesquisas na área de clima urbano. A obtenção de locais adequados para a implantação dos abrigos no meio urbano é um fator limitador.

Neste sentido, conforme as diferenças entre os locais de implantação, os dados climáticos podem ter sofrido alguma influência do entorno mais imediato.

Os pontos também apresentam diferenças quanto ao uso do solo (residencial, comercial, serviços e educacionais) e, portanto, diferenças no fluxo de calor antropogênico, especialmente pelo fluxo de veículos. Este fator também pode ter ocasionado alguma influência nas medições, embora a análise tenha sido realizada com os dados climáticos do período noturno, quando, em geral, o fluxo de veículos é reduzido.

As variações ou imprecisões relacionadas aos aparelhos de medição e aos miniabrigos utilizados foram consideradas dentro da margem de erro da pesquisa de campo, sendo, portanto, desprezadas.

Durante as etapas de medição das variáveis climáticas, no verão e no inverno do ano da pesquisa, ocorreram períodos com condições atmosféricas instáveis – chuvas, ventos e nebulosidade – que limitaram o número de dias de tempo estável para a análise do microclima urbano.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados do levantamento das variáveis físico-urbanísticas, das coletas de dados climáticos e a integração e discussão dos resultados obtidos.

5.1 Resultados do levantamento das variáveis físico-urbanísticas

5.1.1 Identificação e percentual das superfícies de ocupação urbana

A identificação das superfícies de ocupação de solo das 10 amostras estudadas é apresentada a seguir, nas figuras 21, 22, 23 e 24.

O percentual de cada tipo de superfície (edificação, vegetação arbórea, pavimentação, revestimento vegetal, solo exposto ou brita e corpos d'água) em cada uma das 10 amostras está exposto na tabela 1. As áreas consideradas permeáveis foram aquelas revestidas por gramados, vegetação de pequeno porte, solo exposto, areia ou brita. As áreas ocupadas por edificações e pavimentações artificiais (asfalto, pedra, concreto, cimento, etc.), que impedem ou dificultam a absorção de água pelo solo, foram classificadas como impermeáveis.

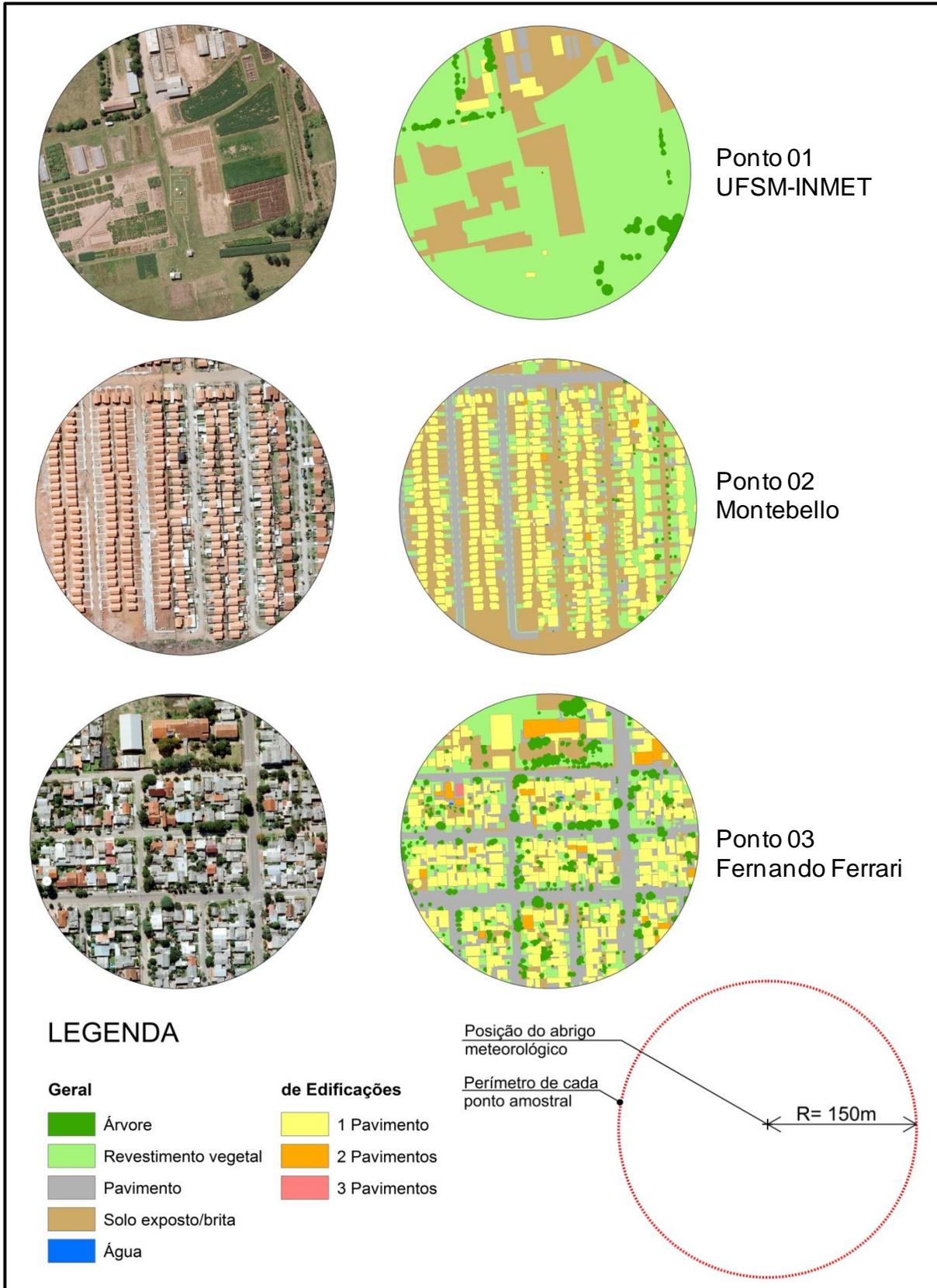


Figura 21 – Identificação das superfícies de ocupação do solo dos Pontos 1, 2 e 3.

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de fotografias aéreas de 2013 (IPLAN-SM, 2013a).

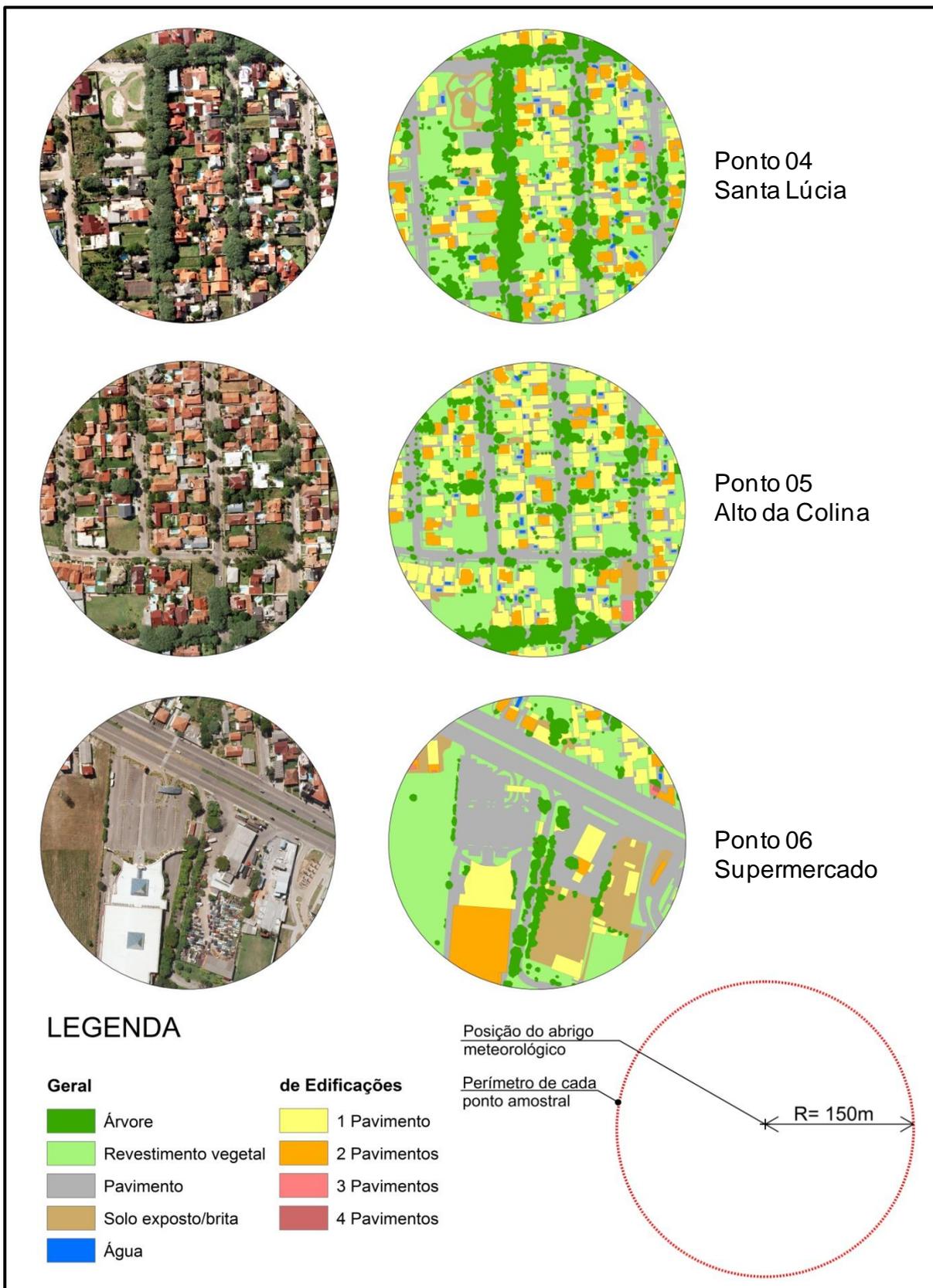


Figura 22 – Identificação das superfícies de ocupação do solo dos Pontos 4, 5 e 6.

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de fotografias aéreas de 2013 (IPLAN-SM, 2013a).

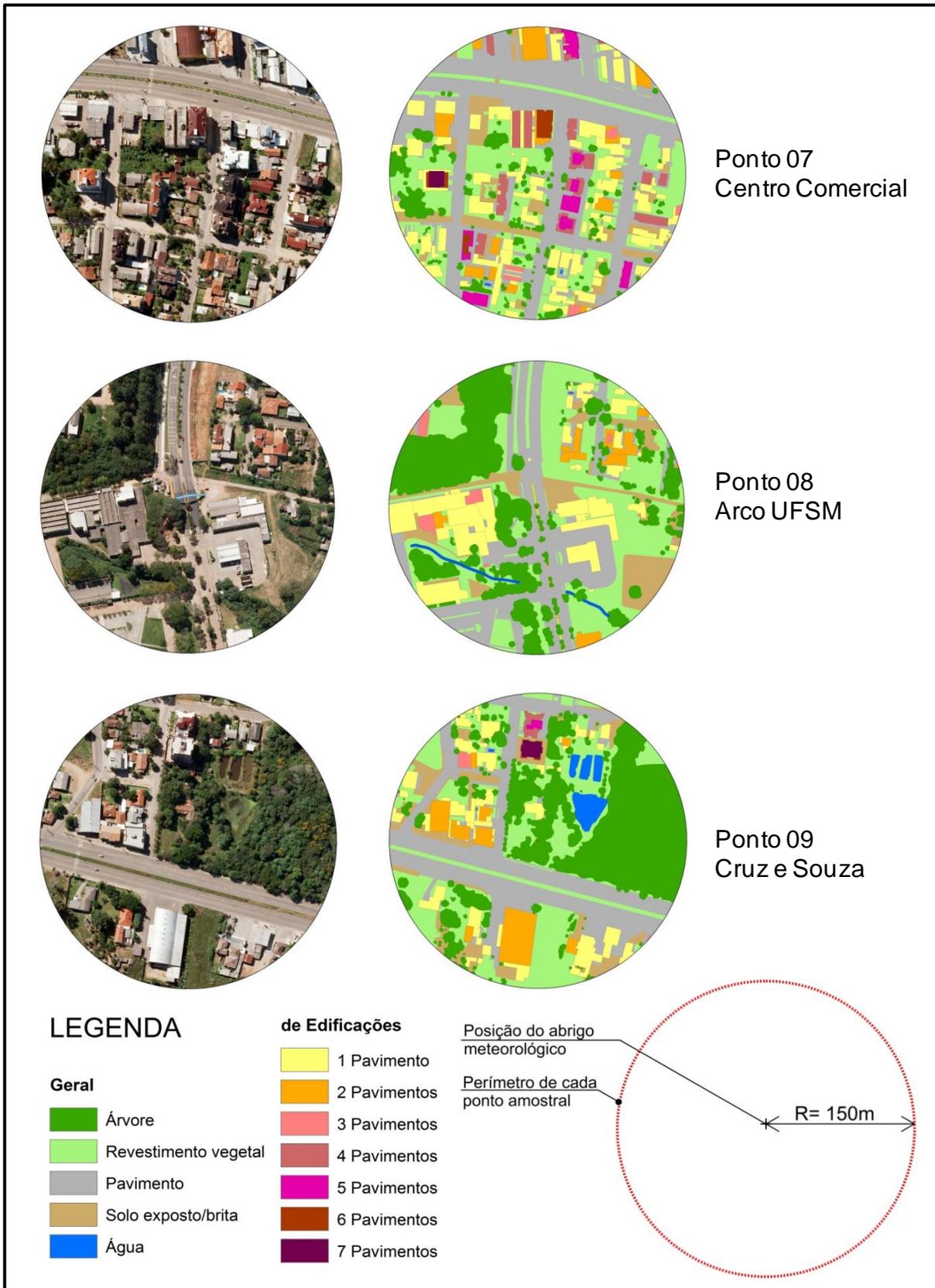


Figura 23 – Identificação das superfícies de ocupação do solo dos Pontos 7, 8 e 9.

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de fotografias aéreas de 2013 (IPLAN-SM, 2013a).

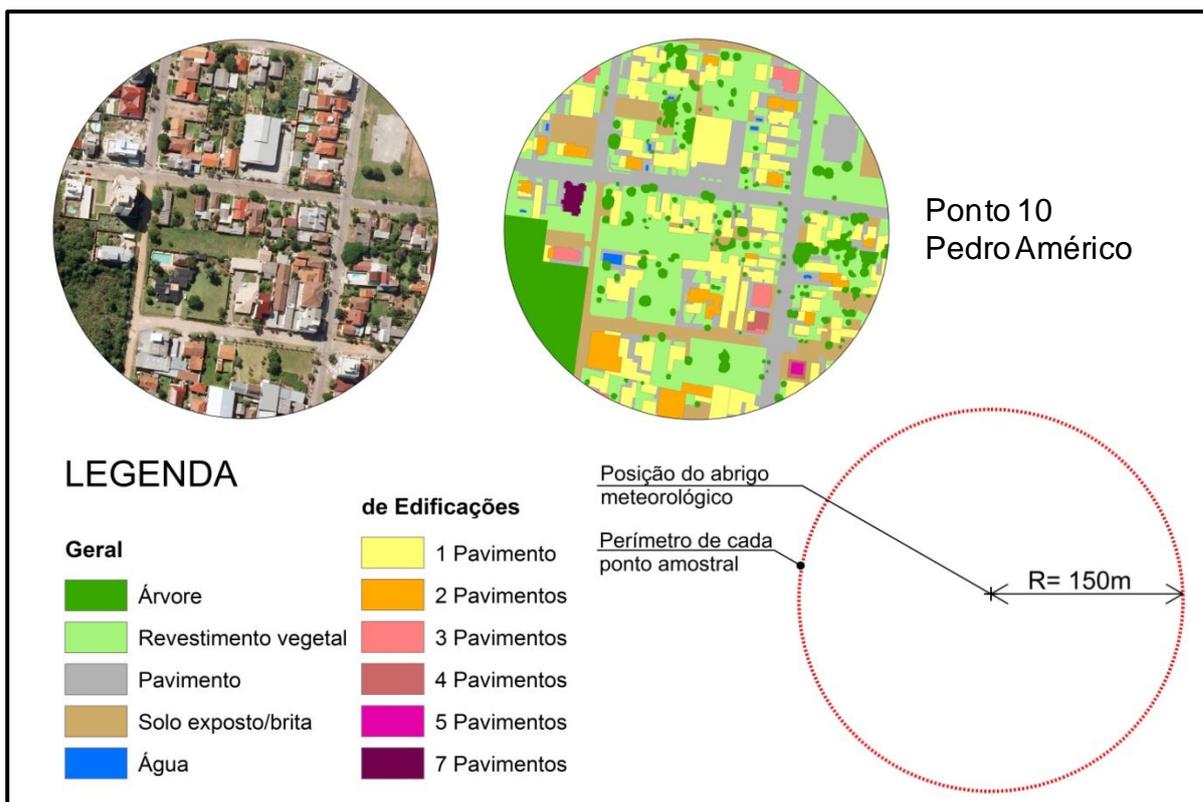


Figura 24 – Identificação das superfícies de ocupação do solo do Ponto 10.

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de fotografias aéreas de 2013 (IPLAN-SM, 2013a).

Tabela 1 – Percentual das superfícies de ocupação do solo em projeção.

Pontos da pesquisa	Área total (%)	Áreas impermeáveis		Áreas permeáveis		Árvore (%)	Água (%)
		Área de edificação (%)	Pavimento (%)	Revestimento vegetal (%)	Solo exposto/brita (%)		
P01 - UFSM-INMET	100,00	2,26	1,54	69,71	23,18	3,32	0,00
P02 - Montebello	100,00	32,78	16,35	14,03	36,14	0,69	0,01
P03 - Fernando Ferrari	100,00	36,76	28,55	15,49	8,32	10,86	0,02
P04 - Santa Lúcia	100,00	26,45	20,37	26,61	1,94	23,86	0,76
P05 - Alto da Colina	100,00	31,65	22,56	25,37	1,37	18,38	0,69
P06 - Supermercado	100,00	17,95	36,81	26,63	10,88	7,66	0,09
P07 - Centro Comercial	100,00	28,25	39,14	19,28	6,10	7,20	0,04
P08 - Arco UFSM	100,00	16,20	21,14	26,43	9,54	26,00	0,69
P09 - Cruz e Souza	100,00	14,68	24,58	21,05	6,51	30,99	2,19
P10 - Pedro Américo	100,00	25,84	20,41	29,45	10,97	13,04	0,29

Sendo considerado:

Área de edificação: áreas cobertas e edificações de 1 até 7 pavimentos

Pavimento: revestimentos de asfalto, pedra ou concreto

Revestimento vegetal: revestimentos gramados, arbustos e vegetação de pequeno porte

Solo exposto/brita: solo exposto, brita, areia e hortas com vegetação escassa

Árvore: árvores isoladas e conjuntos de palmeiras e de árvores de pequeno porte

Água: açudes, piscinas e cursos d'água à vista

Através das figuras 21 a 24 e da tabela 1 é possível observar que as amostras com maiores taxas de área impermeabilizada (projeção de edificação e pavimentação) são os pontos Centro Comercial, Fernando Ferrari, Supermercado e Alto da Colina, respectivamente. Os locais com as menores taxas de cobertura vegetal (árvore e revestimento vegetal) são os pontos Montebello, Fernando Ferrari, Centro Comercial e Supermercado, respectivamente.

Quanto à vegetação arbórea somente, os pontos com as maiores taxas são o Cruz e Souza, Arco UFSM e Santa Lúcia, respectivamente; enquanto os pontos Montebello, UFSM-INMET, Centro Comercial e Supermercado apresentam taxas muito baixas de cobertura arbórea. Embora o ponto UFSM-INMET apresente escassa quantidade de árvores, a cobertura por revestimento vegetal é bastante alta, chegando a quase 70%.

5.1.2 Densidade construída

A densidade construída (DC) foi calculada conforme o item 4.3 da metodologia. A figura 25 apresenta o número de pavimentos das edificações, a partir do qual foi possível calcular a densidade construída que, nesta pesquisa, representa a relação entre a área total construída dentro de cada amostra e a área da amostra, considerando um raio de 150 metros. A tabela 2 apresenta, posteriormente, a densidade construída obtida em cada amostra.

Através da figura 25 e da tabela 2, é possível observar que a área de estudo não apresenta um adensamento construtivo muito elevado, comparado com aqueles encontrados em grandes centros urbanos, onde as taxas de densidade construída podem ultrapassar os 100%. As amostras com maiores taxas de área construída são aquelas do Centro Comercial, Fernando Ferrari, Alto da Colina e Pedro Américo, respectivamente.

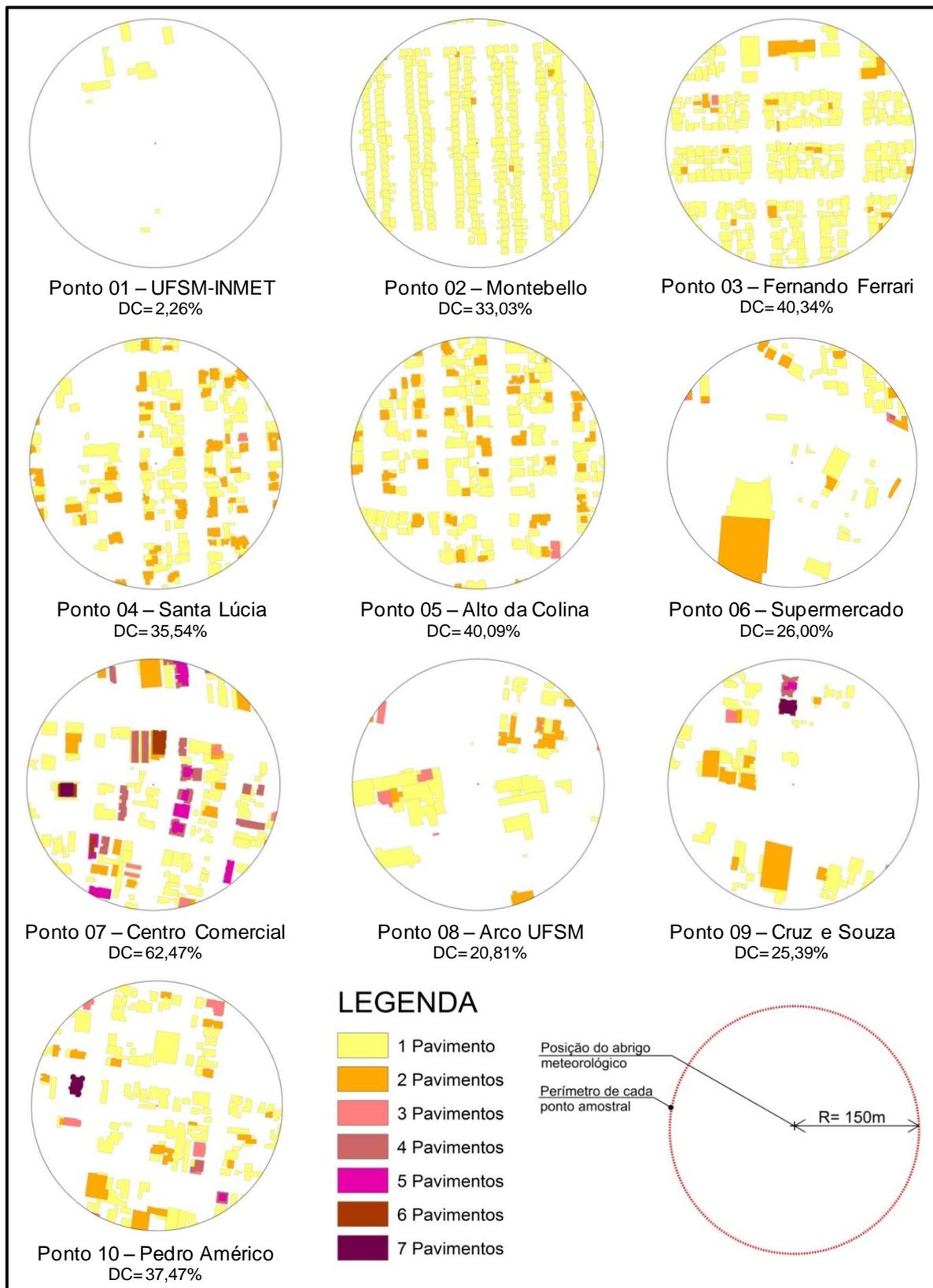


Figura 25 – Identificação das edificações e número de pavimentos para determinação da densidade construída de cada ponto amostral.

Fonte: elaborado pela autora, a partir de fotografias aéreas de 2013 (IPLAN-SM, 2013a).

Tabela 2 – Densidade construída de cada amostra da pesquisa, em porcentagem.

Pontos da pesquisa	Densidade Construída (%)
P01 - UFSM-INMET	2,26
P02 - Montebello	33,03
P03 - Fernando Ferrari	40,34
P04 - Santa Lúcia	35,54
P05 - Alto da Colina	40,09
P06 - Supermercado	26,00
P07 - Centro Comercial	62,47
P08 - Arco UFSM	20,81
P09 - Cruz e Souza	25,39
P10 - Pedro Américo	37,47

Para uma melhor visualização da proporção de ocupação de cada elemento urbano (área edificada, árvores, revestimento vegetal, pavimentação, solo exposto/brita e corpos d'água), é apresentado, a seguir, um gráfico que reúne a porcentagem de cada variável físico-urbanística nas amostras (Figura 26). Os gráficos representados na figura 27 apresentam a porcentagem de cada variável físico-urbanística por amostra.

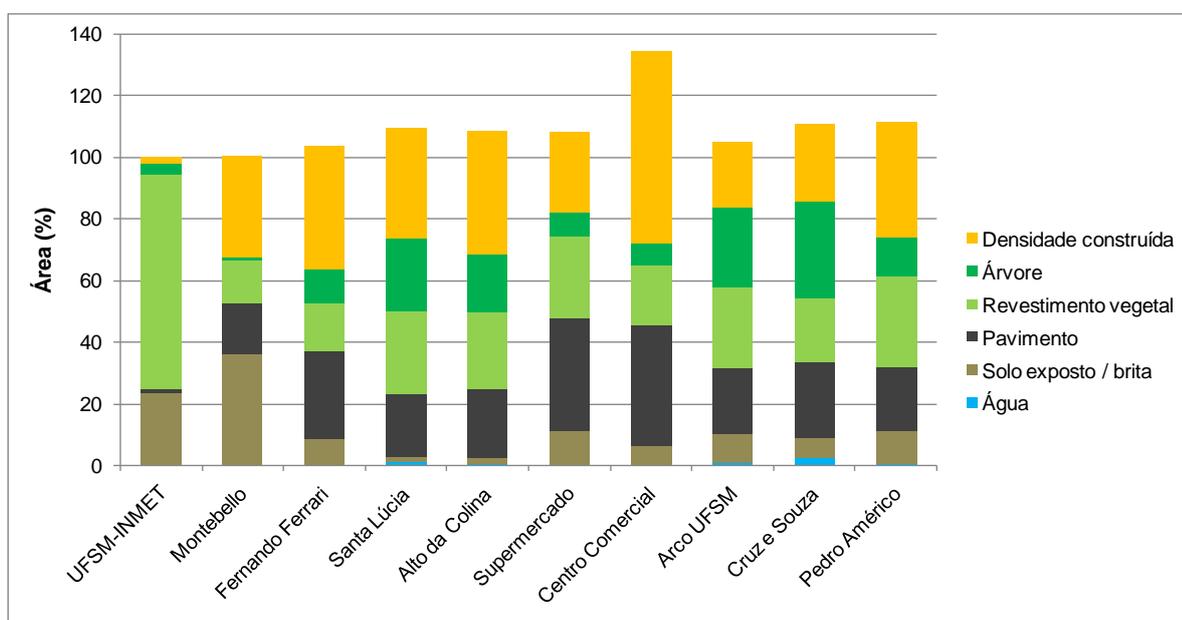


Figura 26 – Área ocupada por cada tipo de elemento (em %), nas 10 amostras.



Figura 27 – (a) a (j) – Porcentagem de cada tipo de elemento urbano nas amostras.

Através dos resultados obtidos nas amostras e representados através das figuras 26 e 27, é possível observar que o ponto do Centro Comercial é aquele com maior porcentagem de área construída e de área pavimentada entre as amostras.

Os pontos Montebello e Santa Lúcia apresentam taxas de densidade construída similares, mas diferem em muito nas taxas de vegetação arbórea e tipos de revestimento do solo, principalmente revestimento vegetal e solo exposto/brita.

Os pontos Fernando Ferrari e Alto da Colina também apresentam praticamente a mesma porcentagem de densidade construída, porém, o ponto Alto da Colina se destaca com maior quantidade de revestimento vegetal e árvores.

Ainda quanto à densidade construída, o ponto Supermercado apresenta porcentagem similar ao ponto Cruz e Souza. Porém, neste, a maior área da amostra é ocupada por árvores, enquanto naquele a maior área da amostra é de revestimento pavimentado, principalmente asfalto.

5.2 Resultados da coleta das variáveis climáticas – temperatura e umidade relativa do ar

Conforme descrito na metodologia, as coletas de dados climáticos foram realizadas em duas estações distintas, a primeira no verão e a segunda no inverno. No capítulo da metodologia também estão descritos os períodos exatos em que ocorreram as medições de dados climáticos nas duas estações.

5.2.1 Dias selecionados para análise

Durante os dois períodos de medição ocorreram dias de instabilidade atmosférica, com variação de nebulosidade, ventos e chuva. Portanto, para a análise dos resultados, foram selecionados três dias em cada estação, preferencialmente de céu claro, sem nuvens e ventos fracos.

Conforme descrito na metodologia, a seleção dos dias foi feita pela análise de dados meteorológicos oficiais de Santa Maria (INMET, 2014), por observação diária do tempo no bairro Camobi e através de imagens de satélite.

Os quadros 14 e 15 mostram os dados do INMET para Santa Maria durante os dias de medição da pesquisa, no verão e no inverno, respectivamente. No verão, os dias selecionados para análise foram aqueles sem chuva, temperaturas mais altas, ventos fracos e maior número de horas de insolação. No inverno, os dias selecionados para análise foram aqueles sem chuva, temperaturas mais baixas, ventos fracos e maior número de horas de insolação.

Para auxiliar na escolha e na compreensão das condições atmosféricas dos dias selecionados para análise, uma breve descrição sinótica foi elaborada, com base nos dados meteorológicos do INMET (INMET, 2014), imagens de satélite (Figuras 28 a 33) e análises sinóticas do CPTEC/INPE (CPTEC/INPE, 2014a) sob supervisão do meteorologista da UFSM, Daniel Caetano Santos.

Além disso, foram descritas brevemente as condições do tempo de cada dia selecionado, através da observação diária realizada pela autora no bairro Camobi durante os períodos de medições.

DADOS DIÁRIOS							
VERÃO	Temp. Média Compensada	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Umidade Relativa Média	Média Vel. Vento	Precipitação (*)	Total Insolação
Data	°C	°C	°C	%	m/s	mm	horas
31/01/2014	26,24	20,6	31,2	76,50	1,63	19,6	8,4
01/02/2014	26,36	22,4	34,4	81,00	2,40	0,0	7,6
02/02/2014	27,84	22,0	36,6	72,75	2,20	2,9	8,8
03/02/2014	29,52	22,0	38,2	65,25	1,60	0,0	11,6
04/02/2014	29,72	24,6	36,2	74,50	2,20	0,0	8,8
05/02/2014	30,48	23,6	38,6	66,25	2,26	4,0	11,8
06/02/2014	30,76	24,2	39,2	59,50	2,90	0,0	10,7

* Chuva: é o acumulado das últimas 24h - Total observado às 12UTC (9 horas). As observações correspondem as precipitações ocorridas entre as 12UTC do dia anterior até o dia corrente. Conforme observação diária do tempo durante as medições e dados da Estação Automática, a chuva registrada nos dias 31/01, 02/02 e 05/02 ocorreu nos dias 30/01, 01/02 e 04/02, respectivamente.

Dias com melhores condições para análise de ilha de calor.

Quadro 14 – Dados meteorológicos registrados em Santa Maria, durante os dias de medições da pesquisa no período de verão.

Fonte: Organizado pela autora com base nos dados da Rede do INMET - BDMEP: Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET, 2014).

DADOS DIÁRIOS							
INVERNO	Temp. Média Compensada	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Umidade Relativa Média	Média Vel. Vento	Precipitação (*)	Total Insolação
Data	°C	°C	°C	%	m/s	mm	horas
07/07/2014	9,16	4,0	17,0	81,50	0,87	0,0	9,1
08/07/2014	10,08	4,2	16,2	82,25	1,17	0,0	9,2
09/07/2014	13,64	8,8	18,2	86,25	2,23	0,0	6,4
10/07/2014	15,64	14,2	17,0	85,75	3,30	0,0	0,0
11/07/2014	15,32	12,6	20,2	89,25	2,77	0,0	7,9
12/07/2014	15,24	13,2	21,0	91,25	2,20	0,0	7,1
13/07/2014	17,84	11,8	25,4	81,50	1,30	0,0	6,5
17/07/2014	18,68	18,6	20,6	91,75	1,90	0,0	0,0
18/07/2014	13,32	11,6	18,6	76,25	1,63	22,5	8,9
19/07/2014	11,80	7,0	20,2	84,75	0,43	0,0	9,1
20/07/2014	11,84	6,0	20,0	86,00	0,63	0,0	9,4

* Chuva: é o acumulado das últimas 24h - Total observado às 12UTC (9 horas). As observações correspondem as precipitações ocorridas entre as 12UTC do dia anterior até o dia corrente. Conforme observação diária do tempo durante as medições e dados da Estação Automática, a chuva registrada no dia 18/07, ocorreu no dia 17/07 até às 4:00 horas do dia 18/07, o que pode ser confirmado pelos valores de insolação.

Dias com melhores condições para análise de ilha de calor.

Quadro 15 – Dados meteorológicos registrados em Santa Maria, durante os dias de medições da pesquisa no período de inverno.

Fonte: Organizado pela autora com base nos dados da Rede do INMET - BDMEP: Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET, 2014).

No verão, entre os dias 02 e 06 de fevereiro, o tempo em Santa Maria manteve-se sob a mesma condição, com uma massa de ar quente e úmida atuando sobre a região. A chuva que ocorreu na tarde do dia 04 de fevereiro foi um desenvolvimento convectivo sobre a região, ou seja, a precipitação não foi decorrente de uma passagem frontal, sendo que as temperaturas e umidade mantiveram-se elevadas nos dias posteriores.¹⁶

No período do primeiro decêndio de fevereiro de 2014, um bloqueio atmosférico que predominou sobre parte das regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste do Brasil, impediu o avanço de sistemas frontais sobre a Região Sul, provocando a redução de chuvas e o registro de temperaturas máximas acima da média climatológica na região (CPTEC/INPE, 2014b; INMET, 2014¹⁷).

¹⁶ Esta breve descrição sinótica foi elaborada sob supervisão do meteorologista Daniel Caetano Santos, da UFSM/Santa Maria.

¹⁷ Boletim agroclimatológico mensal de fevereiro – 2014. INMET – Informações climáticas para agricultura. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>.

O dia 03/02/2014 (segunda-feira) foi de céu claro/predomínio de sol (poucas nuvens), calor e ventos fracos, permanecendo assim durante o período noturno. Em 05/02/2014 (quarta-feira), a manhã também foi de céu claro/predomínio de sol (poucas nuvens), calor e ventos fracos. Devido ao forte calor, no período da tarde, houve pequeno aumento de nebulosidade, porém, não ocorreram chuva ou ventos mais fortes. No período noturno permaneceu o calor, céu aberto (sem nuvens) e ventos fracos. Em 06/02/2014 (quinta-feira), a manhã foi de céu claro/predomínio de sol (poucas nuvens), calor e ventos fracos. Devido ao forte calor, no período da tarde, houve aumento de nebulosidade permanecendo até a noite, com ventos mais fortes que nos dias 03 e 05 de fevereiro, segundo observação pessoal e registros da estação automática do INMET.

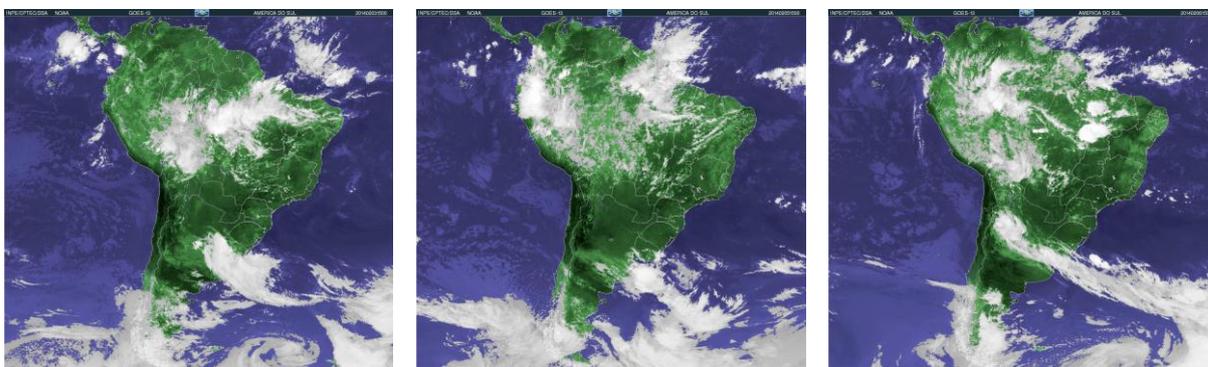


Figura 28, 29 e 30 – Imagens do Satélite GOES-13 às 15:00UTC (12 horas, desconsiderando horário de verão), nos dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014, respectivamente.

Fonte: acervo de imagens de satélite do CPTEC/INPE (CPTEC/INPE, 2014a).

No inverno, entre os dias 07 e 08 de julho, após uma passagem frontal, uma Massa Polar Atlântica com características continentais dominou sobre a região de Santa Maria, trazendo estabilidade do tempo, com predomínio de baixas temperaturas. Após a chuva de origem frontal ocorrida no dia 17 de julho, no segundo período de medição de inverno, a massa de ar pós frontal foi se estabelecendo durante o dia 18 de julho. Nos dias 19 e 20 de julho observou-se a Massa Polar Atlântica estabelecida com frio moderado.¹⁸

¹⁸ Esta breve descrição sinótica foi elaborada sob supervisão do meteorologista Daniel Caetano Santos, da UFSM/Santa Maria.

O dia 08/02/2014 (terça-feira) foi de céu claro (sem nuvens), frio e ventos fracos, permanecendo assim durante o período noturno. Em 19/07/2014 (sábado), a manhã foi de céu claro (sem nuvens), frio e ventos fracos. Durante a tarde, com forte insolação, as temperaturas se elevaram, ficando próximas das médias máximas normais para esse período do ano. No período noturno, o céu permaneceu aberto, com ventos muito fracos e queda da temperatura. No dia 20/07/2014 (domingo), as condições do tempo foram bastante semelhantes ao dia anterior, porém, com leve aumento da temperatura e dos ventos no período da tarde e noite.

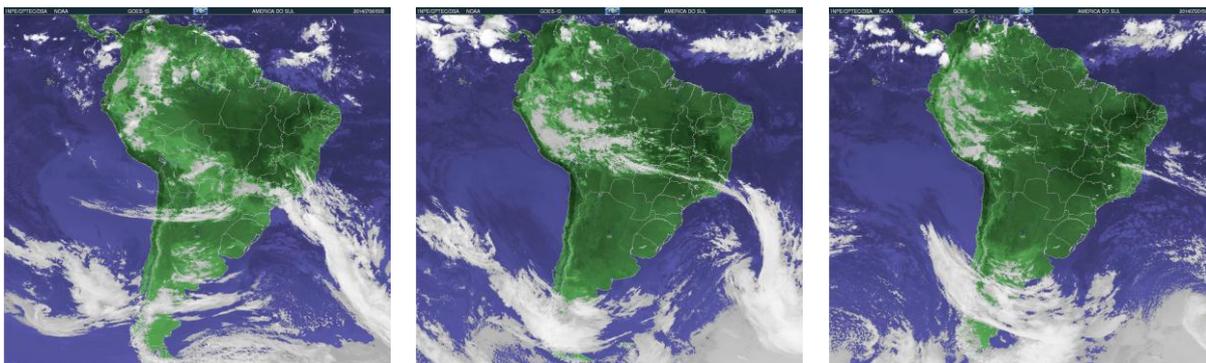


Figura 31, 32 e 33 – Imagens do Satélite GOES-13 às 15:00UTC (12 horas), nos dias 08, 19 e 20 de julho de 2014, respectivamente.

Fonte: acervo de imagens de satélite do CPTEC/INPE (CPTEC/INPE, 2014a).

O quadro 16 mostra os dados meteorológicos dos dias escolhidos para análise, às 21 horas, registrados na Estação Convencional do INMET de Santa Maria. Já o quadro 17, mostra os dados meteorológicos dos dias escolhidos para análise, às 21 horas, registrados na Estação Automática do INMET de Santa Maria.

Estação	Data	Hora UTC-3	Temperatura °C	Umidade Relativa %	Veloc. do Vento m/s	Nebulosidade décimos
Verão	03/02/2014	21:00	27,6	82	1,0	2
Verão	05/02/2014	21:00	29,2	77	0,3	0
Verão	06/02/2014	21:00	29,0	70	4,6	10
Inverno	08/07/2014	21:00	10,8	87	0,7	0
Inverno	19/07/2014	21:00	10,6	98	0,0	0
Inverno	20/07/2014	21:00	11,8	96	0,3	0

Quadro 16 – Dados registrados na Estação Convencional do INMET às 21 horas.

Fonte: Organizado pela autora com base nos dados da Rede do INMET - BDMEP: Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET, 2014).

Estação	Data	Hora UTC-3	Temperatura °C	Umidade Relativa %	Veloc. do Vento m/s
Verão	03/02/2014	21:00	26,9	78	1,8
Verão	05/02/2014	21:00	28,3	74	0,6
Verão	06/02/2014	21:00	28,2	69	2,6
Inverno	08/07/2014	21:00	10,9	88	1,4
Inverno	19/07/2014	21:00	10,0	96	0,3
Inverno	20/07/2014	21:00	11,3	96	0,9

Quadro 17 – Dados registrados na Estação Automática do INMET às 21 horas.

Fonte: Organizado pela autora com base nos dados da estação automática do INMET (INMET, 2014). O INMET salienta que os dados das estações automáticas são brutos e não passaram por verificação de consistência.

Durante o ano de 2014, registraram-se no Brasil algumas situações anômalas relativas ao clima, tanto no verão quanto no inverno.

Segundo Síntese Sinótica do mês de fevereiro de 2014 do CPTEC/INPE (CPTEC/INPE, 2014b), durante a primeira quinzena do mês, período das medições de verão dessa pesquisa, foram registradas temperaturas máximas acima da média sobre grande parte da Região Sul e outras regiões do Brasil. Em geral, pode-se dizer que houve, na região de Santa Maria, durante a primeira quinzena de fevereiro, anomalias positivas de temperaturas e anomalias negativas de precipitação.

Durante o inverno, segundo Síntese Sinótica do mês de julho de 2014 do CPTEC/INPE, também foram registradas algumas situações anômalas que podem ter sido influenciadas pela atuação do fenômeno *El Niño* (CPTEC/INPE, 2014c).

Como visto no capítulo de caracterização da área de estudos, a Região Sul do Brasil está sujeita a frequentes mudanças nas condições atmosféricas. Essa

situação, de certa forma, dificultou as medições dos dados climáticos da pesquisa e também a seleção de dias favoráveis à análise dos dados.

5.2.2 Resultados dos dados climáticos coletados

Como exposto na metodologia, os miniabrigos para coleta de dados climáticos foram instalados em espaços abertos, sobre solo natural ou com cobertura vegetal. No entanto, é impossível obter locais idênticos no meio urbano e por isso é importante ponderar tais influências nos resultados encontrados.

Nesse sentido, considera-se, por exemplo, que o ponto situado no Arco UFSM, pode ter sofrido influência do revestimento asfáltico da Avenida Roraima e do próprio calor antropogênico causado pelo tráfego de veículos. Assim como os demais pontos podem ter sofrido certa influência do entorno mais próximo ao abrigo, devido às diferenças de revestimentos, uso do solo, fluxo de veículos, diferentes extensões dos gramados sob os abrigos, sombreamentos, acesso aos ventos, etc. Ponderando tais observações, considera-se que as diferenças de temperatura e umidade observadas nas medições realizadas são resultantes dos padrões de ocupação urbana.

Embora, nesse estudo, a proposta foi analisar apenas os dados noturnos pelos fatores já mencionados na metodologia, no **Apêndice D**, são apresentados os resultados das medições das variáveis climáticas para os seis dias selecionados durante as 24 horas do dia. Dessa forma é possível observar a evolução diária da temperatura e umidade relativa do ar, ressaltando, no entanto que, no período diurno, as diferentes condições de sombreamento e insolação nos pontos de medição acentuaram as diferenças higrótérmicas entre eles.

Na figura 34 são apresentados os gráficos com as diferenças térmicas entre os pontos para cada dia analisado, considerando a temperatura média das seis horas noturnas (das 19 às 24 horas no verão, e das 17 às 22 horas no inverno).

Através da figura 34, é possível observar que nos dias 03 e 05 de fevereiro, período de verão, na média noturna, os locais com temperaturas mais elevadas foram os pontos Supermercado (Ponto 06), Centro Comercial (Ponto 07) e Fernando

Ferrari (Ponto 03). Enquanto as temperaturas mais baixas foram observadas nos pontos UFSM-INMET (Ponto 01), Cruz e Souza (Ponto 09) e Santa Lúcia (Ponto 04).

Ainda no período de verão, as médias noturnas do dia 06 de fevereiro apresentaram diferenças menores de temperatura entre os pontos. O aumento dos ventos e da nebulosidade a partir do período da tarde desse dia pode ter contribuído para minimizar as diferenças térmicas entre os pontos no período noturno e dificultar a perda de calor da área urbana para o céu, devido à presença de nuvens.

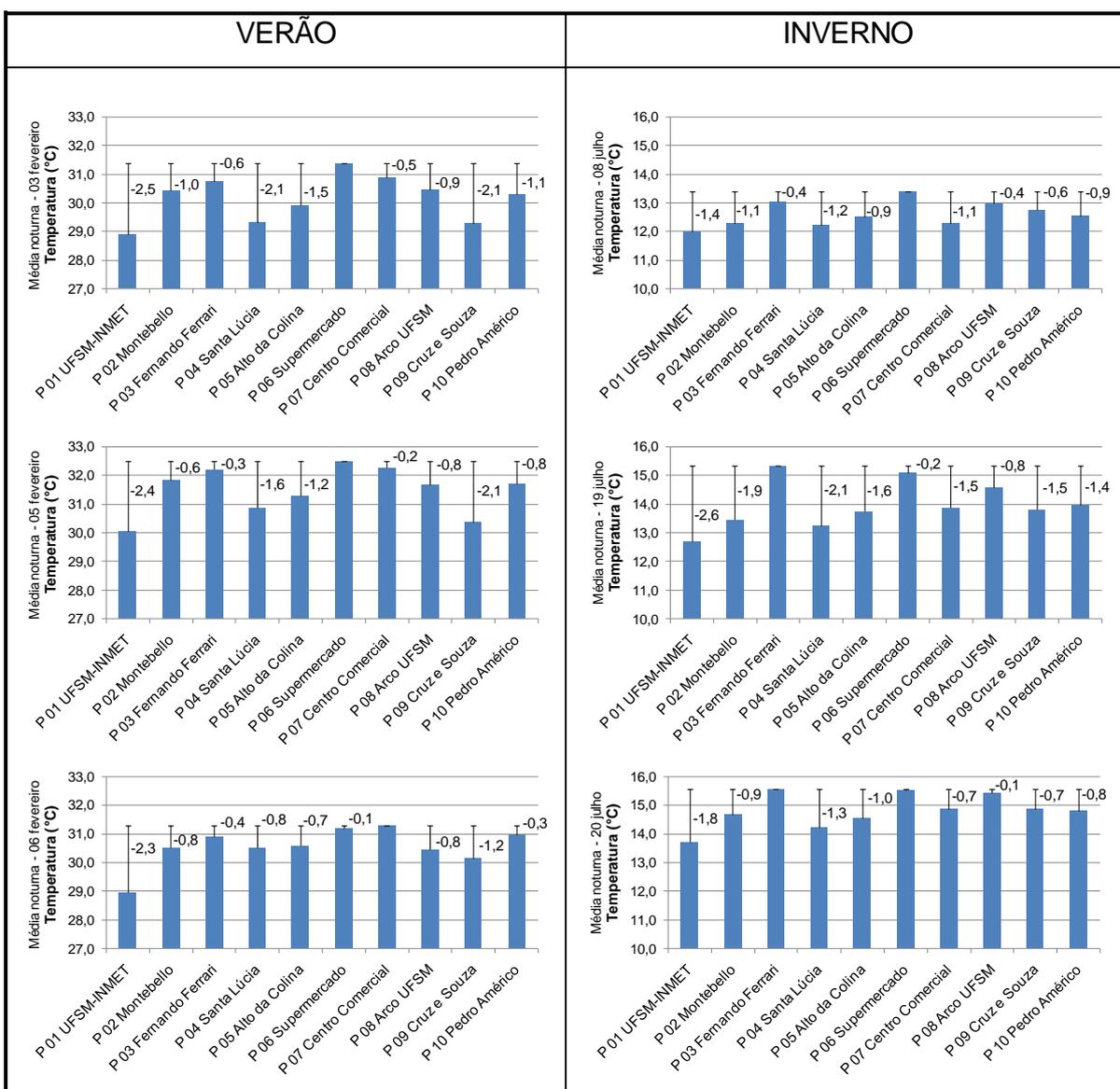


Figura 34 – Temperatura média das seis horas noturnas dos dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014 e dos dias 08, 19 e 20 de julho de 2014.

No período de inverno, observou-se que a variabilidade térmica entre os pontos amostrais diferiram do período de verão em alguns aspectos. Em 08 de julho, dia mais frio do período analisado, as diferenças térmicas entre os pontos, pela média noturna, apresentaram-se pouco significativas. Na média noturna dos dias 19 e 20 de julho, os locais com temperaturas mais elevadas foram os pontos Fernando Ferrari (Ponto 03), Supermercado (Ponto 06) e Arco UFSM (Ponto 08).

Diferente do verão, o ponto Centro Comercial (Ponto 07) não apresentou as temperaturas mais elevadas, comparado aos demais pontos da pesquisa. Por outro lado, entre os 10 pontos amostrais, o Cruz e Souza (Ponto 09) foi um dos locais que apresentam as temperaturas noturnas mais baixas durante o verão. Durante as medições de inverno, no entanto, este comportamento não se repetiu, ou pelo menos as diferenças térmicas foram menores.

Na figura 35 são apresentados os gráficos com as diferenças de umidade relativa entre os pontos, considerando a média das seis horas noturnas (das 19 às 24 horas no verão, e das 17 às 22 horas no inverno) para cada dia analisado.

De acordo com as médias obtidas, observa-se que, em geral, os pontos com os registros de umidade relativa mais altas, foram os pontos 01 e 09 (UFSM-INMET e Cruz e Souza). Aqueles com as menores umidades relativas, em geral, foram os pontos 03 e 06 (Fernando Ferrari e Supermercado).

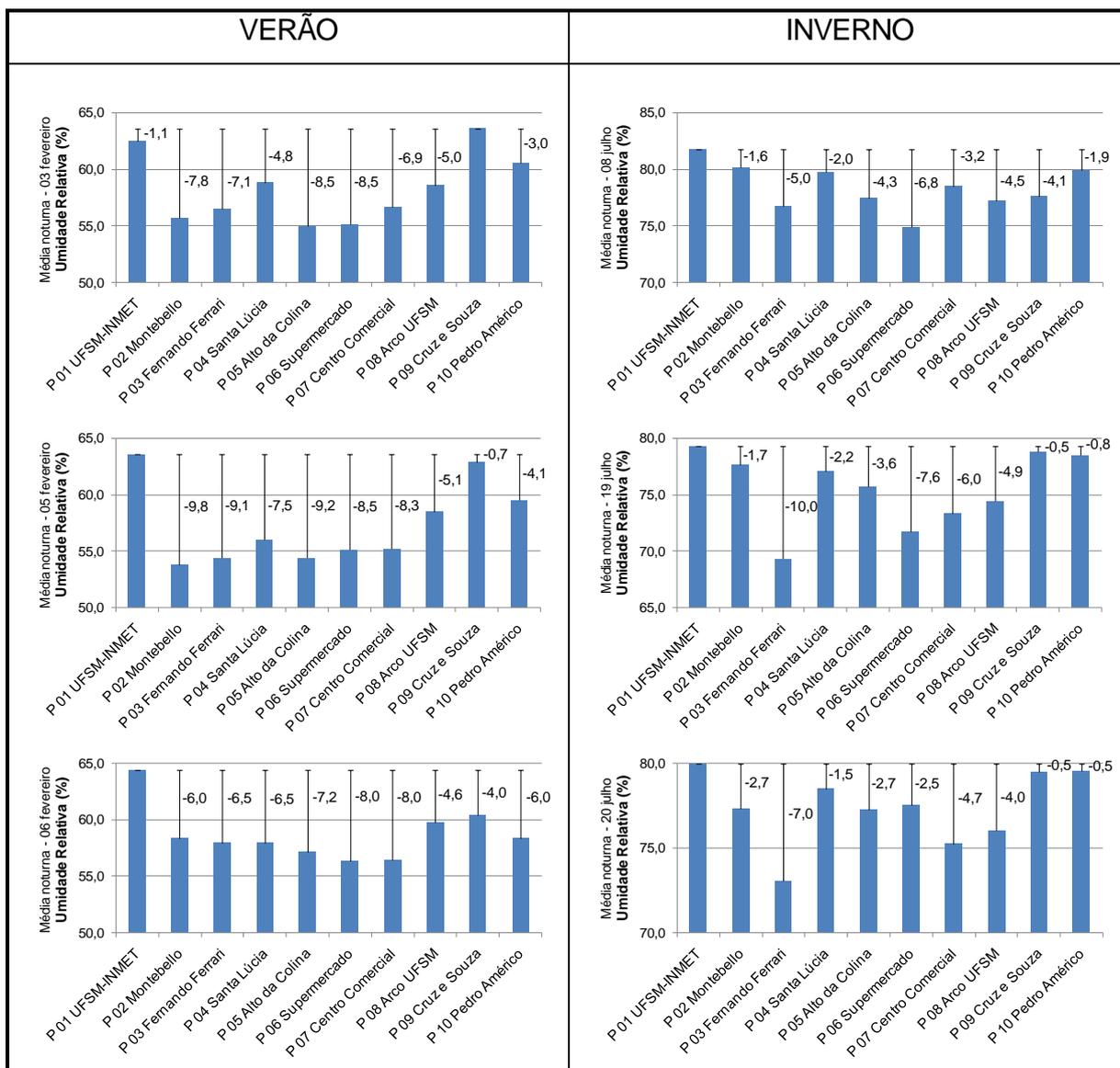


Figura 35 – Umidade relativa média das seis horas noturnas dos dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014 e dos dias 08, 19 e 20 de julho de 2014.

5.3 Integração dos Resultados

5.3.1 Análise qualitativa / descritiva

Para compreender a influência do ambiente construído sobre a temperatura do ar, a partir dos resultados encontrados nesse estudo, é importante considerar as

diferentes taxas das variáveis físico-urbanísticas de cada amostra e também os aspectos relativos ao diferentes arranjos espaciais no entorno de cada local de medição (apresentados nos itens 4.2 e 5.1). A variação das condições climáticas dos recintos urbanos ocorre especialmente devido às diferentes características térmicas das superfícies urbanas, ao arranjo espacial dos edifícios e ao aumento da rugosidade, alterando os padrões de circulação do ar no espaço urbano.

Portanto, é importante observar que as proximidades e alturas das edificações, muros, tipos de materiais construtivos, dimensões das áreas verdes e pavimentadas e até mesmo copas mais densas de árvores ou grupamentos arbóreos podem reter calor, conformar barreiras contra a ventilação e a liberação de ondas longas, dificultando a dispersão de calor para a atmosfera.

Conforme o arranjo espacial dos edifícios, podem ocorrer diferenças de temperatura em locais com taxas semelhantes de densidade construída, FVC, de áreas impermeabilizadas, construídas e permeáveis (BORGES, 2009; GUSSON, 2014). Por exemplo, de acordo com a forma que uma edificação está implantada no sítio, ela “[...] permite uma melhor ventilação, resultando conseqüentemente na redução dos ganhos térmicos solares” (BORGES, 2009, p. 86).

Como comentado anteriormente, é impossível obter locais de coletas de dados climáticos idênticos no meio urbano. Isto significa que dentro de cada amostra, a temperatura é influenciada pela configuração urbana geral, mas também podem ocorrer variações de temperatura conforme o entorno de cada ponto de medição. Conforme as colocações acima descritas, julga-se fundamental ponderar esses aspectos na abordagem de caráter descritivo apresentada neste item.

A figura 36 mostra o total da amostra (raio de 150 metros) – que foi utilizada no cálculo das variáveis de ocupação do solo e nos testes estatísticos – e uma aproximação do entorno do ponto de medição (raio de 50 metros), para melhor visualização do contexto urbano onde as medições climáticas foram realizadas e, assim, compreender melhor a influência dos elementos urbanos sobre a temperatura do ar.

Analisando apenas a porção mais próxima do ponto de medição (raio de 50 metros), pode-se observar que o ponto 01 apresenta no seu entorno apenas revestimento permeável e condição bastante favorável à circulação dos ventos, pois se trata de um local livre de barreiras ou obstruções. No entorno dos pontos 02 e 03, observa-se a concentração de edificações baixas, porém, pouco espaçadas entre si,

e áreas gramadas bastante reduzidas, enquanto nos pontos 04 e 05 observa-se maior quantidade de espaços verdes entre as edificações.

O ponto 06 apresenta poucas edificações no seu entorno próximo, porém alto índice de pavimentação asfáltica. O ponto de medição nessa amostra localizou-se em área de jardim sob vegetação arbórea. No entorno do ponto 07, apesar de ainda existir terrenos desocupados e vegetados, é um ponto de adensamento de construções, o que deve interferir nos padrões de circulação dos ventos.

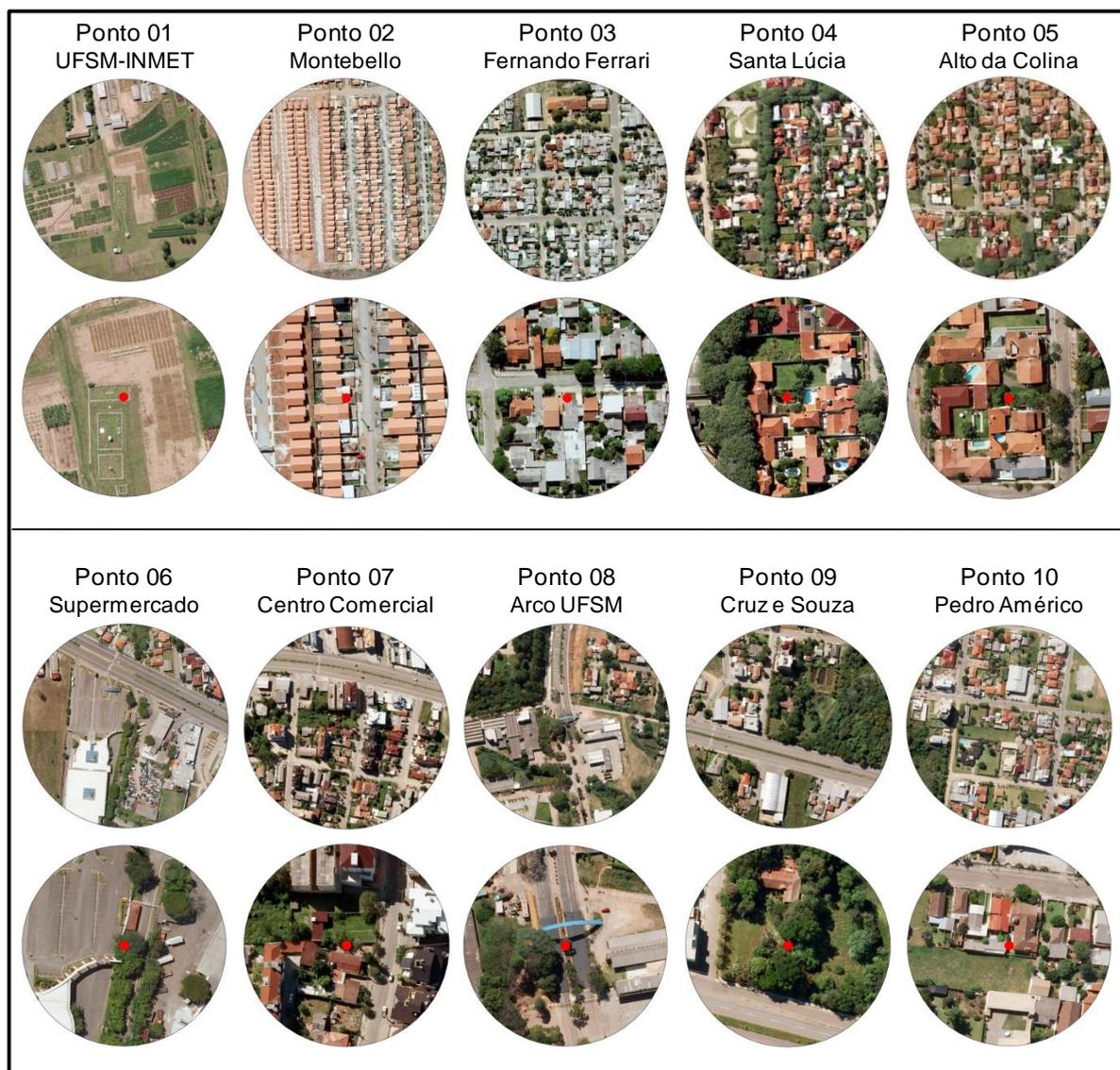


Figura 36 – Imagens aéreas das 10 amostras com raio de 150 metros e raio de 50 metros em torno de cada ponto de medição.

Fonte: Adaptado de IPLAN-SM, 2013a.

No entorno do ponto 08 observa-se a baixa obstrução por edificação. O ponto de medição nessa amostra localizou-se em área próxima de pavimentação asfáltica e sob vegetação arbórea. No ponto 09, as edificações encontram-se bem afastadas do local de medição. Apesar da proximidade com a pavimentação asfáltica da RS 509, o abrigo foi instalado em ampla área gramada e sob vegetação arbórea. Já no ponto 10, observam-se edificações bem próximas ao ponto de medição. Porém, as áreas de terrenos livres de edificação com revestimento vegetal, presentes no entorno, também são significativas.

5.3.1.1 Associação entre as características físico-urbanísticas e térmicas das amostras

Através dos gráficos expostos a seguir (Figuras 37 e 38), onde os dados térmicos foram sobrepostos aos atributos físico-urbanísticos de cada amostra, é possível observar a influência da ocupação urbana sobre a temperatura do ar.

Na figura 37, os dados térmicos das 21 horas do dia 03 de fevereiro (em azul no gráfico) indicam que os valores mais altos de temperatura estão relacionados àqueles locais com as maiores porcentagens de densidade construída e pavimentação e com as menores porcentagens de revestimento vegetal e vegetação arbórea, como é o caso dos pontos 02, 03, 06 e 07 (Montebello, Fernando Ferrari, Supermercado e Centro Comercial, respectivamente).

Nos pontos 01, 04 e 09 (UFSM-INMET, Santa Lúcia e Cruz e Souza), observam-se os menores valores de temperatura, onde as taxas de revestimento vegetal e/ou vegetação arbórea são altas e os abrigos guardaram distância relativamente grande de elementos construídos.

Apesar da elevada taxa de cobertura vegetal (revestimento vegetal e árvores), observa-se que o ponto 08 (Arco UFSM) apresentou temperaturas semelhantes àqueles locais com pouca cobertura vegetal. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo revestimento asfáltico da Avenida Roraima e pelo calor antropogênico causado pelo tráfego de veículos no entorno do ponto de medição. A própria cobertura arbórea sobre o abrigo pode funcionar, durante a noite, como barreira para a dissipação do calor acumulado durante o dia.

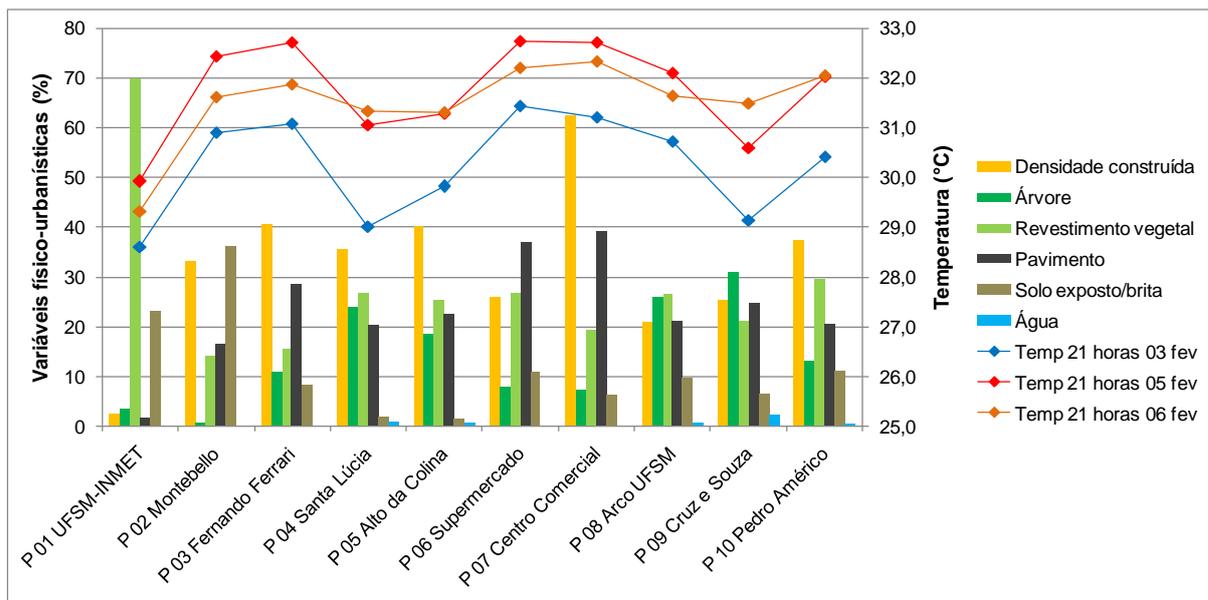


Figura 37 – Índices das variáveis de ocupação do solo versus temperatura do ar às 21 horas dos dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014, período de verão.

Ponderando também as influências do entorno mais próximo ao abrigo é possível verificar que no Montebello e Santa Lúcia, as taxas de densidade construída são bastante semelhantes (33,03% no Montebello e 35,54% no Santa Lúcia) e, no entanto, mesmo com maior área pavimentada, o ponto Santa Lúcia apresentou temperatura mais baixa que o Montebello em quase 2°C.

Assim como no Montebello e Santa Lúcia, os pontos Fernando Ferrari (40,34% de densidade construída) e Alto da Colina (40,09% de densidade construída) também apresentaram diferentes temperaturas, comprovando a importância da vegetação na formação de um microclima mais ameno, principalmente no verão. Confirma também que, conforme já sugerido por alguns autores, áreas com taxas semelhantes de densidade construída podem ter desempenhos térmicos distintos, conforme as demais variáveis de ocupação do solo, entre elas, a vegetação.

No dia 05 de fevereiro (Figura 37), as temperaturas (em vermelho no gráfico) foram mais altas que no dia 03, mas observam-se as mesmas tendências de comportamento térmico entre os pontos porque, nessas duas noites, o céu permaneceu claro e os ventos, fracos.

Ainda no período de verão, como já observado pelas médias noturnas, no dia 06 de fevereiro (Figura 37), as diferenças de temperaturas entre os pontos foram menores (em laranja no gráfico), com exceção do ponto 01 (UFSM-INMET). O aumento dos ventos e da nebulosidade a partir do período da tarde deste dia deve ter contribuído para minimizar as diferenças térmicas entre os pontos no período noturno e dificultar a perda de calor para o céu, devido à presença de nuvens. Isto indica que o aumento da nebulosidade e do vento é capaz de homogeneizar a temperatura do ar nos locais com distintos padrões de ocupação do solo, conforme já esperado e apontado na revisão de literatura.

Pelos dados obtidos no período de inverno, e expostos no gráfico a seguir (Figura 38), o ponto 01 (UFSM-INMET) permaneceu sendo o local com a temperatura mais baixa no período noturno, mas observaram-se algumas situações distintas daquelas encontradas durante o verão.

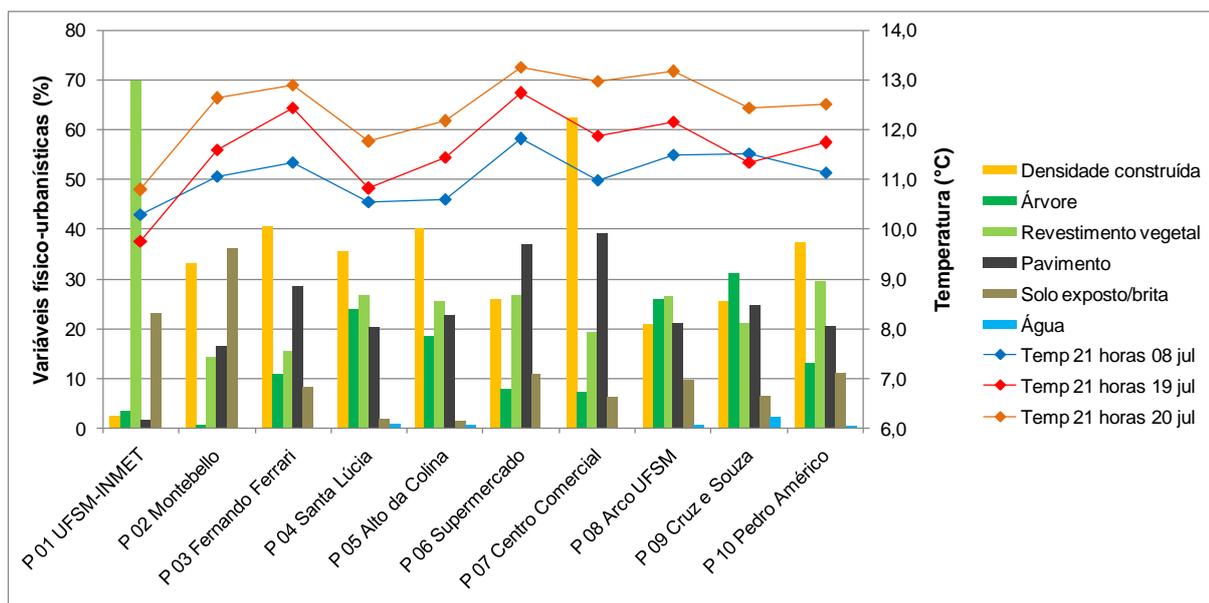


Figura 38 – Índices das variáveis de ocupação do solo versus temperatura do ar às 21 horas dos dias 08, 19 e 20 de julho de 2014, período de inverno.

Em 08 de julho (Figura 38), dia mais frio das medições, a diferença térmica entre os pontos às 21 horas foi pequena (em azul no gráfico). Nos três dias avaliados (temperaturas em azul, vermelho e laranja no gráfico), observa-se que o

ponto 07 (Centro Comercial), um dos mais aquecidos no período de verão, apresentou valores mais baixos de temperatura ou menor diferença térmica em relação aos outros pontos. O sombreamento causado pelos edifícios na amostra durante esse período do ano (menor inclinação dos raios solares) pode ter ocasionado menor aquecimento das superfícies no período diurno e, portanto, menor liberação de calor no período noturno.

Por outro lado, os pontos 03 e 06 (Fernando Ferrari e Supermercado), com taxas altas de pavimentação e ocupação urbana mais horizontalizada, permitindo amplo acesso à radiação solar no período diurno, mantiveram-se como pontos mais aquecidos durante a noite.

Embora, nas amostras estudadas, não existam áreas de grande verticalização construtiva, o sombreamento entre as edificações no inverno pode ter contribuído para o menor aquecimento dos ambientes urbanos mais adensados. Por outro lado, extensas áreas abertas pavimentadas e de ocupação mais horizontalizada recebem insolação direta, contribuindo para o maior aquecimento microclimático desses locais tanto no verão quanto no inverno.

Uma investigação mais conclusiva sobre esse aspecto poderá servir de subsídio para a definição de índices urbanísticos, recuos e afastamentos ideais que possibilitem a aplicação de estratégias bioclimáticas nas edificações urbanas e também o conforto térmico do espaço público em todas as estações do ano para o tipo climático em questão.

Quanto à vegetação, conforme a literatura, no período diurno, as árvores contribuem para a redução da temperatura e melhoria do conforto térmico do espaço urbano nos dias quentes, devido ao sombreamento promovido e à absorção de boa parte da radiação solar para o processo de evapotranspiração. Já no período noturno, os locais com maiores índices de cobertura vegetal, apresentam temperaturas mais baixas porque, no período diurno, o aquecimento nessas áreas é menor, comparados aos locais de excessiva pavimentação e área construída. As plantas proporcionam o sombreamento das superfícies urbanas e, além disso, não acumulam calor como os materiais de construção (AMORIM, 2010; CHEN-YI et al., 2009; DUARTE, 2000; ROMERO, 1988, 2011). Onde há vegetação, o solo não aquece durante o dia, devido ao sombreamento das árvores ou pela cobertura vegetal de gramados. Ainda no período noturno, os locais mais gramados e abertos

são mais frescos, porque a evaporação noturna, por menor que seja, ajuda a arrefecer o ar.

Entre as 10 amostras, o ponto 09 (Cruz e Souza) apresenta a mais elevada taxa de vegetação arbórea e foi um dos locais que apresentaram as temperaturas noturnas mais baixas durante o verão. Durante as medições de inverno, no entanto, esse comportamento não se repetiu, ou pelo menos as diferenças térmicas com os outros pontos foram menores.

Um dos fatores que pode ter contribuído para esse resultado é a redução da quantidade de folhas nas árvores caducifólias no período de inverno, deixando aquelas áreas arborizadas mais expostas à radiação solar durante o dia, em comparação com o verão, permitindo um maior aquecimento dos revestimentos de solo no período diurno e conseqüentemente temperaturas mais elevadas no período noturno.

Outro aspecto a ser considerado é o extenso grupamento arbóreo presente no local, parte dele de folhagem perene. Grupamentos arbóreos de caráter homogêneo, dependendo da forma e densidade das copas, podem funcionar como verdadeiras barreiras à penetração dos ventos, reduzindo o fluxo de ar em seu interior e dificultando a dissipação de calor (BARBOSA; BARBIRATO; VECCHIA, 2003). Em alguns casos, sob as copas das árvores podem ocorrer temperaturas noturnas mais elevadas do que em áreas mais abertas (DURANTE; NOGUEIRA, 2013; ROCHA; SOUZA; CASTILHO, 2011), principalmente sob grupamentos arbóreos homogêneos e em noites de baixa velocidade do vento. Nesse estudo, esse resultado não deve ser tratado como conclusivo, pois não houve um levantamento de espécies vegetais em cada ponto amostral e o número de dias avaliados também foi muito pequeno.

Por outro lado, o ponto 04 (Santa Lúcia) se manteve como um dos pontos mais frescos também no período de inverno, sugerindo que a presença de extensas áreas gramadas e a vegetação arbórea distribuída de forma mais dispersa favorecem a ventilação e as trocas térmicas. Segundo Barbosa, Barbirato e Vecchia (2003), espaços com vegetação heterogênea e copas não muito densas favorecem o movimento do fluxo de ar, ao nível do usuário, auxiliando no processo de trocas térmicas.

Destaca-se que, durante as medições do inverno, grande parte das árvores (da espécie *Tipuana*) presentes nessa amostra (Santa Lúcia) ainda não tinha perdido

as folhas. Por serem tardiamente decíduas, no final do inverno, a situação era diferente. Observa-se nas duas datas, pelas figuras 39 e 40, a diferença na quantidade de folhas e na projeção de sombra sobre a rua. Nas duas ocasiões as fotos foram tiradas aproximadamente às 15 horas.

Os resultados evidenciam o caráter dinâmico dos elementos naturais frente às diferentes estações do ano, podendo influenciar o microclima urbano de forma muito complexa. Quer dizer, os resultados encontrados nos locais com presença de vegetação podem apresentar variações no comportamento térmico de acordo com o clima, a estação do ano, as espécies, as condições atmosféricas diárias, a disponibilidade de água no solo, entre outros fatores.



Figura 39 – (esquerda) e 40 – (direita) À esquerda, foto de 07 de julho (durante as medições de inverno) e à direita, foto de 07 de setembro (final do inverno).

Um indicativo para o planejamento e desenho urbano para o tipo de clima em questão, deve ser a escolha de espécies arbóreas que percam as folhas no período desejável de captação da radiação solar. Espécies tardiamente decíduas, dependendo do objetivo de projeto, não são as mais adequadas, pois durante o inverno, período mais frio do ano, ocasionam sombreamentos e, no final do inverno, permitem a insolação, quando as temperaturas já estão mais elevadas.

O gráfico da figura 41 mostra a diferença térmica (ΔT) entre os pontos às 21 horas para os três dias de verão. Os dados do ponto 01 da pesquisa (UFMS-INMET) foram considerados como referência zero em comparação àqueles dentro do tecido

urbano do bairro, já que se localiza em área de baixa intervenção urbana e, por isso, considerado como representativo das condições climáticas naturais da região.

Considerando os três dias de análise de verão, os pontos que registraram diferenças maiores em relação ao ponto 01 (UFSM-INMET), acima de 2,5°C, foram os pontos Supermercado, Centro Comercial e Fernando Ferrari, cujas taxas de impermeabilização do solo são altas. Enquanto os pontos Santa Lúcia, Alto da Colina e Cruz e Souza, apresentaram os valores mais baixos de temperaturas, ou seja, mais próximos daqueles registrados no ponto 01 (UFSM-INMET).

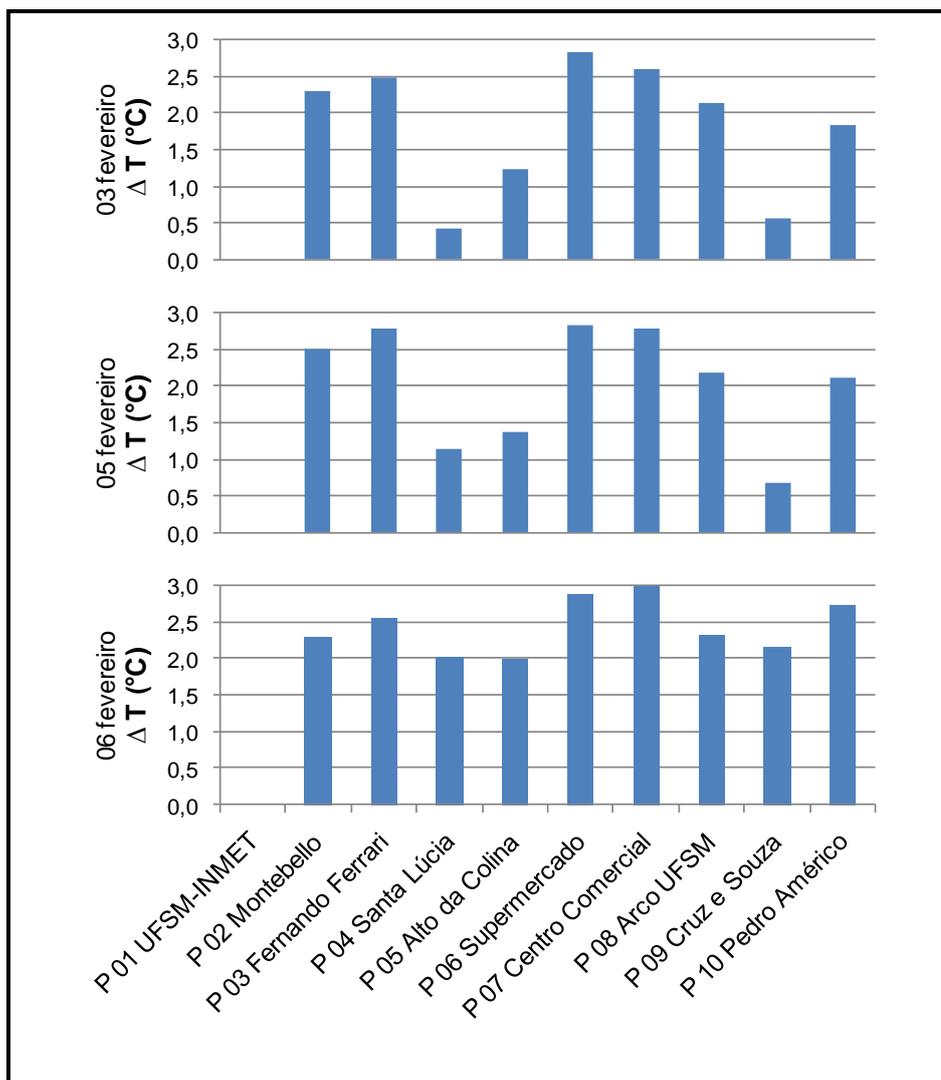


Figura 41 – Diferença térmica entre os pontos, às 21 horas - medições de verão.

O gráfico da figura 42 mostra a diferença térmica (ΔT) entre os pontos às 21 horas para os três dias de inverno. No dia 08 de julho, o ponto 06 (Supermercado) destacou-se como o mais aquecido entre as amostras. Já nos dias 19 e 20 de julho, período de inverno com temperaturas mais elevadas durante o dia, as maiores diferenças térmicas (acima de $2,0^{\circ}\text{C}$ em relação ao ponto 01) foram registradas nos pontos Fernando Ferrari, Supermercado, Centro Comercial e Arco UFSM.

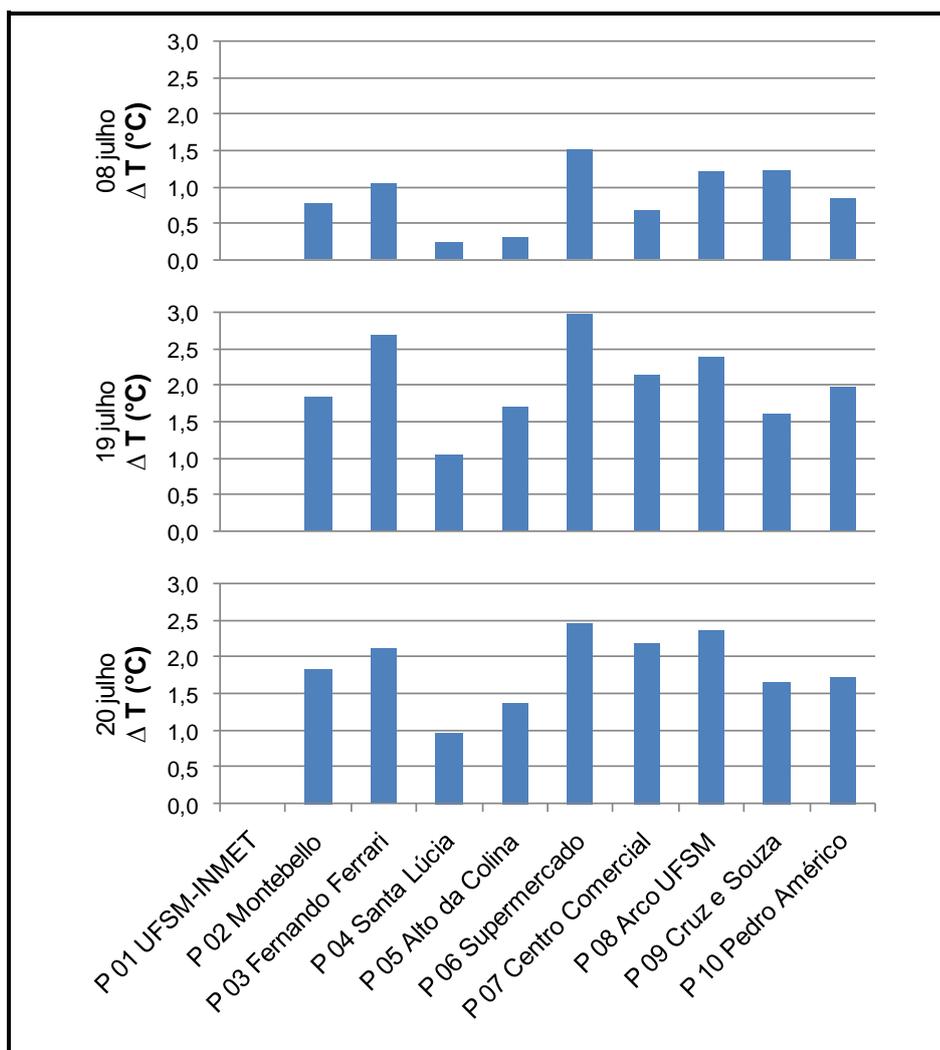


Figura 42 – Diferença térmica entre os pontos, às 21 horas - medições de inverno.

No período analisado desse estudo, não foram registradas diferenças térmicas muito acentuadas entre os pontos. Em geral, as diferenças máximas ficaram próximas dos 2°C e 3°C , tanto no verão quanto no inverno. O nível de

intervenção urbana do bairro, de baixa e média densidade, parece não ser capaz de produzir alterações climáticas mais expressivas. Por outro lado, os resultados indicam que, mesmo alterações pouco intensivas no meio, ocasionam aumento da temperatura. Outro fator que pode ter contribuído para o resultado foram os locais de medições climáticas, em geral junto a pátios de residências, sem a influência direta do calor antropogênico causado pelo fluxo de veículos, por exemplo. Conforme estudo de Rovani et al. (2014), ilhas de calor de forte magnitude foram registradas em alguns pontos do bairro Camobi, com seus centros localizados principalmente nas áreas mais urbanizadas, impermeabilizadas e naquelas de intenso tráfego de veículos.

Spirn (1995) argumenta que a ilha de calor pode ter um efeito benéfico ou prejudicial sobre a conservação de energia. O fenômeno pode reduzir o consumo de energia para aquecimento no inverno, mas, por outro lado, nos climas com verões quentes, significa aumento das despesas com climatização de edificações e maior desconforto térmico.

A intervenção em climas compostos, portanto, é um ponto a ser equacionado porque podem apresentar requisitos contraditórios frente às diferentes estações do ano (DUARTE, 2000). Para climas como o de Santa Maria, formado por mais de uma estação termicamente estressante, a construção de diretrizes de projeto urbano apropriada para as duas situações climáticas deve passar pelo equilíbrio na proporção e arranjo espacial entre elementos naturais e construídos.

A necessidade de buscar diretrizes quantitativas para determinação de percentuais recomendáveis para área edificada e para a cobertura vegetal é consenso entre os pesquisadores (ROMERO, 2011).

Em regiões climáticas que sofrem os rigores das temperaturas de verão e de inverno, as árvores caducifólias são as melhores, porque fornecem sombra na estação quente e permitem a passagem do sol de inverno até o solo (HOUGH, 2004). O sombreamento nos dias de verão reduz o estresse térmico de espaços públicos e impede o aquecimento dos elementos construídos pela radiação solar. Esse fato minimiza a formação de ilhas de calor. Nos dias de inverno, com a copa desfolhada, as árvores permitem a insolação dos espaços urbanos, reduzindo o estresse térmico pelo frio e favorecendo o aquecimento passivo das edificações. As árvores de folhagem perene também favorecem a formação de microclimas mais amenos no verão e, no inverno, podem funcionar como barreiras contra ventos frios.

Quanto às estratégias bioclimáticas, tendo em vista a adequação ambiental e redução de custos energéticos para climatização dos ambientes internos das edificações, deve-se lembrar que o verão de Santa Maria é bastante quente, e, nessa estação, a arborização auxilia na amenização do calor. Porém, o inverno é frio e úmido. Portanto, o excessivo sombreamento em edificações durante essa estação, causado por grandes grupamentos arbóreos ou por edificações muito altas, pode ocasionar desconforto higrotérmico, dispêndio energético para climatização, entre outros problemas.

De acordo com Durante e Nogueira (2013, p. 1982), os benefícios da vegetação se aplicam a qualquer tipo de clima e edifício, desde que adequadamente posicionada e especificada, proporcionando benefícios à qualidade de vida de qualquer população.

5.3.1.2 Condições térmicas das amostras nos períodos de verão e inverno

Buscando sintetizar as condições térmicas de cada ponto nas situações de verão e inverno e verificando se, dentro do total de pontos investigados, os padrões de variabilidade térmica mais frios e mais aquecidos se repetiram nos mesmos locais e nas duas estações climáticas, foram elaborados gráficos (Figura 43) com as médias noturnas de temperatura entre os pontos, visualizadas em ordem crescente de temperatura, para cada dia analisado.

Através da figura 43, verifica-se que, tanto no verão quanto no inverno, o ponto 01 (UFSM-INMET) foi sempre o mais frio porque, apesar de receber insolação direta durante o período diurno, apresenta grande área de revestimento vegetal e poucos elementos construídos que possam acumular calor ou servir como barreiras à ventilação, favorecendo os fluxos de ar e a perda de calor para a atmosfera no período noturno.

No verão, em geral, as temperaturas mais baixas foram registradas nos pontos 01 (UFSM-INMET), 09 (Cruz e Souza) e 04 (Santa Lúcia). Ocorrendo também nos pontos 05 (Alto da Colina) e 08 (Arco UFSSM). As temperaturas mais altas desse período foram registradas principalmente nos pontos 06 (Supermercado), 07 (Centro Comercial) e 03 (Fernando Ferrari).

No inverno, em geral, as temperaturas mais baixas foram registradas nos pontos 01 (UFSM-INMET), 04 (Santa Lúcia) e 02 (Montebello). As temperaturas mais altas deste período foram registradas principalmente nos pontos 06 (Supermercado), 03 (Fernando Ferrari) e 08 (Arco UFSM).

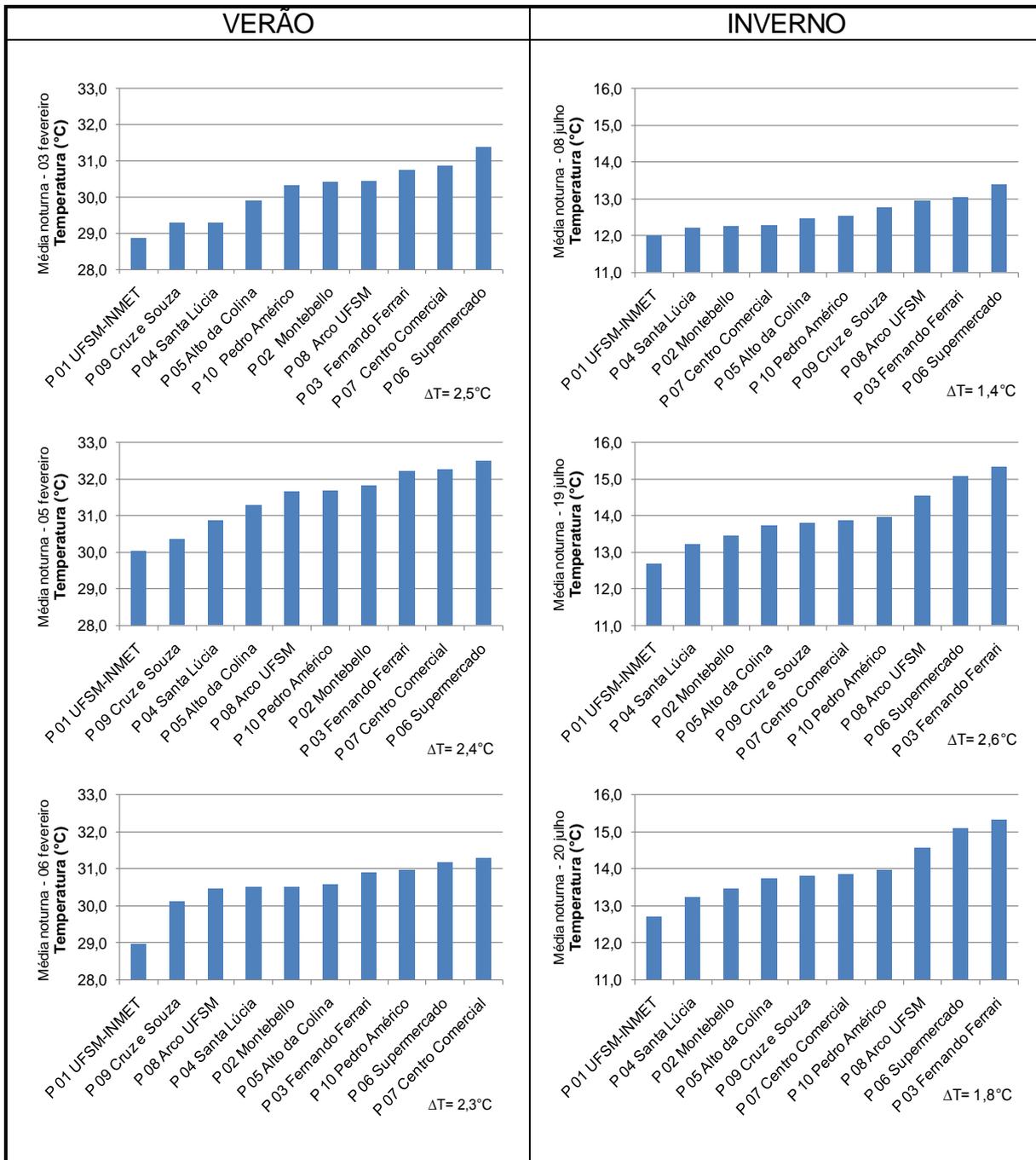


Figura 43 – Média noturna de temperatura entre os pontos, visualizada em ordem crescente, para os dias 03, 05 e 06 de fevereiro de 2014, período de verão; e 08, 19 e 20 de julho, período de inverno.

Considerando as diferenças frente às situações de inverno e verão, alguns pontos apresentaram desempenhos distintos. O ponto 02 (Montebello), por exemplo, apresentou temperaturas mais altas no verão em comparação com os demais pontos. Porém, no inverno, foi um dos pontos mais frios. O ponto 07 (Centro Comercial) configurou-se como um dos espaços mais aquecidos nas noites de verão, comparado aos outros pontos dentro do tecido urbano, porém, no inverno, não apresentou as temperaturas mais elevadas entre as amostras estudadas. Esses pontos com baixa cobertura vegetal apresentaram condições microclimáticas pouco eficientes no verão e no inverno.

Por outro lado, locais mais arborizados, como os pontos 08 (Arco UFSM) e o ponto 09 (Cruz e Souza), apresentaram temperaturas mais baixas no verão e menos baixas no inverno, comparados aos outros pontos dentro do tecido urbano. Esses resultados corroboram com a teoria sobre o papel da vegetação arbórea como um atenuador de temperaturas extremas, importante para o clima em questão.

5.3.2 Análise estatística

Para a análise de correlação entre as variáveis físico-urbanísticas e as variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa do ar) foram efetuados testes de correlação e regressão linear simples, utilizando-se os dados climáticos noturnos das medições.

A equação para regressão linear simples é:

$$Y = a + b X \quad (2)$$

Sendo,

Y= Variável dependente (Temperatura ou Umidade Relativa)

X= Variável independente ou explicativa (X1: Densidade construída; X2: Árvore; X3: Revestimento vegetal; X4: Pavimento; X5: Solo exposto/brita; X6: Água).

a= Coeficiente linear (intercepto)

b= Coeficiente angular

Nas regressões lineares, foram efetuados testes com todos os pontos amostrais (10), para cada combinação de variável dependente (temperatura e umidade), em cada estação (inverno e verão), em cada dia e horário noturno. Portanto, para cada variável independente (por exemplo, densidade construída) resultaram 72 equações (2 variáveis dependentes \times 2 estações \times 3 dias \times 6 horários). Posteriormente, para análise da correlação e regressão linear com vegetação arbórea, os pontos 01 (UFSM-INMET) e 02 (Montebello) foram excluídos dos testes.

Os resultados encontrados nos testes estatísticos obtidos com os dados da pesquisa, considerando os 10 pontos amostrais com raio de 150 metros, estão expostos nas tabelas 3, 4, 5 e 6. Os resultados encontrados nos testes estatísticos para a variável árvore, considerando 8 pontos amostrais (sem os pontos UFSM-INMET e Montebello), com raio de 150 metros, estão expostos nas tabelas 7 e 8.

Através dos resultados significativos encontrados, pode-se dizer, de maneira geral, que:

- no verão, quanto maior o escore de X1 (densidade construída, em %), maior a temperatura e menor a umidade;
- no inverno e no verão, quanto maior o escore de X3 (revestimento vegetal, em %), menor a temperatura e maior a umidade;
- no inverno e no verão, quanto maior o escore de X4 (pavimento, em %), maior a temperatura e menor a umidade;
- no verão, quanto maior o escore de X2 (árvore, em %), menor a temperatura e maior a umidade (Tabelas 7 e 8), e
- no inverno e no verão, as variáveis “Solo exposto/brita” (X5) e “Água” (X6) não apresentaram associação linear com a temperatura e a umidade.

A baixa porcentagem de área ocupada por esses elementos nas amostras estudadas, principalmente a água (de 0% a 2,19%, no máximo), talvez não tenha sido capaz de exercer influência significativa sobre a temperatura e umidade relativa do ar no horário analisado.

Como a umidade relativa (UR) é dependente da temperatura do ar e a curva diária de UR tem variação inversa à da temperatura (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009), as correlações entre as variáveis urbanas e a UR apresentaram, em geral, comportamento inverso às correlações entre as variáveis urbanas e a temperatura do ar, como já era esperado.

Tabela 3 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre variáveis físico-urbanísticas e temperatura do ar em dias e horários da estação de verão nas 10 amostras.

		Densidade construída				Árvore				Revestimento vegetal			
Data	Hora	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²
		Y = f(X1)				Y = f(X2)				Y = f(X3)			
03/02/14	19:00	35,12	-0,0089	-0,14ns	0,02	35,38	-0,0384	-0,40ns	0,16	34,64	0,0071	0,11ns	0,01
03/02/14	20:00	31,47	0,0263	0,39ns	0,15	32,91	-0,0417	-0,40ns	0,16	33,21	-0,0324	-0,48ns	0,23
03/02/14	21:00	29,14	0,0337	0,52ns	0,27	30,76	-0,0373	-0,37ns	0,14	31,32	-0,0397	-0,61ns	0,38
03/02/14	22:00	27,58	0,0358	0,69*	0,48	28,99	-0,0175	-0,22ns	0,05	29,85	-0,0404	-0,79*	0,62
03/02/14	23:00	26,94	0,0272	0,68*	0,46	28,05	-0,0165	-0,27ns	0,07	28,56	-0,0273	-0,68*	0,47
03/02/14	24:00	25,75	0,0378	0,73*	0,53	27,16	-0,0131	-0,16ns	0,03	28,08	-0,0403	-0,78*	0,61
05/02/14	19:00	35,43	0,0044	0,08ns	0,01	36,26	-0,0481	-0,56ns	0,31	35,55	0,0008	0,01ns	0,00
05/02/14	20:00	32,45	0,0306	0,51ns	0,26	33,93	-0,0347	-0,38ns	0,14	34,35	-0,0332	-0,56ns	0,31
05/02/14	21:00	30,49	0,0391	0,61ns	0,38	32,21	-0,0321	-0,33ns	0,11	32,96	-0,0439	-0,69*	0,48
05/02/14	22:00	28,94	0,0413	0,70*	0,49	30,63	-0,0251	-0,28ns	0,08	31,48	-0,0439	-0,75*	0,56
05/02/14	23:00	27,97	0,0373	0,76*	0,58	29,41	-0,0165	-0,22ns	0,05	30,22	-0,0381	-0,78*	0,61
05/02/14	24:00	27,31	0,0394	0,76*	0,57	28,89	-0,0217	-0,27ns	0,07	29,65	-0,0390	-0,75*	0,57
06/02/14	19:00	34,26	0,0252	0,69*	0,48	35,35	-0,0195	-0,35ns	0,12	35,60	-0,0191	-0,53ns	0,28
06/02/14	20:00	32,19	0,0307	0,73*	0,54	33,33	-0,0111	-0,17ns	0,03	33,96	-0,0285	-0,68*	0,47
06/02/14	21:00	30,21	0,0404	0,74*	0,55	31,38	0,0095	0,11ns	0,01	32,79	-0,0467	-0,87*	0,75
06/02/14	22:00	27,55	0,0395	0,80*	0,64	28,77	0,0043	0,06ns	0,00	30,04	-0,0443	-0,90*	0,82
06/02/14	23:00	26,44	0,0355	0,84*	0,70	27,56	0,0023	0,04ns	0,00	28,48	-0,0325	-0,77*	0,59
06/02/14	24:00	26,03	0,0331	0,82*	0,68	27,06	0,0032	0,05ns	0,00	27,84	-0,0269	-0,67*	0,46
		Pavimento				Solo exposto / brita				Água			
Data	Hora	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²
		Y = f(X4)				Y = f(X5)				Y = f(X6)			
03/02/14	19:00	33,95	0,0382	0,41ns	0,17	34,74	0,0079	0,09ns	0,01	35,11	-0,5750	-0,40ns	0,16
03/02/14	20:00	30,68	0,0710	0,71*	0,50	32,27	0,0043	0,04ns	0,00	32,70	-0,7849	-0,50ns	0,25
03/02/14	21:00	28,67	0,0675	0,70*	0,49	30,13	0,0088	0,09ns	0,01	30,58	-0,7338	-0,49ns	0,24
03/02/14	22:00	27,42	0,0570	0,75*	0,56	28,80	-0,0048	-0,06ns	0,00	28,96	-0,4590	-0,39ns	0,15
03/02/14	23:00	26,77	0,0452	0,76*	0,58	27,89	-0,0066	-0,11ns	0,01	28,03	-0,4403	-0,48ns	0,23
03/02/14	24:00	25,54	0,0621	0,81*	0,65	27,10	-0,0111	-0,14ns	0,02	27,17	-0,4136	-0,34ns	0,12
05/02/14	19:00	34,73	0,0364	0,44ns	0,19	35,51	0,0058	0,07ns	0,00	36,00	-0,8940	-0,69*	0,47
05/02/14	20:00	32,03	0,0607	0,69*	0,47	33,44	-0,0004	0,00ns	0,00	33,81	-0,7736	-0,56ns	0,32
05/02/14	21:00	30,19	0,0679	0,72*	0,52	31,72	0,0028	0,03ns	0,00	32,10	-0,7104	-0,48ns	0,23
05/02/14	22:00	28,70	0,0679	0,78*	0,61	30,32	-0,0044	-0,05ns	0,00	30,55	-0,5740	-0,42ns	0,18
05/02/14	23:00	27,83	0,0581	0,80*	0,64	29,30	-0,0107	-0,15ns	0,02	29,39	-0,4510	-0,40ns	0,16
05/02/14	24:00	27,27	0,0569	0,74*	0,55	28,65	-0,0057	-0,07ns	0,01	28,84	-0,5381	-0,45ns	0,20
06/02/14	19:00	34,20	0,0377	0,70*	0,49	35,20	-0,0111	-0,21ns	0,04	35,28	-0,4372	-0,52ns	0,27
06/02/14	20:00	32,01	0,0506	0,82*	0,67	33,37	-0,0170	-0,27ns	0,08	33,35	-0,3708	-0,38ns	0,15
06/02/14	21:00	29,90	0,0696	0,87*	0,75	31,81	-0,0256	-0,32ns	0,10	31,51	-0,0008	0,00ns	0,00
06/02/14	22:00	27,37	0,0631	0,86*	0,75	29,09	-0,0232	-0,32ns	0,10	28,87	-0,0859	-0,08ns	0,01
06/02/14	23:00	26,31	0,0554	0,88*	0,78	27,91	-0,0274	-0,44ns	0,19	27,66	-0,1337	-0,14ns	0,02
06/02/14	24:00	25,87	0,0535	0,90*	0,81	27,46	-0,0313	-0,53ns	0,28	27,16	-0,1175	-0,13ns	0,02

Coeficiente de correlação linear de Pearson (r).

* Coeficiente de correlação difere de zero, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade, com 8 graus de liberdade. ^{ns} Não-significativo.

Coeficientes linear (a), angular (b), de correlação linear de Pearson (r) e de determinação (r²), da regressão linear simples entre a variável dependente (Y: **temperatura do ar, em °C**) e as independentes (X1: Densidade construída, em %, X2: Árvore, em %, X3: Revestimento vegetal, em %, X4: Pavimento, em %, X5: Solo exposto/brita, em %, X6: Água, em %), em dias e horários da estação de **verão**.

Tabela 4 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre variáveis físico-urbanísticas e temperatura do ar em dias e horários da estação de inverno nas 10 amostras.

		Densidade construída				Árvore				Revestimento vegetal			
Data	Hora	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²
		Y = f(X1)				Y = f(X2)				Y = f(X3)			
08/07/14	17:00	15,86	-0,0090	-0,23ns	0,05	15,45	0,0083	0,14ns	0,02	15,58	-0,0004	-0,01ns	0,00
08/07/14	18:00	14,02	-0,0002	-0,01ns	0,00	13,94	0,0049	0,10ns	0,01	14,31	-0,0109	-0,34ns	0,12
08/07/14	19:00	12,47	0,0053	0,16ns	0,03	12,40	0,0169	0,34ns	0,11	13,06	-0,0153	-0,47ns	0,22
08/07/14	20:00	11,66	0,0017	0,06ns	0,00	11,54	0,0119	0,26ns	0,07	12,17	-0,0167	-0,58ns	0,33
08/07/14	21:00	11,00	0,0023	0,07ns	0,01	10,94	0,0094	0,20ns	0,04	11,53	-0,0168	-0,54ns	0,30
08/07/14	22:00	10,59	-0,0019	-0,07ns	0,01	10,39	0,0098	0,24ns	0,06	10,78	-0,0090	-0,35ns	0,12
19/07/14	17:00	18,97	-0,0224	-0,30ns	0,09	17,93	0,0222	0,19ns	0,04	18,12	0,0048	0,06ns	0,00
19/07/14	18:00	16,33	0,0030	0,05ns	0,00	16,47	-0,0031	-0,03ns	0,00	16,84	-0,0151	-0,25ns	0,06
19/07/14	19:00	13,64	0,0172	0,33ns	0,11	14,17	0,0021	0,03ns	0,00	15,02	-0,0300	-0,59ns	0,34
19/07/14	20:00	11,78	0,0270	0,44ns	0,19	12,57	0,0057	0,06ns	0,00	13,85	-0,0437	-0,72*	0,51
19/07/14	21:00	10,76	0,0254	0,47ns	0,22	11,56	0,0019	0,02ns	0,00	12,68	-0,0398	-0,74*	0,55
19/07/14	22:00	9,82	0,0281	0,51ns	0,26	10,61	0,0084	0,10ns	0,01	11,92	-0,0435	-0,80*	0,64
20/07/14	17:00	19,03	-0,0035	-0,08ns	0,01	18,66	0,0182	0,29ns	0,08	19,12	-0,0074	-0,18ns	0,03
20/07/14	18:00	17,16	0,0017	0,04ns	0,00	17,06	0,0106	0,17ns	0,03	17,67	-0,0167	-0,42ns	0,18
20/07/14	19:00	14,74	0,0106	0,26ns	0,07	15,03	0,0039	0,06ns	0,00	15,77	-0,0252	-0,62ns	0,38
20/07/14	20:00	13,06	0,0156	0,35ns	0,12	13,54	0,0017	0,02ns	0,00	14,42	-0,0311	-0,70*	0,49
20/07/14	21:00	11,69	0,0237	0,50ns	0,25	12,37	0,0059	0,08ns	0,01	13,47	-0,0370	-0,78*	0,61
20/07/14	22:00	11,09	0,0171	0,44ns	0,20	11,56	0,0061	0,10ns	0,01	12,41	-0,0280	-0,73*	0,53
		Pavimento				Solo exposto / brita				Água			
Data	Hora	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²
		Y = f(X4)				Y = f(X5)				Y = f(X6)			
08/07/14	17:00	15,41	0,0070	0,12ns	0,01	15,75	-0,0158	-0,27ns	0,08	15,63	-0,1093	-0,12ns	0,01
08/07/14	18:00	13,41	0,0260	0,55ns	0,30	14,15	-0,0124	-0,26ns	0,07	14,02	-0,0305	-0,04ns	0,00
08/07/14	19:00	11,84	0,0348	0,72*	0,52	12,93	-0,0250	-0,52ns	0,27	12,57	0,1509	0,20ns	0,04
08/07/14	20:00	11,08	0,0271	0,63ns	0,39	11,79	-0,0066	-0,15ns	0,02	11,64	0,1434	0,21ns	0,05
08/07/14	21:00	10,42	0,0282	0,61ns	0,38	11,11	-0,0034	-0,08ns	0,01	11,01	0,1446	0,20ns	0,04
08/07/14	22:00	10,00	0,0228	0,59ns	0,34	10,64	-0,0093	-0,24ns	0,06	10,46	0,1475	0,24ns	0,06
19/07/14	17:00	17,97	0,0120	0,11ns	0,01	18,64	-0,0345	-0,31ns	0,10	18,25	-0,0110	-0,01ns	0,00
19/07/14	18:00	15,39	0,0444	0,49ns	0,24	16,70	-0,0244	-0,27ns	0,07	16,57	-0,3107	-0,22ns	0,05
19/07/14	19:00	12,92	0,0555	0,73*	0,53	14,42	-0,0189	-0,25ns	0,06	14,27	-0,1469	-0,12ns	0,02
19/07/14	20:00	10,98	0,0721	0,79*	0,63	12,90	-0,0213	-0,23ns	0,05	12,72	-0,1399	-0,10ns	0,01
19/07/14	21:00	10,10	0,0644	0,80*	0,64	11,79	-0,0173	-0,22ns	0,05	11,66	-0,1586	-0,13ns	0,02
19/07/14	22:00	9,21	0,0657	0,81*	0,66	10,95	-0,0187	-0,23ns	0,05	10,75	-0,0484	-0,04ns	0,00
20/07/14	17:00	18,55	0,0159	0,26ns	0,07	19,21	-0,0256	-0,42ns	0,17	18,88	0,0802	0,08ns	0,01
20/07/14	18:00	16,48	0,0317	0,54ns	0,29	17,40	-0,0161	-0,27ns	0,08	17,22	-0,0015	0,00ns	0,00
20/07/14	19:00	14,13	0,0410	0,67*	0,45	15,18	-0,0087	-0,14ns	0,02	15,13	-0,1035	-0,11ns	0,01
20/07/14	20:00	12,49	0,0466	0,70*	0,50	13,59	-0,0022	-0,03ns	0,00	13,61	-0,0979	-0,10ns	0,01
20/07/14	21:00	11,15	0,0566	0,80*	0,65	12,59	-0,0116	-0,16ns	0,03	12,48	-0,0404	-0,04ns	0,00
20/07/14	22:00	10,63	0,0438	0,77*	0,59	11,72	-0,0065	-0,11ns	0,01	11,62	0,0442	0,05ns	0,00

Coeficiente de correlação linear de Pearson (r).

* Coeficiente de correlação difere de zero, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade, com 8 graus de liberdade. ^{ns} Não-significativo.

Coeficientes linear (a), angular (b), de correlação linear de Pearson (r) e de determinação (r²), da regressão linear simples entre a variável dependente (Y: **temperatura do ar, em °C**) e as independentes (X1: Densidade construída, em %, X2: Árvore, em %, X3: Revestimento vegetal, em %, X4: Pavimento, em %, X5: Solo exposto/brita, em %, X6: Água, em %), em dias e horários da estação de **inverno**.

Tabela 5 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre variáveis físico-urbanísticas e umidade relativa do ar em dias e horários da estação de verão nas 10 amostras.

Data	Hora	Densidade construída				Árvore				Revestimento vegetal			
		a	b	r	r ²	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²
		Y = f(X1)				Y = f(X2)				Y = f(X3)			
03/02/14	19:00	40,79	-0,0254	-0,14ns	0,02	38,26	0,1203	0,44ns	0,19	39,56	0,0149	0,08ns	0,01
03/02/14	20:00	52,91	-0,0803	-0,30ns	0,09	46,75	0,2513	0,61ns	0,37	48,13	0,0798	0,30ns	0,09
03/02/14	21:00	64,32	-0,1801	-0,56ns	0,32	56,62	0,1320	0,27ns	0,07	52,91	0,2037	0,64*	0,41
03/02/14	22:00	67,46	-0,1167	-0,59ns	0,34	62,06	0,1143	0,38ns	0,14	60,47	0,1173	0,59ns	0,35
03/02/14	23:00	70,63	-0,0946	-0,52ns	0,27	67,00	0,0401	0,14ns	0,02	65,25	0,0847	0,47ns	0,22
03/02/14	24:00	73,27	-0,1121	-0,57ns	0,32	69,17	0,0334	0,11ns	0,01	66,73	0,1065	0,55ns	0,30
05/02/14	19:00	41,12	-0,0126	-0,06ns	0,00	37,76	0,2079	0,66*	0,43	41,29	-0,0211	-0,10ns	0,01
05/02/14	20:00	53,41	-0,1121	-0,53ns	0,28	48,05	0,1218	0,38ns	0,14	45,99	0,1383	0,66*	0,43
05/02/14	21:00	63,17	-0,2305	-0,59ns	0,35	53,99	0,1213	0,20ns	0,04	49,16	0,2392	0,62ns	0,38
05/02/14	22:00	68,41	-0,1716	-0,67*	0,45	63,16	-0,0210	-0,05ns	0,00	57,93	0,1799	0,71*	0,50
05/02/14	23:00	71,21	-0,1457	-0,58ns	0,34	64,15	0,1657	0,43ns	0,19	61,90	0,1678	0,68*	0,46
05/02/14	24:00	75,80	-0,2285	-0,73*	0,53	67,92	0,0343	0,07ns	0,01	62,58	0,2129	0,68*	0,47
06/02/14	19:00	55,97	-0,0584	-0,50ns	0,25	52,61	0,1036	0,58ns	0,34	53,10	0,0358	0,31ns	0,10
06/02/14	20:00	57,43	-0,1228	-0,73*	0,53	52,93	0,0374	0,14ns	0,02	50,58	0,1051	0,63ns	0,39
06/02/14	21:00	60,28	-0,1479	-0,79*	0,62	55,90	-0,0282	-0,10ns	0,01	50,91	0,1676	0,90*	0,81
06/02/14	22:00	63,65	-0,1517	-0,84*	0,70	58,76	-0,0015	-0,01ns	0,00	54,33	0,1610	0,89*	0,80
06/02/14	23:00	69,15	-0,1484	-0,82*	0,67	65,09	-0,0528	-0,19ns	0,04	60,37	0,1450	0,80*	0,65
06/02/14	24:00	69,64	-0,1139	-0,75*	0,57	66,34	-0,0272	-0,12ns	0,01	63,22	0,0998	0,66*	0,44
		Pavimento				Solo exposto / brita				Água			
Data	Hora	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²
		Y = f(X4)				Y = f(X5)				Y = f(X6)			
03/02/14	19:00	43,41	-0,1489	-0,56ns	0,32	39,94	0,0020	0,01ns	0,00	39,06	1,8946	0,46ns	0,21
03/02/14	20:00	54,66	-0,1876	-0,47ns	0,22	51,23	-0,0798	-0,20ns	0,04	48,33	4,1578	0,67*	0,44
03/02/14	21:00	64,16	-0,2448	-0,52ns	0,27	58,28	0,0188	0,04ns	0,00	56,91	3,3163	0,45ns	0,20
03/02/14	22:00	66,28	-0,1123	-0,38ns	0,15	63,98	-0,0256	-0,09ns	0,01	62,58	2,3164	0,51ns	0,26
03/02/14	23:00	69,81	-0,0968	-0,36ns	0,13	66,92	0,0561	0,21ns	0,04	66,83	1,5498	0,37ns	0,14
03/02/14	24:00	72,14	-0,1078	-0,37ns	0,14	69,16	0,0421	0,14ns	0,02	68,98	1,3905	0,31ns	0,09
05/02/14	19:00	42,06	-0,0582	-0,19ns	0,04	41,19	-0,0418	-0,14ns	0,02	38,77	4,0616	0,85*	0,73
05/02/14	20:00	54,95	-0,2232	-0,71*	0,51	49,93	-0,0132	-0,04ns	0,00	48,66	2,3477	0,48ns	0,23
05/02/14	21:00	63,27	-0,3263	-0,56ns	0,32	54,70	0,0884	0,15ns	0,02	54,07	3,4328	0,38ns	0,15
05/02/14	22:00	67,68	-0,2083	-0,55ns	0,30	61,42	0,1255	0,33ns	0,11	62,61	0,5185	0,09ns	0,01
05/02/14	23:00	69,38	-0,1242	-0,34ns	0,11	67,71	-0,1050	-0,28ns	0,08	65,35	2,4029	0,42ns	0,17
05/02/14	24:00	72,18	-0,1628	-0,35ns	0,12	67,83	0,0506	0,11ns	0,01	67,51	1,8814	0,26ns	0,07
06/02/14	19:00	55,54	-0,0630	-0,37ns	0,13	54,27	-0,0164	-0,10ns	0,01	53,39	1,4525	0,54ns	0,29
06/02/14	20:00	57,86	-0,1901	-0,76*	0,58	52,43	0,0895	0,36ns	0,13	52,76	1,4514	0,37ns	0,14
06/02/14	21:00	61,09	-0,2414	-0,87*	0,75	54,43	0,0930	0,33ns	0,11	55,45	0,1049	0,02ns	0,00
06/02/14	22:00	63,91	-0,2231	-0,83*	0,69	57,82	0,0802	0,30ns	0,09	58,47	0,5654	0,14ns	0,02
06/02/14	23:00	69,55	-0,2250	-0,84*	0,70	62,67	0,1456	0,54ns	0,29	64,46	-0,2402	-0,06ns	0,00
06/02/14	24:00	70,28	-0,1866	-0,83*	0,70	64,50	0,1271	0,57ns	0,32	65,88	0,1583	0,05ns	0,00

Coeficiente de correlação linear de Pearson (r).

* Coeficiente de correlação difere de zero, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade, com 8 graus de liberdade. ^{ns} Não-significativo.

Coeficientes linear (a), angular (b), de correlação linear de Pearson (r) e de determinação (r²), da regressão linear simples entre a variável dependente (Y: **Umidade, relativa do ar em %**) e as independentes (X1: Densidade construída, em %, X2: Árvore, em %, X3: Revestimento vegetal, em %, X4: Pavimento, em %, X5: Solo exposto/brita, em %, X6: Água, em %), em dias e horários da estação de **verão**.

Tabela 6 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre variáveis físico-urbanísticas e umidade relativa do ar em dias e horários da estação de inverno nas 10 amostras.

		Densidade construída				Árvore				Revestimento vegetal			
Data	Hora	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²
		Y = f(X1)				Y = f(X2)				Y = f(X3)			
08/07/14	17:00	64,75	0,0177	0,09ns	0,01	66,43	-0,0782	-0,26ns	0,07	64,69	0,0231	0,12ns	0,01
08/07/14	18:00	72,28	0,0120	0,09ns	0,01	72,29	0,0267	0,13ns	0,02	71,66	0,0368	0,27ns	0,07
08/07/14	19:00	80,75	-0,0596	-0,38ns	0,14	80,08	-0,0885	-0,36ns	0,13	75,95	0,1050	0,67*	0,44
08/07/14	20:00	84,46	-0,0593	-0,50ns	0,25	83,39	-0,0599	-0,33ns	0,11	80,33	0,0806	0,69*	0,48
08/07/14	21:00	86,89	-0,0583	-0,36ns	0,13	86,05	-0,0736	-0,29ns	0,09	82,16	0,1036	0,64*	0,41
08/07/14	22:00	86,91	-0,0281	-0,22ns	0,05	86,82	-0,0576	-0,29ns	0,08	84,51	0,0543	0,42ns	0,18
19/07/14	17:00	52,55	0,1625	0,48ns	0,23	58,33	-0,0374	-0,07ns	0,01	61,06	-0,1190	-0,36ns	0,13
19/07/14	18:00	70,42	-0,0479	-0,18ns	0,03	67,66	0,0857	0,22ns	0,05	66,53	0,0856	0,33ns	0,11
19/07/14	19:00	79,12	-0,1038	-0,39ns	0,15	74,06	0,1200	0,30ns	0,09	73,09	0,0978	0,37ns	0,14
19/07/14	20:00	84,55	-0,1183	-0,50ns	0,25	79,53	0,0844	0,23ns	0,05	77,63	0,1132	0,48ns	0,23
19/07/14	21:00	91,84	-0,2356	-0,84*	0,71	83,92	0,0212	0,05ns	0,00	77,98	0,2277	0,82*	0,67
19/07/14	22:00	92,14	-0,1859	-0,83*	0,69	85,83	0,0209	0,06ns	0,00	81,51	0,1683	0,76*	0,57
20/07/14	17:00	62,38	0,0218	0,13ns	0,02	63,20	-0,0080	-0,03ns	0,00	62,70	0,0139	0,08ns	0,01
20/07/14	18:00	66,46	0,0359	0,23ns	0,05	66,92	0,0489	0,21ns	0,04	67,41	0,0077	0,05ns	0,00
20/07/14	19:00	78,90	-0,0646	-0,41ns	0,17	75,40	0,0992	0,41ns	0,17	75,34	0,0537	0,34ns	0,12
20/07/14	20:00	84,98	-0,0898	-0,54ns	0,29	80,62	0,1027	0,40ns	0,16	80,17	0,0695	0,42ns	0,18
20/07/14	21:00	91,58	-0,1639	-0,81*	0,66	86,17	0,0078	0,03ns	0,00	82,26	0,1466	0,73*	0,54
20/07/14	22:00	94,42	-0,1866	-0,85*	0,72	89,35	-0,0681	-0,20ns	0,04	83,65	0,1727	0,79*	0,62
		Pavimento				Solo exposto / brita				Água			
Data	Hora	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²	a	b	r	r ²
		Y = f(X4)				Y = f(X5)				Y = f(X6)			
08/07/14	17:00	67,57	-0,0971	-0,33ns	0,11	63,58	0,1512	0,51ns	0,26	65,36	-0,0777	-0,02ns	0,00
08/07/14	18:00	74,65	-0,0853	-0,42ns	0,18	72,55	0,0107	0,05ns	0,00	72,29	0,7941	0,25ns	0,06
08/07/14	19:00	83,31	-0,1938	-0,83*	0,68	77,38	0,1253	0,53ns	0,29	79,26	-0,9192	-0,25ns	0,06
08/07/14	20:00	85,78	-0,1398	-0,81*	0,65	81,61	0,0814	0,47ns	0,22	82,85	-0,6448	-0,24ns	0,06
08/07/14	21:00	89,73	-0,2043	-0,84*	0,71	83,95	0,0915	0,38ns	0,14	85,52	-1,0720	-0,28ns	0,08
08/07/14	22:00	89,28	-0,1417	-0,74*	0,55	85,07	0,0808	0,42ns	0,18	86,47	-0,9804	-0,33ns	0,11
19/07/14	17:00	56,34	0,0629	0,13ns	0,02	56,77	0,0893	0,18ns	0,03	57,35	0,9425	0,12ns	0,01
19/07/14	18:00	73,46	-0,1980	-0,52ns	0,27	68,30	0,0496	0,13ns	0,02	67,65	2,5447	0,43ns	0,18
19/07/14	19:00	82,17	-0,2765	-0,71*	0,50	74,89	0,0758	0,19ns	0,04	74,33	3,0107	0,49ns	0,24
19/07/14	20:00	87,38	-0,2876	-0,82*	0,67	79,57	0,1011	0,29ns	0,08	79,69	2,1651	0,40ns	0,16
19/07/14	21:00	92,46	-0,3562	-0,86*	0,74	82,52	0,1478	0,36ns	0,13	83,63	1,2396	0,19ns	0,04
19/07/14	22:00	92,38	-0,2705	-0,82*	0,67	84,84	0,1118	0,34ns	0,11	85,47	1,3706	0,27ns	0,07
20/07/14	17:00	64,00	-0,0398	-0,16ns	0,03	62,48	0,0527	0,22ns	0,05	62,73	0,7318	0,19ns	0,04
20/07/14	18:00	68,03	-0,0177	-0,08ns	0,01	67,95	-0,0290	-0,13ns	0,02	67,02	1,2572	0,35ns	0,12
20/07/14	19:00	78,70	-0,0816	-0,35ns	0,12	77,11	-0,0267	-0,12ns	0,01	75,88	1,9459	0,54ns	0,29
20/07/14	20:00	84,19	-0,0914	-0,37ns	0,14	82,50	-0,0368	-0,15ns	0,02	81,11	2,0183	0,53ns	0,28
20/07/14	21:00	91,00	-0,2038	-0,68*	0,47	85,29	0,0866	0,29ns	0,08	85,74	1,1244	0,24ns	0,06
20/07/14	22:00	94,15	-0,2494	-0,77*	0,59	86,53	0,1613	0,50ns	0,25	88,39	-0,0202	0,00ns	0,00

Coeficiente de correlação linear de Pearson (r).

* Coeficiente de correlação difere de zero, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade, com 8 graus de liberdade. ^{ns} Não-significativo.

Coeficientes linear (a), angular (b), de correlação linear de Pearson (r) e de determinação (r²), da regressão linear simples entre a variável dependente (Y: **Umidade relativa do ar, em %**) e as independentes (X1: Densidade construída, em %, X2: Árvore, em %, X3: Revestimento vegetal, em %, X4: Pavimento, em %, X5: Solo exposto/brita, em %, X6: Água, em %), em dias e horários da estação de **inverno**.

Para melhor visualização dos resultados, seguem gráficos de dispersão que demonstram alguns dos resultados significativos encontrados.

5.3.2.1 Densidade construída

No verão, observou-se correlação positiva entre densidade construída e temperatura do ar, indicando uma tendência de acréscimo de temperatura conforme se aumenta a densidade construída (Tabela 3; Figuras 44 e 45). Em alguns horários, observou-se também a correlação negativa entre densidade construída e umidade relativa, indicando uma tendência de decréscimo de umidade relativa conforme se aumenta a densidade construída (Tabela 5; Figuras 46 e 47).

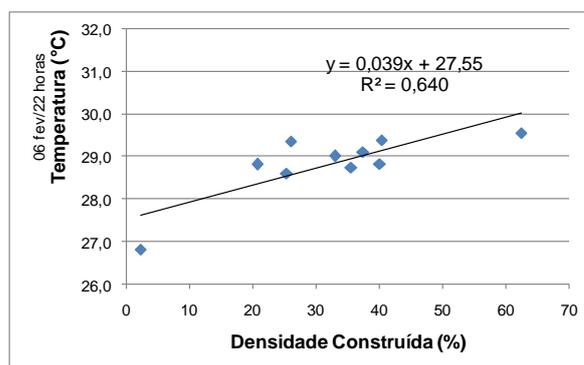
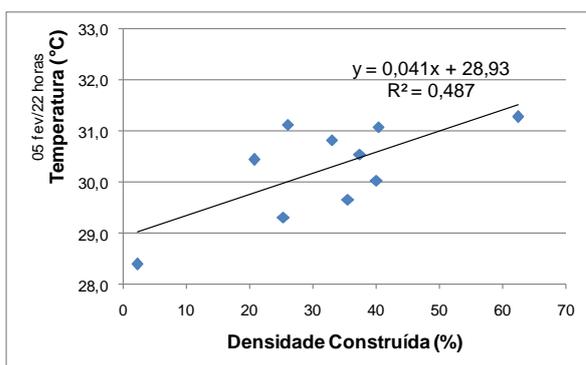


Figura 44 – (esquerda) e 45 (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e temperatura (22 horas) para os dias 05 e 06 de fevereiro de 2014, respectivamente.

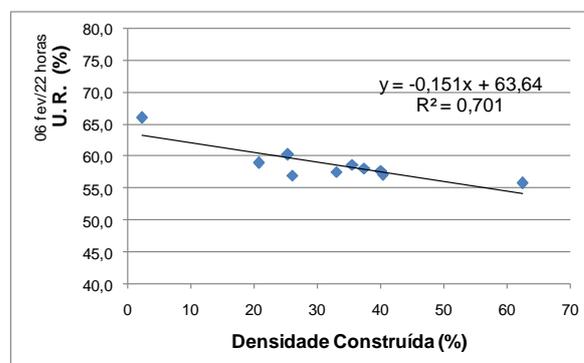
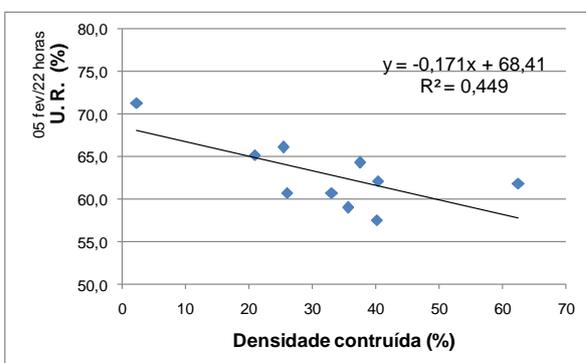


Figura 46 – (esquerda) e 47 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre densidade construída e umidade relativa (22 horas) para os dias 05 e 06 de fevereiro de 2014, respectivamente.

Pelas medições de inverno não foi possível observar correlação significativa entre densidade construída e temperatura. A correlação negativa entre densidade construída e umidade relativa foi observada em alguns horários dos dias 19 e 20 de julho. No dia 8 de julho, não houve correlação significativa entre as variáveis climáticas e densidade construída.

5.3.2.2 Pavimento

Tanto no verão quanto no inverno, observou-se correlação positiva entre a variável pavimento e a temperatura do ar, indicando uma tendência de acréscimo de temperatura de acordo com o aumento de revestimentos pavimentados (Tabelas 3 e 4; Figuras 48, 49, 50 e 51).

Os resultados entre a variável pavimento e umidade relativa, indicaram correlação negativa, ou seja, decréscimo de umidade relativa conforme o aumento das superfícies pavimentadas (Tabelas 5 e 6; Figuras 52 e 53).

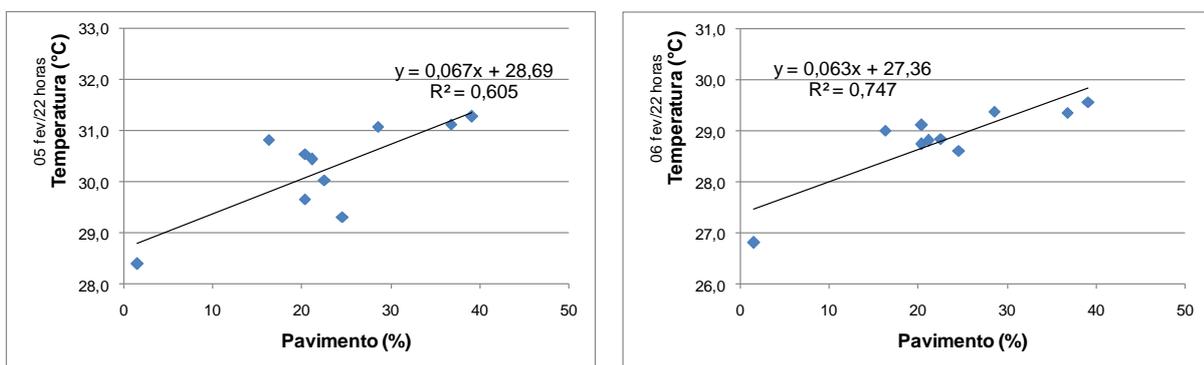


Figura 48 – (esquerda) e 49 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre pavimento e temperatura (22 horas) para os dias 05 e 06 de fevereiro de 2014, respectivamente.

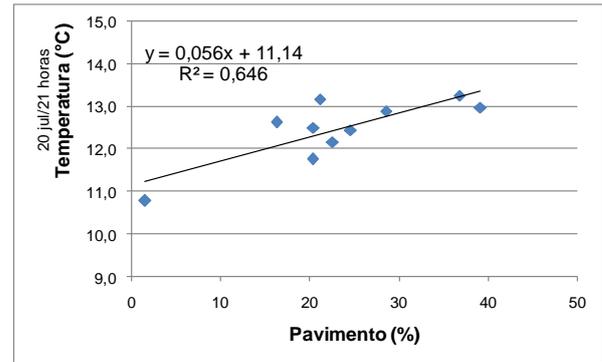
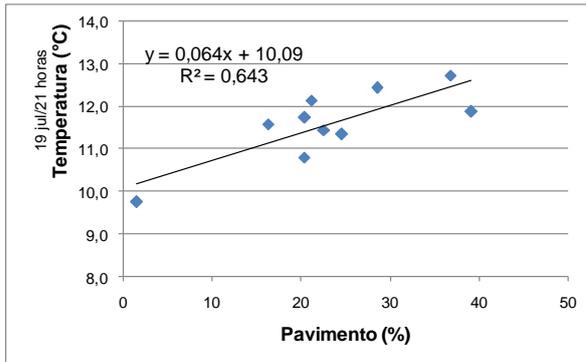


Figura 50 – (esquerda) e 51 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre pavimento e temperatura (21 horas) para os dias 19 e 20 de julho de 2014, respectivamente.

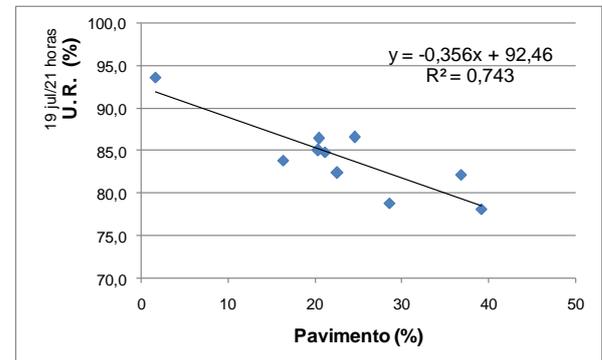
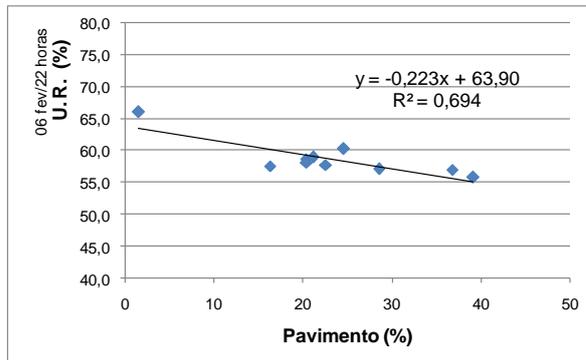


Figura 52 – (esquerda) e 53 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre pavimento e umidade relativa para os dias 06 de fevereiro (22 horas) e 19 de julho (21 horas) de 2014, respectivamente.

As correlações encontradas entre as variáveis climáticas e aquelas referentes às áreas construídas, representadas neste estudo como densidade construída e pavimento, refletem a maior influência do espaço construído durante o período noturno na formação de ilhas de calor urbano. Duarte (2000) e Gomes (2008) avaliaram a correlação entre os espaços construídos e a temperatura do ar em diferentes horários do dia, encontrando correlações significativas ou mais fortes no período noturno. Essa influência deve-se à inércia térmica dos materiais que constituem a massa edificada, ou seja, o calor armazenado durante o dia pelas construções é dissipado no período noturno, elevando as temperaturas especialmente nos locais de maior adensamento e pavimentação urbana (GOMES, 2008).

A falta de correlação significativa entre temperatura e densidade construída no inverno pode estar ligada à menor inclinação dos raios solares, na latitude média, em relação à superfície terrestre durante essa estação climática. O fenômeno foi descrito por Borges (2009) que, analisando o período diurno de inverno, verificou que o aumento da área construída representa aumento na temperatura. Porém, com o aumento da densidade construída, a partir da elevação do gabarito das edificações, tem-se um aumento do sombreamento da área entre as edificações, por conseguinte, redução da temperatura do ar.

5.3.2.3 Revestimento vegetal

Como já era esperado, nas duas estações, observou-se correlação negativa entre revestimento vegetal e a temperatura do ar, indicando uma tendência de decréscimo de temperatura de acordo com o aumento de revestimentos vegetados (Tabelas 3 e 4; Figuras 54 e 55).

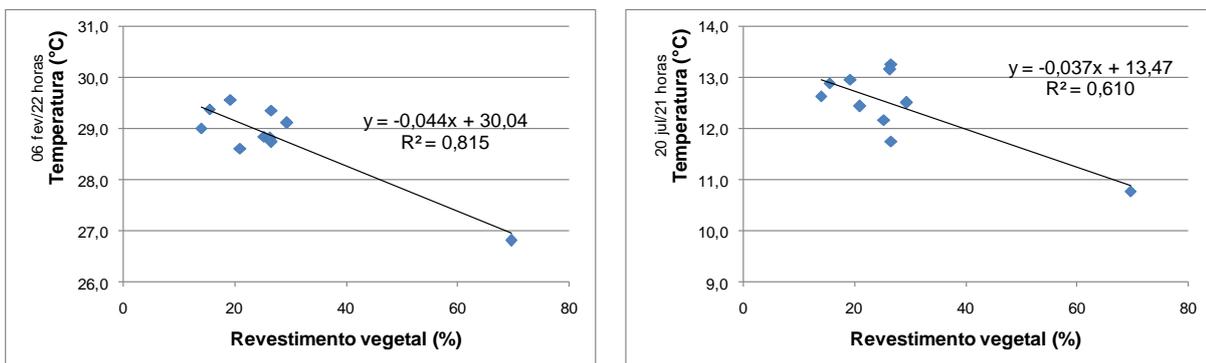


Figura 54 – (esquerda) e 55 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre revestimento vegetal e temperatura para os dias 06 de fevereiro (22 horas) e 20 de julho (21 horas) de 2014, respectivamente.

Os gráficos de dispersão entre revestimento vegetal e temperatura e umidade relativa apresentaram uma concentração de pontos em determinada área porque 9 dos 10 pontos amostrais possuem quantidade de revestimento vegetal entre 14,03%

e 29,45% e apenas o ponto 01 (UFSM-INMET) tem 69,71% de sua superfície com revestimento vegetal. Isto significa que nas amostras pesquisadas não existem valores com revestimento vegetal entre 30 e 70% aproximadamente, resultando em um intervalo sem pontos nos gráficos.

Corroborando com os resultados de outras pesquisas, os testes entre revestimento vegetal e umidade relativa revelaram correlação positiva entre as variáveis, sendo as correlações mais fortes no verão. Isso reflete um acréscimo de umidade relativa conforme se aumentam as superfícies revestidas com gramado ou outras espécies vegetais (Tabelas 5 e 6; Figuras 56 e 57).

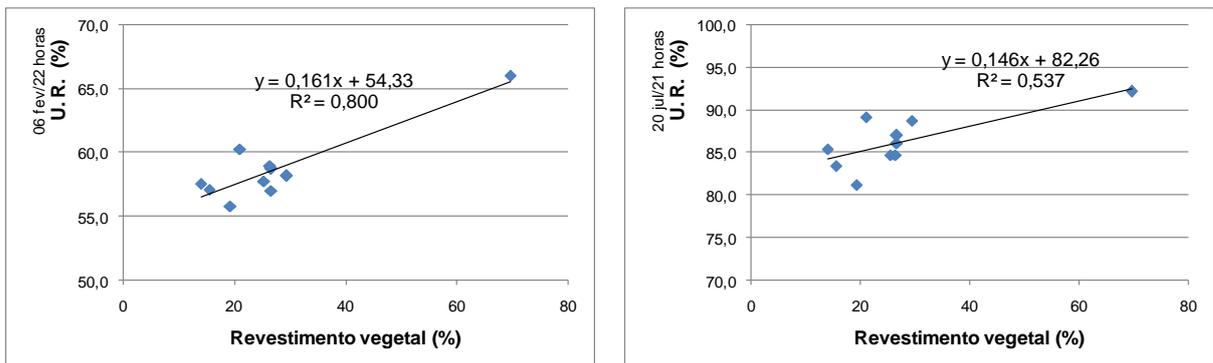


Figura 56 – (esquerda) e 57 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre revestimento vegetal e umidade relativa para os dias 06 de fevereiro (22 horas) e 20 de julho (21 horas) de 2014, respectivamente.

5.3.2.4 Vegetação arbórea

A análise estatística com todos os pontos amostrais da pesquisa não revelou correlação significativa entre a variável **árvore** e as variáveis temperatura e umidade relativa do ar. Porém, a literatura sobre clima urbano e a análise qualitativa realizada anteriormente (item 5.3.1) indicam que a vegetação arbórea exerce influência sobre as variáveis climáticas no meio urbano. Por isso, foram realizados novos testes com a variável **árvore**, retirando os pontos 01 (UFSM-INMET) e 02 (Montebello), já que esses apresentam quantidade escassa de vegetação arbórea nas amostras, de 3,32% e 0,69%, respectivamente.

A partir desses testes foi possível verificar a correlação entre as variáveis climáticas e a quantidade de vegetação arbórea (Tabelas 7 e 8).

Os gráficos de dispersão, apresentados posteriormente, demonstram alguns dos resultados significativos encontrados, considerando 8 pontos amostrais da pesquisa (Fernando Ferrari, Santa Lúcia, Alto da Colina, Supermercado, Centro Comercial, Arco UFSM, Cruz e Souza e Pedro Américo).

No verão, observou-se correlação negativa entre vegetação arbórea e a temperatura do ar, indicando uma tendência de decréscimo de temperatura de acordo com o aumento de árvores nos ambientes urbanos (Tabela 7; Figuras 58 e 59). Os resultados entre a vegetação arbórea e umidade relativa indicaram correlação positiva, ou seja, acréscimo de umidade relativa conforme o aumento de vegetação arbórea (Tabela 8; Figuras 60 e 61).

Tabela 7 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre a variável árvore e a temperatura do ar em dias e horários das estações de verão e inverno em 8 amostras da pesquisa.

Data	Hora	a	b	r	r ²	Data	Hora	a	b	r	r ²	
		Y = f(X2)						Y = f(X2)				
03/02/14	19:00	36,19	-0,0758	-0,62ns	0,39	08/07/14	17:00	15,83	-0,0093	-0,13ns	0,02	
03/02/14	20:00	34,10	-0,0954	-0,80*	0,64	08/07/14	18:00	14,44	-0,0178	-0,33ns	0,11	
03/02/14	21:00	31,79	-0,0831	-0,80*	0,64	08/07/14	19:00	12,99	-0,0099	-0,23ns	0,05	
03/02/14	22:00	29,85	-0,0559	-0,86*	0,73	08/07/14	20:00	11,83	-0,0009	-0,02ns	0,00	
03/02/14	23:00	28,80	-0,0500	-0,88*	0,78	08/07/14	21:00	11,25	-0,0043	-0,08ns	0,01	
03/02/14	24:00	29,09	-0,0547	-0,86*	0,74	08/07/14	22:00	10,67	-0,0030	-0,07ns	0,00	
05/02/14	19:00	37,18	-0,0905	-0,82*	0,67	19/07/14	17:00	18,56	-0,0073	-0,06ns	0,00	
05/02/14	20:00	35,04	-0,0848	-0,86*	0,74	19/07/14	18:00	17,49	-0,0502	-0,46ns	0,22	
05/02/14	21:00	33,27	-0,0792	-0,85*	0,72	19/07/14	19:00	15,13	-0,0415	-0,53ns	0,28	
05/02/14	22:00	31,68	-0,0722	-0,90*	0,81	19/07/14	20:00	13,68	-0,0439	-0,54ns	0,29	
05/02/14	23:00	30,32	-0,0569	-0,91*	0,82	19/07/14	21:00	12,54	-0,0421	-0,61ns	0,37	
05/02/14	24:00	29,76	-0,0605	-0,86*	0,73	19/07/14	22:00	11,54	-0,0330	-0,55ns	0,30	
06/02/14	19:00	36,14	-0,0552	-0,95*	0,90	20/07/14	17:00	19,14	-0,0039	-0,06ns	0,00	
06/02/14	20:00	34,24	-0,0519	-0,94*	0,89	20/07/14	18:00	17,65	-0,0158	-0,24ns	0,06	
06/02/14	21:00	32,39	-0,0357	-0,81*	0,66	20/07/14	19:00	15,63	-0,0230	-0,36ns	0,13	
06/02/14	22:00	29,70	-0,0372	-0,95*	0,90	20/07/14	20:00	14,09	-0,0227	-0,35ns	0,12	
06/02/14	23:00	28,52	-0,0408	-0,95*	0,90	20/07/14	21:00	13,10	-0,0265	-0,46ns	0,21	
06/02/14	24:00	28,02	-0,0402	-0,91*	0,83	20/07/14	22:00	12,09	-0,0174	-0,34ns	0,12	

Coefficiente de correlação linear de Pearson (r).

* Coeficiente de correlação difere de zero, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade, com 6 graus de liberdade. ^{ns} Não-significativo.

Coefficientes linear (a), angular (b), de correlação linear de Pearson (r) e de determinação (r²), da regressão linear simples entre a variável dependente (Y: **Temperatura, em °C**) e a variável independente (X2: **Árvore, em %**), em dias e horários da estação de **verão** e **inverno**, excluindo os Pontos 01 (UFSM-INMET) e 02 (Montebello).

Tabela 8 – Resultado dos testes de correlação e regressão entre a variável árvore e a umidade relativa do ar em dias e horários das estações de verão e inverno em 8 amostras da pesquisa.

Data	Hora	a	b	r	r ²	Data	Hora	a	b	r	r ²	
		Y = f(X2)						Y = f(X2)				
03/02/14	19:00	35,25	0,2582	0,74*	0,55	08/07/14	17:00	63,44	0,0601	0,19ns	0,04	
03/02/14	20:00	44,07	0,3714	0,74*	0,54	08/07/14	18:00	70,84	0,0927	0,35ns	0,12	
03/02/14	21:00	53,16	0,2840	0,60ns	0,35	08/07/14	19:00	77,34	0,0353	0,19ns	0,04	
03/02/14	22:00	60,36	0,1879	0,65ns	0,42	08/07/14	20:00	81,81	0,0108	0,07ns	0,00	
03/02/14	23:00	65,12	0,1232	0,39ns	0,15	08/07/14	21:00	83,58	0,0374	0,17ns	0,03	
03/02/14	24:00	67,79	0,0931	0,29ns	0,09	08/07/14	22:00	85,21	0,0152	0,07ns	0,01	
05/02/14	19:00	35,39	0,3171	0,78*	0,61	19/07/14	17:00	56,95	0,0323	0,06ns	0,00	
05/02/14	20:00	44,56	0,2776	0,88*	0,78	19/07/14	18:00	63,68	0,2670	0,55ns	0,30	
05/02/14	21:00	49,35	0,3268	0,54ns	0,29	19/07/14	19:00	69,29	0,3375	0,69ns	0,47	
05/02/14	22:00	60,13	0,1126	0,34ns	0,11	19/07/14	20:00	74,62	0,3076	0,75*	0,56	
05/02/14	23:00	63,35	0,1961	0,64ns	0,41	19/07/14	21:00	78,61	0,2591	0,72*	0,51	
05/02/14	24:00	66,07	0,1124	0,24ns	0,06	19/07/14	22:00	81,85	0,1993	0,64ns	0,41	
06/02/14	19:00	51,45	0,1552	0,74*	0,55	20/07/14	17:00	61,58	0,0668	0,22ns	0,05	
06/02/14	20:00	49,31	0,2004	0,86*	0,75	20/07/14	18:00	66,45	0,0712	0,23ns	0,05	
06/02/14	21:00	52,52	0,1223	0,91*	0,83	20/07/14	19:00	74,06	0,1597	0,52ns	0,27	
06/02/14	22:00	55,51	0,1434	0,93*	0,87	20/07/14	20:00	79,61	0,1471	0,48ns	0,23	
06/02/14	23:00	61,62	0,1028	0,63ns	0,40	20/07/14	21:00	83,36	0,1330	0,44ns	0,20	
06/02/14	24:00	63,26	0,1121	0,62ns	0,39	20/07/14	22:00	85,68	0,0966	0,35ns	0,12	

Coeficiente de correlação linear de Pearson (r).

* Coeficiente de correlação difere de zero, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade, com 6 graus de liberdade. ^{ns} Não-significativo.

Coeficientes linear (a), angular (b), de correlação linear de Pearson (r) e de determinação (r²), da regressão linear simples entre a variável dependente (Y: **Umidade relativa do ar, em %**) e a variável independente (X2: **Árvore, em %**), em dias e horários da estação de **verão** e **inverno**, excluindo os Pontos 01 (UFSM-INMET) e 02 (Montebello).

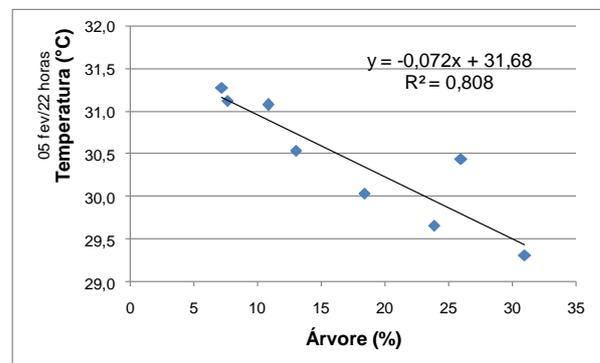
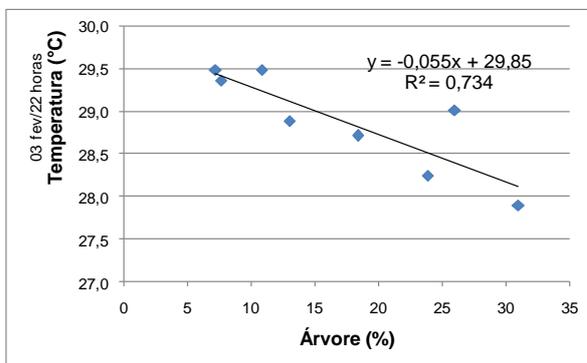


Figura 58 – (esquerda) e 59 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre a quantidade de vegetação arbórea e temperatura (22 horas) para os dias 03 e 05 de fevereiro de 2014, respectivamente.

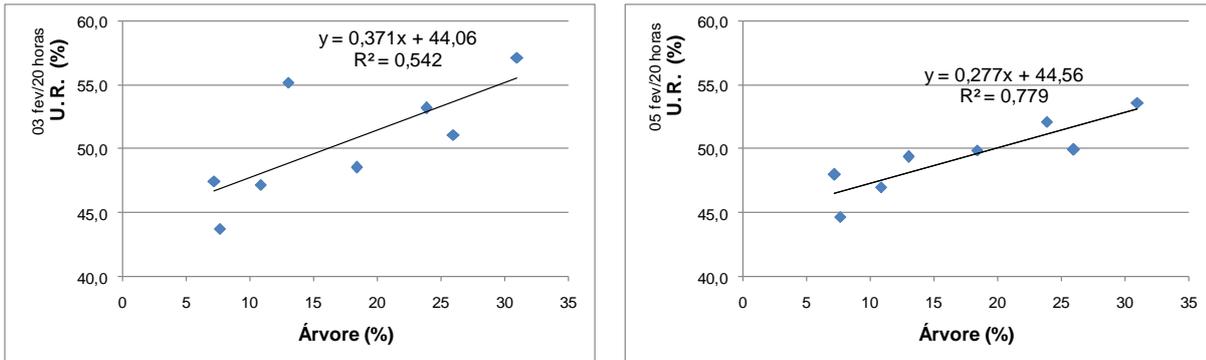


Figura 60 – (esquerda) e 61 – (direita) Coeficientes de determinação obtidos entre a quantidade de vegetação arbórea e umidade relativa (20 horas) para os dias 03 e 05 de fevereiro de 2014, respectivamente.

Conforme a literatura, além de proporcionar sombreamento às superfícies urbanas, a vegetação arbórea, diferente dos materiais que compõem a massa edificada e pavimentações das áreas urbanas, não acumula calor durante o dia e por isso, no período noturno, os recintos urbanos com significativa quantidade de cobertura vegetal apresentam temperaturas mais amenas.

No período avaliado de inverno não houve correlação linear significativa entre vegetação arbórea e temperatura do ar. No estudo sobre as relações entre ocupação do solo e microclima urbano em Florianópolis (SC), Borges (2009, p. 89) observou que a influência das árvores na diminuição da temperatura é reduzida durante o inverno.

5.3.2.5 Considerações finais da análise estatística

Os resultados dos testes estatísticos revelaram que as correlações significativas encontradas entre os dados climáticos e as variáveis físico-urbanísticas utilizadas neste estudo corroboram com a teoria sobre ilha de calor urbana. Ou seja, correlações positivas entre temperatura do ar e elementos construídos e correlações negativas entre temperatura do ar e cobertura vegetal. As correlações positivas entre temperatura do ar e pavimentação ocorreram nas duas estações. Com a variável densidade construída, a correlação foi significativa apenas no verão. Entre a

vegetação arbórea e a temperatura do ar, as correlações negativas foram significativas apenas no verão.

Por outro lado, parte das correlações mostrou-se não significativa ou com fraca correlação entre os dados climáticos e as variáveis explicativas. Isso pode ter ocorrido porque as amostras dentro do bairro, embora diferentes quanto ao padrão de ocupação do solo, não apresentam diferenças muito expressivas entre si (como aquelas encontradas entre grandes centros urbanos e periferias ou áreas rurais), ocorrendo, conseqüentemente, diferenças pouco expressivas de temperatura e umidade entre os pontos amostrais.

Outro importante aspecto é que existe uma interdependência entre as variáveis explicativas (GOMES, 2008). O comportamento climático dos pontos é difícil de ser explicado por uma variável isoladamente porque todas as variáveis atuam de forma complexa nas trocas de calor dos ambientes urbanos. Quer dizer, num determinado horário, enquanto alguns elementos contribuem para o aquecimento, outros favorecem o resfriamento do ar, podendo haver certa compensação de acordo com o arranjo espacial e com os elementos que compõem cada fração urbana.

A variabilidade de correlações entre as variáveis dependentes e explicativas nos diferentes horários também evidencia a complexidade das respostas climáticas em cada amostra com diferentes configurações urbanas e elementos de distintas propriedades térmicas. Assim como em outros estudos sobre o tema, as correlações variam conforme os horários (DUARTE, 2000; GOMES, 2008; ROCHA, 2011) e, embora neste estudo tenha sido avaliado apenas seis horas do período noturno, essa variabilidade também foi observada.

Como já era esperado, a correlação entre as variáveis apresentou resultados diferentes nos períodos de inverno e verão. Vale destacar que os resultados obtidos no estudo apontam apenas uma tendência. Os resultados dos testes refletem valores ligados aos dados obtidos e às condições dessa pesquisa, dependentes, entre outros fatores, do número de amostras utilizado, da parcela urbana quantificada, dos locais e método de medição e das condições atmosféricas do período analisado. Por isso, outros estudos na área devem ser fomentados, preferencialmente com maior número de amostras e maior número de dias de análise, a fim de obter-se informações mais conclusivas sobre a correlação entre as variáveis num clima de contrastes térmicos, como é o caso de Santa Maria (RS).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do ambiente construído sobre o microclima urbano, considerando os elementos construídos e a vegetação nas distintas formas de ocupação no bairro Camobi, município de Santa Maria (RS).

Os resultados revelaram que a ocupação urbana favorece a formação de distintos microclimas no verão e no inverno. Utilizando-se dados climáticos noturnos, foi realizada análise qualitativa e análise estatística, pelo método de correlação e regressão linear simples. Na análise estatística, considerando amostras com raio de 150 metros, os resultados mostraram, para alguns dias e horários, correlações significativas entre as variáveis dependentes (temperatura ou umidade relativa) e variáveis independentes (densidade construída, pavimento, revestimento vegetal e árvore). O estudo apontou também algumas situações diferenciadas conforme as estações climáticas.

Os resultados dos testes revelaram correlação positiva entre densidade construída e temperatura do ar no verão. No período de inverno essa correlação não foi evidenciada. A influência da densidade construída sobre o aumento da temperatura do ar parece estar clara na abordagem de ilha de calor urbana, mas, pelos resultados obtidos, merece uma investigação mais profunda quanto às diferentes formas de configuração espacial. Ocupações mais horizontalizadas ou mais verticalizadas definem diferentes formas de acesso ao sol e aos ventos, interagindo com os elementos climáticos de forma diferenciada no verão e no inverno das latitudes médias.

Os resultados também revelaram, como previsto, que as áreas com maiores superfícies pavimentadas apresentam uma tendência de elevação na temperatura do ar no período noturno, no verão e no inverno, enquanto as áreas permeáveis com revestimento vegetal contribuem para a redução da temperatura do ar. O aumento das superfícies pavimentadas contribui para a diminuição da umidade relativa do ar e as áreas permeáveis com revestimento vegetal contribuem para o aumento da umidade relativa do ar no verão e no inverno.

Como esperado, com base na literatura, as áreas mais artificializadas, com elevada taxa de pavimentação e ocupação do solo, mostram uma tendência de elevação nas temperaturas e as áreas com maior cobertura vegetal tendem a amenizar as ilhas de calor noturnas.

As diferenças térmicas entre os pontos, no período analisado, não foram muito expressivas. Em geral, as diferenças máximas ficaram próximas dos 2°C e 3°C, tanto no verão quanto no inverno. Isso indica que o bairro, nos pontos monitorados, não apresentou picos térmicos tão elevados como aqueles encontrados em centros urbanos adensados, já que se encontra próximo às áreas rurais do município e é considerado de baixa a média densidade de ocupação.

Além disso, existe uma interdependência entre as variáveis urbanas, que atuam de forma complexa nas trocas de calor dos ambientes urbanos. Algumas favorecem o aquecimento e outras favorecem o resfriamento do ar. Quer dizer, se uma variável “compensa” o efeito de outra sobre a temperatura do ar, os contrastes térmicos são atenuados. Por outro lado, fica claro que alterações na paisagem, através da urbanização e atividades antrópicas favorecem o aumento da temperatura.

Como exposto no referencial teórico, entende-se que microclimas ou ilhas de calor não são fenômenos fixos ou permanentes. A intensidade, variabilidade espacial e temporal dos fenômenos microclimáticos dependem, além dos aspectos estáticos do sítio, das condições atmosféricas sazonais e diárias. Quer dizer, os resultados apresentados neste estudo não revelam a totalidade do clima urbano do bairro. Ilhas de calor de forte intensidade, por exemplo, já foram registradas no bairro em outros estudos de clima urbano, como comentado nos capítulos anteriores.

Como já era esperado, a influência do espaço construído sobre a temperatura do ar é suprimida ou minimizada em dias de nebulosidade ou ventos moderados e fortes. O fato foi observado nessa pesquisa no dia 06 de fevereiro de 2014, um dos dias de verão analisado. Devido à nebulosidade e ao aumento dos ventos no período da tarde e da noite, as diferenças térmicas entre os pontos dentro do tecido urbano analisado foram minimizadas.

A condição de tempo estável, necessária para a investigação dos fenômenos microclimáticos urbanos, foi uma das limitações da pesquisa, já que períodos de instabilidade atmosférica dificultaram as coletas de dados climáticos e limitaram a seleção de dias ideais para a análise.

O ano apresentou algumas anormalidades, como a forte onda de calor no verão e chuvas acima da média no período de inverno, conforme as médias normais para o município. Por isso, os resultados referem-se apenas ao período observado, embora indique uma tendência que está de acordo com a teoria existente, mas que

deve ser investigada em um número maior de dias, preferencialmente em anos diferentes.

Conforme já apontado por alguns autores, destaca-se, ainda, como uma limitação da pesquisa, a complexidade de medições no meio urbano e a impossibilidade de isolar as variáveis envolvidas. O pouco tempo disponível também dificultou a realização de diversos testes que pudessem indicar melhores condições de medições relativas aos abrigos, número de dias de tempo estável e locais para a implantação dos abrigos.

Apesar das limitações, a correlação entre as variáveis ficou clara por meio dos resultados da análise estatística e pela avaliação qualitativa realizada. Alguns aspectos merecem ser investigados com maior profundidade, para que possam fornecer diretrizes para projetos de desenho e planejamento urbano para o tipo de clima de Santa Maria.

Outro objetivo desse trabalho foi verificar a influência da vegetação arbórea no microclima urbano, nas duas estações. De acordo com a teoria e com os resultados, as árvores contribuem para a diminuição da temperatura do ar e aumento da umidade relativa do ar. Mas, por outro lado, conforme a estação climática e a forma como as árvores estão distribuídas no espaço urbano, essa contribuição oscila. No inverno, por exemplo, em noites de ventos fracos, observou-se que numa amostra com expressivo grupamento arbóreo (Ponto 09), a temperatura não ficou tão abaixo dos outros pontos urbanos como ocorreu no verão. A complexa relação entre a vegetação e o meio indica que a variável vegetação também deve ser investigada de forma mais específica no meio urbano.

Alguns autores concordam que, em termos de conservação de energia, a ilha de calor urbana pode ter efeito positivo nos dias frios. Se, no verão, as áreas urbanas com temperaturas mais elevadas ocasionam desconforto térmico e dispêndio energético para a climatização dos edifícios, no inverno ocorre o contrário.

O espaço urbano precisa ser arranjado de forma a proporcionar um equilíbrio microclimático, que pode ser alcançado com proporções adequadas entre elementos construídos e naturais, como já sugerido por alguns autores. Além das proporções adequadas, a geometria espacial, o tipo de vegetação empregada e a forma de implantação no sítio, tendo em vista o acesso ao sol e aos ventos, também podem contribuir para a adequação ambiental. Essa equação pode ser mais difícil de ser alcançada porque o clima de Santa Maria, quente no verão e frio no inverno, requer soluções mais complexas.

6.1 Recomendações finais

A partir desse trabalho são sugeridas algumas recomendações para o desenvolvimento de futuras pesquisas:

- Aumentar o número de pontos de medições microclimáticas dentro de uma mesma amostra, para que se verifique a influência do meio urbano geral e dos elementos urbanos do entorno imediato do ponto de medição. Para isso, seria importante a coleta de dados de temperatura, umidade do ar, velocidade do vento e temperatura radiante das superfícies próximas.
- Avaliar a correlação entre as variáveis urbanas e climáticas, considerando outros raios de influência, maiores e menores que 150 metros, tendo em vista a variabilidade dos ventos na região.
- Avaliar o desempenho térmico de recintos urbanos com diferentes níveis de sombreamento causados por edificações e vegetação arbórea, durante o período diurno e noturno, nas condições de verão e inverno. Para isso, é fundamental um planejamento criterioso dos locais e horários de sombreamento e insolação nos locais de medição, bem como uma avaliação prévia do desempenho dos abrigos diante da radiação solar.
- Devido ao clima de Santa Maria e às complexas interações entre o metabolismo das plantas relativas ao meio onde se insere e às condições meteorológicas, seria bastante relevante analisar de forma mais detalhada a influência da vegetação arbórea no contexto do clima urbano. Um estudo com esse enfoque poderia avaliar o comportamento térmico de diferentes espaços arborizados sob a copa das árvores e fora delas, nos horários diurnos e noturnos e nas diferentes estações do ano. Para isso, considera-se importante o levantamento de espécies arbóreas, descrição da variação de arranjos (árvore isolada ou grupamentos arbóreos), índices de área foliar, época de desfolhamento, condições climáticas sazonais e diárias, condições hídricas do solo, além de outros aspectos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, Fortaleza (Online) número especial, v. 9, p. 71-90, 2010.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento: reflexões sobre uma trajetória. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ENCAC-ELACAC, 2005. p. 92-101.

_____. Bases teóricas para a aplicação da climatologia ao planejamento urbano. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: FAUUUFBA/LACAM-ANTAC, 1997. v. 1, p. 134-139.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 332p.

BARBIRATO, G. M.; TORRES, S. C.; SOUZA, L. C. L. de. **Clima Urbano e Eficiência Energética nas Edificações**. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 13 nov. 2013.

BARBOSA, R. V. R.; BARBIRATO, G. M.; VECCHIA, F. A. S. Vegetação Urbana: análise experimental em cidade de clima quente e úmido. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (VII ENCAC) e CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES (III COTEDI), 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), 2003. p. 722-729.

BARBUGLI, R. A. **Influência do ambiente construído na distribuição das temperaturas do ar em Araraquara/SP**. 2004. 170f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2004.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. 8. Ed. London: Routledge, 2004.

BELÉM, J. **História do município de Santa Maria – 1797-1933**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2000. 309p.

BORGES, M. G. E. **Influência do ambiente construído no microclima urbano**. 2009. 154f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2009.

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T. Características do clima urbano em Presidente Prudente/SP a partir de dados de temperatura e umidade relativa do ar e técnicas de sensoriamento remoto. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 28, p. 39-64, 2014.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (CPTEC/INPE). Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2014a.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Síntese Sinótica do Mês de Fevereiro de 2014**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/125973>>. Acesso em: 11 ago. 2014b.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Síntese Sinótica do Mês de Julho de 2014**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/126861>>. Acesso em: 11 ago. 2014c.

CHEN-YI, S. et al. A Thermal Environment Investigation of the Urban Street Canyon in a Hot and Humid City, Taichung City, Taiwan. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 7, Yokohama, Japan, 2009. **Anais...** Yokohama, Japan, 2009. Disponível em: <http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/375968-1-090519033132-006.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2014.

COMIN, F. V. **Dinâmica espacial e segregação residencial no bairro Camobi – Santa Maria/RS**. 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

COSTA, E. R. **O campo termo-higrométrico intra-urbano e a formação de ilhas de calor e de frescor urbanas em Santa Maria/RS**. 2009. 118f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2009.

DAL ASTA, A. P. **Elaboração de zoneamento geoambiental para o perímetro urbano de Santa Maria - RS**. 2009. 132f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. 2000. 296f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2000.

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. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, abr./jun. 2003. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3447/1862>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

DURANTE, L.; NOGUEIRA, M. C. J. de A. Efeitos do sombreamento arbóreo nas condições termohigrométricas e lumínicas de ambientes internos e externos de edificações. **Revista REGET/UFSM**, v. 9, n. 9, p. 1980-1998, fev., 2013. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/7704/pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2014.

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. **Landscape and Urban Planning**, n. 48, p. 31-44, 2000.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2015. **Urban heat island**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/climatechange/images/impacts-adaptation/UrbanHeatIsland-large.jpg>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004. 289p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – RS (FEPAM). **Biblioteca digital – Arquivos digitais para uso em SIG**. 2014. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp>. Acesso em 17 out. 2014.

GARCÍA, F. F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial Síntesis, 1996. 285p.

GEIGER, R. **Manual de Microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1961. 556p.

GIORDANO, D. E.; KRÜGER, E. Potencial de redução da temperatura de superfície pelo aumento do albedo nas diversas regiões brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XII ENCAC, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC/ELACAC, 2013. p. 462-469.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998. 464p.

_____. Climatic aspects of urban design in tropical regions. **Atmospheric Environment**, v. 26B, n. 3, pp. 397-406, 1992.

GOMES, P. S. **Ocupação do solo e microclimas urbanos: o caso de Montes Claros – MG**. 2008. 213f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2008.

GONÇALVES, E. C. S.; SOUZA, L. C. L. Urban thermal behavior. In: SUSTAINABLE ARCHITECTURE FOR A RENEWABLE FUTURE, 29th Conference, PLEA 2013, 2013, Munich, Alemanha. **Proceedings...** Munich: PLEA International/Technische Universität München, 2013. Disponível em: <<http://mediatum.ub.tum.de/?cfold=1164576&dir=1164576&id=1164576#1164576>>. Acesso em: 24 nov. 2013.

GOOGLE EARTH. **Imagem Digital Globe 2015**, data das imagens 04/04/2014.

GRIMM, A. M. **Clima da Região Sul do Brasil**. In: CAVALCANTI et al. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

GUSSON, C. S. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo, SP**. 2014. 152f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2014.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. História natural de Santa Maria: O clima de Santa Maria. **Revista Ciência & Ambiente**, n. 38, p. 43-58. Santa Maria: UFSM, 2009.

HOUGH, M. **Naturaleza y Ciudad: planificación urbana y procesos ecológicos**. Barcelona: Gustavo Gili, 2004. 315p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) - Demográfico 2000 e Demográfico 2010**. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 nov. 2013.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DE SANTA MARIA (IPLAN). Diretoria de Planejamento. Setor de Geoprocessamento. **Levantamento Aerofotogramétrico**. Santa Maria, 2013a.

_____. **Dados** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <gelazarotto@yahoo.com.br> em 22 nov. 2013b.

_____. **Mapa da divisão urbana de Santa Maria, bairro Camobi, Lei Complementar 042/2006**. Santa Maria: 2014. Disponível em: <<http://www.iplansm.net.br/>>. Acesso em: 22 out. 2014a.

_____. **Requisição Dados Camobi** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <gelazarotto@yahoo.com.br> em 31 out. 2014b.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 23 jan. 2014.

_____. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF: INMET, 2009. 465p.

KLARMANN, H. **Diagnóstico e Prognóstico do Bairro Camobi - Santa Maria - RS**. Departamento de Geociências. 1990. 65f. Trabalho Acadêmico (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 1990.

KONARSKA, J.; LINDBERG, F.; LARSSON, A.; THORSSON, S.; HOLMER, B. Transmissivity of solar radiation through the crowns of single urban trees. **Quarterly Newsletter of the IAUC** - International Association for Urban Climate. Issue. N. 46, p. 20-24, 2012. Disponível em: <<http://urban-climate.org/newsletters/IAUC046.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2013.

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

LONGHI, S. J.; ARAUJO, M. M.; KELLING, M. B.; HOPPE, J. M.; MÜLLER, I.; BORSOI, G. A. Aspectos fitossociológicos de fragmento de Floresta Estacional Decidual, Santa Maria, RS. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 59-74, 2000. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/471/367>>. Acesso em: 13 out. 2014.

LOURA, R. M.; ASSIS, E. S. de. Eficiência energética: o desafio para planejamento Urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 4º, 2004, Itajubá. **Anais...** Itajubá: SBPE (Sociedade Brasileira de Planejamento Energético) / CERNR (Centro de Excelência em Recursos naturais e Energia), 2004. Disponível em: <<http://www.arquitetura.ufmg.br/labcon/index.php?pag=texto&id=50>>. Acesso em: 03 dez. 2012.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Universidade Federal de Santa Maria/CCNE/Departamento de Geociências, Santa Maria: Ed. da UFSM, 1990.

MARCHIORI, J. N. C. História natural de Santa Maria: A vegetação em Santa Maria. **Revista Ciência & Ambiente**, n. 38, p. 93-112. Santa Maria: UFSM, 2009.

MARCHIORI, J. N. C.; MACHADO, P. F. S.; NOAL FILHO, V. A. **Do céu de Santa Maria**. Santa Maria: D Marin, 2008.

MARCHIORI, J. N. C.; NOAL FILHO, V. A. História natural de Santa Maria: A paisagem de Santa Maria na perspectiva de antigos viajantes. **Revista Ciência & Ambiente**, n. 38, p. 7-18. Santa Maria: UFSM, 2009.

MASCARÓ, L. R. **Ambiência urbana**. Porto Alegre: Sagra – D.C. Luzzato, 1996. 199p.

MENDONÇA, F. **Clima e planejamento urbano em Londrina: Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo higro-térmico**. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (Orgs.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003a.

_____. **O estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios**. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (Orgs.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003b.

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

MENDONÇA, R. S. R.; ASSIS, E. S. Conforto térmico urbano: estudo de caso do bairro Floresta - Belo Horizonte. In: VI ENCONTRO NACIONAL e III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001. Disponível em: <<http://www.arq.ufmg.br/labcon/arquivos/a0514.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2015.

MINELLA, F. C. O.; KRUGER, E. L.; PRIGOL, T. Comparação microclimática entre três morfologias urbanas distintas em Curitiba/PR no período de inverno. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XII ENCAC, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC/ELACAC, 2013. p. 325-334.

MONTEIRO, C. A. F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Revista Geosul**, Florianópolis, n. 9, p. 61-79, 1990a.

_____. A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um clima urbano. **Revista Geosul**, Florianópolis, n.9, p.61-79, 1990b.

_____. **Teoria e Clima Urbano**. 1976. 184f. Tese (Livre Docência em Geografia) - Instituto de Geografia da USP, São Paulo, Série Teses e Monografias n.25, 1976.

_____. **Teoria e Clima Urbano: Um projeto e seus caminhos**. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (Orgs.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422p.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observation at urban sites**. Instruments and observing methods. Report n. 81. Vancouver: WMO/TD-No. 1250, 2006.

_____. Street Design and Urban Canopy Layer Climate. **Energy and Buildings**, n. 11, p. 103-113, 1988.

_____. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, n. 108, p. 1-24, 1982.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440p.

PIRES, C. A. F.; DALASTA, A. P. Zoneamento Geoambiental do perímetro urbano de Santa Maria – RS, Brasil. **Revista Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v. 12, n. 40 dez/2011 p. 278 – 290. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhos_degeografia/article/viewFile/16496/9210> Acesso em: 08 out. 2014.

RIBEIRO, A. G. As Escalas do Clima. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 23, n. 45-46, p. 288-294, 1993.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores, 1986.

ROCHA, L. M. V. **Influência térmica das configurações urbanas ao longo do eixo do Córrego Canela na cidade de São José do Rio Preto**. 2011. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos - SP, 2011.

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F. J. V. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 161-175, jul./set. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n3/a12v11n3.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2014.

ROMERO, M. A. B. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. **Fórum Patrimônio**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 9-22, 2011.

_____. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: P.W., 1988. 128p.

ROVANI, F. F. M.; COSTA, E. R.; WOLLMANN, C. A.; CASSOL, R. Ilhas de Calor e Frescor urbanas no Bairro Camobi, Santa Maria/RS, sob domínio de duas condições atmosféricas no inverno e na primavera. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 2014, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2014. p. 86-99.

SANTA MARIA (RS). Prefeitura Municipal. **Lei Complementar Nº 034 de 29 de dezembro de 2005. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental – Santa Maria**. Dispõe sobre a Política de Desenvolvimento Urbano e sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental do Município de Santa Maria. Santa Maria, RS, 29 dez. 2005. Disponível em: <<http://www.iplansm.net.br/planodiretor.php>>. Acesso em: 22 out. 2014.

_____. **Lei Complementar Nº 042 de 29 de dezembro de 2006. Lei da Divisão Urbana de Santa Maria – RS**. Cria unidades urbanas, altera a divisão urbana de Santa Maria, dá nova denominação aos bairros e revoga a Lei Municipal nº 2770/86, de 02/07/1986, Artigos 2º a 25 e dá outras providências. Santa Maria, RS, 29 dez. 2006. Disponível em: <<http://www.iplansm.net.br/leis.php>>. Acesso em: 22 out. 2014.

_____. **Lei Complementar nº 070, de 04 de novembro 2009. Código de Obras e Edificações do Município de Santa Maria.** Dispõe sobre o Código de Obras e Edificações do Município de Santa Maria e dá outras providências. Santa Maria, RS, 4 nov. 2009b. Disponível em: <http://www.camara-sm.rs.gov.br/arquivos/legislacao/LC/2009/CODIGO_OBRAS_E_EDIFICACOES_LC_70_2009.pdf>. Acesso em: 22 out. 2014.

_____. **Lei Complementar Nº 072 de 04 de novembro de 2009. Lei de Uso do Solo do Município de Santa Maria – RS.** Institui a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento, Perímetro Urbano e Sistema Viário do Município de Santa Maria. Santa Maria, RS, 04 nov. 2009a. Disponível em: <<http://www.iplansm.net.br/luos.php>>. Acesso em: 22 out. 2014.

SARTORI, M. G. B. Considerações sobre a ventilação nas cidades e sua importância no planejamento urbano. **Ciência e Natura**, Santa Maria, n. 6, p. 59-74, 1984.

_____. Modelização do clima urbano de Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, n. 8, p. 53-65, 1986.

_____. **O Clima de Santa Maria, RS: do Regional ao Urbano.** 1979. 166f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia/ FFICH/USP, São Paulo, 1979.

SAYDELLES, A. P. **Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria/RS.** 2005. 219f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2005.

SERAFINI JÚNIOR, S.; ALVES, R. R. Miniabrigos meteorológicos: comparação e análise estatística para avaliação de eficiência. **GEOUSP – Espaço e Tempo (Online)**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 198-210, 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/81099>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

SERRA, G. **O Espaço Natural e a Forma Urbana.** São Paulo: Ed. Nobel, 1987.

SOUZA, L. C. L.; TENTE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 155-167, out./dez. 2010.

SPIRN, A. W. **O Jardim de Granito: A Natureza do Desenho da cidade.** Tradução de Paulo Renato Mesquita Pellegrino. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995. 345 p.

STEINKE, E. T. **Climatologia fácil**. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

SUTILI, F. J.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. História natural de Santa Maria: Hidrografia de Santa Maria. **Revista Ciência & Ambiente**, n. 38, p. 79-92. Santa Maria: UFSM, 2009.

TAKAMUNE, C. N.; FONTES, M. S. G. C. Conforto térmico em áreas de estacionamento de um ambiente universitário, em condições de tempo quente. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XII ENCAC, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC/ELACAC, 2013. p. 488-496.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TORRES, S. C.; FREITAS, R.; BARBOSA, R. V.; BARBIRATO G. M. Climatologia urbana, planejamento e sustentabilidade: discussões a partir da análise do plano diretor de Arapiraca-AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XII ENCAC, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC/ELACAC, 2013. p. 385-394.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM). Departamento de estatística. **Apostila de estatística para análise de experimentos (ECC 803)**. Santa Maria: 2009.

VASCONCELOS, J. S.; SOUZA, L. C. L.; TEIXEIRA, B. A. N. Comportamento térmico em uma fração urbana no município de São Carlos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, IV ConGeA, 2013, Salvador, BA. **Anais eletrônicos...** Salvador: IBEAS, 2013. p. 1-5. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/X-006.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2014.

VASILIKOU, C.; NIKOLOPOULOU, M. Thermal Walks: Identifying pedestrian thermal comfort variations in the urban continuum of historic city centres. In: SUSTAINABLE ARCHITECTURE FOR A RENEWABLE FUTURE, 29th Conference, PLEA 2013, 2013, Munich, Alemanha. **Proceedings...** Munich: PLEA International/Technische Universität München, 2013. Disponível em: <<http://mediatum.ub.tum.de/?cfold=1164576&dir=1164576&id=1164576#1164576>>. Acesso em: 24 nov. 2013.

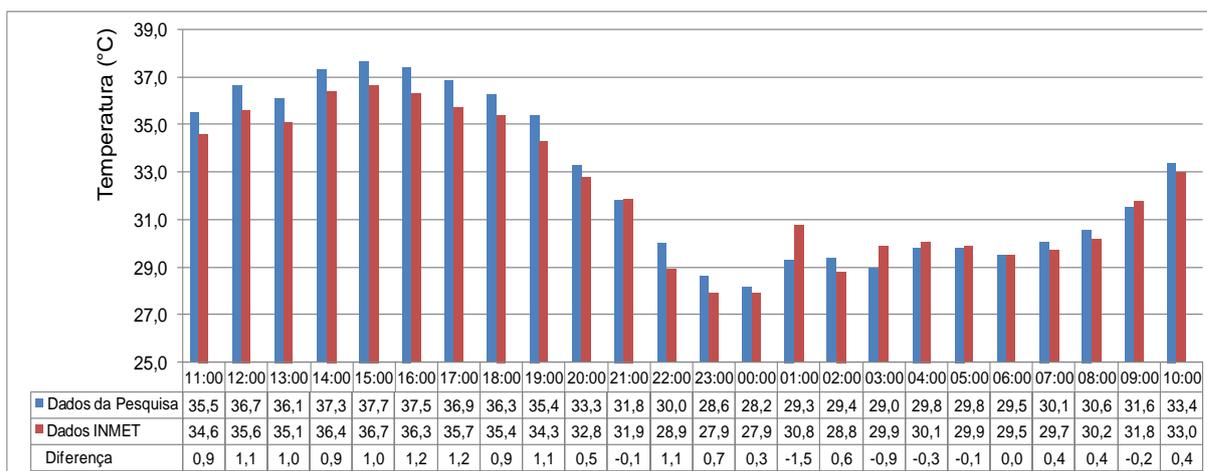
VILELA, J. A. **Variáveis do clima urbano: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III, Belo Horizonte, MG**. 213f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2007.

APÊNDICES

Apêndice A – Resultado dos testes dos *hobos*: temperatura e umidade relativa.

Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa do ar (%)		
Aparelho	Média das 0 às 9:00	Diferença da média geral	Aparelho	Média das 0 às 9:00	Diferença da média geral
Hobo 10449301	30,207	-0,007	Hobo 10449301	60,718	-0,049
Hobo 10449302	30,219	0,005	Hobo 10449302	60,970	0,203
Hobo 10449304	30,219	0,005	Hobo 10449304	60,761	-0,006
Hobo 10449306	30,181	-0,033	Hobo 10449306	60,689	-0,078
Hobo 10449307	30,204	-0,010	Hobo 10449307	60,687	-0,080
Hobo 10449308	30,209	-0,005	Hobo 10449308	60,747	-0,020
Hobo 10449309	30,207	-0,007	Hobo 10449309	60,371	-0,396
Hobo 10449310	30,227	0,013	Hobo 10449310	61,221	0,454
Hobo 10449311	30,257	0,043	Hobo 10449311	60,858	0,091
Hobo 10449312	30,212	-0,002	Hobo 10449312	60,654	-0,113
Média Geral	30,214		Média Geral	60,767	

Apêndice B – Teste comparativo entre os dados de temperatura da pesquisa e os dados da Estação Automática do INMET, no Campus da UFSM, em janeiro de 2014.



Apêndice C – Dados de radiação de Santa Maria nos dias selecionados da pesquisa.

Hora UTC-3	VERÃO						INVERNO					
	Data	Radiação (kJ/m ²)	Data	Radiação (kJ/m ²)	Data	Radiação (kJ/m ²)						
00:00	3-fev-14	-3,54	5-fev-14	-3,54	6-fev-14	-3,54	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
01:00	3-fev-14	-3,54	5-fev-14	-3,54	6-fev-14	-3,53	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
02:00	3-fev-14	-3,54	5-fev-14	-3,54	6-fev-14	-3,53	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
03:00	3-fev-14	-3,54	5-fev-14	-3,54	6-fev-14	-3,52	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
04:00	3-fev-14	-3,53	5-fev-14	-3,54	6-fev-14	-3,53	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
05:00	3-fev-14	-3,51	5-fev-14	-3,54	6-fev-14	-3,33	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
06:00	3-fev-14	-3,32	5-fev-14	-3,53	6-fev-14	-2,57	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
07:00	3-fev-14	96,46	5-fev-14	120,1	6-fev-14	102,2	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
08:00	3-fev-14	740,8	5-fev-14	706	6-fev-14	737,8	8-jul-14	34,06	19-jul-14	46,19	20-jul-14	47,84
09:00	3-fev-14	1552	5-fev-14	1536	6-fev-14	1520	8-jul-14	481,2	19-jul-14	492,3	20-jul-14	519,3
10:00	3-fev-14	2199	5-fev-14	2259	6-fev-14	2233	8-jul-14	1025	19-jul-14	1030	20-jul-14	1062
11:00	3-fev-14	2895	5-fev-14	2850	6-fev-14	2837	8-jul-14	1481	19-jul-14	1544	20-jul-14	1575
12:00	3-fev-14	3377	5-fev-14	3259	6-fev-14	3252	8-jul-14	1867	19-jul-14	1921	20-jul-14	1956
13:00	3-fev-14	3344	5-fev-14	3448	6-fev-14	3420	8-jul-14	2036	19-jul-14	2110	20-jul-14	2146
14:00	3-fev-14	3630	5-fev-14	3432	6-fev-14	1542	8-jul-14	2038	19-jul-14	2102	20-jul-14	2129
15:00	3-fev-14	2944	5-fev-14	2629	6-fev-14	1509	8-jul-14	1791	19-jul-14	1852	20-jul-14	1882
16:00	3-fev-14	2765	5-fev-14	2554	6-fev-14	1931	8-jul-14	1319	19-jul-14	1374	20-jul-14	1409
17:00	3-fev-14	1718	5-fev-14	2255	6-fev-14	1686	8-jul-14	717,4	19-jul-14	765,1	20-jul-14	797,3
18:00	3-fev-14	1096	5-fev-14	997,5	6-fev-14	1022	8-jul-14	99,24	19-jul-14	127,8	20-jul-14	143,8
19:00	3-fev-14	498,9	5-fev-14	267	6-fev-14	411,2	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,51
20:00	3-fev-14	16,98	5-fev-14	27,85	6-fev-14	14,79	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
21:00	3-fev-14	-3,54	5-fev-14	-3,54	6-fev-14	-3,53	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
22:00	3-fev-14	-3,54	5-fev-14	-3,53	6-fev-14	-3,53	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
23:00	3-fev-14	-3,54	5-fev-14	-3,52	6-fev-14	-3,54	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54
24:00	3-fev-14	-3,54	5-fev-14	-3,54	6-fev-14	-3,54	8-jul-14	-3,54	19-jul-14	-3,54	20-jul-14	-3,54

Horários selecionados

Fonte: Adaptado dos dados da Estação automática do INMET (INMET, 2014).

Apêndice D – Resultados das medições das variáveis climáticas para os seis dias selecionados durante as 24 horas do dia.

Pelas figuras é possível observar a evolução diária da temperatura e umidade relativa do ar, salientando, no entanto que, no período diurno, as diferentes condições de sombreamento e insolação nos pontos de medição acentuaram as diferenças higrótérmicas entre eles. As figuras 1, 2 e 3 representam os gráficos com as temperaturas registradas durante as 24 horas dos três dias de verão selecionados para a análise. As figuras 4, 5 e 6 representam os gráficos com as temperaturas registradas durante as 24 horas dos três dias de inverno selecionados para a análise. Os registros horários da umidade relativa do ar são apresentados nas figuras 7, 8 e 9, para o verão, e nas figuras 10, 11 e 12, para o inverno.

Apêndice D (continuação)

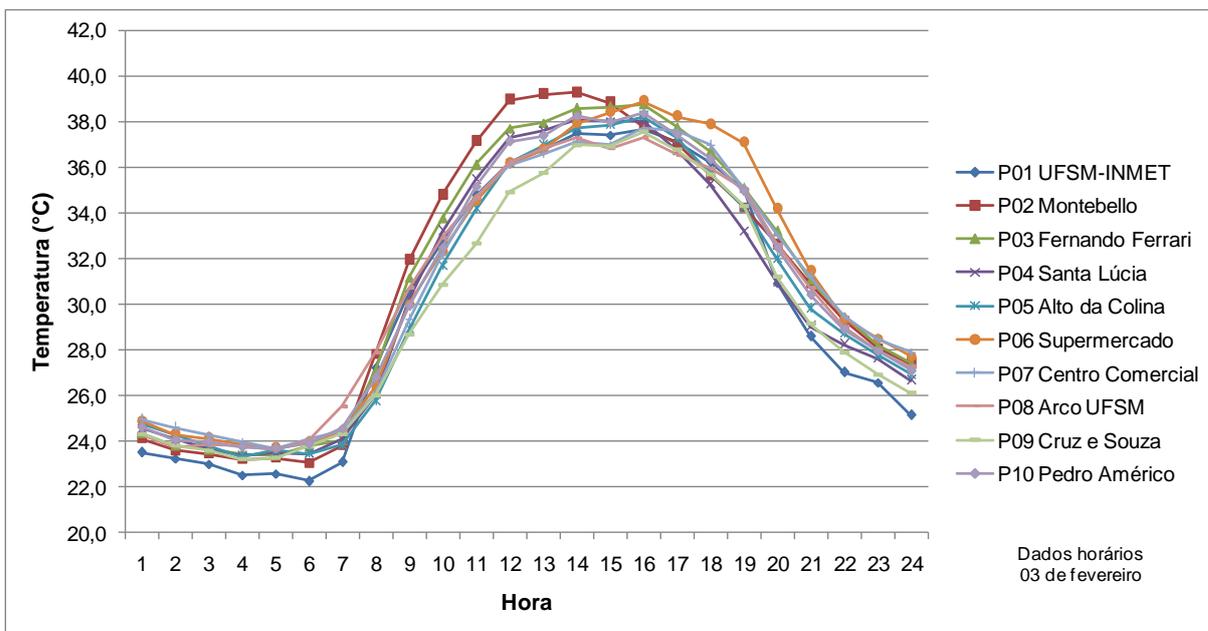


Figura 1 – Temperatura do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 03 de fevereiro de 2014, período de verão.

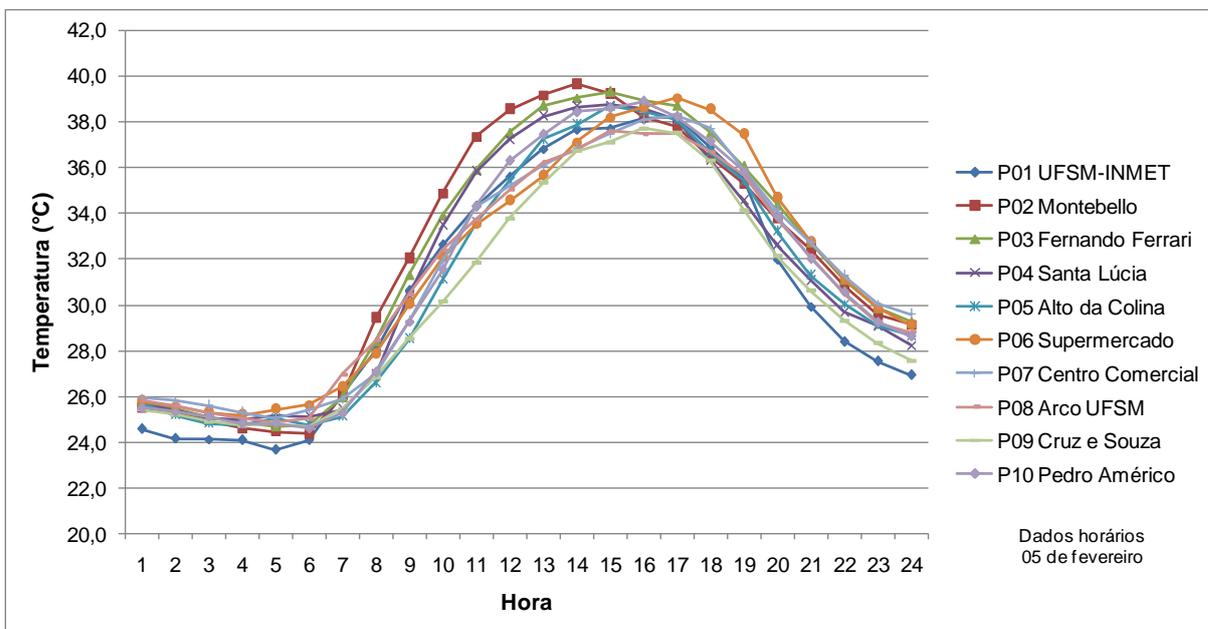


Figura 2 – Temperatura do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 05 de fevereiro de 2014, período de verão.

Apêndice D (continuação)

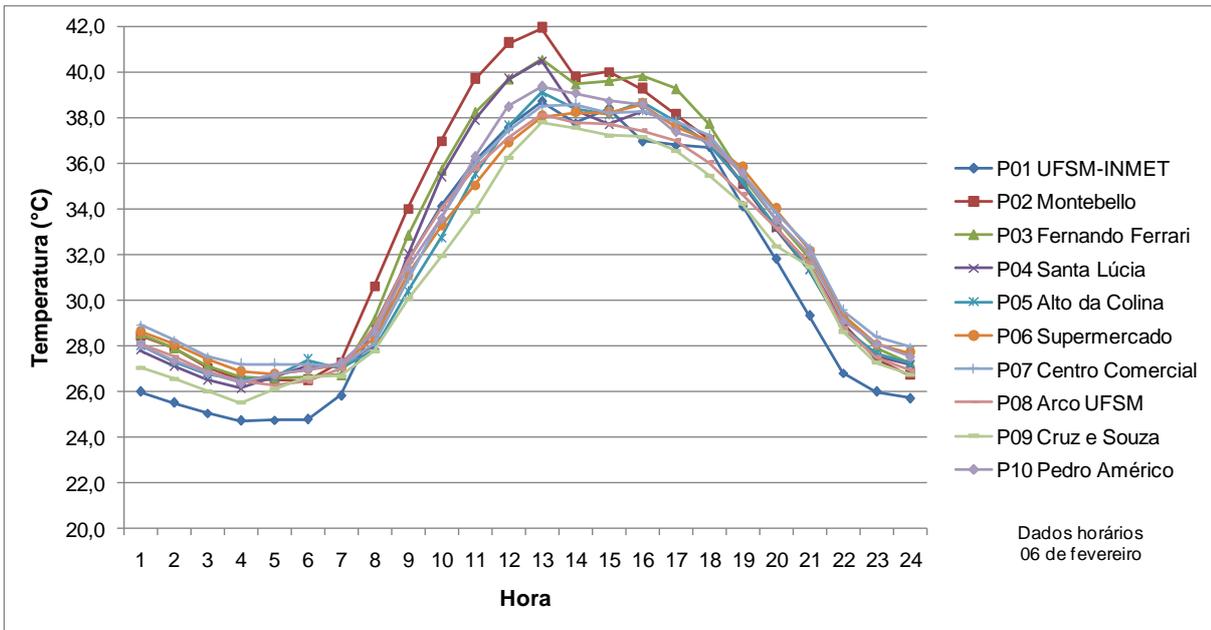


Figura 3 – Temperatura do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 06 de fevereiro de 2014, período de verão.

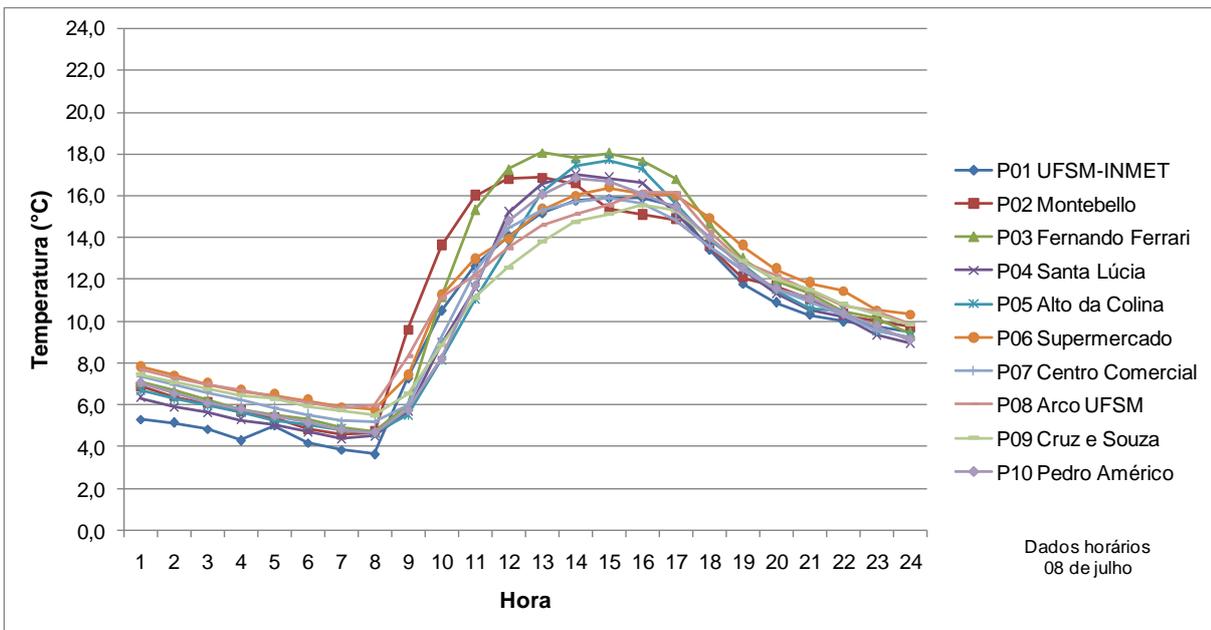


Figura 4 – Temperatura do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 08 de julho de 2014, período de inverno.

Apêndice D (continuação)

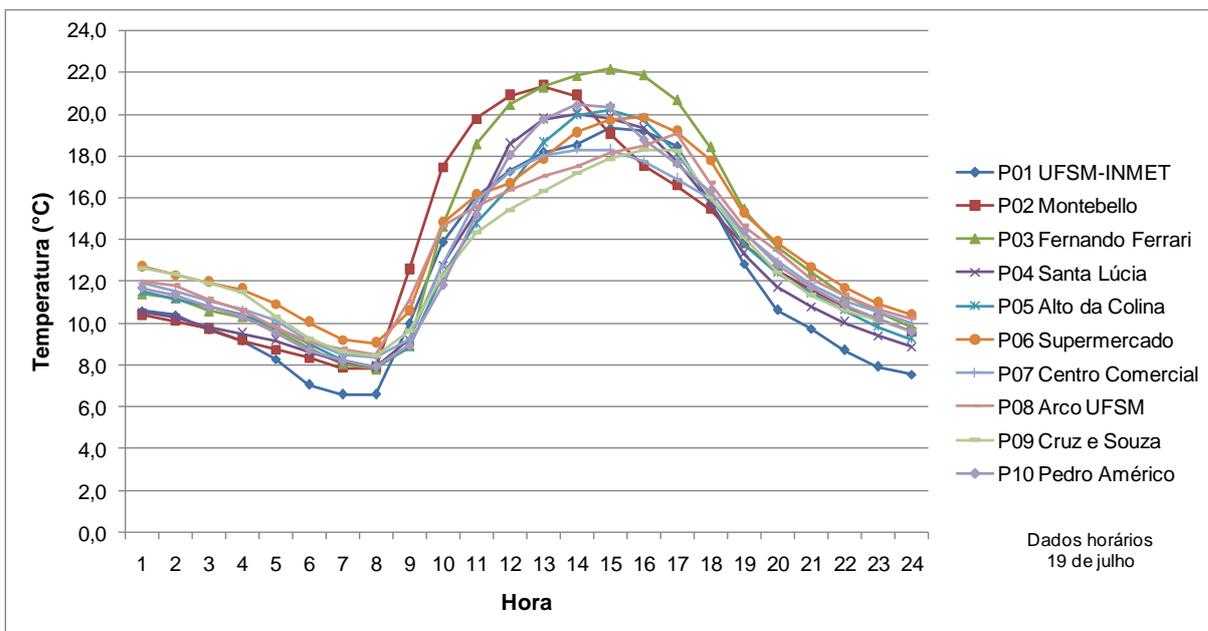


Figura 5 – Temperatura do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 19 de julho de 2014, período de inverno.

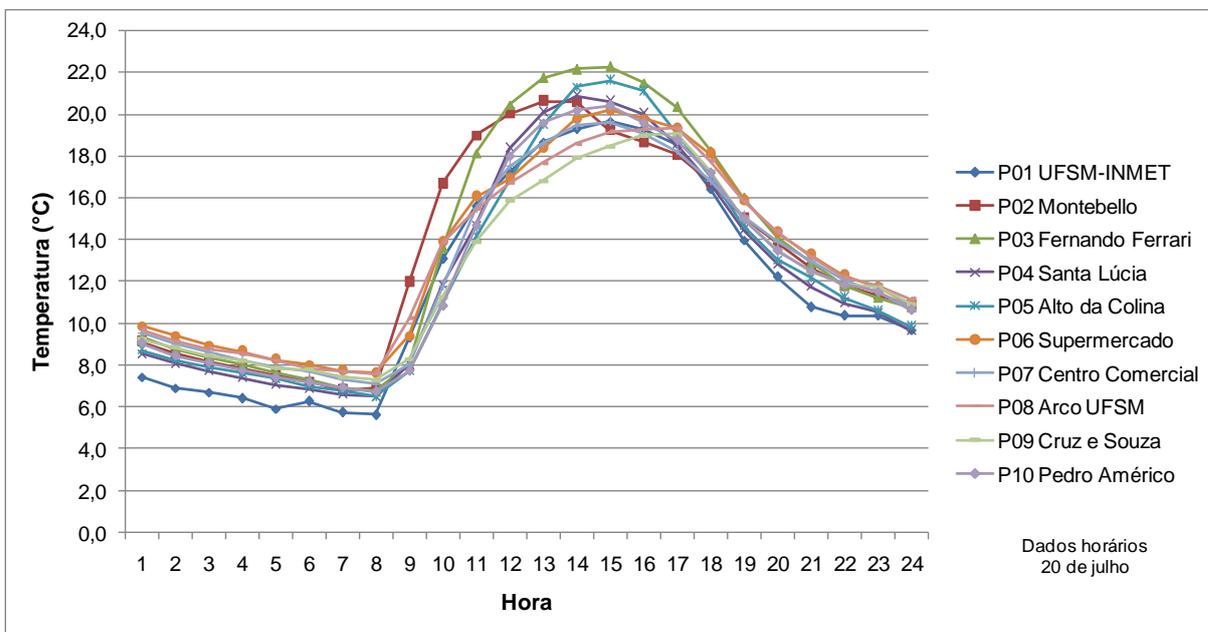


Figura 6 – Temperatura do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 20 de julho de 2014, período de inverno.

Apêndice D (continuação)

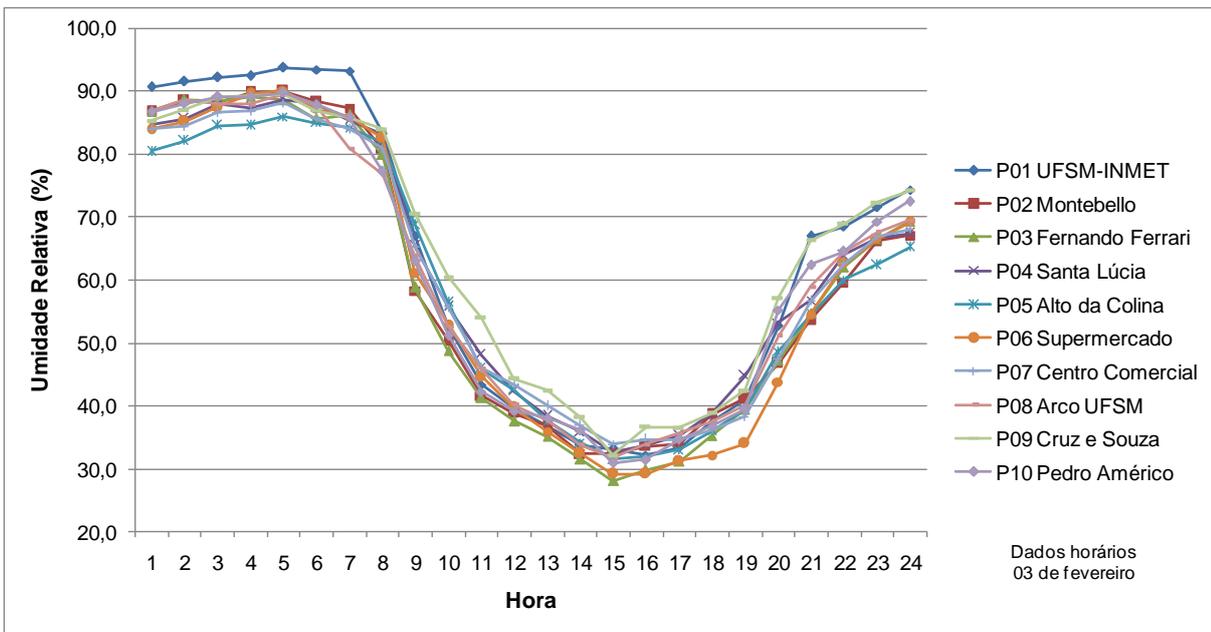


Figura 7 – Umidade relativa do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 03 de fevereiro de 2014, período de verão.

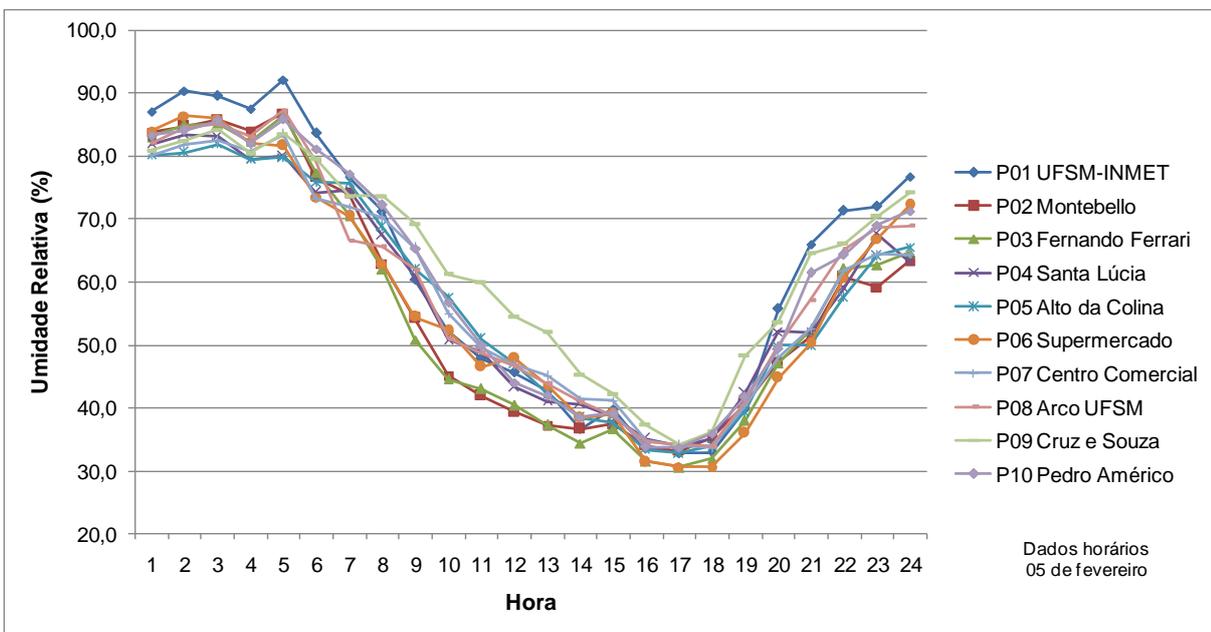


Figura 8 – Umidade relativa do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 05 de fevereiro de 2014, período de verão.

Apêndice D (continuação)

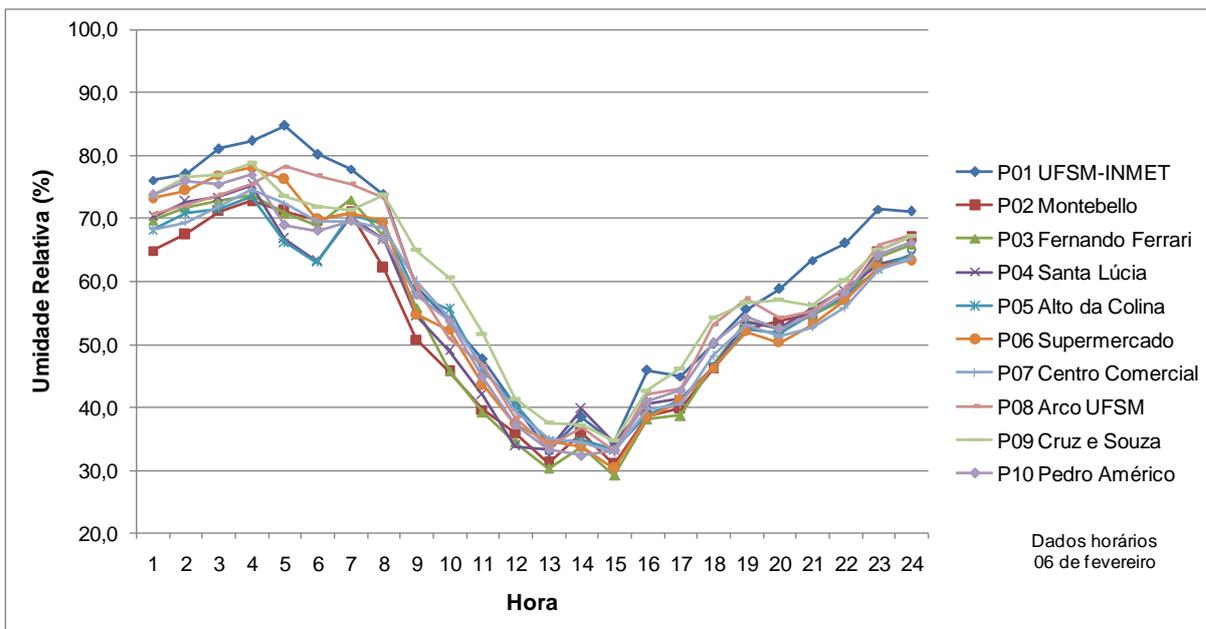


Figura 9 – Umidade relativa do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 06 de fevereiro de 2014, período de verão.

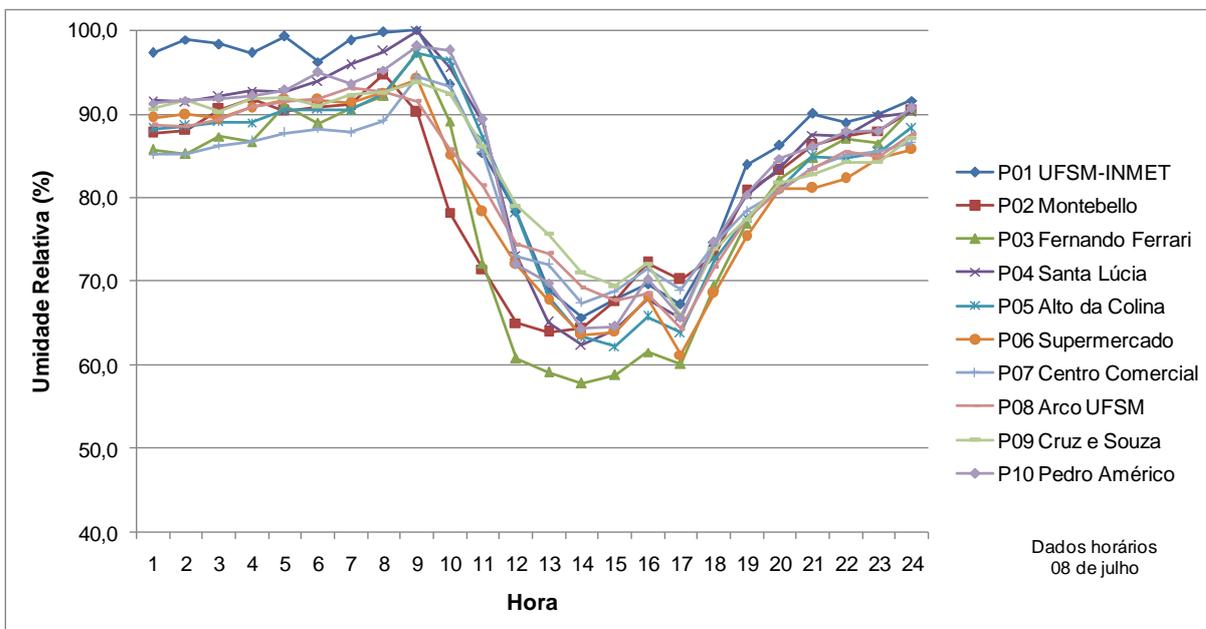


Figura 10 – Umidade relativa do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 08 de julho de 2014, período de inverno.

Apêndice D (continuação)

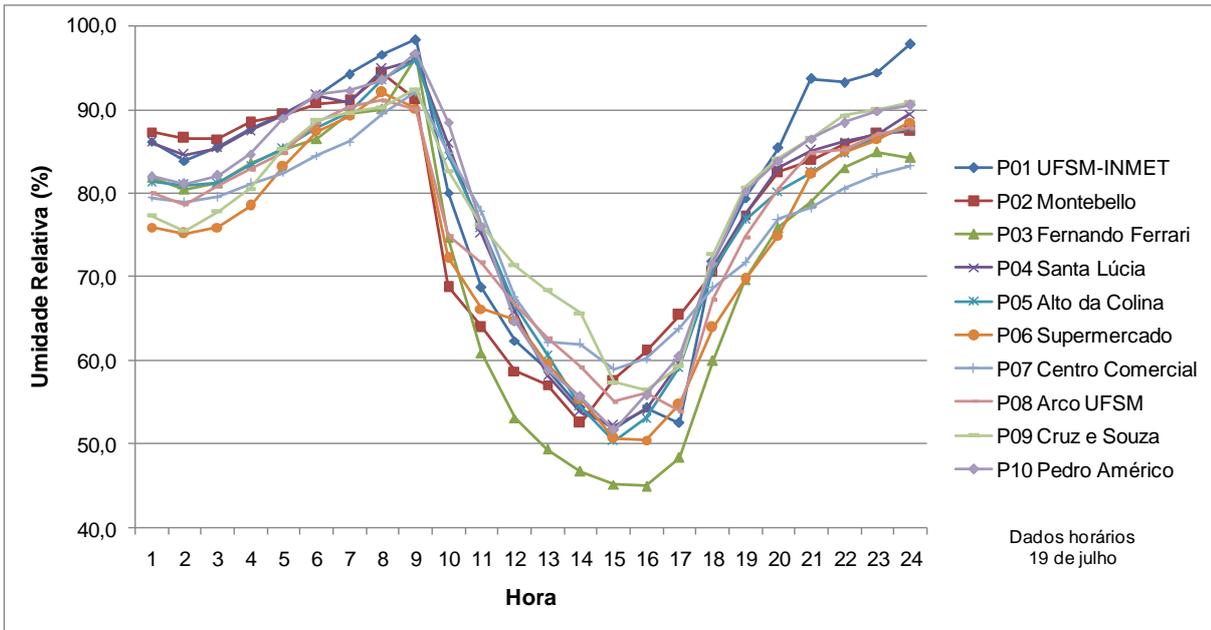


Figura 11 – Umidade relativa do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 19 de julho de 2014, período de inverno.

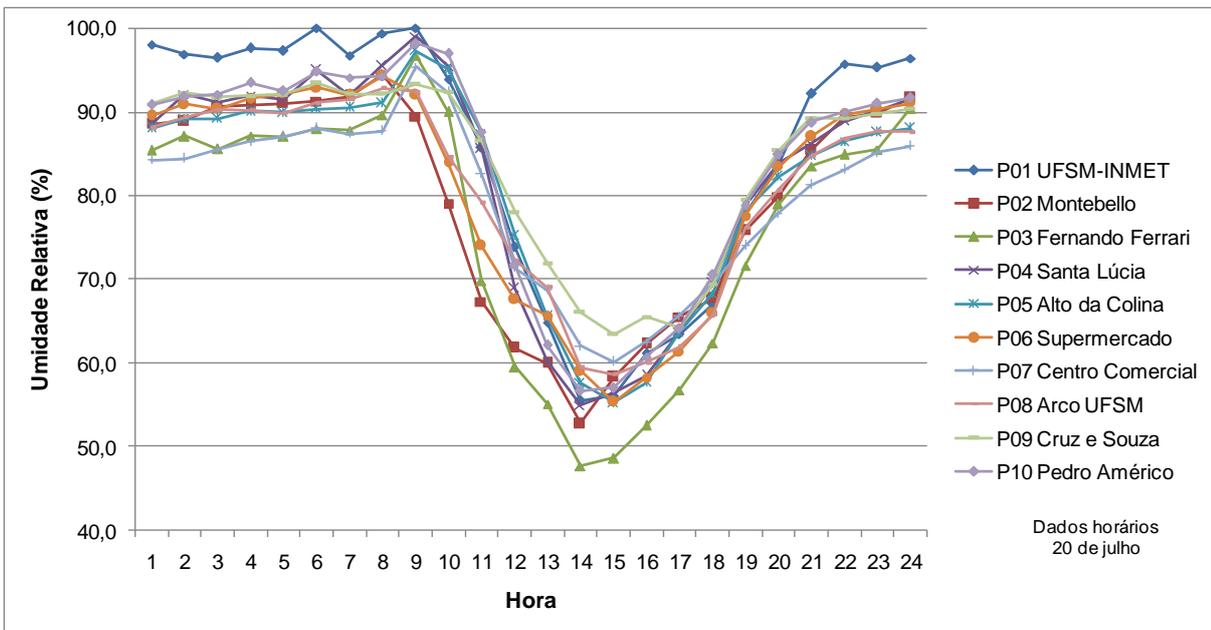


Figura 12 – Umidade relativa do ar nos 10 pontos da pesquisa durante o dia 20 de julho de 2014, período de inverno.