LISANA KATIA SCHMITZ

REESTRUTURAÇÃO URBANA E CONFORTO TÉRMICO EM CURITIBA/PR: diagnóstico, modelagem e cenários.

CURITIBA

2014

LISANA KATIA SCHMITZ

REESTRUTURAÇÃO URBANA E CONFORTO TÉRMICO EM CURITIBA/PR: diagnóstico, modelagem e cenários.

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: **Prof. Dr. Francisco Mendonça**
Coorientador: **Prof. Dr. Wilfried Endlicher**
(Humboldt Universität – Berlim)

CURITIBA

2014

S355 Schmitz, Lisana Katia
Reestruturação urbana e conforto térmico em Curitiba/PR: diagnóstico, modelagem e cenários / Lisana Katia Schmitz. – Curitiba, 2014.
298f. : il. color. ; 30 cm.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2014.

Orientador: Francisco Mendonça -- Coorientador: Wilfried Endlicher .
Bibliografia: p. 287-298.

1. Climatologia urbana. 2. Planejamento urbano - Fatores climáticos. 3. Conforto térmico. I. Universidade Federal do Paraná. II. Mendonça, Francisco III. Endlicher , Wilfried . IV. Título.

CDD: 720.47

MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para a argüição da Tese de Doutorado, apresentada pelo (a) candidato (a) **LISANA KATIA SCHMITZ SANTOS** intitulada **"REESTRUTURAÇÃO URBANA E CONFORTO TÉRMICO EM CURITIBA/PR: DIAGNÓSTICO, MODELAGEM E CENÁRIOS"**, para obtenção do grau de Doutor em Geografia, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná Área de Concentração **Espaço, Sociedade e Ambiente**, Linha de Pesquisa Produção e Transformação do Espaço Urbano e Regional.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o (a) candidato (a), são de parecer pela APROVADO da Tese.

Curitiba, 16 de abril de 2014.

Nome e Assinatura da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco de Assis Mendonça – Orientador

Profª. Drª. Miriam Vizintim – UEL

Profª. Drª. Cristina de Araujo Lima – Depto Arquitetura/UFPR

Prof. Dr. Edson Soares Fialho - UFV

Profª. Drª. Sony Cortese Caneparo – PPGGEO/UFPR

Aos meus pais Augusto e Loreny e as minhas irmãs Liliany e Luciani.

Por todo amor, pela compreensão e pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas e instituições que contribuíram de algum modo para a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Francisco Mendonça, pela oportunidade ímpar de desenvolver esse tema de pesquisa, pela valiosa orientação, contribuições e confiança;

Ao Prof. Dr. Wilfried Endlicher, da *Humboldt Universität*, Alemanha, pela recepção e acolhida em Belim, pela orientação, contribuições e disponibilização de referências durante minha permanência no Instituto de Geografia.

À Dra. Eliane Dumke, pela amizade, pela disponibilização de referências e pelas valiosas discussões durante o desenvolvimento da pesquisa;

À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado sanduíche;

Aos professores, funcionários e colegas do PPGEO/UPR;

Ao Laboratório de Climatologia do Departamento de Geografia da UFPR e seus integrantes, pelo empréstimo dos equipamentos e auxílio prestado;

Aos graduandos dos cursos de Geografia e de Arquitetura e Urbanismo da UFPR e da UTFPR que participaram do monitoramento em campo e em especial à Andréia Une que colaborou diretamente no desenvolvimento da pesquisa;

Aos colegas do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFPR que me substituíram durante meu afastamento e em especial aos colegas Paulo Pacheco, Marco Dudeque e Paulo Barnabé;

Às instituições que cederam seus dados: IPPUC, INMET, SIMEPAR, INPE;

À Maria Inês de Oliveira pelo apoio na coordenação do Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento da UFPR durante o desenvolvimento do doutorado.

À Rachel Endlicher, pela amizade, pela hospitalidade e pelo carinho com o qual me acolheu em lar em Berlim;

Aos meus companheiros de todas as horas Osho Go e Kirisame.

RESUMO

A cidade de Curitiba experimentou intenso crescimento demográfico nas últimas décadas, ultrapassando 1,75 milhões de habitantes em 2010 (IBGE, 2010) e, embora apresentando taxas de crescimento próximas de 1% ao ano, segundo o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba tem previsão de acréscimo de cerca de 130 mil habitantes para 2040 (IPPUC, 2013). O município possui 435 quilômetros quadrados de superfície, praticamente toda loteada, e para acomodar o crescimento previsto para as próximas décadas deverá sofrer o aumento da taxa de densidade, o qual se reflete em adensamento, verticalização e na consolidação da ocupação especialmente na região sul da cidade. Paralelamente ao crescimento demográfico, seguem em curso diversas obras de reestruturação urbana, tanto em decorrência do processo de metropolização e revisão do plano diretor, como de preparação para receber a copa do mundo de 2014 e também do início da construção da primeira linha de metrô. A passagem do metrô no Eixo Estrutural Sul, induzirá à aceleração da consolidação urbana na área e impactará o clima e o conforto térmico urbano. Considerando os prognósticos divulgados pelo Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC) da ONU, que prevê um aumento nas temperaturas médias variando entre 1,8^{o}C e 4,0^{o}C, a questão do conforto térmico nos espaços abertos urbanos torna-se de extrema relevância. Por esse motivo, o objetivo geral da pesquisa é o de simular as condições climáticas futuras em cenários do microclima local, para os anos de 2036 e 2061, e com base nesses cenários, avaliar o conforto térmico em espaços abertos, assim como diretrizes de desenho urbano que possam mitigar os efeitos do aquecimento global na área estudada do Eixo Estrutural Sul de Curitiba-Paraná e em novas áreas de ocupação urbana. A metodologia baseia-se no Sistema Ambiental Urbano (MENDONÇA, 2004), sendo essa desenvolvida por meio de etapas relativas à: 1) fundamentação teórica; 2) levantamento e sistematização de dados, tanto de caracterização do clima como do meio ambiente em área do Bairro Batel no Setor Especial Estrutural – zoneamento onde se insere o Eixo Estrutural Sul; 3) Modelagem de cenários para o clima urbano e conforto térmico presente e futuros considerando as transformações para os próximos 50 anos; 4) simulação da aplicação de diferentes ações de desenho urbano para a melhoria do conforto térmico, utilizando o software ENVI-met; e, 5) Indicação de diretrizes de desenho urbano que contribuam para a melhoria do conforto térmico, tanto para ocupações em consolidadas ou em consolidação, como no caso da área estudada, assim como para novas ocupações. Os resultados obtidos, através da simulação de cenários futuros e de cenários de intervenção em aspectos do desenho urbano, demonstram que até mesmo ações simples, de curto e médio prazo, podem influenciar o microclima e o conforto térmico urbano, sendo possível estabelecer diretrizes de intervenção capazes de reduzir significativamente os efeitos do aquecimento global sobre o microclima e o conforto térmico nos espaços abertos do Setor Especial Estrutural curitibano nos próximos 50 anos.

Palavras-chave: Clima urbano; conforto térmico; desenho urbano; Curitiba.

ABSTRACT

The city of Curitiba tried intense demographic growth in the last decades, crossing 1,75 million inhabitants in 2010 (IBGE 2010) and, although presenting growth rate close from 1% the year, according to the Institute of Research and Urban Planning of Curitiba already exists forecast of demographic growth about 130 inhabitants to 2040 (IPPUC, 2013). The municipal district possesses 435 square kilometers of surface, practically all lotted, and for to accommodate the growth foreseen to next decades it should suffer the increase of the urban density, which reflects itself in density, verticalization and in the consolidation of the urban occupation especially in the south area of the city. Parallel to the demographic growth, they proceed in course several work of urban restructuring, so much due to the metropolization process and revision of the master plan, like of preparation to receive the World cup of 2014 and also to begin the build of the first subway line. The passage of the subway in the Structural Axis South, it will induce to the acceleration of the urban consolidation in the area and will impact the climate and the urban thermal comfort. Considering the prognostics published by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the UN, that foresees an increase in the mean temperatures varying between 1,8^{o}C and 4,0^{o}C, the theme of the thermal comfort in the open spaces becomes extreme relevance. For that reason, the general objective of the research it's of simulating the future climatic conditions in sceneries of the local microclimate, for the years of 2036 and 2061, and with base in those sceneries, to evaluate the thermal comfort in open spaces, as well the urban drawing guidelines that can mitigate the effect of the global warming in the study area of the Axis Structural South of Curitiba-Paraná and in new areas of urban occupation. The methodology bases itself on the Urban Environmental System (MENDONÇA 2004), being that developed through relative stages to the: 1) theoretical fundament; 2) field survey and systemization of data, so much of the characterization of the climate as well of the urban environment in area of the Neighborhood Batel in the Structural Special Sector, zone where it's inserted the Structural Axis South; 3) modeling of actual and future sceneries of the urban climate and thermal comfort, considering the transformations of the next 50 years; 4) simulation of the application of different actions of urban design to the improvement of the thermal comfort, using the software ENVI-met; and, 5) indication of guidelines from urban design that can contribute to the improvement of the thermal comfort, so much for consolidated occupations or in consolidation, like in the study area, as well to the new occupations. The obtained results, through the simulation of future sceneries and of intervention sceneries in aspects of the urban design, demonstrate that even simple actions, of short and medium period, can influence the microclimate and the urban thermal comfort, being possible to establish intervention guidelines capable to reduce the effects of the global warming significantly on the microclimate and the thermal comfort in the urban open spaces of the Curitiba's Structural Special Sector in the next 50 years.

Keywords: urban climate; thermal comfort; urban design; Curitiba.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA I.1.1 – ESCALAS HORIZONTAL E VERTICAL EM ÁREAS URBANAS. 32
FIGURA I.1.2 - CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES ATMOSFÉRICAS URBANAS 33
FIGURA I.1.3 – PERFIL DA ILHA DE CALOR URBANA 45
FIGURA I.1.4 - EFEITO DA RUGOSIDADE NO PERFIL DE VELOCIDADE DO VENTO 49
FIGURA I.1.5 – EFEITO DA VENTILAÇÃO EM DIFERENTES PADRÕES OCUPAÇÃO. 50
FIGURA I.1.6 – COMPORTAMENTO DA VENTILAÇÃO NO TECIDO URBANO. 52
FIGURA I.1.7 - EFEITO DA DENSIDADE CONSTRUÍDA NA VENTILAÇÃO URBANA. 53
FIGURA I.1.8 - IMPACTO DA RADIAÇÃO SOLAR EM DIFERENTES DENSIDADES. 54
FIGURA I.3.1 – SISTEMA CLIMA URBANO (MONTEIRO, 1976) SIMPLIFICADO 112
FIGURA I.3.2 – SISTEMA AMBIENTAL URBANO SIMPLIFICADO. 113
FIGURA I.3.3 – O CONFORTO TÉRMICO INSERIDO NO S.A.U. 115
FIGURA I.3.4 – FLUXO GERAL DOS DADOS NO ENVIMET. 117
FIGURA I.3.5 – VISÃO GERAL ESQUEMÁTICA DO MODELO. 119
FIGURA I.3.6 – DEFINIÇÃO DO VALOR VERTICAL PARA AS CÉLULAS (GRIDS). 120
FIGURA I.3.7 – EXTENSÃO DO MODELO URBANO NO ENVIMET (ENVI-EDDI). 121
FIGURA II.1.1 – RECORTE ESPACIAL SETOR ESTRUTURAL DE CURITIBA. 135
FIGURA II.1.2 – ROTEIRO METODOLÓGICO DA PESQUISA. 144
FIGURA II.1.3 – EVOLUÇÃO MANCHA URBANA RMC 1955 A 2020 148
FIGURA II.1.4 – ZONAS E SETORES DE USO LEI 9.800/2000 150
FIGURA II.1.5 – SISTEMA VIÁRIO ESQUEMÁTICO (LEI 9.800/2000) 152
FIGURA II.1.6 – EIXOS ESTRUTURANTES E DE ADENSAMENTO LEI 9800/2000. 153
FIGURA II.1.7 – EIXO ESTRUTURAL SUL – AVENIDA REPÚBLICA ARGENTINA 156
FIGURA II.1.8 – FORMA URBANA “TENTACULAR” SETORES ESTRUTURAIS 157
FIGURA II.1.9 – FORMA URBANA RESULTANTE EIXO NORTE-SUL 159
FIGURA II.1.10 – SISTEMA TRINÁRIO E FORMA URBANA 159
FIGURA II.1.11 – CARTA SOLAR PARA CURITIBA - ANO 2006 160
FIGURA II.1.12 – TEMPERATURAS MÉDIAS PARA CURITIBA 1961-2000 162
FIGURA II.1.13 – UMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL CURITIBA 1961-2000 163
FIGURA II.1.14 – PRECIPTAÇÃO MÉDIA MENSAL CURITIBA 1971-2000 164
FIGURA II.1.15 – PRECIPTAÇÃO ANUAL CURITIBA 1971-2000 164
FIGURA II.1.16 – VISTA DE ESTRUTURAL SUL A PARTIR DO BAIRRO ÁGUA VERDE 167
FIGURA II.1.17 – ESPACIALIZAÇÃO ÁREAS VERDES 2007 168
FIGURA II.1.18 – BAIRROS ESTUDADOS POR KRÜGER E ROSSI 2002 170

FIGURA II.2.1 - LOCAIS DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO RECORTE ESPACIAL 174
FIGURA II.2.2 – ABRIGOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS NO MONITORAMENTO. 175
FIGURA II.2.3 – VISTA AÉREA DO RECORTE ESPACIAL: QUADRA BAIRRO BATEL. 175
FIGURA II.2.4 – ZONEAMENTO NA ÁREA ESTUDADA. 176
FIGURA II.2.5 – NÚMERO DE PAVIMENTOS DOS EDIFÍCIOS NA ÁREA ESTENDIDA. 177
FIGURA II.2.6 – COBERTURA DO SOLO E USO DAS EDIFICAÇÕES NA ÁREA ESTUDADA.....177
FIGURA II.2.7 – COBERTURA DO SOLO E USO DAS EDIFICAÇÕES NA ÁREA ESTUDADA.....178
FIGURA II.2.8 – AV.SILVA JARDIM: BATEL 180
FIGURA II.2.9 – R. ESTEVÃO BAYÃO: BATEL. 180
FIGURA II.2.10 – TEMPERATURAS MÉDIAS ANO DE 2011 E DA DÉCADA 2000-2010. 181
FIGURA II.2.11 – ANÁLISE RÍTMICA HORÁRIA DIA 22 FEVEREIRO DE 2011.....182
FIGURA II.2.12 – ANÁLISE RÍTMICA HORÁRIA DIA 11 AGOSTO DE 2011. 183
FIGURA II.2.13 – CORRELAÇÃO TA E TS DAS PAREDES (VERÃO E INVERNO).....186
FIGURA II.2.14 – CORRELAÇÃO TA E TS DAS CALÇADAS (VERÃO E INVERNO). 187
FIGURA II.2.15 – CORRELAÇÃO TA E TS DO ASFALTO (VERÃO E INVERNO). 187
FIGURA II.2.16 – ANÁLISE RÍTMICA POR ORIENTAÇÃO DA FACE DE QUADRA (VERÃO). 188
FIGURA II.2.17 – ANÁLISE RÍTMICA POR ORIENTAÇÃO DA FACE DE QUADRA (INVERNO). ...189
FIGURA II.2.18 – ÁREA DO MODELO INICIAL X ÁREA SIMULADA.....192
FIGURA II.2.19 – CORRELAÇÃO DADOS MONITORADOS x SIMULADOS (22/02/2011). 201
FIGURA II.2.20 – CURVA DE TEMPERATURA MONITORADA x SIMULADA (22/02/2011). 201
FIGURA II.2.21 – CORRELAÇÃO DADOS MONITORADOS x SIMULADOS (11/08/2011). 202
FIGURA II.2.22 – CURVA DE TEMPERATURA MONITORADA x SIMULADA (11/08/2011). 203
FIGURA II.2.23 – RESULTADO SIMULAÇÕES DO CENÁRIO DE 2011. 204
FIGURA II.2.24 – CENÁRIO DE CONFORTO TÉRMICO URBANO PARA 2011. 207
FIGURA II.2.25 - TIPOLOGIA EDIFICADA E GRAU DE CONSOLIDAÇÃO DA QUADRA EM 2011.209
FIGURA II.2.26 – TERRENOS CONSOLIDADOS X NÃO CONSOLIDADOS. 210
FIGURA II.2.27 - CENÁRIO FUTURO 2036 (2011 + 25 ANOS). 211
FIGURA II.2.28 - CENÁRIO FUTURO 2061 (2011 + 50 ANOS). 212
FIGURA II.2.29 – PERFIL CENÁRIO 2036 COM H/W = 1.1. 212
FIGURA II.2.30 - PERFIL CENÁRIO 2061 COM H/W = 1.2. 213
FIGURA II.2.31 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS INVERNO (11/08/2011).....218
FIGURA II.2.32 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS VERÃO (22/02/2011). 220
FIGURA II.2.33 – CONFORTO TÉRMICO FUTURO: SIMULAÇÕES DE INVERNO. 221
FIGURA II.2.34 – CONFORTO TÉRMICO FUTURO: SIMULAÇÕES DE VERÃO. 222
FIGURA II.3.1 – UTCI CENÁRIOS RUGOSIDADE (INVERNO E VERÃO). 225

FIGURA II.3.2 – UTCI CENÁRIOS POROSIDADE (INVERNO E VERÃO). 228
FIGURA II.3.3 – UTCI CENÁRIOS DENSIDADE CONSTRUÍDA (INVERNO E VERÃO). 231
FIGURA II.3.4 – UTCI CENÁRIOS OCUPAÇÃO DO SOLO (INVERNO E VERÃO). 236
FIGURA II.3.5 – UTCI CENÁRIOS ORIENTAÇÃO (INVERNO E VERÃO). 239
FIGURA II.3.6 – UTCI CENÁRIOS DENSIDADE CONSTRUÍDA (INVERNO E VERÃO). 241
FIGURA II.3.7 – UTCI CENÁRIOS ALBEDO ALTO (INVERNO E VERÃO). 245
FIGURA II.3.8 – UTCI CENÁRIOS ÁREAS VERDES (INVERNO E VERÃO).....249
FIGURA II.3.9 – MODELOS DE ÁREA DE ENTRADA DAS SIMULAÇÕES FINAIS. 258
FIGURA II.3.10 – TEMPERATURA EQUIVALENTE UTCI FINAIS (INVERNO E VERÃO). 259
FIGURA II.3.11 – Ta, Trm, UR e Va PARA SIMULAÇÕES FINAIS DE INVERNO. 261
FIGURA II.3.12 – Ta, Trm, UR e Va PARA SIMULAÇÕES FINAIS DE VERÃO. 262
FIGURA II.3.13 – ESPACIALIZAÇÃO DA Trm V2061, V2061 CONSOL. E V2061 NOVOS 6P. 266
FIGURA II.3.14 – POROSIDADE, ARRANJO ORTOGONAL, XADREZ E 45 GRAUS (VERÃO). 267
FIGURA II.3.15 – TRM ORIENTAÇÃO NE-SO, N-S, L-O (VERÃO). 269
FIGURA II.3.16 – ESPACIALIZAÇÃO Trm ORIENTAÇÕES NE-SO, N-S, L-O (VERÃO). 270
FIGURA II.3.17 – ESPACIALIZAÇÃO UR PARA PERMEABILIDADE (VERÃO). 271
FIGURA II.3.18 – Ta E Trm PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS MATERIAIS (VERÃO). 273
FIGURA II.3.19 – Ta E Trm INTENSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO (VERÃO). 275
FIGURA II.3.20 – MODELOS DE OCUPAÇÃO EM ÁREAS CONSOLIDADAS OU NOVAS. 276
FIGURA II.3.21 – Ta E Trm MODELOS CUMULATIVOS (VERÃO). 278

LISTA DE TABELAS

TABELA II.1.1 – TEMPERATURA DO AR CURITIBA /NORMAIS CLIMATOLÓGICAS, 1961-2000. 163
TABELA II.2.1 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE COBERTURA DO SOLO. 179
TABELA II.2.2 – QUANTIFICAÇÃO CLASSES COBERTURA DO SOLO RECORTE ESPACIAL. ...179
TABELA II.2.3 – VARIÁVEIS COLETADAS EM CAMPO FEV./2011: MÉDIAS GERAIS. 185
TABELA II.2.4 – VARIÁVEIS COLETADAS EM CAMPO EM AGOSTO/2011: MÉDIAS GERAIS. 186
TABELA II.2.5 – VALORES DE REFERÊNCIA DOS DIAS SIMULADOS. 199
TABELA II.2.6 – VALORES SIMULADOS X VALORES COLETADOS EM CAMPO. 203
TABELA II.2.7 – UR e Va: VALORES SIMULADOS X VALORES COLETADOS EM CAMPO. 205
TABELA II.2.8 – UTCI TEMPERATURAS 2036, 2061, MINMED E MINABS (22/02/2011). 221
TABELA II.2.9 – UTCI TEMPERATURAS 2036, 2061, MAXMED E MAXABS (22/02/2011). 223
TABELA II.3.1 – UTCI PARA RUGOSIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011). 226
TABELA II.3.2 – UTCI PARA RUGOSIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 227

TABELA II.3.3 – UTCI PARA POROSIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011). 229
TABELA II.3.4 – UTCI PARA POROSIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 229
TABELA II.3.5 – UTCI DENS. CONSTRUÍDA, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011). 232
TABELA II.3.6 – UTCI DENS. CONSTRUÍDA, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 232
TABELA II.3.7 – UTCI LARGURA DAS VIAS, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 234
TABELA II.3.8 – UTCI LARGURA DAS VIAS, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 235
TABELA II.3.9 – UTCI TAXA DE OCUPAÇÃO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011). 237
TABELA II.3.10 – UTCI TAXA DE OCUPAÇÃO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 238
TABELA II.3.11 – UTCI PARA ORIENTAÇÃO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011). 240
TABELA II.3.12 – UTCI PARA ORIENTAÇÃO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 240
TABELA II.3.13 – UTCI PERMEABILIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011). 242
TABELA II.3.14 – UTCI PERMEABILIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 243
TABELA II.3.15 – UTCI PARA ALBEDO ALTO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011). 246
TABELA II.3.16 – UTCI PARA ALBEDO ALTO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 246
TABELA II.3.17 – UTCI PARA ÁREAS VERDES, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011). ..250
TABELA II.3.18 – UTCI PARA ÁREAS VERDES, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). ..250
TABELA II.3.19 – UTCI SIMULAÇÕES FINAIS, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 260
TABELA II.3.20 – UTCI SIMULAÇÕES FINAIS, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011). 260
TABELA II.3.21 – RESULTADOS SIMULAÇÕES FINAIS Ta, Trm, Va, UR e UTCI. 265
TABELA II.3.22 – TAMANHO DA ESTRUTURA URBANA, VALORES UTCI. 268
TABELA II.3.23 – EFEITO DAS DIFERENTES ORIENTAÇÕES SOBRE O UTCI. 269
TABELA II.3.24 – EFEITO PERMEABILIDADEDO SOLO SOBRE O UTCI. 271
TABELA II.3.25 – RESULTADOS PROPR. TERMODINÂMICAS DOS MATERIAIS (VERÃO). 272
TABELA II.3.26 – RESULTADOS INTENSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO (VERÃO). 274
TABELA II.3.27 – RESULTADOS MODELOS CUMULATIVOS (VERÃO). 277

LISTA DE QUADROS

QUADRO I.1.1 - ORGANIZAÇÃO DAS ESCALAS ESPACIAL E TEMPORAL DO CLIMA. 31
QUADRO I.1.2 – CARACTERÍSTICAS URBANAS IMPORTANTES PARA FORMAÇÃO DE ICs. 35
QUADRO I.1.3 – MATRIZ DE INTERAÇÃO ENTRE MEIO NATURAL E MEIO URBANO. 40
QUADRO I.1.4 – ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA AS REGIÕES CLIMÁTICAS. 42
QUADRO I.1.5 - CLASSIFICAÇÃO SIMPLIFICADA DA ZONA CLIMÁTICA URBANA. 51
QUADRO I.1.6 – CATEGORIZAÇÃO DE ESPAÇOS SEGUNDO RELAÇÃO W/H. 54
QUADRO I.1.7 - PROPRIEDADES RADIANTES DE MATERIAIS URBANOS. 62

QUADRO I.1.8 – EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NAS CIDADES. 67
QUADRO I.1.9 – ADEQ. DESCONFORTO CALOR – PERSP. HUMANO-BIOMETEOROLÓGICA.... 68
QUADRO I.1.10 – ADEQUAÇÃO DESCONFORTO CALOR – CONSERVAÇÃO DA ÁGUA. 69
QUADRO I.1.11 – SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO PARA A ALTA PRECIPITAÇÃO. 70
QUADRO I.1.12 – SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO PARA PERÍODOS DE SECA. 71
QUADRO I.1.13 – PRINCIPAIS ÍNDICES DE CONFORTO E SUA IMPORTÂNCIA. 77
QUADRO I.1.14 – FAIXAS DE CONFORTO/DESCONFORTO TÉRMICO UTCI. 83
QUADRO I.1.15 - PESQUISAS CONFORTO TÉRMICO PUBLICADAS NOS ANAIS DO ENCAC. 87
QUADRO II.2.1 – CONFIGURAÇÃO DO DOMÍNIO ESPACIAL (MODEL DOMAIN). 193
QUADRO II.2.2 – PARÊMETROS DE CONFIGURAÇÃO DO MODELO PARA 2011. 195
QUADRO II.2.3 – PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO ENVI-MET MODELO 2011. 197
QUADRO II.2.4 – PARÊMETROS DE CONFIGURAÇÃO DA ÁREA MODELADA PARA 2011. 198
QUADRO II.3.1 – ADEQUAÇÃO AO DESCONFORTO POR CALOR. 253
QUADRO II.3.2 – ADEQUAÇÃO DESCONFORTO POR CALOR E CONSERVAÇÃO DA ÁGUA. ... 254
QUADRO II.3.3 – ADEQUAÇÃO PARA A ALTA PRECIPITAÇÃO. 255
QUADRO II.3.4 – ADEQUAÇÃO PARA PERÍODOS DE SECA. 256
QUADRO II.3.5 – SÍNTESE DAS SIMULAÇÕES E RESULTADOS OBTIDOS. 256

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CE	Calor Equivalente
Ec	Massa de ar Equatorial Continental
ET	*Effective Temperature* Temperatura efetiva
ET*	*New Effective Temperature* - Nova temperatura efetiva
ENCAC	Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
FVC	Fator de visão do céu
HSI	*Heat Stress Index*
ITS	*Index of Thermal Stress*
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change*
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
ISB	*International Society of Biometeorology*
MC	Massa construída
PA	Massa de ar Polar Atlântica
PDI	Plano de Desenvolvimento Integrado
PET	*Physiological Equivalent Temperature* - Temperatura fisiológica equivalente
PMV	*Predicted Mean Vote* Voto Médio Estimado
PPD	*Predicted Percentage of Dissatisfied*
P4SR	*Predictable Four Hour Sweat Rate*
RT	*Resistant Temperature*
S.A.U.	Sistema Ambiental Urbano
SCU	Sistema Clima Urbano
TA	Massa de ar Tropical Atlântica
Tc	Massa de ar Tropical Equatorial
TO	Temperatura Operativa
TRY	*Test Reference Year* - ano climático de referência
UTCI	*Universal Thermal Comfort Index*
SET*	*New Standard Effective Temperature* - Nova temperatura efetiva padrão
SIG	Sistema de Informações Geográficas
WBGT	*Wet Bulb Globe Temperature*
WMO	World Meteorological Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

CO_2	Dióxido de Carbono
Ta	Temperatura do ar (°C).
UR	Umidade relativa do ar (%).
Va	Velocidade do ar (m/s).
Trm	Temperatura radiante média (°C).
Tg	Temperatura de globo , em °C
M	Taxa de metabolismo (W/m^2).
W	Taxa de trabalho mecânico realizado (W/m^2)
fcl	Fator de área da vestimenta.
MC	Massa construída por unidade de área (Kg/m^2).

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 17
PROBLEMA DE PESQUISA 20
OBJETIVO GERAL DA PESQUISA 21
HIPÓTESE DE PESQUISA 21
JUSTIFICATIVA 22
ESTRUTURA DO TRABALHO 23
PARTE I. CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO: APORTES TEÓRICO METODOLÓGICOS. 26
INTRODUÇÃO PARTE I. 26
CAPÍTULO 1. CLIMA E URBANIZAÇÃO 28
I. 1.1. FORMAÇÃO E ESCALAS DE ORGANIZAÇÃO DO CLIMA URBANO 28
I.1.1.1. Escalas de organização do clima urbano 29
I.1.1.2. O microclima urbano 34
I.1.2. MICROCLIMA URBANO E SUA RELAÇÃO COM O DESENHO URBANO 37
I.1.2.1. Proposições do urbanismo bioclimático para ocupações urbanas em face da relação entre Meio Natural e Meio Urbano 37
I.1.2.2. O impacto do desenho urbano nas variáveis climáticas 42
I.1.2.3. Estratégias de desenho urbano para melhoria do conforto térmico urbano 48
I.1.3. ESTRATÉGIAS PARA PROTEÇÃO DO CLIMA E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS 66
CAPÍTULO 2. CONFORTO TÉRMICO URBANO 72
I. 2.1. CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS 72
I.2.1.2. Variáveis ambientais que influem sobre o conforto térmico 73
I.2.2. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO 75
I.2.2.1. Voto Estimado Médio e Temperatura Equivalente Fisiológica 80
I.2.2.2. Índice Universal de Conforto Térmico (*Universal Thermal Comfort Index* -UTCI) 82
I.2.3. ESTUDOS SOBRE O CONFORTO TÉRMICO NO BRASIL 84
I.2.3.1. Pesquisas de mestrado e doutorado 84
I.2.3.2. Pesquisas de conforto térmico em espaços abertos 85
I.2.3.3. Pesquisas sobre Microclima e Morfologia Urbana 88
I.2.3.3. Pesquisas sobre Microclima e Conforto Térmico em espaços abertos 90
CAPÍTULO 3. MODELIZAÇÃO E CENÁRIOS DO CLIMA E CONFORTO TÉRMICO URBANO: PROPOSIÇÕES METODOLÓGICO-TÉCNICAS, UM RESGATE DA LITERATURA. 96

I.3.1. AS DIFERENTES ABORDAGENS METODOLÓGICAS 96
I.3.1.1. Modelos empíricos 97
I.3.1.2. Modelos de balanço de energia e Fluidodinâmicos 97
I.3.1.3. Modelos analíticos 98
I.3.1.4. Modelos computacionais 101
I.3.2. MÉTODOS DA ECOLOGIA URBANA 102
I.3.2.1. Transepto urbano-ecológico 102
I.3.2.2. Mapeamento, análise e classificação das categorias de uso do solo e diferentes tipos de estruturas urbanas. 104
I.3.2.3. Sensoriamento Remoto e sistemas de informação geográfica 106
I.3.2.4. Cenários e Modelos 108
I.3.3. O SISTEMA AMBIENTAL URBANO – S.A.U. 111
I.3.4. MODELIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS DO CLIMA E DO CONFORTO TÉRMICO COM USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS 115
I.3.4.1. Características principais do ENVI-met. 117
I.3.4.2. Estudos realizados com uso do ENVI-met 122
I.3.4.3. Limitações do ENVI-met. 126
SINOPSE PARTE I 129

PARTE II. CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO EM CURITIBA: DIAGNÓSTICO, CENÁRIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS EM FACE DO DESENVOLVIMENTO URBANO E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. 131

INTRODUÇÃO PARTE II. 131

CAPÍTULO 1. METODOLOGIA DE PESQUISA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS. 133

II.1.1. O ROTEIRO METODOLÓGICO DA PESQUISA 133
II.1.1.1. Fase 1 - Fundamentação teórica e proposição metodológica. 134
II.1.1.2. Fase 2 - Estudo do campo termodinâmico e indicação de diretrizes para o desenho urbano 137
II.1.1.3. Desenvolvimento do roteiro metodológico 143
II. 1.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: RECORTE ESPACIAL. 146
II.1.2.1. Evolução da área urbana de Curitiba. 147
II.1.2.2. Desenvolvimento, reestruturação e perspectivas futuras. 154
II.1.2.3. O Setor Estrutural no Bairro Batel. 156
II.1.1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE CURITIBA: RECORTE TEMPORAL 159
II.1.3.1. O clima urbano de Curitiba 159
II.1.3.2. Ambientes climáticos intraurbanos em Curitiba. 165
II.1.3.3. O microclima no Setor Estrutural 170

CAPÍTULO 2. CLIMA E CONFORTO TÉRMICO EM CURITIBA: O CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS. 173

II.2.1. CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO NO EIXO ESTRUTURAL SUL NO ANO DE 2011. 173

II.2.1.1. Levantamento de variáveis climáticas desenvolvido em 2011. 173

II.2.1.2. Simulação das condições de inverno e verão, no ano de 2011, com uso do Software ENVI-met. 190

II.2.1.3. O conforto térmico em 2011: condições de inverno e verão. 206

II.2.2. CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO FUTURO EM SITUAÇÃO DE AQUECIMENTO GLOBAL. 207

II.2.2.1. Cenários futuros de ocupação da área de estudo: anos de 2036 e 2061. 208

II.2.2.2. Simulação das condições climáticas para os anos de máximas, médias, e cenários para 2036 e 2061 em inverno e verão. 214

II.2.2.3. O conforto térmico nos anos de 2036 e 2061: condições de inverno e verão. 220

CAPÍTULO 3. DIRETRIZES URBANAS E ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DO CLIMA E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS APLICADAS AOS CENÁRIOS FUTUROS: SEUS IMPACTOS SOBRE O CLIMA URBANO E O CONFORTO TÉRMICO NO EIXO ESTRUTURAL SUL 224

II.3.1. IMPACTOS SOBRE O CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS 224

II.3.1.1. Impactos no conforto térmico quanto às estratégias do desenho urbano 224

II.3.1.2. Impactos no conforto térmico quanto às estratégias de proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas 252

II.3.1.3. Verificação dos resultados da aplicação das diretrizes. 256

II.3.1.4. Cenários de síntese das diretrizes de desenho urbano. 257

II.3.2. INDICAÇÃO E REVISÃO DE DIRETRIZES DE DESENHO URBANO 263

II.3.2.1. Diretrizes de desenho urbano 264

II.3.2.2. Limitações do processo de simulação 278

SINOPSE PARTE II 281

CAPÍTULO 4: CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES. 283

4.1. CONCLUSÕES. 283

4.2. CONSIDERAÇÕES. 284

REFERÊNCIAS 287

INTRODUÇÃO GERAL

A partir da segunda metade do século XX o Brasil vivenciou um processo de urbanização sem precedentes, o qual trouxe consigo problemas diversos, principalmente socioambientais, especialmente naquela conjuntura de ocupação marcadamente desordenada e caracterizada pelo acelerado e acentuado incremento populacional. Foi também neste contexto que se deu o crescimento de Curitiba, em consequência do êxodo rural ocasionado pela mecanização do campo e impulsionado pela criação da Cidade Industrial de Curitiba em 1970. (SANTOS e SILVEIRA, 2006, p.106). O aumento na oferta de trabalho alavancado pela vinda de empresas montadoras de automóveis permitiu que os fluxos migratórios para a cidade permanecessem elevados e que, a partir da década de 1990, esses contribuíssem, inclusive, para o crescimento dos municípios que compõem a Região Metropolitana de Curitiba - RMC. (IPARDES, 2003, p.14).

No ano 2000, a cidade tinha aproximadamente 1,6 milhão de habitantes e segundo o Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba de 2006 (elaborado pela Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba - COMEC), estima-se para o ano de 2020 um crescimento de cerca de 267.000 habitantes. (COMEC, 2006).

Considerando que a superfície do município, de 435 quilômetros quadrados, está praticamente toda loteada e restam poucas áreas para expansão, no caso do esgotamento das fronteiras do município o aumento populacional se dará pelo crescimento na taxa de densidade. O IPPUC calculou o potencial de ocupação na cidade de Curitiba, segundo os parâmetros construtivos permitidos, verificando a reserva para consolidação da expansão em áreas já ocupadas, mas com baixo índice de ocupação, como é o caso da região ao sul da cidade. Constatou, então, que a Linha Verde, o Eixo Estrutural Sul e bairros da região sul da cidade (Sítio Cercado, Pinheirinho, Bairro Novo, Tatuquara, Umbará, Caximba, Campo de Santana e Ganchinho) têm potencial para abrigar outras 338.361 pessoas, ou seja, 25% a mais do que a previsão de acréscimo para todo município até 2020. (PMC, 2008a, p. 33-38).

A região sul da cidade já era a área com a maior demanda por transporte coletivo antes mesmo da elaboração do Plano de Mobilidade Urbana e Transporte Integrado (um dos Planos Setoriais de Adequação do Plano Diretor de 2004 ao Estatuto da Cidade, publicado em 2008), o qual expôs a demanda por transporte coletivo reprimida nessa área. Desde então, visando aumentar a capacidade do transporte público na região, foi implantado o sexto eixo[1] de transporte coletivo na Linha Verde e foi aprovada a construção da primeira linha do metrô curitibano, com início das obras previsto para o ano de 2014. Essa, que correrá no Eixo Estrutural Sul onde hoje circulam importantes linhas expressas atendidas por ônibus biarticulados, uma vez em operação, deverá funcionar como indutor do crescimento urbano, contribuindo para a consolidação da ocupação na região sul da cidade e especialmente ao longo do Eixo Estrutural Sul.

Os Eixos Estruturais[2] apresentam altas taxas de ocupação e elevados coeficientes de aproveitamento – permitidos pelos parâmetros de Uso e Ocupação do Solo de Curitiba -, configuração que gera uma tipologia edificada particular e contribui para formação de um cenário climático peculiar, que altera significativamente as interações climáticas, pois interfere na ventilação, na insolação e tende a confinar poluentes, provocando alterações no balanço energético e resultando na formação de ilhas de calor. (DANNI-OLIVEIRA, 2000, p.106).

Embora a ocupação dos Eixos Estruturais venha se desenvolvendo desde meados da década de 1970, ainda é significativo o número de terrenos nos quais as edificações apresentam coeficiente de aproveitamento e taxa de ocupação inferior aos valores permitidos naquela zona. E, considerando o papel indutor do metrô, a implantação da primeira linha deverá conduzir à substituição das edificações de baixo aproveitamento, de um e dois pavimentos, e à consolidação da ocupação nesses terrenos. Neste panorama, o clima intraurbano nessas áreas poderá sofrer expressivas alterações e um novo cenário climático poderá se conformar ali. Esse, sob a perspectiva do processo de aquecimento global, torna-se ainda mais preocupante, carente de

[1] Os Eixos de transporte coletivos que compõem Rede de Integrada de Transporte (RIT) são: Eixo Norte, Eixo Sul, Eixo Leste, Eixo Oeste, Eixo Boqueirão e da Linha Verde (PMC, 2008).

[2] Principais eixos viários de crescimento e adensamento da cidade, constituído preferencialmente por um sistema trinário de vias para o sistema de transporte coletivo, o tráfego de fluxo contínuo e o trafego local (Plano Diretor de 2004, Art. 13, Parágrafo I, p. 9).

investigação e da proposição de estratégias que possam mitigar, em alguma medida, os efeitos da crescente urbanização e do processo de aquecimento global.

Nesse sentido, de acordo com Rossi *et al.* (2009) a pressão demográfica das últimas décadas levou ao crescimento urbano e a conurbação de Curitiba com cidades vizinhas, contribuindo para o aumento da temperatura observado no mesmo período. Ao comparar o *Test Reference Year* (*TRY*), baseado nos dados da década de 1960 ao *TRY* baseado na série de dados 1998-2007, os autores notaram que houve o aumento médio de 1,9º C no período de 32 anos. E, segundo os mesmos, embora esse aumento tenha resultado no incremento de 20% na porcentagem de conforto térmico em relação a 1969, proporcionado pela redução do desconforto por frio, observa-se ainda a elevação nas temperaturas médias máximas e absolutas.

De acordo com o Quinto Relatório de Avaliação (*5th Assessment Report* - AR5) emitido pelo IPCC (2013), foi confirmada a elevação da temperatura média em 0,6^{o} C em relação ao século XX, e embora haja variação na taxa de aquecimento de ano para ano devido a variabilidade natural como o ciclo do *El Niño*, erupções vulcânicas, e variações solares, acredita-se que a tendência de aquecimento produzido pelo homem se mantem claramente. Ainda segundo o relatório, a década 2001-2010 foi a década mais quente desde que se iniciaram os registros de temperatura 160 anos atrás e desde 1985 nenhum ano registrou valores abaixo da média. No ano de 2011 calculou-se o aumento de 0,4^{o} C sobre a média do período 1961-1990 e também foi o ano mais quente marcado pelo efeito de resfriamento da La Niña. E o ano de 2012 foi o nono ano mais quente desde o início dos registros em 1850, registrando um aumento de 0,46^{o} C sobre a média do período 1961-1990.

A elevação da temperatura média impacta diretamente o conforto térmico, o qual não está relacionado somente à sensação de conforto das pessoas, mas também ao desempenho no trabalho e à saúde. Sendo esse obtido pelo efeito conjugado de fatores ligados ao clima (temperatura do ar, umidade relativa, movimento do ar e radiação), à vestimenta, além de fatores mais subjetivos tais como a aclimatação, forma e volume do corpo, metabolismo, etc. No que tange aos fatores relacionados ao clima, Givoni (1998) afirma que por meio de políticas urbanas e também do desenho urbano pode-se interferir no clima de determinada localidade, promovendo o conforto térmico dentro e fora das edificações.

No que se refere à avaliação do conforto térmico urbano, o Índice Universal de Conforto Térmico (*Universal Thermal Comfort Index - UTCI*), desenvolvido pela Sociedade Internacional de Biometeorologia (*International Society of Biometeorology – ISB*) com o objetivo de avaliar as condições de conforto térmico em ambientes externos baseando-se na resposta fisiológica do corpo humano. Esse, como um índice termofisiologicamente válido, segundo a ISB, pode se aplicado a todos os tipos de clima independente das características pessoais dos indivíduos. (ISB, 2001, 2003). E, sendo esse um dos índices mais atuais, foi utilizado para avaliar o conforto térmico na investigação da pesquisa.

No que diz respeito aos parâmetros urbanísticos relacionados ao conforto térmico, fatores como o local de implantação, o tamanho da estrutura urbana (cidade ou empreendimento), a densidade e altura das edificações, o afastamento entre elas e seu alinhamento em relação à rua, a taxa de permeabilidade do solo e sua cobertura, morfologia da tipologia edificada, etc, podem ser estudados para favorecer o conforto térmico e até mesmo reduzir consumo energético relativo à climatização e iluminação artificial dos edifícios. (Givoni, 1998).

Por conseguinte, considerando o processo de intensificação da urbanização no Eixo Estrutural Sul da cidade, onde a tipologia edificada se caracteriza pela concentração de edifícios de múltiplos pisos e intensa impermeabilização do solo, a presente pesquisa propõe a simulação de diferentes modelos, conjugando cenários futuros de clima e de ocupação urbana, para avaliação do grau de conforto térmico urbano resultante. Tais cenários de evolução da ocupação consorciados a aplicação de diferentes parâmetros urbanísticos (densidade construída, afastamentos, recuos, altura dos edifícios, taxa de permeabilidade, vegetação e arborização viária, materiais, etc.) e avaliados segundo o impacto produzido sobre o conforto térmico no ambiente urbano, permitem a indicação de recomendações e diretrizes de desenho urbano futuros.

PROBLEMA DE PESQUISA

Quais as principais diretrizes de desenho urbano que podem contribuir para mitigar os efeitos do aquecimento global em ocupações consolidadas e novas?

OBJETIVO GERAL DA PESQUISA

Simular as condições climáticas futuras em cenários do microclima local, para os anos de 2036 e 2061, e com base nesses cenários, avaliar o conforto térmico em espaços abertos, assim como diretrizes de desenho urbano que possam mitigar os efeitos do aquecimento global na área do Eixo Estrutural Sul investigada e em novas áreas de ocupação urbana.

Objetivos específicos:

a) Modelar cenários do microclima local, para os anos de 2036 e 2061, considerando a evolução das temperaturas médias prognosticada pelo IPCC (2013), assim como da consolidação da ocupação na área de estudo;

b) Estimar, por meio de simulação computacional, as condições climáticas para os anos de 2036 e 2061 e analisar o grau de conforto térmico percebido nos espaços abertos, na área de estudo;

c) Investigar, por meio de simulação computacional, a eficácia de estratégias proteção do clima e de adaptação às mudanças climáticas para o incremento do conforto térmico percebido nos espaços abertos, na área de estudo;

d) Investigar, por meio de simulação computacional, diretrizes de desenho urbano que favoreçam o conforto térmico percebido nos espaços abertos, na área de estudo;

e) Indicar quais diretrizes de desenho urbano favorecem com maior efetividade o conforto térmico percebido nos espaços abertos, tanto para aplicação em áreas de ocupação consolidada, representadas pela área de estudo, como também em novas áreas de ocupação urbana.

HIPÓTESE DE PESQUISA

A proposição ou alteração de diretrizes de desenho urbano pode contribuir para mitigar os efeitos da elevação das temperaturas médias provocada pelo aquecimento global, favorecendo o conforto térmico urbano em ambientes abertos, seja em cenários de consolidação da ocupação na área do Eixo Estrutural Sul em estudo, seja em áreas de novas ocupações.

JUSTIFICATIVA

A cidade de Curitiba experimentou intenso crescimento demográfico nas últimas décadas, ultrapassando 1,75 milhões de habitantes em 2010 (IBGE, 2010). Tal pressão demográfica levou ao crescimento urbano e a conurbação com cidades vizinhas, contribuindo para o aumento da temperatura observado no mesmo período. Rossi *et al.* (2009), ao comparar o *Test Reference Year* (TRY) baseado nos dados da década de 1960 ao TRY baseado na série de dados 1998-2007, notaram que houve o aumento médio de 1,9ºC no período de 32 anos. Embora esse aumento tenha resultado no incremento de 20% na porcentagem de conforto térmico em relação a 1969, pela redução do desconforto por frio, como salientam os autores, observa-se ainda a elevação nas temperaturas médias máximas e absolutas. O aumento da temperatura e da frequência na ocorrência de eventos climáticos extremos foi preconizado e reiterado pelos relatórios do IPCC (2007; 2013).

A terra, conforme Marengo (2009, p. 407-408), sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento. Períodos de intensa atividade geológica lançaram à superfície quantidades colossais de gases que formaram, várias vezes, uma espécie de bolha grossa sobre o planeta – um efeito estufa natural. Mas, atualmente, a atividade industrial afeta o clima terrestre em sua variação natural, o que sugere que a atividade humana é um fator determinante para o aquecimento. Para Oke (1978) e Assis, (2000), o estudo do clima urbano pode ser tomado como modelo em escala reduzida das modificações climáticas não intencionais que as ações humanas podem provocar no clima no futuro, visando à compreensão de seus mecanismos e efeitos sobre o ser humano e a natureza numa escala planetária.

Para WHO (2005), organismo que tem estudado as mudanças climáticas e seus efeitos sobre a saúde humana, os prováveis efeitos das mudanças climáticas trarão sérias consequências para as regiões tropicais. A população urbana será exposta ao efeito combinado de aquecimento global e aquecimento das cidades (fenômeno da ilha de calor). Cabe destacar que uma das consequências previstas das mudanças climáticas está atrelada ao incremento da variabilidade dos climas, o que para Curitiba pode acarretar na intensificação e/ou frequência de situações de temperaturas extremas. Todavia, o tema da intensificação do aquecimento planetário permanece ainda envolto de incertezas (MENDONÇA, 2007). Porém, quaisquer que sejam as

mudanças climáticas e sua intensidade, são as cidades, por suas diferentes estruturas, morfologias, funções e dinâmicas, os principais lugares nos quais o jogo recíproco de influencias das mudanças climáticas, que se darão os mais intensos impactos. Conforme ressalta o Autor, é nas cidades que os riscos e as vulnerabilidades socioambientais às mudanças climáticas são mais preocupantes, pois envolvem um numero expressivo de pessoas.

Sendo o Metrô forte indutor do desenvolvimento urbano capaz de intensificar a ocupação ao longo de sua extensão e no entorno das estações, a modelagem da tipologia edificada redesenhada por sua influência, bem como a aferição do clima urbano e das condições de conforto térmico resultantes torna-se investigação de destacada importância neste cenário conjuntural – presente e futuro – de aquecimento global e mudanças climáticas. Ademais, o estudo em tela pode colaborar para o planejamento e gestão urbana visando garantir qualidade de vida na cidade uma vez que permitirá a modelização dos condicionantes climáticos das próximas décadas e a consequente revisão e indicação de parâmetros urbanísticos que garantam esta almejada qualidade de vida.

ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em duas partes, essas desenvolvidas em sete capítulos, complementados pelas referências e apêndices.

A primeira parte, denominada “Clima urbano e conforto térmico: aportes teórico-metodológicos” é dedicada à fundamentação teórica e metodológica com respeito ao clima urbano e ao conforto térmico. São apresentadas bases teóricas e os estudos desenvolvidos abrangendo a temática do clima urbano e do conforto térmico em diferentes países e realidades, mas com especial ênfase para as pesquisas desenvolvidas no Brasil. Nesta seção, portanto, são recuperados os estudos e metodologias já consagrados e incluídos os estudos mais recentes para subsidiar a pesquisa em foco. Os aportes teóricos e metodológicos, de que trata a primeira parte, são desenvolvidos em três capítulos.

O primeiro capítulo da primeira parte – Clima e urbanização – faz-se um apanhado do estudo do clima e sua interface com a urbanização, o qual é desenvolvido segundo três aspectos principais: (I.1.1) a formação do clima urbano e as escalas de

abordagem; (I.1.2) a investigação acerca da relação entre microclima e desenho urbano; e, (I.1.3) a indicação de estratégias para proteção do clima e adaptação as mudanças climáticas.

No segundo capítulo da primeira parte – Conforto térmico urbano – são discutidos temas relativos a: (I.2.1) o conforto térmico em espaços abertos; (I.2.2) índices de conforto térmico; e, (I.2.3) o estudo sobre o conforto térmico no Brasil.

No terceiro e último capítulo da primeira parte – Modelização e cenários do clima e conforto térmico urbano: proposições metodológico-técnicas, um resgate da literatura - são apresentados quatro aspectos complementares: (I.3.1) as diferentes abordagens metodológicas; (I.3.2) os métodos da Ecologia Urbana; (I.3.3) o Sistema Ambiental Urbano – S.A.U; e, (I.3.4) modelização e construção de cenários do clima e conforto térmico com uso de simulações computacionais.

A segunda parte do trabalho, denominada “Clima urbano e conforto térmico em Curitiba: diagnóstico, cenários e perspectivas futuras em face do desenvolvimento urbano e mudanças climáticas”, são tratados aspectos relativos aos materiais, métodos, resultados e discussão, além das considerações finais da pesquisa. Nessa parte da pesquisa são apresentados elementos como o roteiro metodológico de pesquisa, caracterização dos recortes espacial e temporal da pesquisa, implicando na caracterização do tempo presente, na predição de cenários futuros e na elaboração de recomendações para o desenho urbano. Os temas abrangidos pela segunda parte do trabalho são desenvolvidos em quatro capítulos.

No primeiro capítulo da segunda parte – Metodologia de pesquisa e caracterização da área de estudo – são apresentados três aspectos distintos: (II.1.1) o roteiro metodológico da pesquisa; (II.1.2) a caracterização da área de estudo: recorte espacial; e, (II.1.3.) a caracterização climática de Curitiba: recorte temporal.

No segundo capítulo da segunda parte - Clima e conforto térmico em Curitiba: o cenário atual e perspectivas futuras – são desenvolvidas duas linhas: (II.2.1) o clima e conforto térmico no Eixo Estrutural no ano de 2011; (II.2.2) clima urbano e conforto térmico futuro em situação de aquecimento global.

No terceiro capítulo da segunda parte – Diretrizes urbanas e estratégias de proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas são aplicadas aos cenários futuros: seus impactos sobre o clima urbano e o conforto térmico no Eixo Estrutural Sul – são desenhados e simulados modelos de aplicação de diretrizes do desenho urbano considerando as condições climáticas de 2061, sendo essa exploração desenvolvida por meio de duas seções distintas: (II.3.1) impactos sobre o conforto térmico em espaços abertos; e, (II.3.2.) indicações e revisão de diretrizes de desenho urbano.

Finalmente no quarto capítulo da segunda parte – Considerações finais - são abordados dois últimos aspectos relativos à conclusão da pesquisa: (4.1) conclusões; e, (4.2) considerações.

PARTE I. CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO: APORTES TEÓRICO METODOLÓGICOS.

INTRODUÇÃO PARTE I.

Talvez um dos maiores desafios do século 21 seja o crescimento da população mundial, que daqui para frente será predominantemente urbana, as mudanças climáticas e a perda na diversidade de espécies. Todos os três problemas estão interligados. De acordo com informação das nações unidas (ONU, 2009) nos anos 1950 somente 28% dos seres humanos viviam em cidades, em 1975 eram já 37,2% e na virada do século 46,7%. Em 2007 viviam já praticamente o mesmo número de pessoas tanto na cidade como no campo. Atualmente as cidades crescem anualmente em cerca de 60 milhões de habitantes. Em decorrência disso, a quantidade de pessoas morando nas cidades até o ano de 2030 deverá elevar-se para cerca 61% e até o ano de 2050 deve chegar a até mesmo 68,7%. (ENDLICHER, 2012, p.9).

A expansão da urbanização provoca alterações no solo natural, em sua topografia, rios, vegetação e uso. Essas, consequentemente promovem modificações nos sistemas termodinâmico, físico químico e hidrometeórico, as quais são percebidas pelos três níveis de conforto térmico postos por Monteiro (2003): térmico, qualidade do ar e impactos pluviais.

A crescente urbanização, ante a perspectiva das mudanças climáticas e do aquecimento global, impõe o desafio de escolher métodos e técnicas que permitam a dialética entre os aspectos sociais (a urbanização) e naturais (o microclima), visando à construção de alternativas para enfrentar os desafios colocados pela urbanização, cuja magnitude aumenta rapidamente. A natureza cambiante do mundo contemporâneo, e da intensidade da velocidade que o qualifica, impõe a simultaneidade de novos olhares, novas técnicas e novas perspectivas sobre o objeto de estudo, impõe sobretudo a abertura das mentes para se criar o novo, diferente, aquele que superará o estágio das dificuldades e limitações de apreensão do real que tão marcadamente caracteriza o presente. (MENDONÇA, 2002a, p.141).

Ainda que o tema do aquecimento global seja polêmico para a comunidade científica, especialmente no tocante às divergências sobre suas origens antrópicas ou

naturais, não se pode ignorar que a temperatura média da superfície da terra elevou-se em 0,74 ^{o}C no século XX, entre os anos de 1906 e 2006 (IPCC, 2007). Endlicher (2012, p.232) adverte que juntamente com o crescente aquecimento global que poderá provocar um aumento nas temperaturas variando de 1,8 até 4,0^{o}C quando comparados o período de 1980/1999 para 2090/2099, o IPCC prevê um provável aumento na frequência de eventos climáticos extremos, em especial a ocorrência de ondas de calor, tempestades e vendavais (SCHÄR et al. 2004; BENISTON, 2004; GERSTENGARBE e WERNER, 2007).

Como ressalta Ayoade (2003), as mudanças das condições térmicas urbanas exercem grande influência sobre os seres humanos, afetando o homem em diversos fatores, como a saúde, o conforto, a fisiologia, as emoções, o comportamento e o desempenho nas atividades diárias, devendo-se enfatizar ainda, que a influência climática pode ser tanto positiva como negativa.

Nesse sentido, cerne da discussão na Parte I da tese, a análise da interação entre urbanização, clima e conforto térmico, pode servir de subsídio para o desenho urbano orientado para um maior equilíbrio entre meio urbano e clima. Variáveis relativas ao uso do solo, tais como a taxa de impermeabilização do solo, recuos, densidade e altura das edificações, uso da vegetação e dos diferentes materiais, podem ser mais bem definidos, com base em estudos de conforto, tendo como reflexo a redução do consumo energético para climatização ou iluminação artificial de edificações e um melhor nível de conforto.

No primeiro capítulo são discutidos aspectos relativos ao clima e sua interação com o desenho urbano: (1) a formação e escalas de organização do clima urbano; (2) o microclima urbano e sua relação com o desenho urbano; e, (3) estratégias para proteção do clima e adaptação às mudanças climática. No segundo capítulo são abordadas questões relativas ao conforto térmico: (1) conforto térmico em espaços abertos; (2) índices de conforto térmico; e, (3) estudos sobre o conforto térmico no Brasil. No terceiro capítulo são apresentados itens que dizem respeito à modelização de cenários e às diferentes proposições metodológicas: (1) as diferentes abordagens metodológicas; (2) métodos da ecologia urbana; (3) o Sistema Ambiental Urbano; e, (4) modelização e construção de cenários do clima e do conforto térmico e com uso de simulações computacionais.

CAPÍTULO 1. CLIMA E URBANIZAÇÃO

I. 1.1. FORMAÇÃO E ESCALAS DE ORGANIZAÇÃO DO CLIMA URBANO

A cidade se constitui num espaço transformado pelas ações humanas, sendo uma das mais evidentes manifestações a formação de um clima próprio, resultante das "modificações radicais que os processos de urbanização produzem na natureza da superfície e nas propriedades atmosféricas de dado local" (OKE, 1978). Pois, como evidencia Monteiro (1976, p. 57), o clima urbano é a modificação substancial de um clima local e desenvolvimento urbano tende a acentuar ou até mesmo eliminar as diferenças oriundas da posição do sítio. A cidade modifica o clima, tanto pelas alterações geradas na superfície, como pelo aumento do calor decorrente de modificações na ventilação, umidade e até mesmo nas precipitações que tendem a tornar-se mais acentuadas. E, no caso das cidades industrializadas, a poluição atmosférica representa o problema básico da climatologia.

Oke (1978) evidencia as modificações provocadas pela urbanização e, segundo adaptação de Hasenack[3] (1989), algumas delas merecem especial destaque:

a) A modificação das características térmicas da superfície, pela substituição de áreas verdes (cultivo, pastagens, mata) por ruas e edificações, o que aumenta a absorção de energia bem como impermeabiliza a superfície, gerando, em consequência menor evaporação, já que a água da chuva escoa rapidamente pelo esgoto pluvial;
b) O arranjo geométrico e a orientação dos edifícios também contribuem para uma maior absorção de energia;
c) O aumento da rugosidade urbana altera os padrões de circulação do ar, de um lado pela canalização do vento ao longo de ruas e avenidas e de outro pelo efeito de "quebra vento", impedindo a penetração do ar da periferia para o interior da cidade;
d) A atividade humana (processos produtivos, fluxos, climatização dos prédios) altera a atmosfera urbana pela adição de calor e material particulado. Como consequência tem-se o aumento do "efeito estufa" além do aumento dos núcleos de condensação no ar local, contribuindo para o aumento da precipitação pluviométrica.

[3] HASENACK, H. **Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre, RS.** Dissertação de Mestrado em Ecologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989. 106pp. Disponível em http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/1317 Acesso em: 09/06/2014.

Constitui-se, então, uma dupla relação: os complexos mecanismos desencadeados pelos habitantes da cidade alteram o clima, ao mesmo tempo em que a população tem sua qualidade de vida influenciada por ele. A cidade caracteriza "uma contínua, cumulativa e acentuada derivação antrópica do ambiente", suficiente para implicar em "uma série de alterações sobre a atmosfera – até mesmo em sua própria composição química – tanto sobre ela e até mesmo como exportação para o ambiente circundante" (MONTEIRO, 1990, p. 10).

Deste modo, se por um lado o clima urbano afeta a qualidade de vida de forma diferenciada na escala intraurbana, no outro extremo da dimensão escalar, o estudo do clima urbano pode ser tomado como modelo em escala reduzida das modificações climáticas não intencionais que as ações humanas podem provocar no clima no futuro, visando à compreensão de seus complexos mecanismos e de seus efeitos sobre o ser humano e sobre a natureza numa escala planetária (OKE, 1978; ASSIS, 2000).

Entretanto, conforme ressaltam Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 83), para o conhecimento do clima de uma área em especial, é necessária a compreensão dos controles climáticos aos quais ela está submetida, pois um clima particular (que diz respeito à escala local e/ou microclimática) é definido por aspectos de primeira grandeza (relativos à escala Zonal, via circulação primária) e de segunda grandeza (relativos à escala Regional, via circulação secundária), hierarquia essa que "se aplica em todo e qualquer estudo do clima independente da unidade climática estudada".

A delimitação de qualquer objeto de investigação, sob o ponto de vista geográfico "relaciona a escala à dimensão espaço-temporal dos componentes terrestres" (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.21), e, em Climatologia a noção de escala "implica em uma ordem hierárquica das grandezas climáticas, tanto espaciais quanto temporais", pois "a interação dos controles atmosféricos com os fatores geográficos do clima determina o dinamismo do fluxo de energia que se dá em áreas diferentes do espaço terrestre" (p. 22).

I.1.1.1. Escalas de organização do clima urbano

Monteiro (2003, p. 27) relaciona as unidades espaciais do clima às unidades geomorfológicas; contudo, a taxonomia do clima não estabelece limites rígidos, objetiva

sim o estudo das relações entre os elementos e visa facilitar a compreensão do todo. Em sua classificação o autor relaciona as unidades climáticas com diferentes graus de urbanização, e, por conseguinte relaciona os dados do clima aos elementos componentes do ambiente urbano, consequentemente subsidiando as decisões do planejamento urbano.

Segundo sua classificação a categoria Sub-Regional corresponde à megalópole ou grande área metropolitana; o clima Local diz respeito à área metropolitana ou metrópole; o Mesoclima corresponde então à cidade grande, bairro ou subúrbio de metrópole, podendo até mesmo ser identificado como um compartimento básico da configuração (como uma várzea, espigão, colinas periféricas etc.); o Topoclima se estabelece no nível da pequena cidade, fácies de bairro ou subúrbio de cidade e se associa a expressões específicas formadas pelo relevo articulado à topografia edificada; e a menor unidade de classificação, o Microclima, é compatível com a grande edificação, habitação, ou setor de habitação (MONTEIRO, 2003, p. 29-30; DUMKE, 2007, p.114).

Embora as diferentes abordagens sobre a ordem de grandeza do clima, mostrando variações tanto na nomenclatura para as diferentes dimensões climáticas quanto para extensão e periodicidade dos fenômenos característicos das mesmas, Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.22-23) apresentam proposição que sintetiza termos, dimensões espaciais e dimensões temporais mais aceitas no meio climático-meteorológico. A organização proposta pelos autores “está embasada em uma flexibilidade entre as diversas grandezas” e na qual “os climas regionais e o topoclima constituem-se nas escalas transitórias entre a média, a superior e a inferior”.

No que tange às escalas temporais do clima, Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 24-25), as subdividem em geológica, histórica e contemporânea. Cabendo à escala geológica o estudo de fenômenos climáticos que “ocorreram no Planeta desde a sua formação”, incluídos estudos ligados à Paleoclimatologia. Na escala histórica, também ligada ao estudo do clima passado, está contemplado somente o “período da história registrada pelo homem”. E, é na escala contemporânea que está inseria a maioria dos estudos climatológicos atuais, baseados em séries de dados meteorológicos, produzidos por uma ou mais estações meteorológicas, podendo incluir “a análise dos

tipos de tempos, a variabilidade climática de curta duração, as tendências climáticas e o estabelecimento de médias".

ORDEM DE GRANDEZA	SUBDIVISÕES	ESCALA HORIZONTAL	ESCALA VERTICAL	TEMPORALIDADE DAS 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, mares, etc.
Mesoclima	Clima regional Clima local Topoclima	2.000 km a 10 Km	12 km a 100 m	Várias horas a alguns dias	Região natural, montanha, região metropolitana, cidade, etc.
Microclima		10 km a alguns metros	Abaixo de 100m	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, uma edificação /casa, etc.

QUADRO I.1.1 - ORGANIZAÇÃO DAS ESCALAS ESPACIAL E TEMPORAL DO CLIMA.

Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.23)

Uma importante abordagem no que se refere às escalas de investigação do clima urbano foi proposta por Oke em 1976. Na taxonomia de Oke, foi estabelecida uma estrutura tridimensional para abordar os fenômenos climáticos que ocorrem no ambiente urbano, estando contempladas nela tanto a escala espacial (horizontal e vertical) como a escala temporal (ano, mês, semana, dia, hora, minuto e segundo). No que diz respeito à escala horizontal, Oke (2006, p. 2-4) apresenta três escalas de abordagem: microescala, escala local e mesoescala (Figura I.1.1).

A microescala, tipicamente relacionada a dimensões de edifícios individuais, árvores, estradas, quintais, parques, etc., com extensões variando de um metro a centenas de metros. A escala local em áreas urbanas, é aquela para a qual estações de monitoramento climático individuais foram projetadas para monitorar, diz respeito a vizinhanças com tipos similares de desenvolvimento urbano, tais como cobertura da superfície, tamanho e espaçamento de edifícios ou atividades, cuja extensão pode varia de um alguns quilômetros. A mesoescala diz respeito à escala da cidade toda, tipicamente de dezenas de quilômetros de extensão. (OKE, 2006, p. 2-4).

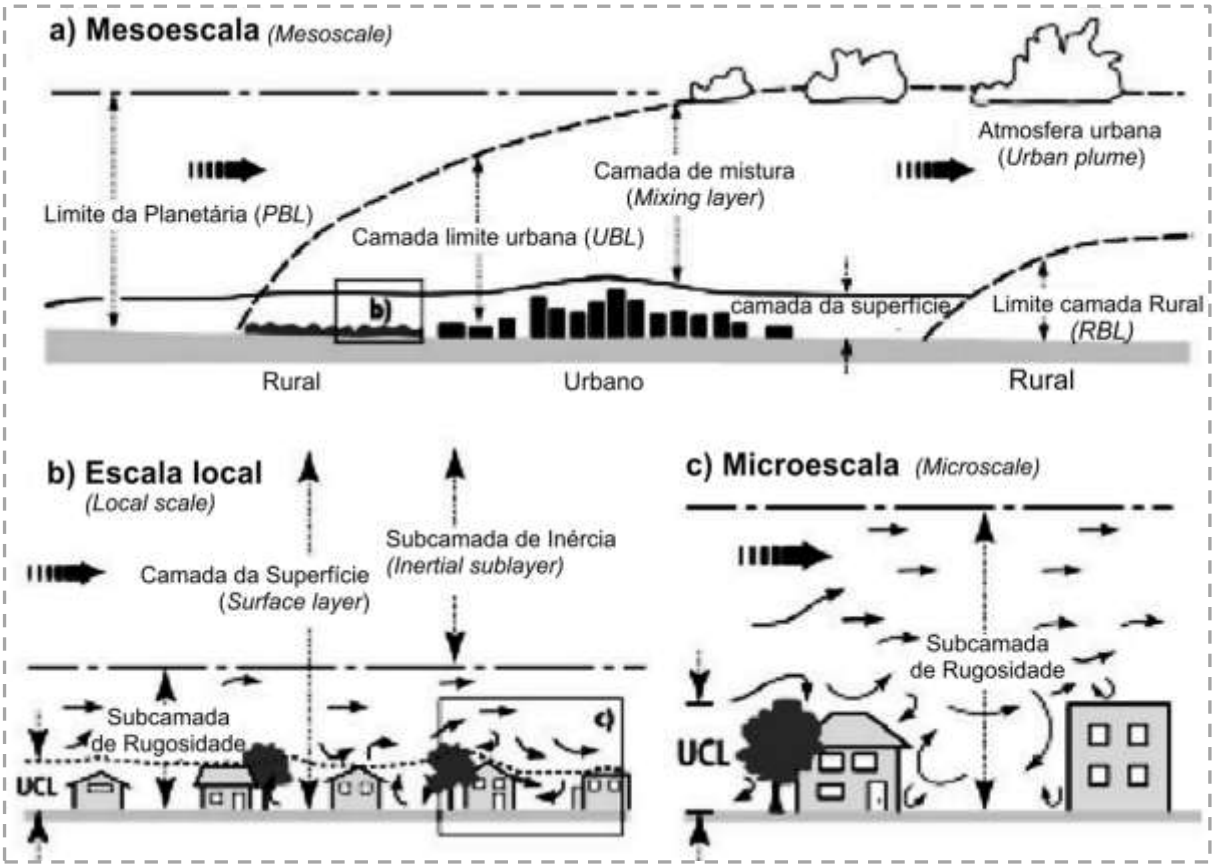


FIGURA I.1.1 – ESCALAS HORIZONTAL E VERTICAL EM ÁREAS URBANAS.
Fonte: Oke (2006, p. 3), adaptado de Oke (1977).

No plano vertical, o autor define a Camada Limite Atmosférica como sendo a camada que corresponde aos baixos níveis da troposfera, camada de mistura ou turbulência, a qual é gerada pela fricção entre o ar e a superfície terrestre e pela convecção de parcelas do ar aquecidas pela superfície. A altura desta camada varia conforme a influência dos processos de mistura gerados na superfície e sobre a cidade pode atingir várias centenas de metros, formando-se então a conhecida cúpula de contaminação. A Camada Limite Atmosférica se divide em dois níveis segundo as alterações do clima, devido aos efeitos da urbanização e da indústria, conformando os seguintes espaços (OKE, 1978, p. 240-267; DUMKE, 2007, p.121-122):

a) *Urban Boundary Layer (UBL)* – Camada Limite Urbana, a qual engloba todos os níveis que definem o fato urbano e representa a interação da atmosfera com o conjunto da cidade (mesoescala) apresentando um conjunto de microclimas produzidos pelo entorno mais imediato;
b) *Urban Canopy Layer (UCL)* – Camada Urbana ao Nível das Coberturas, a qual também chamada de Camada do “Dossel” Urbano, que compreende o espaço

entre o solo e o nível médio das coberturas das edificações e representa a interação entre a atmosfera e os elementos urbanos (espaço intraurbano, microescala).

Observa-se ainda a camada Urban Plume – Figura I.1.2 – posicionada sobre a camada Rural Boundary Layer (Camada Limite Rural) que sofre influência da atmosfera urbana, a sotavento da área urbanizada (HENDERSONSELLERS e ROBINSON, 1989).

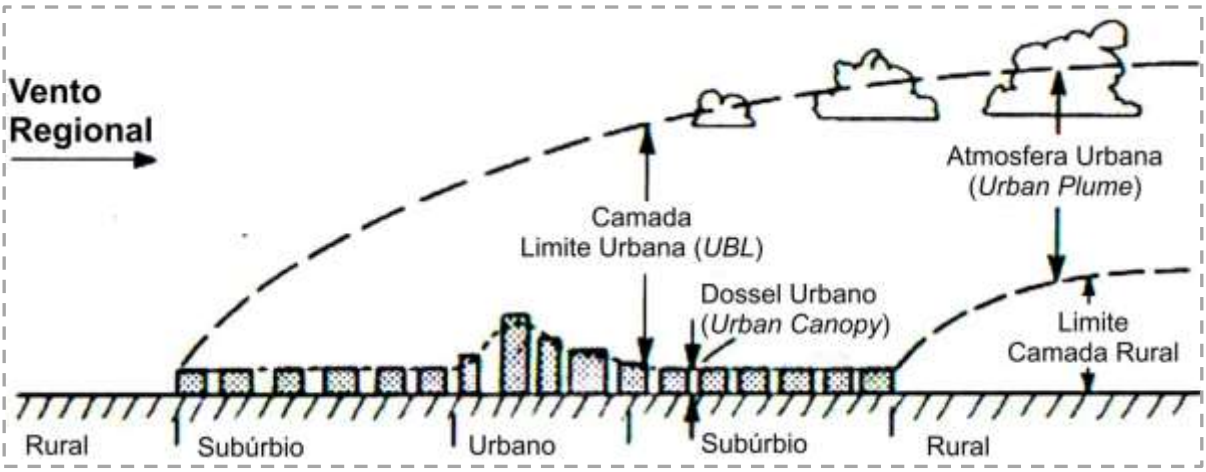


FIGURA I.1.2 - CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES ATMOSFÉRICAS URBANAS
Fonte: Oke (1978, p. 240).

As subdivisões da Camada Limite Atmosférica permitem a diferenciação entre os processos que ocorrem na microescala e que se estendem desde o solo até aproximadamente o nível médio das coberturas das edificações. A altura da Camada Urbana ao Nível das Coberturas é aproximadamente equivalente a altura dos principais elementos que conformam a rugosidade (edifícios e árvores). Os efeitos microclimáticos de superfícies individuais e obstáculos persistem para uma altura relativamente reduzida em relação a sua fonte e então se misturam e são abrandados pela ação da turbulência. A distância de obliteração depende da sua magnitude, da velocidade do vento e da estabilidade do efeito, e a mistura e abrandamento causados pela turbulência ocorrem tanto na escala horizontal como na vertical. Os efeitos notáveis, no plano horizontal podem persistir até uns cem metros, já no vertical são discerníveis na subcamada de rugosidade que se estende ao nível do chão. (OKE, 2006, p. 4).

A Camada Limite Urbana apresenta abrangência de escala local (mesoescala), a Camada Urbana ao Nível das Coberturas das edificações, entretanto, recebe influências de processos de microescala presentes nos cânions[4] entre edificações. Portanto, as características físicas do meio urbano, no qual os efeitos microclimáticos evoluem abaixo da camada ao nível da cobertura das edificações, podem ser transferidas para camadas atmosféricas acima através dos movimentos e fluxos de turbulência.

I.1.1.2. O microclima urbano

O microclima, definido por Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.24) como "a menor e a mais imprecisa unidade escalar climática", apresenta extensão que pode variar de alguns centímetros a até algumas dezenas metros quadrados, chegando até uma centena de metros quadrados. Sendo essa unidade definida por fatores que dizem respeito ao movimento turbulento do ar na superfície (circulação terciária), obstáculos à circulação do ar, além de detalhes do uso e ocupação do solo, etc.

O efeito mais evidente e também o mais estudado sobre a alteração climática induzida pela urbanização é o fenômeno da Ilha de Calor[5] (IC). Citado pela primeira vez numa publicação científica em 1958 destaca García (1990, p.33), o termo designa o fato de as cidades serem mais quentes que o meio rural ou menos urbanizado que as rodeia. Ainda segundo Garcia (1995, p.256-257) adaptado por Dumke (2007, p.111), os principais mecanismos relacionados ao balanço da energia na formação do clima urbano se devem a três fatores:

a) A contaminação do ar urbano por diversos poluentes diminui a radiação direta, devido à absorção e à difusão da luz solar das partículas em suspensão, as quais também absorvem a radiação infravermelha emitida pelas superfícies. As partículas em suspensão atuam como núcleos de condensação e, assim, aumentam a frequência de nevoeiros e de precipitações;

---

[4] Cânions: são formados por três superfícies (paredes e piso) e três lados abertos e suas características geométricas podem ser descritas através de três parâmetros: H (altura média do cânion); W (largura) e L (comprimento). Portanto, as relações H/L, L/W e a densidade construída são descritores geométricos que caracterizam um cânion (ROMERO, 2011).

[5] Ilhas de Calor: fenômeno que ocorre nas cidades, principalmente à noite, tornando-as mais quentes que o meio rural ou menos urbanizado que os rodeia (GARCIA, 1995 p.30).

b) O espaço construído atua sobre a temperatura e a umidade devido aos diversos elementos introduzidos no sítio, entre os quais merecem destaque: a alteração da rugosidade da superfície que causa a redução da velocidade do vento e o aumento da turbulência; a impermeabilização das superfícies que reduz a evaporação e favorece o rápido escoamento superficial da água; a substituição da superfície, e a construção de edifícios com materiais de propriedades físicas distintas das naturais (albedo, capacidade térmica, etc.); e,

c) A produção de calor pelas atividades urbanas, industriais e pelo tráfego aumenta o calor e a umidade na composição da atmosfera urbana.

Gartland (2010, p.26) ressalta que as principais características urbanas que contribuem para a formação de ilhas de calor são cinco e evidencia seus efeitos sobre o balanço de energia. O quadro I.1.2 lista as características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor:

CARACTERÍSTICAS QUE CONTRIBUEM PARA FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR	EFEITOS SOBRE O BALANÇO DE ENERGIA
Falta de vegetação	Reduz evaporação
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Reduz evaporação
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa refletância solar dos materiais urbanos	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam calor	Aumenta salto de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz convecção
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumenta o calor antropogênico

QUADRO I.1.2 – CARACTERÍSTICAS URBANAS IMPORTANTES PARA FORMAÇÃO DE ICs.
Fonte: Gartland (2010, p.26).

A interação do clima com a configuração e o uso do espaço urbano, pode promover alterações na dinâmica climática, contribuindo para a formação de ambientes climáticos diferenciados e fazendo até mesmo com que bairros distintos na mesma cidade venham a ter o seu próprio microclima. Provocadas principalmente pelas atividades antropogênicas, essas modificações no clima urbano afetam atributos do clima tais como temperatura, umidade, pluviosidade, dinâmica dos ventos locais, nebulosidade e a qualidade do ar, alterando o microclima urbano e impactando as condições de conforto ambiental na cidade. Por conseguinte, como bem evidenciam

Mendonça e Monteiro (2003), a formação dos microclimas urbanos deriva diretamente da heterogeneidade tanto do sítio quanto da estruturação, morfologia e funcionalidade urbana, gerando bolsões climáticos intraurbanos diferenciados, conhecidos como Ilhas de Calor e as Ilhas de Frescor[6] (IF), quando comparadas a seu entorno mais próximo, decorrentes da interação do clima com a configuração do espaço.

Os microclimas, frequentemente, são desconsiderados no planejamento das cidades, tampouco têm sido avaliadas as condições climáticas urbanas resultantes da interação da natureza e da sociedade. Porém, o conhecimento das condições climáticas em localidades diferenciadas na cidade pode contribuir para a melhoria das condições de conforto humano dentro e fora das edificações, bem como para o uso racional da energia e, portanto, colaborar com o desenvolvimento humano duradouro. (DUMKE, 2007, p.18).

Assis (2000, p. 5) menciona diversos fatores da configuração urbana que afetam o balanço da energia e contribuem na formação do clima urbano, tais como: o uso do solo, a geometria da malha (dimensões, distribuição, volumetria e distância entre os edifícios) e a tipologia de ocupação (dos edifícios, ruas, áreas verdes etc.); o tipo de fachadas e as propriedades térmicas dos materiais; a orientação solar do tecido urbano e sua permeabilidade aos ventos. Para a autora, o fato de tais parâmetros serem passíveis de regulamentação pelos municípios evidencia a importância da integração entre a climatologia e o planejamento urbano na melhoria da qualidade do ambiente urbano.

É nesse sentido, do estudo da relação entre o microclima e o desenho urbano, que se desenvolve a próxima seção. Explorando essa relação, objetivando a identificação de parâmetros urbanísticos que possam determinar alterações no clima intraurbano, procurando também avaliar seus impactos sobre o conforto térmico dos espaços abertos da cidade, para que esses sejam considerados no processo de desenvolvimento urbano em curso ou vindouro e possam contribuir favoravelmente para um microclima urbano mais ameno.

[6] Ilhas de Frescor: consistem em áreas dentro da cidade, sendo muitas vezes áreas verdes de parques, que atenuam a temperatura do ar, gerando menos liberação de calor para a atmosfera.

I.1.2. MICROCLIMA URBANO E SUA RELAÇÃO COM O DESENHO URBANO

Diversos autores têm investigado e evidenciado a complexa relação que se estabelece entre o clima e o desenho urbano (OKE, 1978, 1987, 1997 2006; OLGYAY, 1963; GIVONI, 1976; GARCÍA, 1995; GEIGER, 1990; OLIVEIRA, 1995; MENDONÇA, 1995; DANNI-OLIVEIRA, 1999, 2000; HIGUERAS, 1998, 2006; ROMERO, 1988; DUMKE, 2002, 2007; ROSSI, 2012, etc.) procurando estabelecer a interação entre os elementos do desenho urbano e seus impactos sobre o microclima urbano e o conforto térmico. Apenas um aspecto do desenho urbano é suficiente para influir em mais de uma variável climática, por exemplo, "a geometria urbana pode alterar o balanço térmico, aumentando a temperatura do ar e diminuindo a umidade" (ROSSI, 2012, p.41).

Nesse sentido, diversos autores investigam a dupla relação que se forma entre clima urbano e desenho urbano, propondo diretrizes de intervenção e até mesmo metodologias de ação para tratar tanto das variáveis ligadas ao meio urbano como do meio natural. Tais aspectos são abordados nas próximas seções: primeiramente, é discutida a relação entre o meio natural (variáveis climáticas) e o meio urbano (variáveis urbanas) buscando premissas no urbanismo bioclimático para implantação de ocupações urbanas, considerando aspectos relacionados ao clima e ao conforto térmico; a seguir, são abordados os impactos do desenho urbano nas variáveis climáticas; e, então, apresentadas estratégias de desenho urbano para melhoria do conforto térmico urbano.

I.1.2.1. Proposições do urbanismo bioclimático para ocupações urbanas em face da relação entre Meio Natural e Meio Urbano

A cidade pode ser entendida como um ecossistema[7] sendo o homem e suas sociedades subsistemas do mesmo. Ela contém uma comunidade de organismos vivos, um meio físico que vai sendo transformado pela atividade interna e um funcionamento baseado em trocas de matéria, energia e informação. Segundo Higueras (1998, p. 11), o conceito geral de ecossistema urbano constitui-se dos seguintes fatores: climáticos (temperatura, umidade e vento); físicos (nova geomorfologia territorial); lumínicos

[7] Ecossistema: "Relação multivariada entre organismos e meio ambiente em um espaço determinado, chegando a alcançar um equilíbrio nesse meio ambiente." (MARGALEF, 1986).

(considerações relativas à luz); equilíbrio ambiental (ruídos, vibrações, etc.); paisagísticos (relativos ao meio circundante); e, sociais e psicológicos (relações interpessoais urbanas).

As modificações impostas ao ambiente pela dinâmica antropogênica provocam a modificação do clima quando comparado à área adjacente rural: a temperatura do ar é mais elevada, os ventos são modificados na direção e velocidade e a umidade relativa é mais baixa, gerando um microclima característico das áreas urbanas (SILVEIRA e ROMERO, 2006), cujas principais características são descritas por Higueras (2006, p. 115):

1) Temperaturas mais altas que o entorno circundante: temperatura da cidade sempre superior ao campo, com sobreaquecimento maior nas zonas centrais urbanas, e formação das IC urbanas. O aumento da temperatura urbana devido à alta proporção de energia secundária consumida, à modificação das características de absorção das superfícies urbanas (predominantemente impermeáveis e escuras) e ao menor efeito refrigerador de sua atmosfera resultante dos poluentes presentes no ar.
2) Regime especial de ventos: as condições do regime geral dos ventos são modificadas pelo tecido urbano, em decorrência de zonas de densidades variadas, possíveis canalizações ao longo das ruas, espaços livres e áreas verdes disseminadas. A altura das edificações impõe variações na velocidade e direção das correntes de ar ocasionando efeitos favoráveis ou não.
3) Menor umidade e ressecamento ambiental: devido à predominância de extensas áreas impermeabilizadas (áreas edificadas sobre as áreas verdes e cursos d'água). Os revestimentos utilizados na superfície urbana produzem aquecimento superficial e evapotranspiração quase nula, a água da chuva escorre rapidamente, não sendo retida devido à baixa permeabilidade do solo.

Sendo o microclima fator de influência significativa no conforto térmico intraurbano Higueras (2006) destaca a importância do conhecimento de uma série de variáveis e sua relação com o ambiente urbano, uma vez que essas podem modificar substancialmente as propostas gerais de uma ocupação urbana, tais variáveis estão subdivididas em dois grupos:

a) Variáveis do Meio Natural (variáveis relacionadas com o meio ambiente natural): radiação solar, vegetação, vento, umidade do ar e geomorfologia;
b) Variáveis do Meio Urbano (variáveis relacionadas com o meio urbano): rede viária, espaços livres, morfologia dos parcelamentos (quarteirões, quadras), morfologia dos lotes e tipologia das edificações.

E, com base nos dois grupos de variáveis a autora relacionou os princípios básicos do urbanismo bioclimático, que servem de parâmetros para o planejamento de espaços urbanos (HIGUERAS, 2006), contemplando diretrizes gerais para o tratamento das variáveis do meio urbano:

a) Traçado viário estruturante que responda a critérios de insolação e ventilação local;
b) Ruas adaptadas à topografia, buscando as orientações que favoreçam a insolação e ventilação local;
c) Áreas verdes adequadas às necessidades de umidade e evaporação ambiental (tanto em quantidade de área como na especificação de espécies vegetais apropriadas);
d) Morfologia urbana com parcelamentos que gerem edificações bem orientadas e uma proporção mais equilibrada com os espaços descobertos, respeitando o clima local;
e) Tipologia da edificação diversa e adequada às condições de insolação e ventilação locais.

Buscando a proposição de uma abordagem sistematizada para aplicação das premissas do urbanismo bioclimático ao processo de planejamento urbano, Higueras elaborou uma proposta metodológica apresentada no Quadro I.1.3 (HIGUERAS, 2006; 1998, p.25), denominado de matriz de interação entre o Meio Natural e o Meio Urbano. Nela, a relação entre Meio Natural e Meio Urbano é posta na forma de um quadro cartesiano com as variáveis do meio natural no eixo horizontal e as do meio urbano na vertical. As células são completadas com a relação entre os elementos e deixadas vazias quando não há interação entre as variáveis.

CRITÉRIOS DE OTIMIZAÇÃO AMBIENTAL		VARIÁVEIS DO MEIO NATURAL				
		SOL	VEGETAÇÃO	VENTO	ÁGUA E UMIDADE	GEOMORFOLOGIA
VARIÁVEIS DO MEIO URBANO	REDE VIÁRIA	Orientação Forma	Localização	Orientação Forma	Microclima externo	Suporte Solo Topografia
	ESPAÇOS LIVRES	Orientação Forma	Espécies Densidade Localização	Orientação Forma	Microclima externo	_____
	CONDIÇÕES DAS QUADRAS	Orientação Geometria Densidade	_____	Orientação Geometria Densidade	_____	_____
	CONDIÇÕES DOS LOTES	Geometria Alturas Ocupação Potencial construtivo	_____	Geometria Alturas Potencial construtivo	_____	_____
	CONDIÇÕES DOS EDIFÍCIOS	Controle solar Acondicionamento passivo	_____	Aberturas	Microclima interno	_____

QUADRO I.1.3 – MATRIZ DE INTERAÇÃO ENTRE MEIO NATURAL E MEIO URBANO.
Fonte: Higueras (1998, p.25).

As variáveis do meio natural apresentadas na matriz de interação transformam-se em condicionantes práticos da metodologia, voltados principalmente para o projeto de novas ocupações (HIGUERAS, 1998, p.25-26):

a) Sol e radiação solar - determinam o ângulo de obstrução solar máximo possível no solstício de inverno observada a condição de que haja pelo menos duas horas de sol, condiciona a orientação das edificações, a altura da edificação, a largura das ruas e a orientação dos espaços livres e praças;
b) Vegetação - seleção de espécies e localização das mesmas para melhorar o microclima local: a umidade ambiental, a radiação, os controles relativos ao vento, o ruído, a contaminação e a qualidade do ar;
c) Vento – determinação das zonas expostas, abrigadas e canalização dos ventos dominantes da área para otimizar o desenho urbano e os usos do solo;
d) Água e umidade – localização e extensão das zonas úmidas ou seu projeto para melhorar as condições de umidade atmosférica local;
e) Geomorfologia – condicionantes derivadas do suporte e modificações locais geradas pelo suporte territorial, natureza das rochas e características dos

solos, vertentes e exposição à radiação solar. Na realidade, incluem-se nessa variável todos os elementos relativos ao solo e subsolo.

Na matriz são apresentados critérios e relacionamentos que também devem levar em consideração a região climática na qual se dá a intervenção urbanística. Buscando traçar diretrizes voltadas para os diferentes climas, Higueras (2006, p.71-72) baseia-se na fundamentação proposta por Olgyay (1963) fazendo a indicação de estratégias gerais para as quatro regiões climáticas existentes: fria, temperada, quente-seca e quente-úmida. No Quadro I.1.4 são apresentadas estratégias gerais de aproveitamento e proteção no que se refere ao clima.

Objetivando o equilíbrio no ecossistema urbano e favorecimento do clima e do conforto urbano, linhas comuns aos planos de desenvolvimento podem se embasar nos seguintes pontos (HIGUERAS, 1998, p.10):

1) Reconsiderar as ocupações globalmente e fundamentar as linhas de atuação de modo totalmente particularizado para cada situação, pois não cabem planos mestres. Cada lugar e seu entorno e características próprias necessitará de medidas específicas, dentro da sua própria integração territorial com outras ocupações;
2) Abandonar a filosofia do zoneamento; ao contrário disso, potencializar os usos mistos e a diversidade de atividades concentradas em locais urbanos centrais, para reduzir viagens e consumo de energia para o transporte, fomentando os percursos a pé;
3) Integrar, ampliar e desenhar convenientemente a rede de espaços livres urbanos, como um sistema capaz de corrigir e moderar as inclemências extremas das condições ambientais, além de servir como espaços de relacionamento e uso social. Emprego de espécies autóctones, aclimatadas e com menor necessidade de cuidados ou de água;
4) Planejar com densidades moderadas ou altas, frente a baixa densidade de habitações unifamiliares dispersas cujos custos de infraestrutura, energéticos e impacto sobre o meio circundante sejam muito elevados.
5) Aproveitamento dos recursos naturais: sol, vento, água da chuva e controle sobre os resíduos sólidos; reciclando, incineração, recuperação da matéria orgânica, etc.

REGIÃO CLIMÁTICA	ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS GERAIS
Fria	▪ Maximizar a produção de calor; ▪ Incrementar a absorção por radiação, reduzindo a perda de radiação solar por condução e evaporação;
Temperada	▪ Estabelecer equilíbrio estacional, pois frio e calor representam parte significativa do ano; ▪ Medidas que permitam tanto a produção como a redução de calor por radiação e convecção;
Quente-seca	▪ Reduzir a produção de calor e facilitar a perda por radiação; ▪ Reduzir ganhos por condução e favorecer a evaporação;
Quente-úmida	▪ Reduzir a produção de calor; ▪ Reduzir o aumento por radiação; ▪ Potencializar a perda de evaporação;

QUADRO I.1.4 – ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA AS REGIÕES CLIMÁTICAS.

Fonte: Olgyay (1963, *apud*. Higueras, 2006, p.71-72).

I.1.2.2. O impacto do desenho urbano nas variáveis climáticas

As ações humanas repercutem simultaneamente por meio das modificações diretas e conscientes operadas no espaço e também mediante aquelas derivadas deste espaço transformado e das atividades urbanas. Ou seja, as atividades antropogênicas dos habitantes da cidade alteram o clima, ao mesmo tempo em que a população tem sua qualidade de vida influenciada por ele. Desse modo, o desenho urbano impõe impactos nas variáveis climáticas (radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade dos ventos) os quais foram descritos por Rossi (2012).

I.1.2.2.1. Radiação solar

A latitude define a intensidade da radiação solar que um dado lugar recebe, e a quantidade de energia recebida em forma de radiação influencia diretamente a variabilidade da temperatura do ar ao longo do dia e do ano. E, conforme aumentam as latitudes, a diferença na incidência da radiação solar no inverno e no verão se intensifica sendo acompanhadas pelas diferenças de temperatura. (DANNI-OLIVEIRA, 1999b, p. 230). Essa depende da época do ano, da altura solar relacionada ao horário do dia, e a sua maior incidência ocorre ao meio dia, quando o sol está no seu ápice. E parte da radiação solar incidente é refletida e absorvida pelas superfícies que compõem o ambiente urbano (solo, coberturas, paredes, vegetação, etc.). (ROSSI, 2012, p.35).

Segundo Givoni (1998), em locais muito adensados, a maior parte da radiação solar é absorvida pelas superfícies mais altas, resultando em pequeno o aquecimento do ar perto do solo. Por outro lado, nos locais medianamente adensados, grande parte da radiação solar é refletida tanto pelos edifícios como pelo solo e apenas uma pequena parcela é absorvida pelo solo ou pelas superfícies em seu entorno.

Nas áreas urbanizadas a orientação da via e a geometria urbana influenciam o microclima (ROSSI, 2012, p.36):

> Para estudar o efeito da geometria urbana na radiação solar, utilizam-se indicadores do nível de urbanização, como por exemplo a relação H/W, entre a altura das edificações (H) e a largura das vias (W), e o fator de visão do céu (FVC). A relação H/W, não leva em consideração elementos como árvores, pérgolas, marquises ou perfis verticais diferentes, dentre outros. Já o FVC é o ângulo de visão do céu visível em um determinado ponto, quantificado de 0 a 1 (sendo que o valor 1 corresponde a ausência de obstáculos) e engloba todos os elementos presentes no local.

Oke (1978) analisou o comportamento da radiação solar em um cânion urbano[8] com orientação Norte/Sul, H/W = 1, paredes de concreto pintadas de branco, sem janelas e com solo recoberto por vegetação esparsa:

> O autor observou que depois do meio dia, a fachada Leste recebia somente radiação difusa e irradiação da parede oposta. O solo recebeu insolação somente ao meio-dia, sendo registrado o maior valor de radiação comparado com as outras superfícies, devido ao menor albedo[9] da superfície. Durante a noite a perda de calor foi pequena devido ao reduzido FVC. Segundo o autor, se a razão H/W for maior ou menor que 1, a radiação solar penetrará de forma diferente nos cânions e a perda de calor para o espaço poderá ser prejudicada. Diferentes materiais construtivos alteram o albedo do cânion e sua capacidade de armazenar calor. (ROSSI, 2012, p.36).

O efeito da radiação solar pode ser analisado utilizando a Temperatura Radiante Média (Trm), que é a temperatura média das superfícies de um ambiente e que participa das trocas térmicas com o corpo. Nota-se que a temperatura das superfícies depende da quantidade de radiação incidente e das características físicas e térmicas do material da superfície. Assim, o efeito da radiação difusa e da radiação

[8] *Cânion urbano*: expressão criada por Oke (1978) para denominar a configuração espacial urbana composta por edificações implantadas ao longo do eixo de uma via.

[9] *Albedo:* é a "energia radiante proveniente da radiação refletida e depende do tipo de superfície refletora" (SANTANA, 1997, p.59). Segundo Berdahl e Bretz (1997), a refletância é a probabilidade de um fóton que incide sobre uma superfície ser refletido, sendo esse adimensional.

solar no ambiente urbano pode ser quantificado. Para a análise do conforto térmico utiliza-se a temperatura radiante média como uma das variáveis climáticas (ROSSI, 2012, p. 37). A autora relaciona ainda várias pesquisas que mostram o efeito da geometria urbana na radiação solar incidente:

a) Menor Fator de Visão do Céu (FVC), menor carga de radiação incidente: Postigo e Souza (2007), que analisaram o ambiente térmico de um bairro residencial em Bauru (SP) e concluíram que em locais obstruídos (menor FVC) há menor carga de radiação incidente e que áreas mais adensadas e verticalizadas sofrem maior efeito da ilha de calor noturna.
b) Redução da Trm em áreas com maior obstrução: Minella (2009) analisou a relação entre a geometria urbana e os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba e verificou a existência de uma tendência na relação entre FVC e Trm, ou seja, em pontos com maior obstrução, os valores de Trm foram menores.
c) Temperatura do ar nos cânions corresponde à quantidade de energia recebida: Ali-Toudert e Mayer (2006), analisando diferentes configurações urbanas, observaram que os valores máximos de temperatura do ar correspondiam à quantidade de insolação recebida pelos cânions. Verificaram também que os maiores valores de temperatura em cânions orientados no sentido Norte/Sul ocorreram no início da tarde, período de maior incidência de radiação solar e, os maiores valores de temperatura em cânions orientados no sentido Leste/Oeste ocorreram no final da tarde.

I.1.2.2.2. Temperatura do ar

De acordo com Oke (1978), temperatura do ar em áreas urbanizadas é normalmente mais alta que a temperatura em áreas rurais, fenômeno conhecido como Ilha de Calor (IC) urbana, o qual é dependente das condições meteorológicas locais e das características urbanas e por isso possui forma e a dimensão que variam no tempo e no espaço. Há uma grande diferença na temperatura entre o meio urbano e o rural, sendo que na área rural ou menos urbanizada a temperatura é mais estável, apresentando o pico na área central tipicamente mais adensada (Figura I.1.3).

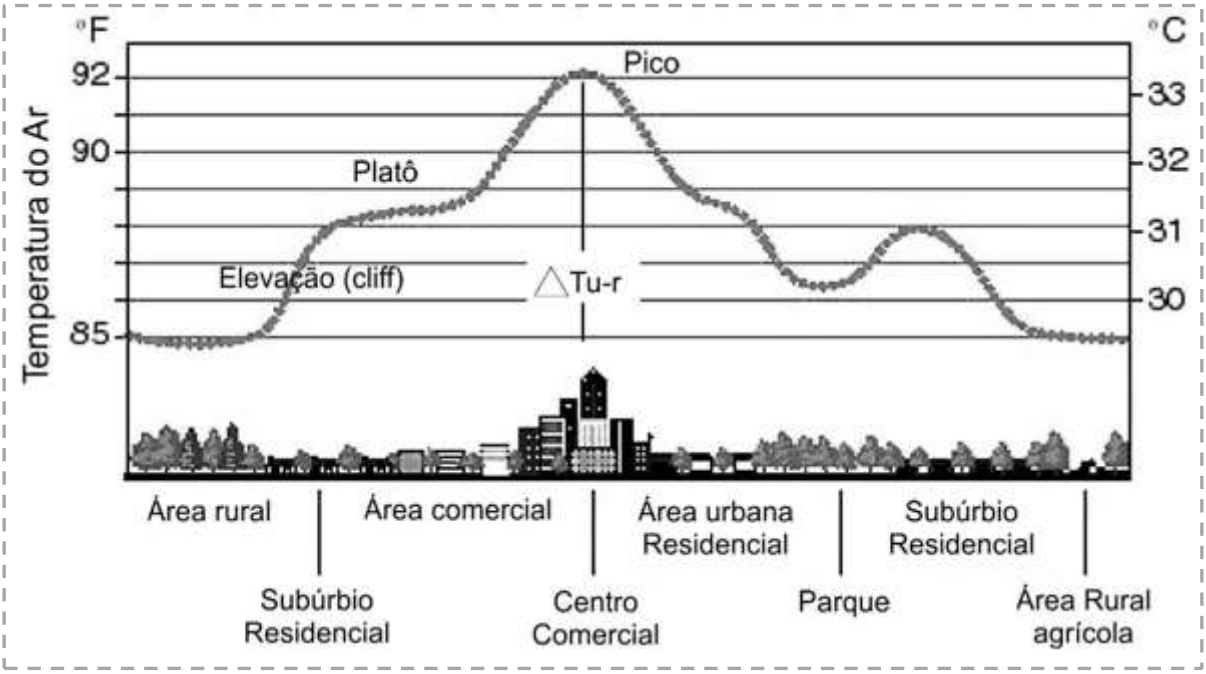


FIGURA I.1.3 – PERFIL DA ILHA DE CALOR URBANA
Fonte: Adaptado de Emmanuel (2005, p.22).

A intensidade da IC está relacionada com o tamanho populacional da cidade e é expressa pela diferença entre as temperaturas urbana e rural (△Tu-r). E, por conseguinte, quanto maior e mais populosa for uma cidade, maior será a demanda por infraestrutura, e então maior a diferença entre as temperaturas da cidade e do meio menos urbanizado ou rural que a circunda. Há formação de IC tanto durante o dia como durante a noite, sendo normalmente mais intensas as ilhas noturnas. As IC noturnas podem atingir intensidades que variam entre 3°C e 5°C, enquanto que no período diurno observam-se variações entre 1°C e 2°C (GIVONI, 1998).

Alguns fatores que, de acordo com Rossi (2012, p. 38-39), afetam a temperatura do ar, principalmente ao nível do solo são:

- Aumento de radiação atmosférica devido a absorção de radiação de onda longa e sua reemissão pelo ar poluído;
- Diminuição da perda de radiação de onda longa devido à redução do FVC;
- Grande absorção de radiação de onda curta devido ao efeito da geometria do cânion no albedo;
- Diminuição da evaporação devido à remoção de vegetação e da impermeabilização;
- Diminuição da perda de calor sensível devido à redução da velocidade do vento;
- Liberação de calor antropogênico;
- Fontes de calor sazonais: aquecimento ou resfriamento das edificações,

- Devolvendo o ar aquecido ou resfriado para o ambiente urbano. (OKE, 1978; GIVONI, 1998).

De acordo com Rossi (2012, p.39), estudos sobre a relação da alteração de temperatura e densidade construída mostram que, quanto mais adensada a área urbana, mais altos são os valores de temperatura do ar registrados:

> Lombardo (1985, p.16), ao estudar a ilha de calor de São Paulo, verificou que "os altos valores de temperatura estão relacionados às mais altas densidades de população, onde se encontram mais de trezentos habitantes por hectare". Santana (1997, p.155), em seu estudo na cidade de Fortaleza, conclui que "as temperaturas mais elevadas foram registradas nos pontos localizados em zonas com maior densidade de edificações, pessoas e veículos..." Gomes e Lamberts (2009) ao estudar a relação entre densidade construída e comportamento térmico na cidade de Montes Claros (MG) concluíram que as áreas mais adensadas apresentaram maiores valores de temperatura em relação às áreas menos adensadas.

Ainda segundo a autora, em relação à geometria urbana e seu efeito na variação da temperatura do ar, estudos demonstram a relação entre a geometria urbana e a formação da IC (ROSSI, 2012, p.39):

> Ribeiro, Fidelis e Carvalho (2008) ao analisarem a relação entre formação de ilhas de calor e a geometria urbana (FVC) em dois bairros da cidade de João Pessoa/PB, concluíram que, no período da tarde, há uma tendência da temperatura do ar permanecer mais quente em locais com maior FVC, ou seja, em locais mais expostos à radiação solar direta. Já no período da noite, o comportamento térmico se inverte, e a temperatura é mais elevada em locais com menor FVC, confirmando a teoria de que a maior obstrução do céu dificulta a perda do calor acumulado durante o dia.

I.1.2.2.3. Umidade do ar

Devido ao processo de urbanização há uma crescente substituição de áreas verdes por áreas impermeabilizadas, um dos efeitos da impermeabilização do solo no clima é a diminuição da umidade. Por esse motivo a umidade tende a ser menor na área urbana, porém, a diferença para a área rural não é tão significativa. Na área urbana o ar é mais seco durante o dia e ligeiramente mais úmido durante a noite. Na área rural, a umidade do ar é maior durante o dia devido ao processo de evapotranspiração, e menor durante a noite em função do rápido resfriamento do ar. (ROSSI, 2012, p.39-40).

De acordo com Oke (1978), nas áreas urbanas a umidade do ar é mais alta devido a aspectos como a baixa evapotranspiração do tecido urbano, ao vapor

antropogênico e à estagnação do fluxo de ar. Durante a noite ocorre a formação de ilhas de umidade nos centros urbanos, efeito similar ao da ilha de calor, ocorre porque na área mais urbanizada há uma maior concentração de umidade no ar, ocorrendo então uma significativa diferença em relação à área rural. Nos climas frios, porém, a umidade do ar pode ser mais alta durante o dia, especialmente durante o inverno, fenômeno que se deve à liberação de vapor de água pelos processos antropogênicos. (ROSSI, 2012, p.40).

I.1.2.2.4. Velocidade do vento

Segundo Higueras (1998, p.20) a velocidade do vendo no ambiente urbano sofre influência significativa de fatores geográficos, topográficos, do tipo de vegetação ou de solo e da massa edificada e por esse motivo será muito particularizado. Já no que diz respeito às diferenças no comportamento do vento no meio urbano e rural, Oke (1978) ressalta que a velocidade do vento dentro da camada urbana é normalmente menor que na área rural, mas adverte que em duas situações esta premissa não é verdadeira: (1) quando a ventilação é canalizada ao longo de vias orientadas na direção do fluxo de ar e (2) quando os ventos regionais são muito leves ou há calmaria.

Os ventos regionais e o gradiente de temperatura do ar entre a área urbana e a rural influenciam a ventilação urbana (OKE, 1978; GIVONI, 1998). A rugosidade e a porosidade são duas características urbanas que também exercem grande influência na ventilação local, sendo a porosidade compreendida como a permeabilidade urbana aos ventos, sendo resultante das distâncias entre as edificações e a largura das vias (OLIVEIRA, 1988).

Com base na análise de estudos nacionais e internacionais, Rossi (2012, p.41), destaca a influência da porosidade na ventilação urbana e a grande variabilidade da velocidade em cânions estreitos e largos:

> Johansson (2006) analisou o comportamento de variáveis climáticas em um cânion estreito (H/W = 9,7) e em um cânion largo (H/W = 0,6), na cidade de Fez, Marrocos. Em relação à umidade relativa, o autor observou que no cânion estreito a umidade permaneceu estável, enquanto no cânion largo ela sofreu variação diurna. A variação da umidade está relacionada com a variação diurna da temperatura do ar nos dois cânions. A velocidade do vento variou consideravelmente, em função da hora do dia. No cânion estreito, a velocidade do vento permaneceu estável e foram registrados valores mais baixos se comparados com o cânion largo. Marques e Araújo

(2009) analisaram o impacto de diferentes ocupações do solo na ventilação natural na orla da cidade de Natal/RN e concluíram que ao diminuir a porosidade, isto é, reduzir os recuos entre edificações e aumentar a altura das mesmas, a velocidade do vento é reduzida, originando a formação de ilhas de calor.

I.1.2.3. Estratégias de desenho urbano para melhoria do conforto térmico urbano

Autores como Oke (1978), Oliveira (1988), Romero (1988), Givoni (1998) e Assis (2005) tem estudado a relação entre o microclima e o desenho urbano e procurado avaliar os impactos, fracos ou intensos, que as intervenções no desenho urbano podem gerar sobre um ou mais elementos climáticos. Com o objetivo de minimizar os efeitos da urbanização no microclima, é possível utilizar elementos urbanísticos que melhorem os impactos ambientais e do consumo energético e, por conseguinte, o clima urbano e o conforto térmico em espaços abertos.

Nesse sentido, Oliveira (1988) propõe a consideração de alguns aspectos que atuam como condicionantes do microclima urbano: rugosidade e porosidade; densidade construída; tamanho da estrutura urbana; uso e ocupação do solo; orientação; permeabilidade do solo; propriedades termodinâmicas dos materiais; e, áreas verdes.

I.1.2.2.1. Rugosidade e Porosidade

Rugosidade e porosidade são características urbanas que exercem grande influência sobre a ventilação local. A rugosidade diz respeito às irregularidades que caracterizam uma superfície e expressa a influência das diferentes alturas de obstáculos e edificações sobre o fluxo de ar. A rugosidade das superfícies é descrita por meio de um comprimento de rugosidade, o qual pode ser definido como a altura em que a velocidade do vento iguala-se a zero. (BRANDÃO, 2009). A porosidade pode ser compreendida como a permeabilidade urbana aos ventos, e é dada em função das distâncias entre as edificações e a largura das vias.

Considerando que a rugosidade é uma resistência, maior ou menor, que a superfície urbana oferece aos ventos que se deslocam sobre ela, depreende-se que quanto mais rugosa for a superfície, tanto maior será a altura em que sua influência sobre o vento será percebida e portanto aumentando a altura da camada limite. A maior rugosidade presente na área urbana frequentemente faz com que a velocidade do

vento seja menor na cidade. Quando afastado da influência da área superficial urbana, o vento apresenta um perfil de velocidade vertical mais constante; já a partir da aproximação da camada da superfície urbana, observa-se uma alteração no comportamento do mesmo, o qual influenciado pela rugosidade urbana apresenta maior velocidade na medida em que a altura aumenta (Figura I.1.4).

A porosidade pode ser entendida como a permeabilidade do tecido urbano aos ventos, sendo conformada em função das distâncias entre as edificações e da largura das vias. Ela é expressa por meio da relação entre espaços abertos e espaços confinados, ou seja, corresponde tanto ao espaçamento entre os edifícios como aos diferentes arranjos morfológicos e à diversidade de alturas relativas entre edifícios e demais superfícies urbanas. É fortemente condicionada pela estrutura de parcelamento de quadras e lotes, pelo grau de ocupação desses e pela existência de vazios não edificados.

A porosidade na malha urbana pode modificar substancialmente o comportamento dos ventos dentro da cidade, uma vez que sua direção e velocidade são controladas pela forma e disposição dos edifícios e o afastamento entre eles, pelo aumento do gabarito das edificações, pelo padrão de arruamento e espaços abertos, além das condições topográficas do sítio urbano. (OLIVEIRA, 1988).

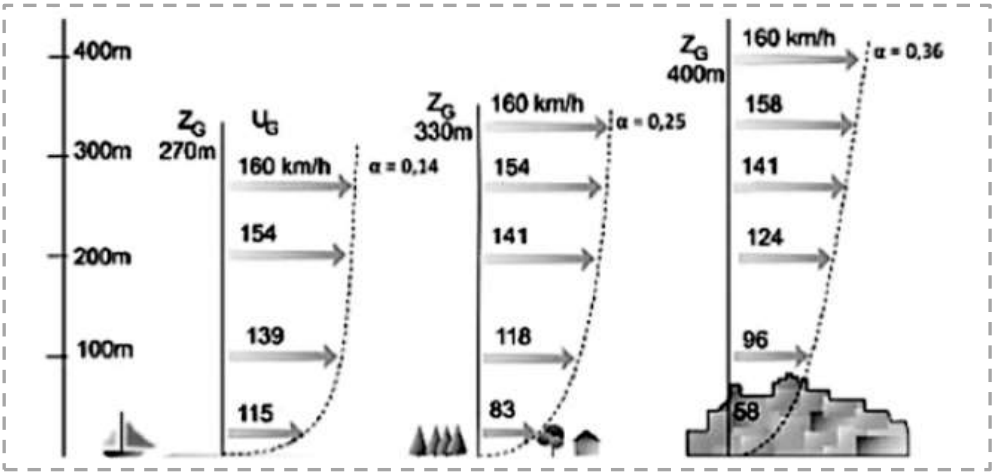


FIGURA I.1.4 - EFEITO DA RUGOSIDADE NO PERFIL DE VELOCIDADE DO VENTO
Fonte: adaptado de Davenport (1965).

Analisando a porosidade segundo os padrões de implantação dos edifícios mais utilizados nas cidades, Olgyay (1998) verificou que o arranjo escalonado (na forma de tabuleiro de xadrez – Figura I.1.5.d) apresenta melhor aproveitamento do

vento em relação à malha ortogonal normal (Fig. I.1.5.b), pois é aquele que melhor reduz o efeito da sombra de vento (Fig. I.1.5.a), fenômeno caracterizado pela separação do fluxo de ar ocasionando a formação de zonas turbulentas de recirculação de ar e vórtices. (TORRES, 2006). A ocupação inclinada a 45 graus (Figura I.1.5.c) mostra-se o mais desfavorável em relação aos ventos predominantes.

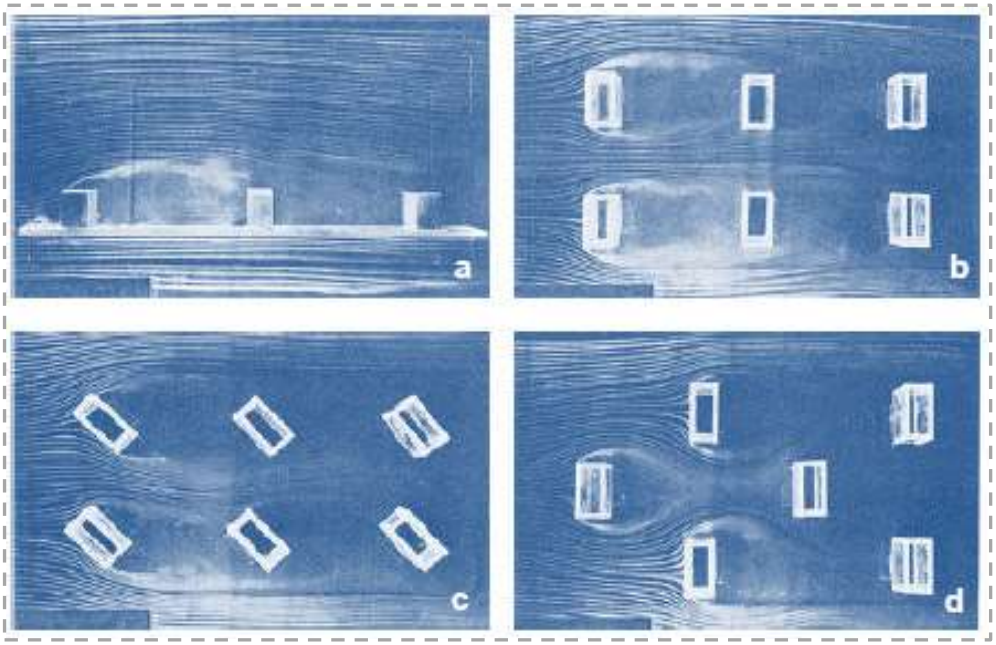
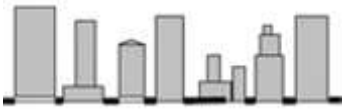


FIGURA I.1.5 – EFEITO DA VENTILAÇÃO EM DIFERENTES PADRÕES OCUPAÇÃO.
Fonte: Olgyay (1998).

I.1.2.2.2. Densidade construída

A densidade construída está relacionada à taxa de ocupação da área, às distâncias entre edificações e a altura média dos edifícios, além de características da estrutura urbana tais como tamanho, forma das edificações e posição relativa entre elas. Givoni (1998) destaca que a densidade construída das várias áreas numa cidade afeta o microclima urbano modificando, quanto ao regime dos ventos, ao balanço de radiação e a temperatura do ar.

Oke (2006, p.11), em sua classificação da zona climática urbana (Quadro I.1.5), caracteriza a densidade de uma área urbana segundo a relação proporcional entre a altura das edificações e a largura da caixa viária (H/W).

ZONA CLIMÁTICA URBANA	ILUSTRAÇÃO DA ÁREA	CLASSE DE RUGOSIDADE	RELAÇÃO H/W	(%) CONSTRUÍDO IMPERMEÁVEL
1 – Intenso desenvolvimento urbano, com aglomerado de edifícios altos revestidos, torres do centro urbano.		8	> 2	> 90
2 – Área intensamente desenvolvida, alta densidade, edifícios próximos, variando de 2 a 5 pavimentos, antigo centro urbano.		7	1.0 – 2.5	> 85
3 – Área altamente desenvolvida, com média densidade, edificações enfileiradas ou isoladas, mas próximas (conjuntos residenciais, lojas e apartamentos).		7	0.5 – 1.5	70 - 85
4 - Área altamente desenvolvida, com baixa densidade, edifícios grandes e baixos com grandes estacionamentos pavimentados, shoppings centers e supermercados.		5	0.05 – 0.2	70 - 95
5 - Desenvolvimento médio e baixa densidade, edifícios de 1 a 2 pavimentos, ex. os subúrbios residenciais.		6	0.2 – 0.6, > 1 com árvores altas	35 - 65
6 – Áreas de uso misto com grandes edifícios em áreas abertas, ex. universidades, hospitais e aeroportos.		5	0.1 – 0.5, depende das árvores	< 40
7 – Desenvolvimento semi-rural, casas dispersas e distribuídas numa área rural ou agrícola.		4	> 0.05 depende das árvores	< 10
Símbolos:	Edifícios Vegetação Solo impermeável Solo permeável			

QUADRO I.1.5 - CLASSIFICAÇÃO SIMPLIFICADA DA ZONA CLIMÁTICA URBANA.
Fonte: adaptado de OKE (2006, p.11).

A relação H/W é função da distância entre os edifícios, sendo ela inversamente proporcional à distância entre eles. Por exemplo, na ocorrência da relação H/W > 0.05, não há uma interação entre os fluxos de ar e os edifícios. Porém, à medida que a

distância diminui e o produto da relação aumente, com H/W = 1, por exemplo, o fluxo passa a ser alterado em decorrência do arranjo dos edifícios.

Givoni (1998) destaca que a densidade construída das várias áreas numa cidade afeta o microclima urbano modificando, quanto ao regime dos ventos, ao balanço de radiação e a temperatura do ar.

Ventilação e Insolação são afetadas pela conformação do tecido urbano, pois nas áreas entre as vias e as edificações, dependendo da relação H/W, pode ser formado túnel de vento (com aceleração da ventilação) assim como ocorrer o bloqueio (reduzindo a velocidade e redirecionando o fluxo), conforme evidenciam Romero (1988, p.108) e Givoni (1988). Esse comportamento é ilustrado pela Figura I.1.6.

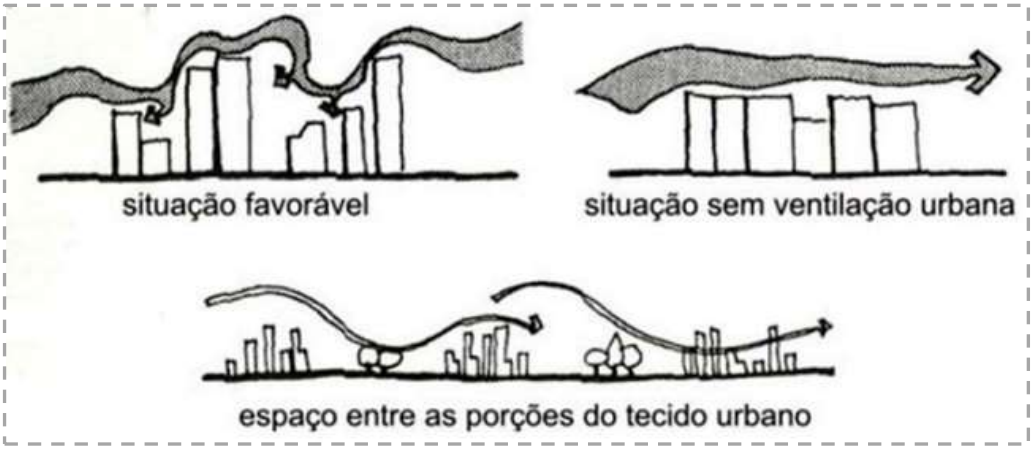


FIGURA I.1.6 – COMPORTAMENTO DA VENTILAÇÃO NO TECIDO URBANO.
Fonte: Romero (1988, p.108).

A geometria do tecido urbano exerce significativa interferência no fluxo do vento na cidade. Oke (1987) e Lee *et al* (1980) analisaram o fluxo da ventilação urbana em três diferentes situações de distanciamento entre os edifícios (Figura I.1.7):

a) Rugosidade isolada: a relação H/W é baixa e nesse caso o fluxo é pouco alterado pelo arranjo dos edifícios. O espaço entre as edificações é largo, sendo maior que a soma das regiões de separação do fluxo localizadas a sotavento (Ed) e a barlavento (Eu), geradas entre as edificações;
b) Interferência de esteira: acontece quando a relação H/W é menor que a soma das regiões de separação. A altura e o arranjo das edificações passam a perturbar o redemoinho a barlavento (Eu) e na cavidade (Sc). Aparece um fluxo

de ar secundário no cânion que é gerado quando o fluxo de ar na cavidade é reforçado pela deflexão do fluxo na frente do edifício a sotavento (Ed).

c) Fluxo deslizante (turbulento): quando a relação H/W é maior, há uma estabilização do vórtice e a maior parte do fluxo de ar não penetra no cânion, favorecendo o deslizamento do fluxo sobre os obstáculos (edifícios), resultando apenas num movimento turbulento no espaço entre eles.

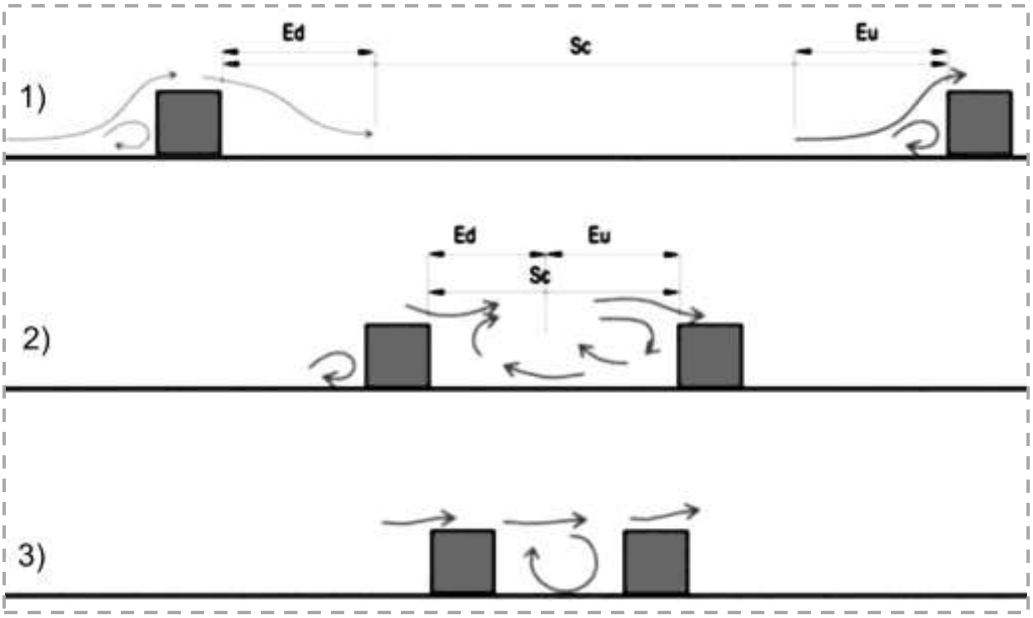


FIGURA I.1.7 - EFEITO DA DENSIDADE CONSTRUÍDA NA VENTILAÇÃO URBANA.
Fonte: Lee *et al* (1980; apud Torres ,2006).

Givoni (1992) evidencia que em locais de clima quente e úmido, as melhores condições de conforto urbano são obtidas com edifícios altos e estreitos (torres), posicionados distantes uns dos outros, de acordo com a densidade do lugar. Em regiões de mesmas características climáticas, onda haja baixa densidade edificada, as dimensões dos lotes devem ser mais largas que compridas, e esses devem estar dispostos de modo que a ventilação possa penetrar e atingir todos os edifícios (EVANS e SCHILLER, 1994; ROMERO, 2000; HIGUERAS, 2006).

O impacto da incidência de radiação solar próximo à superfície urbana é proporcional à altura das edificações (H) e à distância entre eles (W), isto é, de acordo com Romero (2001, p.91), refere-se à proporção W/H. Ludwigh (1970 *apud* ROMERO, 2001) ao analisar os efeitos da relação W/H na radiação e na temperatura do ar próxima do solo, verificou que em áreas com baixa densidade, parte da radiação solar que incide é refletida ou emitida, para depois ser absorvida (Figura I.1.8.a). Em uma área de densidade média, com proporção W/H igual a 1,

grande parte da radiação refletida incide em outros edifícios ou na superfície do solo. Já numa área de alta densidade, com W/H proporcional a 4 ou mais, a maior parte da absorção toma lugar muito acima do nível do solo (Figura I.1.8.b).

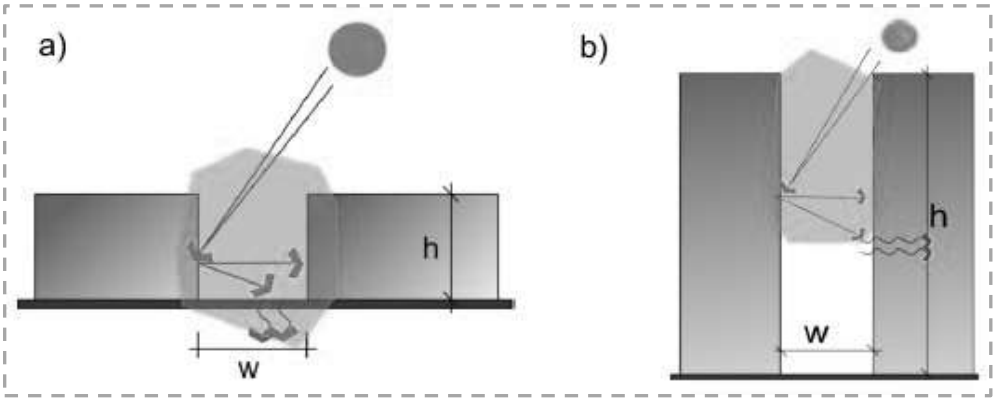
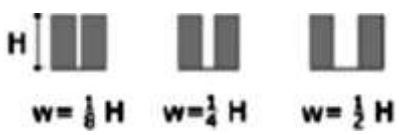


FIGURA I.1.8 - IMPACTO DA RADIAÇÃO SOLAR EM DIFERENTES DENSIDADES.
Fonte: adaptado de Romero, 2001, p. 91.

Romero (2001), Silva e Romero (2010) argumentam que a relação W/H está diretamente ligada à quantidade de absorvida pelas edificações, visto que o edifício armazena radiação de ondas curtas, aumentando a energia solar absorvida devido às várias reflexões. E, ainda no que a radiação solar, McCluskey (1985 *apud* ROMERO 2001) estabelece a categorização dos espaços urbanos em três tipos, organizados segundo a relação W/H (Quadro I.1.6).

CATEGORIZAÇÃO DE ESPAÇOS		
CLAUSTROFÓBICO	**RECOLHIMENTO**	**EXPANSIVO**
▪ Absorvem calor muito acima do nível do solo. ▪ Existe um amortecimento do ciclo térmico e normalmente a temperatura permanece estável (calor ou frio) durante o dia e só é alterada por um fator extremo. ▪ Correspondem às áreas de alta densidade.	▪ A absorção de calor se dá próxima ao nível do solo. ▪ Existe uma menor possibilidade de inversão térmica, ou seja, a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à da parte exterior. ▪ Correspondem às áreas de média densidade.	▪ A maior parte da radiação é refletida. ▪ A possibilidade de inversão térmica é mínima e a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à exterior. ▪ Correspondem às áreas de baixa densidade.
		

QUADRO I.1.6 – CATEGORIZAÇÃO DE ESPAÇOS SEGUNDO RELAÇÃO W/H.
Fonte: Adaptado de Romero (2001, p. 91).

Rossi (2012, p.42) analisando a importância do controle da densidade urbana destaca importantes contribuições de diversos pesquisadores, foram constatados diversos efeitos desfavoráveis ao microclima urbano nas altas densidades:

a) Formação de ICs: Danni-Oliveira (1995, p.24), em seu estudo da distribuição espacial do ar em Porto Alegre, constatou “a presença de IC (Ilhas de Calor) sobre as áreas mais densamente edificadas e, ainda, sobre as áreas caracterizadas pelo uso industrial”.
b) Aumento da temperatura do ar: Nery, Andrade e Lira (2003) analisaram oito tipologias de ocupação do solo em Salvador/BA e observaram que a impermeabilização do solo e a massa construída contribuem para o armazenamento de calor pelas superfícies, induzindo o aumento da temperatura do ar.
c) Adensamento e a verticalização contribuem para o aumento da temperatura, diminuição da umidade e desconforto térmico, dentre outros: Vilela, Assis e Paiva (2007) analisaram dois cenários de adensamento urbano (massa construída) na cidade de Belo Horizonte/BH e seu impacto no conforto térmico, observando que há correlação significativa entre a massa construída, a temperatura do ar e a umidade relativa, e concluindo que se houver aumento das taxas de adensamento e verticalização na área estudada a poluição acarretará aumento da temperatura, diminuição da umidade, redução de áreas verdes, desconforto térmico e problemas de saúde.

I.1.2.2.3. Tamanho da estrutura urbana

O tamanho da área urbana é determinado pelas dimensões verticais e horizontais, apresenta forte relação com a quantidade de calor gerada e com as altas temperaturas urbanas, influi na quantidade de fontes produtoras de calor e de poluentes. As áreas de intenso crescimento vertical estão relacionadas às maiores médias de temperaturas urbanas, enquanto que as áreas com menores taxas de ocupação tendem a possuir as menores médias térmicas (SOMEKH, 1997; NOGUEIRA, 2011).

Além da dimensão da estrutura urbana, as características básicas mais importantes são a própria estrutura urbana (dimensões dos edifícios e dos espaços

entre eles, a largura das ruas e o espaçamento entre as ruas), a cobertura do solo urbano (áreas construídas, áreas pavimentadas impermeabilizadas, áreas verdes, terra nua, água), o tecido urbano (materiais de construção e naturais) e o metabolismo urbano (calor, água e poluente oriundos da atividade humana). (OKE, 2006, p.9).

As variáveis climáticas se apresentam de forma diversificada dentro da malha urbana, variando de acordo com a espacialização do uso e ocupação do solo, o qual, por sua vez está diretamente ligado tanto à forma urbana como um todo, quanto aos arranjos morfológicos. Dessa maneira, a forma urbana pode alterar o perfil urbano microclimático, condicionando o clima urbano através das relações estabelecidas entre o ambiente construído, a rugosidade da superfície, a geometria urbana e propriedades dos materiais de superfície (BARBIRATO, 2005; SHASUA-BAR e HOFFMAN, 2000).

A elevação da altura dos edifícios, associada à redução na taxa de ocupação do solo, permite uma melhor distribuição no fluxo de ar nos ambientes, tanto externamente quanto internamente. (BITTENCOURT *et al,*1997). Oliveira (1988) acrescenta ainda que, quanto maior for o contraste de alturas da estrutura urbana, maior será a velocidade dos ventos em parte da massa edificada próxima dos volumes mais altos (quando combinada à porosidade) e maiores serão as trocas térmicas com o ambiente atmosférico, ocasionando menores ganhos térmicos e, consequentemente, menores temperaturas do ar.

Ainda com relação à geometria urbana, Ribeiro, Fidelis e Carvalho (2008) realizaram estudos em dois bairros da cidade de João Pessoa/PB investigando a interação entre o Fator de Visão do Céu (FVC) e seu efeito na variação da temperatura do ar. Ao analisarem a relação entre formação de ilhas de calor e a geometria urbana (FVC) concluíram que, no período da tarde, há uma tendência da temperatura do ar permanecer mais quente em locais com maior FVC e no período da noite, o comportamento térmico se inverte, e a temperatura é mais elevada em locais com menor FVC, demonstrando que a maior obstrução do céu dificulta a perda do calor acumulado durante o dia.

I.1.2.2.4. Uso e ocupação do solo

O uso e a ocupação do solo são definidos em função da densificação, do regime de atividades normalmente atrelado ao zoneamento, dos dispositivos de

controle das edificações e do parcelamento do solo, dentre outros. Conforme evidencia Barbirato *et al* (2007) o uso do solo tem influência direta na distribuição das temperaturas dentro das estruturas urbanas, através da concentração e/ou dispersão de atividades de acordo com o tempo (dias úteis e fins de semana), da centralização e/ou descentralização de atividades (maior massa construída nos centros urbanos) além da proporção e distribuição de áreas verdes.

De acordo com Oliveira (1988), contextualizar numa mesma área urbana usos industriais, comerciais e de prestações de serviços significa contextualizar também nessas áreas subprodutos dessas atividades, ou seja, maior transmissão de calor (radiação tanto solar quanto a produzida pelas atividades antrópicas) e poluentes atmosféricos, tendo como consequência maiores alterações climáticas. Se por um lado a concentração de indústrias proporciona maior transmissão de calor, por outro lado estudos apontam que nos parques e reservatórios, a temperatura é menor (LOMBARDO, 1985).

Danni (1987) estudou a distribuição espacial da temperatura do ar e da umidade relativa do ar na cidade de Porto Alegre e durante um período de quinze dias foram feitas leituras nos horários padronizados internacionalmente, com termômetros distribuídos na mancha urbana. A autora identificou a formação em geral, de ilhas de calor e secas (particularmente à noite), bem como de ilhas frescas e úmidas, relacionadas à ocupação e ao uso do solo urbano. (DUMKE, 2007, p.122).

A ilha de calor pode ser melhor visualizada como uma bolha de calor estagnada sobre as áreas mais densas e verticalizadas da cidade. Para Lombardo (1985) é evidente que essas alterações variam de cidade para cidade em virtude da intensidade do uso do solo, do processo de crescimento e das características geoecológicas do recinto urbano. A autora ressalta também que este fenômeno contribui de forma decisiva para a alteração do balanço de energia nas cidades. Além disso, o aumento da temperatura, o aumento da precipitação e diminuição da umidade relativa podem provocar o desconforto térmico e prejudicar a saúde dos habitantes.

Visto que a concentração de usos estabelecida pelo zoneamento pode influir diretamente na formação de microclimas particulares e prejudiciais ao conforto térmico urbano em determinadas áreas das cidades, Higueras (1998, p.10) recomenda o

abandono dessa prática para, ao contrário disso, potencializar os usos mistos e a diversidade de atividades nos centros urbanos e favorecer tanto o microclima como a conservação de energia dispendida em deslocamentos. Em complementação, incentivar a integração, ampliação e distribuição da rede de espaços livres e áreas verdes, como um sistema capaz de corrigir e moderar as inclemências extremas das condições ambientais.

I.1.2.2.5. Orientação

A orientação relaciona-se com o posicionamento de elementos como as quadras, os lotes, as ruas, as áreas verdes e edifícios ante a insolação, ao regime de vento, às fontes de ruído e poluição sonora e também à topografia da área considerada. Conforme ressalta Higueras (1998, p.22) o traçado urbano é capaz de permitir uma melhor orientação desses elementos, aproveitando racionalmente a radiação solar e os ventos dominantes tanto no interior dos edifícios quanto nos espaços externos: “as ruas configuradoras da estrutura urbana principal podem estar orientadas levando em conta as condições de sol e vento que afetam a ocupação”.

A relação entre a largura das ruas e praças determina a distância entre as edificações dos dois lados da rua, podendo impactar positivamente tanto na ventilação como na insolação, ou seja, o traçado e configuração das ruas também determina potencial ventilação dos edifícios, bem como as condições de ventilação externa. (HIGUERAS, 1998, p.22).

Rossi (2012, p.41-42) salienta que a orientação das vias pode proporcionar a melhoria da ventilação local, da insolação e consequentemente do conforto térmico e destaca aspectos já investigados por outros autores a esse respeito:

1) A orientação da via não influi na temperatura interior dos cânions urbanos: Santamouris[5] (2001, citado por ROMERO, 2009) mostra que apesar da orientação da via determinar a quantidade de radiação recebida pelas superfícies das edificações, a temperatura no interior dos cânions urbanos não é influenciada pela orientação da via, mas sim, pela ventilação no cânion.
2) A orientação das vias interfere no sombreamento e microclima: Bourbia e Awbi (2004) afirmam que a orientação das vias tem considerável efeito no sombreamento e no microclima. No estudo realizado para as latitudes 26-32°N,

os autores verificaram que, para a orientação N-S, 40% a 80% da via apresenta sombreamento, enquanto para a orientação NO-SE, apenas 30% a 50% da rua é sombreada ao longo do ano.

3) A orientação da edificação influencia o comportamento do ar próximo à superfície do solo: Carvalho *et al.* (2009), ao estudar a relação entre a orientação das edificações e o comportamento térmico na orla marítima de João Pessoa, verificaram que a orientação da edificação influencia o comportamento da sombra projetada e o comportamento do ar próximo à superfície do solo.

I.1.2.2.6. Permeabilidade do solo

Refere-se às possibilidades de infiltração de água na superfície do solo, considerando suas características de permeabilidade (tipo de solo exposto, forragem da vegetação) e de impermeabilidade (tipo da pavimentação de revestimento ou edificações). Todos os solos apresentam características mais ou menos permeáveis: em solos arenosos, por exemplo, a permeabilidade é alta; já nos solos argilosos a permeabilidade é baixa. Desse modo, os solos rochosos, cimentados, ruas asfaltadas, e solos que ficam sob as casas e prédios, apresentam permeabilidade nula. (NOGUEIRA, 2010, p. 50).

O processo de urbanização leva à impermeabilização das cidades, seja pela construção ou pelo revestimento por pavimentos impermeáveis, esse processo se reflete na capacidade de escoamento das águas, levando a um rápido escoamento das águas em virtude da reduzida área de superfícies permeáveis (com solo natural ou vegetações). Esse rápido escoamento e consequente sobrecarga das galerias de águas pluviais, pode ocasionar inundações. Com a permeabilidade próxima do zero, não há mais infiltração e toda a água da chuva é geralmente obrigada a correr pela superfície das ruas e avenidas.

O processo de urbanização provoca a impermeabilização da superfície do solo urbano em decorrência dos processos de edificação e pavimentação, e, de acordo com Oliveira (1988), sendo esse diretamente dependente da quantidade de algumas tipologias de áreas impermeáveis:

1) Superfície de solo urbano edificado e construído;

2) Superfície do solo urbano pavimentado (passeios, ruas, avenidas);
3) Superfície de solo urbano nu, compactado (como ocorre nas áreas ainda desocupadas dentro do tecido urbano, provisoriamente utilizadas com a intensa atividade de veículos e/ou circulação constante de pedestres).

Os principais efeitos da impermeabilização do solo que repercutem no clima urbano são: a redução da umidade relativa do ar e da evaporação, o que acontece em função da pouca absorção das águas pluviais e da radiação térmica acumulada. A permeabilidade e o tipo de recobrimento do solo constituem-se num dos atributos morfológicos condicionantes do clima urbano e da melhoria das condições microclimáticas dos mais variados espaços urbanos. Gartland (2010, p.182) que o aumento da permeabilidade pode contribuir para a mitigação das IC urbanas, o que pode ser conseguido pela inserção de áreas verdes (com arborização e vegetação), pela substituição dos pisos impermeáveis por pisos permeáveis e também pelo uso de lajes e tetos verdes, os quais possuem. Ação que pode, inclusive, reduzir a ocorrência de enchentes urbanas.

I.1.2.2.7. Propriedades termodinâmicas dos materiais

O desempenho dos materiais urbanos é determinado por suas características térmicas, sendo o albedo e a emissividade[10] os fatores mais significantes para os processos de absorção e transmissão de calor.

As características morfológicas e o albedo das superfícies diminuem as diferenças no balanço de energia entre o campo e a cidade. Com a urbanização, os materiais de construção utilizados, em substituição dos materiais naturais, provocam mudanças nos processos de absorção, transmissão e reflexão, apresentando geralmente menor valor de albedo, maior capacidade calorífica e valor elevado de condutividade térmica (NOGUEIRA, 2010, p.51).

Os materiais utilizados em coberturas e pavimentos possuem características que intensificam o problema das ilhas de calor (sólidos e escuros, contribuindo para

[10] *Emissividade:* é a capacidade de um objeto emitir energia infravermelha. (DUMKE, 2007, p.117). É uma grandeza adimensional que depende do material, do tipo de superfície e da temperatura. Para o corpo negro ideal, $\varepsilon = 1$.

absorção e retenção do calor), pois são materiais com elevada condutividade térmica tendendo a armazenar e liberar mais calor. Materiais de construção fabricados pelo homem, tais como pavimentos e materiais isolantes tendem a armazenar mais calor durante o dia e liberá-lo lentamente durante a noite. Árvores e vegetação podem ser utilizadas para ajudar no arrefecimento, pois promovem sobras para as superfícies e protegem-nas do calor do sol, mantendo essas superfícies mais frescas e reduzindo o calor armazenado por elas. (GARTLAND, 2010, p.64-65).

A transformação da energia absorvida pelas superfícies em calor é condicionada por suas características termofísicas. Nos materiais de construção, as características termofísicas relevantes são: a *transmitância* (U), relacionada à *condutividade térmica*[11] dos materiais; e a inércia térmica (φ) que considera sua *capacidade térmica*[12], ou seja, a capacidade do material de reter calor. Nas superfícies construídas, a capacidade de armazenar o calor e de retê-lo durante certo tempo depende da *massa* e do *calor específico*[13], propriedades físicas que variam em função do material empregado. (DUMKE, 2002, *apud* DUMKE, 2007, p.118-119).

Materiais com baixo albedo e alta emissividade, aumentam a transferência de energia para o ar ambiente, aquecendo-o (PRADO e FERREIRA, 2005). A parcela da radiação que é refletida sofre sucessivas reflexões devido à geometria das edificações urbanas. Considerando que no ambiente urbano há grande diversidade e heterogeneidade de materiais, como telhado, pintura, asfalto, calçada, concreto, grama e árvores, o albedo apresenta diversos valores, a escolha dos materiais mais favoráveis ao clima urbano torna-se trabalhosa. O Quadro I.1.7 apresenta os valores de albedo e emissividade para superfícies, frequentemente encontradas em ambientes urbanos.

---

[11] *Condutividade térmica*: é a propriedade do material que determina o fluxo de calor por condução partícula a partícula em uma unidade de tempo; a energia é transferida através da variação do gradiente de temperatura, sem o transporte de matéria. (DUMKE, 2007, p.118).

[12] *Capacidade térmica dos materiais:* é utilizada na arquitetura para melhorar as condições de conforto térmico no interior das edificações, em regiões de significativa amplitude diária da temperatura do ar, pois é possível reter o calor no interior dos elementos constituintes do envelope, possibilitando perdas de calor pra o interior quando a temperatura externa se resfria. Assim, pode-se diminuir o fluxo de calor para o interior no período de calor e armazenar o calor interno por mais tempo no período de frio, amenizando as temperaturas no interior da edificação. (DUMKE, 2007, p.119).

[13] *Calor específico:* de uma substância é a quantidade de calor necessária para aumentar em 1ºC a temperatura de um grama desta substância. Quanto menor o calor específico de uma superfície, mais rapidamente ela se aquece. (DUMKE, 2007, p.119).

Gartland (2010, p.88) relata os benefícios do uso de coberturas frescas, incluindo maior conforto dentro dos edifícios, economia de água e luz, menos manutenção, redução nos picos de demanda de energia, redução nos níveis de poluição do ar e diminuição dos efeitos das ilhas de calor. Um estudo para a cidade de Sacramento-EUA mostrou que o aumento de cobertura arbórea e da superfície de coberturas frescas diminuiu os picos de temperatura do ar em 1,7°C e o *smog* (combinação de neblina e fumaça) em 6,5% (TAHA *et al*., 2000, *apud* GARTLAND, 2010, P.97).

SUPERFÍCIE	**ALBEDO** *(adimensional)*	**EMISSIVIDADE** *(adimensional)*
Rua com asfalto	0,05 – 0,20	0,95
PAREDES:		
Concreto	0,10 – 0,35	0,71 – 0,90
Tijolo	0,20 – 0,40	0,90 – 0,92
Pedra	0,20 – 0,35	0,85 – 0,95
Madeira	-----	0,90
TELHADOS:		
Piche e cascalho	0,08 – 0,18	0,92
Telha	0,10 – 0,35	0,90
Ardósia	0,10	0,90
Sapê /palha /folhagem	0,15 – 0,20	-----
Chapa ondulada	0,10 – 0,16	0,13 – 0,28
JANELA - VIDRO CLARO ZENIT:		
Ângulo zenital menor que 40º	0,08	0,87 – 0,94
Ângulo zenital de 40º a 80º	0,09 – 0,52	0,87 – 0,92
PINTURAS:		
Brancas, caiadas	0,50 – 0,90	0,85 – 0,95
Vermelhas, marrom	0,10 – 0,35	-----
Verdes	0,20 – 0,35	0,85 – 0,95
Pretas	0,02 – 0,15	0,90 – 0,98
ÁREAS URBANAS (LATITUDES MÉDIAS):		
Variação	0,10 – 0,27	0,85 – 0,96
Média	0,15	0,95

QUADRO I.1.7 - PROPRIEDADES RADIANTES DE MATERIAIS URBANOS.
Fonte: Oke (1978, p. 247).

Também existem pavimentos frescos que podem usar componentes de alta refletância solar, incluindo ingredientes de cores mais claras, inclusive agregados, areia e aglutinantes. Pavimentos em concreto e até mesmo asfaltos podem se tornar mais

frescos com o uso de agregados mais claros. Existem também novas opções de pavimentos porosos, revestimento com grama e pavimentos a base de resinas que são mais frescos e representam avanço significativo sobre as principais tecnologias para pavimentos existentes. (GARTLAND, p.127,133).

I.1.2.2.8. Áreas verdes

Devido à urbanização a vegetação está cada vez mais escassa nas cidades, tendendo para a substituição dessa e dos solos permeáveis por superfícies impermeáveis como asfalto e concreto. Contudo, ela é importante elemento de design, pois melhora o microclima e o conforto térmico ao ar livre em espaços urbanos nos climas quentes. (SPANGENBERG, 2004).

Arborização urbana e as áreas verdes refrescam as áreas circunvizinhas tanto através da evapotranspiração (conversão da energia solar em água evaporada ao invés de calor), mantendo assim a temperatura da vegetação e do ar mais baixas, promovendo sombras para as superfícies, protegendo-as do calor do sol, mantendo-as mais frescas e reduzindo o calor armazenado por elas. (GARTLAND, 2010, p.64-65). Porém, em ruas urbanas a arborização é frequentemente considerada um problema: árvores são caras para manter, suas copas interferem nas linhas telefônicas e elétricas aéreas, e suas raízes destroem pavimentos e esgotos subterrâneos. (SPANGENBERG, 2008, p.3).

As espécies arbóreas assim como também demais tipos de vegetação, são os elementos mais completos para adaptar e proteger os espaços livres, para manter o equilíbrio do ecossistema urbano, além de favorecer a composição atmosférica, a velocidade do ar ou a umidade ambiental. Trazem também benefícios ambientais proporcionando a melhoria do microclima urbano, através do sombreamento e do controle do vento, além da redução da poluição do ar por absorção e redução de ruído. (HIGUERAS, 1998; SHASUA-BAR E HOFFMAN, 2000).

O efeito da arborização urbana no microclima depende, dentre outros fatores, do tamanho das áreas vegetadas. De acordo com Oliveira (1988), quanto maior o índice de área verde na estrutura urbana, maior a troca térmica entre essas áreas e menor a temperatura do ar no espaço urbano. Enquanto o efeito refrescante na temperatura do

ar é limitado para uma única árvore ou um grupo pequeno (OKE, 1989), áreas como parques podem ter efeito refrescante significante (YU e HIEN, 2006). Todavia, a evapotranspiração é dependente da umidade do solo e no caso dos solos secos, comuns em áreas urbanas, o resfriamento por evapotranspiração também será limitado. (OKE, 1989; SPANGENBERG *et al*, 2008, p.3).

Entretanto, pode haver efeitos negativos provocados pela arborização urbana, pois as árvores elas bloqueiam o vento: uma árvore decídua pode reduzir a velocidade do vento em cerca de 30 a 40%. (ALI-TOUDERT e MAYER, 2007; SPANGENBERG, 2008). Árvores com copas grandes também reduzirão o resfriamento noturno visto que bloqueiam em alguma medida a passagem da radiação de ondas longas. (SPANGENBERG *et al*, 2008, p.3). Tal efeito pode ser prejudicial nos climas quentes, mas benéfico em climas frios reduzindo o desconforto por frio provocado pelo vento.

A intensificação da arborização urbana e de vegetação seria o modo mais eficiente de melhorar climas urbanos severos, pois modificam o clima devido a três razões principais (KATZSCHNER, 2007, p.8):

a) Provêm sombra que reduz a temperatura na ordem de 5 a 20^{o}C e promovem melhor conforto térmico ao ar livre no ambiente urbano, quando comparado aos lugares expostos a radiação solar. A arborização ao longo das ruas terá impacto significativo na redução da temperatura nas vias, as quais são fator importante para formação das ICs urbanas;
b) É mais fácil manter a água nas áreas vegetadas enquanto que ela é sempre rapidamente escoada para fora de lugares concretados. Arborização e gramados converterão a água sob a superfície vegetada em vapor de água e o libertarão na atmosfera. Assim grande parte da energia solar radiante será transformada em calor latente (promove a mudança do estado físico da matéria sem variar a temperatura) ao invés de calor sensível (eleva a temperatura do ar e causa desconforto humano). Estima-se que a evapotranspiração pode resultar na redução da temperatura na microescala em cerca de 1 a 5^{o}C;
c) Arborização e vegetação consomem grandes quantias de energia solar radiante pelo processo de fotossíntese.

Há ainda benefícios adicionais que surgem do emprego da arborização urbana (KATZSCHNER, 2007, p.8): as árvores agem como armazenadores de carbono, reduzem as inundações urbanas, revestem o solo, filtram poluentes e CO_2 do ar e contribuem para qualidade de vida.

Vários estudos recentes comprovam os benefícios da arborização urbana para a redução das temperaturas, provendo sombra e melhorando conforto térmico (SPANGENBERG *et al*, 2008, p.3-4):

a) Shashua-Bar e Hoffman (2004) mostraram, por meio de medições de campo, que ruas e bulevares com arborização em linha em áreas de Tel-Aviv, Israel, apresentaram valores de 1 a 2.5°C menores na temperatura do ar do que em ruas não vegetadas, no horário mais quente do dia (15h00);
b) Chatzidimitriou et al. (2005), usando o software ENVI-Met para simular o clima de Thessaloniki, Grécia, encontraram pequena diminuição de temperatura para ruas com arborização em linha (menos que 1°C), mas mais de 20°C de redução nas temperaturas de superfície e mais de 40°C de redução nas temperaturas radiantes medias. Mostraram também que o efeito refrescante cresce com o aumento no número de árvores.
c) Spangenberg (2004) usando o ENVI-met em simulação com diferentes cenários de emprego da vegetação no Rio de Janeiro, Brasil, verificou que a arborização de 30% no chão e 100% de telhados verdes poderia quase recriar condições de conforto de uma floresta natural.

Rossi (2012, p.44) aponta benefícios da presença das áreas verdes no ambiente urbano como fator contributivo para melhoria do microclima urbano destacando aspectos positivos da sua utilização:

a) Ajuda a melhorar o clima urbano e a ventilação natural, servindo como barreira ao vento, produzindo sombra, absorvendo a radiação e auxiliando na diminuição da temperatura do ar e no aumento da umidade do ar (OLIVEIRA, 1988; ROMERO, 1988; GIVONI, 1998).
b) Funcionam como elementos atenuantes no controle da temperatura: Danni (1987) constatou a formação de ilhas frias no centro da cidade de Porto Alegre em função do Parque Farroupilha.

c) Exercem grande influência na qualidade do meio ambiente urbano, afetando o desempenho térmico das edificações, bem como o conforto térmico tanto dentro quanto fora das mesmas. Aumentam a qualidade de vida na cidade exercendo também outras funções urbanas, como a social e a psicológica. Funcionam como moderadoras do clima, ou seja, fornecem sombra, ajudam na evapotranspiração e no controle do vento, por exemplo. (GIVONI, 1991).
d) Atenuam a radiação solar: Bueno-Bartholomei, Labaki e Vianna (2001) analisaram a atenuação da radiação solar proporcionada por cinco espécies arbóreas e concluíram que sua variação pode ser de aproximadamente 75% a 90%, dependendo das características específicas de cada espécie.
e) Reduzem temperatura do ar e radiação solar sob sua sombra: Abreu e Labaki (2007) verificaram o raio de influência de doze espécies arbóreas e observaram que na situação sombreada os valores de temperatura do ar e radiação solar foram mais baixos que na situação ao sol.

I.1.3. ESTRATÉGIAS PARA PROTEÇÃO DO CLIMA E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Juntamente com crescente aquecimento global que poderá provocar um aumento nas temperaturas variando de 1,8 até 4,0^{o} C quando comparados o período de 1980/1999 para 2090/2099, o IPCC prevê um provável aumento na frequência de eventos climáticos extremos, em especial a ocorrência de ondas de calor, tempestades e vendavais (SCHÄR et al. 2004; BENISTON, 2004; GERSTENGARBE e WERNER, 2007, *Apud* ENDLICHER, 2012, p.232). No Quadro I.1.8 são apresentados os possíveis efeitos das mudanças climáticas para as grandes cidades.

Objetivando a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas Endlicher (2012, p.239) afirma que devem também ser tomadas medidas para a adaptação já para evitar os efeitos das mudanças climáticas. Essas medidas de adaptação dizem respeito ao clima predominante (tropical ou subtropical) e a um lugar em particular uma cidade (seja na costa ou região montanhosa). Para isso não é suficiente identificar tendências climáticas, tais como a elevação das temperaturas médias. É necessário focar nos eventos climáticos extremos.

MUDANÇA CLIMÁTICA	EFEITO NAS CIDADES
ALTERAÇÃO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS MÉDIAS	
Aumento da temperatura e potencialização dos efeitos das Ilhas de Calor	Aumento no consumo de energia para climatização
	Piora na qualidade do ar
Aumento ou redução das precipitações	Aumento do risco de enchentes
	Maior perigo de deslizamento de encostas
	Crescente êxodo das áreas rurais
	Risco ao abastecimento de gêneros alimentícios das cidades
Elevação do nível do mar	Enchentes nas áreas costeiras
	Redução na receita econômica e turismo
AUMENTO DOS EVENTOS EXTREMOS	
Tempestades extremas e ciclones tropicais	Fortes enchentes
	Maiores riscos de deslizamento de encostas
	Prejuízos ao sustento da população e dos processos econômicos na cidade
	Danos aos domicílios, infraestrutura e empresas.
Seca	Escassez de água
	Elevação no preço dos alimentos
	Prejuízos à produção de energia hidrelétrica
	Crescente êxodo das áreas rurais afetadas
Ondas de calor / ondas de friio	Picos energéticos para condicionamento de ar, por exemplo, aquecimento de ambientes.
	Prejuízos à saúde da população
Mudanças climáticas abruptas	Possíveis efeitos graves de uma repentina forte elevação do nível do mar
	Possíveis efeitos graves de uma repentina forte elevação na temperatura do ar
MUDANÇA DE EXPOSIÇÃO	
Movimentos populacionais	Das áreas rurais atingidas
Alterações biológicas	Ampliação das doenças patogênicas

QUADRO I.1.8 – EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NAS CIDADES.
Fonte: Endlicher (2012, p.234), adaptado de Wilbanks *et al.* (2007).

As estratégias de adaptação ao clima devem estar inseridas na ampla problemática do desenvolvimento urbano sendo necessária uma reflexão integrativa sem a fragmentação setorial, evidencia o autor. Gupta *et al*. (2008) e Fichter *et al.* (2010) propuseram a fundamentação teórica para bem sucedidas estratégias de adaptação ao clima, nessa figuram como pontos centrais o bioclima humano, o clima das ocupações humanas e a prevenção de enchentes.

Endlicher (2012, p.240-243), baseando-se no manual de clima urbano do governo de *Nordrhein-Westfalen* na Alemanha (Steinrücke e Wnowdon, 2010) compila

uma relação de soluções de adaptação voltadas para diferentes situações: no caso da pressão climática causada pelo calor do verão (abordado sob o ponto de vista humano-biometeorológico e também segundo a preocupação com a conservação da água nas ocupações urbanas), alta umidade e períodos de seca. Cada uma das questões é analisada pela indicação do problema em foco (desconforto), dos condicionantes de interação com o problema levantado (sensitividade), quais são as falhas percebidas que explicitam o problema (funções falhas do sistema) então quais são os prejuízos potenciais envolvidos na questão em análise (prejuízos potenciais) e finalmente são indicadas as soluções possíveis. No Quadro I.1.9 são discutidos aspectos relativos ao desconforto provocados pelas Ondas de Calor sob a perspectiva humano-biometeorológica.

SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO AO DESCONFORTO POR CALOR ASPECTOS DO CLIMA URBANO E HUMANO-BIOMETEOROLÓGICOS:			
Desconforto	Sensitividade	Funções falhas do sistema	Prejuízos potenciais
Ondas de calor	▪ Taxa de ocupação ▪ Área verde ▪ Densidade demográfica ▪ Proporção de idosos	▪ Aquecimento das áreas construídas carecendo de resfriamento noturno por causa de ventilação deficiente	▪ Rebaixamento da qualidade de permanência ▪ Rebaixamento da produtividade ▪ Redução do bem-estar da saúde e até morte por calor
SOLUÇÕES DE MÉDIO E LONGO PRAZO DE REESTRUTURAÇÃO URBANA:			
▪ Fixar limites de construção; ▪ Conservar superfície livre, criar e conformar; ▪ Conservar áreas de parques, criar e conformar; ▪ Conservação e criação de superfícies de ar fresco e corredores de ventilação; ▪ Ampliação da área verde com uso de árvores grandes nas ruas; ▪ Sombreamento das paredes dos edifícios com elementos móveis; ▪ Elevação do albedo do edifício; ▪ Uso de materiais de construção mais qualificado; ▪ Uso de ventilação passiva nas edificações; ▪ Criar áreas abertas de superfície de água; ▪ Teto e fachadas verdes;			

QUADRO I.1.9 – ADEQ. DESCONFORTO CALOR – PERSP. HUMANO-BIOMETEOROLÓGICA.
Fonte: Endlicher (2012, p.240).

Ante o já observado e crescente aumento da temperatura são exigidas a proteção e melhoria do suprimento de ar fresco em áreas densamente povoadas,

através do sombreamento e de corredores verdes no verão protegidos pela sombra das árvores (GIVONI, 1991; SHIMODA, 2003; STONE, 2005, GILL *et al*., 2007; FLEISCHHAUER, 2007; ENDLICHER *et al*., 2008; MATZARAKIS e ENDLER, 2010; OLIVEIRA *et al*., 2011; ENDLICHER, 2012). A ampliação das áreas verdes, a plantação de árvores em ruas, parques e jardins urbanos pode favorecer a evaporação e combater o ressecamento das superfícies sem abandonar a preocupação com a conservação da água. No Quadro I.1.10 são apresentadas soluções de adequação ao desconforto por calor, nas ocupações humanas e conservação da água.

SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO AO DESCONFORTO POR CALOR ASPECTOS QUANTO AS OCUPAÇÕES HUMANAS E A CONSERVAÇÃO DA ÁGUA:			
Desconforto	Sensitividade	Funções falhas do sistema	Prejuízos potenciais
▪ Elevação da evaporação ressecamento em superfícies não impermeabilizadas ▪ Aquecimento do solo	▪ Vegetação urbana com grande necessidade de água	▪ Elevação do consumo de água potável para irrigação em espaços públicos e privados ▪ Redução da renovação do lençol freático pela redução da permeabilidade do solo seco ▪ Risco de enchentes pela elevação do volume de drenagem superficial ▪ Aquecimento da água potável nos encanamentos	▪ Prejuízo à Infraestrutura e à propriedade particular devido à drenagem superficial da água das chuvas
SOLUÇÕES:			
▪ Aumentar a irrigação da vegetação urbana; ▪ Plantação nos espaços urbanos de plantas mais apropriadas; ▪ Aumentar o emprego da vegetação como cobertura do solo; ▪ Sombreamento das superfícies relevantes; ▪ Novas construções da superfície de tráfego com materiais de menor capacidade de armazenamento e condução de calor; ▪ Aumentar a instalação de sistemas compartilhados; ▪ Utilização das quantidades excedentes de exploração do lençol freático local; ▪ Criação de soluções de armazenamento para água da chuva; ▪ Apelo para a população para assumir comportamento poupador de água em períodos de seca;			

QUADRO I.1.10 – ADEQUAÇÃO DESCONFORTO CALOR – CONSERVAÇÃO DA ÁGUA.
Fonte: Endlicher (2012, p.241).

Na área do planejamento de ocupações humanas devem ser elaborados cenários das transformações climáticas e demográficas relacionando-os um ao outro a

fim de dar suporte ao planejamento urbano, prevendo o desenvolvimento futuro e, inclusive combatendo os riscos potenciais dos eventos climáticos extremos. De posse desses dados, objetivos para as ocupações e desenvolvimento das áreas livres devem ser definidos e garantidos. Assim o plano de desenvolvimento urbano para o clima das ocupações servirá de subsídio desde o nível local até o sub-regional. (ENDLICHER, 2012, p.241). Nesse sentido, no Quadro I.1.11 são apresentadas as principais questões relativas a adequação do espaço urbano para reduzir os prejuízos potenciais impostos pela alta precipitação.

SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO PARA ALTA PRECIPITAÇÃO:			
Desconforto	Sensitividade	Funções falhas do sistema	Prejuízos potenciais
▪ Rápido e grande escoamento superficial	▪ Grau de impermeabilização da superfície útil ▪ Comportamento topográfico do solo na área de entrada ▪ Pontos fracos no sistema de drenagem ▪ Inundação de estradas, túneis e subsolos. ▪ Erosão do solo	▪ Sobrecarga do sistema de drenagem ▪ Inundação de estradas, túneis e subsolos. ▪ Transbordamento do sistema de drenagem nas cheias	▪ Prejuízos na infraestrutura e propriedade privada ▪ Contaminação das cheias ▪ Riscos à saúde
SOLUÇÕES:			
▪ Remoção das superfícies impermeabilizadas; ▪ Uso condicionado da superfície, medidas para escoamento e redução de erosão; ▪ Melhoria, e ampliação das possibilidades de infiltração; ▪ Tetos verdes; ▪ Criação de soluções de armazenamento para água da chuva por causa de necessidade; ▪ Impedimento de estreitamentos e impedimentos ao escoamento da água; ▪ Medidas de proteção aos objetos; ▪ Medidas organizadas de proteção para ocorrência de um evento extremo;			

QUADRO I.1.11 – SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO PARA A ALTA PRECIPITAÇÃO.
Fonte: Endlicher (2012, p.242).

Um dos prováveis efeitos das mudanças climáticas é o aumento na frequência de ocorrência de eventos extremos, tais como as tempestades tropicais, os ciclones e os períodos de seca (ENDLICHER, 2012). Objetivando a adequação do espaço urbano para combater e reduzir riscos e prejuízos potenciais de períodos de seca, o autor propõe diretrizes nesse sentido, as quais são apresentadas no Quadro I.1.12.

SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO PARA PERÍODOS DE SECA:			
Desconforto	Sensitividade	Funções falhas do sistema	Prejuízos potenciais
▪ Pouca precipitação ou precipitação inexistente.	▪ Baixa sensibilização para as mudanças futuras na precipitação	▪ Aumento do uso de água para irrigação em espaços públicos e em áreas privadas sem renovação do lençol freático ▪ Redução da mescla do escoamento de água na rede de canalização	▪ Redução da disponibilidade de água para beber e utilização ▪ Contaminação por odores e ocorrência de insetos através de sedimentação na rede de canalização ▪ Diminuição da capacidade hidráulica através da sedimentação na rede de canalização
SOLUÇÕES:			
▪ Criação de soluções de armazenamento para água da chuva; ▪ Melhoria, e ampliação das possibilidades de infiltração; ▪ Utilização das enchentes e exploração fora do local do lençol freático; ▪ Apelo para a população para assumir comportamento poupador de água; ▪ Enriquecimento artificial através da infiltração do excedente do lençol freático; ▪ Mais frequente lavagem de toda a rede para remoção de sedimentação; ▪ Escolha de tubulações hidráulicas mais eficientes;			

QUADRO I.1.12 – SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO PARA PERÍODOS DE SECA.
Fonte: Endlicher (2012, p.243).

No caso de cidades que diminuem, indica Endlicher (2012, p.241), pode-se aproveitar esse contexto para uma reestruturação urbana buscando a adequação climática das ocupações. A comunicação e o estabelecimento de prioridades para todos os níveis do desenvolvimento urbano tanto na pesquisa quanto na prática são importantes: isso vale também para a prevenção de eventos críticos. A sinergia entre as estratégias de adaptação as mudanças climáticas conceitos de proteção do clima é fundamental. Poderia, por exemplo, ser feito uma adequação energética dos edifícios públicos através da instalação de painéis solares sobre um teto verde e ambos atuando favoravelmente no que se refere ao clima. Áreas urbanas sem uso poderiam ser utilizadas como bosques urbanos, esses funcionariam tanto como retentores de carbono assim como instrumento para melhoria do microclima urbano tanto pelo sombreamento proporcionado como pelo resfriamento procedente da evaporação, e representando também a fundação de um novo biótopo urbano (NOVAK, 1993; *Apud* ENDLICHER, 2012, p.244).

CAPÍTULO 2. CONFORTO TÉRMICO URBANO

I. 2.1. CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS

O conforto térmico pode ser definido como sendo o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE[14], 2005). Segundo Fanger (1970), a sensação de conforto térmico depende de características fisiológicas próprias dos indivíduos tais como idade, sexo, forma do corpo, ciclo menstrual, diferenças étnicas, alimentação e etc., além de condicionantes do ambiente e da vestimenta. Como a sua avaliação se relaciona com fatores fisiológicos e psicológicos, as condições ambientes para o conforto térmico não são as mesmas para todos.

As exigências humanas do conforto térmico estão relacionadas à produção de calor pelo organismo, necessária para manter sua temperatura corporal interna na ordem de 37ºC (homeotermia). A temperatura corporal apresenta pouca variação ao logo do dia: valor inferior a 1ºC e será somente em condições extremas de calor ou de frio, durante atividade física intensa ou problemas de saúde, que a temperatura corporal sofrerá variação além de sua faixa normal de 36,1°C a 37,8°C (WILMORE, 2001). O conforto térmico se mantém quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem esforço, o que gera também uma máxima capacidade de trabalho; quando esforço adicional é demandado para atingir a homeotermia, a consequência será uma sobrecarga e a queda de rendimento de trabalho. Pois, como ressaltam Frota e Schiffer (2003), o homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse, incluindo-se o estresse térmico.

A sensação de desconforto térmico, por outro lado, também não exerce efeito uniforme sobre todas as pessoas, nesse sentido Besancenot[15] (1997, *Apud* MENDONÇA, 2001, p. 44) diferencia dois tipos de riscos climatológicos: aqueles derivados de climas particularmente agressivos que atingem a todos os seres; e aqueles ligados à vulnerabilidade de determinados indivíduos a fenômenos climáticos

[14] ASHRAE: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering* (Sociedade Americana de Engenharia de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado).
[15] BESANCENOT, Jean-Pierre. Le climat et la santé. In : DUBREUIL, Vincent et MARCHAND, Jean-Pierre (Organizadores). Le climat, léau et les hommes – Ouvrage en l´honneur de Jean Mounier. Rennes/France : Presses Universitaries de France, 1997. Pp. 87-104.

particulares, pois as reações fisiológicas e psicológicas ao calor excessivo são diferenciadas de indivíduo para indivíduo.

Na ocorrência de frio os mecanismos termorreguladores são ativados para evitar as perdas térmicas e aumentar a produção interna de calor: a vasoconstrição periférica faz com que a pele se resfrie para evitar perdas de calor por radiação e convecção; o arrepio aquece a pele por atrito, ao mesmo tempo em que a maior rugosidade da pele evita perdas de calor por convecção; e o aumento do metabolismo entre 30 e 100% pode se manifestar pelo tremor dos músculos, produzindo um maior calor interno para compensar as perdas para o meio (DUMKE, 2007, p.134).

Na ocorrência de calor, a vasodilatação periférica aumenta a temperatura da pele favorecendo a perda de calor por convecção e radiação; por meio da transpiração, a evaporação favorece as perdas de calor; e a redução do metabolismo visa à diminuição da produção de calor no interior do organismo. Mas, conforme a ocorrência de condições extremas, o organismo pode não ser capaz de responder às alterações e entrar em desequilíbrio, pois quando os fatores do ambiente atingem valores extremos, sob atuação de ondas de calor ou de frio, de ventos violentos ou de precipitações abundantes, por exemplo, então eles afetam a saúde humana. Por conseguinte, é por essa razão que a mortalidade aumenta durante as ondas de calor (sobretudo crianças e idosos), sendo cada vez mais marcada quando temperaturas elevadas se combinam com forte higrometria. O calor exerce também efeitos menos espetaculares como as cãibras de calor ou as insolações que às vezes se degeneram em hipertermia. (MENDONÇA, 2001, p.48).

O corpo humano gera calor interno por meio do metabolismo e através da queima das calorias dos alimentos, com uso do oxigênio, produz a energia necessária para o funcionamento dos mecanismos fisiológicos fundamentais (metabolismo basal) e atividades a serem desenvolvidas, diretamente relacionadas à quantidade de energia produzida. O equilíbrio térmico, então, ocorre quando a quantidade de calor produzida pelo corpo é igual à liberada para o ambiente por meio da pele e da respiração.

I.2.1.2. Variáveis ambientais que influem sobre o conforto térmico

As principais variáveis ambientais que influem sobre a sensação térmica, portanto utilizadas para definir os índices de conforto térmico são: (a) temperatura do

ar (Ta); (b), umidade relativa do ar (UR); (c) velocidade do ar (Va); e (d) temperatura radiante média (Trm). A temperatura do ar é a variável que influencia mais diretamente a sensação de conforto, porém, é a associação entre as variáveis que assume maior importância nas condições de conforto. As variáveis ambientais são utilizadas para definir os índices de conforto ou estresse térmico (ROSSI, 2012, p.51-52):

1) Temperatura do ar (Ta): atua na troca térmica por convecção e também na respiração. Quanto à convecção, apresenta uma relação da troca inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a diferença de temperatura, maior a troca convectiva. Quanto à evaporação, a influência da temperatura do ar dependerá da umidade relativa e da velocidade do ar.
2) Umidade relativa (UR): é a razão entre a quantidade de vapor d'água existente em determinado volume de ar e a quantidade máxima de vapor d'água que o mesmo volume de ar pode conter, quando está saturado à uma determinada temperatura. Está diretamente ligada à temperatura do ar. Em ambientes mais quentes, determinado volume de ar é maior que em ambientes mais frios. Assim, quando se aumenta a temperatura em um ambiente, a umidade relativa do ar baixa, e vice-versa. Exerce grande influência na remoção de calor por evaporação e ambientes mais secos, a umidade da pele é absorvida mais facilmente pelo ar; já em ambientes mais úmidos, a relação é contrária.
3) Velocidade do ar (Va): atua em conjunto com a temperatura e a umidade relativa do ar. Desta forma, em condições de ar não saturado e com temperatura do ar inferior à temperatura da pele, quanto maior a velocidade do vento, mais rápido será o processo da evaporação, ou seja, mais rápido a umidade é retirada da pele. Assim, em grande parte, a remoção do vapor d'água depende da velocidade do vento.
4) Temperatura radiante média (Trm): é a temperatura média das superfícies de um ambiente que participam das trocas térmicas com o corpo. A Trm pode ser maior ou menor que a temperatura do ar, pois as superfícies podem apresentar diferentes temperaturas. A troca térmica da Trm ocorre por radiação. A norma ISO 7726 (1998) apresenta métodos de obtenção da Trm, por meio de medições ou cálculo. Uma das formas apresentadas é a medição por

termômetro de globo negro[16] na cor cinza médio (para medições expostas à radiação solar), devido à sua absorção de radiação de onda curta ser semelhante à das pessoas vestidas.

I.2.2. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Os índices térmicos são fórmulas que combinam os efeitos das variáveis climáticas sob as respostas fisiológicas e sensoriais do corpo. Normalmente são indicados valores de atividade e vestimenta utilizada pelo indivíduo para então estabelecer relação com as variáveis do ambiente e determinar as condições ambientais que produzem sensação térmica similar em diversos indivíduos. De acordo com Givoni (1976) vários índices foram desenvolvidos com este fim, porém os índices diferem tanto em sua abordagem do problema como nas unidades utilizadas para expressar o efeito combinado de vários fatores, assim como na sua aplicação, e na importância e interdependência de cada um dos fatores.

Sorano (2009) evidencia que para fazer um estudo quantitativo da influência das condições térmicas de um ambiente sobre a percepção térmica do homem, é necessário medir as variáveis do ambiente, a reação humana a elas e expressar a relação causa-efeito com o emprego de um único valor numérico.

Segundo Monteiro e Alucci (2009a) a evolução dos trabalhos acerca do conforto térmico ao longo do tempo pode ser dividida em três fases:

a) Uma primeira fase na qual os índices, normalmente representados por nomogramas, constituem as primeiras tentativas de definição de um índice genérico para predição de conforto. Além dos primeiros índices mais insipientes, nesta fase poderiam ser citados, ainda: Temperatura Resultante (*Resultant Temperature* – RT), de Missenard, França, 1931; Calor Equivalente (CE), de Bedford, Inglaterra, 1936; Temperatura Operativa (TO), de Winslow, Herrington e Gagge, Estados Unidos, 1937; e Taxa de

[16] Termômetro de globo negro: consiste em uma esfera oca pintada de preto, no centro da qual é colocado um sensor de temperatura. O tamanho do globo pode variar, porém é recomendado o diâmetro de 0,15m. Na ISO 7726 (1998) são apresentadas cinco fórmulas para calcular a Trm. Todas consideram como variáveis a temperatura do ar (Ta), a temperatura de globo (Tg), o diâmetro do globo (D) e a emissividade do material (g). No caso de ventilação forçada, a velocidade do ar (Va) também é considerada. (ROSSI, 2012).

Sudação Prevista em 4 horas (*Predictable Four Hour Sweat Rate* – P4SR) de McAriel e colaboradores, Inglaterra, 1947. Sendo que o último índice considera a temperatura de globo, a temperatura de bulbo úmido, a velocidade do vento, a taxa metabólica e a vestimenta.

b) Numa segunda fase podem ser inseridos os trabalhos empíricos de Simple e Passel, (1945); Webb, (1960); e Masterton e Richardson (1979), os quais consideram um número limitado de variáveis para uma situação específica; já o trabalho de Belding e Hatch (1955), que é apropriado a condições de trabalho industrial é voltado para ambientes fechados; e o de Yaglou,(1957), que propõe a Temperatura de Globo e de Bulbo Úmido (*Wet Bulb Globe Temperature* – WBGT), a qual fundamentou a norma internacional ISO 7243/1989 e a norma nacional NR15/1978.

c) O terceiro grupo de índices inclui as pesquisas baseadas em modelos de balanço térmico, como os índices de Givoni e Berner (1967); Gagge (1967); Jendrizki (1979); Dominguez (1992); e Brown e Gillespie (1955).

Ainda segundo Monteiro e Alucci (2005a) os índices considerados como os mais importantes da década em que antecedeu o desenvolvimento de sua pesquisa:

1) Modelo MENEX e os cinco índices de Blazejczyk (1996):
1) Modelo MEMI e o índice PET de Höpe (1999);
2) OUT-SET* de Pickup & Dear (1999);
3) TS de Givoni & Noguchi (2000);
4) NWCT de Bluestein & Osczevski (2002);
5) KMM e o PT* de Jendritzky (2003);
6) Trabalhos em desenvolvimento da Comissão 6 da Sociedade Internacional de Biometerologia, em busca de um índice termoclimático universal (ISB, 2004).

Os autores também indicam os índices que consideram mais importantes e destacam sua importância (Quadro I.1.13):

INDICES	IMPORTÂNCIA
Temperatura Efetiva (ET) Nova Temperatura Efetiva (ET*) Temperatura Resultante (RT)	Primeiras tentativas de estabelecer índice genérico para predição de conforto através de uma escala de sensação térmica.
Índice de taxa de suor prevista para quatro horas (P4SR)	Tentativa de prever o estresse térmico em situações de trabalho mais extremas.
Temperatura de Globo e de Bulbo Úmido (WBGT)	Utilizada até hoje devido à simplicidade de obtenção de dados
Índice de Temperatura Resfriada pelo Vento (WCT) Índice Equatorial de Conforto (EC) Humidex	Consideram apenas algumas variáveis visando responder a determinadas situações específicas.
Índice de Estresse Térmico por calor (HSI) Índice de Estresse Térmico (ITS)	Primeiros índices embasados em modelos analíticos que consideram separadamente os diversos processos de trocas térmicas.
Nova Temperatura Efetiva padrão (SET*)	Obtida através de modelo analítico, sendo o cálculo das trocas feito principalmente a partir de modelo teórico.
Modelo Climático de Michel (KMM)	Também baseado em balanço térmico, contudo seu modelo é mais simples.
Critérios para níveis de sudação em espaços externos da Expo Sevilha	São estabelecidos a partir de modelo analítico teórico.
Fórmula de Conforto (COMFA)	Modelo analítico de balanço térmico.
Temperatura Neutra Exterior (Tne)	Foco em adaptação dos indivíduos a um determinado clima, sendo uma abordagem bastante recente nos estudos de espaços externos.

QUADRO I.1.13 – PRINCIPAIS ÍNDICES DE CONFORTO E SUA IMPORTÂNCIA.
Fonte: Monteiro e Alucci (2005a).

Sobre a evolução dos estudos em Conforto térmico, segundo Ruas (1999), no período de 1913 a 1923 foram estabelecidos os primeiros esforços com o intuito de estabelecer critérios de conforto térmico. A partir deste período, enfatiza Monteiro (2008), os primeiros estudos são publicados e apresentam parâmetros e índices de conforto térmico baseados no modelo de balanço térmico. E, ao longo do tempo, foram desenvolvidas diversas escalas de conforto ou índices térmicos (biofísicos, fisiológicos, subjetivos).

Rossi (2012, p.59-62), faz um apanhado dos índices mais recentemente estabelecidos e de suas principais características:

1) Índice empírico de temperatura efetiva (ET *Effective Temperature*): Houghten e Yaglou[17] (1923, *Apud* GIVONI, 1976; SZOKOLAY, 1985; MONTEIRO, 2008) propõe o índice com base em três parâmetros ambientais: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar. Foram desenvolvidas duas escalas, uma para pessoas seminuas e outra para pessoas vestidas com roupas de verão. As faixas para cada variável são: temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido, de 1 a 43°C; e velocidade do ar, de 0,1 a 3,5 m/s.
2) Nova temperatura efetiva (ET* - *New Effective Temperature*): Gagge *et al*.[18] (1971, citado por PARSONS, 1987; ASHRAE, 2005) definiram a nova temperatura efetiva como sendo a temperatura em um ambiente com umidade relativa a 50%, que resulta em mesma perda de calor total pela pele que em um ambiente real.
3) A temperatura resultante (RT *Resultant Temperature*): foi desenvolvida por Missenard (1948, citado por GIVONI, 1976; SZOKOLAY, 1985; MONTEIRO, 2008) com base na ET, e as faixas para cada variável são: temperatura de bulbo seco, de 20 a 45°C, temperatura de bulbo úmido, de 18 a 40°C, e velocidade do ar, de 0 a mais de 3 m/s. Segundo Szokolay (1985), o índice é mais confiável para climas moderados, mas não para climas tropicais, uma vez que superestima o efeito de resfriamento pelo ar em temperaturas acima de 35°C e umidade maiores que 80%.
4) Índice de estresse térmico por calor (HSI *Heat Stress Index*): Belding e Hatch [19] (1955, citado por SZOKOLAY, 1985; ASHRAE, 2005; MONTEIRO, 2008) propõem o índice definido como a razão da perda total de calor por evaporação requerido para o equilíbrio térmico pela perda total de calor por evaporação máxima possível no ambiente.

[17] HOUGHTEN, F. C.; YAGLOU, C. P. *Determining lines of equal comfort*. In: ASHVE Transaction, St. Joseph, v.29, n.4, p.163-176, 1923.
[18] GAGGE, A. P.; BURTON, A. C.. BAZETT, H. D. *A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment.* In: Science, n.94, p.428-430, 1971.
[19] BELDING, H. S.; HATCH, T. F. *Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains*. In: Heating, Piping and Air Conditioning, p.207-239, 1955.

5) Temperatura de globo e de bulbo úmido (WBGT *Wet Bulb Globe Temperature*): Yaglou e Minard[20] (1957, citado por ASHRAE, 2005; MONTEIRO, 2008) desenvolvem índice considera três parâmetros ambientais: (1) a temperatura do ar (temperatura de bulbo seco), (2) a temperatura de bulbo úmido natural (ambiente naturalmente ventilado) e (3) a temperatura de globo.
6) Carta bioclimática apropriada ao ambiente externo e com ênfase em climas temperados: Olgyay [21] (1976, *Apud* GIVONI, 1998) desenvolveu carta que apresenta valores de umidade relativa e de temperatura do ar, sobre os quais é plotada a zona de conforto. Olgyay (1968, citado por ANDRADE, 1996) desenvolveu um estudo para a Colômbia com o objetivo de adaptar sua carta para regiões mais quentes. Com base na temperatura média de verão, foi estabelecida uma zona de conforto para a região. Assim, esta nova carta passou a incorporar dados que possibilitaram sua utilização em clima temperado, quente e úmido. Koenigsberger et al. (1977, *Apud* ANDRADE, 1996) adaptaram a carta de Olgyay para países quentes, estabelecendo novos limites para a zona de conforto.
7) Índice de estresse térmico (ITS *Index of Thermal Stress*): Givoni (1976) propõe o ITS, que é um modelo biofísico que descreve o mecanismo de troca de calor entre o corpo e o ambiente. A primeira versão do índice foi desenvolvida para ambientes internos e era composta pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, pressão de vapor, velocidade do ar, taxa metabólica e vestimenta. Mais tarde, ela foi estendida para ambientes externos, e a radiação solar foi incluída entre as variáveis. Givoni (1998) desenvolveu uma carta climática baseada na carta psicrométrica convencional e nas zonas de conforto da ASHRAE. Nesta carta estão plotadas as zonas de conforto e as estratégias bioclimáticas compatíveis com cada zona. Foram desenvolvidas duas cartas, uma para países desenvolvidos e outra para países em desenvolvimento.
8) Índice universal de conforto térmico (UTCI - *Universal Thermal Climate Index*): a Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB - *International Society of Biometeorology*) criou em 2000 uma comissão (ISB *Commission* 6) para

[20] YAGLOU, C. P., MINARD, C. Control of heat casualties at military training centers. A.M.A. Archives of Industrial Health, 16, p.302-316, 1957.
[21] OLGYAY, Victor. *Design with climate*. New Jersey: Princeton University Press, 1976.

desenvolver um índice universal de conforto térmico, denominado UTCI. O objetivo principal do índice é avaliar as condições térmicas de ambientes externos por meio da resposta fisiológica do corpo humano. A comissão definiu que o índice fosse termofisiologicamente válido, aplicável a todos os tipos de clima e independente das características pessoais dos indivíduos. (INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY, 2001, 2003).

9) Voto de Sensação Real (ASV *Actual Sensation Vote*): um dos mais recentes índices desenvolvidos em países europeus é resultado do projeto RUROS (NIKOLOPOULOU, 2004b). O projeto RUROS (*Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces*), desenvolvido no período entre 2001 e 2004, teve como objetivo a análise dos espaços urbanos abertos em função dos princípios mioclimáticos. Este projeto foi desenvolvido em sete cidades de cinco países europeus: Atenas e Thessaloniki, na Grécia; Milão, na Itália; Freiburg, na Suiça; Cambridge e Sheffield, na Inglaterra e Kassel, na Alemanha. Em cada uma destas cidades foram selecionadas duas áreas de estudo com diferentes tipologias e usos. Foi desenvolvida uma metodologia padrão para ser aplicada em cada cidade e, no total, foram coletados mais de 10.000 dados (ambientais e pessoais). Para cada cidade foi obtido, por regressão múltipla, um índice de conforto térmico para a predição do Voto de Sensação Real (ASV Actual Sensation Vote).

I.2.2.1. Voto Estimado Médio e Temperatura Equivalente Fisiológica

Investigando o grau de desconforto experimentado pelas pessoas em ambientes com condições diferentes daquelas de conforto térmico, Fanger (1972) definiu um método para avaliar o grau de desconforto, relacionando as variáveis que influenciam no conforto térmico com uma escala de sensação térmica, o chamado *Predicted Mean Vote* (PMV) ou Voto Médio Estimado. A visão holística de Fanger se reflete na formulação de sua complexa equação geral, na qual são correlacionadas a sensação térmica com a atividade metabólica do corpo humano, a vestimenta (de resistência térmica avaliada de 0 a 4 clo) e o ambiente (a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar e a temperatura radiante média), destacando-se a necessidade de se considerar o efeito combinado das diversas variáveis. (DUMKE, 2007, p.140).

Fanger determinou três requisitos de conforto: o balanço térmico (equilíbrio da produção de calor pelo corpo com a perda de calor para o ambiente); a temperatura média da pele (relacionada às sensações de conforto); e a existência de uma taxa preferencial de sudação para o conforto, em função da taxa metabólica. Esses foram aplicados em um trabalho experimental, de avaliações de sensação térmica em indivíduos de nacionalidades, sexos e idades diferentes e para condições ambientais específicas. Fanger obteve, então, o voto médio estimado (PMV – *Predicted Mean Vote*), que representa a sensação térmica média humana em relação ao ambiente, numa escala de -3,0 (muito frio) a +3,0 (muito calor). O PMV foi, então, relacionado com a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*). A pesquisa de Fanger foi adotada pela ISO 7730, que recomenda para espaços ocupados a faixa do PMV de 10%, ou seja, entre -0,5 e +0,5 (FANGER, 1970; *Apud* DUMKE, 2007, p.140-141).

Todavia, de acordo com investigação conduzida por Voltani e Labaki (2009) o uso do PMV e PPD pode não ser suficiente para a obtenção de resultados confiáveis na prática, podendo gerar erros consideráveis nos resultados da avaliação da sensação térmica. Os autores avaliaram prováveis fontes de desvios nos resultados da correlação entre os valores calculados do PMV e votos da sensação térmica da população pesquisada em ambientes reais. (NAKATA, 2010, p.30).

A Temperatura equivalente fisiológica - PET (*Physiological Equivalent Temperature*) é definido por Höppe (1999) como sendo a temperatura equivalente à temperatura do ar na qual, em uma situação típica interna, o balanço térmico do corpo humano é mantido, com temperaturas do centro do corpo e da pele iguais às temperaturas do ambiente. Em outras palavras, o PET se configura no índice para cálculo de conforto térmico, baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade, metabolismo de trabalho e vestimenta. Quando adaptada a condições externas, leva em consideração as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento, temperatura radiante média. (NAKATA, 2010).

Os resultados da pesquisa de Brusantin e Fontes[22] (2009, *Apud* NAKATA, 2010, p.30) demonstraram diferenças entre os índices PMV e PET. Os parâmetros qualitativos locais, caracterizados pela forte presença de arborização de grande porte, presença de bancos, entre outros, contribuíram para a avaliação positiva na sensação e térmica dos usuários, reforçando-se a importância dos aspectos qualificadores dos espaços públicos abertos para melhorias de condições de conforto térmico.

I.2.2.2. Índice Universal de Conforto Térmico (*Universal Thermal Comfort Index* - UTCI)

Foi elaborado pela Comissão 6 da Sociedade Internacional de Biometeorologia, foi desenvolvido com o intuito de avaliar as condições térmicas de ambientes externos com base na resposta fisiológica do corpo humano e, sendo definido como termo fisiologicamente válido, pode ser aplicado a todos os tipos de clima independente das características pessoais dos indivíduos. (ISB, 2001, 2003; ROSSI *et al.*, 2011).

Baseia-se no modelo termorregulatório multimodal implementado por Fiala, Lomas e Stohrer. (1999, 2001, 2003, 2007) e Fiala *et al.* (2011), considerando aspectos como: 1) comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico a partir de estudos de campo desenvolvidos na Europa; 2) distribuição da roupa em diferentes partes do corpo; e 3) redução da resistência térmica e evaporativa da roupa causada pelo vento e pelo movimento da pessoa andando a 4km/h em superfície plana . Segue o conceito da temperatura equivalente e apresenta para o ambiente de referência as seguintes definições: 50% de umidade relativa (com pressão de vapor não excedendo 20hPa); temperatura do ar igual a temperatura radiante média; e, velocidade do vento de 0,5 m/s, medida a 10m de altura. (ROSSI *et al.*, 2011, p.43).

A partir de resposta dinâmica multidimensional baseada em variáveis como a temperatura corporal, a taxa de sudorese e a temperatura da pele, em diferentes tempos de exposição, se estabelece o índice unidimensional estimado pela Análise dos Componentes Principais: a temperatura UTCI equivalente. Essa, definida como a temperatura do ar do ambiente de referência, que produz o mesmo valor de estresse

[22] BRUSANTIN, G.N.; FONTES, M.S.G.C. Conforto térmico em espaços públicos de permanência: uma experiência na cidade de Bauru-SP. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. Anais... Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

térmico, é resultante da combinação de variáveis climáticas como vento, radiação, umidade e temperatura do ar (BRÖDE *et al*., 2009, 2012):

1) Temperatura do ar: −50°C ≤ Ta ≤+50°C;
f) Temperatura radiante média: -30°C ≤ Tr–Ta ≤+70°C;
g) Velocidade do vento a 10 metros acima do nível do solo: entre 0,5 e 30,3m/s; e
h) Umidade relativa: entre 5% e 100% (pressão de vapor máxima 5 kPa).

O Quadro I.1.14 apresenta os intervalos de temperatura UTCI equivalente e as respectivas faixas de estresse térmico:

TEMPERATURA UTCI EQUIVALENTE	CATEGORIAS DE ESTRESSE
> 46 ºC	Extremo estresse para o calor
38 ºC a 46 ºC	Muito forte estresse para o calor
32 ºC a 38 ºC	Forte estresse para o calor
26 ºC a 32 ºC	Moderado estresse para o calor
18 ºC a 26 ºC	Conforto térmico
9 ºC a 18 ºC	Sem estresse térmico
0 ºC a 9 ºC	Pouco estresse para o frio
0 ºC a -13 ºC	Moderado estresse para o frio
-13 ºC a -27 ºC	Forte estresse para o frio
-27 ºC a -40 ºC	Muito forte estresse para o frio
<-40 ºC	Extremo estresse para o frio

QUADRO I.1.14 – FAIXAS DE CONFORTO/DESCONFORTO TÉRMICO UTCI.
Fonte: Bröde *et al*. (2011).

Bröde, Krüger e Rossi (2011) utilizaram o índice UTCI para analisar o impacto das variáveis climáticas, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e radiação solar, na escolha de isolamento térmico de pedestres em Curitiba. Por considerar que o índice UTCI foi desenvolvido tendo como base estudos de campo europeus, o objetivo era o de apresentar faixas de conforto/desconforto para o índice UTCI a partir de dados de sensação térmica real em monitoramentos térmicos urbanos, sob condições subtropicais.

Os resultados mostram que, relativamente aos resultados encontrados para homens, as mulheres escolhem menos isolamento térmico em condições quentes e

essa escolha depende da temperatura do ar, da radiação solar e da estação do ano. E mais, Rossi *et al.* (2011, p.56) fizeram a avaliação do conforto térmico no ambiente urbano curitibano e, baseando-se nas condições encontradas, fizeram a adaptação das faixas de conforto e desconforto térmico para Curitiba:

a) Desconforto por frio - ocorre predominantemente para valores de temperatura do ar e temperatura UTCI equivalente de até 15ºC;
b) Faixa de conforto - definida por valores de temperatura do ar entre 15 e 24ºC e de temperatura UTCI equivalente entre 15 e 27ºC; e,
c) Desconforto para o calor - ocorre principalmente para valores de temperatura do ar acima dos 24ºC e temperatura UTCI equivalente acima dos 27ºC;

I.2.3. ESTUDOS SOBRE O CONFORTO TÉRMICO NO BRASIL

I.2.3.1. Pesquisas de mestrado e doutorado

De modo geral, os trabalhos de conforto térmico são destinados a avaliar espaços internos. Figurando como principal objetivo o controle das variáveis envolvidas no conforto térmico, de modo que estes espaços sejam ou se tornem confortáveis termicamente. Frequentemente as pesquisas que envolvem índices de conforto térmico no Brasil referem-se a ambientes internos. Dentre as pesquisas de mestrado e doutorado com o tema conforto térmico em espaços internos estão (ROSSI, 2012, p.63): Roriz (1987), Scarazzato (1988), Viana (1991), Vieira (1995), Martins (1995), Araújo (1996), Roriz (1996), Sampaio (1996), Xavier (1999), Xavier (2000), Michaloski (2001), Adriazola (2002), Dumke (2002), Fernandes (2005), Barbosa (2008), Felix (2008), Stancato (2009) e Fontanella (2009).

Em ambientes externos, conforme Rossi (2012) há expressivo aumento da complexidade devido à menor possibilidade de controle das variáveis climáticas e à grande modificação destas ao longo do dia. De acordo com a autora, fatores como os ganhos de radiação de ondas curta e longa, a atuação do vento e a diversidade de sensações e percepções térmicas dos indivíduos são algumas das variáveis que tornam o estudo de conforto em espaços abertos mais complexo. Na área de interação entre conforto térmico em espaços abertos e microclima urbano foram identificadas as seguintes pesquisas de mestrado e doutorado (ROSSI, 2012, p.63): Lombardo (1984),

Romero (1985), Oliveira (1985), Assis (1990), Dines (1991), Hackenberg (1992), Nascimento (1993), Vieira (1994), Duarte (1995), Souza (1996), Fontes (1998), Barbirato (1998), Assis (2000), Duarte (2000), Costa (2003), Blanchet (2004), Rossi (2004), Lima (2005), Pertschi (2005), Giralt (2006), Dumke (2007), Monteiro (2008), Minella (2009), Hirashima (2010) Nakata (2010); Souza (2010).

I.2.3.2. Pesquisas de conforto térmico em espaços abertos

Entre as pesquisas de conforto térmico em espaços abertos destacam-se duas linhas importantes (ROSSI et al, 2011):

a) Aquelas que analisam os fatores psicológicos e comportamentais do uso do espaço em função do conforto térmico (NIKOLOPOULOU; BAKER; STEEMERS, 2001; NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003; THORSSON; LINDQVIST, 2004; NIKOLOPOULOU; LYKOUDIS, 2006; KNEZ; THORSSON, 2006; ELIASSON et al., 2007; KNEZ et al., 2009);
b) Aquelas com o objetivo de analisar a influência do desenho urbano no conforto térmico utilizando índices de conforto baseados no balanço térmico do corpo humano. Nessa linha, por exemplo, há pesquisas que analisam as relações entre cânions urbanos e conforto térmico (ALI-TOUDERT; MAYER, 2006; JOHANSSON, 2006; JOHANSSON; EMMANUEL, 2006; KRÜGER; MINELLA; RASIA, 2011) e entre vegetação e conforto térmico (SHASHUA-BAR; HOFFMAN, 2000; PICOT, 2004). Além de estudos que apresentam soluções para readequação do espaço público tendo em vista a melhoria do conforto térmico (GIVONI, 1998; CHRISOMALLIDOU; CHRISOMALLIDIS; THEODOSIOU, 2004; KATZSCHNER, 2005; KATZSCHNER; MÜLDER, 2005; PANOGOPOULOS, 2008).

De modo geral, reitera Rossi et al, (2011), as pesquisas sobre conforto térmico em espaços abertos utilizam índices de conforto térmico baseados em modelos de balanço térmico do corpo humano, os quais foram desenvolvidos para o ambiente interno. Entretanto, algumas pesquisas questionam o uso desses índices para a avaliação do ambiente externo (HÖPPE, 2002; SPAGNOLO; DE DEAR 2003; NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003).

O ENCAC (Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído) tem promovido e divulgado as pesquisas de conforto térmico no Brasil, nos últimos 20 anos. O primeiro evento foi realizado em Gramado/RS em 1990. Desde então, a periodicidade dois anos do evento tem se mantido e a última edição ocorreu em setembro de 2013, em Brasília/DF.

Uma avaliação dos trabalhos publicados em todas as edições deste evento mostra que, desde a primeira edição, o tema conforto térmico está presente tanto no espaço interno quanto no aberto, mas, somente a partir de 1997, o tema clima urbano foi classificado como uma área temática (ROSSI, 2012). Desde a edição de 2009, os trabalhos relativos ao conforto térmico em ambientes abertos podem ser encontrados nos dois eixos temáticos: microclima e morfologia urbana e microclima e conforto térmico em espaços abertos.

Os estudos sobre microclima e morfologia urbana analisam a relação entre o grau de urbanização e a alteração climática nas cidades utilizando métodos quantitativos, como o monitoramento de variáveis climáticas e o levantamento de atributos urbanos (densidade de ocupação do solo, altura das edificações, presença de vegetação, geometria urbana, dentre outros), métodos qualitativos, como a análise bioclimática (OLIVEIRA, 1988; ROMERO, 1988; KATZSCHNER, 1997) e métodos computacionais, como simulações e técnicas de cenários. (ROSSI, 2012).

No levantamento realizado nos anais dos encontros ENCAC (de 1990 a 2011) por Rossi (2012), no tema microclima e morfologia urbana foram identificadas pesquisas sobre ilhas de calor, análises bioclimáticas, zoneamentos climáticos, simulações, avaliação pós-ocupação, efeito da vegetação e proposições de novas metodologias. Já no tema sobre microclima e conforto térmico em espaços abertos analisam a percepção dos usuários destes espaços em relação ao ambiente térmico ao seu redor, fazendo uso de índices existentes e/ou por meio das respostas reais dos usuários. O método utilizado nessas pesquisas é quantitativo, empregando diferentes ferramentas de coleta de dados. Foram então identificadas pesquisas sobre conforto térmico em espaços de permanência (parques e praças) e em espaços de passagem (vias públicas). As análises de conforto foram feitas utilizando as respostas reais dos usuários (obtidas por questionários), as respostas calculadas por meio de índices existentes, ou a comparação das respostas reais com as calculadas. Por fim, também

foram analisados o impacto da geometria urbana e da vegetação na sensação de conforto, além de propostas de novas metodologias.

A maioria dos estudos sobre conforto térmico se concentra nas regiões sudeste e nordeste do Brasil, o maior número de pesquisas versa sobre a relação entre microclima e morfologia urbana. Todas as pesquisas realizadas na região Sul na área de microclima e conforto térmico se concentram em Curitiba e no que diz respeito à área de microclima e morfologia urbana, Rossi (2012) relata que 30% foram desenvolvidas em Curitiba (dados em itálico). O Quadro I.1.15 apresenta um resumo dessas pesquisas:

MICROCLIMA E MORFOLOGIA URBANA							
	ILHA DE CALOR	MICROCLIMA/ USO OCUPAÇÃO SOLODDO SOLO	ANÁLLISE E ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO	SIMULAÇÕES COMPUTACIONAI S E ENSAIOS	AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO	PROPOSIÇÃO DE NOVAS METODOLOGIAS	REVISÃO LITERATURA
Sul (Curitiba)	4 (1)	4 (2)	0	0	0	1	0
Sudeste	9	24	1	7	4	5	0
Centro-Oeste	2	5	1	0	0	0	0
Nordeste	2	26	14	5	0	0	0
Nacional	---	---	---	---	---	5	1
MICROCLIMA E CONFORTO TÉRMICO							
	APLICAÇÃO DE ÍNDICES	SENSAÇÃO TÉRMICA REAL	USO DO ESPAÇO	PROPOSIÇÃO E CALIBRAÇÃO DE ÍNDICES	IMPACTO DA GEOMETRIA URBANA	PROPOSIÇÃO DE NOVAS METODOLOGIAS	RESVISÃO LITERATURA
Sul (Curitiba)	3 (3)	3 (3)	0	0	2 (2)	0	0
Sudeste	13	9	1	4	0	0	0
Nordeste	4	1	---	---	---	---	---
Nacional	2	---	---	---	---	2	2

QUADRO I.1.15 - PESQUISAS CONFORTO TÉRMICO PUBLICADAS NOS ANAIS DO ENCAC.

Fonte: Rossi (2012, p.65).

I.2.3.3. Pesquisas sobre Microclima e Morfologia Urbana

O levantamento das pesquisas, realizado por Rossi (2012, p.65-67), apresenta a relação dos trabalhos em ordem cronológica:

1) Bueno, Labaki e Santos (1997) estudaram o efeito de três espécies arbóreas no subdistrito de Barão Geraldo, Campinas/SP, na atenuação da radiação térmica e do conforto térmico urbano. Foram realizadas medições de temperatura, umidade do ar e temperatura de globo na sombra e no sol. Os resultados não mostraram grande diferença entre a temperatura do ar sob as três espécies analisadas. Entretanto, os valores mais altos de temperatura de globo foram registrados sob a espécie com copa menos densa.
2) Corbella e Yannas (1997) estudaram a variação do microclima em uma área densamente povoada no Rio de Janeiro/RJ. Durante quatro dias, foram realizadas medições móveis e entrevistas sobre conforto térmico, visual e acústico. Concluiu-se que a forma urbana influencia a radiação solar, a temperatura do ar e a ventilação local, e que a presença de vegetação ameniza o desconforto térmico. O grande volume de tráfego é a principal fonte de ruído e poluição.
3) Barbirato e Mattos (1999) analisaram o conforto térmico em ambientes urbanos através da aplicação de um modelo climático de balanço de energia, adaptando-o para as condições climáticas típicas da cidade de Maceió/AL. A partir de dados obtidos em medições de temperatura do ar em frações urbanas distintas, ajustou-se um modelo de balanço de energia às condições climáticas típicas da cidade. A avaliação do potencial do modelo mostrou a utilidade dessa ferramenta no teste de soluções e previsões dentro de problemas relativos ao planejamento e controle térmico de ambientes urbanos.
4) Costa e Araújo (2003) investigaram a influência da forma urbana no microclima e na sensação térmica dos usuários no bairro Petrópolis, em Natal/RN. Foram elaborados e analisados mapas de topografia, uso do solo, altura das edificações, pavimentação e áreas verdes, e monitoradas as variáveis ambientais: temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos. Observaram-se altos valores de temperatura e umidade relativa nos pontos monitorados, e propuseram-se melhorias climáticas como a

implantação de arborização nos lotes e a utilização de recuos entre as edificações.

5) Costa, Rodrigues e Labaki. (2005) investigaram a influência do tipo de revestimento do solo (asfalto e gramado) nos resultados das variáveis ambientais e na sensação de conforto térmico de usuários no campus da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas/SP). Foram levantados alguns parâmetros urbanos como: topografia, altura dos edifícios, uso do solo, áreas verdes e tipo de recobrimento do solo, além de medições de temperatura de ar, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos e temperatura superficial. Questionários de sensação térmica também foram aplicados. Observou-se que, na área asfaltada, a temperatura superficial foi mais alta e os usuários apresentaram maior desconforto. Concluiu-se que pode haver relação entre o tipo de pavimento do solo e a sensação térmica.
6) Abreu e Labaki (2007) propõem uma metodologia para avaliação do raio de influência de espécies arbóreas no microclima urbano. As autoras realizaram medições fixas simultâneas de temperatura do ar, temperatura de globo, radiação solar e velocidade do vento, e utilizaram fotos olho de peixe para determinar o fator de visão de céu e a porcentagem de atenuação da radiação solar de cada espécie estudada. Utilizou-se o índice PMV para analisar o conforto térmico. Concluiu-se que dentro de um raio de 5 metros pode-se verificar o raio de influência de cada espécie arbórea e que, com os dados obtidos, é possível obter parâmetros ambientais relacionados à quantidade de indivíduos arbóreos necessários para o trabalho de termoregulação eficiente.
7) Rossi, Krüger e Nikolopoulou (2011) analisaram a existência de diferenças climáticas em ruas de pedestres de Curitiba/PR e sua relação com as características urbanas, com o objetivo de sugerir ações que melhorem o conforto térmico local. Os resultados mostraram que, de modo geral, a configuração urbana interfere nas condições climáticas e que a comparação entre dois pontos monitorados em um mesmo dia ajuda a entender as diferenças significativas observadas entre as variáveis climáticas monitoradas.

I.2.3.3. Pesquisas sobre Microclima e Conforto Térmico em espaços abertos

O levantamento das pesquisas, realizado por Rossi (2012, p.67-73), apresenta a relação dos trabalhos em ordem cronológica:

1) Katzschner et al. (1999) analisaram o conforto térmico na cidade de Salvador/BA utilizando os índices PET e SET*. A morfologia urbana foi classificada qualitativamente e medições de variáveis climáticas foram realizadas. Concluiu-se que em cidades tropicais a ventilação é um fator dominante no conforto térmico.
2) Andrade *et al.* (2001) analisaram a configuração do topoclima da orla de Salvador/BA com o objetivo de fornecer indicações de conforto térmico através do índice PET e apresentar recomendações para o planejamento urbano em regiões de clima quente e úmido. Foram associados dados de: temperatura do ar, umidade relativa, radiação global, velocidade e direção do vento, com aspectos da geometria urbana e de inércia térmica dos revestimentos do solo. Os resultados indicaram que valores do PET estão fora da zona de conforto nos horários medidos, que a vegetação proporciona sombreamento e diminui a temperatura em alguns pontos, e que a ventilação tem importante papel na atenuação no conforto térmico.
3) Lois e Labaki (2001) apresentam uma revisão dos estudos realizados sobre conforto térmico em espaços externos. As autoras listam vários estudos internacionais e os seguintes índices de conforto térmico: Índice de Stress Térmico (ITS), Modelo de Morgan e Baskett, Modelo de Jendritzky e Nübler, Modelo de Munique para Balanço de Energia para Indivíduos (MEMI), Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), Temperatura Neutra ao Exterior (Tne) e Índice de Noguchi e Givoni.
4) Silva et al. (2001) avaliaram a qualidade térmica das sombras de cinco espécies arbóreas. Foram monitorados dados climáticos sob a sombra de cada espécie e calculado o índice de conforto térmico CTR (índice de carga térmica radiante). Os autores observaram a importância da copa na redução da radiação solar e relacionaram as espécies de acordo com a capacidade de redução da carga térmica radiante.
5) Takenaka e Faria (2003) estudaram o ambiente térmico de três ruas em Bauru/SP. Foram realizadas medições de temperatura de bulbo seco, bulbo

úmido, de globo e velocidade do vento, além de observações sobre o comportamento e a vestimenta dos usuários. Foram calculados os índices PMV e PET. Concluiu-se que a vegetação exerce grande importância na qualidade do espaço ao prover sombreamento nas áreas de circulação de pedestres. Soluções foram propostas para as três vias estudadas a fim de melhorar o ambiente térmico em cada uma delas.

6) Ananian, Fontes e Silva (2005) analisaram o conforto térmico em duas situações urbanas em uma mesma rua de pedestres, uma a céu aberto e outra em local coberto, para verificar a funcionalidade da cobertura de fibra de vidro opaca. Foram levantados dados climáticos no local e dados de configuração urbana por meio de fotos aéreas e verificação no local. As comparações entre as medições fora e embaixo da cobertura mostraram pouca diferença em relação à temperatura do ar e diferenças significativas em relação à temperatura radiante média. Para definir a sensação de conforto foi utilizado o PMV, e concluiu-se que apesar da cobertura oferecer um local menos quente que a céu aberto, este espaço ainda não atinge os níveis de conforto térmico para o pedestre.
7) Monteiro e Alucci (2005) apresentam procedimentos para a quantificação de variáveis ambientais, individuais e subjetivas (sensação térmica) para a avaliação de resultados de modelos preditivos de conforto térmico em espaços abertos, com o objetivo de fornecer um método para a determinação das variáveis envolvidas na análise termofisiológica de conforto e estresse em espaços abertos, fornecendo embasamento para pesquisas futuras.
8) Araújo et al. (2007) apresentam recomendações de sombreamento em espaços de circulação de pedestres no campus da UFRN. Foram realizados diagnósticos dos passeios, do tempo de percurso e da tipologia das edificações, analisados dados de radiação ultravioleta B e radiação solar, calculado o índice PMV para a análise do conforto térmico e determinado o período de sombreamento por meio de simulações. Os autores recomendam que os passeios sejam localizados o mais próximo possível de edificação de três pavimentos, ao longo das fachadas Leste ou Sul, e que sejam criados caminhos entre os blocos de edifícios, com o objetivo de potencializar o sombreamento.

9) Monteiro e Alucci (2007a, 2007b) verificam a aplicabilidade de diferentes modelos preditivos de conforto térmico em espaços abertos, considerando diferentes abrangências microclimáticas, e propõem calibrações para tais modelos preditivos visando à possibilidade de seu uso para verificação da adequação térmica de espaços abertos na cidade de São Paulo/SP. Foram realizadas medições de campo de variáveis climáticas e a aplicação de questionários de sensação térmica. Os dados reais foram correlacionados com os dados das simulações, determinando-se as capacidades preditivas de vinte modelos e trinta e dois índices. A partir destes dados, os autores propõem calibrações para diferentes abrangências microclimáticas e apresentam a metodologia para a calibração dos índices.
10) Pareja Júnior et al. (2007) estudaram o conforto térmico em quatro praças da cidade de Presidente Prudente/SP. Foram realizadas medições de temperaturas ambiente e de globo, velocidade dos ventos e umidade relativa do ar em dez pontos em cada praça, e levantados parâmetros pessoais dos usuários do local. Para a análise do conforto térmico foi utilizado o índice PMV, e observou-se que a radiação solar, a vegetação, o tipo de piso e a presença de fluxo de automóveis são determinantes na análise do conforto.
11) Abreu e Labaki (2009) utilizaram os índices PMV, PET e SET* e o gráfico de conforto de Moreno para avaliar o raio de influência de um indivíduo arbóreo no conforto térmico. Foram monitoradas variáveis climáticas em três diferentes raios de influência e calculados os três índices. Verificou-se que para todos os índices o desempenho de conforto térmico da espécie ao longo do ano depende da arquitetura da copa, variando conforme o tipo de cobertura vegetal.
12) Brusantin e Fontes (2009) avaliaram um espaço aberto público de permanência na cidade de Bauru/SP em relação às variáveis climáticas e respostas individuais sobre a sensação térmica com o objetivo de investigar as condições de conforto térmico dos usuários. As respostas reais obtidas com a aplicação de questionários foram comparadas aos índices PMV e PET. As autoras diagnosticaram diferenças entre a sensação térmica real e a calculada pelos índices, concluindo que aspectos qualitativos do espaço (arborização, bancos etc.) influenciam na percepção térmica do mesmo, e que é necessária

a calibração dos modelos de conforto existentes para a realidade da cidade de Bauru.

13) Dacanal et al. (2009) analisaram o conforto térmico em duas praças públicas na cidade de Campinas/SP, com diferentes configurações espaciais. Para cada espaço, foram levantados dados climáticos e respostas individuais (questionários), além do cálculo de sensação térmica utilizando os modelos PMV e PET. Concluiu-se que as respostas reais (questionários) diferem da resposta calculada pelos modelos, e que fatores qualitativos influenciam na percepção térmica do espaço de permanência.
14) Lamotta e Labaki (2009) determinaram estratégias bioclimáticas para projeto para a cidade de Campinas/SP, com o objetivo de atualização dos dados propostos por Chvatal (1998). A análise foi realizada para o período de 1993 a 2006, e quatro métodos foram utilizados (Método de Mahoney, Método de Rivero, Método de Aroztegui e Método dos Triângulos).
15) Minella, Rossi e Krüger (2009) investigaram a influência do fator de visão do céu (FVC) nos níveis de conforto térmico em espaços abertos, mais especificamente na Rua XV de Novembro, em Curitiba/PR. Foram tiradas fotos com lente olho de peixe e realizados monitoramentos fixos de variáveis climáticas, em dois pontos ao longo da rua. Para a análise de conforto térmico foram utilizados os índices PMV e PET. Os autores concluíram que há pouca influência na variação da temperatura do ar, que o FVC não pode ser considerado, isoladamente, como fator determinante para os níveis de conforto dos índices PMV e PET, que a influência do FVC no microclima é menor que a influência da incidência da radiação solar e que as características do desenho urbano, como altura das edificações, largura das vias e orientação, tem forte influência no ganho de radiação solar nos pontos medidos, e em consequência nos níveis de conforto.
16) Monteiro e Alucci (2009a, 2009b, 2009c) propõem um índice de temperatura equivalente para avaliação do conforto térmico em espaços abertos na cidade de São Paulo/SP. O objetivo da pesquisa era quantificar as correlações entre variáveis microclimáticas urbanas e variáveis subjetivas, possibilitando a predição do grau de adequação térmica de espaços abertos para uma população adaptada às condições climáticas local. No primeiro artigo são apresentados os levantamentos empíricos das situações microclimáticas

analisadas, a aplicação dos questionários, os procedimentos utilizados para obtenção das correlações entre as variáveis e a proposição do índice de temperatura equivalente percebida (TEP). No segundo artigo é verificada a influência de diferentes taxas metabólicas e de diferentes isolamentos térmicos das roupas na sensação térmica dos usuários. No terceiro artigo verificou-se a questão da adaptação e aclimatação da população.

17) Rossi et al. (2009) apresentaram resultados iniciais da pesquisa em conforto térmico em espaços abertos na principal rua de pedestres de Curitiba/PR, com o objetivo de verificar a sensação de conforto térmico de transeuntes. Foram realizados monitoramentos fixos de variáveis climáticas e de sensação térmica, com os índices PMV, PET e SET* sendo utilizados para a análise de conforto. Os autores concluíram que as diferenças encontradas entre as respostas reais e as obtidas pelos índices podem ser decorrência das faixas de conforto definidas por cada índice, e indicam a necessidade de determinação de uma faixa de conforto adequada às condições climáticas locais.
18) Shimakawa e Bueno-Bartholomei (2009) analisaram os modelos PMV e PET para a cidade de Presidente Prudente/SP com o objetivo de indicar qual dos dois modelos é o mais apropriado para a cidade. Para tal, monitoraram variáveis climáticas e aplicaram questionários de sensação térmica em usuários do Parque do Povo. As sensações reais (questionários) foram comparadas com as sensações calculadas pelos modelos PMV e PET. Concluiu-se que, para quatro dos seis dias monitorados, houve poucas diferenças entre a sensação real e os modelos, e que o modelo que melhor se aproximou da sensação real foi o PET.
19) Barlati e Bueno-Bartholomei (2011) analisaram o microclima e o conforto térmico de usuários de uma via de pedestre em Presidente Prudente/SP. Foram monitorados dados climáticos, aplicados questionários de sensação térmica e avaliados os limites de conforto térmico real e os obtidos pelos índices PMV e PET. Os resultados mostraram divergência entre as respostas reais e as calculadas pelos índices, indicando que pessoas em ambientes externos são mais tolerantes às variações microclimáticas, o que demonstra a necessidade de ajustes nos modelos utilizados.
20) Fontes e Brusantin (2011) analisaram os limites de conforto térmico real e calculado pelo índice PET em espaço público arborizado em Bauru/SP. Os

resultados mostraram diferenças significativas entre conforto real e calculado, e limites amplos para a neutralidade térmica, sugerindo a necessidade de um ajuste nos limites de conforto/desconforto e calibração do índice PET.

21) França e Barbirato (2011) avaliaram a influência de diferentes configurações urbanas no conforto térmico em Maceió/AL. Foram realizadas medições móveis de variáveis climáticas e aplicação simultânea de questionários. A sensação térmica real foi comparada com a zona de conforto proposta por Ahmed e com o índice PET. Os resultados mostram as características do local contribuíram para a sensação térmica dos usuários, que os valores do PET mostraram-se mais próximos dos resultados reais que o índice de Ahmed.
22) Hirashima, Assis e Ferreira (2011) propuseram um procedimento para medição de variáveis microclimáticas urbanas, coleta de variáveis individuais e subjetivas e tratamento dos dados obtidos, com o objetivo de calibrar o índice Temperatura Equivalente Fisiológica (PET), para espaços abertos do município de Belo Horizonte/MG. Para a calibração foi utilizada a Regressão Logística Ordinal e calibradas as seguintes faixas de estresse térmico: frio, pouco frio, confortável, pouco calor, calor e muito calor.
23) Rossi, Krüger e Bröde (2011) analisaram dados climáticos e dados pessoais de transeuntes em ruas de pedestres de Curitiba/PR com o objetivo de definir faixas de estresse térmico e de calibrar o as faixas do índice UTCI para as condições térmicas de Curitiba. Os autores concluíram que é possível definir as faixas de estresse térmico a partir das respostas reais de sensação térmica. Também indicam a necessidade de calibração do índice UTCI e que 20% de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico seria um possível limiar para PPD em espaços abertos.
24) Shinyashiki e Bueno-Bartholomei (2011) analisaram o microclima e o conforto térmico de usuários espaços públicos de Campinas, Bauru e Presidente Prudente/SP. Foram monitorados dados climáticos, aplicados questionários de sensação térmica e avaliados os limites de conforto térmico real e os obtidos pelos índices PMV e PET. Os resultados mostraram divergência entre as respostas reais as calculadas pelos índices, sendo que o resultado do PMV foi mais próximo das respostas reais e que para o índice PET é necessária a realização de ajustes em sua calibração.

CAPÍTULO 3. MODELIZAÇÃO E CENÁRIOS DO CLIMA E CONFORTO TÉRMICO URBANO: PROPOSIÇÕES METODOLÓGICO-TÉCNICAS, UM RESGATE DA LITERATURA.

I.3.1. AS DIFERENTES ABORDAGENS METODOLÓGICAS

De acordo com Echenique (1975) estudos de fenômenos concretos, reais (no caso as interações entre a cidade e o clima urbano), requerem considerar que os mesmos transcorrerão sempre na linha do tempo, não sendo possível analisar todo o universo de possibilidades que o assunto encerra, o que leva à necessidade de se criar modelos, que são representações conceituais, físicas ou matemáticas de aspectos da realidade que sejam relevantes para a resolução de um determinado problema. Tais modelos devem estar interligados num processo temporal para que se possa chegar às metas estabelecidas de integrar os conhecimentos do clima urbano e da dinâmica espacial da cidade. Segundo o autor, os modelos são utilizados de quatro formas:

a) Descritiva: envolve o processo de definição e descrição do objeto, além da definição dos objetivos de estudo;
b) Preditiva: envolve o processo de observação, tradução e interpretação de dados;
c) Exploratória: estabelece uma condição futura, um cenário futuro;
d) Planejamento: processo de prova e recomendações.

No Brasil, de acordo com Assis (2005, p.95), a maior parte dos trabalhos que envolvem variáveis climáticas focaliza prioritariamente a abordagem descritiva e preditiva dos modelos, dispensando pouca atenção à abordagem das capacidades exploratórias. As abordagens exploratórias são um aporte essencial e também uma ferramenta poderosa de planejamento urbano, visto que fornecem uma reflexão para o futuro. Constituem um importante subsídio à tomada de decisões estratégicas considerando as perspectivas futuras, num processo recorrente de ação, monitoramento e reavaliação, objetivando atingir situações mais adequadas e propícias ao longo do tempo. Deste modo, os processos de planejamento e gestão urbanos podem ser reavaliados e reorientados em função da complexa dinâmica que constitui a cidade e que é a própria base de seu desenvolvimento.

De acordo com Brandão (2009, p.65-123) os modelos podem ser classificados em: (a) modelos empíricos; (b) modelos de balanço de energia e fluidodinâmicos; (c) modelos analíticos; e, (d) modelos computacionais.

I.3.1.1. Modelos empíricos

Trata-se de modelos desenvolvidos nos estágios iniciais da climatologia urbana, possuíam caráter fortemente descritivo, mas tinham pouca aplicação prática apesar de tentarem superar isso com elaboração a partir de bases confiáveis de dados empíricos objetivando correlacionar variáveis climáticas ao desenho urbano e às condições térmicas da cidade e, por isso, foram duramente criticados, dentre outros por Oke (1984). (BRANDÃO, 2009, p.65-67). De acordo com Brandão (2009) alguns exemplos deste tipo de modelo incluem:

a) Exemplo clássico é o modelo proposto por Oke (1973) relacionando a intensidade da IC à população da área urbana e à velocidade média do vento.
b) Posteriormente Oke (1981) aperfeiçoou o modelo para IC noturna, relacionando também as variáveis de razão de aspecto (H/W) ou FVC com o aumento da temperatura.
c) Bornstein (1984) correlacionou o fenômeno da IC com outras variáveis meteorológicas, tais como nebulosidade, velocidade do vento, temperatura e umidade absoluta.
d) Mais recentemente Duarte (2000) propôs o uso de regressão linear em um modelo de verificação das condições térmicas da cidade de Cuiabá, utilizando parâmetro de clima urbano dependente da taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, superfície de água e área arborizada.
e) Steemers (2002) apresentou modelo criando uma variável denominada de Grau de Confinamento (*Degree of Enclosure* – DoE), dado pela somatória da área total de projeção horizontal pela área aberta.

I.3.1.2. Modelos de balanço de energia e Fluidodinâmicos

Ambos são modelos centrados no cálculo do balanço de energia, tratam da modelagem do clima a partir de seus fluxos de calor, a diferença reside no fato de que os modelos de balanço de energia tratam a atmosfera como um volume fechado e homogêneo de ar (com pouca ou nenhuma subdivisão). Já os modelos

fluidodinâmicos tratam a atmosfera como um domínio fluido, ela é discretizada, dividida em vários volumes de controle menores para os quais são realizados cálculos do balanço de massa, energia e momento individualmente. As primeiras tentativas tratavam a superfície como uma placa homogênea trocando calor com a atmosfera. (BRANDÃO, 2009, p.67-70).

a) Myrup (1969) apresentou modelo de balanço simplificado, com o qual ele realiza estudos exploratórios de sensitividade, sendo unidimensional e trabalhando com regime permanente.
b) Bornstein (1975) sugere um modelo fluidodinâmico que calcula os fluxos de momento, massa e calor em um plano perpendicular à superfície urbana. O modelo trabalha com regime permanente, ignorando o armazenamento de calor por parte do solo e edifícios, tratando a cidade como uma placa emissora de rugosidade constante.
c) Mochida et al (1997) utilizam modelos de Fluidodinâmica Computacional (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) para estudo de Mesoclima na cidade de Tóquio.
d) Takashi et al (2004) realizaram simulações térmicas para a cidade de Kyoto. Ambos os trabalhos tratam especialmente das alterações provocadas na camada limite, não avaliando os efeitos da camada abaixo do nível das coberturas.

I.3.1.3. Modelos analíticos

Tratam os fenômenos matematicamente calculando os valores para as diversas variáveis climáticas, abordando-as detalhadamente: parâmetros de radiação, parâmetros de convecção, parâmetros de armazenamento de calor e balanço. (BRANDÃO, 2009, p.73-71). Alguns exemplos de modelos analíticos são (BRANDÃO, 2009, p. 107-111):

a) *Cluster Thermal Time* (CTTC) - modelo de balanço simplificado, baseado na premissa de que em condições de estabilidade atmosférica, sem advecção, as alterações climáticas no meio urbano são determinadas segundo a forma pela qual sua estrutura responde à radiação líquida (Solar e de onda longa) (SWAID, 1995; SASHUA-BAR e HOFFMAN, 2000).

b) *Urban Canopy Layer Model* - proposto por Mills (1997) divide o objeto em duas escalas – a camada limite urbana (*Urban Boudary Layer* – UBL) e a camada abaixo do nível das coberturas (*Urban Canopy Layer* – UCL), propondo-se a simular simultaneamente as trocas internas das UCL e as existentes entre UBL e UCL.
c) UCLM 30 e UCLM 60 - apresentados por Borghi, Coberta e De Biase (2000), permitem o cálculo dos fluxos de calor e das temperaturas superficiais e a do ar nas camadas atmosféricas inferiores. O espaço urbano é desmembrado horizontalmente em células quadradas com dimensões variando entre 30 e 1500 metros.

Alguns desses modelos, elaborados com base no entendimento do conceito de balanço de energia urbano, permitem sua aplicação em várias áreas dentre as quais o planejamento urbano. Dois exemplos de modelos matemáticos que estudam a relação entre variáveis urbanas e climáticas são: a análise da variável urbana de Massa Construída (MC) e a análise do Fator de Visão do Céu (FVC).

Exemplo da primeira aplicação é o modelo aplicado por Barbirato (1998) na cidade de Maceió (AL), baseado no modelo de balanço energético desenvolvido por Tso *et al* (1990) e ajustado à realidade da cidade. A autora estabeleceu relação entre MC e Ta.

Exemplo da segunda aplicação é o modelo desenvolvido por Souza (2003), através linguagem de programação, gerando uma extensão para o software GIS Arcview 3.2 que podia ser utilizada tanto para a representação espacial como para o cálculo do FVC de um dado recinto urbano, permitindo assim investigar sua relação com alterações nas variáveis do conforto térmico.

A forma de ocupação e crescimento das cidades gera mudanças ambientais e graves consequências ao meio ambiente, especialmente ao clima. A massa construída das cidades (edificações, pavimentação) produz alterações na paisagem natural e influencia de maneira definitiva a formação da IC, visto que está ligada às propriedades térmicas dos materiais utilizados e à rugosidade do tecido urbano. (VILELA, 2007).

De acordo com Kalandra *et al.*[23] (1980, p. 791) o balanço de energia de uma superfície urbana permite um melhor conhecimento do clima urbano e esse é representado por fluxos de energia dados entre a superfície, os edifícios e o ar, até a altura onde as trocas de calor vertical são desprezíveis para o período de interesse. Ou, conforme Gartland (2010, p.27), o balanço de energia, baseado na primeira lei da termodinâmica que diz que a energia nunca é perdida, significa que toda energia absorvida pela superfície por meio de radiação ou a partir de calor antropogênico, irá aquecer o ar acima da superfície ou será evaporada com a umidade ou será armazenada nos materiais em forma de calor. Dessa forma, o balanço de energia da superfície depende de diversos fatores, tais como umidade, propriedades térmicas e temperatura das superfícies, da atmosfera e do solo, velocidade do vento, rugosidade da superfície, entre outros. (KALANDRA *et al.* ,1980; BARBIRATO 1988; GARTLAND, 2010).

Tso *et al* (1990), propuseram um modelo para análise do ambiente urbano que incorpora o efeito da massa construída ao balanço de energia da superfície, o qual é considerado por Barbirato (1998) como o mais apropriado para estudos da relação entre MC e o balanço de energia da superfície, sendo indicado para simulações do comportamento térmico de frações urbanas por várias razões:

a) Tso et al (1990), demonstraram a relação entre o aumento de MC, a redução nas perdas térmicas convectivas e o aumento da Ta nos centros urbanos de Kuala Lumpur, Malásia, cidade de baixa latitude;
b) Não requer medições e instrumentos sofisticados para a obtenção dos parâmetros requeridos;
c) Prevê a variação da temperatura do ar devido à massa construída, parâmetro importante para o profissional de arquitetura, urbanismo e engenharia;
d) Aborda explicitamente o efeito do armazenamento de energia das construções e do ar com o solo;
e) Permite a simulação de situações futuras;
f) Os resultados obtidos por Tso et al (1990) foram considerados satisfatórios.

[23] KALANDA, B.D; OKE, T.R; SPITTLEHOUSE, D.L.Suburban energy balance estimates for Vancouver, B.C., using the Bowen ratio – energy balance approach. American Meteorological Society, v. 19, p.791-802.

A geometria urbana das cidades, especialmente nas áreas centrais adensadas das cidades, é caracterizada pela presença dos cânions urbanos. Esses restringem a visão do céu, caracterizada pelo FVC[24], causam reflexões múltiplas da radiação solar e restringem também o movimento do vento. De acordo com Emmanuel (2005) a temperatura das superfícies está intimamente ligada à geometria do cânion urbano, independentemente da localização em relação ao centro da cidade. Oke (1986) demonstrou que, quanto mais obstruído é um local no meio urbano, menor é a capacidade de troca térmica por radiação, situação essa que favorece a formação da ilha de calor noturna nas áreas mais adensadas.

I.3.1.4. Modelos computacionais

São modelos que tentam simular as condições do clima urbano em ambiente computacional tridimensional, exemplos comumente utilizados são (BRANDÃO, 2009, p.114-123):

a) ENVI-met - calcula interativamente o desenho de uma área urbana em regime transiente, num período que normalmente varia entre 24 e 72 horas. Seu funcionamento baseia-se em uma estrutura de quatro módulos que trabalham de forma interativa – atmosférico, solo, superfície e vegetação.
b) Aplicativos de CFD - existem diversos aplicativos disponíveis no mercado, o CFX é um exemplo desse tipo de software, que apesar de não ser voltado exclusivamente para a simulação de ambiente urbanos como o ENVI-met, permitem a simulação de diversas situações envolvendo a mecânica dos fluidos, em qualquer escala e com qualquer condição de contorno; dependente somente da capacidade de processamento disponível para simulação.

Nesse sentido, há várias abordagens e metodologias disponíveis que podem ser aplicadas para a implementação dos modelos segundo as formas de utilização citados por Echenique no objetivo de estudar a interação cidade-clima urbano partindo do modelo descritivo, passando pelos modelos preditivo e exploratório e

[24] FVC, no inglês *Sky View Factor* (SVF), é o ângulo de obstrução do horizonte, é um parâmetro adimensional que indica uma relação geométrica entre a Terra e o céu e que representa a relação entre a área de céu obstruída e a área total da abóbada celeste visível. A unidade do FVC considera a abobada celeste como um importante fator determinante da perda de calor por ondas longas, de modo que, a capacidade de resfriamento do recinto urbano está relacionada à obstrução do horizonte. (OKE, 1982).

chegando ao planejamento. Atingindo assim uma visão integrativa dada pelas esferas dos ambientes natural, social e construído.

I.3.2. MÉTODOS DA ECOLOGIA URBANA

Dentro da perspectiva da Ecologia Urbana, na qual a cidade é entendida como um ecossistema e o homem e suas sociedades como subsistemas do mesmo, faz-se necessária uma reflexão integrativa da ampla problemática do desenvolvimento urbano, que contemple sem a fragmentação setorial. Em consonância com tal proposição, Endlicher (2012, p.41-51) discute os métodos da Ecologia Urbana que incluem: (a) observação; (b) mapeamento; (b) medição; (c) entrevistas e pesquisas de opinião; (d) sensoriamento remoto; (e) modelização.

I.3.2.1. Transepto urbano-ecológico

Em todas as cidades há uma grande quantidade de mosaicos ordenados pela tipologia física ou biótica, os quais são geralmente nitidamente delimitados e relativamente homogêneos. Junto aos compartimentos naturais internos à cidade existem também diferenças arquitetônicas e socioeconômicas, as quais se mostram em típicos bairros ou compartimentos funcionais, como bairros residenciais ou bairros comerciais. Elas sobrepõem a estrutura de compartimentos naturais e estão presentes comumente nas grandes cidades europeias organizadas concentricamente. Nessa tipologia de conformação urbana, a pesquisa da cidade pode dar-se dessa na forma de transepto transversal a essa forma radial de zoneamento ecológico. Esse gradiente de análise interior da cidade – periferia – região rende-se à fundamentação lógica da pesquisa em ecologia da cidade concebida por Sukopp (1990). Uma abordagem clássica da pesquisa em ecologia da cidade, aplicada em Berlim, Alemanha, que permite estudar e analisar em um transepto diferentes problemas de disciplinas independentes e discutir os dados e diagnósticos, pode ser combinada a outros modelos, ampliando-a e completando-a. (ENDLICHER, 2012, p.41).

O transepto é também bastante utilizado para observação de variáveis climáticas e aplicado à investigação da IC e nesse caso destaca-se a metodologia desenvolvida por Taesler (1986), típica para a pesquisa da ilha de calor. Medidas móveis em transeptos podem ser utilizadas para amostrar a distribuição horizontal

das variáveis climáticas em escala UCL, mas estas devem ser combinadas com registros contínuos de estações fixas, para obtenção de índices de correção confiáveis para as medidas móveis. São coletados dados de temperatura do ar e umidade relativa em, no mínimo, três horários distintos durante o dia, em condições de céu claro e baixa velocidade do vento. Os horários correspondem aos períodos, do nascer do sol, o horário mais quente do dia e após o pôr do sol, para se observar como a área urbana absorve e irradia calor.

Para esse objetivo a coleta de dados relativos ao clima urbano assume papel importantíssimo, a qual, segundo Oke (2006), é extremamente complexa, visto que as variáveis climáticas estão sujeitas a alterações a todo instante e sobre as quais não há controle. Resultados válidos e representativos podem ser obtidos, mas isto requer uma série de cuidados especiais. O autor faz diversas recomendações e lembra que tais diretrizes precisam ser aplicadas com inteligência e flexibilidade, procurando adapta-las a realidade do ambiente, sempre que necessário:

1) É essencial a correta definição das escalas espaciais e temporais, pois o posicionamento e exposição dos equipamentos poderá ser totalmente diferente de uma escala para outra;
2) Para selecionar um ponto apropriado para a instalação de uma estação de medição, é preciso definir a potencialidade desse ponto, ou seja, se o ponto é representativo de uma área e capaz de amostrar as características urbanas circundantes de estrutura (edifícios, ruas), cobertura urbana (pavimentação, vegetação), revestimento urbano (materiais de construção e naturais) e metabolismo urbano (calor, água e poluentes advindos das atividades humanas);
3) No caso de tomada de medidas de temperatura e umidade, a pesquisa pode ser refinada com sensores carregados a pé, de bicicleta ou de carro, por um transcurso com pontos predefinidos dentro da área de interesse, os quais podem ser escolhidos através de fotos, mapas ou percurso a pé;
4) Para medições de temperatura e umidade, é preciso evitar que os instrumentos fiquem próximos ou direcionados para fontes de calor e superfícies refletivas, sendo essencial propiciar a ventilação dos sensores, principalmente quando estes estiverem dentro de compartimentos fechados;

5) Com relação à altura para tomada de medidas, tanto por estações fixas quanto móveis, recomenda-se que o sensor esteja entre 1,25 e 2,0 m acima do piso;
6) A melhor hora para fazer as medições é pouco antes do nascer do sol ou pouco depois do por do sol, sempre em dias de calmaria e sem nuvens.
7) O mais importante é fazer uma coleta de dados bem documentada, produzindo arquivos de relatório da estação, para não deixar dúvidas com relação à sua origem e transmissão, para poder validar as conclusões da análise proposta.

I.3.2.2. Mapeamento, análise e classificação das categorias de uso do solo e diferentes tipos de estruturas urbanas.

O funcionamento de uma cidade é determinado pelos seus compartimentos de estruturação e diferentes usos do solo. Essencial para uma classificação são o uso do solo e a estrutura edificada. Áreas onde há uma tipologia edificada homogênea e, por conseguinte um mesmo uso do solo, podem ser sintetizadas numa unidade estrutural. Tais unidades se identificadas através de características distintivas, tais como a quantidade de habitantes e o grau de impermeabilização. Junto com o macrozoneamento é necessária uma classificação, o potencial ecológico e pressões dos sistemas urbanos e sua compartimentação devem ser compreendidos e avaliados. Para isso o mapeamento dos chamados tipos estruturais urbanos mostra-se útil, tanto referente à diferenciação dos usos como das suas características ecológicas (BREUSTE, 1996, *Apud* ENDLICHER, 2012, p.41). Segundo Endlicher (2012, p.41-42) as seguintes categorias devem ser identificadas no mapeamento:

a) Superfícies edificadas (por exemplo, áreas adensadas centrais, áreas industriais, áreas de comércio e serviços), as quais só possam receber limitadas funções de ordem natural (áreas verdes). As áreas do sistema viário (margens ou canteiros centrais), por exemplo, mesmo em densas regiões edificadas, são em sua maioria de caráter público, permitem o desenvolvimento de áreas verdes.
b) Áreas disponíveis (por exemplo, áreas livres ou em ruínas) as quais, muitas vezes por mudança na estrutura urbana ficam livres e apresentam potencial para implantação de áreas verdes.

Ambas as categorias de áreas se diferenciam por suas características ecológicas, mas podem ser utilizadas para ampliação das áreas verdes e consequentemente para melhoria do clima urbano. Portanto, o mapeamento deve servir para registrar o cenário existente, mas permitir o estudo de potencialidades para o uso de estratégias que favoreçam o aspecto ecológico e, por conseguinte, o clima urbano.

A diferenciação das categorias de uso do solo pode expandir-se para a identificação e exame dos compartimentos urbanos e tipos principais de estruturas urbanas encontradas, as quais, segundo Endlicher (2012, p.43) podem ser organizadas em cinco grupos principais segundo o uso do solo e o grau de impermeabilização: (a) área de predomínio residencial compacta com edifícios de vários pavimentos; (b) ocupação residencial unifamiliar ou coletiva; (c) grandes conjuntos habitacionais; (d) áreas urbanas do sistema viário ou transporte coletivo; (e) áreas de uso predominantemente comercial, de negócios ou industrial.

Estudos realizados em algumas cidades brasileiras têm seguido a metodologia proposta por Katzschner (1997), que preconiza a elaboração de mapas climáticos urbanos para estabelecer diretrizes para o planejamento urbano a partir de uma avaliação bioclimática. O autor utiliza o índice PET e ressalta também a importância das adaptações necessárias à sua aplicação em realidades distintas. A metodologia de representação cartográfica das características ambientais locais, através de mapas, que integram quantitativa e qualitativamente as informações sobre topografia, uso e ocupação do solo, rugosidade do tecido urbano, vegetação, temperatura do ar e ventilação. Katzschener (1997) pontua ainda, que o mais importante é saber identificar quais as variáveis importantes para os resultados, a fim de que se possa determinar o grau de influência desta variável na alteração climática local. Sua metodologia:

1) Na análise dos compartimentos urbanos como uso e ocupação do solo, estrutura urbana, topografia, densidade e altura das edificações, áreas verdes;
2) Monitoramento das variáveis climáticas
3) Análise do vento e do balanço de energia mediante a elaboração de um mapa-síntese das condições microclimáticas, de conforto térmico e de qualidade do ar para definição das áreas mais apropriadas aos tipos de uso do solo a serem propostos.

Mendonça e Assis (2003) aplicaram um procedimento para o estudo e previsão das alterações climáticas em uma porção urbana na cidade de Belo Horizonte, a partir das propostas de Lombardo (1985), Assis (1990) e Katzschner (1997). Sobre mapas de dados geomorfológicos, de uso do solo, ocupação, ventilação urbana, temperatura e umidade, eles analisaram as alterações climáticas. Como resultado gerou-se um mapa-síntese que define áreas que necessitam de mudanças no seu desenvolvimento de forma a amenizar o impacto da ocupação sobre o clima urbano. Segundo Assis (2000, p.47-48), esta metodologia é própria da escola alemã, herdeira do pioneiro Wilhelm Schmidt no início do século XX e adota uma abordagem microclimática adequada às cidades europeias já consolidadas.

Através da elaboração dos diversos mapas que contêm os dados geomorfológicos e de ocupação urbana, tais procedimentos têm possibilitado uma fácil interpretação e a interface dos dados por parte dos planejadores urbanos, pois quando espacializados na cidade torna-se possível verificar as interferências entre os fenômenos climáticos e a morfologia urbana.

No Brasil, Monteiro (1976) e Tarifa (1977) representaram os elementos climáticos através da plotagem das variáveis climáticas sobre a mancha urbana em projeção horizontal ou sobre perfis da paisagem. Esta representação, no entanto, parece trazer pouca informação para fins de planejamento, pois não permite a interface da morfologia urbana com as informações climáticas ou informações diretamente aplicáveis ao planejamento urbano. (VILELA, 2007).

I.3.2.3. Sensoriamento Remoto e sistemas de informação geográfica

As imagens aéreas sejam analógicas ou digitais, obtidas por aviões ou satélites, recorrem a características espectrais dos objetos na superfície terrestre para distinguir as diferentes feições. Muitas características urbanas mostram-se claramente nos comprimentos de onda desde a luz visível até o infravermelho. Desde 1972 com o lançamento do satélite LandSat-1, foi possível a utilização de imagens para estudo e investigação da superfície terrestre e, a partir de 1983, com o lançamento do LandSat-4,

primeiro satélite equipado com um sensor (TM25) de resolução geométrica de 30 metros, deu-se rápido significado ao reconhecimento da terra com uso de satélites, também para o espaço urbano (ENDLICHER, 1980, 1982; ENDLICHER e GROSSMANN, 1986). A partir daí as análises multitemporais da estrutura urbana sobre um intervalo de tempo de três até quatro décadas foram executadas. (ENDLICHER, 2012, p.47).

Imagens pancromáticas (em tons de cinza) atingiram resolução de decímetros, além disso, dados de sensoriamento de alta resolução, conhecidos como dados hiperespectrais são utilizados na pesquisa (HAAG et al. 2008). As imagens de satélite dão significado quantitativo à expansão urbana, fornecem também conhecimento qualitativo sobre o desenvolvimento do espaço edificado. O grau de impermeabilização, os tipos de estrutura urbana, e o uso do solo podem ser definidos (HOSTERT, 2007; VAN DER LINDEN e HOSTERT, 2009). Em especial as imagens de satélite fornecem muito conhecimento sobre a vegetação urbana: classes de vegetação, estado das áreas verdes (LAKES, 2006; LAKES et al., 2011; LAKES e KIM, 2011). A partir dos dados LIDAR[26] modelos tridimensionais da morfologia urbana podem ser construídos. Uma combinação especial de imagens de satélite, como a fusão espectral e o uso de sistemas de informação geográfica estão, nesse momento, sendo desenvolvidos como metodologia da pesquisa em ecologia urbana (HOSTERT e HILL, 1997; Apud ENDLICHER, 2012, p.48).

Lombardo (1985), em sua tese de doutorado, estudou a ilha de calor em São Paulo e relacionou medições pontuais na metrópole (dados de temperatura do ar, umidade relativa e vento) com imagens termais de satélites (satélite NOAA), e desenvolveu um algoritmo para o cálculo das temperaturas da superfície em função da radiância que chega ao satélite e da estimativa das emissões superficiais. Plotando isolinhas resultantes das análises sobre mapas de uso e ocupação do solo da cidade a autora incorporou um método capaz de produzir uma interface mais clara entre o

[25] LandSat-TM: *LandSat Tematic Maper*, sensor (câmera) de mapeamento temático do satélite que fornece imagens coloridas com resolução espacial de 30 metros.

[26] LIDAR: da sigla inglesa *Light Detection And Ranging*, trata-se de uma tecnologia óptica de detecção remota que mede propriedades da reflexão da luz obtendo a distância para o objeto, comumente através da tecnologia de laser pulsado. A distância para um objeto é determinada pela diferença de tempo entre a emissão de um pulso laser e a detecção do sinal refletido.

fenômeno e sua espacialização sobre a cidade. A autora comprovou a existência de ilhas de calor na cidade de São Paulo da ordem de 10^{o}C, entre o centro e a área rural, especialmente entre 15:00 e 21:00 h. E, utilizando-se dessa tecnologia foi possível à autora, proceder a um primeiro passo na proposição de soluções para o planejamento urbano. (VILELA, 2007, p.43,53; DUMKE, 2007, p.126).

Collischon (1998) utilizou imagens LandSat -TM (banda 6 - termal) para analisar a termografia regional, em estudo da Região Metropolitana de Porto Alegre. A autora utilizou técnicas de geoprocessamento através do uso do software IDRISI como ferramenta de auxílio no estudo do clima urbano e logrou avanços no detalhamento dos aspectos relativos ao cálculo das temperaturas de superfície.

Mendonça e Dubreuil (2005) utilizaram imagens de satélite LandSat TM (banda 6 – termal), em estudo para a Região Metropolitana de Curitiba no inverno, ano de 2002, o qual analisa a relação entre termografia de superfície e a temperatura do ar. De acordo com o autor, a imagem evidenciou a formação de uma ilha de calor na superfície e os dados meteorológicos uma IF a 1,5 m, simultâneas, sobre a mancha urbana. Os resultados revelaram as diferenças teoricamente conhecidas entre os processos de aquecimento das superfícies naturais e das artificializadas (balanço de radiação).

I.3.2.4. Cenários e Modelos

Trata-se de uma metodologia científica de fundamental importância para apoiar decisões estratégicas, inclusive àquelas que envolvem as ciências sociais, como é o caso das cidades. (MAKRIDAKIS *et al*, 1983; SOUZA, 1999). Nos cenários cada objeto específico demandará certo grau de adaptação metodológica (simplificação, abstração ou desmembramento da problemática), em função dos seus aspectos singulares, da realidade particular em questão. (SOUZA, 1999). De acordo com o autor, a construção de cenários assemelha-se às metodologias de predição, porém, o problema fundamental das predições convencionais (cartesianas, lineares, extrapolativas) é a sua conformidade ao paradigma da simplificação, o que as tornam falaciosas diante dos problemas sociais. Cenários, ao contrário das predições, não seguem qualquer receita formal ou aplicação de fórmulas matemáticas. O esforço desta metodologia consiste em agregar ingredientes dificilmente formalizáveis, mas com consistência lógica e sintonia

com a realidade, possibilitando simulações bastante flexíveis, onde alguns fatores são enfatizados em função de sua maior chance de ocorrência.

Makridakis *et al*. (1983) defendem a ideia de que as técnicas de cenários são um método disciplinado de imaginar futuros possíveis, simplificando uma avalanche de dados ao levar em conta um número limitado de situações possíveis. Simulam uma realidade possível em um determinado tempo e em determinado local. Para tal construção, utiliza-se de um conjunto bem definido de suposições, formulando alternativas possíveis para que se possa desenvolver uma concepção imaginativa de possibilidades futuras. Essas possibilidades futuras podem ser ajustadas ao longo do tempo, referenciando-se na verdadeira existente, nos fatores intervenientes, nas variáveis atuantes e nas tendências constatadas, a fim de desenvolver intervenções planejadas. Desta forma, as técnicas de cenários representam uma ferramenta poderosa de predição das condições possíveis, que poderão ser modificadas no presente mediante o reconhecimento prévio das mesmas.

Conforme evidencia Souza (1999) é importante neste caso perceber que a construção de cenários não significa tentar “prever” o futuro, como se a história fosse passível de determinação, trata-se sim de “simular” possíveis desdobramentos sem a preocupação de quantificar probabilidades e sem se restringir a identificar apenas um único desdobramento esperado. Algumas diretrizes podem fornecer subsídios:

a) Identificar o quadro atual e suas raízes históricas: é sobre este alicerce que se poderá refletir sobre tendências e possibilidades evolutivas;
b) Construir o cenário tendencial: é o momento de iniciar a construção dos cenários, principiando pelo cenário tendencial mais provável. A primeira providência para sua construção é o estabelecimento de premissas ou hipóteses a serem testadas pelo próprio processo histórico. Em seguida, a tendência a ser apontada deve fazer referência ao nível de crescimento dos conflitos sociais e à fragmentação do tecido sócio-político-espacial. É imperativo estabelecer nesta etapa a referência temporal e o horizonte de prognostico. Hipóteses diferentes deverão ser levadas em conta, pressupondo escolhas entre diversas alternativas mutuamente excludentes;
c) Construir cenários alternativos: imaginando que o cenário tendencial é um cenário de larga probabilidade de ocorrência, é sempre importante propor

alguns cenários alternativos. Deve-se evitar propor muitos cenários alternativos, o que tornaria a interpretação pesada. Dois cenários alternativos, adversos ao tendencial, são capazes de oferecer suficiente flexibilidade prognóstica;

d) Calibrar os cenários tendenciais e alternativos, conforme as particularidades locais: cada caso é um caso. Devem ser levados em consideração os fatores sociais e culturais envolvidos nos cenários e as diferenças regionais e locais;
e) Concluir e tirar lições de um devir imaginário: especular sobre o futuro é arriscado, nas ciências sociais é ainda mais arriscado, mesmo em se utilizando uma metodologia prudente como é o caso das técnicas de cenários. Todavia é realmente necessário correr tal risco, pois é preciso subsidiar cientificamente o curso de ações a serem selecionados para se enfrentar os desafios do desenvolvimento sócioespacial, seja em que escala for.

Porém, de acordo com Endlicher (2012, p.) o real desafio é a integração dos sistemas natural e antrópico em um modelo. Assim, sistemas de modelagem da terra são ampliados para modelos de clima os quais trabalham conjuntamente e descrevem não apenas atmosfera, oceanos, terra e superfície de gelo. Mas também com a biosfera marinha e terrestre incluída e antes de tudo com modelos socioeconômicos acoplados (VON STORCH et al. 1999, MÜLLER e VON STORCH, 2004).

Na dimensão local da cidade seria absurdo modelar um sistema urbano ecológico sem o subsistema humano, ressalta Endlicher (2012, p.51), pois o comportamento humano influencia o uso do solo e a demanda por matéria-prima, energia e prestação de serviços. Além disso, eventos extremos e riscos naturais tais como enchentes, subida das marés, tempestades com rajadas de vento, ondas de calor ou deslizamento de encostas, podem trazer consideráveis consequências para o subsistema humano. Portanto, são necessários modelos integrativos na ecologia urbana, que possam simular não somente o subsistema natural (por exemplo, a mudança climática), mas também as atividades humanas levando em consideração e representando aspectos demográficos, econômicos, políticos e ecológicos. Eles devem estar em condições de representar os problemas ambientais provocados pelo homem como as mudanças no uso da terra, a destinação de materiais prejudiciais para

quantificar e num determinado espaço de tempo reapresenta-los novamente (ALBERTI, 1999, WADDELL e ALBERTI 1998; Apud ENDLICHER, 2012, p.51).

Em consonância com a visão de Endlicher (2012) segundo uma perspectiva integrativa sociedade-natureza, estão colocados o Sistema Clima Urbano - SCU (MONTEIRO, 1976) e o Sistema Ambiental Urbano – SAU (MENDONÇA, 2004), os quais trabalham as interações entre a natureza, a sociedade e o ambiente construído de modo a possibilitar a abordagem de todos os modelos propostos por Echenique (1975), desde a perspectiva descritiva até o planejamento urbano.

I.3.3. O SISTEMA AMBIENTAL URBANO – S.A.U.

De acordo com Suertegaray (2009) durante o século XX a construção do conhecimento da natureza dividia-se em subáreas do conhecimento. Porém, independentemente desta prática, alguns geógrafos buscaram construir um conhecimento mais conjuntivo o qual, no Brasil, ”tomou como referência a abordagem sistêmica”. Com o objetivo de promover uma análise integrada da natureza, foi adotado o método sistêmico [27] proveniente da biologia dos anos 20. “Tornaram-se clássicos entre nós os textos de Sotchava (1977), Tricart (1977), Bertrand (1982), entre os pesquisadores externos, e os de Christofoletti (1979) e Monteiro (2000) entre os geógrafos nacionais que buscaram a integração a partir deste caminho analítico”.

Conforme Christofoletti (2010) o vocábulo *sistema*, representando um conjunto organizado de elementos e de interações entre os elementos, possui uso antigo e difuso no conhecimento científico. A preocupação em se realizar uma abordagem sistêmica conceitual e analítica rigorosa, porém, surgiu na Biologia teorética na década de 1930. Tendo sido absorvida e adaptada em várias outras disciplinas, a analogia referencial passou a estar relacionada com os sistemas dinâmicos desenvolvidos na

[27] Sistêmico (de Sistemismo): Monteiro em seu livro (Geossistemas: a história de uma procura) onde faz referência ao sistêmico, fala em história de uma procura. Deixa evidente que, ao longo de sua produção em Geografia, procurou um método, estudou e construiu suas análises sob um caminho (o método sistêmico). Diferentemente da análise sistêmica funcionalista (tradicional) incorpora o tempo e seus ritmos na análise. Sua teoria do Clima Urbano sustenta-se na análise sistêmica. Tantas outras teorias se fundamentam na análise sistêmica. O sistemismo no âmbito da Geografia não fugiu a compartimentação. As controvérsias em relação ao conceito de Geossistema, ora compreendido como sistema natural (Sotchava, Christofoletti,) ora concebido como sistema integrativo da natureza com a sociedade (Bertrand, Monteiro) bem demonstram essas divergências (SUERTEGARAY, 2009).

Física e Química a partir da década de 1980. Em 1962 o conceito de sistemas foi introduzido na Geomorfologia por CHORLEY e vários aspectos desta abordagem foram considerados por CHRISTOFOLETTI (1979), STRAHLER (1980), HUGGETT (1985) e SCHEIDEGGER (1991).

Na área de estudos da climatologia urbana, Monteiro (1976) elaborou uma proposta teórico-metodológica intitulada Sistema Clima Urbano (SCU), esta embasada na Teoria Geral dos Sistemas (TGS) de Bertalanffy (1973). A cidade é tratada do ponto de vista sistêmico, caracterizando-se pela permanente interação entre os elementos da natureza e da sociedade, fazendo o clima também parte deste sistema que é a cidade.

De acordo com Monteiro (2003) o clima é dinâmico e deve ser compreendido em seu "ritmo de sucessão habitual" dado pelos "estados atmosféricos sobre os lugares". A metodologia do Sistema Clima Urbano – SCU - compreende três subsistemas inter-relacionados: Termodinâmico (relativo ao conforto térmico), Físico-Químico (relativo à qualidade do ar) e Hidrometeórico (relativo a meteoros de Impacto). De acordo com Mendonça (2004) dos três campos de estudo do clima urbano constituintes do SCU, o termodinâmico é aquele sobre o qual a maioria dos estudos foi realizada, assim como também ocorre nos países desenvolvidos. O SCU leva em conta o complexo fluxo de matéria e energia, no qual os aspectos naturais do território e da atmosfera e a participação antropogênica interagem de forma permanente e dinâmica na constituição do clima urbano. Mas, para além do diagnóstico da realidade urbana, o SCU conduz à perspectiva da solução de problemas ambientais nos três subsistemas do clima urbano e à elaboração de diretrizes para o planejamento da melhoria das condições de vida na cidade. A Figura I.3.1 ilustra o SCU de forma esquemática:

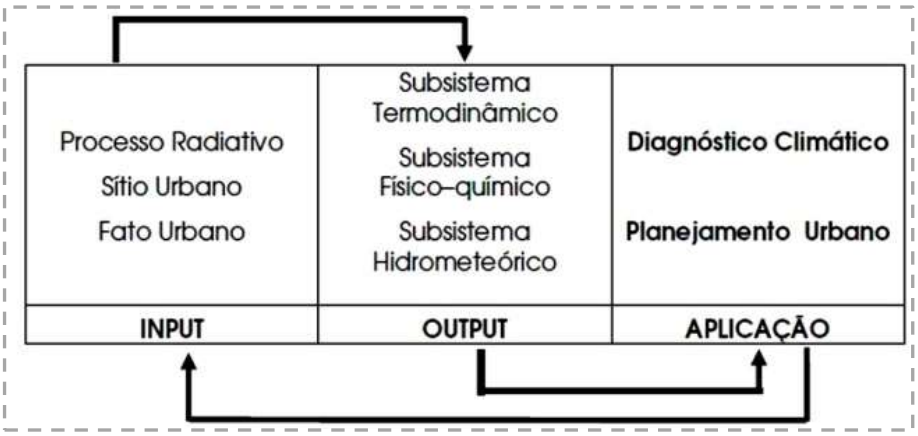


FIGURA I.3.1 – SISTEMA CLIMA URBANO (MONTEIRO, 1976) SIMPLIFICADO
Fonte: Monteiro (1976), Apud Mendonça (2004).

Mendonça (2004), objetivando novas perspectivas metodológicas para o estudo da problemática socioambiental urbana, revisita os conceitos de ambiente urbano proposto pelo PNDU/UNOPS (1997) com seus três subsistemas (natural, social e construído) e do SCU de Monteiro (1976). Considerando a cidade como um Sistema Dinâmico, como a concebem Dubois-Maury et Chaline (2002), propõe o S.A.U. – Sistema Ambiental Urbano – proposta que "coloca em evidência o fato de que, para se elaborar estudos e intervenções na perspectiva desse sistema, deve-se trabalhar com problemas emanados da interação sociedade-natureza". A Figura I.3.2 ilustra o SAU de modo simplificado:

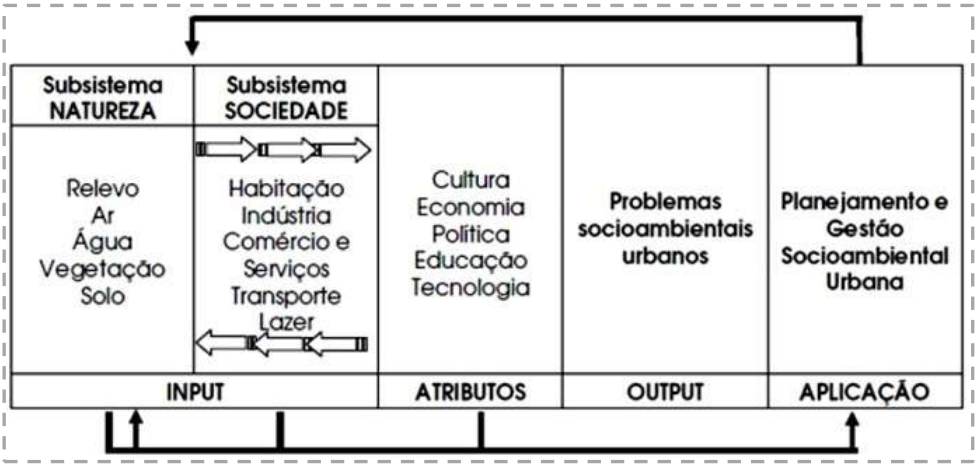


FIGURA I.3.2 – SISTEMA AMBIENTAL URBANO SIMPLIFICADO.
Fonte: Mendonça (2004, p.201)

Sendo o S.A.U. um sistema complexo, aberto compostos pelos três subsistemas - natural, social e construído, o pesquisador pode escolher trabalhar, por exemplo, com o Subsistema Hídrico (Subsistema Águas Urbanas) como parte do Sistema Natural, fortemente influenciado e alterado pelo Subsistema Industria que é, por usa vez, dinamizado pelos Subsistemas Cultural, Econômico e Político da cidade. Os problemas relacionados à qualidade da água, ao abastecimento, esgotamento sanitário, poluição, etc. deste subsistema demandam ações sociais e políticas públicas que, embasadas em estudos e propostas de planejamento e gestão poderão encaminhar o equacionamento do problema (MENDONÇA, 2009, p.131). De maneira esquemática o S.A.U. é assim composto (MENDONÇA, 2009, p.131-132):

1) Input do S.A.U.: fluxos de matéria e energia, tanto de ordem natural quanto derivado dos processos sociais. Ele é então composto pelo Subsistema Natureza e pelo Subsistema Sociedade, podendo ser ainda subdividido em vários subsistemas, tais como os Subsistemas N (relevo, ar, água, vegetação

e solos) e Subsistemas S (habitação, indústria, comércio, serviços, transporte, lazer).

2) Atributos do S.A.U.: são as instancias sociais (Subsistema Sociedade) que imprimem a dinâmica / movimento do sistema ambiental na cidade. Neste âmbito prevalecem as características pertencentes à superestrutura da sociedade (economia, política) e a cultura da população que a constitui, além da educação e da tecnologia. As manifestações abruptas, episódicas e impactantes da natureza também aparecem como importantes dinamizadores do S.A.U.
3) Output do S.A.U.: aqui aparecem os vários problemas resultantes da interação entre os vários subsistemas e subsubsistemas do S.A.U., e que demandam a atenção da população, dos governantes, da sociedade organizada e das instituições.
4) Aplicações: nesta particularidade do S.A.U. devem ser estudadas e elaboradas as propostas para o equacionamento dos problemas socioambientais urbanos. A solução dos mesmos terá implicação direta na qualidade de vida das populações envolvidas, o que promoverá uma alteração do input, dos atributos e do output do S.A.U. por intermédio de mecanismos de feedback.

De acordo com Dumke (2007, p.27) o conforto térmico é significativamente alterado pelo Subsistema Natural e também pelo Subsistema Construído como um todo (quanto ao zoneamento do uso do solo, à densidade horizontal [28], e densidade vertical [29], à geometria urbana, às propriedades físicas das superfícies e dos materiais, ao tráfego urbano, etc). O Sistema Construído é, por sua vez, dinamizado pelo Subsistema Social nas instâncias cultural, econômica e política. Dessa forma, ressalta a autora, os problemas relacionados ao conforto térmico, ao desempenho e à saúde das pessoas, ao consumo, à produção e à distribuição de energia para climatização, ao uso do espaço externo pela população, entre outros, podem ser

[28] Densidade horizontal: na legislação municipal, indicada pela Taxa de Ocupação, que consiste na razão da projeção da edificação sobre a área total do lote em determinada zona urbana.
[29] Densidade horizontal: na legislação municipal trata-se do Coeficiente de Aproveitamento, que é o índice utilizado para estabelecer o potencial construtivo do lote. Esse é dado pela razão entre a área líquida a ser edificada e a área total do lote. Resulta na determinação das dimensões e do número de pavimentos dos edifícios em determinada zona urbana.

conduzidos à sua solução por meio de estudos e propostas de planejadores e gestores urbanos. A Figura I.3.3 ilustra o estudo do Subsistema Conforto Térmico inserido no S.A.U. proposto pela autora:

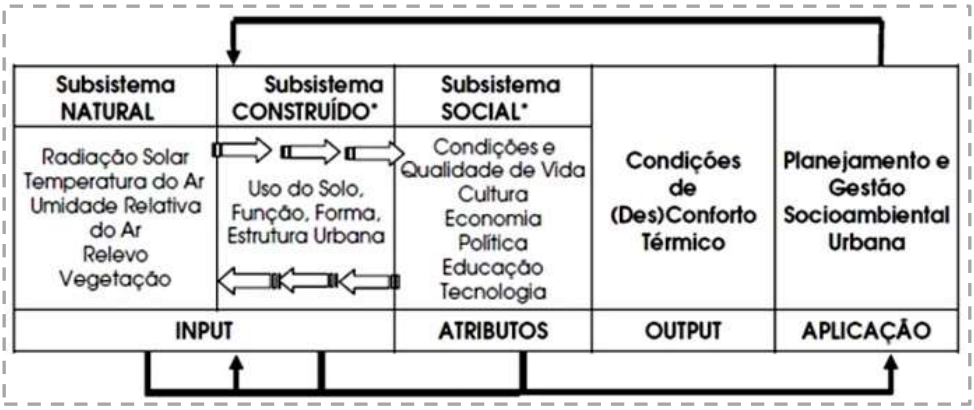


FIGURA I.3.3 – O CONFORTO TÉRMICO INSERIDO NO S.A.U.
Fonte: Dumke (2007, p.27) adaptado de Mendonça (2004, p.201).
Nota: para o autor o Subsistema Construído e o Subsistema Social compõem um subsistema único, o Subsistema Sociedade.

I.3.4. MODELIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS DO CLIMA E DO CONFORTO TÉRMICO COM USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Através de um modelo entende-se de forma abreviada e simplificada uma representação da realidade. Modelos numéricos, como modelos computacionais, são hoje em dia indispensáveis instrumentos de estudo do espaço. Juntos há subsistemas tanto para modelagem natural como antrópica. Esses revelam e fornecem a medida desejada de um espaço, mecanismos de *feedback* integram e sabem e permitem tratar a incertezas futuras. (ENDLICHER, 2012, p.49).

Autômatos celulares, por exemplo, são dinâmicos e compartimentados modelos discretos. Esses levam em conta no processamento o decorrer do tempo. São aplicados a modelos virtuais e tridimensionais da cidade são de extrema ajuda para o planejamento da cidade e do espaço livre. (ROSS e KLEINSCHMIT, 2007, Apud, ENDLICHER, 2012, p.49).

Para o público em geral são especialmente conhecidos como exemplos modelos climáticos aqueles de abrangência global da terra, os quais para dados cenários de desenvolvimento socioeconômico calculam uma projeção de evolução de temperatura e precipitação futuras (MELILO, 1994). Modelos de sistemas naturais em escalas globais são os modelos de clima urbano, os quais simulam condições térmicas

e também de ventilação do clima urbano. Deles fazem parte os modelos UBIKLIM (FRIEDRICH et al., 2001), FITNAH (GROSS, 1991) ou ENVI-MET (do grupo de modelagem ambiental do Instituto de Geografia, Universidade de Mainz). Um exemplo de aplicação dos modelos climáticos foi o modelo solicitado pela câmara de vereadores de Berlim. Através desse modelo, considerando as projeções de desenvolvimento urbano futuro da cidade, foram calculados os efeitos humano-bioclimatológicos esperados para a mudança climática que deverá ocorrer nos bairros (www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas). De modo semelhante, foram postos em prática sistemas de modelagem hidrológica, para determinar os efeitos da urbanização sobre a água disponível (HAASE, 2009), ou para calcular o fluxo do lençol freático (KINZELBACH e RAUSCH, 1995; *Apud* ENDLICHER, 2012, p.49-50).

De acordo com Endlicher (2012, p.50-51), também há sistemas para modelos socioeconômicos. Lowry (1964) foi um dos primeiros cientistas, que tentou descrever com novas equações em seu modelo de Metrópole a organização da distribuição populacional, locais de trabalho, prestação de serviços e uso do solo. Modelo entrada-saída ocupava-se, por exemplo, com os fluxos de materiais, energia e prestação de serviços tanto como com o processo de transporte; recebimento e distribuição são de interesse, enquanto a cidade em si permanece como uma caixa preta.

Como integrantes dos sistemas humanos poderiam ser identificados, por exemplo, demografia, organização socioeconômica, estrutura política e tecnologia. Novos modelos ocupam-se geralmente com os problemas de urbanização e planejamento, como uso do solo, moradia e transporte, assim como com questões de sustentabilidade (PIJANOWSKI et al., 2006; WEGENER, 2009). Então foi desenvolvido em Dortmund o RASTER-Modell Uso da superfície e do transporte urbano (SPIEKERMANN e WEGENER, 2003; 2004). Calcula-se consumo de energia, emissão de gases de efeito estufa e uso do espaço livre. Modelos econômicos específicos ocupam-se com orientação de mercado e preço da terra. (ENDLICHER, 2012, p.50-51).

Nos estudos de planejamento urbano e conforto térmico é comum o uso de ferramentas computacionais simulações de variáveis climáticas e ambientais. O software ENVI-met, voltado exclusivamente para simulações climáticas em ambiente urbano, tem sido utilizado em diversos autores em seus trabalhos de pesquisa, os quais, em sua maioria, consideram-no como uma ferramenta eficiente em

simulações de desempenho ambiental térmico. Trata-se de um freeware (disponível em http://www.envi-met.com/) desenvolvido por Michael Bruse na Alemanha e configura-se como um modelo tridimensional de clima urbano, que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente. Além das análises de diversas variáveis climáticas, ligadas aos campos termodinâmico e físico-químico, a ferramenta oferece várias possibilidades de aplicação e associações.

I.3.4.1. Características principais do ENVI-met.

O ENVI-met permite a simulação, em regime transiente, do desempenho de áreas urbanas, trabalhado com dois sistemas – superfície terrestre e atmosfera – numa altitude máxima de 2500 metros. Seu funcionamento é baseado em uma estruturação de quatro campos ou módulos, os quais, de acordo Bruse (2004; 2006) e Spangenberg (2004), trabalham de modo interativo (Figura I.3.4): (a) atmosférico - campo de velocidades, temperatura, vapor, umidade e poluentes; (b) solo - temperatura e umidade no solo, copos d'água; (c) superfície - fluxos nas superfícies horizontais e verticais, pavimentos, telhados e paredes dos edifícios; (e) vegetação - temperatura da folhagem, trocas de calor sensível e latente ao nível das copas.

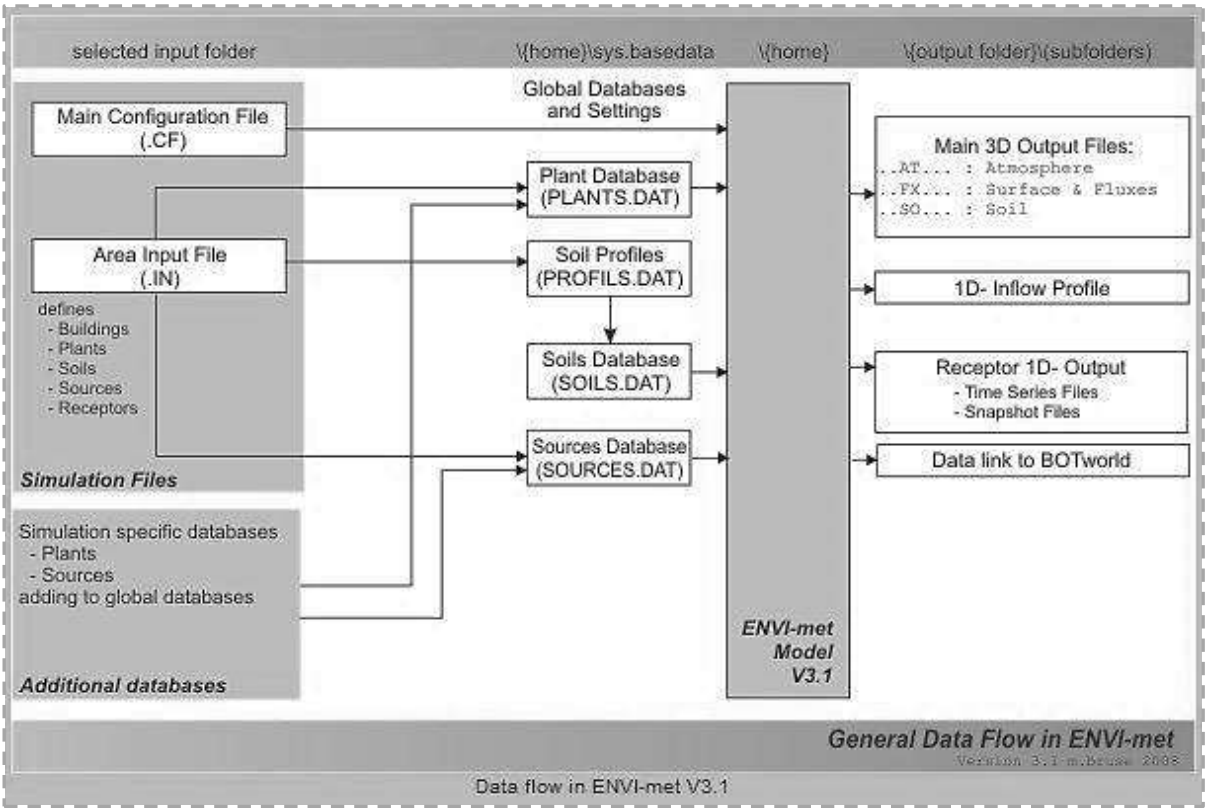


FIGURA I.3.4 – FLUXO GERAL DOS DADOS NO ENVIMET.
Fonte: Bruse (2006).

A superfície terrestre é tratada como um sistema de camadas múltiplas onde solos e vegetação são tratados separadamente. Possui parametrização bastante detalhada para tratamento da vegetação, sendo tratada como um sistema de várias camadas, com suas próprias trocas radioativas, balanço de energia e temperaturas médias. O solo, tratado como uma coluna unidimensional vertical, e composto por 14 camadas, que são mais estreitas junto à superfície e ficando mais espeças à medida que a profundidade aumente, até a profundidade de 2 metros. E, por uma questão de simplificação, apenas as trocas de umidade usam equações de Fourier e Richards. (CARFAN *et al*, 2009 ;BRANDÃO, 2009).

Por se tratar de um modelo para áreas urbanas, a transferência radioativa na vegetação é muito simples e vários pressupostos são feitos como, por exemplo, a radiação difusa não é atenuada pela folhas. A distribuição inicial vertical das folhas é descrita pela densidade foliar (LAD), dada em valores médios. O modelo não considera um dossel e assume a vegetação como homogênea, o que significa que apenas um tipo de vegetação pode ser considerado na vertical. Já na direção horizontal podem-se utilizar vários tipos de vegetação. O calor latente, produzido pela turbulência e pela energia radioativa, disponíveis em cada camada, é calculado com base nos estômatos e na resistência aerodinâmica, bem como a temperatura e umidade do ar no entorno. Nas folhas são consideradas apenas as trocas de calor e umidade, o que significa que os fluxos de CO_2 não estão representados. (CARFAN *et al*, 2009).

Nos cálculos de parâmetros hidráulicos do solo são usadas as classificações da Clapp e Hornberger (1978). A condutividade térmica e difusividade são calculadas usando o formalismo de Pielke (1984) e Tjernström (1989), respectivamente, em Bruse (2004). Os fluxos turbulentos na superfície do solo são determinados pela teoria da similaridade de Monin/Obukhov, que leva em conta a estabilidade atmosférica. (CARFAN *et al*, 2009).

A discretização da atmosfera é feita através de uma malha estruturada, escolhida a priori, sobre a qual são dispostas edificações, materiais do solo e a vegetação. As células são cúbicas, com dimensões definidas pelo usuário, sendo essa preferencialmente inferior a 10m. O programa, em sua versão 3.1, conta com três diferentes resoluções que podem ser utilizadas conforme o tamanho da malha escolhida: 100x100x30; 180x180x30; e 250x250x30. A opção por uma das malhas

pode estar diretamente relacionada com a capacidade de memória disponível para o processamento da simulação, pois a primeira malha requer 250 MByte, a segunda 512 MByte e a terceira 1 GByte.

De acordo com Brandão (2009, p.116-117) a dimensão vertical das células merece consideração especial, recomendando-se que a altura do modelo seja sempre superior a 2,5 vezes a altura do maior edifício, o que se de possivelmente à utilização de um modelo unidimensional como condição de limite de topo da atmosfera discretizada. Baseando-se nas recomendações de Oke (2004), pode-se inferir que as condições da camada abaixo do nível das coberturas produzindo valores médios representativos da área como um todo, que possam interagir com o modelo unidimensional. (BRANDÃO, 2009, p.117). A Figura I.3.5. apresenta uma visão geral esquemática do modelo.

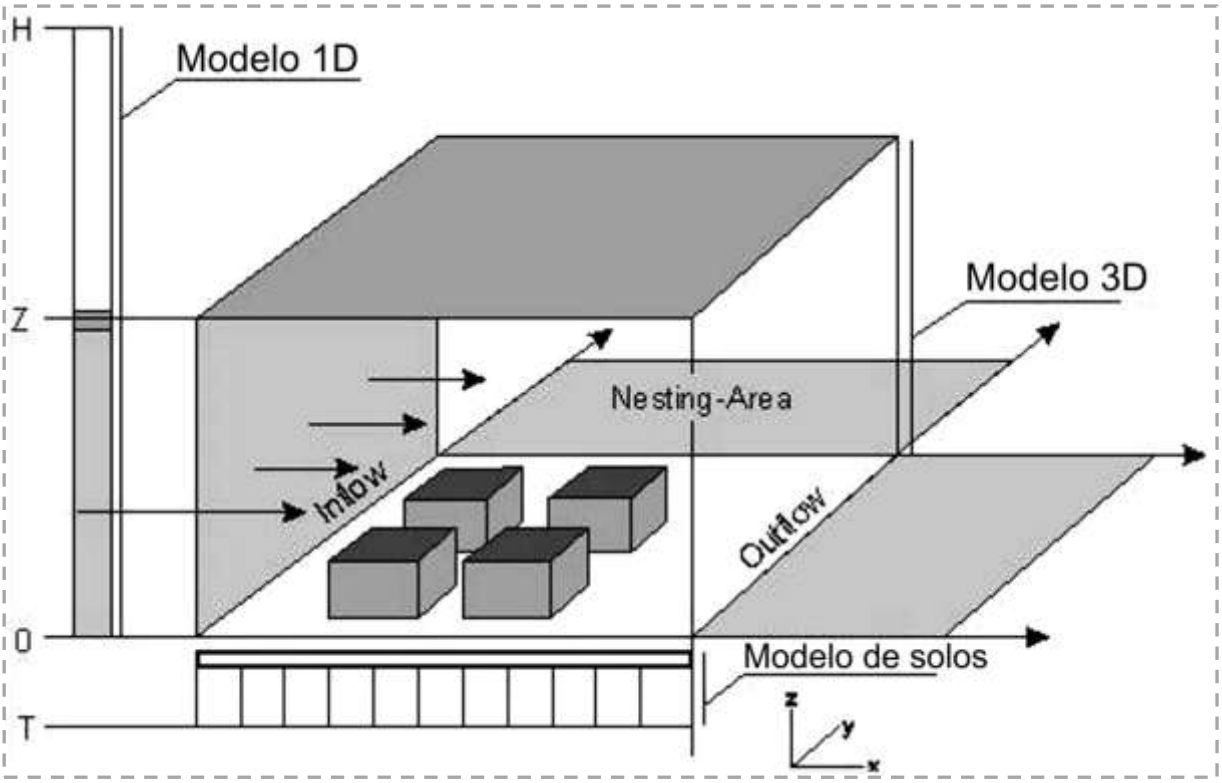


FIGURA I.3.5 – VISÃO GERAL ESQUEMÁTICA DO MODELO.
Fonte: Bruse (2006).

A dimensão vertical pode ser constante (equivalente), ou seja, todas as células podem ter o mesmo valor vertical, porém em áreas mais verticalizadas o número de células verticais pode ser insuficiente para representar a altura dos edifícios e manter a proporção da altura total do modelo (2,5 vezes a altura do maior edifício). No caso da

utilização da célula (grid) equivalente, a primeira célula, mais próxima da superfície, é dividida em cinco partes, para melhor descrever os fluxos na região, como ilustra a Figura I.3.6 no caso A. No caso da utilização da dimensão variável (método telescópico), a qual permitirá a geração de modelos verticalizados, essa poderá ser definida de duas formas (como ilustra a Figura I.3.6, casos B1 e B2 e C), utilizando-se um fator de escala indicado na forma de um percentual de incremento aplicado a partir da segunda célula (caso B1), atribuição do percentual de incremento a partir de uma determinada altura (caso B2) ou ainda, usando-se um valor de variação de altura equidistante sem que ocorra o fracionamento da primeira célula (Caso C, Figura I.3.6) (BRUSE, 2006).

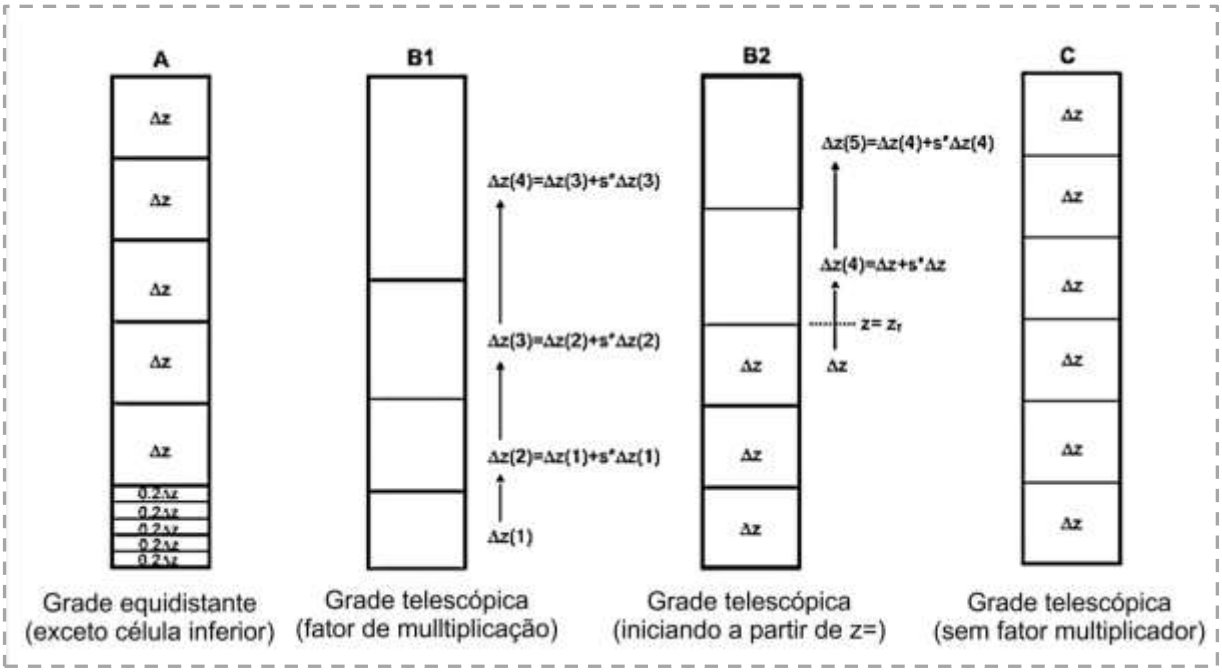


FIGURA I.3.6 – DEFINIÇÃO DO VALOR VERTICAL PARA AS CÉLULAS (GRIDS).
Fonte: Bruse (2006).

Para executar uma simulação o ENVI-met necessita dois passos básicos antes da execução do modelo. O primeiro é a edição da planta baixa da área urbana. A planta baixa é projetada em um cenário, em três dimensões (3D) onde são colocados edifícios, árvores, vegetação e diferentes superfícies. Estes elementos são representados em uma grade com resolução de até 0,5m. (CARFAN et al, 2009). De acordo com Brandão (2009, p.117) a modelagem das áreas no ENVI-met é bastante direta e intuitiva. A célula (o grid) é representada somente em planta e para cada célula horizontal é informado o tipo de cobertura: pavimentação, vegetação e edifícios em número de andares. O programa permite a sobreposição de imagens de formato Bitmap (*.bmp)

sobre a malha, o que facilita a modelagem de áreas complexas. A Figura I.3.7 ilustra a interface de modelagem do ENVI-met (extensão ENVI Eddi, que gera o arquivo de configuração da área de entrada (*Area Input File*, de extensão *IN).

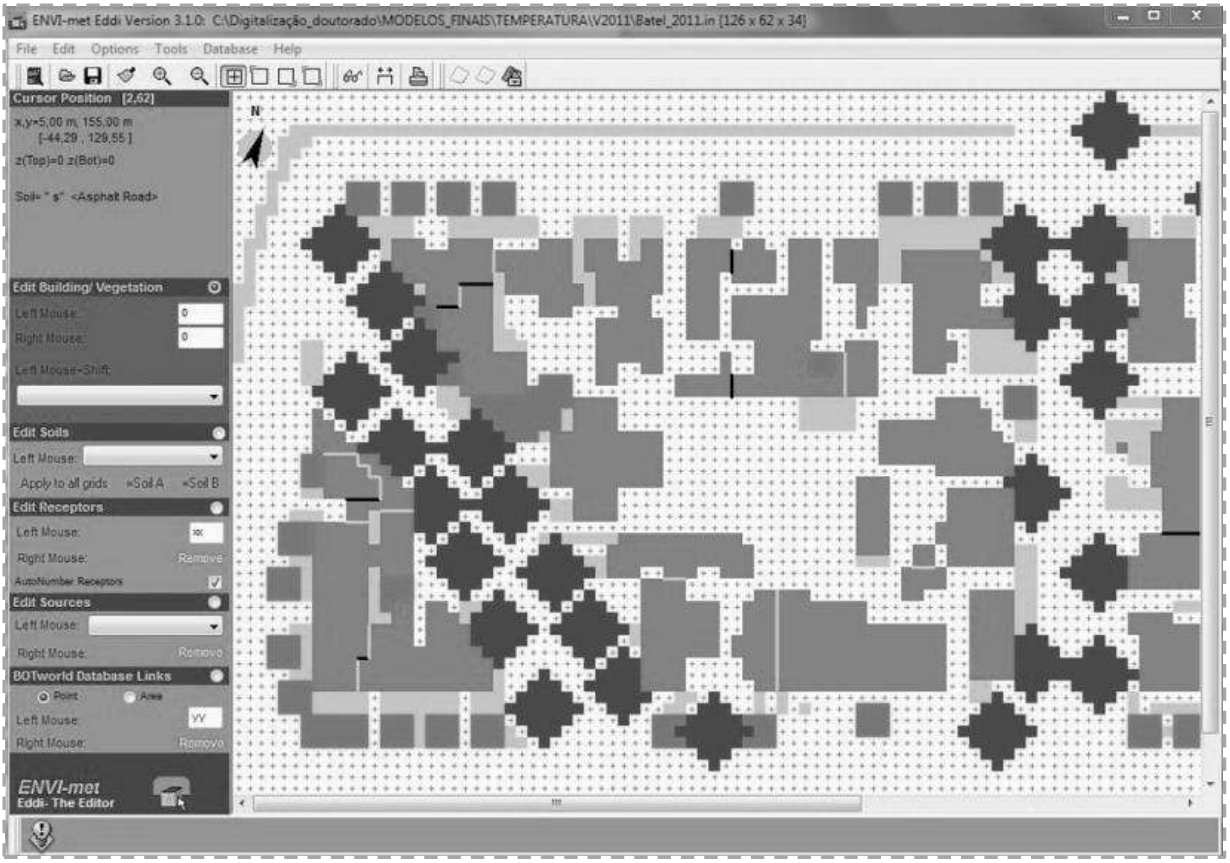


FIGURA I.3.7 – EXTENSÃO DO MODELO URBANO NO ENVIMET (ENVI-EDDI).
Fonte: Bruse (2006).

O segundo passo antes do início da simulação é a configuração das informações para as condições iniciais da simulação, tais como a temperatura, a velocidade do vento, umidade e bases de dados para os tipos de solo e de vegetação. Tais informações são digitadas no editor de configuração do ENVI-MET (ENVI-met *Configuration Editor*) e um arquivo de configuração (de extenção *.CF) é gerado.

Uma vez configurados os arquivos de área de entrada (*Area Input File* - *IN) e de configuração (*.CF) os mesmos serão carregados pela a ferramenta ENVI-met V3.1 *Default Config*, logo após a indicação de uma malha, a partir da qual poderão ter verificados e então iniciada a simulação.

I.3.4.2. Estudos realizados com uso do ENVI-met.

Bruse (1999) utilizou o ENVI-met para simular o comportamento dos ventos em área central de Sidney, Austrália, segundo tipologia de organização de lotes típica das áreas centrais urbanas, em clima temperado. O autor concluiu que, no inverno, a disposição dos edifícios obstrui os ventos frios e no verão possibilita a fusão das brisas, permitindo ventilar as ruas e edifícios da área.

Lahme e Bruse (2003) realizaram medições de variáveis climáticas e dados da qualidade do ar, na área de um pequeno parque urbano, situado na área central adensada de Essen, Alemanha. Foram feitas então simulações das condições climáticas na área utilizando o ENVI-met. Os autores investigaram os efeitos desse pequeno parque, por área densamente ocupada, quanto ao impacto sobre o microclima e qualidade do ar no local. Concluíram que o ENVI-met reproduz os dados observados com suficiente precisão, no entanto, sem afirmar o valor de correlação. Entretanto, alguns fenômenos, tais como os ventos catabáticos (ventos que fluem das elevações das montanhas para os planos abaixo), que foram observados nas medições, não puderam ser reproduzidos devido ao modelo físico utilizado. Este problema não é de natureza física, mas de recursos limitados do computador que não resolvem estes tipos de fluxos, ou seja, embora o problema encontrado, os autores entendem que o ENVI-met é uma ferramenta confiável para a simulação de diferentes cenários urbanos e foi no caso do projeto em questão, projeto da União Europeia de estudo dos benefícios das áreas verdes urbanas (*Benefits of urban green space* – BUGS).

Santos et. al. (2004) fazem a aplicação do ENVI-met para verificar o efeito da vegetação sob três situações distintas em área urbana de Portugal: foram feitas medições no dia de estudo e a simulação de situações hipotéticas de ausência de vegetação e de presença de vegetação densa. Suas simulações permitiram observar que a vegetação, especialmente aquela existente junto a vias de tráfego, influencia na qualidade do ar urbana. Essa vegetação contribui para o aumento da velocidade do vento nas faixas de circulação, conduzindo a um aumento da dispersão de monóxido de carbono (CO_2). O modelo numérico ENVI-met foi aplicado na estimativa dos campos de vento e de concentração de CO_2 com origem nas emissões do tráfego de automóvel.

Ali-Toudert e Mayer (2005) realizaram um estudo sobre o microclima das ruas e o conforto para os pedestres, utilizando um dia típico de verão na cidade de Ghardaia, Argélia e simularam as condições climáticas com uso do ENVI-met. Os autores encontraram constataram que as maiores diferenças de temperatura estão relacionadas à forma e direção da rua, indicando ser necessário um melhor planejamento nas construções de cidades. Observaram um contraste nas temperaturas entre ruas com diferentes configurações de edificação (ruas ladeadas por altas edificações x ruas ladeadas por construções baixas), observou-se também a variação de temperatura segundo diferentes orientações.

Johansson (2006) estudou as cidades de Fez no Marrocos e Colombo no Sri Lanka, ambas situadas em áreas de grande desconforto climático (climas quente, seco e úmido respectivamente) e com problemas provocados pelo rápido crescimento da população e expansão urbana acelerada, marcadas ainda pela ineficiência no ordenamento do uso e ocupação do solo. A metodologia incluiu a combinação de medidas de variáveis climáticas nas cidades, simulação numérica através de programa ENVI-met e estudos sobre o processo de planejamento urbano adotado. O autor estudou a influência da geometria urbana, ao nível UCL, sobre o conforto térmico, verificando significativas alterações de temperatura entre a cidade e a área rural, como também que, em climas quentes e secos. Concluiu que um desenho urbano com cânions profundos e compactos é desejável, pois promovem o conforto térmico através das sombras, que reduzem a radiação solar incidente sobre as superfícies.

Emmanuel et al. (2007) utilizou o ENVI-met em estudos do microclima urbano em Colombo, Sri Lanka, investigando a influência de variáveis urbanas sobre a temperatura do ar em cânions urbanos. Foram feitas simulações distintas utilizando diferentes configurações urbanas: utilização de materiais de alto valor de albedo (menor capacidade de retenção de calor), utilização de densa vegetação viária no cânion, densidade construída média, elevada densidade construída, albedo alto em paredes e tetos e um caso combinando as estratégias mais favoráveis. As simulações demonstraram efeitos positivos de um mais elevado valor de H/W, ou seja, nas altas densidades, assim como nas simulações de albedo alto e utilização da vegetação. Foi utilizado o índice PET para avaliação do conforto térmico do pedestre e apontadas estratégias de mitigação para aplicação do desenho urbano.

O autor concluiu que estratégias para obtenção de Ta mais amena não significam efetivamente um grau maior de conforto térmico. Porém, o aumento da densidade com o consequente uso de maiores valores de H/W aumentou o sombreamento reduzindo significativamente os valores de Trm e, por conseguinte, resultando em um impacto positivo mais significativo para o conforto térmico do pedestre.

Han et. al. (2007), que investigaram as mudanças do microclima e a redução na escala urbana da carga de refrigeração resultantes do córrego Cheonggye, que foi recentemente restaurado em Seul, na Coreia do Sul. O Envi-met ajudou na comparação da mudança microclimática ocorrida no centro da cidade, permitindo a comparação das situações anterior e posterior à reformulação do córrego. O estudo concluiu que embora o córrego de Cheonggye seja estreito, contribui na diminuição da temperatura média diária em 0,31ºC e no aumento da média de umidade relativa diária em 0,89% nos seus arredores. Além disso, esse mesmo estudo comparou dados simulados com os medidos. Os resultados apontaram uma diferença entre eles, indicando que a simulação prevê que a temperatura é mais elevada do que a maioria dos dados medidos. Essa diferença foi considerada por Han et. al. (2007) como interferência da velocidade do vento. Os autores consideram que a alta temperatura da superfície do asfalto influenciou a área de estudo, tendo por resultado uma alta temperatura, porque se supôs que a velocidade do vento estivesse a nordeste a 0,5 m/s.

Spangenberg *et. al* (2008) utilizaram o ENVI-met para investigar o efeito de mitigação causado pela vegetação em dia de verão no centro da cidade de São Paulo. O monitoramento mostrou que áreas de parques mostram temperaturas mais baixas que o cânion urbano acima de 2^{o} C. Foram feitas simulações incorporando vegetação nas vias do cânion urbano e essa simulação resultou num efeito de resfriamento da Ta reduzido, de cerca de 1^{o} C, mas o efeito de resfriamento na temperatura da superfície foi superior a 12^{o} C. Apesar das árvores reduzirem a velocidade do vento em mais de 45%, o conforto térmico medido pelo índice PET, foi reduzido acima de 12^{o} C, tornando-se mais ameno para o pedestre.

Huttner et. al. (2008) utilizaram o ENVI-met para investigar áreas da Europa central, avaliando da aplicação de estratégias de mitigação para melhoria do conforto térmico no ambiente urbano. Nesse estudo, os parâmetros meteorológicos obtidos são temperatura, vento e umidade do ar, com isso, sendo calculados a

temperatura radiante média e o PET (temperatura equivalente fisiológica) e verificados os ganhos em termos de redução da temperatura no nível do pedestre, em diferentes situações de tratamento da superfície.

O estudo de Silva e Romero (2009) fez a análise do desempenho ambiental de três avenidas da cidade de Teresina, Piauí com o auxílio do ENVI-met concluiu que a ferramenta se mostrou adequada para simulação de áreas urbanas. Os autores concluíram que a contribuição da vegetação é efetiva para o conforto no ambiente urbano. As simulações resultaram redução de 2 a 3^{o}C na Ta em virtude da aplicação de diferentes estratégias de arborização.

Brandão (2009) utilizou em sua pesquisa o ENVI-met e aplicativos de CFD (CFX). Sua pesquisa indica que o aplicativo ENVI-met apresentou uma interface amigável e parametrização, possibilitando verificar potencialidades e limitações do programa. Nesse estudo, notou-se que a opção de malhas com 3m, 5m, 10m, ou 20m alterou fortemente o resultado. Foi observado também que, como o aplicativo não apresenta a opção de utilização da condição de limite cíclico, as simulações são bastante influenciadas pelo tamanho da área de modelagem, já que o perfil do vento inicial sempre se refere a uma área desobstruída. Além disso, o programa apresentou dificuldade em considerar o efeito da massa térmica urbana devido à modelagem simplificada das edificações.

Minela *et al* (2011) utilizaram o ENVI-met para investigar as relações entre atributos da geometria urbana e o microclima, envolvendo medições e simulações realizadas em 2009, em área central de Curitiba. Primeiramente foi analisado o impacto da geometria urbana na temperatura ambiente e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres no período diurno, sendo, nesse caso utilizado o FVC como indicador da complexa geometria urbana. A seguir foi analisado o impacto da orientação das vias, em relação ao vento dominante, quanto às taxas de ventilação resultante (velocidade do ar e distribuição espacial), objetivando a análise de dispersão de poluentes gerados pelo tráfego. Os resultados evidenciaram que em dias de temperatura mais elevada um maior valor de FVC resultou em maior desconforto por calor, porém os mesmos locais apresentaram melhor situação de conforto em dias de temperaturas mais baixas. No que diz respeito à influência do vento sobre a dispersão de poluentes mostrou que os cenários de vento norte apresentaram dispersão marginalmente melhor que os cenários de ventos de leste.

I.3.4.3. Limitações do ENVI-met.

Diversos autores apontam para as possibilidades apresentadas pelo software ENVI-met, porém, pelos próprios resultados alcançados, sua aplicação não deve ser indiscriminada. Uma vez que cada local tem características térmicas específicas, acredita-se que uma validação do modelo para cada região de estudo deve sempre preceder à simulação. Pois, vários autores relataram limitações na simulação de calibragem, aquela que objetiva recriar as condições medidas no local, apontando como pontos negativos a necessidade de redução da resolução para facilitar ou até mesmo viabilizar o processamento e especialmente a dificuldade do software de reproduzir o mesmo comportamento das variáveis medidas.

Emmanuel *et al* (2007), Spangenberg *et al* (2008), dentre outros apontaram a divergência encontrada entre a amplitude diária medida e aquela resultante da simulação de calibragem feita pelo software, resultando na redução das temperaturas máximas diárias em cerca de $2^{o}C$, a curva de saída resultante das simulações apresenta comportamento mais homogêneo e brando em comparação com as medições em campo, resultando na queda dos valores de correlação entre dados medidos e simulados.

Autores como Brandão (2009) e Nakata (2011) relatam que a limitação mais comumente enfrentada é na resolução, obrigando o pesquisador a reduzir a resolução espacial do recorte urbano simulado, para poder realizar as simulações, seja para reduzir o longo tempo de processamento, seja para conseguir representar adequadamente a área de estudo no modelo de simulação. Essa redução pode levar a alteração da proporção entre massa construída e espaçamento entre os edifícios, pois a padronização de um valor de célula leva ao condicionamento dimensional dos elementos, visto que esses são múltiplos de uma dada dimensão de célula.

Brandão (2009, p.213-221) relata outras dificuldades encontradas no processamento das simulações:

1) Necessidade de constante simplificação do modelo para ampliação do número de *nesting grids* (células da borda do modelo, situadas além da área útil para permitir a simulação dos fluxos de ar), em decorrência da insistente repetição de erros de convergência (*Invalid Floating Point*), partindo de 15 células,

passando para 25 e chegando a 40. Procedimento que ampliou o tempo de processamento passando de 4 a 5 horas para12 a 15 horas de simulação.

2) Curva de temperatura de 24 horas obtida na simulação apresentou valores de temperatura inicial de até 5^{o}C acima do valor de temperatura inicial registrado nas estações meteorológicas.
3) Achatamento na curva de temperatura com a obtenção de temperatura máxima simulada de mais de 5^{o}C abaixo da temperatura medida, ocasionado pela necessidade de baixar a temperatura inicial que estava muito acima da temperatura medida.

Nogueira (2011, p.60-65) relacionou dificuldades ou deficiências verificadas nos resultados de diversas simulações realizadas com uso do ENVI-met:

1) Jusuf *et al.* (2007), realizaram uma pesquisa no campus da Universidade de Cingapura, utilizando pesquisa de campo e simulação computacional com o ENVI-met. O objetivo era diagnosticar e analisar as temperaturas resultantes em quatro cenários diferentes (real; substituição das árvores densas por edificações; remoção de toda área verde existente; e adição de mais árvores). Observou-se uma diferença média de 3°C entre os dados gerados no ENVI-met e os dados da pesquisa de campo.

1) Jansson (2006) investigou o microclima urbano do centro de Estocolmo (Suécia), quanto às condições térmicas do ar e da água e dos processos de troca de calor em diferentes tipos de superfícies encontradas do ambiente urbano. Os resultados mostraram compatibilidade entre as condições climáticas simuladas e aquelas observações em campo. Porém, foram verificadas discrepâncias entre quanto aos processos de armazenamento de calor e às condições do vento.
2) Chatzidimitriou *et al.* (2006) realizaram um estudo na cidade de Thessaloniki, (Grécia), observando as temperaturas do ar e das superfícies, a velocidade do vento e a umidade relativa, em cinco pontos diferentes. Os resultados do ENVI-met foram comparados com os dados da pesquisa de campo e evidenciaram diferenças de mais de 15% nas temperaturas superficiais. Essas em locais com grama e pavimentos de concreto, sendo atribuídas à sombra do entorno.
3) Han *et al.* (2007) investigaram as mudanças do microclima na escala urbana proporcionados pela revitalização do córrego Cheonggye, em Seoul (Coréia do

Sul). Utilizou-se o ENVI-met na comparação da mudança climática nos períodos anterior e posterior à revitalização, constatando-se a amenização da temperatura média diária e o aumento da umidade relativa média. Porém, os resultados apresentaram as temperaturas simuladas pelo ENVI-met 3°C mais elevadas que a maioria dos valores medidos em campo.

4) Katzschner e Thorsson (2009) desenvolveram na cidade de Kassel, Alemanha, com o objetivo de analisar o efeito da geometria urbana e materiais de construção no microclima. Utilizaram o ENVI-met para comparar diferentes métodos de estimação da temperatura radiante média urbana, mostrando-se limitado para descrever as condições térmicas, não refletindo a situação real percebida pelas pessoas em um determinado ponto. No entanto, para o planejamento urbano, os valores médios e suas variações espaciais conduziram a decisões de mudança dos materiais das superfícies.
5) No cenário brasileiro, Dacanal, Pezzuto, Labaki e Matsumoto (2010) utilizaram o ENVI-met como ferramenta de análise do clima urbano em bairro da cidade de Campinas, São Paulo. O objetivo foi comparar os dados simulados às variáveis monitoradas em campo. O comportamento da temperatura potencial simulada e da temperatura do ar observada em campo foi semelhante, mas verificou-se diferença na amplitude térmica diária. O valor médio de temperatura do ar, no ENVI- met, foi de 7,3°C e no monitoramento em campo foi de 9,5°C. Quanto ao comportamento térmico da vegetação, este não correspondeu à realidade observada uma vez que as áreas verdes apresentam, na realidade, maior estabilidade térmica diária com grande potencial de resfriamento noturno das áreas adjacentes, no entanto, na simulação essas áreas apresentam-se mais aquecidas à noite do que as áreas construídas próximas.

SINOPSE PARTE I

Na primeira parte da pesquisa, o desenvolvimento dos temas ligados ao clima urbano, às interações entre meio urbano e meio natural, dos impactos do desenho urbano sobre as variáveis climáticas, propiciou a construção de embasamento teórico para subsidiar a formulação de cenários futuros do clima, do desenho urbano e de estratégias de mitigação dos efeitos do aquecimento global e mudanças climáticas.

Primeiramente no que diz respeito às escalas de organização do clima, é a microescala, tipicamente relacionada a dimensões de edifícios individuais, árvores, estradas, quintais, parques, etc., o recorte espacial da pesquisa, sendo nela que grande parte das diretrizes de desenho urbano se dá e promove as alterações no clima intraurbano. O recorte temporal é o contemporâneo, baseados em séries de dados meteorológicos, produzidos por uma ou mais estações meteorológicas, podendo incluir "a análise dos tipos de tempos, a variabilidade climática de curta duração, as tendências climáticas e o estabelecimento de médias" (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Autores que tratam do impacto do desenho e do planejamento urbano sobre as variáveis climáticas, Oliveira (1988), Higueras (1998, 2006) e Rossi (2012) entre outros, demonstram a significativa influência que aspectos como rugosidade, porosidade, permeabilidade, densidade construída, morfologia e tamanho da estrutura urbana, orientação, áreas verdes e o uso do solo, exercem sobre o microclima urbano. Diretrizes que podem ser implantadas na tanto reestruturação urbana de médio e longo prazo, como em novas ocupações para maximizar o aproveitamento da relação entre meio urbano e meio natural.

Por outro lado, em situação de crescente aquecimento global, Endlicher (2012) apresenta uma série de ações ligadas ao aumento do sombreamento e áreas verdes, a substituição de materiais de baixo albedo por materiais de alto albedo, o aumento da permeabilidade do solo urbano, entre outras, podem ser aplicadas em áreas consolidadas ou parcialmente consolidadas. Essas, sem a necessidade de uma reestruturação, poderão mitigar problemas relacionados às altas temperaturas, à alta umidade, aos períodos de seca e atém mesmo combater o risco ou a intensidade das enchentes urbanas.

No que diz respeito ao conforto térmico em ambientes abertos, um dos índices mais atuais, desenvolvido com o intuito de avaliar as condições térmicas com base na resposta fisiológica do corpo humano, o UTCI pode ser aplicado a todos os tipos de clima independente das características pessoais dos indivíduos. (ISB, 2001, 2003). Todavia, com base em estudo desenvolvido por Rossi et al. (2011, p.56), as faixas de conforto e desconforto térmico foram adaptadas para Curitiba e verificou-se, então, que a faixa de conforto térmico para esta localidade se estabelece com temperaturas equivalentes UTCI entre 15 e 27oC.

A utilização de modelos, a conformação de cenários e o uso das simulações computacionais são estratégias para o estudo de fenômenos concretos, pois permitem a construção de representações conceituais, físicas ou matemáticas de aspectos da realidade relevantes para a resolução de um determinado problema. (ECHENIQUE, 1975). Nesse sentido, os modelos computacionais, são hoje indispensáveis instrumentos de estudo do espaço visto que disponibilizam subsistemas tanto para modelagem natural como antrópica. Esses revelam e fornecem a medida desejada de um espaço, mecanismos de *feedback* integram e sabem e permitem tratar a incertezas futuras. (ENDLICHER, 2012, p.49).

Trabalhado com os sistemas da superfície terrestre e da atmosfera, numa altitude máxima de 2500 metros e com funcionamento baseado na estruturação de quatro campos - atmosférico, solo, superfície e vegetação, o ENVI-met permite a investigação do clima urbano pela simulação do desempenho de áreas urbanas. (BRUSE, 2006; SPANGENBERG, 2004). Demonstrou, por meio do seu emprego em diversos estudos, apesar das limitações relatadas, ser adequado para a simulação de variáveis climáticas, de cenários climáticos futuros e cenários de estratégias de desenho urbano e mitigação dos efeitos do aquecimento global e mudanças climáticas.

PARTE II. CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO EM CURITIBA: DIAGNÓSTICO, CENÁRIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS EM FACE DO DESENVOLVIMENTO URBANO E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

INTRODUÇÃO PARTE II.

Junto com trabalhos experimentais sobre o microclima nos espaços viários e áreas livres assim como sobre o tema preponderante do Mesoclima, os cenários são úteis para o planejamento de grandes objetivos. A ambicionada otimização na esfera das cidades é considerada como provável causa para atuais e futuras mudanças observadas. As mudanças climáticas poderão provocar consequências para o abastecimento de água, biodiversidade, poluição do ar e saúde humana. Por isso é necessário o estudo de cenários da macroescala para a escala regional e até a local, que investiguem o comportamento do clima nas próximas décadas, para que tanto o poder público como pessoas e empresas possam fazer reais investimentos no futuro da proteção do clima e adoção de estratégias de adaptação às mudanças climáticas. (ENDLICHER, 2012, p.49).

Nessa linha de investigação, a da construção de cenários do microclima local, para os anos de 2036 e 2061, com a simulação das condições climáticas e do grau de conforto térmico percebido nos espaços abertos, desenvolve-se a segunda parte da pesquisa. Além dos cenários futuros do clima e do conforto térmico urbano, são desenvolvidas simulações de avaliação das diretrizes de desenho urbano propostas por Oliveira (1988) e Higueras (1998, 2006), entre outros, assim como das estratégias de adaptação às mudanças climáticas propostas por Endlicher (2012). A partir dos resultados obtidos são também mensurados e avaliados os reflexos sobre o microclima local e sua eficácia para o incremento do conforto térmico urbano em espaços abertos.

No primeiro capítulo são abordados aspectos relativos aos métodos e materiais da pesquisa. Primeiramente é apresentada a metodologia de desenvolvimento da pesquisa, fases de execução, escala taxonômica, escala temporal, e ferramentas de análise. É, então, caracterizada a área do recorte espacial, através da exploração das características mais determinantes da área do Setor Estrutural e do espacial da pesquisa, tais como a legislação de uso do solo, tipologia edificada e da cobertura do solo. Finalmente, faz-se a caracterização do recorte temporal, partindo-se da discussão

do clima urbano curitibano, passando pela abordagem dos ambientes climáticos intraurbanos e culminando com a caracterização climática do Setor Estrutural na área do bairro Batel. Esses são desenvolvidos por meio de três subdivisões: (1) o roteiro metodológico de pesquisa; (2) caracterização da área de estudo: o recorte espacial; e, (3) caracterização climática de Curitiba: o recorte temporal.

No segundo capítulo são apresentados e discutidos resultados relativos à modelização e simulação de cenários do microclima e do conforto térmico para o ano de 2011, em situação de inverno e verão, referentes ao recorte espacial investigado. Passa-se à modelagem do cenário simulado pelo ENVI-met, são apresentados e discutidos aspectos relativos à configuração da simulação e da correlação entre dados medidos e simulados. Por fim, é apresentado o cenário climático obtido para o recorte espacial estudado no ano de 2011, assim como as condições de conforto térmico resultantes. São também discutidos os cenários climáticos e de conforto térmico urbano que foram simulados para os horizontes temporais de 2036 e 2061. Para a última verificação, com base em um cenário de intervenção que proporcione a melhoria do conforto térmico em espaços abertos, são feitas duas simulações cumulativas, reunindo as melhores situações verificadas nas várias simulações baseadas em Oliveira (1998) e Endlicher (2012). O conteúdo desse capítulo abarca duas subseções: (1) clima urbano e conforto térmico no Eixo Estrutural Sul no ano de 2011; e, (2) clima urbano e conforto térmico futuro em situação de aquecimento global.

No terceiro capítulo são discutidos os impactos dos diferentes cenários de síntese das diretrizes de desenho urbano sobre o conforto térmico em espaços abertos, A seguir, são apresentadas as diretrizes de desenho urbano que podem ser aplicadas a ocupações consolidadas e também às novas ocupações. Esse conteúdo é desenvolvido através de duas subdivisões: (1) impactos sobre o conforto térmico em espaços abertos; e, (2) indicação e revisão de diretrizes de desenho urbano.

Finalmente, no quarto e último capítulo são discutidas as contribuições da pesquisa, as limitações e dificuldades encontradas, assim como as recomendações para novos estudos.

CAPÍTULO 1. METODOLOGIA DE PESQUISA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.

II.1.1. O ROTEIRO METODOLÓGICO DA PESQUISA.

A metodologia da pesquisa baseia-se no S.A.U., que foi adaptado por Dumke (2007, p.27) para receber o conforto térmico (Figura I.3.3, p.116), o qual é significativamente alterado pelo Subsistema Natural e também pelo Subsistema Construído como um todo (tanto por parâmetros urbanísticos, como por questões relacionadas ao desenho urbano, descritos anteriormente na seção I.3.2, p115). O Sistema Construído é, por sua vez, dinamizado pelo Subsistema Social nas instâncias cultural, econômica e política. Dessa forma, os problemas relacionados ao conforto térmico, ao desempenho e à saúde das pessoas, ao consumo, à produção e à distribuição de energia para climatização, ao uso do espaço externo pela população, entre outros, podem ser conduzidos à sua solução por meio de estudos e propostas de planejadores e gestores urbanos.

O roteiro metodológico para o estudo conforto térmico em espaços abertos do Eixo Estrutural Norte-Sul de Curitiba, adaptado de Dumke (2007), foi organizado em duas fases. A Fase 1 consiste no desenvolvimento da fundamentação teórica e definição da proposição metodológica da pesquisa. Na Fase 2 é desenvolvida a investigação propriamente dita, consistindo do estudo do campo termodinâmico e indicações para o desenho urbano. Essa se subdivide em sete etapas:

1) Fase 1: nesta fase se faz o desenvolvimento da fundamentação teórica, do problema de pesquisa, objetivos e hipóteses, além da formulação da proposição metodológica norteadora das demais etapas e a delimitação dos recortes espacial e temporal;
2) Fase 2: corresponde à etapa de estudo do campo termodinâmico e objetiva a indicação de diretrizes para o desenho urbano, inclui levantamento e análise de dados, modelização e análise de cenários futuros, de desenho urbano e de estratégias de adaptação às mudanças climáticas, e, indicação de cenários ideais (consolidado e novos) bem como das diretrizes de desenho urbano e as estratégias de adaptação às mudanças climáticas que retornaram melhores condições climáticas e de conforto térmico.

II.1.1.1. Fase 1 - Fundamentação teórica e proposição metodológica.

Decisão e Controle:

Esta etapa consiste na delimitação e problematização do tema “Reestruturação urbana e conforto térmico em Curitiba/PR: diagnóstico, modelagem e cenários”. É nesta etapa que foi feita a definição do problema de pesquisa, dos objetivos, da hipótese, além da identificação do marco teórico. Seu desenvolvimento diz respeito ao conteúdo da primeira parte da pesquisa.

Recorte Espacial (seção II.1.2 da tese):

Com base na delimitação do problema, hipóteses, objetivos e a partir da fundamentação desenvolvida na primeira parte da pesquisa, fez-se a indicação de uma área de estudos.

Embora a análise contemple a tipologia edificada do Eixo Estrutura Norte-Sul de Curitiba, o recorte espacial estudado - três quadras no Bairro Batel - inserido na zona de uso e ocupação do solo denominada de Setor Especial Estrutural, enquadra-se taxonômica do Microclima (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003, p.29), exigindo, para a Análise Espacial da sua área de estudo, uma escala de tratamento de 1:2.000, cuja unidade de media é o metro, permitindo a investigação dos efeitos da consolidação da ocupação permitida para o zoneamento e intervenções de desenho urbano sobre as condições climáticas intraurbanas.

A área do recorte espacial, apresentada na Figura II.1.1, foi escolhida por sua inserção dentro do Setor Especial Estrutural e do grau de consolidação de 67%, situação na qual grande parte dos terrenos utilizam os valores máximos dos parâmetros de ocupação: coeficiente de aproveitamento [30], taxa de ocupação [31], altura da edificação [32]. A base cartográfica do recorte espacial foi formada em duas etapas: uma

[30] Coeficiente de aproveitamento: é o fator estabelecido para cada uso nas diversas zonas, que multiplicado pela área do terreno, define a área máxima computável admitida nesse mesmo terreno;

[31] Taxa de ocupação: é o percentual expresso pela relação entre a área de projeção da edificação ou edificações sobre o plano horizontal e a área do lote ou terreno onde se pretende edificar;

[32] Altura da edificação: é a dimensão vertical máxima da edificação, expressa em metros, quando medida de seu ponto mais alto até o nível do terreno, ou em número de pavimentos a partir do

base principal com dados oriundos de fontes dos anos de 2007 e 2010; atualização da base para o ano de 2011 utilizando imagens do Google Earth e levantamentos expeditos e fotográficos em campo.

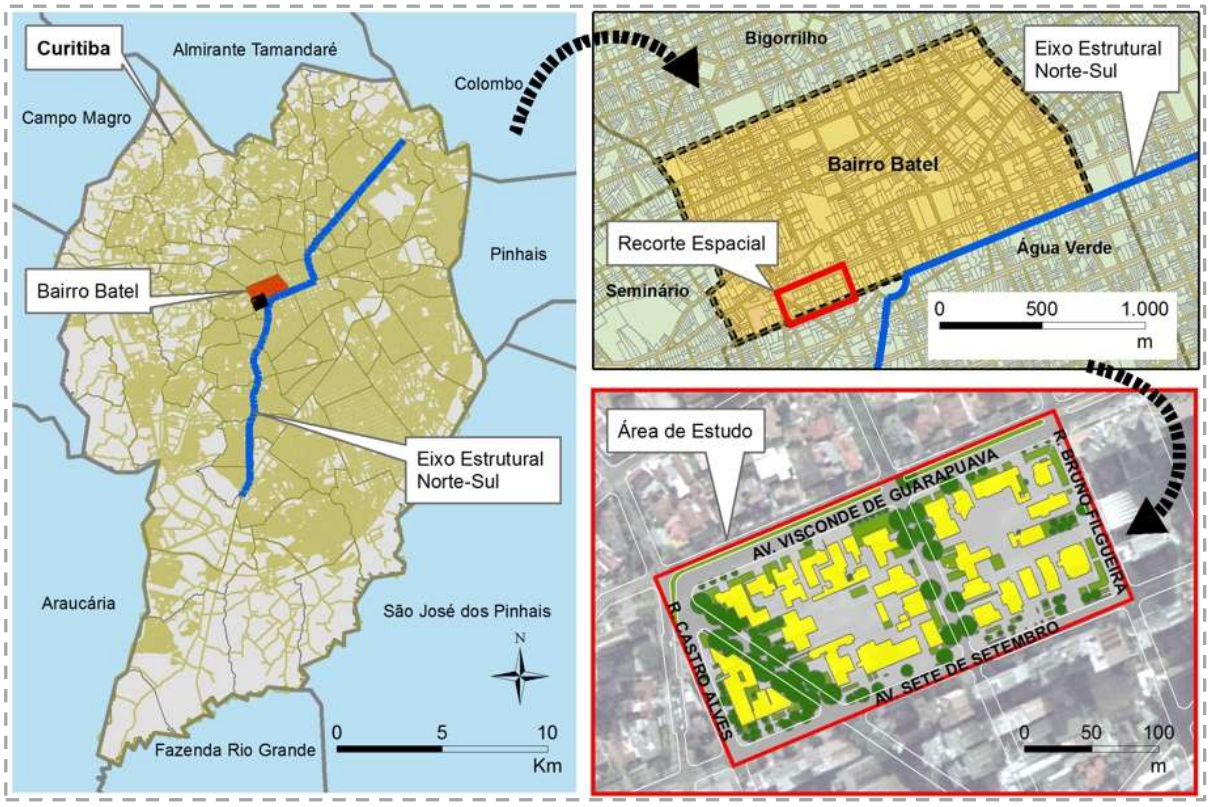


FIGURA II.1.1 – RECORTE ESPACIAL SETOR ESTRUTURAL DE CURITIBA.
Fonte: IPPUC (2007, 2010), adaptado por Schmitz (2014).

A base inicial foi adquirida a partir de os dados fornecidos pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC): (a) Curitiba Digital (2010) base cartográfica em formato *shapefile*[33] fornecendo os dados principais da estrutura fundiária (polígonos dos bairros, polígonos das quadras, eixos das vias, polígonos dos lotes, polígonos do zoneamento); (b) Fotografias aéreas ortorretificadas do ano de 2007 (IPPUC, 2007) a partir das quais foram obtidos os polígonos dos edifícios, os quais foram atualizados com apoio de imagens do Google Earth e levantamentos complementares em campo (fotográficos e medições simplificadas).

térreo, inclusive. No caso da Zona de Uso e Ocupação chamada Setor Estrutural, não há limite estipulado. No caso da Zona de Uso e Ocupação ZR4 o limite é de 6 pavimentos podendo chegar a até 10 pavimentos em vias para as quais é possível fazer aquisição de potencial.

[33] *Shapefile*: formato de dados geográficos georreferenciados compatível com o software ArcGIS de propriedade da empresa norte-americana ESRI.

Recorte Temporal (seção II.1.3 da tese):

A definição temporal investigada, diz respeito à fase de desenvolvimento da pesquisa que contempla o monitoramento das variáveis climáticas em campo, a qual se desenvolveu no ano de 2011. Com relação à Análise Temporal, Mendonça e Monteiro (2003, p.29) sugerem que, o estudo do Microclima, seja conduzido tendo como meios de observação a utilização de registros móveis (trabalho de campo) conjugados a técnicas de análise especiais.

A determinação do recorte temporal fundamenta-se na ocorrência de períodos de estresse térmico por frio, mas também por calor. Por um lado na conjuntura de aquecimento global propalada pelo IPCC em seus últimos relatórios (IPCC, 2007; 2013) que indica a probabilidade do aumento nas temperaturas variando de 1,8 até 4,0^{o}C quando comparados o período de 1980/1999 para 2090/2099 . Por outro lado, Rossi *et al.* (2009), ao comparar o *Test Reference Year* (TRY) baseado nos dados da década de 1960 ao TRY baseado na série de dados 1998-2007, notaram que houve o aumento médio de 1,9ºC no período de 32 anos. Embora esse aumento tenha resultado no incremento de 20% na porcentagem de conforto térmico em relação a 1969, pela redução do desconforto por frio, como salientam os autores, observa-se ainda a elevação nas temperaturas médias máximas e absolutas.

Ainda que o maior desconforto térmico em Curitiba seja causado por frio, tanto em relação à porcentagem das horas anuais, como em relação à intensidade, em se tratando de pesquisa que objetiva construir cenários futuros de conforto térmico para o clima intraurbano curitibano, foram considerados inverno e verão. Contemplou o estudo das condições de conforto térmico urbano nas estações de verão e inverno, nas quais ocorrem as situações mais extremas de desconforto para o calor e para o frio.

Foram conduzidos dois períodos de monitoramento, condicionados pela busca de condições climáticas extremas de inverno e verão, mas que no naquele ano foram mais próximas aos valores médios mínimos e máximos do que aos valores mínimos e máximos absolutos. O período de verão incluiu 4 dias do mês de fevereiro de 2011 (22, 23, 24 e 25), enquanto que o período de inverno ocupou 3 dias do mês de agosto de 2011 (10, 11 e 12).

II.1.1.2. Fase 2 - Estudo do campo termodinâmico e indicação de diretrizes para o desenho urbano

A segunda parte da metodologia trata da modelização de cenários presente e futuros das condições climáticas intraurbanas do recorte espacial, os quais serão correlacionados e confrontados com diretrizes de desenho urbano e de proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas. Esta fase contemplou 7 etapas:

a) Etapa 1: Levantamento de dados e sistematização;
b) Etapa 2: Análise dos dados (cenário presente e futuro);
c) Etapa 3: Análise dos dados construção do cenário de 2011;
d) Etapa 4: Modelização de cenários futuros (2036 e 2061);
e) Etapa 5: Indicação das recomendações para o desenho urbano;
f) Etapa 6: Simulação de cenários futuros e aplicação de estratégias de proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas;
g) Etapa 7: Verificação dos cenários de mitigação e indicação de diretrizes de desenho urbano.

II.1.1.2.1. Etapa 1: Levantamento de dados e sistematização

O levantamento e sistematização dos dados (referentes ao local de estudo) constituem-se de atividades que visaram à produção dos documentos básicos para fundamentar as análises espacial e temporal na fase subsequente. Foram gerados mapas de caracterização do meio natural e urbano, e também a caracterização do clima urbano (Microclima, no recorte espacial) esta por meio de gráficos e análises rítmicas.

A coleta de informações utilizou-se de fontes primárias e secundárias. As secundárias provenientes de dados meteorológicos, imagens de satélite, material histórico, estudos, levantamentos aerofotogramétricos, mapas e afins de instituições governamentais e não governamentais, das áreas de planejamento urbano, gestão ambiental e meteorologia, entre outras. As fontes primárias contemplam o trabalho de campo com a utilização de instrumentos e por meio da observação.

O levantamento e sistematização de dados é desenvolvido na seção II.2.1.1 da tese feita pela caracterização e análise.

II.1.1.2.2. Etapa 2: Análise dos dados (cenário presente e futuro)

Análise Espacial: para a compreensão da realidade urbana, fundamental no estudo do clima e conforto térmico, Mendonça (1995) propõe a Análise Espacial que consiste numa caracterização integrando o sítio, a estrutura, a configuração e a funcionalidade urbana, apoiada em uma documentação cartográfica detalhada e sua síntese. A cartografia básica compreende a elaboração de cartas relativas ao sítio natural e ao fato urbano, este representado pelas cartas de uso do solo. A Análise Espacial desenvolve-se em dois subsistemas interrelacionados: o Subsistema Natureza (o sítio urbano) e o Subsistema Sociedade (o fato urbano: a sociedade, suas características e seu produto, o construto urbano).

Caracterização do meio ambiente (subsistemas natureza e sociedade) desenvolvida na seção II.2.1.1.1 da tese – a análise espacial fez-se por meio da formação da base cartográfica foi composta por mapas gerados pelo software de geoprocessamento ArcGIS versão 10.1, conforme os procedimentos a seguir:

1) Adição das camadas vetoriais a partir dos dados fornecidos pelo IPPUC – Curitiba digital (2010) que compõem a base cartográfica: sistema viário, quadras, lotes, bairros, zoneamento;
2) Adição de imagem para apoio à digitalização: imagem georreferenciada formato TIFF (*Tagged Image File Format*), de 8 bits, quadrícula D13 (IPPUC, 2007);
3) Digitalização dos dados: criação de classes de feições para digitalização dos edifícios e execução do processo de edição;
4) Atualização das informações já digitalizadas: a partir de pesquisa de campo, obtenção de fotografias simples e medições simplificadas "*in loco*" foram atualizados os edifícios, cobertura do solo e vegetação para o ano de 2011;
5) Entrada de informações cadastrais dos edifícios: a partir de pesquisa de campo foram inseridos na tabela dos edifícios numeração, uso, e número de pavimentos;
6) Exportação da base cartográfica final para arquivo de imagem formato bitmap (Microsoft Windows bitmap) para apoiar a digitalização do modelo de 2011 no software ENVI-met, na aplicação EnviEddi;

Análise Temporal: para o estudo do conforto térmico do microclima do recorte espacial, inclui a compreensão da dinâmica atmosférica intraurbana, visando à

caracterização do clima local, bem como ao conhecimento da dinâmica atmosférica do local e do microclima, com o objetivo de avaliar suas condições climáticas e de conforto térmico. O conhecimento do clima em suas diversas dimensões escalares e de sua interrelação fundamenta a identificação dos elementos de maior relevância na formação do clima.

Caracterização do clima urbano desenvolvida nas seções II.2.1.1.2 e II.2.1.2.3 da tese – obtenção por meio de instituições de monitoramento das condições meteorológicas (SIMEPAR, INPE, INMET) e aquisição de variáveis climáticas por meio de monitoramento em campo. Foi feito o monitoramento de variáveis climáticas em campo utilizando equipamentos pertencem ao Laboratório de Climatologia da Universidade Federal do Paraná. Esta foi feita segundo as seguintes etapas:

1) Definição da área a ser monitorada: fundamentada na inserção no Setor Especial Estrutural, grau de consolidação;
2) Definição do período de monitoramento: dois períodos de monitoramento em condições extremas de calor (verão) e frio (inverno), em fevereiro (de 22 a 25) e agosto (de 10 a 12) de 2011;
3) Definição dos horários de monitoramento: próximos ao nascer do sol, no horário mais quente e próximo ao anoitecer conforme Oke (2006), das 07h00 as 08h00; das 15h00 as 16h00; e, das 19h00 as 20h00;
4) Execução do monitoramento em campo: distribuição de seis estações de monitoramento nas quatro fácies da quadra e em duas esquinas opostas diagonalmente;
5) Processamento e sistematização dos dados monitorados: os dados foram adquiridos de modo manual pela leitura dos aparelhos - termohigrometros, termômetros infravermelhos, anemômetro - e anotados em planilhas, como também automaticamente por sensores de coleta de dados do tipo HOBO. Os dados anotados em planilhas foram digitados em planilhas no software Microsoft Excel para o qual também foram importados os dados coletados automaticamente. O processamento foi feito pela elaboração de tabelas de síntese e estatísticas, além da elaboração de gráficos.

II.1.1.2.3. Etapa 3: Análise dos dados construção do cenário de 2011

A partir da síntese das características geográficas do fato urbano (sítio, forma, configuração, uso do solo, compartimentação, etc.) e do clima urbano (a partir dos dados coletados em campo e simulação com o Software ENVI-met). É feita a correlação dos elementos formadores das condições climáticas e de conforto térmico da área de estudo. Identificação das relações de causa e efeito entre as variáveis ambientais urbanas e climáticas e de sua relevância na formação das condições de conforto térmico na cidade. Essa etapa é apresentada na seção II.2.1.2 da tese.

O modelo de cenário presente (2011), futuros (2036 e 2061) e de aplicação das diretrizes de desenho urbano foram conformados no software ENVI-met versão 3.1, segundo os seguintes procedimentos:

1) Importação do arquivo em formato bitmap gerado pelo ArcGIS para apoio à digitalização do modelo na aplicação EnviEddi – interface de conformação do modelo de área de entrada – do ENVI-met);
2) Criação do modelo de área de entrada (*Area Input File*) usando a interface de edição a aplicação EnviEddi segundo as seguintes etapas:
   a) Definição das configurações do domínio da área de entrada: número de células para dimensões X, Y, Z; número de células aninhadas e tipo de solo atribuído a elas, dimensões da célula; configuração da altura total do modelo e do método de atribuição;
   b) Configuração da região geográfica de enquadramento do modelo: coordenadas, fuso de referência, georreferência;
   c) Desenho dos componentes do modelo: edifícios, vegetação, tipos de revestimento de piso, posição dos receptores;
   d) Conferência dos parâmetros de configuração do modelo com uso do analista do modelo (*Model Analyser*);
   e) Salvamento e fechamento do arquivo de extensão IN e fechamento do aplicativo de edição.
3) Configuração dos parâmetros de inicialização e simulação do modelo por meio do aplicativo de configuração (*Configuration Editor*):

a) Configuração dos parâmetros da simulação: tempo total, intervalo de tempo, tempo de processamento insolação, modelos plantas e fontes utilizados;
b) Configuração das variáveis climáticas de inicialização e contorno do modelo: velocidade e direção do vento, temperatura inicial, umidade relativa e específica, dados de solos, turbulência, nuvens;
c) Configuração de parâmetros relativos a região geográfica: não é necessário configurar quando foram informados no arquivo de área de entrada;

4) Execução da simulação por meio da aplicação Start ENVI-met:
   a) Escolha da grade espacial de processamento do modelo;
   b) Carga do arquivo de modelo de configuração: arquivo de configuração dos parâmetros de inicialização e simulação;
   c) Teste;
   d) Inicialização.

II.1.1.2.4. Etapa 4: Modelização de cenários futuros (para 2036 e 2061)

Nesta etapa, a partir de dados socioeconômicos e da caracterização da consolidação da ocupação na área do recorte espacial, são construídos cenários da urbanização para os anos de 2036 e 2061. Da mesma forma acontece com o clima, pois dados do IPCC sobre o aquecimento previsto para o século XXI, na área sul da América do Sul subsidiam a caracterização da temperatura para 2036 e 2061. Essa etapa é desenvolvida nas seções II.2.2.1 da tese.

A construção de cenários futuros de evolução de ocupação nas quadras, apresentada na subseção II.2.2.1.1 da tese, deu-se por meio da estimação do crescimento usando dados censitários e de crescimento do mercado imobiliário:

1) A projeção do crescimento populacional para o bairro Batel segundo dados do censo 2010 (IBGE, 2010) e de interpretação do censo de 2010 elaborados pelo (IPPUC, 2013);
2) A projeção de crescimento da área construída para os próximos 25 e 50 anos com base em dados históricos de expansão da área construída curitibana, conforme relatório de construções liberadas por bairro e ano em Curitiba, no período 1900-2008 (IPPUC, 2013).

A construção de cenários futuros de elevação das temperaturas, apresentada na subseção II.2.2.1.2 da tese, deu-se por meio da estimação da elevação das temperaturas no sul da América do Sul, com base nos dados do IPCC (2013, AI-37):

1) Para definição do cenário para 2036 utilizou-se o prognóstico de elevação na temperatura para o período 2016-2035 relativo ao período1986-2005, para tal foram utilizados os percentis de 50% e 75%, estabeleceu-se a elevação constante e a proporção matemática;
2) Para o cenário de 2061 utilizou-se o prognóstico de elevação na temperatura para o período 2046-2065 relativo ao período1986-2005, para tal foram utilizados os percentis de 50% e 75%, estabeleceu-se a elevação constante e a proporção matemática;

Para simulação dos cenários A (percentil 50%) e B (percentil 75%) para os anos de 2036 e 2061, fez-se a modelagem e o processamento utilizando-se o ENVI-met, conforme etapas descritas na seção II.1.1.2.3 da metodologia.

II.1.1.2.5. Etapa 5: Indicação das recomendações para o desenho urbano

Nas seções II.3.1.1 e II.3.1.2 da tese faz-se a indicação das recomendações para o desenho urbano, as quais são modeladas na forma de grupos de cenários de aplicação das diretrizes: rugosidade e porosidade; densidade construída; tamanho da estrutura urbana; orientação; permeabilidade do solo; propriedades termodinâmicas dos materiais; áreas verdes; uso e ocupação do solo; e, estratégias de proteção do clima e adaptação as mudanças climáticas.

Esses, baseiam-se no conteúdo desenvolvido na seção I.1.2 da tese, na qual é desenvolvida a fundamentação e são feitas as recomendações para o desenho urbano.

II.1.1.2.6. Etapa 6: Simulação de cenários futuros com base em diretrizes de desenho urbano e da aplicação de estratégias de proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas.

Com base na indicação das diretrizes, fez-se, então, o desenho e a simulação da aplicação das diretrizes, teor das seções II.3.1. da tese.

Fez-se o desenho e simulação de diferentes cenários aplicando as estratégias de desenho urbano propostas por Oliveira (1988), bem como das estratégias de proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas propostas por Endlicher (2012). Utilizou-se também o software ENVI-met segundo as etapas descritas na seção II.1.1.2.3 da metodologia.

II.1.1.2.7. Etapa 7: Verificação dos cenários e indicação de diretrizes de desenho urbano.

Depois de realizadas as diversas simulações dos cenários relativos à aplicação das diretrizes, fez-se então a verificação dos cenários mais adequados, cuja síntese aparece na seção II.3.1.3.

Com base nas simulações dos cenários de desenho urbano e de proteção do clima e adaptação as mudanças climáticas, fez-se então a indicação de modelos futuros de aplicação cumulativa das estratégias: cenário para áreas urbanas já consolidadas, assim como cenários para áreas destinadas a novas ocupações urbanas, esses apresentados na seção II.3.1.4 da tese: um cenário consolidado e três cenários de novas ocupações (com diferenciação no número de pavimentos dos edifícios de 6, 8 e 10). Os cenários de síntese foram desenhados e simulados com uso do ENVI-met, conforme etapas descritas na seção II.1.1.2.3 da metodologia.

Considerando as simulações síntese, são indicadas diretrizes de desenho urbano, bem como as estratégias de desenho urbano e de proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas que possam ser utilizadas em áreas urbanas consolidadas ou em consolidação, assim como em novas ocupações. Esse conteúdo foi desenvolvido na seção 3.2 da tese.

II.1.1.3. Desenvolvimento do roteiro metodológico

O roteiro metodológico completo (figura II.1.2) contemplando as duas fases e suas respectivas etapas desenvolve-se ao longo dos diversos capítulos da tese.

A Fase 1 do roteiro metodológico - fundamentação teórica hipótese e objetivos – é desenvolvida ao longo dos três capítulos da Parte 1 da pesquisa.

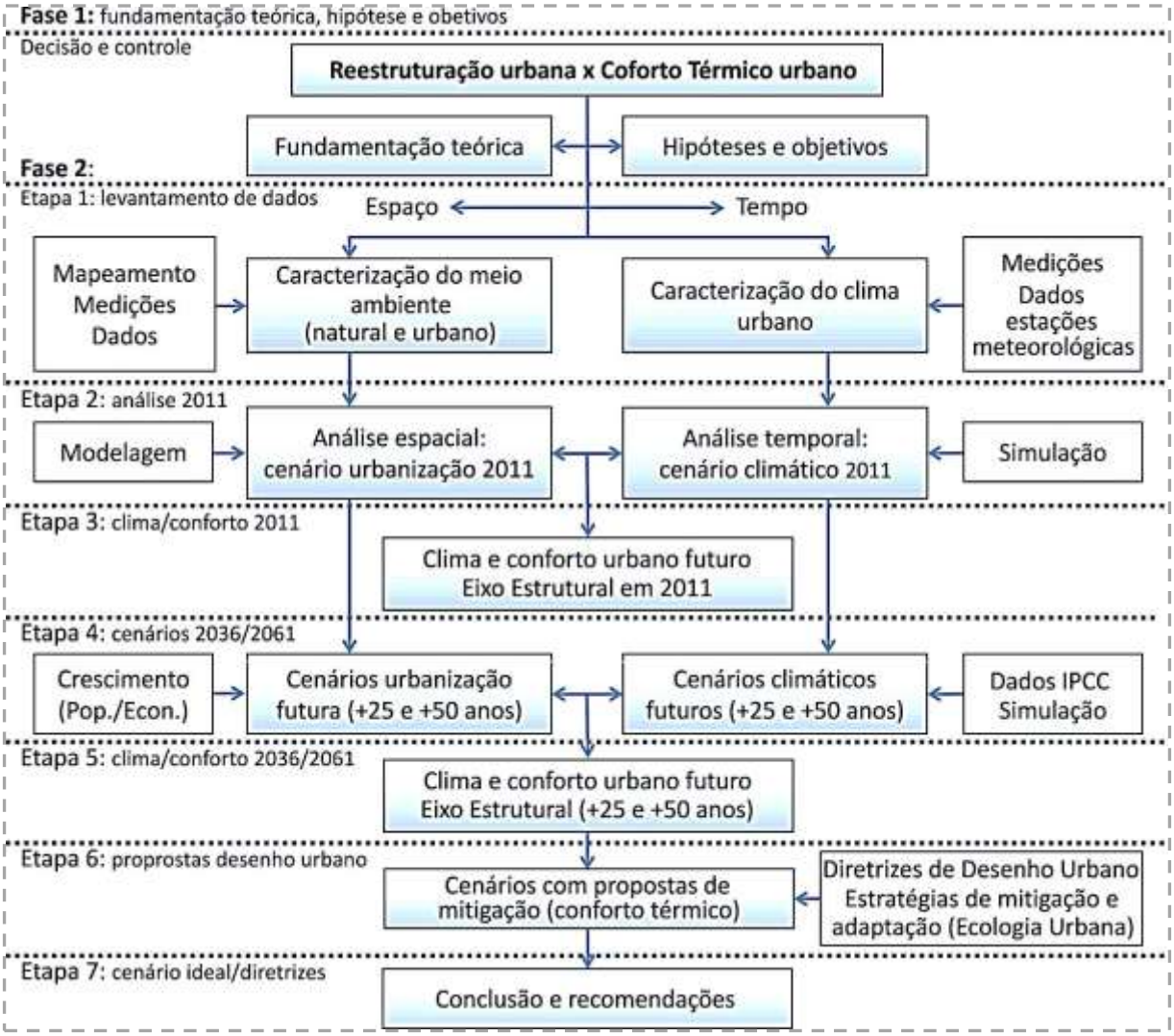


FIGURA II.1.2 – ROTEIRO METODOLÓGICO DA PESQUISA.
Organização e elaboração: Schmitz (2013) adaptado de Dumke (2007, p.30).

O primeiro capítulo (Parte 1) explora as temáticas relativas ao clima urbano e a urbanização, reúne os aportes teórico-metodológicos referentes à: formação do clima urbano e escalas de organização; o microclima urbano e sua relação com o desenho urbano; e, estratégias para proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas.

O segundo capítulo (Parte 1) visa à fundamentação dos temas ligados ao conforto térmico em espaços abertos: o conforto térmico em espaços abertos; índices de conforto térmico; e estudos sobre o conforto térmico no Brasil.

O terceiro capítulo (Parte 1) tem por objetivo a fundamentação da modelização, métodos da climatologia e simulações para obtenção de cenários do clima e do conforto térmico em espaços abertos: as diferentes abordagens metodológicas; o Sistema

Ambiental Urbano; e, modelização e construção de cenários do clima e conforto térmico com uso de simulações computacionais.

Na Parte 2 da pesquisa é desenvolvida a investigação do clima urbano (local e microclima) para que sejam apontados tanto o cenário futuro do clima intraurbano no recorte espacial, como as condições de conforto térmico encontradas e desejáveis, assim como as simulações dos impactos proporcionados pela aplicação de diretrizes de desenho urbano e estratégias de proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas que possam favorecer o clima e o conforto térmico em espaços abertos. Com base nos resultados das simulações de mitigação, são então traçadas diretrizes para aplicação em ocupações consolidadas ou em consolidação, assim como em novas ocupações. Esses conteúdos são desenvolvidos em quatro capítulos:

No primeiro capítulo (Parte 2) faz-se a indicação da metodologia de pesquisa e a caracterização da área de pesquisa através de três seções: o roteiro metodológico da pesquisa; caracterização da área de estudo – recorte espacial; e, caracterização climática de Curitiba – recorte temporal.

No segundo capítulo (Parte 2), caracterização do clima e conforto urbano para os anos de 2011, 2036 e 2061, são desenvolvidos: o monitoramento de variáveis climáticas desenvolvido em 2011 e a simulação das condições climáticas e de conforto térmico para inverno e verão, nos anos de 2011, 2036 e 2061.

No terceiro capítulo (Parte 2) são apresentados e discutidos os resultados das simulações de desenho urbano e estratégias de proteção do clima, são também discutidos os ganhos e/ou perdas para o clima urbano e conforto térmico, proporcionados pela aplicação das diretrizes de desenho urbano e estratégias de proteção do clima, e, são indicadas as diretrizes de desenho urbano a serem aplicadas em ocupações existentes ou novas.

No quarto e último capítulo (Parte 2) são apresentadas as conclusões e contribuições da pesquisa, as dificuldades e limitações encontradas, e, faz-se a sugestão de aprofundamento e desenvolvimentos futuros.

II. 1.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: RECORTE ESPACIAL.

A história de planejamento urbano de Curitiba remonta ao século XIX, quando a cidade foi escolhida para sediar a capital da nova província do Paraná, em 1853. Desde então, até o início da década de 1940, a cidade se adequou ao rápido crescimento da população (IPPUC, 2010). Na sua trajetória podem ser relacionados alguns planos urbanísticos: o Plano Taulois de 1857, o Plano Agache de 1943, o Plano Serete de 1964 e suas adaptações, além da legislação do Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo de 2000, e do Plano Diretor de Curitiba de 2004.

Curitiba sofreu ações de estruturação e ordenamento territorial que remontam ao século XIX na época da sua transformação em Capital da Província do Paraná, e tornou-se internacionalmente conhecida como cidade planejada em função dos planos urbanísticos que caracterizam sua história oficial de planejamento: Plano Agache, Plano Serete, Plano Diretor de 2000 e Plano Diretor de 2004. Em face dessa notoriedade, diversos *slogans* foram criados pela administração municipal em referência ao planejamento urbano realizado e como estratégia para atrair investimentos para Curitiba – “Capital de Primeiro Mundo”, “Cidade Modelo”, “Capital Ecológica” e, mais recentemente, “Capital Social” (DUMKE, 2007, p.92).

Todavia, embora sua fama e as inúmeras intervenções que buscaram estruturar e ordenar o planejamento urbano, devido, sobretudo ao contexto histórico-geográfico em que a urbanização se processou, observam-se hoje aspectos marcadamente contraditórios. Mendonça (2002a) esclarece que mesmo que algumas partes da cidade expressem características de espaços organizados na perspectiva do planejamento urbano, grande parte está aquém desta condição. A partir de 1990, em função de um eficiente “*citymarketing* urbano” impulsionado por diversos *slogans*, tais como “Curitiba Ecológica” e “Capital Social”, criou-se um novo estímulo atrativo, na esteira de sua imagem de “cidade com qualidade de vida”. Diversos autores discutem esse paradoxo na trajetória do planejamento urbano curitibano: Dennison de Oliveira (1995), Claudino Luiz de Menezes (1996), Fernanda Sanchez Garcia (1997), Francisco Mendonça (2001; 2002a; 2004), entre outros.

II.1.2.1. Evolução da área urbana de Curitiba.

A área total do município de Curitiba é de 435,495 km², dos quais 100% encontram-se urbanizados. A área do Aglomerado Urbano da RMC é de 1.051,31 km² e da RMC perfaz 13.040,76 km², portanto, a área de Curitiba representa 8,1% do território da Região Metropolitana (IPARDES, 2012). A população total do município de Curitiba é de 1.751.907 habitantes, de acordo com o Censo de 2010 (IBGE, 2012) e, para 2020 estima-se que apresente um crescimento de 266.735 habitantes, atingindo, portanto a soma de 1.854.050 habitantes segundo dados do PMC (2008a, p.33).

Acompanhando o processo de crescimento demográfico a cidade de Curitiba cresceu tanto verticalmente como se expandiu horizontalmente cruzando, inclusive os limites dos municípios vizinhos. Em sua trajetória de expansão está intensificando a formação de uma conurbação, conformando uma mancha contínua que inclui parte de vários municípios da RMC tais como: Almirante Tamandaré, Araucária, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Colombo, Fazenda Rio Grande, Pinhais, Piraquara, São José dos Pinhais e Quatro Barras. A Figura II.1.3 apresenta um cenário de crescimento da mancha urbana de Curitiba de 1955 até a previsão para 2020.

Curitiba vivenciou um acelerado crescimento populacional caracterizado “pelo ‘salto’ populacional que a cidade deu de 1970, quando sua população era de 609.026 habitantes, para 1.465.698 em 1996”, destaca DANNI-OLIVEIRA (2003, p.155-156), e em 2010 atingiu o total de 1.751.907 (IBGE, 2010). Em consequência desse quadro de expressivo crescimento demográfico vivenciado desde a década de 1970 e na tentativa de ordenar crescimento urbano de tal monta, relata Oliveira (1994, p. 55-63) que “no período de 1971 a 1983 foi implementado pelos governos municipais locais o Plano Urbanístico de Curitiba”. Mais recentemente, ainda sob a influência do forte crescimento populacional, foram feitas revisões e adequações nos anos de 2000 e 2004.

De acordo com o IPPUC (2012a) na década de 1970 a RMC apresentou índices de crescimento superiores às demais regiões metropolitanas brasileiras, este era de 5,44% ao ano. Já nos anos 1980 o crescimento se reduziu e a taxa decresceu para 2,90%. Em Curitiba na década de 1990 o crescimento era de 2,11% ao ano enquanto que a RMC crescia na casa dos 3,12%. Já nos anos 2000 Curitiba passou a

crescer a 2,87% e a RMC a 2,87%, porém sem contar Curitiba, a RMC apresentou uma taxa de crescimento de 4,37%.

Hoje, com o crescimento de 1,0%, Curitiba está crescendo em ritmo mais lento que nas décadas anteriores em valores menores que a RMC e em valores ainda menores quando comparados aos Municípios limítrofes. Avaliando-se o perfil de crescimento de Curitiba e da RMC nas últimas décadas, constata-se claramente a redução da representatividade de Curitiba na RMC. No ano 2000 a população total de Curitiba era de 1.587.315, enquanto que a população da RMC totalizava 2.768.394, a população de Curitiba representava 57,34% do total da RMC. No ano 2010, conforme resultados do Censo Demográfico de 2010, a população total de Curitiba apresenta a soma de 1.751.907, enquanto que a população da RMC é de 3.174.111, e, portanto a população de Curitiba representa 55,19% da população total da RMC. (IBGE, 2000)

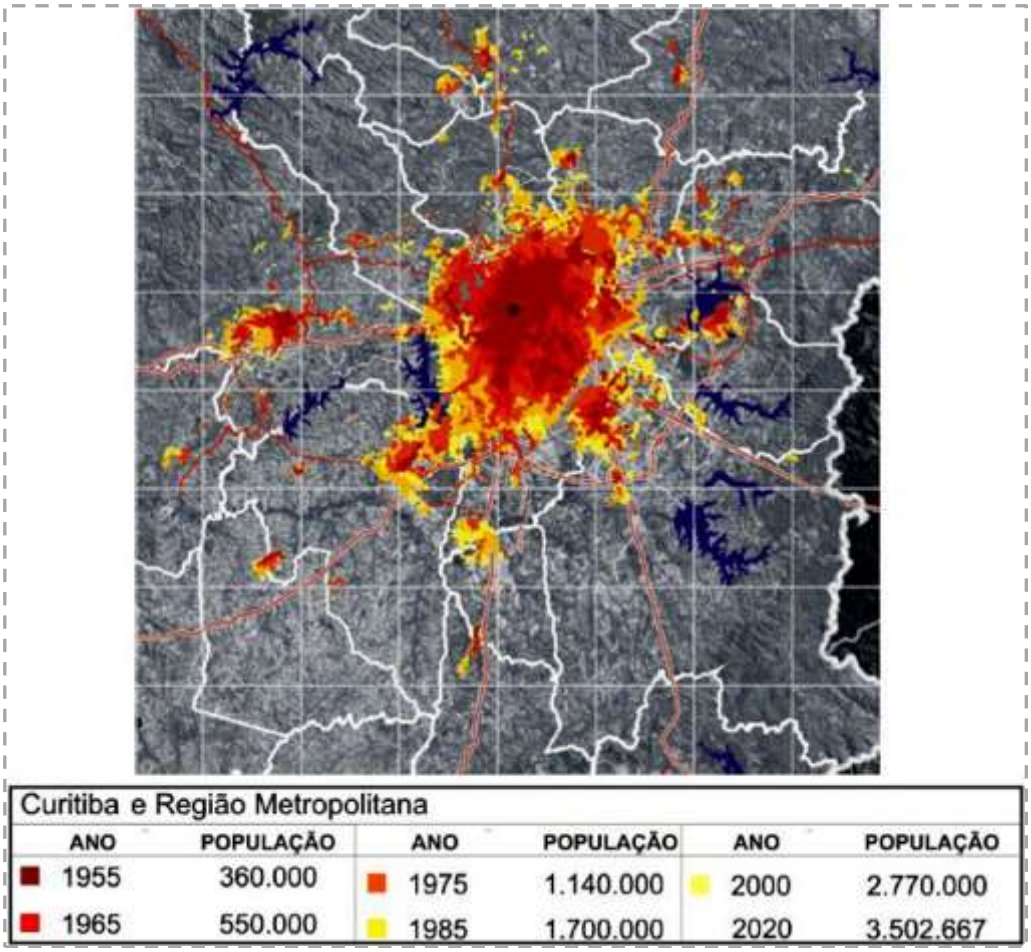


FIGURA II.1.3 – EVOLUÇÃO MANCHA URBANA RMC 1955 A 2020
Fonte: IPPUC (2012a).

Além das questões concernentes ao crescimento demográfico e à expansão da mancha urbana rumo às áreas subutilizadas (no município) ou ainda não ocupadas (nos municípios limítrofes) há que se considerar a proteção das áreas de mananciais. O PDI elaborado para a RMC no final dos anos 70 definia dois distritos industriais situados sul-sudoeste, os quais formavam uma grande área industrial a sudoeste do município e previa sua expansão ao longo do eixo oeste ligando-os aos acessos para o Norte do Paraná. Porém, a partir da década de 1990, objetivando a atração de grandes empresas para a cidade, aceitaram exigências das empresas, inclusive locacionais, permitindo a implantação de indústrias na área leste, subvertendo as diretrizes traçadas pelo PDI, pois de acordo com o plano a industrialização nesta área deveria ser inibida para proteger os mananciais de abastecimento de água nos municípios de São José dos Pinhais e Piraquara. Pois, como conclui Firkowski (2002, p.94), “apesar dessas determinações, e contradizendo-as, a maioria absoluta das novas indústrias na atualidade se localiza exatamente onde se previa sua inibição, ou seja, a Leste, onde estão os principais mananciais de abastecimento de água”.

Questões relativas ao valor da terra no município de Curitiba e a localização dos distritos industriais no subsistema Leste da RMC fizeram com que, nas últimas duas décadas as ocupações irregulares se multiplicassem tanto na área urbana como na RMC e muitas vezes avançassem sobre as áreas de preservação ou áreas de risco de enchentes ou desmoronamentos. Para permitir implantação das indústrias fornecedoras das montadoras na área Leste fez-se a alteração da legislação, o que acabou fomentando também a instalação de subhabitações em áreas de risco.

De acordo com Vicentini *et al*. (2004) no município de Curitiba, núcleo economicamente dinâmico, com atividades terciárias e quaternárias e polo da região metropolitana, foram identificados cerca de 60.000 domicílios em mais de 300 áreas de habitação irregular, quadro este que também se estende aos municípios limítrofes. Sendo os municípios de Almirante Tamandaré e Colombo (situados ao Norte), os que apresentam a maior concentração de ocupações irregulares. Todavia, registra-se o crescimento de ocupações irregulares, nos municípios de Pinhais, Piraquara e São José dos Pinhais (situados ao Leste) desde o ano de 1992.

Funções urbanas de Curitiba

As funções urbanas dependem do zoneamento, o qual consiste na divisão do território municipal “visando dar a cada região a melhor utilização em função do sistema viário, da topografia e da infraestrutura existente, através da criação de zonas e setores de uso e ocupação do solo e adensamento diferenciados” (CURITIBA, 2000, Art.2). O zoneamento de Uso do Solo, subdividido em dez zonas e setores – Zona Central, Zonas Residenciais, Zonas de Serviços, Zonas de Transição, Zonas Industriais, Zonas de Uso Misto, Zona Especiais, Zona de Contenção, Áreas de Proteção Ambiental e Setores Especiais - (Figura II.1.4) define regras para construir e implantar atividades socioeconômicas que são intensamente usadas, como mecanismos para efetivar o planejamento urbano e dar contorno às políticas públicas. Para cada Zona Urbana específica, são caracterizadas por uma ou duas funções predominantes (IPPUC, 2012b, p30).

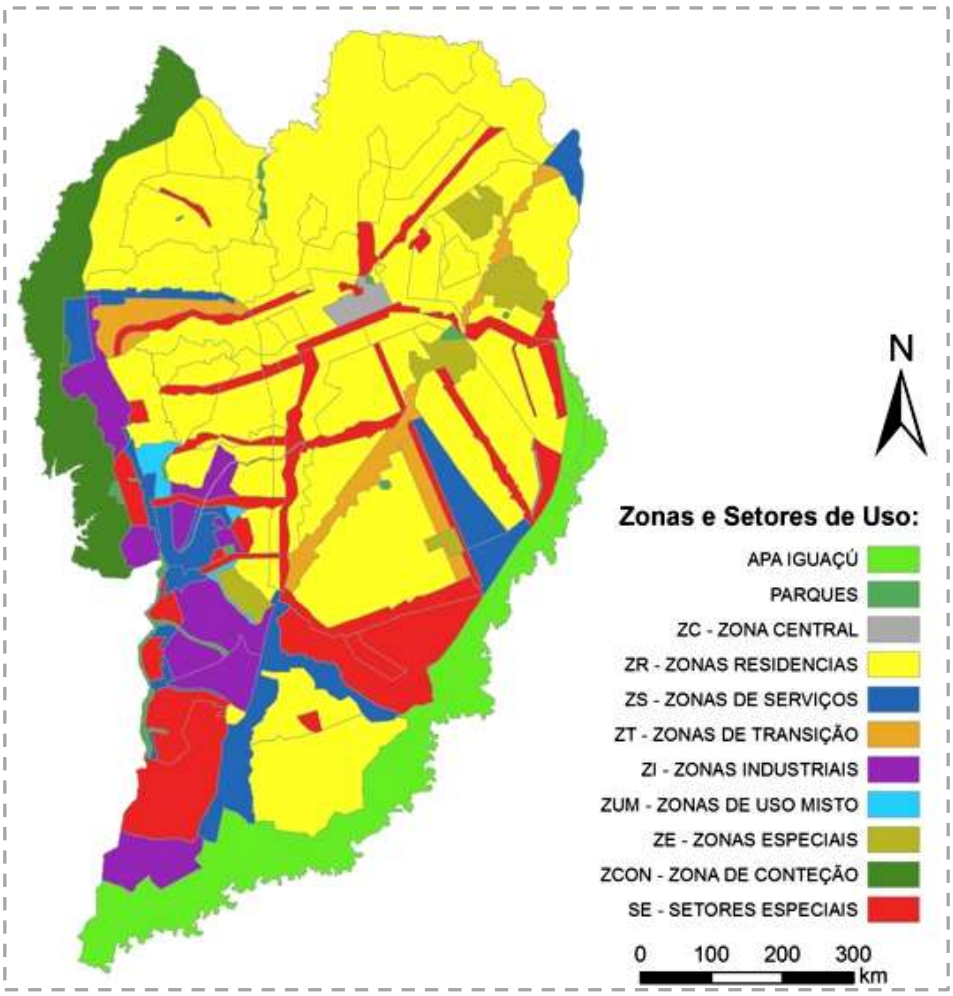


FIGURA II.1.4 – ZONAS E SETORES DE USO LEI 9.800/2000
Fonte: IPPUC (2012b)

O Plano Diretor de 2000 manteve fundamentos principais do Plano Diretor de 1966, tais como o zoneamento funcional, a hierarquização do sistema viário e o transporte coletivo. Foi também conservado o adensamento habitacional e de atividades comerciais e de serviços. Foram, porém, criados novos seis eixos de adensamento. Os parâmetros de uso e ocupação sofreram alterações visando maior adensamento nos novos eixos.

A função habitacional viabilizada pelos Eixos Estruturais cria paredões de edifícios nas quadras junto aos eixos, promovendo a mescla de usos na qual predominam os usos habitacionais comerciais. Os bairros que intermeiam os Eixos Estruturais caracterizam-se pelo uso residencial-comercial predominante, apresentando tanto a ocupação de residências unicelulares e como de edifícios residenciais de em média 6 pavimentos, tendendo este quadro a alterar-se devido à recente revisão do Plano, pois foram aprovados incentivos de compra de potencial para diversas vias destas áreas e, em alguns casos, os edifícios pode alcançar os 10 pavimentos.

No que se refere à ocupação do lote, a legislação do Setor Estrutural não estabelece limitação de altura ou condicionantes como orientação axial e latitude, por conseguinte, as condições de iluminação são bastante prejudicadas e a incidência solar em situações mais extremas como durante o período de inverno fica totalmente comprometida especialmente em ambientes de primeiro pavimento. Este fato poderia ser amenizado caso houvesse uma legislação de uso do solo com limitação de alturas e dispositivos que garantissem o acesso ao Sol e à luz, o que em tese favoreceria um melhor uso da energia solar na forma de calor e iluminação (ASSIS, 2002).

O Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo de 2000

O conceito de hierarquização do Sistema Viário assim como o Sistema de Transporte Coletivo foi mantido, mas em função da Lei 9800/2000 e do Decreto 188/2000 a hierarquização do Sistema Viário sofreu alterações e em decorrência de nova classificação que define os Setores Viários Especiais, foram caracterizadas novas categorias de eixos de circulação. Para estabelecimento da nova classificação dos eixos foram considerados aspectos como sua natureza, seu porte, seus níveis de articulação urbana e metropolitana, assim como a dinâmica da circulação viária gerada pelos diversos tipos de atividades instaladas ao longo dos principais eixos (PMC, 2008,

p.22-23). Então, por força da nova legislação, desde o ano 2000 o sistema viário de Curitiba, cuja visão geral aparece na Figura II.1.5, apresenta como classificação as seguintes vias (PMC, 2008, p.23): Vias normais; Vias coletoras 1, 2 e 3; Vias setoriais; Vias prioritárias 1 e 2; Vias externas (Setor Estrutural); Vias centrais (Setor Estrutural); Outras vias (Setor Estrutural); e Sistema viário do Linhão do Emprego.

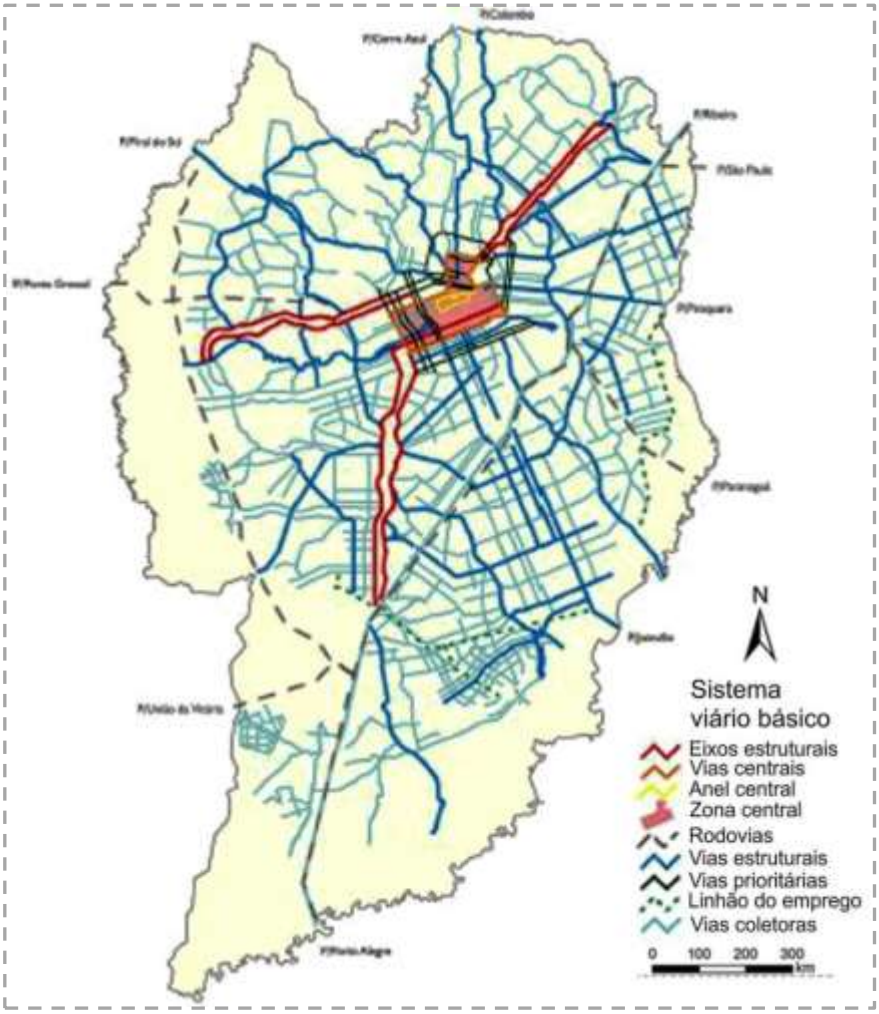


FIGURA II.1.5 – SISTEMA VIÁRIO ESQUEMÁTICO (LEI 9.800/2000)
Fonte: IPPUC (2012a).

A mudança dos parâmetros de Uso e Ocupação do Solo para Os Eixos de Adensamento (Figura II.1.6) vai de encontro aos horizontes futuros de crescimento populacional, contribuindo para a acomodação do crescimento das próximas décadas. Os parâmetros de uso e ocupação estabelecidos para o Setor Especial da BR-116 (SE-BR116) poderão também ser estendidos para os demais eixos de adensamento quando assim o exigir o interesse público (CURITIBA, 2000). Os dispositivos da nova lei de zoneamento permitiram projetar a população da cidade para seis milhões de habitantes e manteve-se a proposta de expansão em direção a Sudeste/Sudoeste de Curitiba.

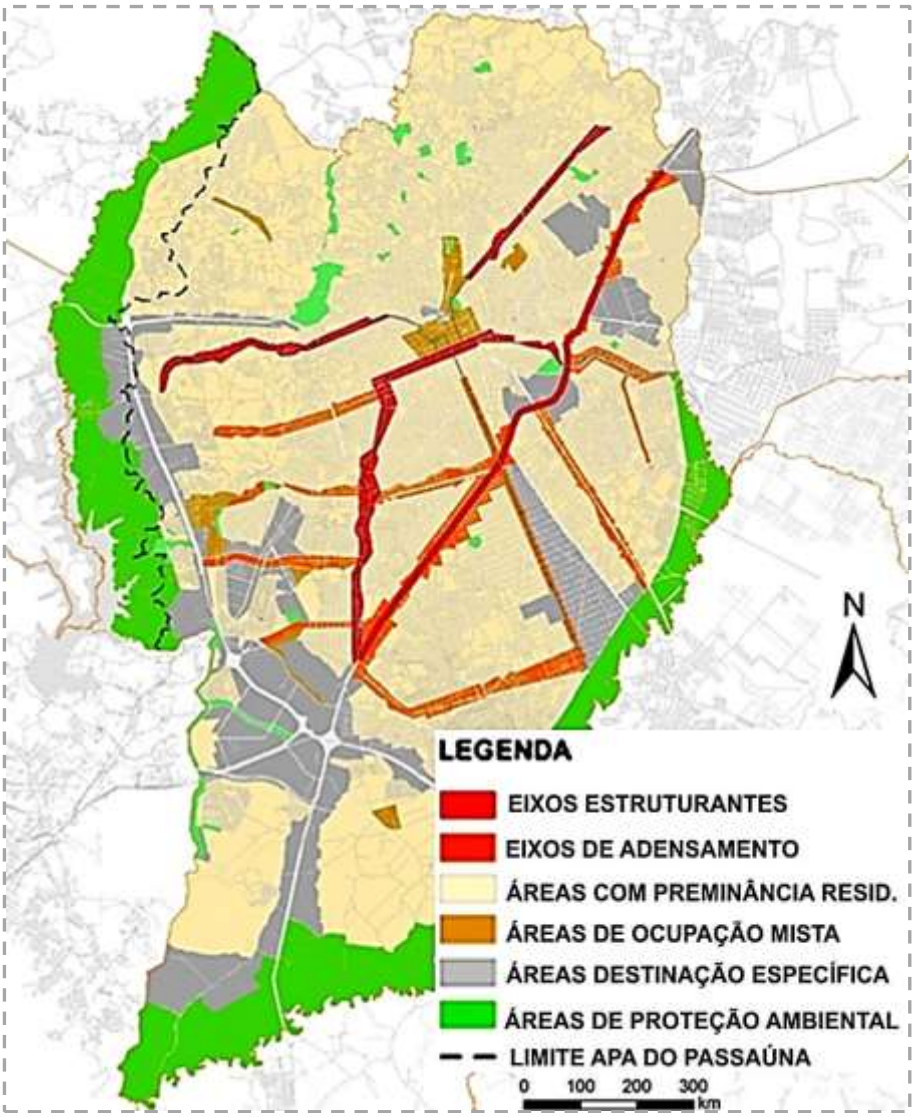


FIGURA II.1.6 – EIXOS ESTRUTURANTES E DE ADENSAMENTO LEI 9800/2000.
Fonte: IPPUC (2012a).

A nova lei manteve o conceito de zoneamento funcional, assim como o adensamento habitacional e de atividades comerciais e de serviços sem promover profundas mudanças. Todavia, foram definidos seis novos eixos de adensamento, que geraram novos Setores Especiais, mas com uma preocupação em evitar formação de áreas de sombra e melhorar as condições de insolação e ventilação mediante os parâmetros de uso do solo.

Objetivando a melhora das condições de iluminação, ventilação e insolação, a nova legislação fixa um afastamento para os novos edifícios na proporção de um de sua altura em relação às divisas do lote (laterais e fundos). Ainda que não defina um limite de altura para os edifícios nos Setores Estruturais, a legislação aprimora sua condição em comparação à legislação anterior, pois o afastamento entre os edifícios era de

apenas dois metros. Ainda não foi possível avaliar de modo preciso os efeitos práticos destes paramentos de afastamento, pois ainda há poucos edifícios construídos seguindo essa determinação, e nas quadras onde há, eles estão misturados aos edifícios construídos com afastamentos de dois metros ou até mesmo erguidos nas divisas dos lotes.

O Plano Diretor de Curitiba de 2004

Em 10 de julho de 2001, foi aprovada no Congresso Nacional, a Lei Federal nº 10.257 – Estatuto da Cidade. Esta lei regulamentou o capítulo de política urbana da Constituição Federal e passou a vigorar a partir de 10 de outubro do mesmo ano. Com a sua aprovação, tornou-se necessário que os municípios aplicassem os instrumentos de política urbana através da execução ou revisão de seus planos diretores. Neste sentido, o Plano Diretor de Curitiba, de 2004 consistiu na adequação do plano diretor de 2000 ao Estatuto da Cidade, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do Município dentro e da RMC, agora em um contexto de metropolização, buscando a democracia participativa e a função social da propriedade e da cidade, aspectos esses preconizados pelo estatuto.

Na lei do Plano Diretor de Curitiba de 2004 estava indicado o prazo máximo de 03 (três) anos, contados a partir da sua vigência, para elaboração dos Planos Setoriais Municipais, com a participação direta da população e de associações representativas da comunidade na sua formulação, execução e acompanhamento. Esses Planos totalizam seis (PMC, 2008a, p. 9): Habitação e Habitação de Interesse Social, Desenvolvimento Econômico, Desenvolvimento Social, Controle Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, Segurança e Defesa Social e Mobilidade Urbana e Transporte Integrado, o qual é aqui apresentado em sua versão preliminar.

II.1.2.2. Desenvolvimento, reestruturação e perspectivas futuras.

A cidade de Curitiba está experimentando um momento de reestruturação, o qual é motivado pela necessidade de responder e acomodar a crescente urbanização, seja pela necessidade de integração com as demais cidades da RMC, seja pela necessidade de ampliação da mobilidade urbana e da capacidade do transporte público, pela necessidade de mitigar os impactos do crescimento da frota de veículos ou

pela necessidade de acomodar o crescimento demográfico estimado para o futuro. Neste contexto, mediante a Lei Municipal nº 9800/2000 (Plano Diretor do ano de 2000), visando o horizonte futuro de crescimento populacional, foram definidos novos eixos de adensamento e verticalização e, no caso da Linha Verde também um novo eixo de transporte coletivo com novos parâmetros de Uso e Ocupação do Solo que visam o adensamento populacional e a verticalização.

O sistema de transporte está estruturado em uma rede integrada, a Rede Integrada de Transporte – RIT, que cobre mais de 80% da área do município e 14 cidades da Região Metropolitana. O sistema integrado, composto por 28 terminais e 351 estações tubo, opera com 395 linhas e atende mais de dois milhões de passageiros ao dia. A estrutura básica do sistema de transporte coletivo de Curitiba compõe-se de cinco eixos de transporte (Norte, Sul, Leste, Oeste e Boqueirão), localizados, em sua grande maioria, nos corredores estruturais, e contam com espaço exclusivo destinado à circulação das linhas expressas, tanto por meio de canaletas, quanto por vias ou faixas exclusivas. (IPPUC, 2012a).

O atual Eixo Estrutural Norte-Sul deverá ser substituído pela Linha Azul do Metrô Curitibano, a qual também fará a integração metropolitana, ao sul com o município de Fazenda Rio Grande e ao norte com o município de Colombo. Ela deverá ser implantada parcialmente, totalizando em seu primeiro trecho a extensão de 14,2 quilômetros, contemplará trechos aéreos e subterrâneos, e proporcionará um incremento de 20% no número de passageiros transportados atualmente (METRÔ CURITIBANO, 2014).

Com a implantação do metrô, a área da canaleta exclusiva, hoje utilizada pelo ônibus biarticulado, deverá ser totalmente reurbanizada. A área antes ocupada pelas canaletas de uso exclusivo do transporte coletivo receberá novos usos e equipamentos: “abrigará ciclovia, calçadão para pedestres, arborização e equipamentos de lazer”. Nas áreas onde serão construídas as estações, quiosques comerciais, também as bilheterias e demais estruturas necessárias ao funcionamento do metrô (METRÔ CURITIBANO, 2011).

II.1.2.3. O Setor Estrutural no Bairro Batel.

O Eixo Estrutural Sul, um dos eixos que integram o sistema viário estrutural – sistema trinário composto por uma via central e duas vias externas - está inscrito dentro da Zona de Uso e Ocupação do Solo denominada Setor Especial Estrutural[34], que estabelece diferentes parâmetros de uso e ocupação do solo segundo a via para a qual o terreno possui sua testada principal (via central, outras vias e vias externas). Parâmetros de uso – apresentados nos anexos 1, 2 e 3 (páginas 146-148) - tais como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, número de pavimentos ou afastamento das divisas não variam de via para via e garantem a verticalização e o adensamento característico desses eixos (Figura II.1.7).

FIGURA II.1.7 – EIXO ESTRUTURAL SUL – AVENIDA REPÚBLICA ARGENTINA
Fonte: IPPUC (2012)

[34] Os Setores Especiais Estruturais compreendem os terrenos existentes entre as vias externas de tráfego contínuo que compõem o sistema viário estrutural. § 1º. Entende-se como sistema viário estrutural, o sistema trinário composto por uma via central e duas vias externas, sendo a via central aquela que contém a canaleta para o transporte de massa e as pistas lentas para atendimento às atividades lindeiras, e as vias externas, as ruas paralelas com sentido único de tráfego destinado ao fluxo contínuo de veículos. § 2º. Nos terrenos com frente para a via central dos Setores Especiais Estruturais deverá ser assegurada uma continuidade à testada comercial das novas edificações, através de proposta específica de ocupação, denominada Plano Massa. § 3º. Os critérios de ocupação e de implantação do "Plano Massa" serão regulamentados através de ato do Poder Executivo Municipal (PMC, 2000, Art.17).

Embora a área de estudo se apresente bastante consolidada, a proporção de área ocupada pelos edifícios não chega ao percentual 50%, que equivaleria à ocupação permitida pelos parâmetros da legislação atual (taxa de ocupação de 50%), correspondendo a aproximadamente 44% da área dos lotes, contidos na área de estudo. A explicação para esse valor reside justamente no fato da área ainda apresentar diversas habitações unifamiliares com amplos jardins e que ocupam mais de um lote, as quais, sob a pressão do mercado imobiliário tenderão a ser também substituídas por torres habitacionais ou de uso misto.

O traçado dos Eixos Estruturais aliado aos parâmetros e uso e ocupação do solo para ele previstos, redesenharam a forma urbana dando-lhe um aspecto "tentacular" conformado pelos paredões de altos edifícios que acompanham estas vias e rasgam os diversos bairros, partido do centro urbano consolidado em direção à periferia e aos municípios limítrofes, conforme bem ilustra a Figura II.1.8.

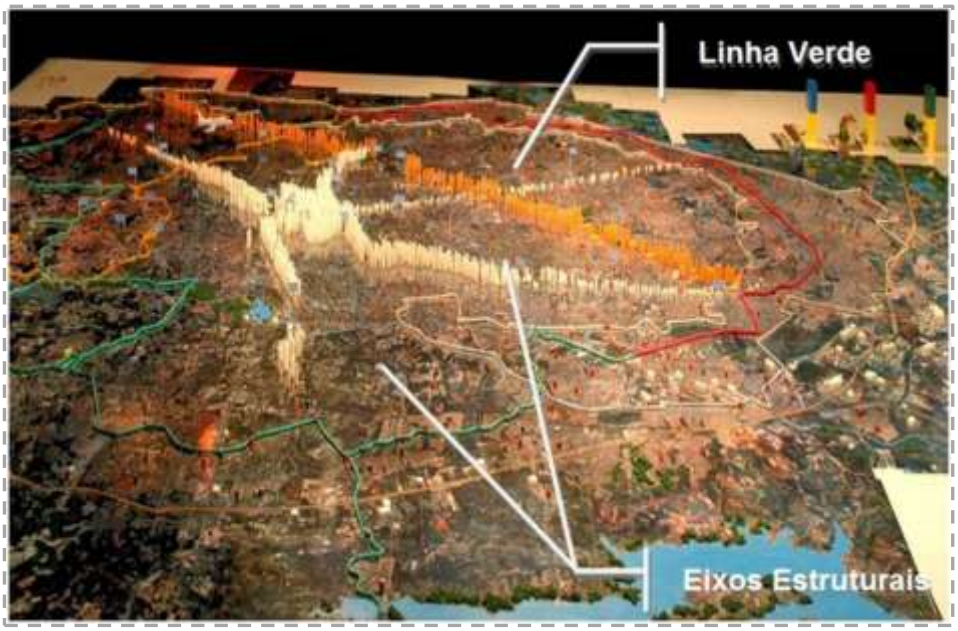


FIGURA II.1.8 – FORMA URBANA "TENTACULAR" SETORES ESTRUTURAIS
Fonte: IPPUC (2012a).

De acordo com Hardt et *al* (2008, p.5) pode-se "perceber que o grau de urbanização e a definição do traçado viário começam a se consolidar a partir de 1977, estando relativamente estruturados em 1985, quando ocorre a instalação dos terminais". Acrescenta ainda que na década de 1990, é consolidado o eixo viário estrutural, também é a partir deste último período que se verifica, "constante redução na extensão de áreas verdes". E conclui que o "traçado das quadras obedece

normalmente à configuração geométrica ordenada, sendo esta estrutura alterada em regiões com maiores declividades, estabelecendo-se de forma funcional".

Oba (2004) relata que o novo zoneamento urbano acelerou a concentração de torres, exclusivamente nas estruturais, tendo produzido "uma paisagem de continuidade linear e não a de concentrações nucleares entremeadas de áreas de transição". O Autor discute o modo como a formação dos corredores das vias estruturais interferiu na paisagem, e questiona:

> É de se indagar o que de fato ocorreu com as relações transversais ao novo eixo, ou seja, as antigas relações urbanas nucleares e radiais. Igreja da Água Verde, o Estádio do Clube Atlético Paranaense, os clubes, os antigos colégios e hospitais são hoje, elementos dispersos e aparentemente sem nenhuma estrutura comum de nexos urbanos. Parte deles como que gravitam na órbita mais afastada do centro da cidade e outros são percebidos com uma relação mais próxima com a estrutural formada pelas avenidas Sete de Setembro e República Argentina (OBA, 2004).

Quanto aos terminais de transporte urbano, implementados com a agilidade e flexibilidade necessária na época, Oba (2004) evidencia que estes deixaram algumas questões abertas à discussão. "Em alguns locais, a sensação é de que o antigo centro de bairro foi substituído por um grande terminal de ônibus. Um terminal sem uma identidade própria já que em grande parte é padronizada".

A partir do estudo dos eixos estruturais, pode-se concluir que o sistema viário, além de estruturar a malha urbana, ainda atua como indutor do crescimento. Ainda, que implantação destes eixos promoveu a valorização dos imóveis e a revisão da legislação de uso e ocupação do solo impulsionaram uma significativa transformação nos padrões de adensamento, alterando significativamente a estrutura espacial da cidade, gerando e produzindo "corredores" de massa edificada, resultando numa continuidade linear da paisagem urbana. Constatando-se, portanto, o relevante caráter transformador do plano na configuração da morfologia e da paisagem urbana, alterando a cidade de modo inexorável. Portanto, para novas intervenções deve-se preservar o caráter existente, de forma a não destituir a sua identidade característica (HARDT *et al*, 2008, p.11). As Figuras II.1.9 e II.1.10 demonstram a força dos Eixos Estruturais sobre a cidade de Curitiba e a paisagem resultante desta proposta.

Apesar de certas áreas da cidade terem sido alvo de poucas interferências, as regiões próximas aos terminais de transporte coletivo situados nas estruturais sofreram

impactos significativos, podendo-se afirmar que a influência do Plano Serete na paisagem de Curitiba é irrefutável. Por outro lado, a área central, com ocupação urbana já consolidada quando da implantação do plano, teve sua paisagem sujeita a reduzidas ações impactantes; presenciando quase que exclusivamente a modernização do equipamento urbano, com manutenção das suas características principais, apenas adicionando novas ou assumindo usos diferenciados (HARDT *et al*, 2008, p.16).

FIGURA II.1.9 – FORMA URBANA RESULTANTE EIXO NORTE-SUL
Fonte: IPPUC (2012a).

FIGURA II.1.10 – SISTEMA TRINÁRIO E FORMA URBANA
Fonte: IPPUC (2012a).

II.1.1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE CURITIBA: RECORTE TEMPORAL.

II.1.3.1. O clima urbano de Curitiba

Curitiba está situada a altitude média de 934 metros acima do nível do mar, assenta-se sobre o setor de colinas sedimentares do Planalto de Curitiba, localizado na borda oriental do Primeiro Planalto Paranaense. (DANNI-OLIVEIRA, 2000, p. 120; 138). Suas características climáticas são decorrentes de fatores estáticos tais como a latitude, altitude, proximidade do oceano e características da superfície, que são responsáveis pela quantidade de energia recebida, assim como de fatores dinâmicos tais como as massas de ar e frentes, que são responsáveis pelo ritmo de sucessão habitual dos estados atmosféricos.

De acordo com Dumke (2007, p.222) as diferenças na incidência da radiação solar no inverno e no verão se ampliam no planeta conforme aumentam as latitudes e estas são acompanhadas pelas diferenças de temperatura. Ao longo do ano, à medida que se aproxima o solstício de verão (dia 22 de dezembro), as temperaturas se elevam e quando o Sol está mais próximo e o ângulo da altura solar é mais alto. Por outro lado, no período mais frio, próximo ao solstício de inverno (22 de junho), o Sol incide de forma mais inclinada e está mais distante da área em questão. (Figura II.1.11).

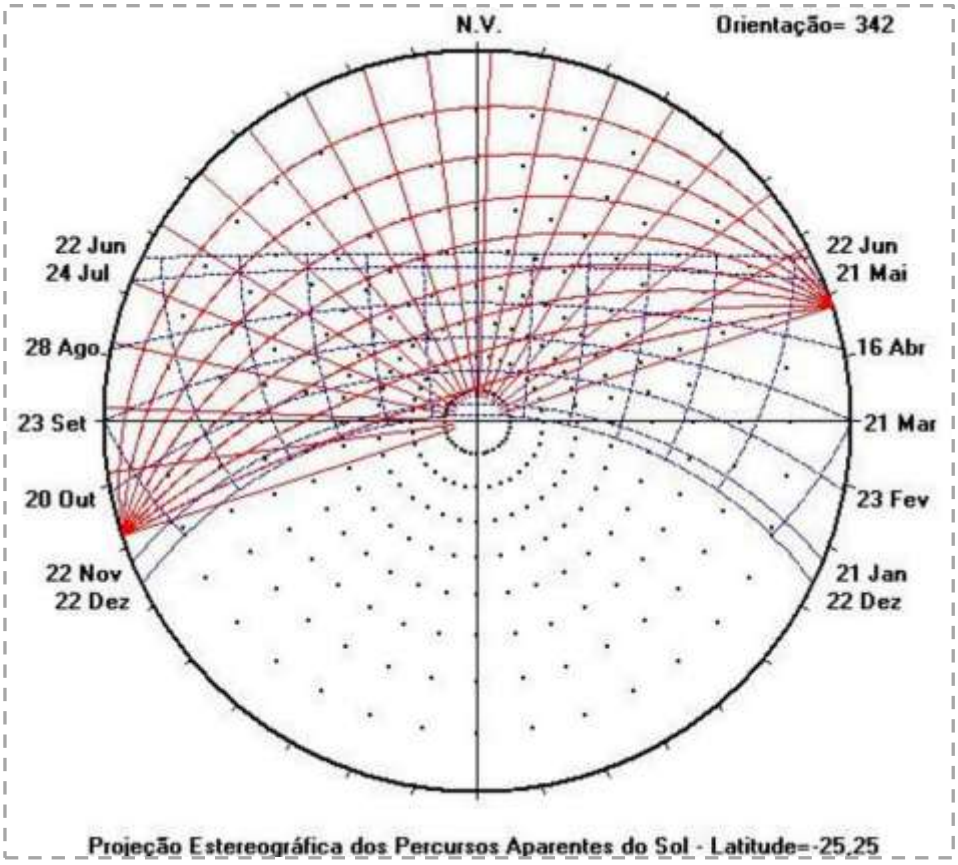


FIGURA II.1.11 – CARTA SOLAR PARA CURITIBA - ANO 2006
Fonte: DUMKE (2007, p.221)
Nota: com base no *software* Luz do Sol, Roriz (1995).

A posição geográfica de Curitiba, ao Sul do Trópico de Capricórnio, numa área onde os sistemas atmosféricos intertropicais e polares constantemente se confrontam, somada à sua altitude e características topográficas, faz com que a cidade apresente temperaturas relativamente inferiores às demais capitais brasileiras. Todavia, os índices térmicos anuais apresentam-se mais elevados nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, quando a energia solar disponível é maior e predomina a atuação de sistemas atmosféricos intertropicais (ZANELLA, 2006, p.77-78).

De acordo com Danni-Oliveira (1999b) e Mendonça (2001) as temperaturas mais baixas são registradas nos meses de junho, julho e agosto, quando a energia solar disponível é reduzida e predomina então a atuação dos sistemas atmosféricos polares, que quando associados a situação topográfica, conferem à cidade caráter de clima mesotérmico úmido com verão quente. Segundo Danni-Oliveira (1999, p.230), a trajetória aparente do Sol durante o ano resulta, para Curitiba, em uma quantidade de energia solar disponível nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) que varia entre 100 a 96,5% enquanto que nos meses de inverno (junho, julho e agosto), somente de 65 a 76,5% (DANNI-OLIVEIRA, 1999, p. 230).

As mudanças sazonais de temperatura às quais a cidade é submetida são resultantes das trocas meridionais dos fluxos de ar que se individualizam nos centros de ação presentes na América do Sul. Quatro centros de ação são responsáveis pelos mecanismos de trocas no Brasil Meridional: o Anticiclone Subtropical do Atlântico; o Anticiclone Migratório Polar; a Depressão do Chaco e a Zona de convergência Intertropical (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Esses centros de ação são os geradores das massas de ar que promovem a circulação atmosférica que controla as características climáticas locais.

As massas de ar que atuam na Região Sul, segundo Monteiro (1963), são as Massas de Ar: Tropical Atlântica (TA), Polar Atlântica (PA), Tropical Continental (TC) e Equatorial Continental (EC). Durante o inverno, que é de fresco a frio, atuam as massas TA e PA, esta última em suas descontinuidades origina Frente Polar Atlântica, que vem acompanhada de intensa nebulosidade e chuvas. Às duas massas estão também associadas duas chuvas, frontais e orográficas, que caem sobre a região. A atuação da massa fria (PA) pode ser observada durante todo o ano, embora de forma mais intensa no inverno, com consequente diminuição da temperatura, estabilidade do ar e, em muitas ocasiões, a formação de geadas. No verão atuam também as massas TC e a EC. A primeira, quente e seca, provoca ondas de calor e tempo bom, enquanto a segunda, quente e úmida, promove chuvas convectivas.

No verão as temperaturas são relativamente altas, isso ocorre em virtude da disponibilidade de energia neste período do ano e também por atuação de massas de ar. Atuam nesta época as massas TA, EC e TC que, alterando-se com a enfraquecida

PA, provocam as temperaturas elevadas. A Figura II.1.12 mostra a temperatura média mensal de Curitiba para o período de 1961 a 2000.

O clima de Curitiba durante o inverno é de fresco a frio e apresenta média térmica de 12,9 ^{o}C no mês mais frio. Nesta estação atuam as massas TA e PA, esta última em suas descontinuidades origina Frente Polar Atlântica, a qual vem acompanhada de intensa nebulosidade e chuvas. No verão as temperaturas são relativamente altas, apresentando média térmica de 22,5 ^{o}C no mês mais quente, o que ocorre em virtude da disponibilidade de energia neste período do ano e também em decorrência das massas de ar atuantes nesta época - TA, EC e TC - que, alterando-se com a enfraquecida PA, provocam as temperaturas elevadas.

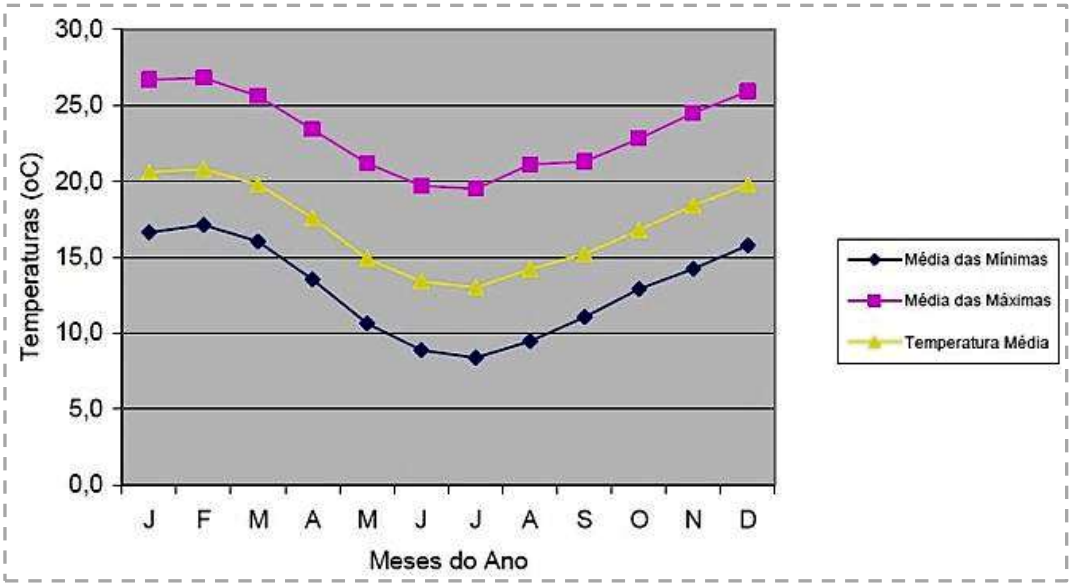


FIGURA II.1.12 – TEMPERATURAS MÉDIAS PARA CURITIBA 1961-2000
Fonte: ZANELLA (2006, p.79)
Nota: com base em dados do INMET de 2005.

Mendonça e Oliveira (1998, p. 15, apud Mendonça e Dubreuil, p.28), ao compararem o clima da cidade de Curitiba com seu entorno regional, observaram sua individualização, evidenciada notadamente nos padrões térmicos. Concluíram eles que a cidade pode ser considerada, como formadora de uma ilha de frescor em relação às cidades vizinhas, pois no verão, ocorre a formação de ilhas de frio em Curitiba, efeito orográfico associado à dinâmica atmosférica, com temperaturas, em geral, entre 17° C e 20° C, quando nas outras cidades as temperaturas oscilam entre 21° C e 25° C.A Tabela II.1.1 apresenta a temperatura média do ar conforme as Normais Climatológicas, para o período de 1961 a 2000 em Curitiba:

As características de sazonalidade são bastante evidentes em Curitiba, sendo marcada pela variação tanto das temperaturas como da pluviosidade que são mais elevados no verão e reduzidos no inverno (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 178). Entretanto, é frequente a alternância de diferentes tipos de tempo num mesmo dia, não somente na cidade, mas também na RMC, fato que se destaca como aspecto particular do clima local.

TABELA II.1.1 – TEMPERATURA DO AR CURITIBA /NORMAIS CLIMATOLÓGICAS, 1961-2000.

	Média Compensada (ºC)		Média das Máximas (ºC)		Média das Mínimas (ºC)		Absoluta (ºC)
	Anual	Mensal	Anual	Mensal	Anual	Mensal	
	16,5		22,7		12,3		
Máxima		19,9 Fevereiro		25,8 Janeiro		16,3 Fevereiro	35,2 16/11/85
Mínima		12,2 Junho		18,3 Junho		8,1 Junho/Julho	-5,2 06/06/78

Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.181).

Com relação à umidade relativa, conforme Zanella (2006, p.81), observam-se valores elevados, ao redor dos 80%, durante todos os meses do ano, com índices um pouco mais baixos no período do inverno, notadamente em agosto, conforme pode ser visualizado nos dados representados na Figura II.1.13:

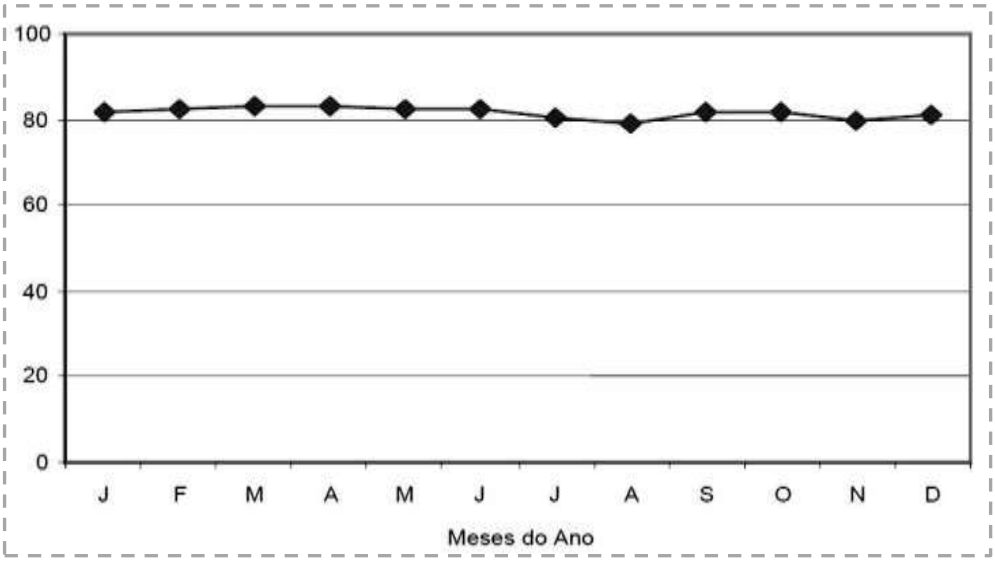


FIGURA II.1.13 – UMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL CURITIBA 1961-2000
Fonte: ZANELLA (2006, p.81), com base em dados do INMET de 2005.

Em relação à precipitação, a cidade de Curitiba apresenta totais pluviométricos médios mensais e anuais (entre 1250 e 2000 mm) mais elevados que as outras cidades do intradomínio climático (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007, p. 178). RMC caracteriza-

se por apresentar chuvas bem distribuídas durante todos os meses do ano, embora o verão apresente maior concentração. As instabilidades resultantes dos confrontos entre as massas TA e PA, assim como a atuação da EC, respondem pelos valores mais elevados de precipitação durante o verão. Já no inverno, menos chuvoso, o ar apresenta maior estabilidade, devido, principalmente, à maior participação da Massa Polar Atlântica. A variação sazonal da pluviosidade pode ser percebida claramente na Figura II.1.14 que apresenta a distribuição média mensal de pluviosidade em Curitiba, para o período de 1971 a 2000. A Figura II.1.15 apresenta as médias anuais de pluviosidade para Curitiba no período de 1971 a 2000.

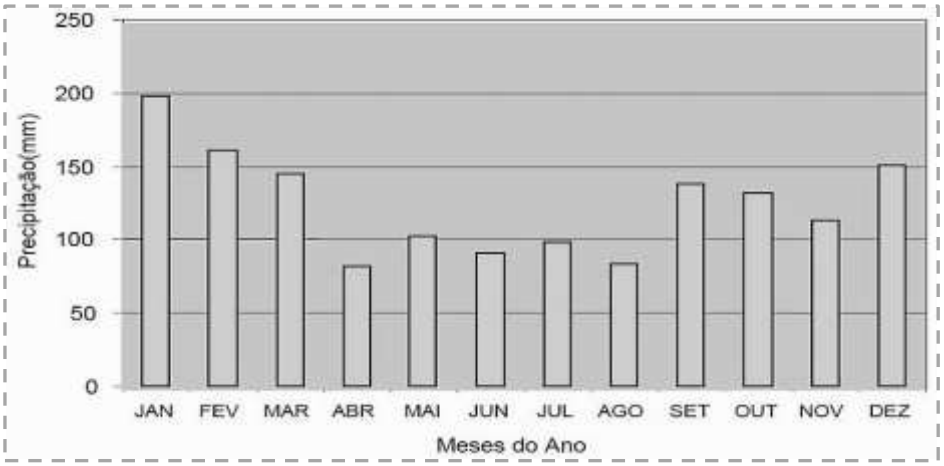


FIGURA II.1.14 – PRECIPTAÇÃO MÉDIA MENSAL CURITIBA 1971-2000
Fonte: ZANELLA (2006, p.82), com base em dados do INMET de 2005.

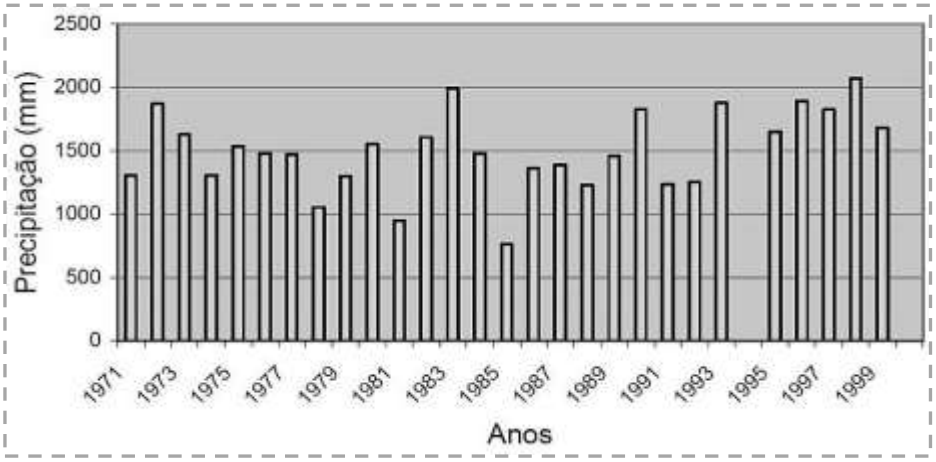


FIGURA II.1.15 – PRECIPTAÇÃO ANUAL CURITIBA 1971-2000
Fonte: ZANELLA (2006, p.82), com base em dados do INMET de 2005.

Além dos aspectos estáticos como a latitude, altitude, proximidade do oceano e características da superfície, as características climáticas de uma cidade são fortemente influenciadas pelo processo de urbanização-industrialização. Segundo Mendonça (1994) e Danni-Oliveira (1999a) as características climáticas de uma cidade são

influenciadas pelos equipamentos que ela possui, sendo estas sentidas notadamente no comportamento espacial da temperatura. Por esse motivo, nas áreas onde se concentram edifícios, trânsito de veículos, indústrias e pessoas, as temperaturas do ar tendem a ser mais elevadas do que nas áreas verdes e de baixa densidade de edificações e pessoas.

Apresentando estrutura e forma urbana diferentes da cidade tradicional na qual a área comercial e verticalizada (CBD) se localiza no centro e ao redor do qual a densidade urbana se reduz gradativamente, Curitiba não se caracteriza como uma ilha de calor segundo os estudos de Oke (1978). Ao contrário, “o arranjo funcional-morfológico da cidade sob a forma de estrela/tentáculo, em que as grandes Vias Estruturais que partem/tangenciam o Centro, conduzem ao longo de seus eixos a maciça verticalização da cidade” (DANNI-OLIVEIRA, 2000, p.106) tornam sua tipologia edificada e forma peculiares. Embora a mancha urbana se caracterize como uma IC em relação à zona rural circunvizinha, Mendonça e Dubreuil (2005, p. 29) evidenciam que a diferenciação de paisagens intraurbanas que se verifica reflete a diversidade da organização do espaço e do uso do solo local-regional e, “uma vez associados ao processo radiativo, evidenciam a formação de ilhas de calor alternadas com ilhas de frescor (arquipélagos de ilhas de calor e de frescor) tanto intra-aglomeração quanto nos espaços periurbanos”.

II.1.3.2. Ambientes climáticos intraurbanos em Curitiba.

A variabilidade do clima intraurbano em Curitiba reflete a geometria urbana marcada por eixos lineares verticalizados (Eixos Estruturais) que atravessam a cidade, partindo do centro em direção às periferias, conformando então uma forma tentacular/estrelada, resultando numa urbanização polinucleada, apresentando diferentes graus de densidade urbana e as áreas verdes distribuídas de forma desigual. A verticalização resultante, afirma Danni-Oliveira (2000, p.105), ao configurar-se como verdadeira cortina de concreto, altera a rugosidade da superfície local, ora canalizando os ventos, ora atuando como barreiras à livre circulação do ar. Além disso, complementa a autora, é bem conhecido na bibliografia especializada (BRANDÃO, 1996; DANNI-OLIVIERA, 1987, entre tantos) que os prédios agem como “armazenadores térmicos”, modificando as trocas de energia e assim propiciando a criação de campos térmicos diferenciados.

Os bairros que intermeiam os eixos estruturais caracterizam-se pelo uso residencial/comercial predominante, com ocupação de residências unicelulares e edifícios residenciais de em média 6 pavimentos, tendendo este quadro a alterar-se devido à recente revisão do Plano (DANNI-OLIVEIRA, 2000, p.105).

No caso de Curitiba, Danni-Oliveira (2000), constatou a formação da IC urbana, que em geral apresenta temperaturas mais elevadas do que seu entorno rural. Cabe também ressaltar que Mendonça e Dubreuil (2005), quando investigando o clima da RMC no ano de 2002, utilizando os dados de quatro estações meteorológicas e comparando-os aos resultados obtidos por meio de imagens de satélite e análise rítmica, concluíram que o campo térmico curitibano – na mancha urbana - forma arquipélagos de ICs e de ilhas de frescor (IF), embora essa ainda se destaque como uma mancha mais quente e homogênea do que a área rural circunvizinha.

Deste modo, em ocasiões sinópticas de estagnação atmosférica, a qualidade do ar pode ficar comprometida, uma vez que a estrutura topográfica edificada tende a propiciar o confinamento dos poluentes lançados pelo intenso trânsito de veículos automotores que nela trafegam, onde os vales são constituídos pelas ruas, e a verticalidade das paredes dos prédios vem formar vertentes abruptas, constituindo-se em verdadeiras falésias e cânions urbanos (Figura II.1.16). Ressalta-se, ainda, o fato da cidade localizar-se na borda ocidental da rota de deslocamento do sistema Anticiclônico Migratório Polar Atlântico, cuja massa de ar tende a dominar as situações de estabilidade atmosférica, notadamente no período de inverno, quando sua permanência e/ou frequência na região é maior (DANNI-OLIVEIRA, 2000, p.105).

Ainda assim, a gênese do clima urbano, inclui o processo de formação da IC, sendo esperado que as temperaturas sejam mais baixas na periferia, o quê, de forma geral, se confirma. Na periferia a amplitude térmica tende a ser maior do que no centro urbano, causada pela menor inércia térmica das construções, fazendo coincidir, neste local, um duplo desconforto: por frio e amplitude térmica (DUMKE, 2007, p.237).

Destarte, estudos já realizados sobre o clima de Curitiba e RMC (MENDONÇA, 2001, 2002, 2004, 2007; MENDONÇA e DUBREUIL, 2005; DANNI-OLIVEIRA, 1999, 2000, 2007; DECHAMPS, 2004; ZANELLA, 2006; DUMKE, 2002, 2007; etc.) corroboram as afirmações de Eliasson (2000), de que as cidades frequentemente

compreendem um mosaico de áreas com temperaturas mais elevadas e mais reduzidas conforme a variação do uso do solo urbano.

FIGURA II.1.16 – VISTA DE ESTRUTURAL SUL A PARTIR DO BAIRRO ÁGUA VERDE
Fonte: IPPUC (2012a)

As temperaturas na mancha urbana frequentemente apresentam-se mais altas do que nas áreas rurais circunvizinhas, produzindo diferenças que podem ultrapassar os 12ºC; porém, no interior da cidade as variações térmicas ocorrem principalmente entre os espaços livres e vegetados e as áreas construídas, produzindo defasagens de temperaturas intraurbanas em até 7ºC. Isto ocorre, por que o uso do solo é fortemente relacionado à formação do clima, pois determina o balanço de radiação das superfícies materiais que compõem a cidade. Além disso, as condições do clima urbano são afetadas pelas situações sinóticas, que interagem com as características físicas do sítio (naturais) e aquelas do construto urbano (construídas) e com o calor gerado pelas atividades humanas.

A urbanização induz à diminuição das áreas vegetadas e da evapotranspiração, reduzindo assim, a capacidade de resfriamento das áreas urbanas. Os efeitos da radiação solar incidente são atenuados pela vegetação que, mesmo absorvendo-a em sua maior parte, consome energia para realizar a fotossíntese, consequentemente amenizando as temperaturas. Enquanto o calor absorvido pela vegetação é devolvido para a atmosfera ao longo do dia por meio da evapotranspiração, as superfícies construídas de concreto e asfalto armazenam e refletem o calor durante o dia e o devolvem parcialmente à atmosfera somente no final

do dia e início da noite, dificultando, portanto, o resfriamento do ar da cidade à noite, gerando o aporte de temperaturas (DUMKE, 2007, p.237).

A distribuição irregular das áreas verdes em relação às áreas construídas se relaciona fortemente à variação espacial do clima. O índice de áreas verdes divulgado pelo município, aproximadamente 53 m2/hab., ainda que seja um dos maiores índices do país é questionado por alguns pesquisadores, tanto quanto aos critérios de definição como quanto à sua distribuição, pois, como argumentado por Mendonça (2002b), estas áreas concentram-se na porção Norte da cidade, sendo a porção Centro-Sul, carente de parques e áreas de lazer. Desta forma, a distribuição desigual das áreas verdes no interior da mancha urbana, como bem demonstra a Figura II.1.17, associada às características diferenciadas das paisagens intraurbanas, contribui para a variação espacial das condições climáticas (DUMKE, 2007, p.237).

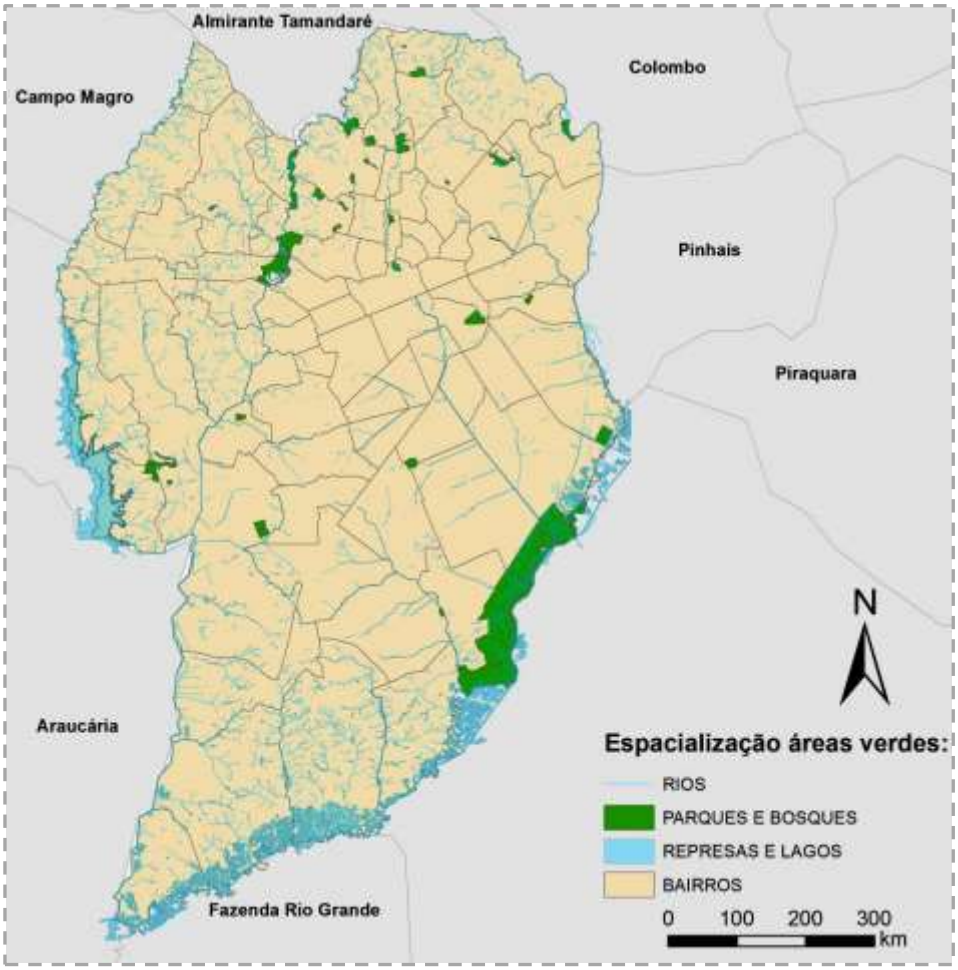


FIGURA II.1.17 – ESPACIALIZAÇÃO ÁREAS VERDES 2007
Fonte: IPPUC (2010).
Organização: Schmitz (2012)

Além do zoneamento de uso e ocupação do solo e as diferentes tipologias edificadas promovidas por seus parâmetros de uso e ocupação ou da proporção e distribuição das áreas verdes no interior da mancha urbana, o clima urbano sofre a influência das atividades humanas. Atividades como, por exemplo, o uso de máquinas, fornos, condicionadores de ar, o fluxo de veículos, além de provocarem o aumento de poluentes na atmosfera, liberam um montante adicional de calor, chamado de calor antropogênico. Nas grandes cidades o calor antropogênico assume uma ordem de grandeza comparável ao calor gerado pela radiação solar, ele implica na diminuição da umidade do ar e imprime um ritmo semanal ao clima urbano. Neste sentido, os estudos realizados por Danni-Oliveira (2000) mediante detalhados experimentos de campo, demonstraram a relevância do fluxo de veículos na formação do clima urbano em Curitiba.

Krüger e Rossi (2002) pesquisaram sete diferentes bairros de Curitiba (Bairro Alto, Cajurú, Fazendinha, Portão, São Brás, São Lourenço, Santa Felicidade – ilustrados na Figura II.1.18) e os resultados obtidos refletem tanto características físicas do bairro como o impacto das atividades humanas na região. As temperaturas mais elevadas foram constatadas no Bairro Alto e nesta região verificaram tráfego intenso, principalmente transporte coletivo, muita área pavimentada, pouca arborização e ocupação intensa do entorno, além da região estar em um dos pontos de maior cota topográfica da cidade. O bairro de menor temperatura e também de menor amplitude térmica foi o Bairro Cajurú, região situada num dos pontos mais baixos da cidade, que apresenta muitas vias sem pavimentação e arborizadas, além de pouco tráfego e ocupação de baixa densidade.

Danni-Oliveira (2000) investigou a relação entre aspectos do planejamento urbano de Curitiba e a poluição do ar, observando que “em ocasiões sinópticas de estagnação atmosférica, a qualidade do ar pode ficar comprometida”, pois a estrutura topográfica edificada “tende a propiciar o confinamento dos poluentes lançados pelo intenso trânsito de veículos automotores que nela trafegam”. A autora compara a topografia edificada à natural, ”onde os vales são constituídos pelas ruas, e a verticalidade das paredes dos prédios vêm formar vertentes abruptas, constituindo-se em verdadeiras falésias e cânions urbanos” (2000, p.108).

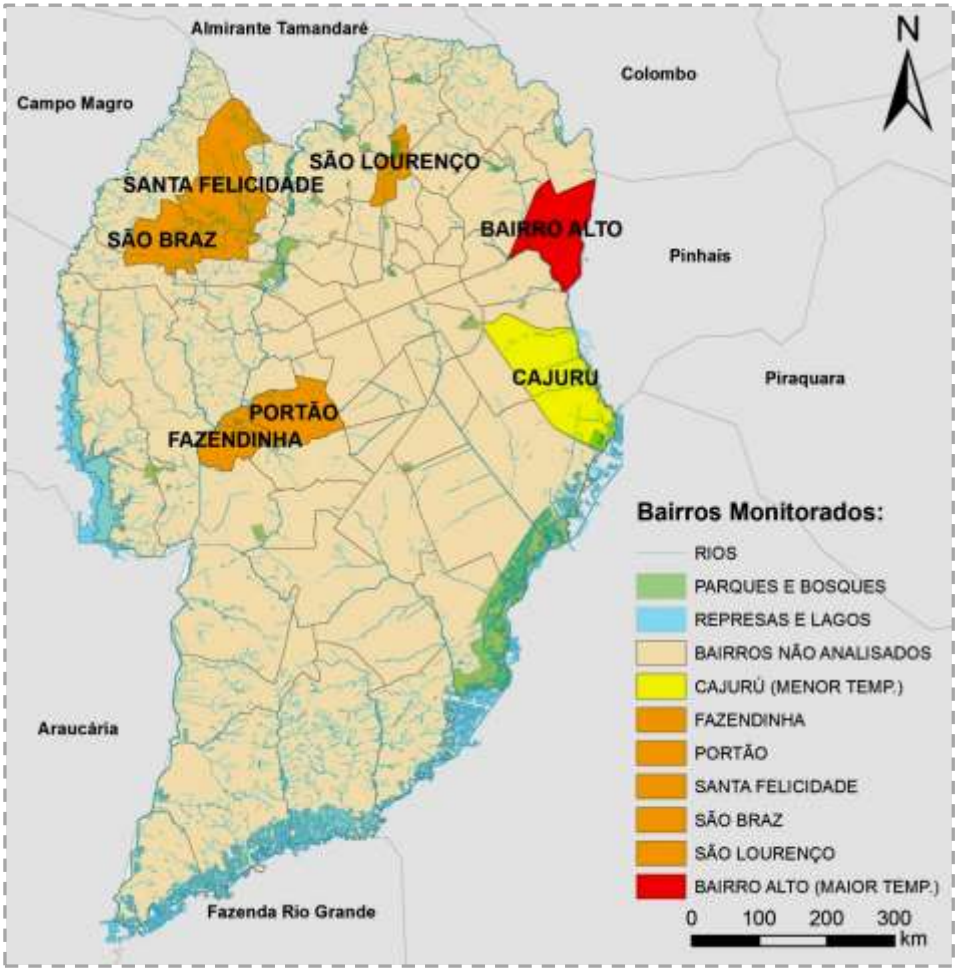


FIGURA II.1.18 – BAIRROS ESTUDADOS POR KRÜGER E ROSSI 2002
Fonte: IPPUC (2007)
Organização: Schmitz (2012)

Deschamps (2004) e Zanella (2006), investigando a pluviosidade e a ocorrência de inundações em Curitiba, verificaram que alterando a variabilidade térmica, há o aumento da pluviosidade no centro urbano, o qual, associado ao maior escoamento da água devido à predominante impermeabilização do solo, eleva o risco de ocorrência de enchentes que já atingem algumas áreas da cidade de Curitiba.

II.1.3.3. O microclima no Setor Estrutural

Danni-Oliveira (2000, p.107) relata que foi por meio da construção de edifícios residenciais ao longo do Sistema Trinário de Vias que se deu a expansão populacional da cidade e sua verticalização. Mas relembra que originalmente, o Plano Serete preconizava que os edifícios construídos nas quadras limitadas pelos Eixos Estruturais deveriam ser limitados ao número máximo de “três para cada quadra”, e complementa que seriam obrigatórios recuos em relação aos limites do terreno, os quais “seriam

ocupados com parques, jardins e locais de lazer, constituindo as chamadas Torres Residenciais".

Sob o ponto de vista da Climatologia Urbana, a Autora argumenta que as Torres Residenciais ladeadas por áreas verdes e de lazer, "além de propiciarem um caráter mais saudável e agradável à paisagem urbana, poderiam ter sido extremamente benéficas para a qualidade climática local", pois essa implantação estaria "favorecendo a incidência da radiação solar, as trocas dos fluxos de calor e de umidade, bem como a dispersão de poluentes, na medida em que estaria se criando uma permeabilidade entre os prédios" (DANNI-OLIVEIRA, 2000, p.107).

A crescente verticalização que vem se consolidando nos Eixos Estruturais desde a sua criação, passando pela implantação do Plano Massa, até os dias de hoje, imputa à superfície da cidade, uma *topografia edificada*[35] com desníveis que chegam a atingir a faixa de 80 metros, "edificando um novo contexto topográfico" local (MONTEIRO, 1990, p. 11). Contexto este, edificado em um sítio de feições topográficas suaves da cidade, cujos maiores desníveis encontram-se em áreas limitadas de sua porção nordeste e giram em torno de 100 metros. Impôs-se, então, nos sentidos norte-sul, leste-oeste, a citada *topografia edificada* preferencialmente ao longo dos terrenos de cota média de 900 metros, ou cruzando os vales fluviais de 850 metros de altitude, que se intercalam com estes "espigões" (DANNI-OLIVEIRA, 2000, p.108).

Esta verticalização, ao configurar-se como verdadeira cortina de concreto, tende a alterar a rugosidade da superfície local, ora canalizando os ventos, ora atuando como barreiras à livre circulação do ar. Além disso, é bem conhecido na bibliografia especializada (BRANDÃO, 1996; DANNI-OLIVIERA, 1987; LOMBARDO, 1985; entre outros) que os prédios agem como "armazenadores térmicos", modificando as trocas de energia e assim propiciando a criação de campos térmicos diferenciados (DANNI-OLIVEIRA, 2000, p.108).

[35] De acordo com Monteiro (1990, p.11) a cidade constitui a "edificação de um novo contexto topográfico" sobre "o contexto geo-ecológico primitivo". Segundo Danni-Oliveira (2000, p.108) a topografia edificada configura-se como uma verdadeira cortina de concreto, imposta nos sentidos Norte-Sul, Leste-Oeste, preferencialmente ao longo dos terrenos de cota média de 900 metros, ou cruzando vales fluviais de 850 metros de altitude, que se intercalam com estes espigões.

O adensamento das torres edificadas na área de estudo, cujo afastamento entre elas é reduzido ou inexistente, impede a permeabilidade aos ventos, desfavorecendo a dispersão dos poluentes e potencializando a geração de contaminantes visto que o fluxo de veículos na área é intenso. A orientação das vias deveria, segundo Dumke (2007, p.156) permitir os ventos dominantes no verão, de ocorrência no quadrante Sudeste-Leste-Nordeste (GOULART *et al.* ,1998) e evita-los no inverno, quando relacionam-se ao quadrante Nordeste-Norte-Noroeste, pois a orientação das vias no sentido do vento dominante (Nordeste) no inverno tende a gerar o efeito de canalização, aumentando sua velocidade e reduzindo sua penetração nos edifícios.

Suga e Krüger (2005) investigaram o clima nos cânions urbanos caracterizados pelas vias estruturais de Curitiba. Da análise da relação entre altura (H) e espaçamento (W) entre os prédios em situações de verão e inverno, verificaram a significativa redução da incidência solar e das condições de iluminação, especialmente no período mais crítico, de inverno, em ambientes situados no primeiro pavimento dos edifícios. Os autores evidenciam que esses podem mostrar-se inadequados em relação ao clima local, caracterizado pelo maior desconforto por frio, pois dificultam os ganhos solares nos pavimentos inferiores no período do inverno.

Todavia, como destaca Suga (2005, p.61), é bastante evidente que a formação de cânions urbanos pode alterar o clima local e consequentemente as condições térmicas influenciando, assim, o balanço energético. Porém, nem sempre a formação dos cânions, especialmente com alta densidade, se traduz na tendência de maior consumo energético e menor conforto térmico para as pessoas. Pois, ressalta o Autor, nos climas secos, quando a insolação é indesejada, os cânions urbanos profundos (elevada relação H/W) podem ser extremamente benéficos. Estudos de autores como Pearlmutter (1988) e Johansson (2005), para as cidades de Dimona em Israel e Fez no Marrocos, o comprovam.

CAPÍTULO 2. CLIMA E CONFORTO TÉRMICO EM CURITIBA: O CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS.

II.2.1. CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO NO EIXO ESTRUTURAL SUL NO ANO DE 2011.

Segundo Oke (2004; 2006), a coleta de dados, relativos ao clima urbano é extremamente complexa, pois as variáveis climáticas estão sujeitas a alterações a todo instante e para obtenção de resultados válidos e representativos isto requer uma série de cuidados especiais, tais como: (a) correta definição de escalas temporais e espaciais; (b) os pontos para instalação das estações devem ser representativos (típicos) de uma dada área representando-a o melhor possível (edifícios, ruas, pavimentação, vegetação, materiais de construção e naturais, e, calor, água e poluentes advindos das atividades humanas; (c) a escolha dos pontos dentro da área de interesse podem ser escolhidos por meio de fotos, mapas ou percurso a pé; (d) evitar a proximidade dos instrumentos à fontes de calor ou superfícies refletivas, para garantir a ventilação dos sensores quando em compartimentos fechados; (e) a altura para tomada de medidas deve situar-se entre 1,25 e 2,0 metros acima do piso; (f) os horários de medição devem ser pouco depois do por do sol ou pouco antes do nascer do sol, sempre em dias de calmaria e sem nuvens; e, (g) fazer uma coleta de dados consciente e que não deixe dúvidas com relação à sua origem e transmissão, para validar as conclusões da análise proposta.

II.2.1.1. Levantamento de variáveis climáticas desenvolvido em 2011.

O monitoramento das variáveis climáticas levou em consideração as recomendações propostas por OKE (2004; 2006), partindo da escolha do recorte espacial: inserção dentro do Setor Especial Estrutural; tipologia edificada representativa dos parâmetros de uso e ocupação do Eixo Estrutural Sul; e, grau de consolidação avançado de 67%. Escolheu-se então uma quadra do Bairro Batel (Figura II.2.1) situada entre avenidas de importante papel na estruturação da circulação urbana (Av. Visconde de Guarapuava e Av. Sete de Setembro), limitada pelas ruas transversais Carneiro Lobo e Estevão Bayão e dentro do Sistema Trinário d o Eixo Estrutural Sul. Porém, fora da Via Central cujo uso e desenho urbano serão significativamente alterados pelo metrô, visto que haverá a retirada dos ônibus e requalificação paisagística da via.

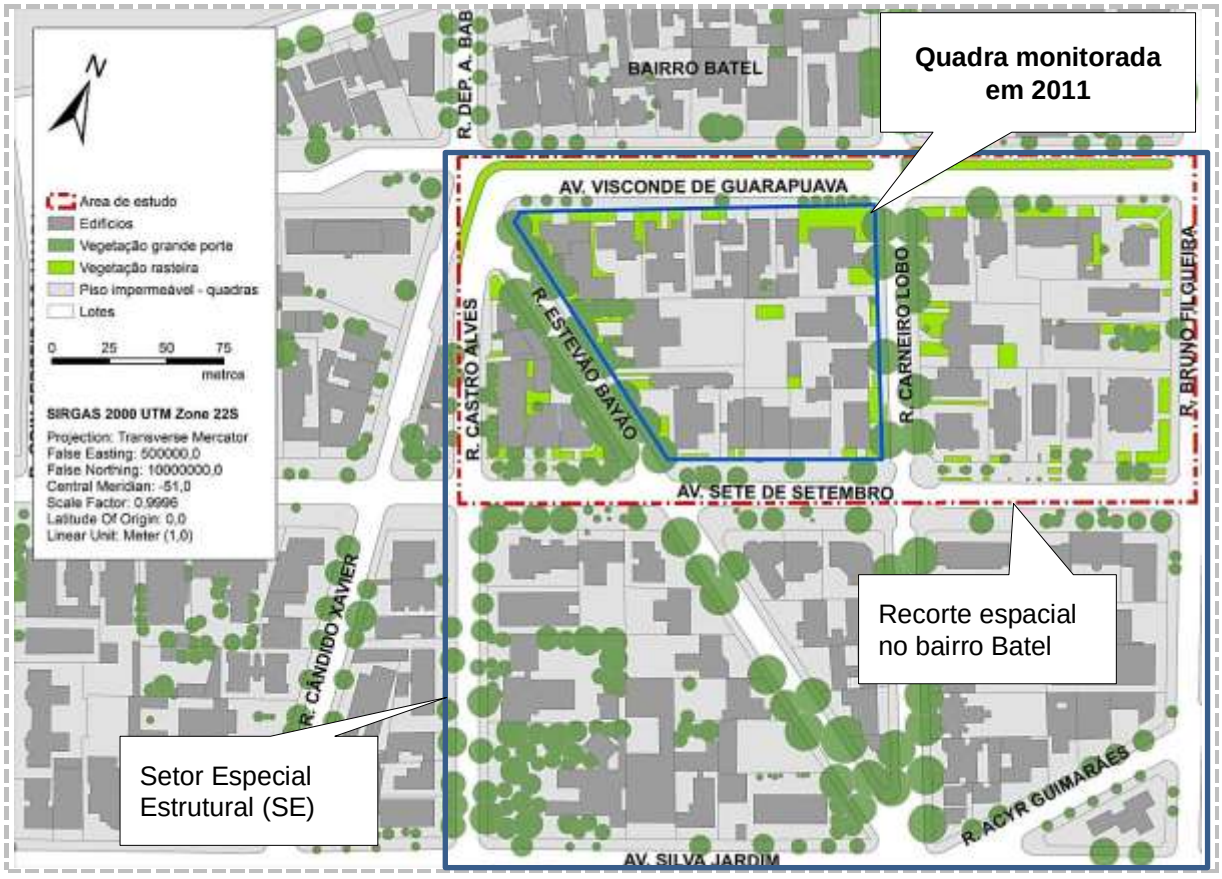


FIGURA II.2.1 - LOCAIS DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO RECORTE ESPACIAL
Base Cartográfica: IPPUC (2007)
Organização e elaboração: Schmitz (2014).

Realizaram-se, então, medições em dois períodos: do dia 22 a 25 de fevereiro de 2011 (em situação de verão) e de 10 a 12 de agosto de 2011 (em situação de inverno), nos quais foram tomadas medidas das variáveis climáticas.

Utilizaram-se abrigos meteorológicos em PVC (Figura II.2.2), cujos pés, ortogonais ajudam na indicação da direção do vento. Nos abrigos foram instalados equipamentos armazenadores de dados (*data loggers*) do tipo HOBO, para coletar dados de temperatura do ar, bem como os sensores dos termohigrometros digitais e fita para indicar a direção do vento. Utilizaram-se ainda anemômetros digitais, para a verificação da velocidade do vento e termômetros infravermelhos a laser, para a leitura das temperaturas de superfície. Os dados coletados e observados, de nebulosidade (céu claro, parcialmente encoberto e coberto) além da contagem do número de carros em movimento na via nos três minutos que antecederam as medições, foram então anotados em planilhas.

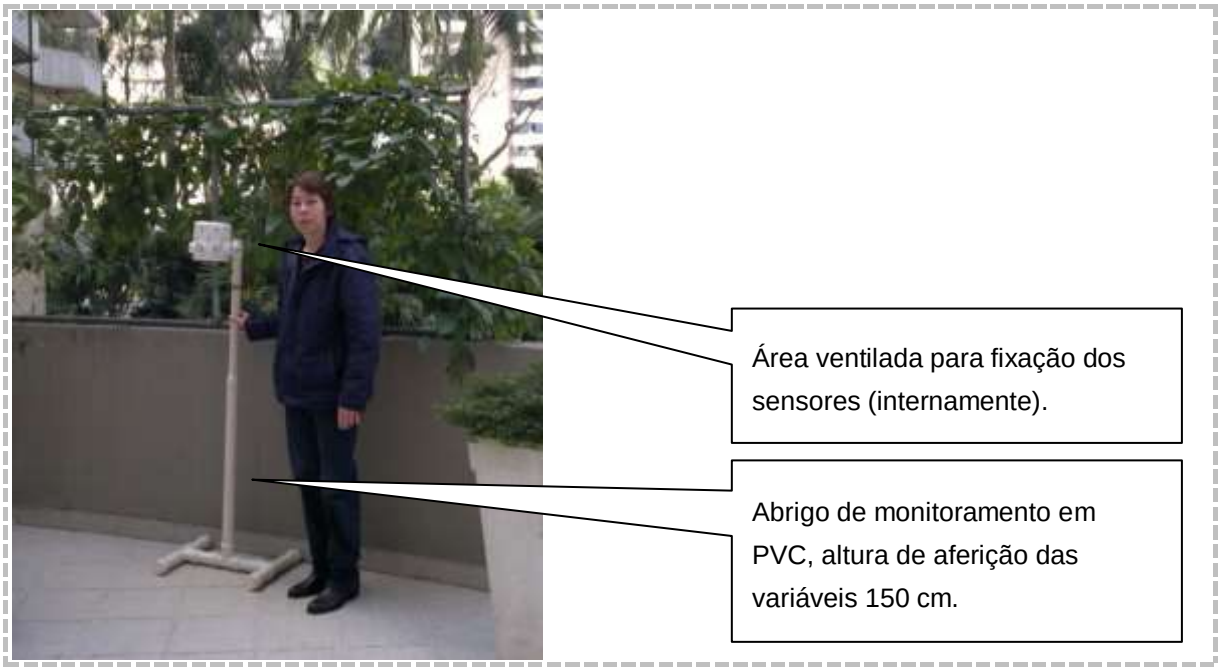


FIGURA II.2.2 – ABRIGOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS NO MONITORAMENTO.
Fonte: O Autor (2011)

Foram, então, coletados dados nas quatro fácies das quadras e em dois de seus cruzamentos (figura II.2.3), em três horários diários: próximos ao nascer do sol (7-8h), no horário mais quente (15-16h) e ao cair da tarde (19-20h). Tendo sido coletados dados a cada 20 minutos durante os períodos de observação.

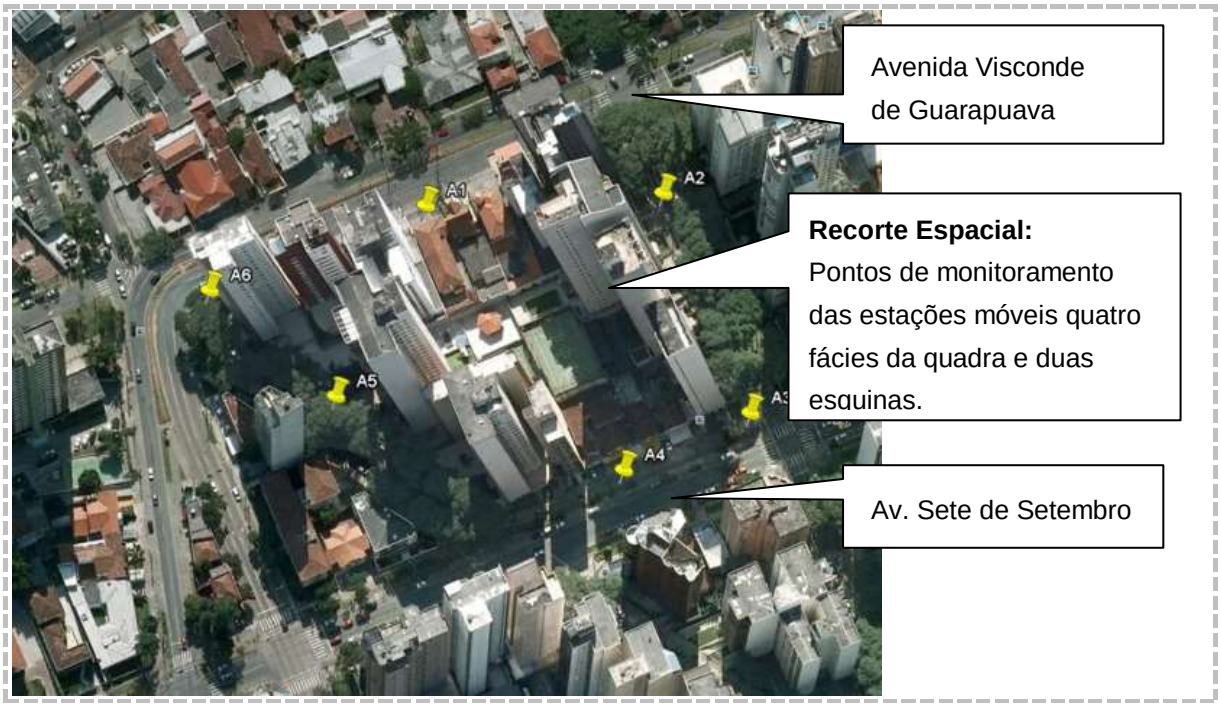


FIGURA II.2.3 – VISTA AÉREA DO RECORTE ESPACIAL: QUADRA BAIRRO BATEL.
Fonte: Google Earth (2012)
Nota: Imagem de 21/05/2009

II.2.1.1.1. Caracterização do recorte espacial analisado.

A área estudada, indicada na Figura II.2.4., está dentro do Setor Especial Estrutural (SE) cujos parâmetros de uso e ocupação do solo induzem à verticalização (aproveitamento de 4 a 5 vezes a área do lote e altura livre), ao adensamento (taxa de ocupação da torre de 50% e afastamento das divisas de h/6) e, especialmente à grande taxa de impermeabilização do solo (taxa de ocupação do térreo 75% e permeabilidade do lote 25%). A tipologia edificada preponderante é a de torres, de uso residencial, de comércio e serviços ou misto, que variam de 10 a até 26 pavimentos. Já, nas quadras vizinhas, inseridas dentro da Zona Residencial 4, a tipologia edificada caracteriza-se pelo predomínio de edificações de até seis pavimentos e nessas quadras ainda é muito frequente a ocorrência de casas de 1 e 2 pavimentos, com uso atual de comércio e serviços, ainda demonstram o caráter residencial que a área apresentava no passado.

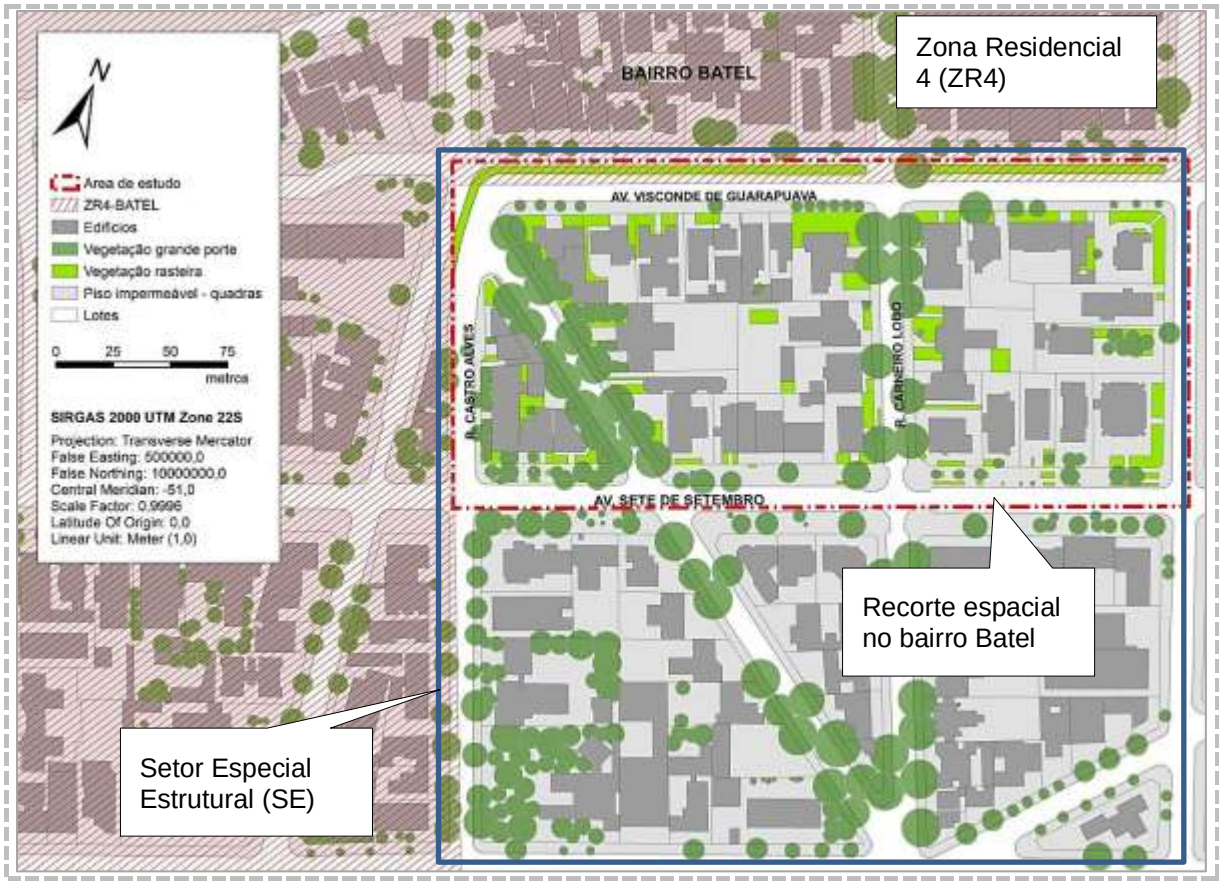


FIGURA II.2.4 – ZONEAMENTO NA ÁREA ESTUDADA.
Organização e elaboração: Schmitz (2014).

Vale ressaltar que grande parte das torres foi construída anteriormente à legislação de 2000, a qual passou a exigir o afastamento de um sexto da altura total em relação às divisas (laterais e fundos) do lote. Essa exigência gerou maior afastamento e

reduziu a ocupação da torre em relação ao pavimento térreo, mas para que o coeficiente de aproveitamento continuasse sendo atingido, as torres mais recentes passaram a ter mais de 20 pavimentos. A Figura II.2.5 mostra a distribuição das torres segundo o número de pavimentos na área estudada e vizinhança imediata.

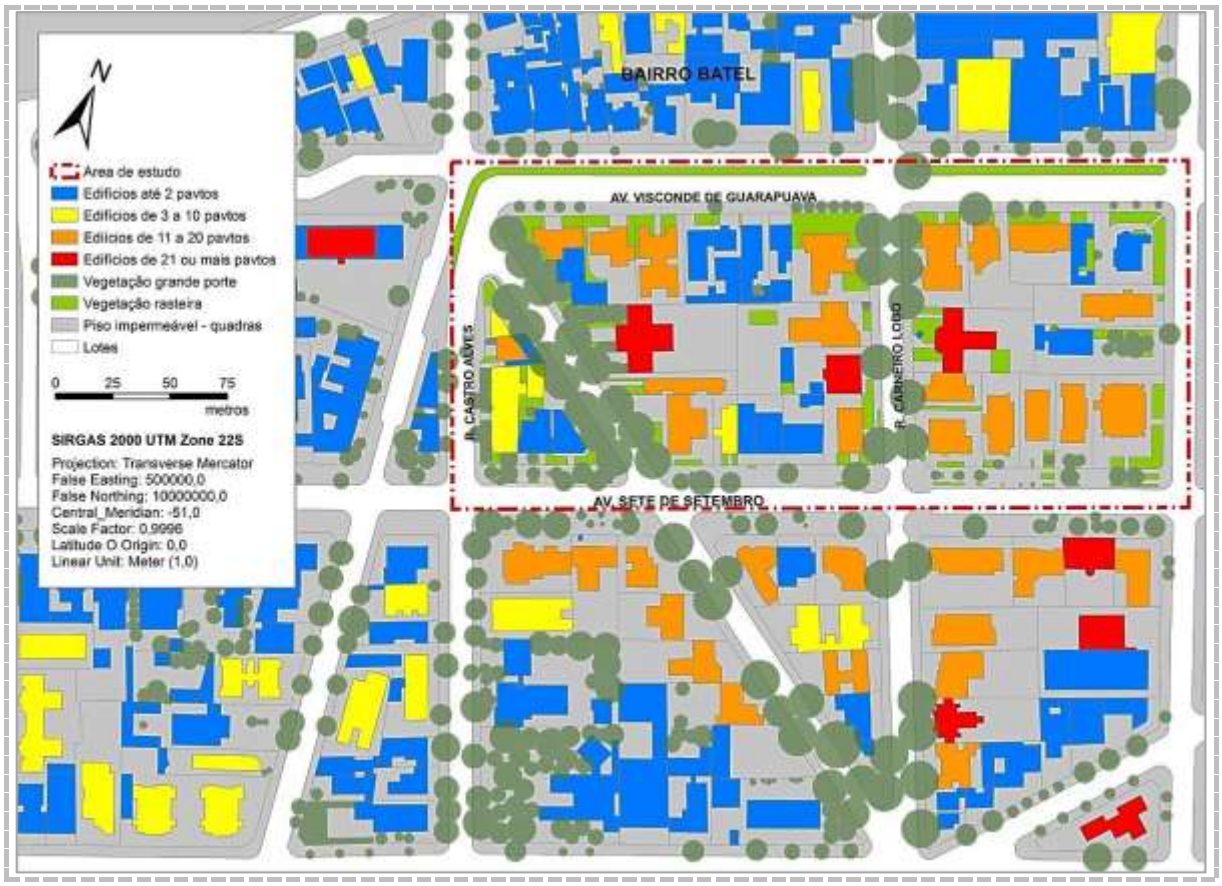


FIGURA II.2.5 – NÚMERO DE PAVIMENTOS DOS EDIFÍCIOS NA ÁREA ESTENDIDA.
Organização e elaboração: Schmitz (2012)

Da relação altura (H) pelo afastamento das edificações (W) no levantamento de 2011, obtém-se o valor de 0,96 (H=31,3m e W=32,6m). Segundo a relação H/W=0,96 e percentual impermeável construído de 76%, a área do recorte espacial (Figura II.2.6) se enquadra na classe de rugosidade 7, zona climática 3. (OKE, 2006, p.11).

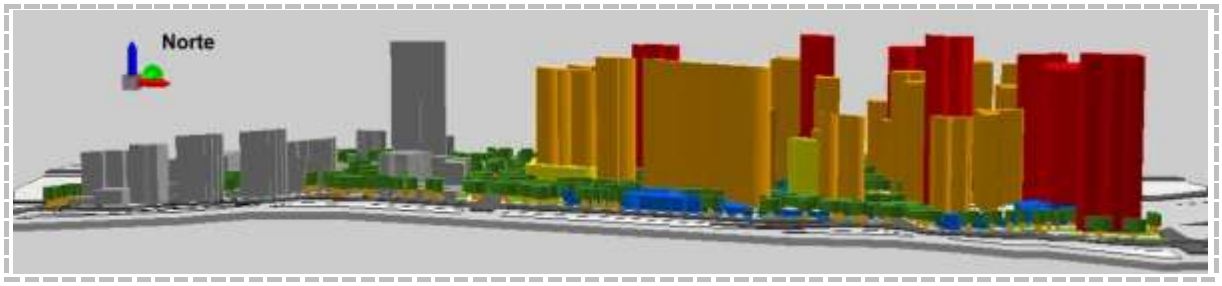


FIGURA II.2.6 – COBERTURA DO SOLO E USO DAS EDIFICAÇÕES NA ÁREA ESTUDADA.
Organização e elaboração: Schmitz (2012).

No que se refere ao uso das edificações há também uma diferenciação clara entre as quadras inseridas no zoneamento SE e as quadras no ZR4, pois dentro do SE há o predomínio do uso habitacional, enquanto que fora desta zona há um discreto predomínio do uso comercial. Isso pode ser claramente observado na Figura II.2.7 que apresenta a cobertura do solo e a diferenciação dos usos das edificações. Fora do SE, há o predomínio das atividades comerciais e em virtude deste uso, há presença de áreas impermeabilizadas no interior dos lotes que serve de estacionamento de veículos para clientes e funcionários. Já nos lotes inscritos no SE, a impermeabilização também se deve à acomodação dos automóveis, mas neste caso as áreas de estacionamento situam-se no subsolo e sobre as lajes de cobertura destes há o uso predominante de recreação comum dos edifícios (quadras esportivas, piscinas, áreas de estar, etc.).

FIGURA II.2.7 – COBERTURA DO SOLO E USO DAS EDIFICAÇÕES NA ÁREA ESTUDADA.
Organização e elaboração: Schmitz (2012).

A partir da base cartográfica, foi possível quantificar os diferentes tipos de cobertura do solo (edifícios, vegetação de grande porte, vegetação rasteira, áreas impermeabilizadas e vias) que interferem no balanço de energia e contribuem para a formação de ICs. A Tabela II.2.1 apresenta as áreas totais encontradas e o percentual

de representatividade na área total, pese que na área estendida a ocupação responde aos zoneamento SE e ZR4 .

TABELA II.2.1 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE COBERTURA DO SOLO.

COBERTURA DO SOLO	ÁREA (M2)	PERCENTUAL
Edifícios	59.456,12	27,15%
Vegetação de grande porte	29.859,06	13,63%
Vegetação rasteira	20.064,91	9,17%
Área impermeabilizada	66.493,75	30,36%
Vias	43.129,98	19,69%
Área impermeabilizada total (pavimentos impermeáveis, edifícios e vias):		77,2%

Organização: Schmitz (2012).
Nota: As áreas foram obtidas a partir de digitalização sobre ortofotos (IPPUC, 2007) e atualizadas por levantamento em campo (medições simplificadas e fotografias feitas em 2011).

Observa-se que as áreas impermeabilizadas – pavimentos impermeáveis e edifícios – correspondem a mais de 77% da superfície total, enquanto que as áreas vegetadas, tomadas por vegetação rasteira ou árvores, correspondem a cerca de 20% do total. Porém parte desse percentual também é impermeabilizado, pois diz respeito à arborização viária sob a qual há presença de pisos impermeabilizados (lousas de granito e asfalto), sobre os quais a arborização produz sombreamento. A tabela II.2.2 apresenta a quantificação da cobertura do solo restrita ao recorte espacial, cujas proporções e percentuais são muito similares aos valores da área estendida; observe-se a área impermeabilizada muito similar (76% contra 77% da área estendida) enquanto que o percentual relativo aos edifícios é menor (23% contra 27% na área estendida).

TABELA II.2.2 – QUANTIFICAÇÃO CLASSES COBERTURA DO SOLO RECORTE ESPACIAL.

COBERTURA DO SOLO	ÁREA (M2)	PERCENTUAL
Edifícios	11.223,41	23,08%
Vegetação de grande porte	7.128,58	14,66%
Vegetação rasteira	4.327,98	8,90%
Área impermeabilizada	15.598,99	32,08%
Vias	10.345,25	21,28%
Área impermeabilizada total (pavimentos impermeáveis, edifícios e vias):		76,44%

Organização: Schmitz (2014).
Nota: As áreas foram obtidas a partir de digitalização sobre ortofotos (IPPUC, 2007) e atualizadas por levantamento em campo (medições simplificadas e fotografias).

Nesta área da cidade e também no recorte espacial estudado há presença de vegetação de grande porte nas vias e também em alguns lotes, além de vegetação rasteira e arbustiva, as quais garantem um microclima mais ameno nestas quadras, especialmente no verão. As Figuras II.2.8 e II.2.9 demonstram a área de estudo – recorte espacial - e evidenciam a presença da arborização, como elementos capazes de mitigar os efeitos das ICs e também como constituintes da paisagem urbana.

FIGURA II.2.8 – AV.SILVA JARDIM: BATEL .
Fonte: O autor (2013).

FIGURA II.2.9 – R. ESTEVÃO BAYÃO: BATEL.
Fonte: O autor (2013).

II.2.1.1.2. Caracterização do clima em 2011 nos períodos do levantamento.

O ano de 2011 mostrou-se bastante típico quando comparadas as temperaturas 2011 às médias do período 2000-2010 apresentadas na figura II.2.10. De acordo com valores fornecidos pelo SIMEPAR, em fevereiro de 2011 a temperatura média mensal mostrou-se próxima da média da década 2000-2010: a temperatura foi de 21,69^{o} C contra os 21,54^{o} C referentes ao período 2000-2010, o que significou apenas 0,15^{o} C acima da média da década anterior.

Já, no que se refere ao inverno ocorreu o contrário; a temperatura média de agosto de 2011 foi mais baixa que a média registrada na década anterior: a temperatura média de agosto foi de 14,53^{o} C contra os 15,51^{o} C no período 2000-2010, ou seja, em 2011 a temperatura média de agosto foi 0,98^{o} C mais baixa do que a média da década anterior.

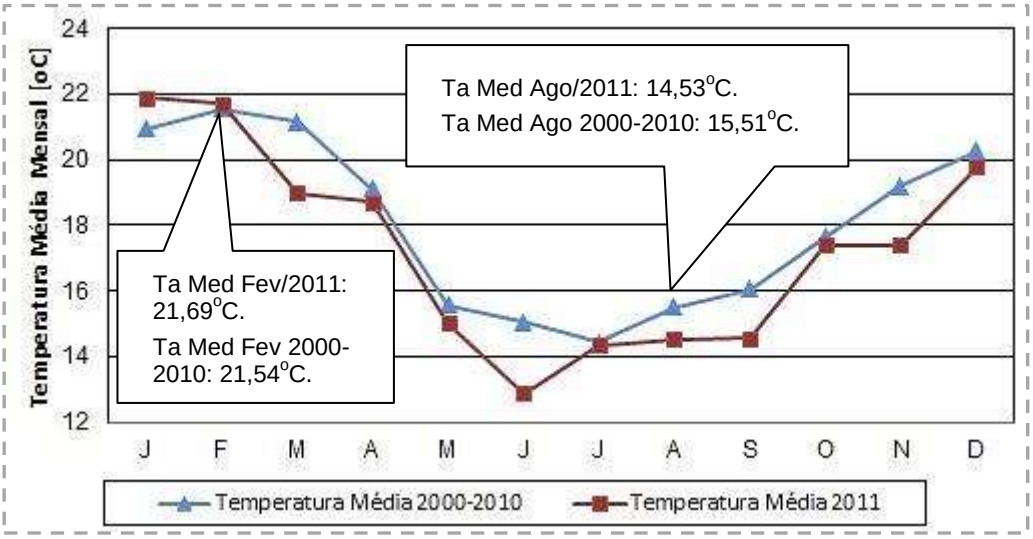


FIGURA II.2.10 – TEMPERATURAS MÉDIAS ANO DE 2011 E DA DÉCADA 2000-2010.
Fonte: SIMEPAR (2011).
Organização: O Autor (2014).

O dia 22 de fevereiro, apresentado hora-hora na Figura II.2.11, foi parcialmente nublado nos períodos matinal e noturno e totalmente encoberto com ocorrência de pancadas de chuva no período vespertino. Segundo dados do SIMEPAR (2011) a mais baixa temperatura do ar ocorreu às 4 horas quando foram registrados 18,3ºC e a mais elevada, às 14 horas com 28,6ºC. Neste mesmo horário, a taxa de umidade relativa do ar era mediana, de 54,05% e evoluiu para 70 e 90% no final da tarde, as 16h00 e 17h00 respectivamente, quando houve precipitação de 5,0 e 1,4mm. A precipitação ocasionou a queda na temperatura, a qual apresentou decréscimo de 8,5ºC em relação ao horário mais quente (14h00), atingindo 20,1ºC às 17h00.

Os ventos predominaram do quadrante Oeste nos períodos matutino e de vespertino, quando se apresentaram mais velozes, atingindo o pico às 13h00 com 4,25 m/s e reduzindo gradualmente a velocidade no decorrer da tarde.

O dia de céu parcialmente nublado, evoluindo para totalmente encoberto com pancadas de chuva a partir das 16h00, representa o tipo de tempo que ocorreu na semana de monitoramento de verão e que fez com que as temperaturas variassem dos 18,3ºC aos 28,6ºC graus, e amplitudes térmicas de aproximadamente de 7,2ºC a 8ºC (dias 23, 24 e 25), exceto no dia 22 em que a amplitude foi de 10,2ºC. A Análise Rítmica do dia 22 de fevereiro ilustra essa interação entre temperatura, nebulosidade, ventos e precipitação.

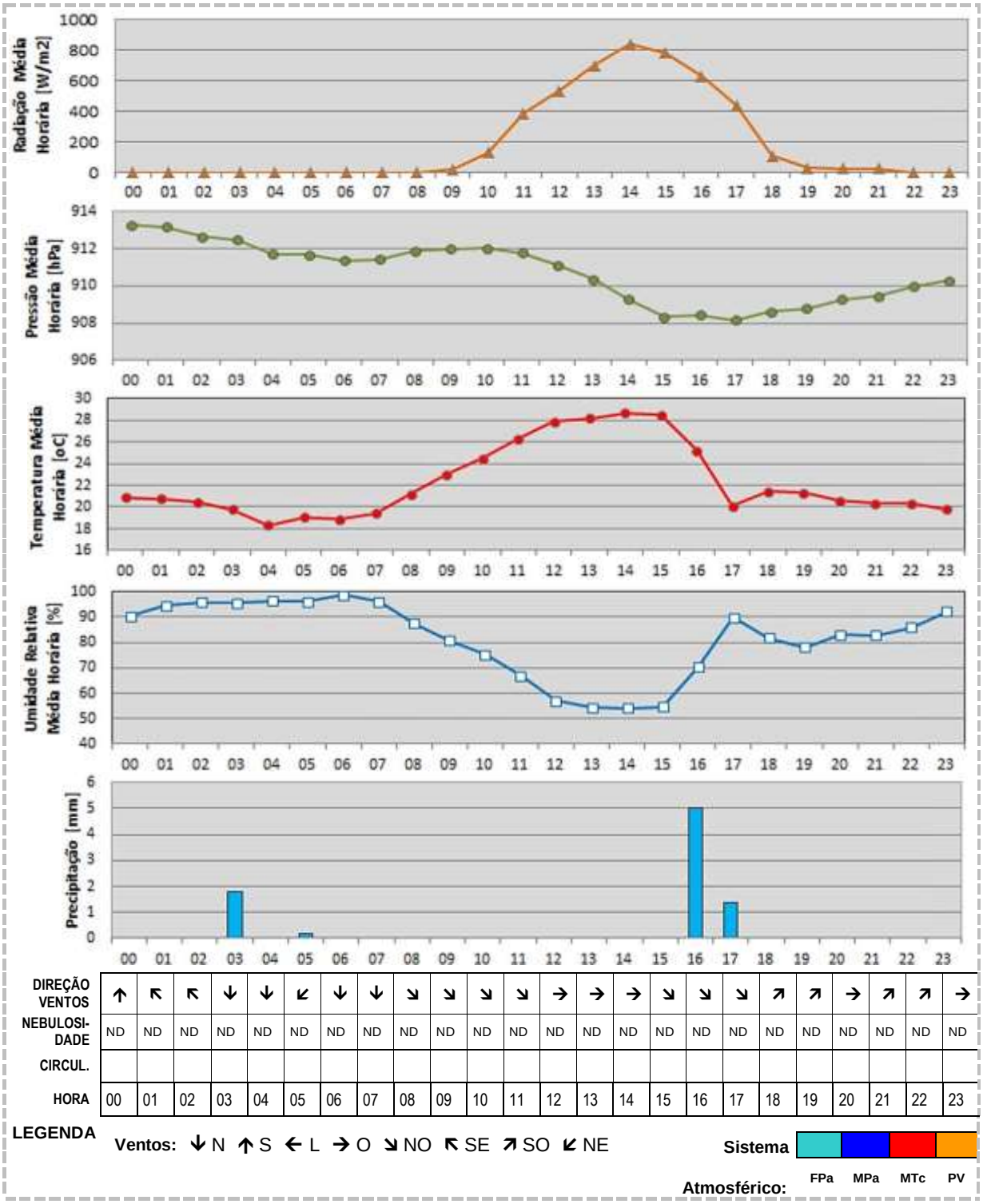


FIGURA II.2.11 – ANÁLISE RÍTMICA HORÁRIA DIA 22 FEVEREIRO DE 2011.
Fonte: SIMEPAR/INMET (2011).
Organização: O Autor (2013).

O dia 11 de agosto, cuja evolução horária é mostrada na Figura II.2.12, foi parcialmente nublado apresentando-se totalmente encoberto em apenas alguns horários do período matinal. A mais baixa temperatura do ar ocorreu às 4 horas, registrando 12,3ºC e a mais elevada, As 16 horas com 18,3ºC. Neste mesmo horário, a

taxa de umidade relativa do ar era de 64,7% (a mais baixa do dia) sendo que somente pelo período das 12h00 as 18h00 os valores estiveram abaixo de 80%.

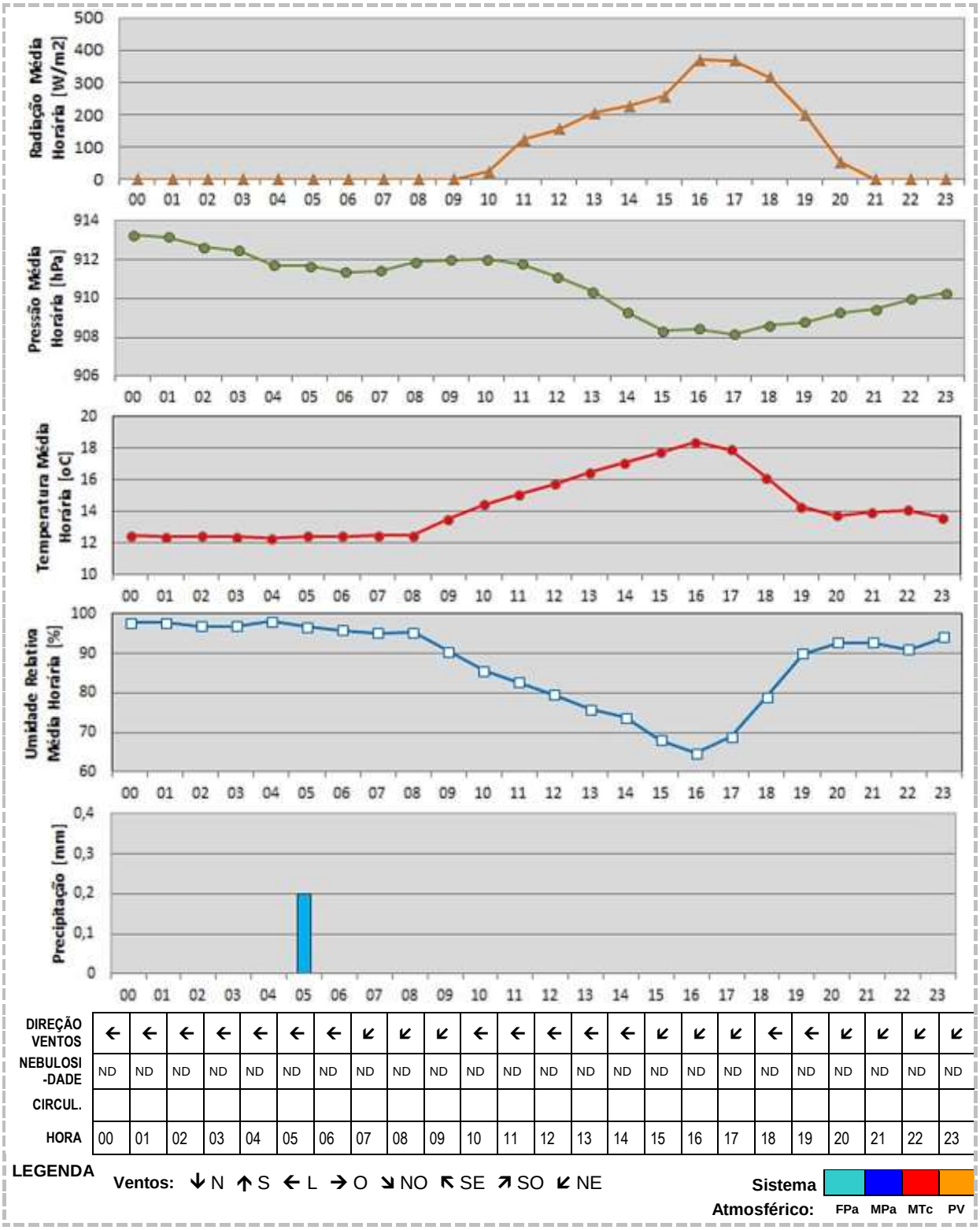


FIGURA II.2.12 – ANÁLISE RÍTMICA HORÁRIA DIA 11 AGOSTO DE 2011.
Fonte: SIMEPAR/INMET (2011).
Organização: O Autor (2013).

No dia 11 não houve precipitações significativas, restringindo-se a apenas chuva leve (2 mm) as 05h00 da manhã, todavia não houve redução de temperatura em decorrência da precipitação, tendo permanecido estável pouco acima dos 12 º C das 0h00 as 08h00. Os ventos predominaram do quadrante Leste nos períodos matutino e vespertino, quando se apresentaram mais velozes, atingindo o pico às 17h00 com 2,75 m/s e reduzindo gradualmente a velocidade no decorrer da tarde.

Nos dois primeiros dias de monitoramento (10 e 11 de agosto) houve predomínio de alta nebulosidade acompanhada de temperaturas mais moderadas e baixa amplitude térmica: 3,3 º C no dia 10/08 e 6 º C no dia 11/08. Já no dia 12/08 a nebulosidade se dissipou no final da manhã e a temperatura máxima atingiu 22,7 º C com amplitude total de mais de 10 º C, superior até mesmo àquelas registradas no monitoramento de verão.

II.2.1.1.3. Análise dos resultados preliminares.

Nos períodos de monitoramento realizados tanto no verão (de 22 a 25 de fevereiro) como no inverno (de 10 a 12 de agosto) foram coletadas as seguintes variáveis climáticas: temperatura do ar (Ta); umidade relativa do ar (UR); direção do vento; velocidade do vento (Va); nebulosidade (0: céu claro, 50 parcialmente encoberto, e 100: totalmente coberto); temperatura da superfície de paredes distantes a 1,5m da superfície aferida (Ts Paredes); temperatura da superfície das calçadas (Ts Calçadas); e temperatura da superfície do asfalto (Ts Asfalto).

Os dias de monitoramento de verão foram caracterizados pelo predomínio de nebulosidade, apresentando céu parcialmente encoberto nos períodos matinal e noturno, com ocorrência de cobertura total do céu e chuvas no período vespertino. As temperaturas situaram-se próximas às médias históricas, caracterizando a estação como típica. No monitoramento de inverno a nebulosidade predominou especialmente nos dias 10 e 11/08 e no dia 12 houve céu claro durante o período vespertino, fazendo com que a temperatura chegasse aos 25,4^{o}C e a variação apontada fosse de 11,96^{o}C a 25,36^{o}C, ou seja, uma amplitude total de 13,4^{o}C.

No que diz respeito às superfícies, em todas as fácies avaliadas, as paredes consideradas eram de alvenaria de tijolos, as calçadas em pedra (lousas de granito) e o pavimento das ruas sempre em asfalto, ou seja, materiais de baixos valores de

refletância solar, altos valores de condutividade térmica e capacidade calorífica. Superfícies que apresentam temperaturas mais elevadas e cujos efeitos são mais intensos nos dias claros e calmos, características que foram percebidas durante as medições e confirmadas pelos valores obtidos.

Os valores de Ta no período de verão (22 a 25 de fevereiro) variaram entre 20,8°C e 28,2°C, as quais ocorreram as 7h00 do dia 24/fev e 15h00 do dia 22/2 (o mais quente dos dias monitorados), sendo que a média geral das temperaturas monitoradas foi de 22,8°C. Já os valores de Ts de paredes variou entre 20°C e 28,17°C, enquanto calçadas e asfalto apresentaram variação de 20,50°C a 35,83°C e 20,33°C a 35,83°C respectivamente, no monitoramento de verão. As temperaturas média do ar e das superfícies para o período, a cada horário monitorado, aparecem na Tabela II.2.3.

TABELA II.2.3 – VARIÁVEIS COLETADAS EM CAMPO FEV./2011: MÉDIAS GERAIS.

HORA	Ta [ºC]	Ta [ºC]	UR [%]	Dir. Vento	Va [m/s]	Nebulo-sidade	Ts Paredes [ºC]	Ts Calçadas [ºC]	Ts Asfalto [ºC]
07h00	21,5	21,6	80,0	197	0,3	83	20,9	21,2	21,2
07h20	21,3	21,3	81,4	185	0,4	83	20,9	21,3	21,3
07h40	21,5	21,4	79,6	190	0,2	67	20,9	21,7	21,8
08h00	21,9	21,7	76,5	180	0,2	79	21,2	22,1	22,8
15h00	25,8	25,2	66,6	158	0,1	88	26,0	28,5	28,9
15h20	24,5	24,9	77,3	215	0,3	96	24,3	25,7	25,3
15h40	24,4	24,2	82,8	191	0,4	79	24,8	25,6	25,5
16h00	23,9	23,8	82,8	229	0,2	81	24,4	25,3	24,7
19h00	22,8	22,9	86,7	244	0,2	79	22,9	22,9	22,3
19h20	22,5	22,4	86,3	208	0,2	79	23,3	22,9	22,6
19h40	22,3	22,2	87,9	190	0,2	79	22,8	22,6	22,4
20h00	22,2	22,1	88,3	215	0,2	79	22,6	22,6	22,3

Organização O autor (2014).
Direção do Vento – Norte:0; Leste:90; Sul:180; Oeste: 270.
Nebulosidade – 100: totalmente encoberto; 50: parcialmente encoberto; 0: céu totalmente aberto.

Os valores de Ta aferidos no período de inverno (10 a 12 de agosto) variaram entre 11,96°C e 25,36°C, as quais ocorreram as 7h00 do dia 12/08 e 15h40 do dia 12/08 (o mais quente dos dias monitorados), sendo que a média geral das temperaturas monitoradas foi de 16,54°C. Já nos valores de Ts aferidos no inverno, por sua vez, a Ts das paredes variou entre 13, 7° C e 22,8°C, enquanto calçadas e asfalto apresentaram variação de 12°C a 26°C e 12°C a 28,17°C respectivamente. Observou-se uma elevação mais significativa da Ts, quando comparada à do ar, no monitoramento de

verão. As temperaturas média do ar e das superfícies a cada horário monitorado, aparecem na Tabela II.2.4.

TABELA II.2.4 – VARIÁVEIS COLETADAS EM CAMPO EM AGOSTO/2011: MÉDIAS GERAIS.

HORA	Ta [ºC]	Ta Hobos [ºC]	UR [%]	Dr. Vento	Va [m/s]	Nebulo-sidade	Ts Paredes [ºC]	Ts Calçadas [ºC]	Ts Asfalto [ºC]
07h00	12,9	14,1	81,8	161	0,8	75	15,2	13,2	13,6
07h20	13,4	13,7	83,6	178	0,6	75	14,2	12,7	12,9
07h40	13,3	13,4	88,1	200	0,8	83	15,0	13,5	12,9
08h00	13,3	13,4	86,3	184	0,6	79	14,3	13,1	13,4
15h00	19,4	19,3	60,8	240	0,9	42	19,2	20,3	22,9
15h20	20,2	19,8	59,3	213	0,9	46	19,8	22,1	23,8
15h40	20,3	19,6	62,4	208	0,9	50	20,4	22,1	22,8
16h00	19,6	19,2	63,1	216	0,7	50	20,2	20,8	21,9
19h00	16,6	17,1	77,5	160	0,3	54	18,4	16,6	16,6
19h20	16,4	16,4	81,0	195	0,5	54	18,1	16,6	16,5
19h40	16,2	16,2	83,2	163	0,6	54	18,0	16,6	16,1
20h00	16,1	16,0	84,1	218	0,2	50	17,6	16,1	15,8

Organização O autor (2014).
Direção do Vento – Norte:0; Leste:90; Sul:180; Oeste: 270.
Nebulosidade – 100: totalmente encoberto; 50: parcialmente encoberto; 0: céu totalmente aberto.

Também no que diz respeito a correlação entre Ta e Ts demonstrou-se significativa correlação entre a temperatura do ar e das superfícies, com R^2 no verão situando-se sempre na casa de 0,8 com ligeira variação de 0,79 para as paredes, 0,8 para as superfícies de calçadas e 0,81 para o asfalto. No inverno o valor de R^2 é um pouco maior de 0,84 para Ta xTs paredes e 0,88 para Ta x Ts de calçadas e asfalto, conforme demonstram as figuras II.2.13 a II.2.15.

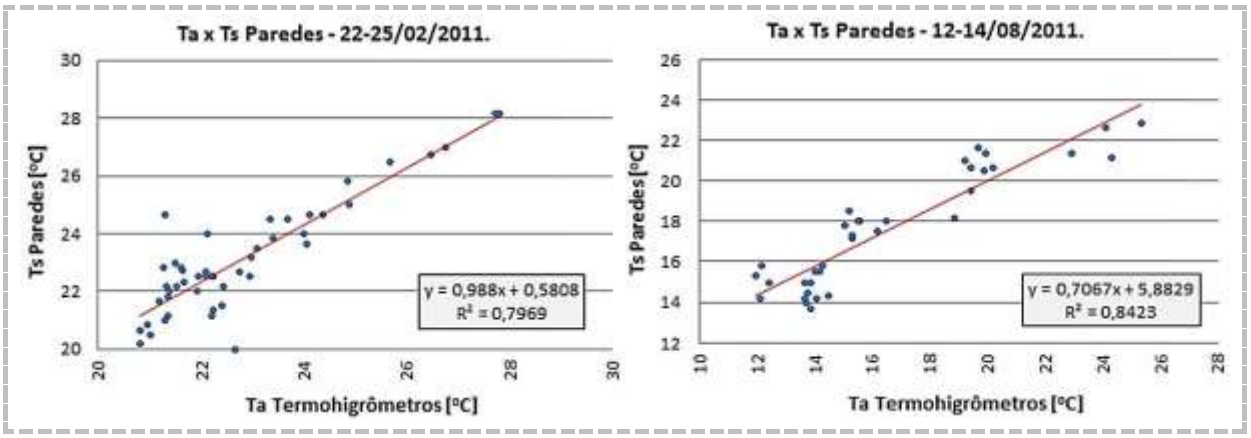


FIGURA II.2.13 – CORRELAÇÃO TA E TS DAS PAREDES (VERÃO E INVERNO).

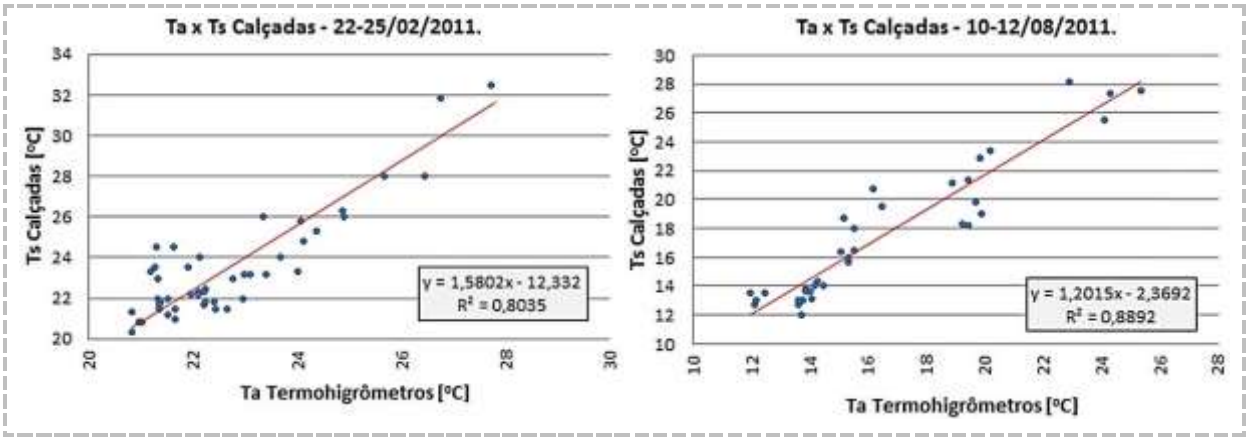


FIGURA II.2.14 – CORRELAÇÃO TA E TS DAS CALÇADAS (VERÃO E INVERNO).

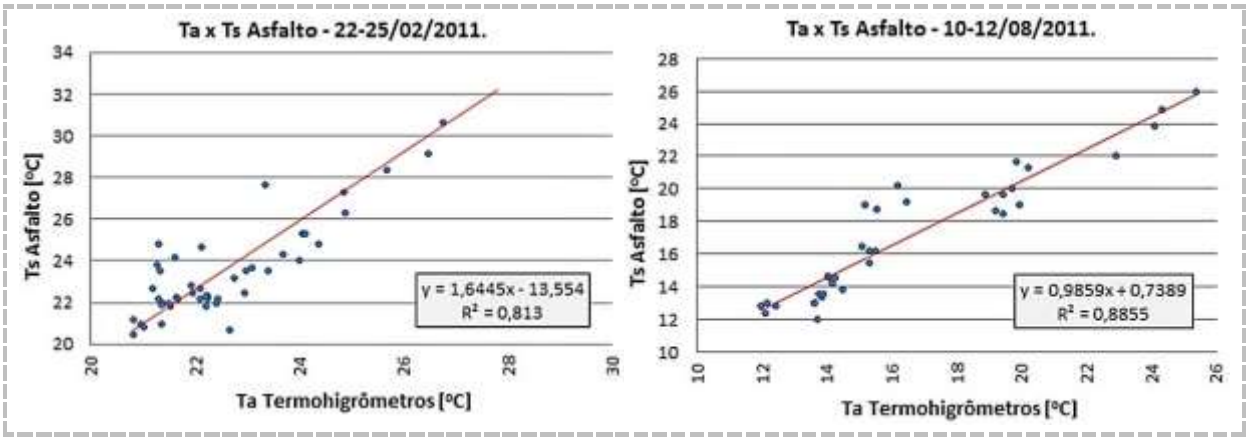
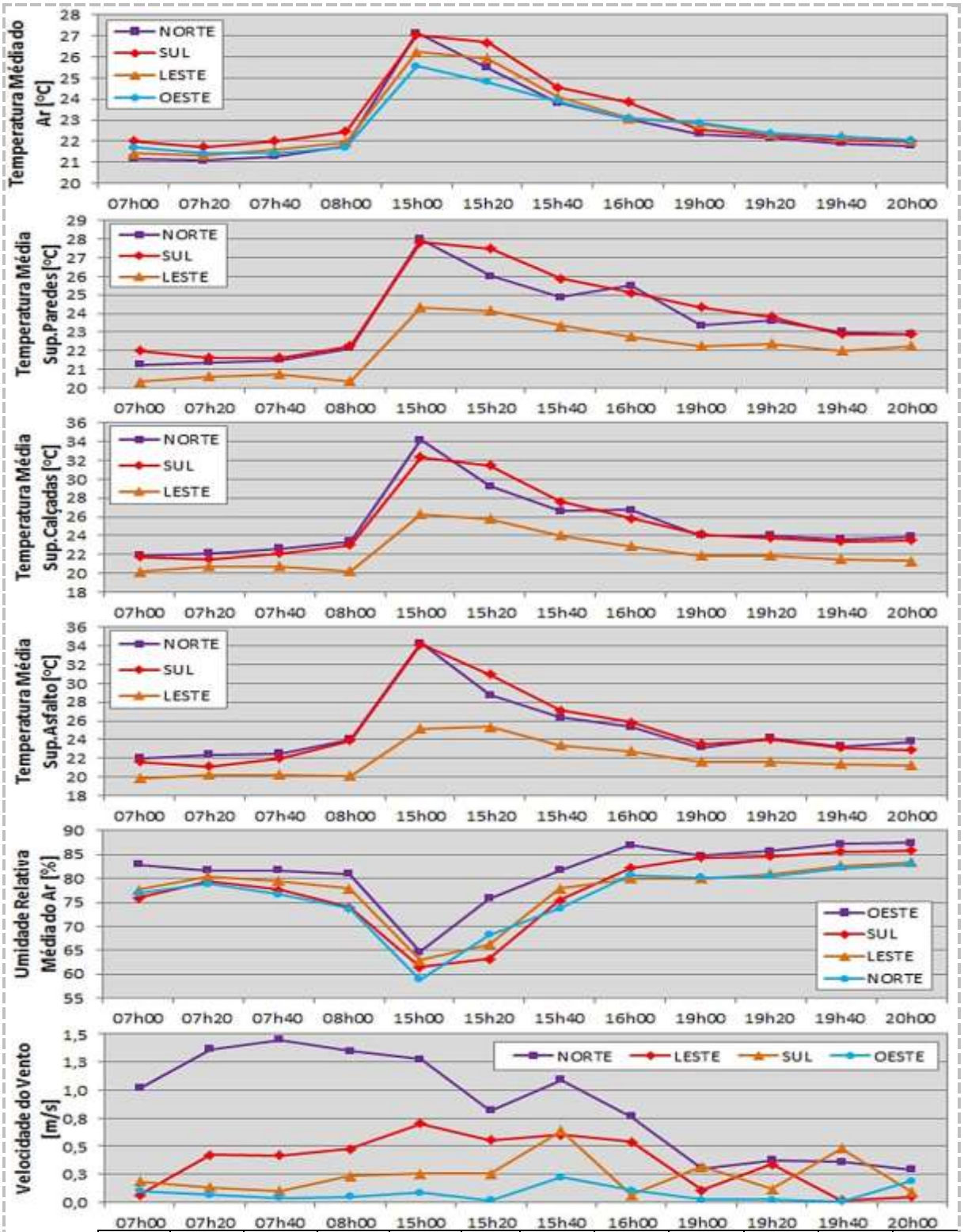


FIGURA II.2.15 – CORRELAÇÃO TA E TS DO ASFALTO (VERÃO E INVERNO).

As Figuras II.2.16 e II.2.17 apresentam análises para os períodos monitorados organizadas separadas por face de quadra e os resultados aparecem relacionados nas legendas em ordem decrescente dos valores das variáveis. Desta forma é possível visualizar que no verão, a Ta e Ts têm os maiores valores na face norte da quadra, já no inverno a Ta é maior na face orientada a oeste, possivelmente me face da alteração de azimute e inclinação do sol. A Ts da parede é muito próxima do valor da Ta, na média apenas 0,35^{o}C acima da Ta máxima no verão e até 2,5^{o}C abaixo no inverno. Já no que se refere às superfícies das calçadas e asfalto, a diferença entre Ta máxima e daquelas superfícies chega a 8,0^{o}C no verão e reduz-se para 2,8^{o}C no inverno.

Verifica-se que os valores de UR são mais significativos, tanto no inverno como no verão, nas fácies sul e oeste, possivelmente porque são essas as vias mais densamente arborizadas e sombreadas pelas torres. Assim como também se verifica a menor velocidade do vento nessas faces em que a arborização viária é mais intensa.



Direrção Ventos:	↖	↙	↖	↙	↙	↖	↑	↗	↑	↑	↘	↗
Nebulosi-dade:	50	50	50	50	100	100	100	50	50	50	50	50
Horário:	07h00	07h20	07h40	08h00	15h00	15h20	15h40	16h00	19h00	19h20	19h40	20h00

Legenda: Ventos: ↓ N ↑ S ← L → O ↘ NO ↖ SE ↗ SO ↙ NE

FIGURA II.2.16 – ANÁLISE RÍTMICA POR ORIENTAÇÃO DA FACE DE QUADRA (VERÃO).
Fonte: coleta de dados em campo (2011).

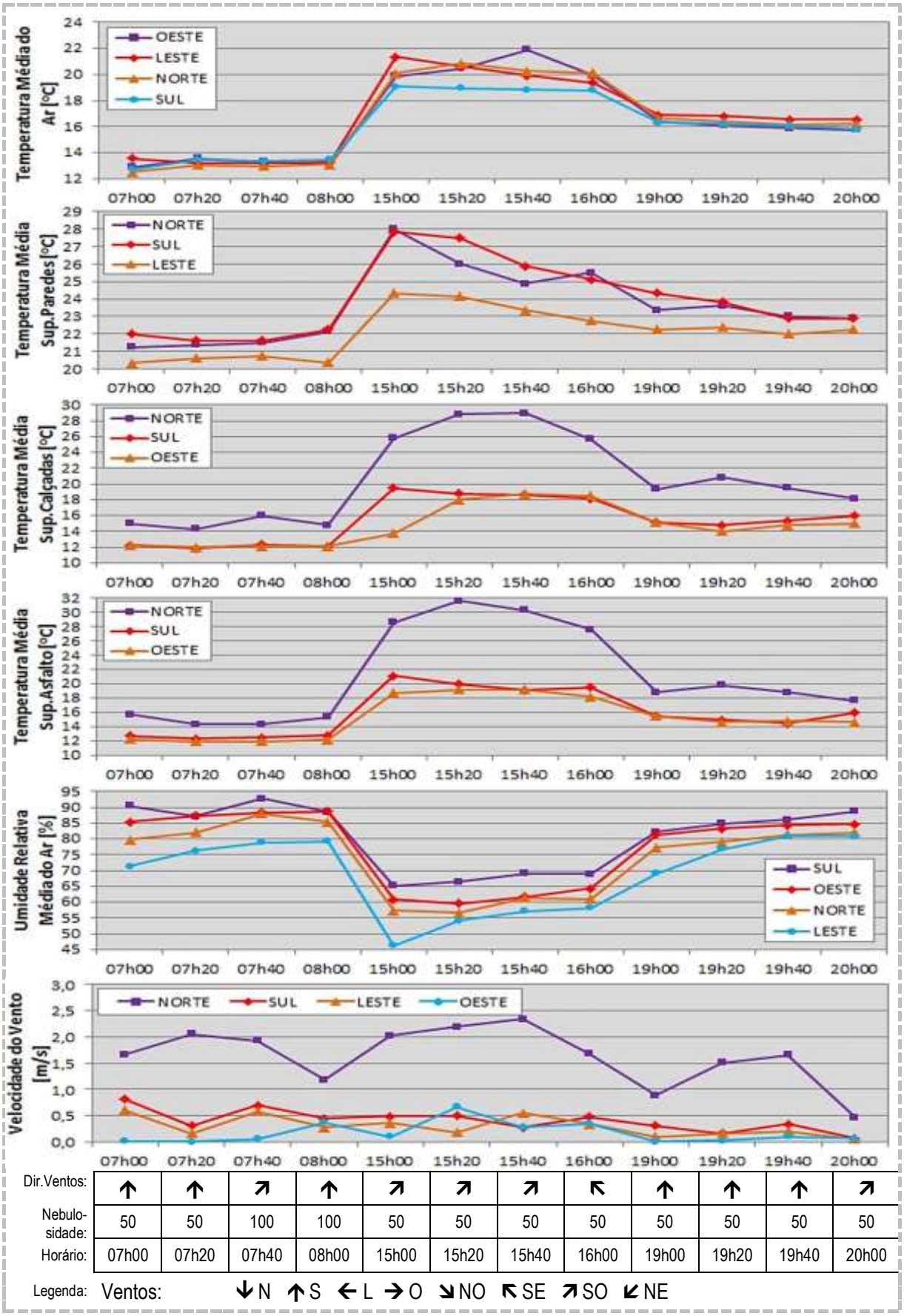


FIGURA II.2.17 – ANÁLISE RÍTMICA POR ORIENTAÇÃO DA FACE DE QUADRA (INVERNO).
Fonte: coleta de dados em campo (2011).

As maiores temperaturas se manifestaram em todos os dias, em inverno e verão, nas medições do período das 15h00 às 16h00, período no qual também ocorreram os menores valores de UR. Os dados coletados tanto no inverno como verão comprovaram a alta relação entre Ta, nebulosidade e UR. Nos dias de nebulosidade variável a alta, a UR manteve-se acima dos 70% nos períodos matinal (7-8h) e noturno (19-20h) e as temperaturas permaneceram mais estáveis variando de 1^{o}C a 3^{o}C na leitura horária tanto no inverno como no verão, situando-se entre 13^{o}C e 16^{o}C no inverno e entre 22^{o}C e 25^{o}C no verão. Por outro lado, nos períodos em que a UR situou-se próxima e abaixo dos 50%, usualmente nas leituras vespertinas (15h00-16h00), apresentaram-se as maiores amplitudes térmicas horárias variando de 1^{o}C a 3^{o}C em média no inverno e de 2^{o} a 4^{o}C no verão, situando-se entre 22^{o}C e 24^{o}C em média no inverno e 25^{o}C e 29^{o}C no verão.

Com respeito ao vento (velocidade e direção) verificou-se que este era altamente influenciado pelo intenso fluxo de veículos característico das vias onde os levantamentos de dados foram feitos. Considerando-se que este é o fluxo do "urbano" no *canopy layer*, o vento do fluxo deverá ser comparado aos dados oficiais da meteorologia, sem fluxo de veículos, mostrando assim o efeito da urbanização.

II.2.1.2. Simulação das condições de inverno e verão, no ano de 2011, com uso do Software ENVI-met.

O ENVI-met é um modelo de simulação microclimática que possibilita a análise de variáveis climáticas como temperatura, umidade relativa, direção e intensidade do vento, dentre outros, usando como base o modelo tridimensional de configuração da cidade. E para fazê-lo são necessárias duas etapas básicas: (a) a criação de um arquivo de entrada da área que será modelada (*Area Input Fie)*, no qual são conformados os elementos da cidade tais como edifícios, vegetação, solos, materiais de cobertura do solo, etc. além dos parâmetros geográficos da localidade a onde se insere o modelo; (b) configuração do arquivo de parâmetros para inicialização da simulação (*Config File*), nesse são configuradas condições para execução da simulação, tais como a duração da simulação, a geração de arquivos de saída, os arquivos de parâmetros de vegetação, solos e materiais de cobertura do solo que serão utilizados, entre outros.

II.2.1.2.1. Desenho e configuração do arquivo de entrada da área (*Area Input File*).

A modelagem de áreas no ENVI-met é dada pela configuração de uma grade de células, cuja representação é feita somente em planta e para cada célula que compõem o grid são informados a pavimentação (indicação dos materiais de cobertura do solo, tais como concreto, granito, asfalto, entre outros), a vegetação e a altura total dos edifícios. Para facilitar o desenho do modelo de entrada, se pode utilizar imagens de formato bitmap como fundo e então desenhar sobre ela.

Uma das primeiras decisões a tomar é a escolha da malha de representação, pois quanto maior a malha maior a capacidade de processamento necessária, maior o tempo demandado para simulação e maior a necessidade de espaço de armazenamento para os arquivos de saída que são gerados. O software fornece malhas de até 250 x205 x 25, sendo necessário levar em consideração os requisitos de memória para sua simulação (BRUSE, 2006): (a) Malha de 80 x 80 x 30: 128 MB; (b) Malha de 100 x 100 x 30: 256 MB; (c) Malha de 200 x 200 x 30: 512 MB; e, (d) Malha de 250 x 250 x 30: 1 GB.

Outra questão importante é o tamanho da célula individual, pois quanto menor o tamanho da célula utilizada para criação do grid, ou seja, a resolução utilizada para gerar o modelo urbano, tanto maior será o seu detalhamento, mais complexo o processamento e maiores as chances de insucesso na simulação. Vários autores utilizam em seus modelos células de 5 x 5 (MINELA, 2009; CARFAN et al, 2009; SPANGENBERG, 2004; etc.), porém, embora essa resolução favoreça o processamento, nem sempre representa adequadamente a realidade.

Considerando os aspectos de configuração das células que compõem o grid e do processamento demandado, foi então definida a área de estudo. Inicialmente correspondendo ao conjunto de 14 quadras, as quais, ao longo dos testes de simulação, tiveram de ser reduzidas para viabilizar o processamento, resultando num modelo de área de entrada de apenas três quadras (Figura II.2.18).

Fez-se a redução do número de quadras modeladas porque as 14 quadras demandavam o uso de uma grade de 250 x 250 x 30 m, a qual requeria muitas horas de processamento e muita memória para armazenamento. O processamento de cada

simulação demandava de 72 a 120 horas e conjunto de arquivos gerado totalizava de 10 a 12 GB.

Devido à complexidade do modelo, presença de diferentes alturas (de 3 a 72 metros) com ocorrência de áreas de miolo de quadra e cerca de 70% de área impermeabilizada e revestida por materiais de baixo albedo (concreto, granito e asfalto), por diversas vezes o processamento foi interrompido por excesso de turbulência. Gerando um erro de processamento atmosférico que interrompia a simulação sem possibilidade de aproveitamento dos resultados.

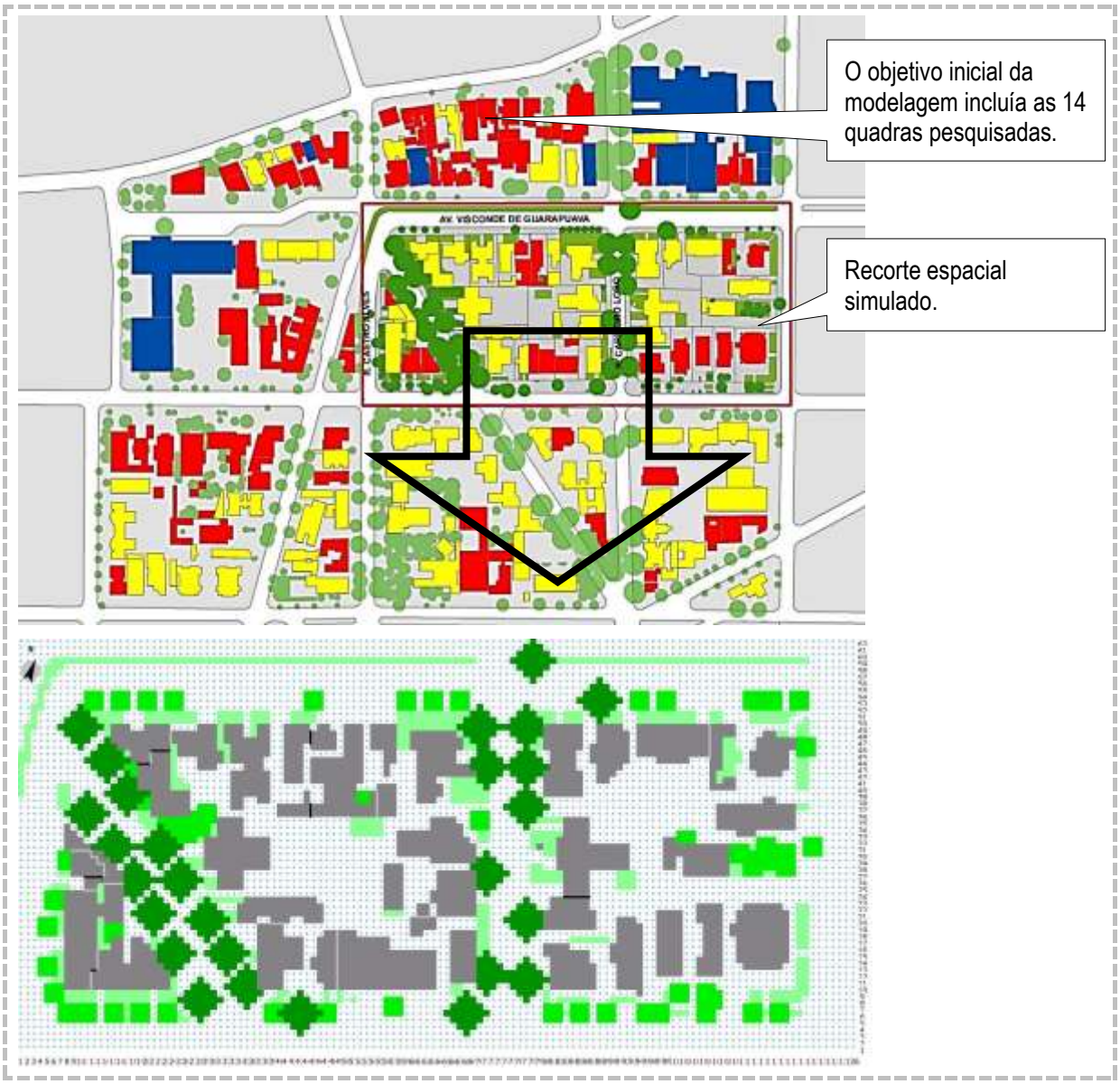


FIGURA II.2.18 – ÁREA DO MODELO INICIAL X ÁREA SIMULADA
Fonte: O autor (2013).

O modelo final de três quadras foi desenhado com células de 2,5 x 2,5 x 3,0, objetivando reproduzir o melhor possível as dimensões reais dos edifícios e do afastamento entre os edifícios. Nesse sentido, considerando a limitação da altura a 30 células, não seria possível representar adequadamente o número de pavimentos e ainda atender a recomendação de altura mínima, a qual, segundo Bruse (1999; 2006) deverá ser de no mínimo 2,5 vezes a altura do maior edifício. O edifício existente de maior altura possui 26 pavimentos, considerando a altura base (dz) de 3,0 m, só restariam 4 células para altura livre do céu acima dos edifícios, o que seria insuficiente e, portanto, se utilizou a dimensão vertical variável (*telescope grid*). Esse, sendo aplicado a partir da altura de 36 metros com um fator de incremento da altura.

Para facilitar o desenho das diversas áreas de entrada que seriam simuladas o modelo foi girado em 22,5 graus para que ficasse predominantemente perpendicular, pois o desenho das deflexões usando células de 2,5 x 2,5 x 3,0 m resultava em muitas distorções. No quadro II.2.1 são apresentados os parâmetros de configuração que dizem respeito ao grid, às áreas de borda do modelo (*Nesting grids* ou seja, as células aninhadas junto à área principal), a altura das células e dos parâmetros geográficos.

NÚMERO DE CÉLULAS E PROPRIEDADES DAS CÉLULAS ANINHADAS	
Área principal do modelo	162 X 62 X 26
Número de células aninhadas envolta da área principal	5
Perfil de solos para as células aninhadas	Solo A: gs <Granit Pavement [single stones]>
	Solo B: s <Asphalt Road>
Tamanho da célula do grid em metros	dx= 2,5, dy= 2,5, dz= 3,0 (base Heights)
Método de geração da grade vertical	Grid telescópico com aumento da altura em 20%
	Início do grid telescópico a partir de 36m
PROPRIEDADES GEOGRÁFICAS	
Giro do modelo em relação ao norte	337,5
Nome da localização	Curitiba,/Brazil
Posicionamento na terra	Latitude: -25,43;
	Longitude: -49,27
Fuso horário de referência	GTM -3
Longitude de referência	- 45
Coordenada da célula inferior direita	- 49,29
	- 25,45
Sistema de referência	Plano

QUADRO II.2.1 – CONFIGURAÇÃO DO DOMÍNIO ESPACIAL (MODEL DOMAIN).
Fonte: Software ENVI-met.

II.2.1.2.2. Configuração dos parâmetros de simulação (*Config File*).

Nos arquivos de configuração estão contidas as condições iniciais para realização da simulação, assim como parâmetros relativos ao comportamento dos edifícios. Podem-se dividir os parâmetros de configuração em três grupos principais: (a) parâmetros que definem as características da simulação; (b) variáveis de determinam as condições climáticas de inicialização e de contorno do modelo; e, (c) parâmetros relativos à região geográfica e características da área modelada.

Os parâmetros que definem as características da simulação em si são:

1) Tempo de simulação: dia e horário de início, total de horas simuladas, periodicidade de salvamento do modelo. Bruse (1999; 2006) aconselha a utilização de 48 horas de simulação, ou no mínimo o uso de 24 horas;
3) Intervalos de tempo de atualização das informações sobre as variáveis e o seu salvamento (*Timing*): (a) *Surface* data = 30s**; (b) *Flow field* = 600s**; (c) *Radiation / shadows* = 900s**; (d) *Plant processes* = 600s**
4) Tempos de processamento da altura solar (*Time steps*), que dizem respeito à adaptação dinâmica da altura solar, a qual é dividida em 3 intervalos e cujo processamento pode ser dividido nos horários de menor e maior altura, sendo aconselhável em alguns casos a redução do tempo de processamento no período de maior altura solar, ou seja, de maior aquecimento, como próximo ao meio dia, pois é nesse momento em que costumam ocorrer as falhas de processamento e a interrupção do processo, porém essa redução aumenta o tempo de processamento: (a) *Sun height for switching* dt(0) -> dt(1) = 40**; (b) *Sun height for switching* dt(1) -> dt(2) = 50**; (c) *Time step* (s) *for interval* 1 dt(0) = 10.0**; (d) *Time step* (s) *for interval* 2 dt(1) = 5.0**; € *Time step* (s) *for interval* 3 dt(2) = 2.0**
5) Modelo de plantas (*Plant Model*) regula, através da escala de Deardorff (1978) ou do modelo A-gs desenvolvido por Jacobs (1994), o cálculo da transpiração das plantas o qual é influenciado pela incidência solar, temperatura do ar e disponibilidade de água no solo: (a) Stomata res. (resistance) approach (1= Deardorff, 2=A-ge) = 2**; (b) Background CO2 concentrations [ppm] = 350**

** são os valores padrão (default) do programa.

Através do editor de configuração – *ENVI-met Configuration Editor* – faz-se a edição dos parâmetros de configuração. Deve-se considerar que quando maior e mais complexo o modelo, maior será o tempo de processamento e ações como a redução do valor do tempo de processamento da altura solar (*Time Steps*) aumentam significativamente o processamento.

Quando o modelo tem por objetivo a simulação e comparação com medidas de campo, os dados coletados servirão não só de comparação, mas de parâmetros iniciais de processamento tais como o horário de início do processamento, o qual deverá preceder em algumas horas o período de interesse da análise. Os parâmetros de configuração utilizados no modelo para 2011 são apresentados no Quadro II.2.2.

ITENS DO ENVI-MET CONFIGURATION EDITOR	**PARÂMETROS ADOTADOS NA SIMULAÇÃO DE ESTUDO DE CASO**
CONDIÇÕES PARA SIMULAÇÃO DE VERÃO (22/02/2011)	
Start simulation day	22/02/2011
Start simulation at time	04:00:00
Start simulation time (hours)	24
Save model each	20 min (calibragem); 60 min (demais simulações)
Time steps	*Sun height for switching* dt(0) -> dt(1) = 40
	Sun height for switching dt(1) -> dt(2) = 50
	Time step (s) for interval 1 dt(0) = 5.0
	Time step (s) for interval 2 dt(1) = 3.0
	Time step (s) for interval 3 dt(2) = 1.0
CONDIÇÕES PARA SIMULAÇÃO DE INVERNO (11/08/2011)	
Start simulation day	11/08/2011
Start simulation at time	06:00:00
Start simulation time (hours)	24
Save model each	20 min (calibragem); 60 min (demais simulações)
Time steps	*Sun height for switching* dt(0) -> dt(1) = 40
	Sun height for switching dt(1) -> dt(2) = 50
	Time step (s) for interval 1 dt(0) = 5.0
	Time step (s) for interval 2 dt(1) = 3.0
	Time step (s) for interval 3 dt(2) = 1.0

QUADRO II.2.2 – PARÊMETROS DE CONFIGURAÇÃO DO MODELO PARA 2011.
Fonte: Software ENVI-met.

Variáveis de determinam as condições climáticas de inicialização e de contorno do modelo, tais como:

1) Velocidade do vento 10m acima do solo, a qual se mantém constante durante toda a simulação. Nesse sentido Brandão (2009, p.120) relata ter observado que velocidades do vento abaixo de 0,8 m/s acionam o modo térmico do programa e causam instabilidades; Minela *et al* (2009, p.332) por outro lado, afirma que a utilização de velocidades do vento acima de 2,0m/s faz com que o ENVI-met superestime a velocidade do vento no Cânion. Nesse sentido, como afirma Brandão (2009, p.137,220, 221) a configuração da malha, do número de células aninhadas junto ao modelo principal (*Nesting grids*) assim como a altura total, interferem sobremaneira nos resultados da simulação. Fato que foi constatado no desenvolvimento das simulações e muito mais determinante para os resultados do que a velocidade do vento.
2) Direção do vento também constante durante toda a simulação;
3) Temperatura atmosférica inicial (K), a qual é utilizada somente para inicialização do modelo;
4) Umidade específica a 2.500m (g/Kg): 7**
5) Umidade relativa a 2m, a qual também servirá apenas para inicialização do modelo;
6) Dados do solo (soil data) com respeito à temperatura e umidade nas diferentes profundidades: (a) Upper layer (0-20cm) = 297K e 50%UR**; (b) Middle layer (20-50cm) = 295K e 60%UR**; (c) Deep layer (abaixo de 50cm) = 292K e 60UR**
7) Turbulência (turbulence) fornece parâmetros para tratamento do modelo como aberto ou fechado e com a circulação forçada: (a) Turbulence Closure ABL (0:diag., 1:prognos.) = 1**; (b) Turbulence Closure 3D Modell (0:diag., 1:prognos.) = 2**; (c) Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd., 1:op.) = 0**
8) Nuvens (clouds) permite a configuração das condições de nebulosidade entre baixa, média e alta, dada pela relação máxima de 8/8: (a) Fraction of LOW clouds (x/8) = 0**; (b) Fraction of MEDIUM clouds (x/8) = 0**; (c) Fraction of HIGH clouds (x/8) = 0**

** são os valores padrão (default) do programa.

Os parâmetros de configuração das condições climáticas utilizados no modelo para 2011 são apresentados no Quadro II.2.3.

ITENS DO ENVI-MET CONFIGURATION EDITOR	PARÂMETROS ADOTADOS NA SIMULAÇÃO DE ESTUDO DE CASO
CONDIÇÕES PARA SIMULAÇÃO DE VERÃO (22/02/2011)	
Wind speed 10m above ground	1,6
Wind direction	0
Initial temperature atmosphere (K)	296
Specific humidity in 2.500 (g/Kg)	8,3
Relative humidity in 2m	90
CONDIÇÕES PARA SIMULAÇÃO DE INVERNO (11/08/2011)	
Wind speed 10m above ground	2,4
Wind direction	102,5
Initial temperature atmosphere (K)	283,5
Specific humidity in 2.500 (g/Kg)	5,53
Relative humidity in 2m	87,5

QUADRO II.2.3 – PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO ENVI-MET MODELO 2011.

Nota:
Wind speed 10m above ground: obtido da estação meteorológica do Aeroporto Afonso Pena, utilizou-se o valor médio do período 00h00 – 12h00.
Relative humidity in 2m: o valor de umidade relativa foi obtido em observação a 1,50 m de altura.

Parâmetros relativos à localização geográfica e características da área modelada:

1) *Roughness length z0 at reference point*, rugosidade na area modelada: 0,1**
2) Propriedades dos edifícios: (a) Temperatura interna = 293K; (b) Albedo paredes = 0,2**; (c) Albedo cobertura = 0,3**; (d) Condutância térmica das paredes – 1,94 W/m^2 k**; (e) Condutância térmica da cobertura – 6 W/m^2 k**
3) Fontes de poluentes (*sources*), que será configurado caso deseje-se estudar a dispersão de poluentes (matéria particulada – PM, CO2, gases); (a) *Name of componente* = PM**; (b) *Particle Diameter in* [µm] (0 for gas) = 10**; (c) *Particle Density* [g/cm^3] = 1** (d) *Update interval for emission rate* [s] = 600**
4) Receptores (*receptors*), os quais registram os dados de saída das variáveis climáticas numa dada posição, informada no arquivo da área (*Area Input File*) ou no arquivo de configuração. Podem ser inseridos até 100 receptores no

arquivo da área (*Area Input File*) e para cada receptor será criado um arquivo de *snapshot* *.1D (dados de um momento específico) que permite a análise de diferentes receptores, ao mesmo tempo, para cada evento. A configuração padrão é a atualização e salvamento das informações dos receptores a cada 30 minutos.

** são os valores padrão (default) do programa.

Os parâmetros de configuração da área modelada utilizados no modelo para 2011 são apresentados no Quadro II.2.4.

ITENS DO ENVI-MET CONFIGURATION EDITOR	PARÂMETROS ADOTADOS NA SIMULAÇÃO DE ESTUDO DE CASO
CONDIÇÕES PARA SIMULAÇÃO DE VERÃO (22/02/2011) E INVERNO (11/08/2011)	
Roughness lenght z0 at reference point	0,96
Building properties	Temperatura interna = 293 K
	Condutância térmica das paredes – 1,94 W/m2 k**
	Condutância térmica da cobertura – 3,3 W/m2 k
	Albedo paredes = 0,4
	Albedo cobertura = 0,3
Receptors	Salvamento dos dados a cada 20 minutos

QUADRO II.2.4 – PARÊMETROS DE CONFIGURAÇÃO DA ÁREA MODELADA PARA 2011.

Nota:

Os valores padrão para condutância e albedo são baseados em estudos europeus, compatíveis com um nível de isolamento de paredes e teto superiores aos verificados em países, em desenvolvimento, nos quais o frio não é tão severo. Utilizou-se configuração proposta por EMMANUEL *et al* (2007), que, embora traçada para cidade em área tropical, propõe configuração construtiva similar à utilizada no Brasil e em Curitiba.

Considerando o monitoramento executado na quadra por meio do posicionamento de 6 estações móveis, foram inseridos no modelo da área seis receptores correspondendo aos pontos de leitura, para facilitar a posterior comparação dos dados obtidos no monitoramento *in loco* com os dados obtidos a partir das simulações feitas pelo ENVI-met.

II.2.1.2.3. Verificação da correspondência entre dados medidos e simulados.

Para verificação das condições de inverno e verão, foram escolhidos dois dias de referência para simulação. No verão foi utilizado o dia 22/02/2011, por se tratar do

dia com os maiores valores de temperatura e a maior amplitude entre os dias monitorados no período de verão. No inverno, o dia mais adequado seria 10/08/2011 por apresentar as menores temperaturas observadas no período de monitoramento de inverno, porém, faltavam dados dos primeiros horários matinais, então, por essa razão utilizou-se o dia 11/08/2011, o segundo dia mais frio observado. A tabela II.2.5 mostra os valores mínimo, médio, máximo e a amplitude verificada em cada dia de monitoramento de verão e inverno.

TABELA II.2.5 – VALORES DE REFERÊNCIA DOS DIAS SIMULADOS.

DIA DE MONITORAMENTO	TA MÍNIMA [^{O}C]	TA MÉDIA [^{O}C]	TA MÁXIMA [^{O}C]	AMPLITUDE [^{O}C]
22 de fevereiro de 2011	21,1	23,2	29,1	8,0
23 de fevereiro de 2011	20,8	22,9	27,0	6,1
24 de fevereiro de 2011	20,7	22,9	24,9	4,2
25 de fevereiro de 2011	22,0	22,4	22,9	0,9
10 de agosto de 2011	13,9	14,8	16,7	2,9
11 de agosto de 2011	13,2	16,1	21,4	8,2
12 de agosto de 2011	12,0	18,8	25,6	13,7

Fonte: levantamento de campo (2011).

Foram feitos diversos testes de simulação, com diferentes parâmetros de configuração do ENVI-met, pois os resultados de inverno foram obtidos com expressiva facilidade frente aos de verão: consideradas as recomendações quanto a altura do modelo, número de células aninhadas ao modelo principal (*Nesting Grid*), os modelos foram simulados em menos de 24 horas de processamento e os resultados obtidos bastante satisfatórios quando confrontados à bibliografia disponível.

Simulação de verão – 22/02/2011.

Foram feitas diversas simulações de verão utilizando distintas dimensões do modelo (altura e *Nesting Grid*), diferentes valores de ajustamento solar, de atenuação da vegetação (*Leaf Area Index* - LAI) para verificar o impacto da vegetação sobre os resultados, pois os resultados de simulações de verão mostraram-se muito insatisfatórios, com baixos valores de correlação com os dados levantados em campo. As diversas simulações vão de encontro a alguns problemas mencionados por Brandão (2009) e permitiram verificar alguns reflexos produzidos no modelo:

1) A dimensão geral do modelo, altura total e *nesting grids*, influencia sobremaneira os resultados causando instabilidades atmosféricas que geram erros fatais no processamento. Trata-se de um equilíbrio difícil de encontrar, pois quanto menor o modelo mais eficiente é o processamento, mas também maiores as chances de insucesso no processamento. Porém, modelos de maiores dimensões tendem a produzir resultados com valores baixos e baixa amplitude térmica, além de utilizarem mais de 48 horas de processamento para simulação de 24 horas. Nesse caso foram utilizadas as mesmas dimensões do modelo de inverno, mas observaram-se problemas de baixa amplitude térmica, temperatura máxima abaixo da esperada e sobreaquecimento no horário noturno em relação aos valores medidos. Problemas também relatados por Spangenberg *et al* (2008) e Emmanuel *et al* (2007).
2) O fator de ajustamento solar influencia diretamente a amplitude térmica do modelo, observou-se que o valor de 0,9 utilizados por outros autores (SPANGENBERG *et al*, 2008; MINELA *et al*., 2009) foi o mais adequado para o inverno, enquanto que para o verão utilizou-se 1,0.
3) O valor de atenuação proporcionado pela vegetação (LAI), não resultou impactos significativos na simulação; o maior impacto foi a pouca redução no valor de temperatura noturna. Nesse sentido, utilizaram-se os trabalhos de Spangenberg (2010), Pietrobon (1999), Weingartner (1994), Bueno (2003), que fornecem valores para árvores de grande porte (acima de 12,0m de altura e diâmetro de copa da ordem de 15,0 m ou mais) e alta capacidade de atenuação, assim como para árvores de médio porte (abaixo de 10,0 m de altura e apresentando copas também inferiores a 10,0 m) com base em árvores utilizadas na arborização urbana brasileira, tais como: Tipuana (*Tipuana tipu*), Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*), Quaresmeira (*Tibouchina granulosa*), Ipê Amarelo (*Tebebuia crysotricha*), Ipê Roxo (*Tebebuia impetiginosa*), etc.

As simulações de verão utilizaram parâmetros dimensionais de configuração similares aos do inverno, assim como as mesmas regras de processamento (*Time steps, LBC types, Nesting Area*). Depois de dezenas adequações, especialmente na grade do modelo adotado, resultou num valor R^2 0,5 considerando que esse valor varia de 0 a 1, então o grau de incerteza das simulações ficou em 50% (Figura II.2.19).

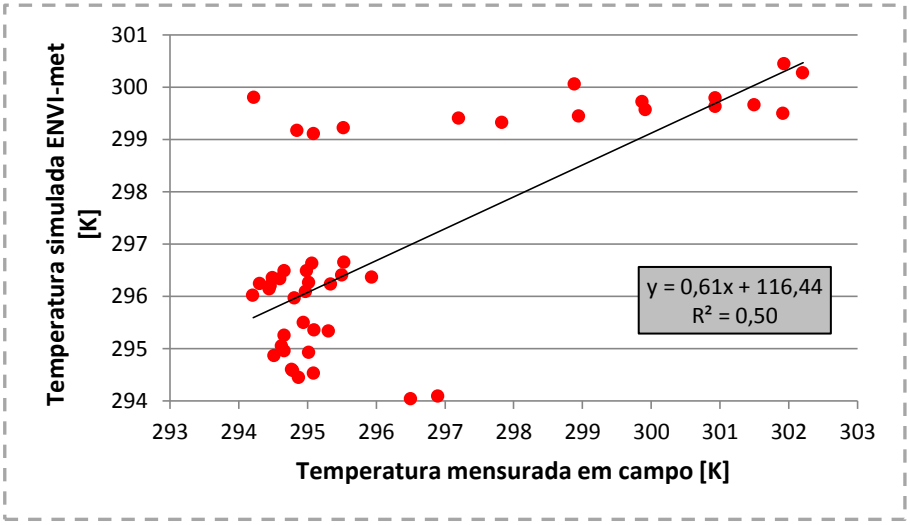


FIGURA II.2.19 – CORRELAÇÃO DADOS MONITORADOS x SIMULADOS (22/02/2011).
Fonte: O Autor (2014).

A Figura II.2.20 compara os valores médios de Ta, considerando os valores medidos e os simulados. A temperatura inicial do ENVI-met é 0,47°C mais baixa do que aquela monitorada, a temperatura máxima simulada resultou 1,36° C mais baixa e as temperaturas noturnas simuladas mantiveram-se mais altas (0,99° C as 19h00 e 1,65 ° C as 20h00) do que os valores obtidos pelo monitoramento e, a amplitude média foi 0,89° C menor. A amplitude média medida no local foi de 6,8° C, enquanto que a amplitude simulada pelo ENVI-met foi de 5,91° C.

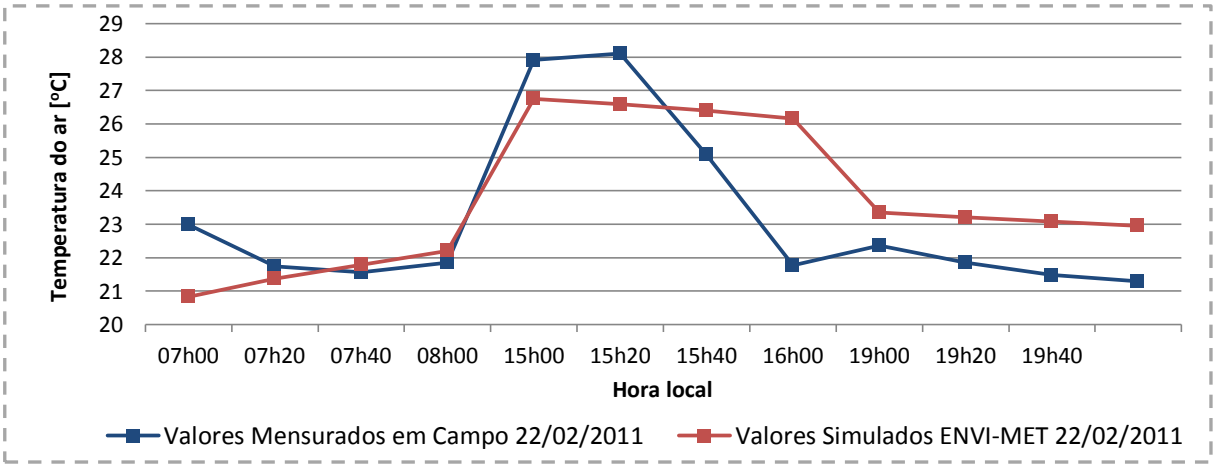


FIGURA II.2.20 – CURVA DE TEMPERATURA MONITORADA x SIMULADA (22/02/2011).
Fonte: O Autor (2014).

Simulação de inverno – 11/08/2011.

O modelo adotado para simulação das condições de inverno mostrou-se muito mais adequado e, embora algumas variações tenham sido experimentadas, a

correlação (dada pelo R^2) entre os dados monitorados e os simulados foi de 0,91(para tendência linear, exponencial ou polinomial). Ou seja, existe um grau de correspondência satisfatório entre os dados medidos (48 valores) e os simulados (conforme Figura II.2.21). Spangenberg *et al* (2008, p.10) obteve o de R^2 0,7478 para dados coletados em São Paulo, num total de 79 valores, durante observações na primavera. Carfan *et al* (2009) verificando a correlação encontrada com a verificação de tendência exponencial e polinomial, encontraram R^2 de 0,83 e 0,94 respectivamente.

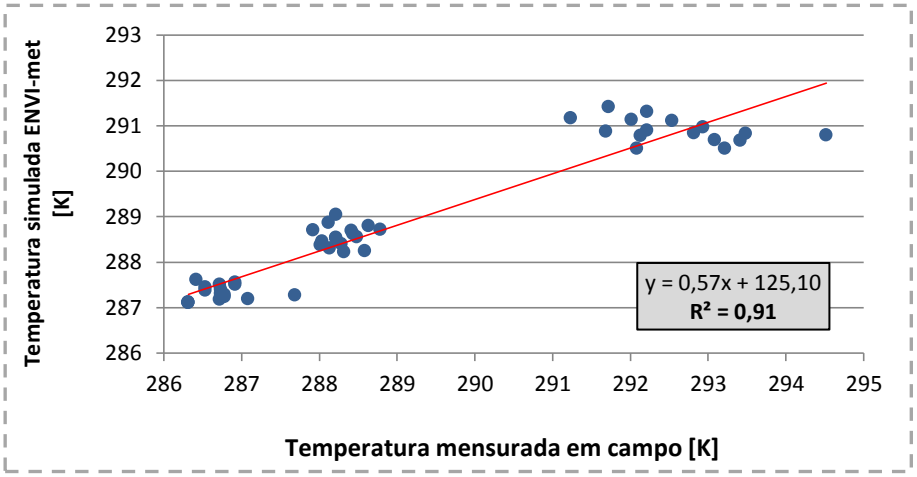


FIGURA II.2.21 – CORRELAÇÃO DADOS MONITORADOS x SIMULADOS (11/08/2011).
Fonte: O Autor (2014).

Avaliados também o grau de correspondência R^2 para os resultados de velocidade do ar, direção do vento e umidade relativa, verificou-se a inexistência de correspondência para a velocidade do ar (R^2=0,01) e uma correspondência muito baixa para a direção do vento (R^2=0,23) o que só reforça a observação *in loco*, na qual se constatou a forte influência do tráfego sobre a ventilação no cânion. Já a umidade relativa retornou uma melhor correspondência (R^2=0,62). Portanto, em virtude de tais resultados, os resultados relativos a temperatura recebem maior evidência nas análises.

Na Figura II.2.22 mostra o comportamento da média da temperatura, considerando os valores medidos e os valores simulados. A temperatura inicial simulada é mais elevada que a temperatura monitorada em 0,64^o C. Por outro lado, temperatura máxima simulada resultou 0,27^o C mais baixa e amplitude térmica também inferior, a amplitude média monitorada foi de 6,55^o C contra 3,79^o C do ENVI-met.

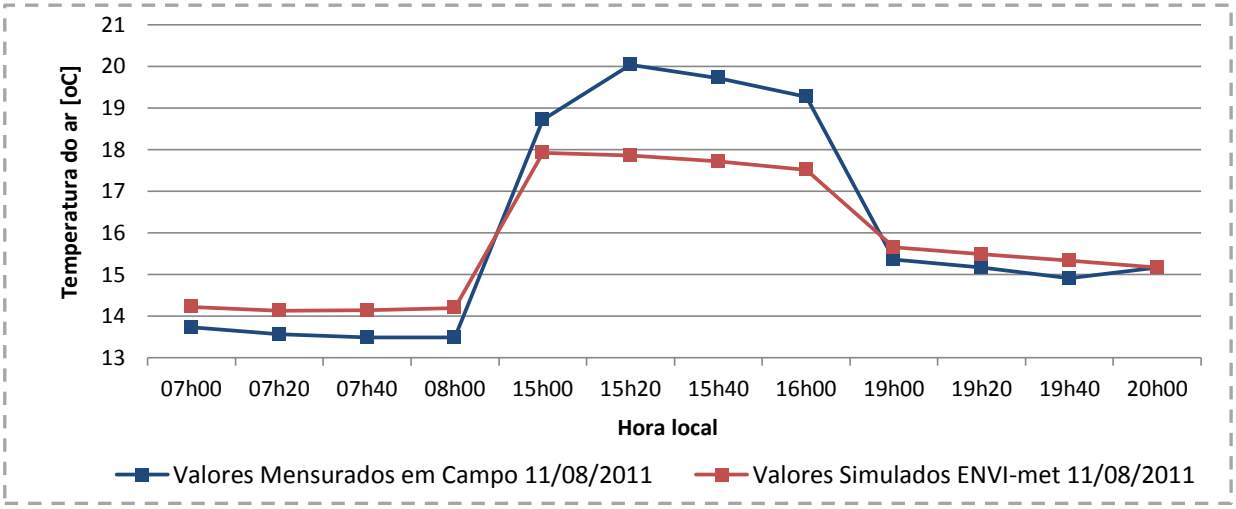


FIGURA II.2.22 – CURVA DE TEMPERATURA MONITORADA x SIMULADA (11/08/2011).
Fonte: O Autor (2014).

II.2.1.2.4. Cenário climático de 2011: resultados e discussão.

A simulação realizada pelo ENVI-met resultou valores compatíveis com aqueles levantados nos períodos de monitoramento de inverno e verão, mas com valores máximos e de amplitude mais baixos do que os verificados nos levantamentos em campo. A Tabela II.2.6 mostra esse cenário:

TABELA II.2.6 – VALORES SIMULADOS X VALORES COLETADOS EM CAMPO.

	TA MÍN. [^{O}C]	TA MÁX. [^{O}C]	TA MÉD. [^{O}C]	AMPLITUDE 07H-19H [^{O}C]
22/02/2011 - SIMULAÇÃO ENVI-MET	20,7	27,3	23,7	6,6
22/02/2011 - MONITORAMENTO	21,1	29,1	23,2	8,0
11/08/2011 - SIMULAÇÃO ENVI-MET	14,0	18,3	15,8	4,3
11/08/2011 - MONITORAMENTO	13,2	21,4	16,1	8,2

Fonte: O autor (2014).

Os valores mínimo e máximo simulados são inferiores àqueles medidos no verão, porém, a temperatura média é superior (23,7^{o} C simulados contra os 23,2^{o} C medidos), evidenciando o que se observa na Figura II.2.23: na simulação verifica-se a rápida elevação da temperatura, a qual permanece estável entre 10-14h começando a reduzir-se após as 16h00.

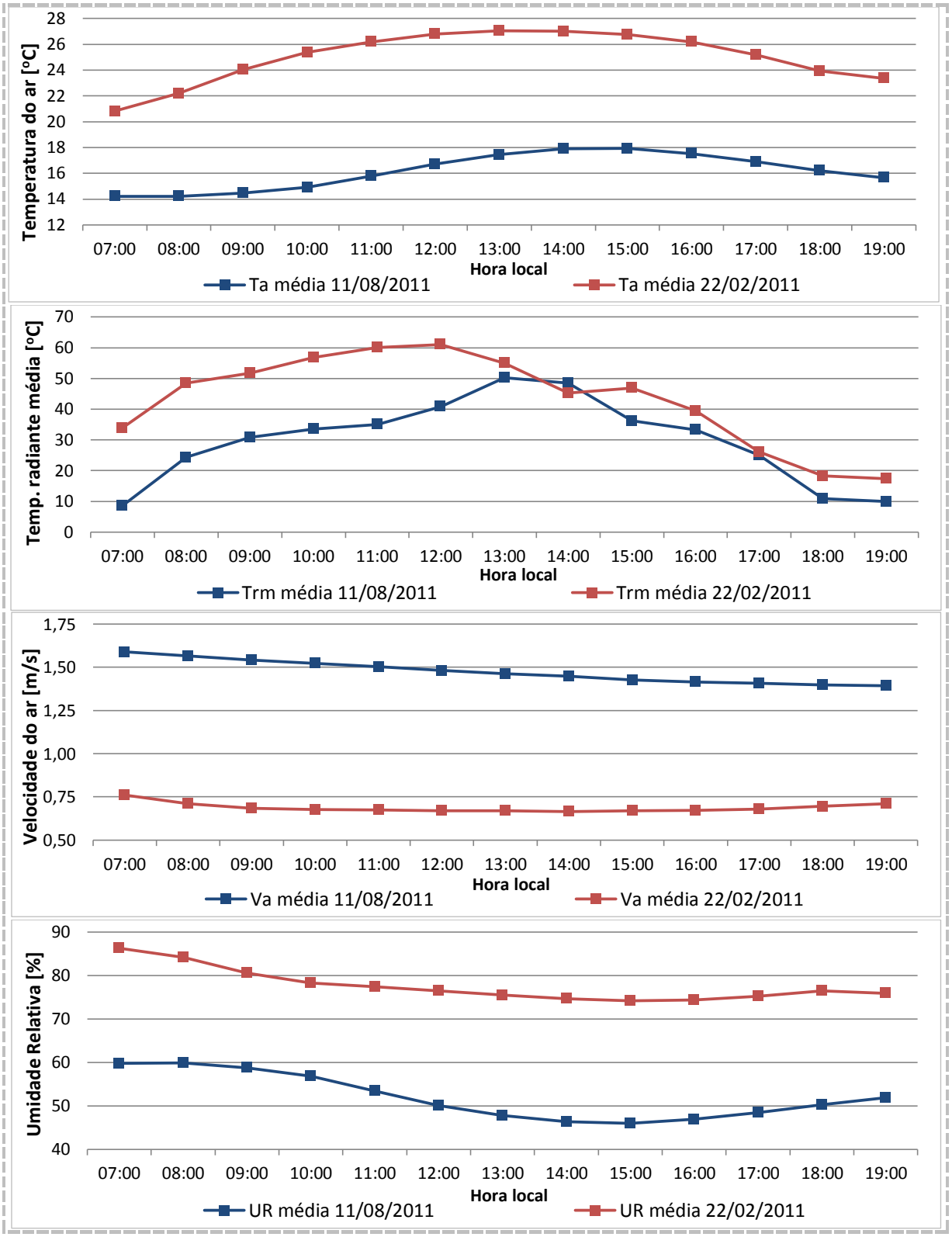


FIGURA II.2.23 – RESULTADO SIMULAÇÕES DO CENÁRIO DE 2011.
Fonte: O autor (2014).

A curva de temperatura do inverno, por outro lado, mostrou-se mais próxima da evolução típica da temperatura, certamente devido ao melhor grau de correlação e correspondência com os valores levantados. No verão, possivelmente o efeito da

reduzida velocidade do ar causa aquecimento do modelo e reduz a correlação e correspondência, gerando um patamar de temperaturas elevadas e não um pico de temperatura máxima diária.

No que diz respeito à UR, no dia 22/02 os valores médios simulados e medidos ficaram significativamente distintos, 74,7% e 69,3% respectivamente. Na simulação de 11/08, porém, os valores são ainda mais divergentes, o valor monitorado é 73,8% e o simulado de 53,0%, conforme apresentado na Tabela II.2.7.

Por fim, a velocidade média do ar, simulada no dia 22/02 é cerca de 30% superior àquela aferida no monitoramento (0,8 m/s monitorados e 1,1 m/s simulados). Em 11/08, porém, os valores simulados são aproximadamente 50% menores que os valores monitorados. O valor médio monitorado de 0,8 m/s contra os 1,5 m/s simulados, na Tabela II.2.7 estão quantificados valores mínimos, máximos e médios.

TABELA II.2.7 – UR e Va: VALORES SIMULADOS X VALORES COLETADOS EM CAMPO.

	UR MÍN. [%]	UR MÁX. [%]	UR MÉD. [%]
22/02/2011 - SIMULAÇÃO ENVI-MET	71,4	79,4	74,7
22/02/2011 - MONITORAMENTO	50,0	87,0	69,3
11/08/2011 - SIMULAÇÃO ENVI-MET	44,0	60,8	53,0
11/08/2011 - MONITORAMENTO	47,4	100,0	73,8
	VA MÍN. [M/S]	VA MÁX. [M/S]	VA MÉD. [M/S]
22/02/2011 - SIMULAÇÃO ENVI-MET	0,5	2,1	1,1
22/02/2011 - MONITORAMENTO	0,0	4,3	0,8
11/08/2011 - SIMULAÇÃO ENVI-MET	0,6	2,7	1,5
11/08/2011 - MONITORAMENTO	0,0	5,0	0,8

Fonte: O autor (2014).

No cenário obtido a partir da simulação de verão, 22/02/2011, observa-se temperaturas moderadamente elevadas (entre 21 e 28^{o}C), umidade alta (71 a 80%) especialmente no início e final do período simulado, baixa velocidade do ar (entre 0,5 a 2,1 m/s), além de temperatura radiante média acima dos 60^{o}C no período mais quente do dia, condicionantes esses que somados contribuem para a conformação períodos de desconforto por calor, de forte a moderado.

II.2.1.3. O conforto térmico em 2011: condições de inverno e verão.

O *Universal Thermal Comfort Index* (UTCI) foi elaborado com base no modelo termorregulatório multinodal desenvolvido por Fiala, Lomas e Stohrer. (1999, 2001, 2003, 2007) e Fiala *et al.* (2011) que consideram (ROSSI *et al.*, 2012, p.43):

1) O comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico a partir de estudos de campo desenvolvidos na Europa;
2) A distribuição da roupa em diferentes partes do corpo; e
3) A redução da resistência térmica e evaporativa da roupa causada pelo vento e pelo movimento da pessoa andando a 4 km/h em superfície plana.

Segue o conceito da temperatura equivalente e apresenta para o ambiente de referência as seguintes definições: 50% de umidade relativa (com pressão de vapor não excedendo 20 hPa); temperatura do ar igual a temperatura radiante média; e, velocidade do vento de 0,5 m/s, medida a 10m de altura. Sendo essa resultante da combinação de variáveis climáticas como vento, radiação, umidade e temperatura do ar (BRÖDE *et al*., 2009, 2012):

1) 50% de umidade relativa (com pressão de vapor não excedendo 20 hPa);
2) Temperatura do ar (Ta) igual a temperatura radiante média (Trm); e
3) Velocidade do vento de 0,5 m/s, medida a 10 m de altura.

A partir dos dados obtidos pelas simulações do cenário climático para 2011, foram então calculados os valores de temperatura equivalente UTCI para as condições de verão e inverno, os quais são apresentados pela Figura II.2.24.

Da observação da Temperatura Equivalente UTCI, percebe-se que em 2011 o maior problema em termos de Conforto Térmico em espaços abertos, concentra-se no verão. Isso se verifica tanto em número de horas situadas nas faixas de moderado e forte estresse para o calor, que vão das 08h00 as 17h00. Nos horários de 08h00, 16h00 e 17h00 o desconforto concentra-se na faixa de intensidade moderada, porém, no período entre 09h00 e 15h00 permanece na faixa de forte estresse para o calor, na qual a temperatura equivalente varia de 32 a 38^{o} C.

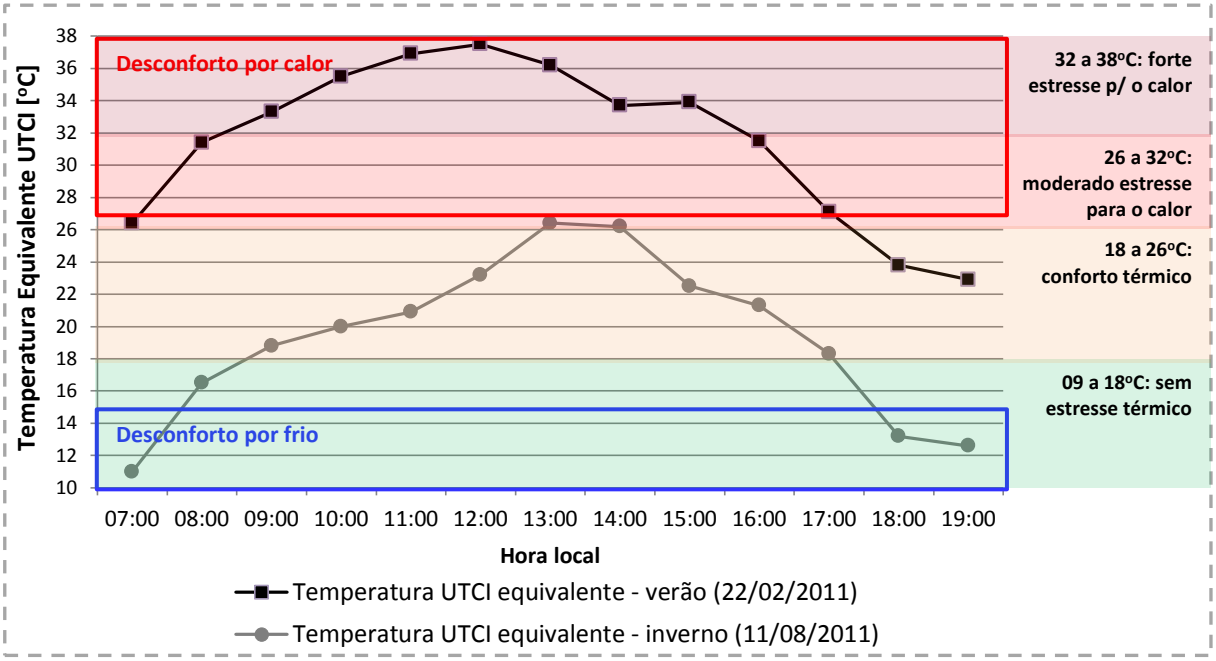


FIGURA II.2.24 – CENÁRIO DE CONFORTO TÉRMICO URBANO PARA 2011.
Fonte: O autor (2014).

Nesse sentido, segundo Rossi *et al.* (2012, p.56), os resultados mostram que, no inverno o período entre 08h00 e 17h00 há conforto térmico e, somente no horário das 07h00 há desconforto por frio e, no verão, entre 09h00 e 17h00 há desconforto por calor, visto que em avaliação do conforto térmico no ambiente urbano curitibano feita pelos autores, chegou-se a conclusão que:

1) Desconforto por frio ocorre predominantemente para valores de temperatura do ar e temperatura UTCI equivalente de até 15ºC;
2) A faixa de conforto definida por valores de temperatura do ar entre 15 e 24ºC e de temperatura UTCI equivalente entre 15 e 27ºC; e,
3) Desconforto para o calor ocorre predominantemente para valores de temperatura do ar acima de 24ºC e temperatura UTCI equivalente acima de 27ºC;

II.2.2. CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO FUTURO EM SITUAÇÃO DE AQUECIMENTO GLOBAL.

Considerando os cenários do ano de 2011 para o clima e o conforto urbano em espaços abertos, assim como o prognosticado aquecimento global relatado pelo IPCC (2007; 2013), fez-se então a investigação de cenários futuros do clima e do conforto térmico. Somando-se 25 e 50 anos ao cenário de 2011 (horizonte de 2036 e 2061

respectivamente), considerou-se o prognóstico de evolução de ocupação das quadras do recorte espacial estudado, o qual foi confrontado com valores de aumento da temperatura média propostos pelo IPCC. Essas previsões foram utilizadas, então, para conformar os cenários futuros para investigação dos impactos espacial e temporal (consolidação da tipologia edificada e do cenário climático futuro).

II.2.2.1. Cenários futuros de ocupação da área de estudo: anos de 2036 e 2061.

II.2.2.1.1 Cenários de consolidação da ocupação.

Nos últimos 15 anos os planejadores urbanos vêm trabalhando no sentido de mitigar os efeitos das mudanças climáticas em Curitiba, mediante alterações nos parâmetros propostos para os diferentes zoneamentos: definição de percentual mínimo de permeabilidade no lote, controle da relação entre altura e afastamento das divisas, além de medidas complementares para a coleta e reaproveitamento das águas de chuva ou a previsão de cisternas de contenção de cheias quando não atendida a permeabilidade mínima do lote.

O crescimento demográfico de Curitiba situa-se no patamar de 1,0%, foi de 1,1% o percentual constatado pelo Censo 2010 (IBGE, 2010) e deverá manter-se estacionado ou com tendência de queda para os próximos anos. O bairro do Batel tem registrado redução na população residente, em 2000 o total de habitantes era de 11.778 e no Censo 2010 foram contados 10.878 habitantes e com previsão de crescimento de 0,94% para a década 2030, atingindo valor de população de 10.246 (IPPUC, 2013a) possivelmente devido ao crescente processo de substituição de imóveis residenciais por edifícios destinados ao comércio e serviços. Esses, de acordo com o Guia do Investidor (PMC, 2012, p.117) tem apresentado crescimento mais expressivo em número de unidades: o número de unidades comerciais entregues no período 2010-2011 foi de 52,8%, contra 35,3% relativos às unidades habitacionais.

De acordo com dados de crescimento na aprovação de imóveis em Curitiba, no período 2006-2008 o Bairro Batel apresentou 1,59% de crescimento (IPPUC, 2013b). Os bairros de maior crescimento, Sítio Cercado e Água Verde, apresentaram para o mesmo período, crescimento na ordem de 4,82% e 4,29% respectivamente. Considerando o papel do Metrô como indutor do crescimento, utilizando-se a taxa de

0,795% ano naquele período, poderia se estimar um acréscimo de 19,875% no período de 25 anos.

Nesse sentido, o recorte espacial analisado, inserido no Setor Especial Estrutural, deverá sofrer expansão da tipologia edificada típica do zoneamento vigente, tendendo à consolidação total nos próximos 50 anos. Cenário esperado quando considerado o grau de consolidação da área de 67%, atingido ao longo dos últimos 40 anos, visto que a implantação do Eixo Estrutural Norte-Sul remonta ao início dos anos 1970. Na Figura II.2.25 vê-se a área de estudo e vizinhança imediata com sua atual ocupação, edificações classificadas pela sua altura, partindo dos edifícios de 1 e 2 pavimentos em azul, chegando aos edifícios acima de 21 pavimentos em vermelho.

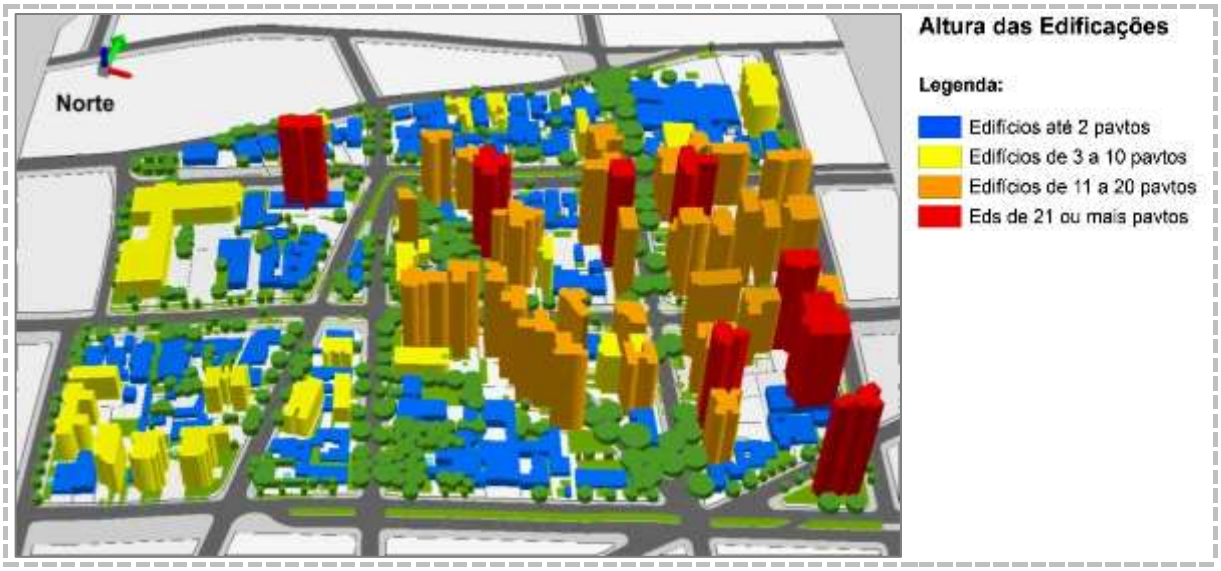


FIGURA II.2.25 - TIPOLOGIA EDIFICADA E GRAU DE CONSOLIDAÇÃO DA QUADRA EM 2011.
Fonte: O autor (2012).

Desta forma, a ocupação futura das quadras do Setor Especial Estrutural junto ao metrô, em face do adensamento e verticalização permitidos pela legislação, deverá conduzir a um cenário de maior massa edificada, maior sombreamento no nível do térreo (ruas, calçadas e jardins), além da redução nas horas de insolação direta que incidirá nos andares inferiores dos edifícios.

Pelo levantamento de 2011 o número de terrenos com edificações de 1 e 2 pavimentos é de 12 num total de 36 lotes (Figura II.2.26). Considerando a existência de uma habitação de interesse de preservação existente na área (esquina da Avenida Visconde de Guarapuava com a Rua Bruno Filgueiras) são 11 terrenos que poderão receber novas torres. Destes, alguns possuem largura muito reduzida, de

10 a 12 metros, e só oferecem viabilidade para implantação de torres se unificados conformando uma largura de 20 metros ou pouco mais.

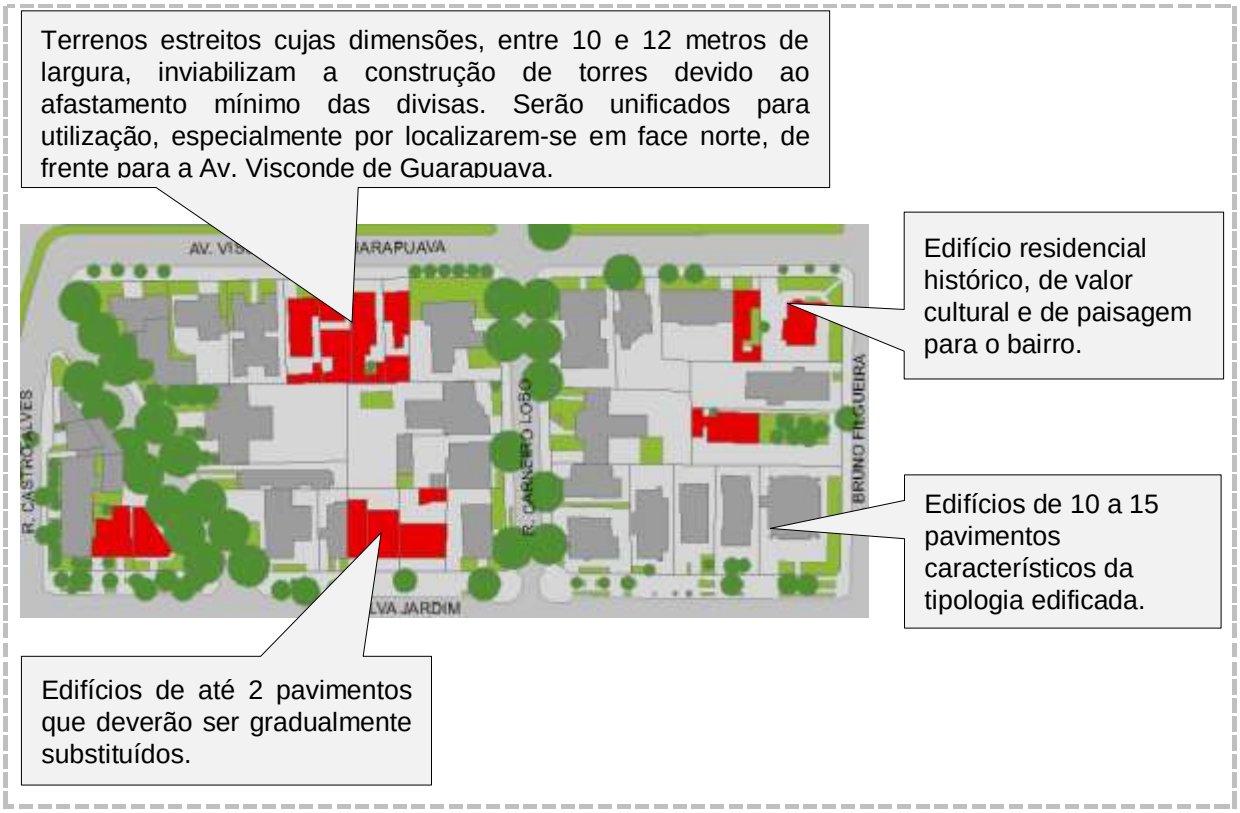


FIGURA II.2.26 – TERRENOS CONSOLIDADOS X NÃO CONSOLIDADOS.
Fonte: O Autor (2014).

Considerando a taxa de crescimento da área construída na ordem de 20% para os próximos 25 anos, com base nos dados do IPPUC (2013), a área construída atual de cerca de 43.000 m^2 [36], representaria um crescimento de cerca de 8.600,00 m^2 chegou-se ao cenário de ocupação de 2036. Seriam utilizados para a expansão, cinco terrenos dos 11 atualmente disponíveis, porém, devido à existência de lotes estreitos serão edificadas mais 4 torres (Figura II.2.27). Esse número de terrenos, considerado o coeficiente de aproveitamento da área que é de 4 vezes a área do terreno para determinação da área computável, chegando a 5 vezes aproximadamente quando consideradas áreas como subsolos, áticos, etc., garantiria o crescimento estimado.

[36] Área construída estimada em 2011: 24 lotes consolidados na área do recorte espacial, com área do lote de 360,00 m^2 para a zona de uso e ocupação do solo e coeficiente de aproveitamento de 4 que resulta numa área construída total de 5 vezes a área do lote. Área construída 2011 = [(24 lotes x 360,00 m^2) x 5] = aprox.. 43.000 m^2.

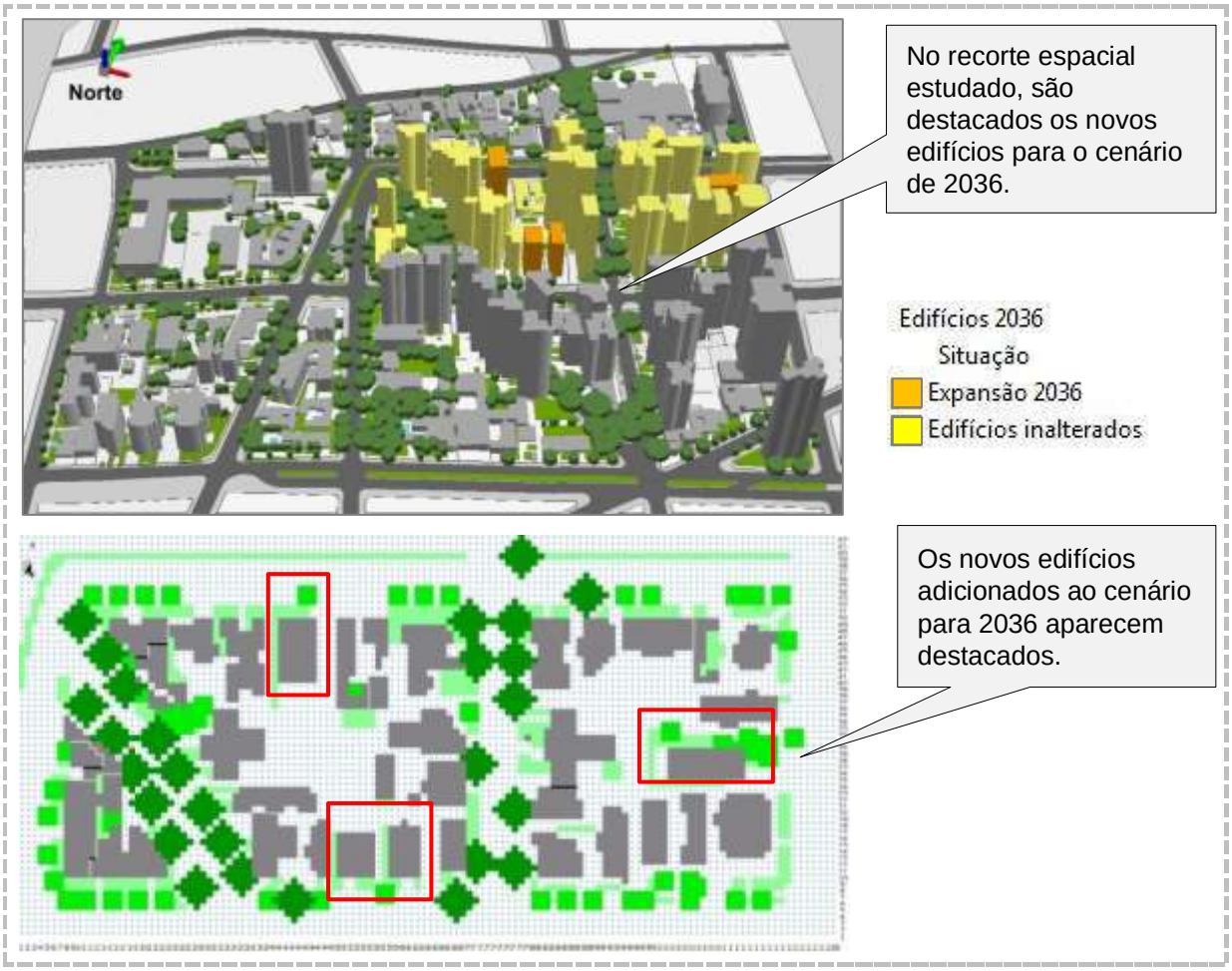


FIGURA II.2.27 - CENÁRIO FUTURO 2036 (2011 + 25 ANOS).
Organização: O Autor (2014).

Para o ano de 2061, aplicada a mesma taxa de crescimento, o aumento na área construída chegaria ao valor de aproximadamente 10.000 m^2, porém, se considerada a redução do crescimento de cerca de 5% pelo IPPUC para a década 2020-2030, a área de ampliação poderia ser de aproximadamente 9.500 m^2.

Para acomodar tal crescimento, considerando os últimos terrenos remanescentes e sua área total (1.880,00 m^2), seriam necessários quatro dos cinco terrenos ainda disponíveis ou talvez todos os cinco. Para efeitos dessa pesquisa, optou-se por considerar a desaceleração no crescimento e pela utilização de 4 lotes. Porém, devido à existência de dois lotes estreitos, os quais também não permitiram a construção de torres, seriam edificadas somente mais 3 torres (Figura II.2.28), as quais podem somar área construída de cerca de 9.000 a 9.500 m2.

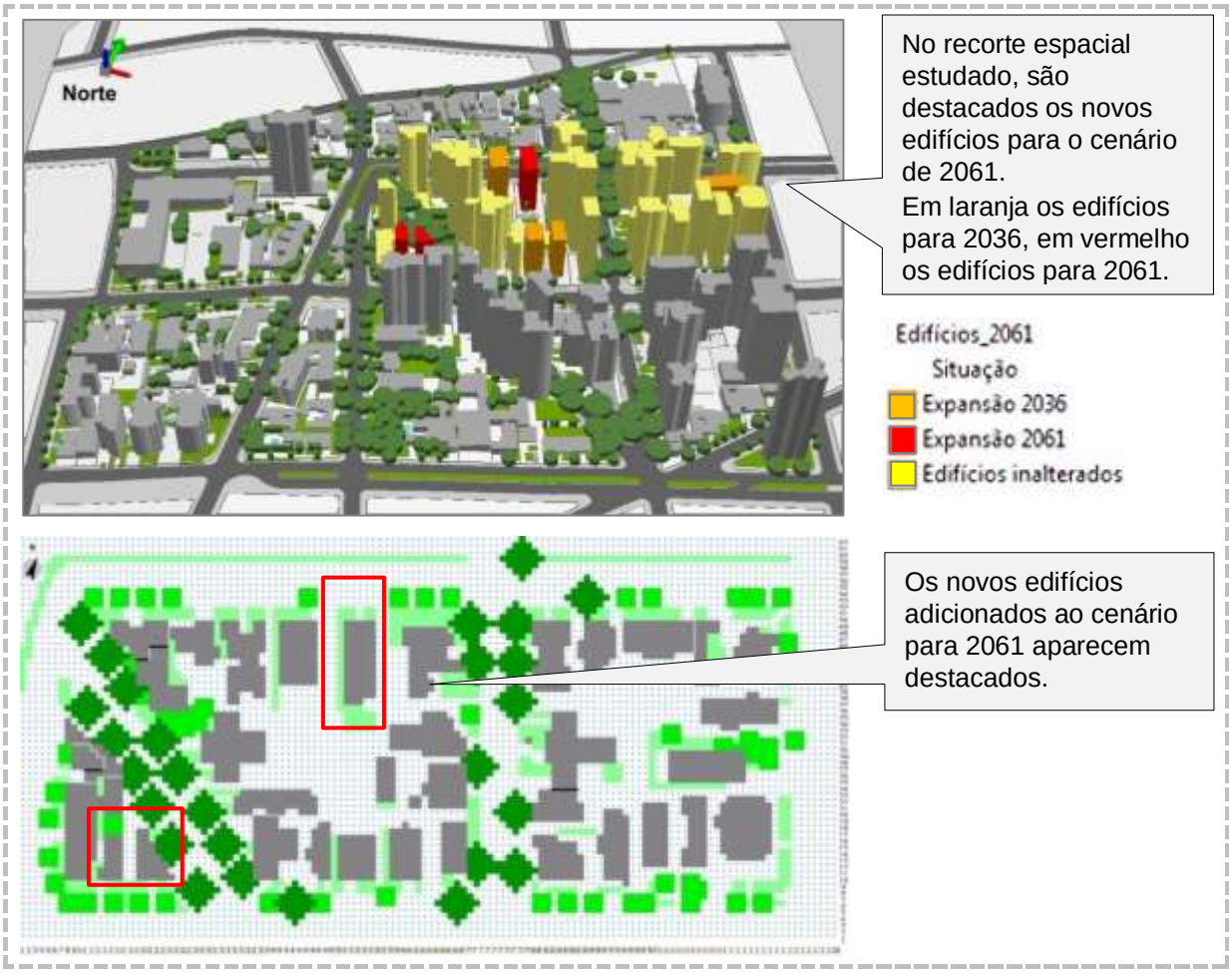


FIGURA II.2.28 - CENÁRIO FUTURO 2061 (2011 + 50 ANOS).
Organização: O Autor (2014).

Os cenários projetados para 2036 e 2061 resultam no aumento da relação H/W, passando de 0,96 em 2011 para 1,1 e 1,2 em 2036 e 2061 respectivamente. (Figuras II.2.29 e II.2.30).

FIGURA II.2.29 – PERFIL CENÁRIO 2036 COM H/W = 1.1.
Organização: O Autor (2014).

Embora o aumento nos valores de rugosidade, a área ainda pode ser classificada na classe de rugosidade 7 da zona climática 3, talvez enquadrando-se na zona climática 2 se a permeabilidade reduzir-se abaixo dos 25%, hoje o mínimo

solicitado pela legislação vigente, mas o que pode ocorrer em face da possibilidade de utilização do mecanismo de contenção de cheias[37].

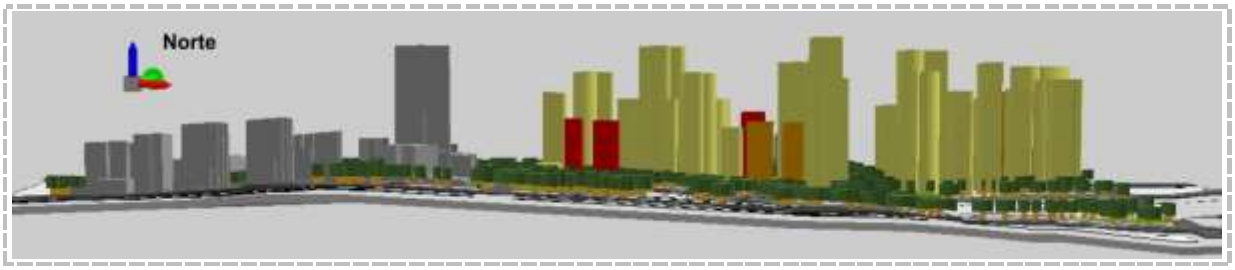


FIGURA II.2.30 - PERFIL CENÁRIO 2061 COM H/W = 1.2.
Organização: O Autor (2014).

II.2.2.1.2 Cenários de elevação das temperaturas médias.

Com base nos cenários simulados e modelos de área construídos, foram configurados os parâmetros para simulação dos dois cenários de aquecimento da temperatura média, considerando os horizontes prognosticados pelo IPCC (2013, AI-37) para a América do Sul, mais especificamente na área de Curitiba, em duas situações:

1) Cenário de elevação da temperatura média para o período 2016-2035 com base no período 1986-2005 pode variar de 0,5^{o} C a 1,5^{o} C, segundo três casos:
   - Percentil 25%: aumento de 0,0^{o} C a 0,5^{o} C;
   - Percentil 50%: aumento de 0,5^{o} C a 1,0^{o} C;
   - Percentil 75%: aumento de 1,0^{o} C a 1,5^{o} C.

Foram considerados os percentis de 50% e 75% fornecendo matematicamente o valor de acréscimo à temperatura média com base no ano de 2011. Supôs-se, então, a elevação anualmente constante da temperatura para atingir o valor máximo proposto para cada percentil (1,0^{o} C e 1,5^{o} C). No primeiro caso, para o ano de 2036, são 36 anos a partir do período de referência 1986-2005, porém 30 anos a partir de 2011 e, portanto, proporcionalmente a elevação na média para 2036 seria de 0,83^{o} C para o percentil 50% e de 1,25^{o} C para o percentil 75%, valores esses acrescidos à temperatura média de 2011 para simulação dos cenários urbanos futuros.

2) Cenário de elevação da temperatura média para o período 2046-2065 com base no período 1986-2005 pode variar de 1,0^{o} C a 2,0^{o} C, para Curitiba:

[37] PMC, Decreto 176/2007, que dispõe sobre os critérios para implantação de mecanismos de contenção de cheias.

- Percentil 25%: aumento de 1,0^{o} C a 1,5^{o} C;
- Percentil 50%: aumento de 1,0^{o} C a 1,5^{o} C;
- Percentil 75%: aumento de 1,5^{o} C a 2,0^{o} C.

Do mesmo modo que para o caso de 2036, foram considerados os percentis de 50% e 75%, e, proporcionado matematicamente o valor de acréscimo à temperatura média com base no ano de 2011. Supôs-se, então, a elevação anualmente constante da temperatura para atingir o valor máximo proposto para cada percentil (1,5^{o} C e 2,0^{o} C). Nesse caso, para o ano de 2061, são 60 anos a partir do período de referência 1986-2005, porém 50 anos a partir de 2011 e, portanto, proporcionalmente a elevação na média para 2061 seria de 1,25^{o} C e de 1,67^{o} C respectivamente, valores esses acrescidos à temperatura média de 2011 para simulação dos cenários urbanos futuros.

II.2.2.2. Simulação das condições climáticas para os anos de máximas, médias, e cenários para 2036 e 2061 em inverno e verão.

A partir dos novos cenários projetados (*Area Input File*) foram gerados os arquivos de configuração da simulação (*Config File*), nos quais foram alterados apenas os valores de temperatura, com o acréscimo dos valores de temperatura obtidos para 2036 e 2061, considerando os percentis 50% e 75%. Os parâmetros de configuração para execução dos modelos são mostrados nos Quadros II.2.5 para situação de verão (22/02/2011) e II.2.6 para situação de inverno (11/08/2011). Foram configurados 6 arquivos de parâmetros de simulação, assim como dois arquivos de modelo (*Area Input File*) contendo os cenários de ocupação dos terrenos da área de estudo para os anos de 2011, 2036 e 2061 (Figuras II.2.17 e II.2.28), assim denominados:

1) Condições de verão (Quadro II.2.5 e Figura II.2.40)
   - V2036_A: modelo de área 2036 e temperatura do percentil 50% somada ao valor da temperatura inicial do dia 22/02/2011;
   - V2036_B: modelo de área 2036 e temperatura do percentil 75% somada ao valor da temperatura inicial do dia 22/02/2011;
   - V2061_A: modelo de área 2061 e temperatura do percentil 50% somada ao valor da temperatura inicial do dia 22/02/2011;
   - V2061_B: modelo de área 2061 e temperatura do percentil 75% somada ao valor da temperatura inicial do dia 22/02/2011;

- MAXMED: modelo de área 2011, variáveis climáticas pelo valor médio das temperaturas máximas (19,9°C em fevereiro ou 22,7°C anual, segundo Mendonça e Danni-Oliveira [2007, p. 181]);
- MAXABS: modelo de área 2011, variáveis climáticas pelo valor máximo absoluto registrado em 1985 de 35,2°C (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007, p. 181);

ITENS DO ENVI-MET CONFIGURATION EDITOR	PARÂMETROS ADOTADOS NA SIMULAÇÃO DE ESTUDO DE CASO
CONDIÇÕES PARA SIMULAÇÃO DE VERÃO (22/02/2011)	
Start simulation day	22/02/2011
Start simulation at time	04:00:00
Start simulation time (hours)	24
Save model each	60 min
Wind speed 10m above ground	1,6
Wind direction	0
Roughness lenght z0 at reference point	1,1 (2036); 1,2 (2061)
Initial temperature atmosphere (K)	297,33 (2036-A); 297,25 (2036-B)
	297,25 (2061-A); 297,67 (2061-B)
	300,35 (MAXABS); 287,85 (MAXMED)
Specific humidity in 2.500 (g/Kg)	8,3
Relative humidity in 2m	90
Solar Adjust	1,0
Time steps	Sun height for switching dt(0) -> dt(1) = 40
	Sun height for switching dt(1) -> dt(2) = 50
	Time step (s) for interval 1 dt(0) = 5.0
	Time step (s) for interval 2 dt(1) = 3.0
	Time step (s) for interval 3 dt(2) = 1.0
Building properties	Temperatura interna = 293 K
	Condutância térmica das paredes – 1,94 W/m2 k**
	Condutância térmica da cobertura – 3,3 W/m2 k
	Albedo paredes = 0,4
	Albedo cobertura = 0,3
Receptors	Salvamento dos dados a cada 20 minutos

QUADRO II.2.5 – PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO SIMULAÇÃO ENVI-met (22/02/2011).

2) Condições de inverno (Quadro II.2.6 e Figura II.2.39)
   - I2036_A: modelo de área 2036 e temperatura do percentil 50% somada ao valor da temperatura inicial do dia 11/08/2011;
   - I2036_B: modelo de área 2036 e temperatura do percentil 75% somada ao valor da temperatura inicial do dia 11/08/2011;

- I2061_A: modelo de área 2061 e temperatura do percentil 50% somada ao valor da temperatura inicial do dia 11/08/2011;
- I2061_B: modelo de área 2061 e temperatura do percentil 75% somada ao valor da temperatura inicial do dia 11/08/2011;
- MINMED: modelo de área 2011, variáveis climáticas pelo valor médio das temperaturas mínimas, 12,2^{o}C (Mendonça e Danni-Oliveira 2007, p. 181);
- MINABS: modelo de área 2011, variáveis climáticas pela temperatura mínima absoluta registrada (-5,2^{o}C em junho de 1978, conforme Mendonça e Danni-Oliveira [2007, p. 181]).

ITENS DO ENVI-MET CONFIGURATION EDITOR	PARÂMETROS ADOTADOS NA SIMULAÇÃO DE ESTUDO DE CASO
CONDIÇÕES PARA SIMULAÇÃO DE INVERNO (11/08/2011)	
Start simulation day	11/08/2011
Start simulation at time	06:00:00
Start simulation time (hours)	24
Save model each	60 min
Wind speed 10m above ground	2,42
Wind direction	102,5
Roughness lenght z0 at reference point	1,1 (2036); 1,2 (2061)
Initial temperature atmosphere (K)	284,33 (2036-A); 284,75 (2036-B)
	284,75 (2061-A); 285,17 (2061-B)
	267,95 (MINABS); 283,95 (MINMED)
Specific humidity in 2.500 (g/Kg)	5,53
Relative humidity in 2m	87,46
Spatial Adjustment	0,9
Time steps	Sun height for switching dt(0) -> dt(1) = 40
	Sun height for switching dt(1) -> dt(2) = 50
	Time step (s) for interval 1 dt(0) = 5.0
	Time step (s) for interval 2 dt(1) = 3.0
	Time step (s) for interval 3 dt(2) = 1.0
Building properties	Temperatura interna = 293 K
	Condutância térmica das paredes – 1,94 W/m2 k**
	Condutância térmica da cobertura – 3,3 W/m2 k
	Albedo paredes = 0,4
	Albedo cobertura = 0,3
Receptors	Salvamento dos dados a cada 20 minutos

QUADRO II.2.6 – PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO SIMULAÇÃO ENVI-met (11/08/2011).

Depois de processadas as simulações e tabulação dos resultados, os cenários encontrados são mostrados nas Figuras II.2.31 e II.2.32, nas quais mostradas as curvas de evolução das variáveis climáticas: Ta, Trm, Va e UR.

Nas simulações de inverno (I2036_A e B, I2061_A e B, Mínimas médias e Mínimas absolutas) observa-se a elevação mais significativa da Ta a partir das 11h00, quando a radiação solar torna-se mais forte, elevando a Trm dos 30-35^{o} C para 50-60^{o} C e faz com que a temperatura do ar passe dos16^{o} C para os 19^{o} C no horário mais quente (14h00), então, reduzindo-se gradualmente a partir das 15h00 e mais expressivamente após as 17h00 quando se aproxima o pôr do sol, o qual ocorre aproximadamente as 17h50 no dia 11 de agosto. A exceção a esse comportamento é a simulação com base na Ta mínima absoluta histórica - MINABS, pois nessa, embora a Trm desenvolva-se de modo similar as outras simulações, a Ta varia de 5^{o} C (07h00) para 3^{o} C (19h00) atingindo o valor máximo às 14h00 com 6^{o} C.

Na Va observa-se um desenvolvimento divergente para as simulações de 2061, em todas as simulações a Va decresce gradualmente desde o início da manhã (07h00) caindo dos 1,6 m/s e estabilizando-se apenas o final da tarde (18h00), quando atinge 1,4 m/s. Porém, no caso das simulações para o ano de 2061 a Va mantém-se praticamente estável, por volta de 1,6 m/s, durante todo o período simulado (07h00-19h00) variando menos de meio décimo (1,62 - 1,58 m/s), atingindo seu menor valor justamente no horário mais quente do dia (14h00). As simulações para 2061 mostram a influência da consolidação da tipologia edificada sobre a ventilação no microclima, promovendo um aumento na velocidade em relação às demais simulações.

No caso da UR todas as simulações, exceto a simulação usando o valor mínimo absoluto histórico, apresentam o mesmo comportamento. Iniciam-se as 07h00 em 60% decrescendo para 40-45% entre 12h00 e 17h00, voltando a elevar-se a partir das 18h00. Todavia, no caso da simulação do valor mínimo absoluto histórico – MINABS - observa-se apenas sua elevação, das 07h00 as 11h00 sobre de 85% para 95%, mantém-se estável até 16h00 e atinge os 100% a partir das 18h00.

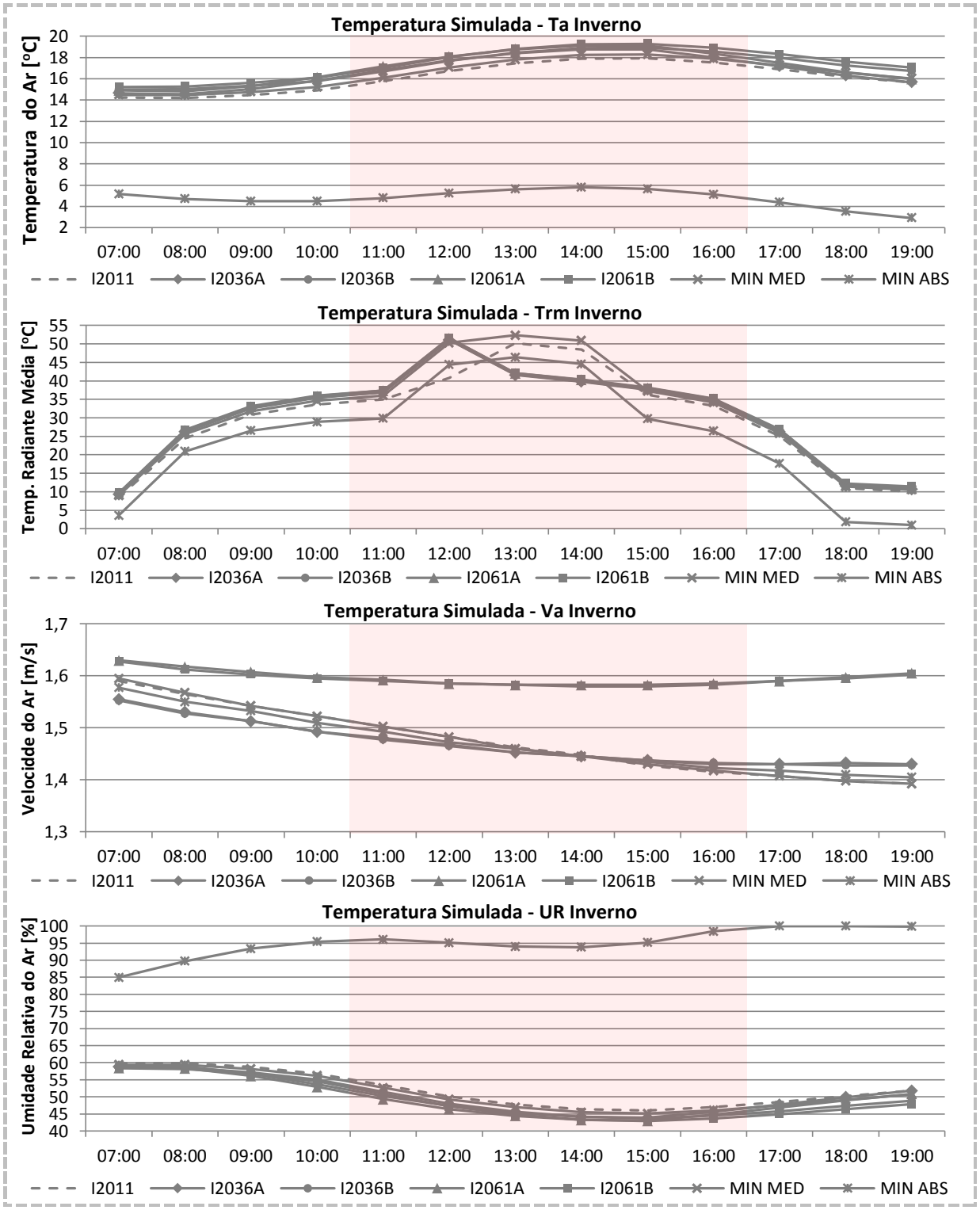


FIGURA II.2.31 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS INVERNO (11/08/2011).
Fonte: O Autor (2014).

Observa-se que conjuntamente com o aumento no valor das temperaturas Ta e Trm, dá-se a queda no valor da UR, a qual torna a elevar-se novamente à medida em que Ta e Trm se reduzem.

Nas simulações de verão (V2036_A e B, V2061_A e B, Máximas médias e Máximas absolutas) observa-se a elevação constante da Ta a partir das 07h00 (08h00 considerando o horário de verão), quando a radiação solar sofre incremento, elevando a Trm dos 30-35^{o} C para 50-60^{o} C e faz com que a temperatura do ar passe dos 22^{o} C (07h00) para os 28^{o} C no horário mais quente (13h00-14h00). A partir das 16h00 a Ta reduz-se gradualmente a e mais expressivamente após as 18h00 quando se aproxima o pôr do sol, o qual ocorre aproximadamente as 18h50 (19h50 considerando o horário de verão) no dia 22 de fevereiro.

A exceção a esse comportamento é a simulação com base na Ta máxima média histórica - MAXMED, pois nessa simulação é utilizada a média histórica cujos valores são inferiores aos das demais simulações. Embora a Trm evolua em valores próximos às demais simulações, a Ta desenvolve-se num patamar de valores inferior. A Ta varia de 16^{o} C (07h00) para 18^{o} C (19h00) atingindo o valor máximo das 13h00 às 14h00 com 21^{o} C. Nesse caso os valores observados são significativamente inferiores aos valores para 2011 ou 2061, tanto pela consolidação da tipologia edificada e sombreamento que atenua as temperaturas (2061), como pela Ta média que não incorporou a elevação futura prevista (2011).

Na Va observa-se um desenvolvimento bastante semelhante em todas as simulações, nas quais a Va decresce gradualmente desde o início da manhã (07h00) e estabiliza-se apenas o final da tarde (16h00) voltando a aumentar a partir das 17h00. Porém, no caso da simulação máxima média a Va apresenta valores superiores às outras simulações e queda constante, indo dos 0,9 m/s as 07h00 para 0,76 as 19h00. As demais simulações apresentam valor inicial dentre 0,75 e 0,8 m/s, mostram queda de cerca de meio décimo entre 07h00 e 10h00, estabilizam-se das 11h00 às 16h00 e voltam a elevar-se após as 17h00 em cerca de meio décimo.

No caso da UR todas as simulações, exceto a simulação usando o valor máximo médio histórico, apresentam o mesmo comportamento. Iniciam-se as 07h00 em 85% decrescendo para 72% entre 14h00 e 16h00, voltando a elevar-se a partir das 17h00 para 74 e 76%. Todavia, no caso das simulações da temperatura máxima média histórica observa-se apenas sua elevação, das 07h00 as 11h00 sobre de 85% para 88%, mantém-se estável até 16h00 e atinge os 90% a partir das 18h00.

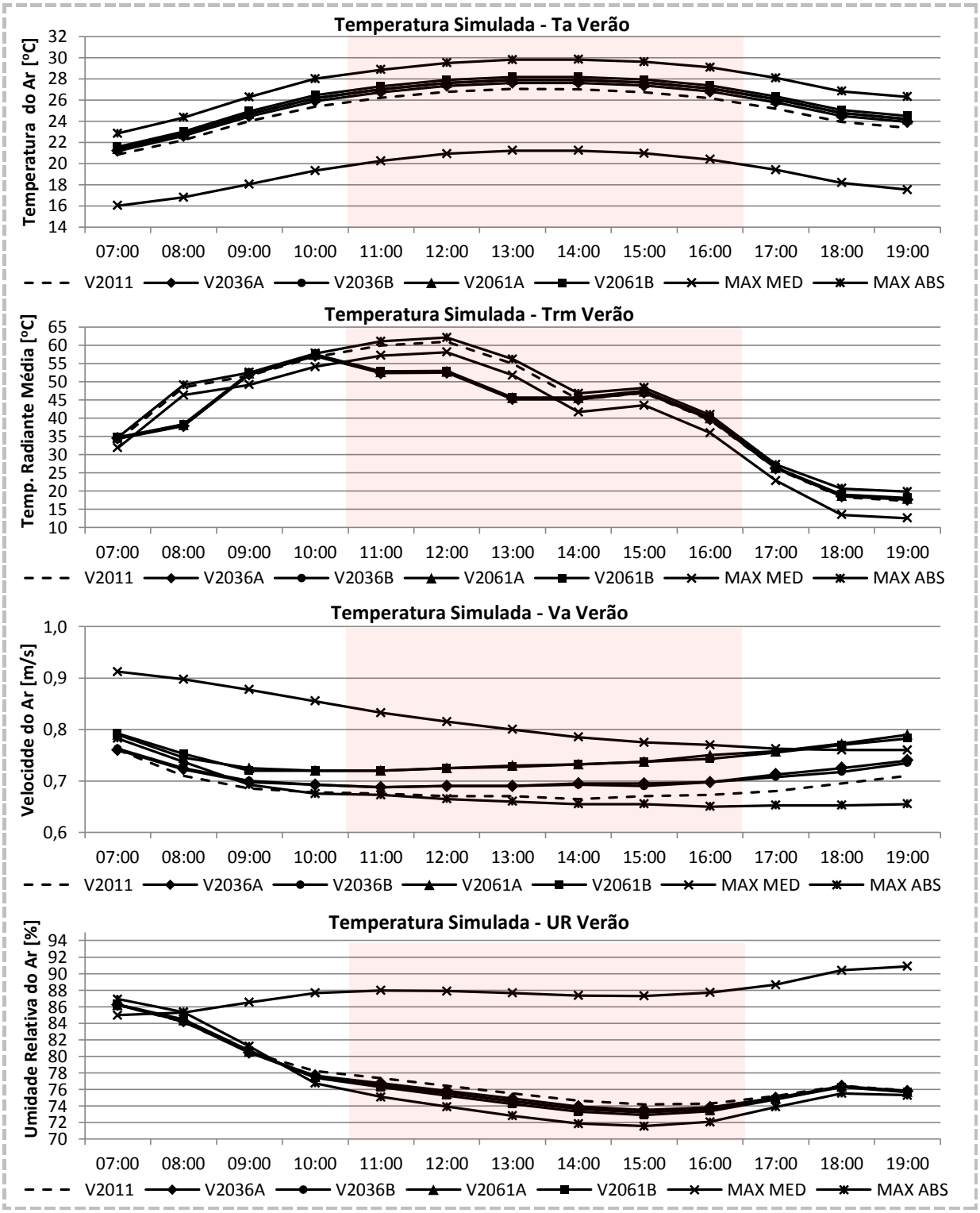


FIGURA II.2.32 – CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FUTURAS VERÃO (22/02/2011).
Fonte: O Autor (2014).

II.2.2.3. O conforto térmico nos anos de 2036 e 2061: condições de inverno e verão.

Uma vez calculada a temperatura equivalente UTCI para cada simulação, observa-se (Figura II.2.33) apenas desconforto por frio nas simulações de inverno.

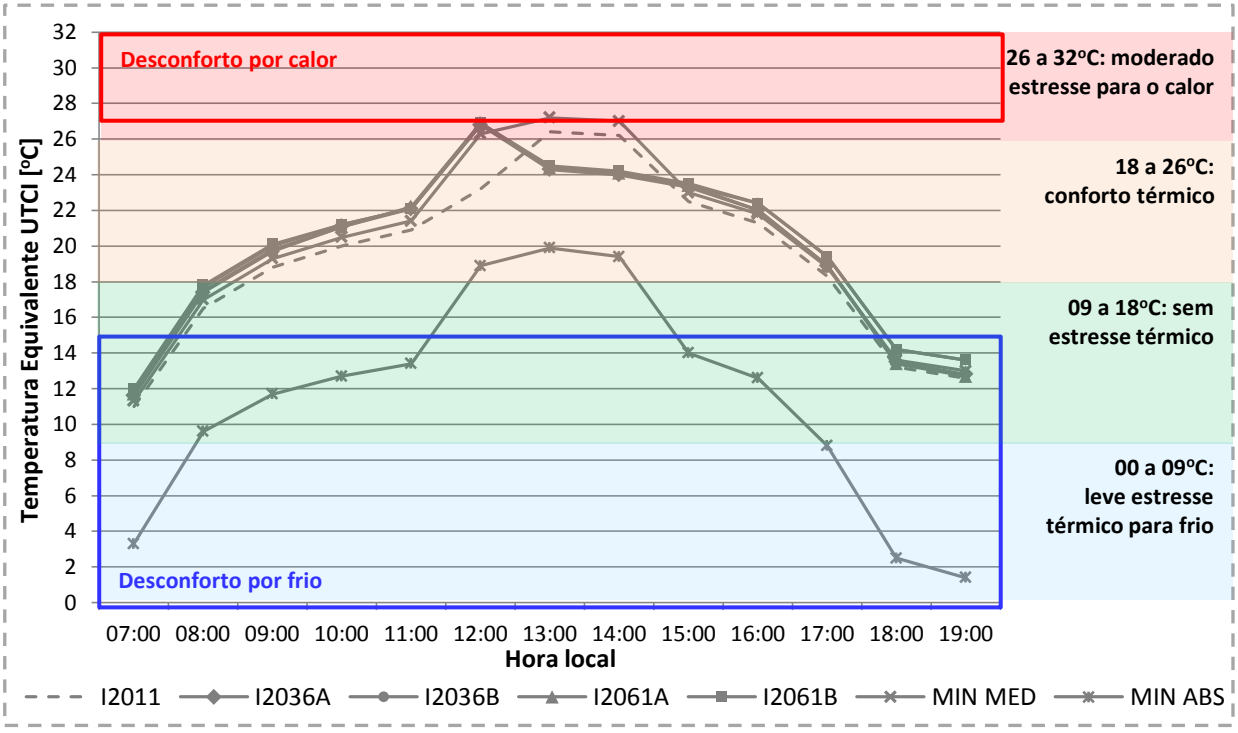


FIGURA II.2.33 – CONFORTO TÉRMICO FUTURO: SIMULAÇÕES DE INVERNO.
Fonte: O Autor (2014).

Há desconforto por frio (abaixo dos 15^{o}C de Ta e UTCI [ROSSI et al, 2012]) no horário das 07h00 e também das 18h00 as 19h00. Porém, que no caso da simulação usando temperatura mínima absoluta (MINABS), só haveria situação de conforto das 12h00 as 14h00. Na simulação média (MINMED) há desconforto às 13h00 (tabII.2.8).

TABELA II.2.8 – UTCI TEMPERATURAS 2036, 2061, MINMED E MINABS (22/02/2011).

Date	Time	I2011	I2036A	I2036B	I2061A	I2061B	MIN MED	MIN ABS
11.08.2011	07:00	11,00	11,60	11,90	11,70	12,00	11,30	3,30
11.08.2011	08:00	16,50	17,40	17,70	17,50	17,80	17,00	9,60
11.08.2011	09:00	18,80	19,70	20,00	19,80	20,10	19,30	11,70
11.08.2011	10:00	20,00	21,10	21,20	21,10	21,20	20,50	12,70
11.08.2011	11:00	20,90	22,10	22,10	22,20	22,10	21,40	13,40
11.08.2011	12:00	23,20	26,80	26,80	26,90	26,90	26,30	18,90
11.08.2011	13:00	26,40	24,30	24,40	24,40	24,50	27,20	19,90
11.08.2011	14:00	26,20	24,00	24,10	24,10	24,20	27,00	19,40
11.08.2011	15:00	22,50	23,30	23,40	23,40	23,50	23,00	14,00
11.08.2011	16:00	21,30	22,00	22,40	22,00	22,40	21,80	12,60
11.08.2011	17:00	18,30	18,90	19,40	18,90	19,40	18,80	8,80
11.08.2011	18:00	13,20	13,50	14,20	13,40	14,20	13,60	2,50
11.08.2011	19:00	12,60	12,80	13,60	12,70	13,60	13,00	1,40
Mín.		11,00	11,60	11,90	11,70	12,00	11,30	1,40
Med.		19,30	19,81	20,09	19,85	20,15	20,02	11,40
Máx.		26,40	26,80	26,80	26,90	26,90	27,20	19,90

Fonte: O autor (2014) Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Nas simulações de verão (Figura II.2.34), por outro lado, em todos os casos constata-se o desconforto por calor no horário entre 08h00 e 17h00: situando-se na faixa de moderado estresse por calor no início da manhã e final da tarde (08h00 e 17h00) e predominando o desconforto na faixa de forte estresse por calor no período que se estende entre 09h00 e 16h00. Esse cenário seria ainda mais dramático se considerada máxima absoluta história para o verão (35,2^{o} C na simulação MAXABS). Nesse caso todo o período de atividade (07h00-19h00) ligada ao estudo e trabalho estaria sujeito a algum grau de estresse térmico, o qual atingiria o nível de muito forte estresse para o calor no período das 11h00 às 13h00.

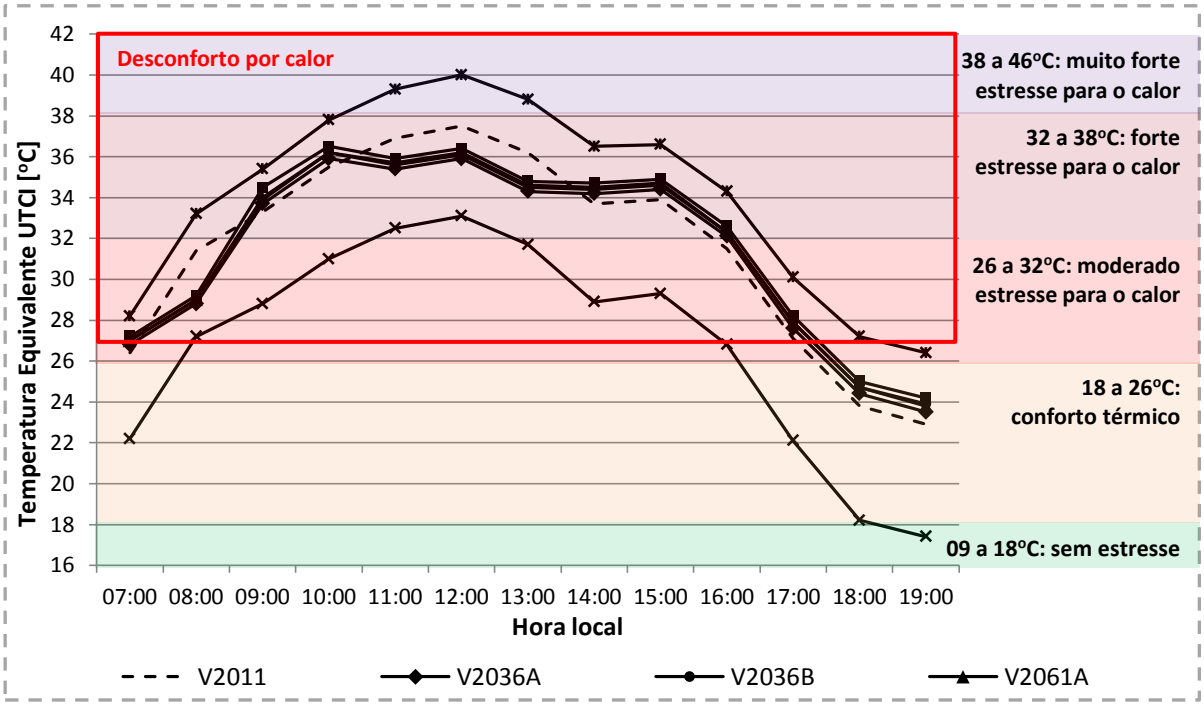


FIGURA II.2.34 – CONFORTO TÉRMICO FUTURO: SIMULAÇÕES DE VERÃO.
Fonte: O Autor (2014).

Embora o predomínio do estresse por calor verificado, diversos autores (DUMKE, 2002, 2007; LAMBERS *et al*, 1997; GIVONI, 1992) relatam relatando que somente 20% das horas do ano se encontram em faixa de conforto térmico, sendo 73,2% das horas anuais de Curitiba caracterizadas pelo desconforto por frio e apenas 6,54% dessas marcadas pelo desconforto por calor.

Observou-se, então, a partir dos cenários climáticos simulados que o prognóstico de aquecimento para ano para as simulações de 2036 (2036_A e B) assim como a simulação 2061_A, não resulta em mudanças significativas para as condições de conforto térmico em espaços abertos. Na tabela II.2.9 constata-se que todos os

cenários futuros de consolidação da tipologia edificada retornaram valores máximos de temperatura UTCI mais baixos do que o cenário 2011. Percebe-se então que o maior adensamento e verticalidade favorece, nesses casos, o conforto térmico.

TABELA II.2.9 – UTCI TEMPERATURAS 2036, 2061, MAXMED E MAXABS (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2036A	V2036B	V2061A	V2061B	MAX MED	MAX ABS
22.02.2011	07:00	26,40	26,80	27,00	27,00	27,20	22,20	28,20
22.02.2011	08:00	31,40	28,80	29,00	29,00	29,20	27,20	33,20
22.02.2011	09:00	33,30	33,70	33,90	34,00	34,50	28,80	35,40
22.02.2011	10:00	35,50	35,90	36,20	36,20	36,50	31,00	37,80
22.02.2011	11:00	36,90	35,40	35,60	35,70	35,90	32,50	39,30
22.02.2011	12:00	37,50	35,90	36,10	36,20	36,40	33,10	40,00
22.02.2011	13:00	36,20	34,30	34,50	34,60	34,80	31,70	38,80
22.02.2011	14:00	33,70	34,20	34,40	34,50	34,70	28,90	36,50
22.02.2011	15:00	33,90	34,40	34,60	34,70	34,90	29,30	36,60
22.02.2011	16:00	31,50	32,10	32,30	32,30	32,60	26,80	34,30
22.02.2011	17:00	27,10	27,60	27,90	27,90	28,20	22,10	30,10
22.02.2011	18:00	23,80	24,40	24,70	24,70	25,00	18,20	27,20
22.02.2011	19:00	22,90	23,50	23,90	23,80	24,20	17,40	26,40
Mín.		22,90	23,50	23,90	23,80	24,20	17,40	26,40
Med.		31,55	31,31	31,55	31,58	31,85	26,86	34,14
Máx.		37,50	35,90	36,20	36,20	36,50	33,10	40,00

Fonte: O autor (2014)
Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Portanto, toma-se a partir daqui a simulação para 2061B, a qual apresenta embora tenha o mais alto valor de temperatura UTCI, representa o pior prognóstico de aquecimento e, por esse motivo, servirá de base para a avaliação das diretrizes de desenho urbano e os demais cenários climáticos futuros (2036_A e B, 2061_A), não são mais simulados.

Entretanto, considerando o resultado das simulações, assim como as previsões do IPCC, em situação de aquecimento global de mudanças climáticas e a possível intensificação de eventos e temperaturas extremas (ondas de frio e ondas calor), é necessário considerar ambas as situações. Porém, dados os resultados que evidenciam maior número de horas e maior intensidade de desconforto por calor. Portanto, nesse trabalho dá-se mais ênfase à busca pela redução das temperaturas e mitigação do desconforto por calor, sem, no entanto, deixar de avaliar os impactos sobre as simulações em situação de inverno.

CAPÍTULO 3. DIRETRIZES URBANAS E ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DO CLIMA E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS APLICADAS AOS CENÁRIOS FUTUROS: SEUS IMPACTOS SOBRE O CLIMA URBANO E O CONFORTO TÉRMICO NO EIXO ESTRUTURAL SUL

II.3.1. IMPACTOS SOBRE O CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS

Diversos pesquisadores (OKE, 1978; OLIVEIRA, 1988; ROMERO, 1988; MENDONÇA, 1995; GIVONI, 1998; ASSIS, 2000; DANNI-OLIVEIRA, 2000; DUMKE 2002, 2007; HIGUERAS, 1998; 2006; ENDLICHER, 2012; dentre outros) têm estudado a relação entre o microclima e o desenho urbano tencionando avaliar a interação entre ambos e propor ações ou estratégias que possam favorecer o conforto térmico nos espaços abertos. Também no mesmo objetivo a presente pesquisa reúne diretrizes para o desenho urbano propostas por Oliveira (1998), assim como diretrizes relacionadas ao Urbanismo Ecológico ou Bioclimático propostas por Higueras (1998; 2006) e Endlicher (2012), simulando-as no software Envi-met versão 3.1, mesmo com algumas limitações impostas pela ferramenta, buscando quantificar os resultados para selecionar então os melhores dentre eles como diretrizes para o desenho urbano.

II.3.1.1. Impactos no conforto térmico quanto às estratégias do desenho urbano

Oliveira (1988) propõe a consideração de alguns condicionantes de desenho urbano, que como aspectos intervenientes no microclima urbano e conforto térmico em espaços abertos, são objeto da investigação por meio de cenários para 2061: (1) rugosidade e porosidade; (2) densidade construída; (3) tamanho da estrutura urbana; (4) orientação; (5) permeabilidade do solo; (6) propriedades termodinâmicas dos materiais; (7) áreas verdes; e, (8) uso e ocupação do solo.

II.3.1.1.1. Rugosidade e Porosidade.

A rugosidade diz respeito às irregularidades de uma superfície e expressa a influência das diferentes alturas e obstáculos sobre a ventilação urbana. No intuito de investigar a rugosidade, foram considerados cenários de maior variabilidade na altura das edificações e cenários em que as alturas são padronizadas, resultando em

diferentes relações h/w (altura por largura), para estes, então, foram avaliados os índices de conforto térmico. Foram simulados os seguintes modelos:

1) I2011 e V2011 H/W 0.96: recorte espacial em 2011, apresentando variabilidade de alturas que vão de 3 a 72 metros e uma h/w de 0,96;
2) I2061 e V2061 H/W 1.2: consolidação do cenário para 2061, substituição de 10 edificações de até dois pavimentos por torres de 15 pavimentos, variabilidade de 2 a 26 andares, e relação h/w de 1,2;
3) I2061 e V2061 H/W 0.25: ocupação similar a 2061, altura padrão 3 pavimentos;
4) I2061 e V2061 H/W 0.85: ocupação similar a 2061, altura padrão 10 pavtos;
5) I2061 e V2061 H/W 1.5: ocupação similar a 2061, altura padrão 16 pavimentos;

O resultado das simulações, expresso pela temperatura equivalente UTCI e apresentado segundo os diferentes níveis de estresse térmico, aparecem na Figura II.3.1. Nota-se que a simulação com maiores valores na faixa de forte estresse por calor é a de menor altura V2061 H/W 0.25 com somente três pavimentos.

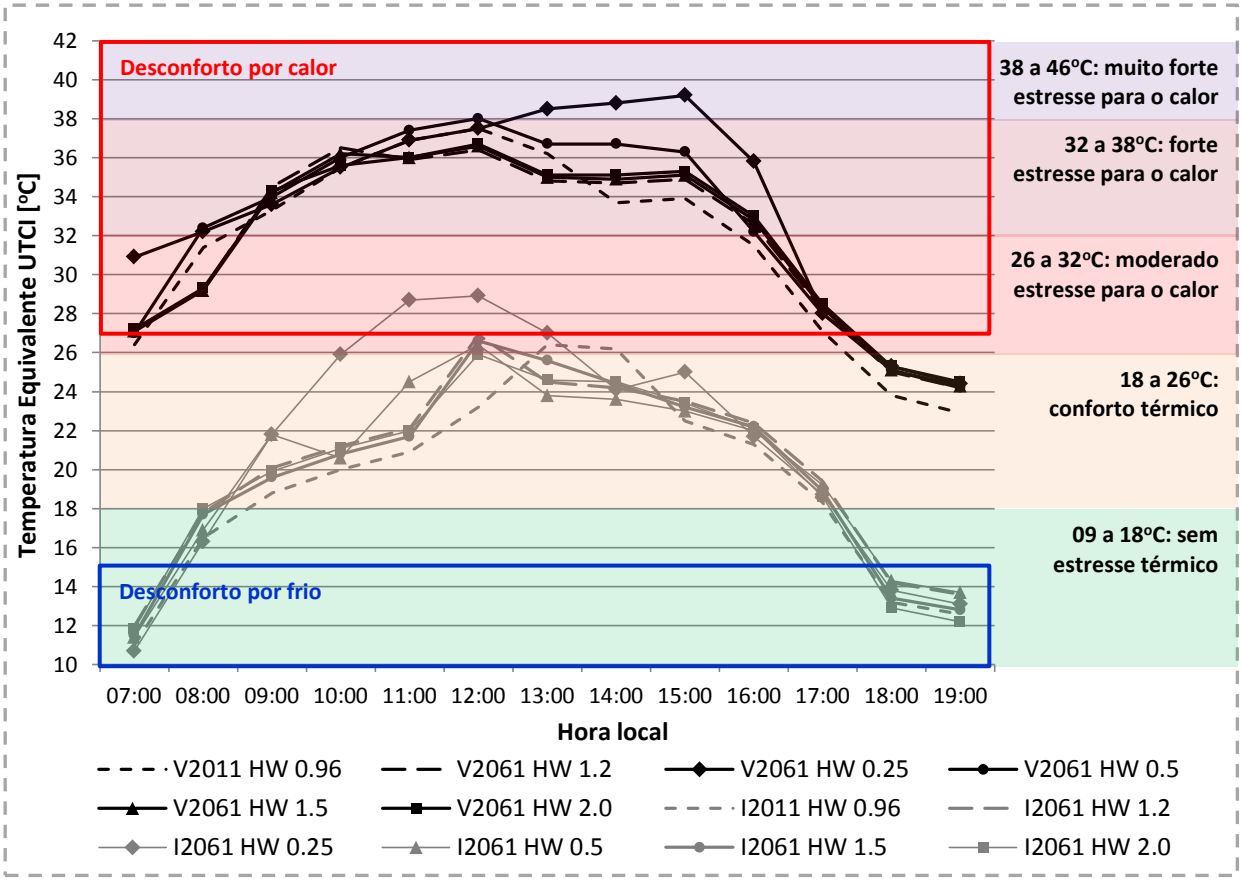


FIGURA II.3.1 – UTCI CENÁRIOS RUGOSIDADE (INVERNO E VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

As tabelas II.3.1 (inverno) e II.3.2 (verão) apresentam os resultados horários e as médias de temperatura equivalente UTCI para o período estudado (07h00 as 19h00).

Na simulação de inverno (tabela II.3.1), assim como no gráfico UTCI, percebe-se que há pouca variação no conforto quanto ao impacto da rugosidade. Apenas a simulação I2061 HW 0,25 com altura padronizada equivalente a três pavimentos, apresenta desconforto por calor nos horários de 11h00 as 13h00. Todas as simulações de inverno apresentam estresse para o frio (segundo Rossi et al [2011]) as 07h00 e a partir das 18h00. Não há, porém nenhuma simulação que seja efetivamente mais favorável ao conforto no inverno.

TABELA II.3.1 – UTCI PARA RUGOSIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011).

Date	Time	I2011 HW 0.96	I2061 HW 1.2	I2061 HW 0.25	I2061 HW 0.5	I2061 HW 1.5	I2061 HW 2.0
11.08.2011	07:00	11,0	12,0	10,7	11,4	11,5	11,8
11.08.2011	08:00	16,5	17,8	16,3	16,9	17,7	18,0
11.08.2011	09:00	18,8	20,1	21,8	21,8	19,6	19,9
11.08.2011	10:00	20,0	21,2	25,9	20,6	20,8	21,1
11.08.2011	11:00	20,9	22,1	28,7	24,5	21,7	22,0
11.08.2011	12:00	23,2	26,9	28,9	26,4	26,6	25,9
11.08.2011	13:00	26,4	24,5	27,0	23,8	25,6	24,6
11.08.2011	14:00	26,2	24,2	24,1	23,6	24,4	24,5
11.08.2011	15:00	22,5	23,5	25,0	23,0	23,2	23,4
11.08.2011	16:00	21,3	22,4	21,7	22,0	22,2	22,1
11.08.2011	17:00	18,3	19,4	18,7	19,2	18,9	18,6
11.08.2011	18:00	13,2	14,2	13,8	14,3	13,4	12,9
11.08.2011	19:00	12,6	13,6	13,1	13,7	12,8	12,2
Mín.		11,0	12,0	10,7	11,4	11,5	11,8
Med.		19,3	20,1	21,2	20,1	19,9	19,8
Máx.		26,4	26,9	28,9	26,4	26,6	25,9

Fonte: O autor (2014)
Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Nas simulações de verão nenhuma das simulações retornou valores melhores do que aqueles previstos para 2061. A pior simulação foi a simulação de altura padrão equivalente a 3 pavimentos (V2061 HW 0.25) e aquela que mais se aproximou dos valores de 2061, mas sem igualá-los, foi a simulação de altura equivalente a 16 pavimentos (V2061 HW 1.5). Nesse caso há um tênue equilíbrio entre a maior altura e o sombreamento proporcionado e o comportamento dos edifícios como baterias de calor.

TABELA II.3.2 – UTCI PARA RUGOSIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011 HW 0.96	V2061 HW 1.2	V2061 HW 0.25	V2061 HW 0.5	V2061 HW 1.5	V2061 HW 2.0
22.02.2011	07:00	26,4	27,2	30,9	27,0	27,1	27,2
22.02.2011	08:00	31,4	29,2	32,2	32,4	29,2	29,3
22.02.2011	09:00	33,3	34,5	33,6	34,0	34,2	34,3
22.02.2011	10:00	35,5	36,5	35,5	36,0	36,2	35,6
22.02.2011	11:00	36,9	35,9	36,9	37,4	36,0	36,0
22.02.2011	12:00	37,5	36,4	37,5	38,0	36,6	36,7
22.02.2011	13:00	36,2	34,8	38,5	36,7	35,0	35,1
22.02.2011	14:00	33,7	34,7	38,8	36,7	34,9	35,1
22.02.2011	15:00	33,9	34,9	39,2	36,3	35,1	35,3
22.02.2011	16:00	31,5	32,6	35,8	32,2	32,8	33,0
22.02.2011	17:00	27,1	28,2	28,0	28,0	28,3	28,5
22.02.2011	18:00	23,8	25,0	25,3	25,1	25,1	25,3
22.02.2011	19:00	22,9	24,2	24,4	24,2	24,3	24,5
Mín.		22,9	24,2	24,4	24,2	24,3	24,5
Med.		31,5	31,9	33,6	32,6	31,9	32,0
Máx.		37,5	36,5	39,2	38,0	36,6	36,7

Fonte: O autor (2014)
Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

A porosidade, que pode ser entendida como a permeabilidade do tecido urbano aos ventos, foi avaliada através de diferentes disposições dos edifícios na quadra, as quais não seriam possíveis dependendo do parcelamento da mesma. Foram feitos quatro modelos de área com diferentes ocupações. Foi mantido o número de células ocupadas pelos edifícios e a altura padronizada em 39 metros ou 13 pavimentos para garantir a mesma massa construída (área e volume) esses foram, então, comparadas com os modelos de 2011 e 2061:

1) I2061 e V2061_45: edifícios orientados a 45 graus nas quadras;
2) I2061 e V2061_Orto: edifícios organizados segundo a ocupação atual;
3) I2061 e V2061_xadrez: edifícios organizados de modo ortogonal, ou seja, compatível com a atual ocupação, mas com afastamentos alternados em relação ao alinhamento predial;
4) I2061 e V2061_Periférico: edifícios são grandes lâminas conformando a quadra e deixando um grande miolo ocupado com áreas verdes e de lazer, numa ocupação típica de cidades europeias.

Na Figura II.3.2 são mostradas as curvas de temperatura equivalente obtidas para as diferentes simulações de porosidade.

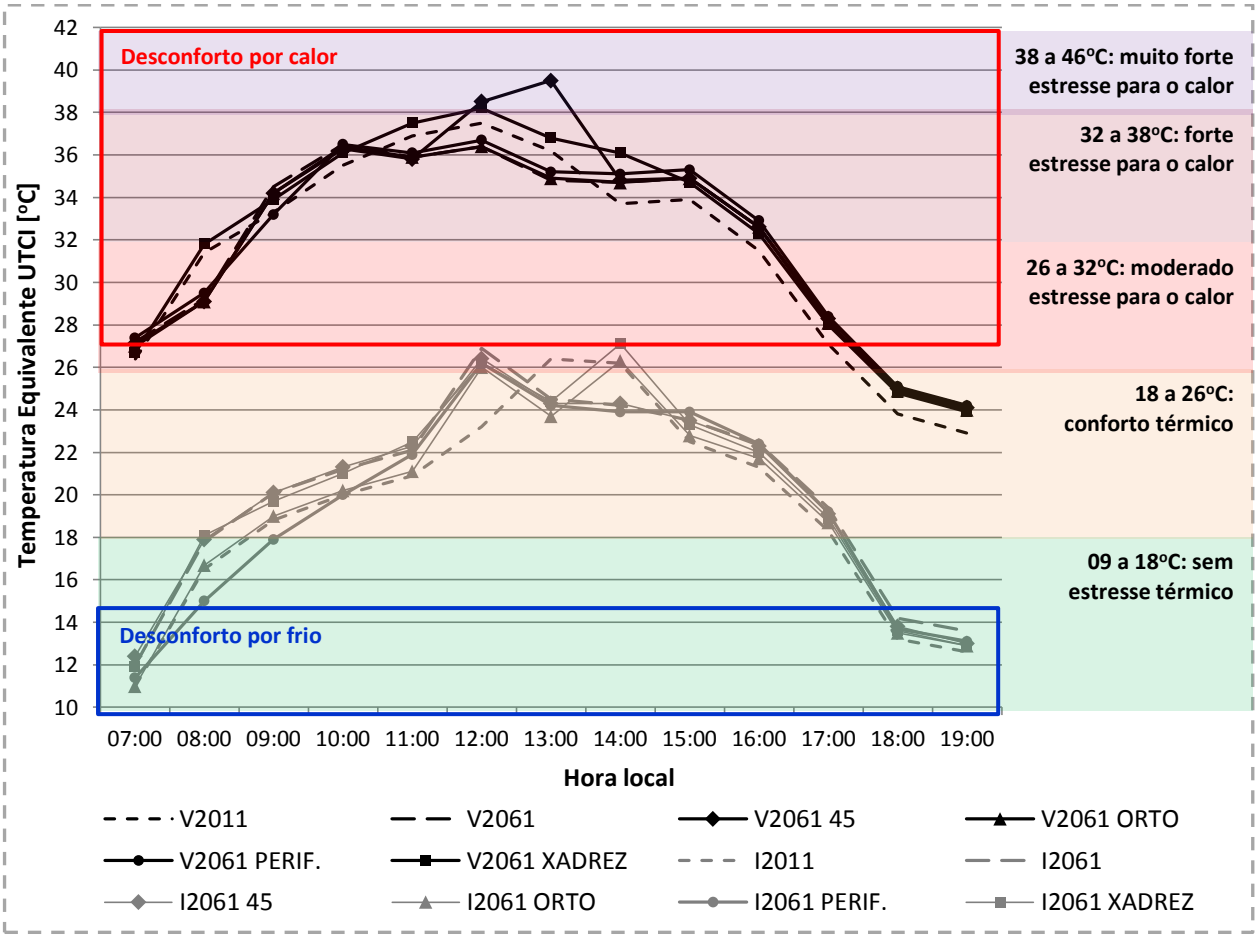


FIGURA II.3.2 – UTCI CENÁRIOS POROSIDADE (INVERNO E VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

Através das curvas de temperatura equivalente percebe-se que, na situação de inverno, a diferença entre os vários modelos em termos de conforto é bastante sutil, mostrando-se mais adequados os modelos ortogonal (I2061 ORTO) e periférico (I2061 PERIF.). O modelo de orientação em 45 graus (I2061 45) é o único em que há acréscimo no valor máximo UTCI (Tabela II.3.3).

Na situação de verão os resultados apresentados na Tabela II.3.4 ressaltam o aspecto positivo do modelo ortogonal (V2061_ORTO) o qual, na média geral e no valor de temperatura UTCI máximo, apresenta redução de 0,1^{o}C em relação ao conforto para o cenário futuro de 2061 e de 1,1^{o}C em relação ao conforto do cenário de 2011. Na evolução da temperatura equivalente ao longo do dia nota-se a redução dos valores situados nas faixas de moderado e forte estresse por calor, muito embora nos horários de 10h00 e 13h00 o modelo ortogonal apresente valores idênticos ou até um pouco mais altos que o modelo de 2061, porém, quando comparados ao modelo de 2011 haja alguma redução em todos os horários variando entre 1^{o} C e 1,1^{o} C.

TABELA II.3.3 – UTCI PARA POROSIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011).

Date	Time	I2011	I2061	I2061 45	I2061 ORTO	I2061 PERIF.	I2061 XADREZ
11.08.2011	07:00	11,0	12,0	12,4	11,0	11,4	11,9
11.08.2011	08:00	16,5	17,8	17,9	16,7	15,0	18,1
11.08.2011	09:00	18,8	20,1	20,1	19,0	17,9	19,7
11.08.2011	10:00	20,0	21,2	21,3	20,2	20,0	21,0
11.08.2011	11:00	20,9	22,1	22,3	21,1	21,9	22,5
11.08.2011	12:00	23,2	26,9	26,4	26,0	26,2	26,2
11.08.2011	13:00	26,4	24,5	24,3	23,7	24,2	24,4
11.08.2011	14:00	26,2	24,2	24,3	26,3	23,9	27,1
11.08.2011	15:00	22,5	23,5	23,5	22,8	23,9	23,3
11.08.2011	16:00	21,3	22,4	22,3	21,7	22,4	22,0
11.08.2011	17:00	18,3	19,4	19,1	18,7	19,2	18,9
11.08.2011	18:00	13,2	14,2	13,8	13,5	13,7	13,6
11.08.2011	19:00	12,6	13,6	13,0	12,9	13,1	12,9
Mín.		11,0	12,0	12,4	11,0	11,4	11,9
Med.		19,3	20,1	20,1	19,5	19,4	20,1
Máx.		26,4	26,9	26,4	26,3	26,2	27,1

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Não há uma redução no período de desconforto, mas redução na intensidade do desconforto ao longo do dia, fazendo com que nesse modelo haja redução no desconforto situado dentro da faixa de forte desconforto por calor (entre 32°C e 38°C).

TABELA II.3.4 – UTCI PARA POROSIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2061	V2061 45	V2061 ORTO	V2061 PERIF.	V2061 XADREZ
22.02.2011	07:00	26,4	27,2	27,1	27,0	27,4	26,7
22.02.2011	08:00	31,4	29,2	29,1	29,1	29,5	31,8
22.02.2011	09:00	33,3	34,5	34,2	34,2	33,2	33,9
22.02.2011	10:00	35,5	36,5	36,3	36,4	36,5	36,1
22.02.2011	11:00	36,9	35,9	35,8	35,9	36,1	37,5
22.02.2011	12:00	37,5	36,4	38,5	36,4	36,7	38,2
22.02.2011	13:00	36,2	34,8	39,5	34,9	35,2	36,8
22.02.2011	14:00	33,7	34,7	34,8	34,7	35,1	36,1
22.02.2011	15:00	33,9	34,9	34,9	34,9	35,3	34,7
22.02.2011	16:00	31,5	32,6	32,6	32,6	32,9	32,3
22.02.2011	17:00	27,1	28,2	28,3	28,1	28,4	28,0
22.02.2011	18:00	23,8	25,0	25,0	24,9	25,1	24,8
22.02.2011	19:00	22,9	24,2	24,1	24,0	24,2	23,9
Mín.		22,9	24,2	24,1	24,0	24,2	23,9
Med.		31,5	31,9	32,3	31,8	32,0	32,4
Máx.		37,5	36,5	39,5	36,4	36,7	38,2

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Portanto, quanto a rugosidade, a maior altura e, por conseguinte maior sombreamento sobre as bases dos edifícios e pisos ao redor, reduz o aquecimento que seria promovido por essas superfícies, assim como observaram Emmanuel *et al* (2007) em seu trabalho na cidade de Colombo, no Sri Lanka.

No que diz respeito à porosidade foi possível verificar mais claramente os efeitos morfologia sobre essa. Embora o melhor resultado tenha retornado para o modelo ortogonal de distribuição dos edifícios e não para o xadrez, segundo afirmação de Olgyay (1988).

II.3.1.1.2. Densidade Construída

A densidade construtiva relaciona-se à taxa de ocupação da área, a altura média dos edifícios, ao distanciamento das fachadas proporcionado por vias e entre os edifícios. Segundo Oke (1987) e Lee *et al* (1980), esse pode ser dividido em três classes de rugosidade conforme o distanciamento entre os edifícios: (a) rugosidade isolada com relação h/w baixa e nesse caso o espaço entre edificações é largo, maior que a soma das regiões de separação do fluxo, sendo esse pouco alterado pelo arranjo dos edifícios; (b) quando há interferência de esteira, em que a relação h/w é menor que a soma das regiões de separação dos fluxos, e, (c) fluxo turbulento, quando a relação h/w é maior, há uma estabilização do vórtice e a maior parte do fluxo de ar não penetra no cânion.

Para verificação do efeito da densidade construída foram desenhados e simulados diversos modelos da tipologia edificada, resultando em vários valores de h/w, os modelos são os seguintes e os resultados mostrados na figura II.3.3:

1) I2061 e V2061 H/W_0.25: edifícios de 3 pavimentos, relação h/w de 0.25;
2) I2061 e V2061 H/W_0.35: edifícios de 4 pavimentos, relação h/w de 0,35;
3) I2061 e V2061 H/W_0.50: edifícios de 6 pavimentos, relação h/w de 0,50;
4) I2061 e V2061 H/W_0.78: edifícios de 8 pavimentos, relação h/w de 0,78;
5) I2061 e V2061 H/W_0.85: edifícios de 10 pavimentos, relação h/w de 0,85;
6) I2061 e V2061 H/W_1.5: edifícios de 16 pavimentos, relação h/w de 1,5;
7) I2061 e V2061 H/W_2.0: edifícios de 22 pavimentos, relação h/w de 2,0;

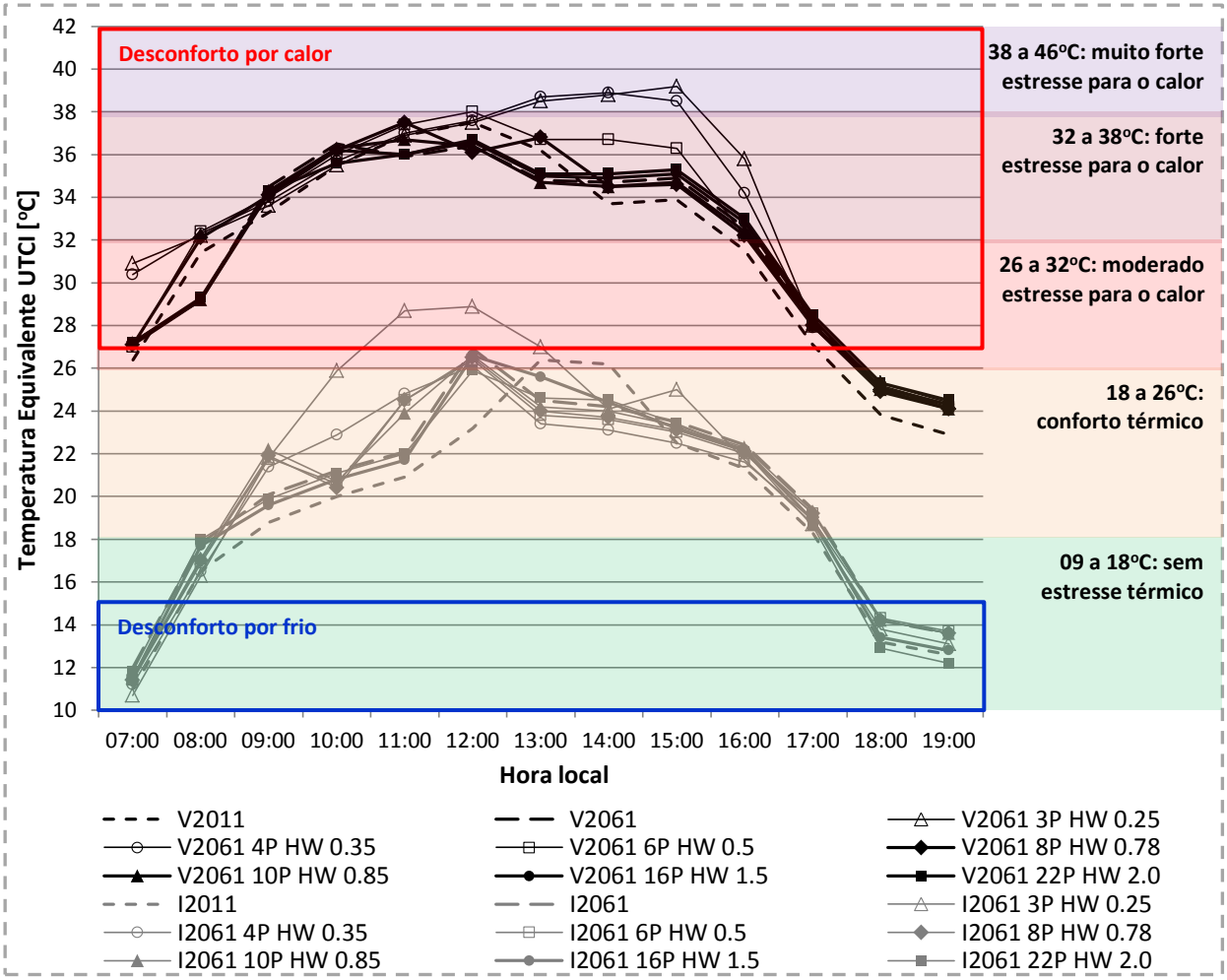


FIGURA II.3.3 – UTCI CENÁRIOS DENSIDADE CONSTRUÍDA (INVERNO E VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

Os resultados mostram (tabela II.3.5) que no caso das simulações a densidade construída, dada pela relação h/w, em situação de inverno a temperatura equivalente UTCI não se altera significativamente de caso para caso, mas demonstra valores mais favoráveis em dois casos distintos: relação h/w de 0.35 (que ocorre num cenário de edifícios de 4 pavimentos) e relação h/w de 2.0 (que ocorre num cenário de edifícios de 22 pavimentos).

Na relação h/w de 0.35, um cânion expansivo de acordo com Romero (2001, p.91), a maior parte de radiação é refletida o que reduz a possibilidade de inversão térmica e tente a igualar temperaturas interiores e exteriores. Nesse caso há uma menor massa dos edifícios e uma menor capacidade de armazenamento de calor a qual somada à arborização viária e fluxos de ar favorece a condição de conforto no ambiente urbano.

TABELA II.3.5 – UTCI DENS. CONSTRUÍDA, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011).

Date	Time	I2011	I2061	I2061 HW 0.25	I2061 HW 0.35	I2061 HW 0.5	I2061 HW 0.78	I2061 HW 0.85	I2061 HW 1.5	I2061 HW 2.0
11.08.2011	07:00	11,0	12,0	10,7	11,2	11,4	11,4	11,5	11,5	11,8
11.08.2011	08:00	16,5	17,8	16,3	16,5	16,9	17,0	17,1	17,7	18,0
11.08.2011	09:00	18,8	20,1	21,8	21,4	21,8	21,9	22,2	19,6	19,9
11.08.2011	10:00	20,0	21,2	25,9	22,9	20,6	20,4	20,7	20,8	21,1
11.08.2011	11:00	20,9	22,1	28,7	24,8	24,5	24,5	23,9	21,7	22,0
11.08.2011	12:00	23,2	26,9	28,9	26,1	26,4	26,5	26,6	26,6	25,9
11.08.2011	13:00	26,4	24,5	27,0	23,4	23,8	24,0	24,2	25,6	24,6
11.08.2011	14:00	26,2	24,2	24,1	23,1	23,6	23,7	24,0	24,4	24,5
11.08.2011	15:00	22,5	23,5	25,0	22,5	23,0	23,1	23,3	23,2	23,4
11.08.2011	16:00	21,3	22,4	21,7	21,6	22,0	22,1	22,3	22,2	22,1
11.08.2011	17:00	18,3	19,4	18,7	18,9	19,2	19,2	19,3	18,9	18,6
11.08.2011	18:00	13,2	14,2	13,8	14,2	14,3	14,2	14,2	13,4	12,9
11.08.2011	19:00	12,6	13,6	13,1	13,6	13,7	13,6	13,6	12,8	12,2
Mín.		11,0	12,0	10,7	11,2	11,4	11,4	11,5	11,5	11,8
Med.		19,3	20,1	21,2	20,0	20,1	20,1	20,2	19,9	19,8
Máx.		26,4	26,9	28,9	26,1	26,4	26,5	26,6	26,6	25,9

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

No verão, porém, a situação muda um pouco e a simulação com h/w igual a 2,0 já não é mais tão favorável (Tabela II.3.6).

TABELA II.3.6 – UTCI DENS. CONSTRUÍDA, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2061	V2061 HW 0.25	V2061 HW 0.35	V2061 HW 0.5	V2061 HW 0.78	V2061 HW 0.85	V2061 HW 1.5	V2061 HW 2.0
22.02.2011	07:00	26,4	27,2	30,9	30,4	27,0	27,1	27,2	27,1	27,2
22.02.2011	08:00	31,4	29,2	32,2	32,3	32,4	32,1	29,2	29,2	29,3
22.02.2011	09:00	33,3	34,5	33,6	33,8	34,0	34,1	34,3	34,2	34,3
22.02.2011	10:00	35,5	36,5	35,5	35,7	36,0	36,2	36,3	36,2	35,6
22.02.2011	11:00	36,9	35,9	36,9	37,0	37,4	37,5	36,7	36,0	36,0
22.02.2011	12:00	37,5	36,4	37,5	37,6	38,0	36,1	36,4	36,6	36,7
22.02.2011	13:00	36,2	34,8	38,5	38,7	36,7	36,8	34,7	35,0	35,1
22.02.2011	14:00	33,7	34,7	38,8	38,9	36,7	34,5	34,5	34,9	35,1
22.02.2011	15:00	33,9	34,9	39,2	38,5	36,3	34,6	34,7	35,1	35,3
22.02.2011	16:00	31,5	32,6	35,8	34,2	32,2	32,2	32,4	32,8	33,0
22.02.2011	17:00	27,1	28,2	28,0	27,9	28,0	28,0	28,1	28,3	28,5
22.02.2011	18:00	23,8	25,0	25,3	25,2	25,1	24,9	25,0	25,1	25,3
22.02.2011	19:00	22,9	24,2	24,4	24,3	24,2	24,1	24,1	24,3	24,5
Mín.		22,9	24,2	24,4	24,3	24,2	24,1	24,1	24,3	24,5
Med.		31,5	31,9	33,6	33,4	32,6	32,2	31,8	31,9	32,0
Máx.		37,5	36,5	39,2	38,9	38,0	37,5	36,7	36,6	36,7

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Já no modelo onde o valor da relação h/w é de 2,0, ou seja, a altura (H) é o dobro da largura (W) caracteriza-se como um cânion claustrofóbico. Nesse caso a absorção do calor se dá muito acima do nível do solo, corresponde a uma área de alta densidade na qual existe um amortecimento do ciclo térmico que faz com que a temperatura permaneça estável (calor ou frio) durante o dia. Porém, nesse caso, as sombras provocadas pelos edifícios em dias muito frios tendem a promover desconforto por frio para o pedestre o que não se verificou nessa simulação em face das temperaturas mais amenas que caracterizaram a semana e o dia de monitoramento.

No verão, destacam-se os modelos de h/w 0.85, 1.5 e 2.0, que nesse caso são exemplos de cânion expansivo, de recolhimento ou muito perto disso, e claustrofóbico. No primeiro caso há menor massa construída capaz de armazenar calor durante o dia e a altura total dos edifícios os colocam no nível das árvores da via (aproximadamente 15 metros de altura) que contribuem para a atenuação da temperatura. Nos demais casos, correspondentes a edifícios de 16 e 22 pavimentos, o sombreamento dos próprios edifícios contribui para o amortecimento térmico e estabilidade da temperatura.

II.3.1.1.3. Tamanho da Estrutura Urbana

De acordo com Oke (2006, p.9) características básicas importantes da estrutura urbana são as dimensões dos edifícios, espaçamento entre eles, largura das ruas e espaçamento entre elas, cobertura do solo (áreas construídas, área pavimentadas impermeabilizadas, áreas verdes, etc.), tecido urbano (materiais de construção e naturais), e o metabolismo urbano (calor, água, poluentes, etc.). Nesse sentido, foram investigadas as dimensões das vias (que influencia na relação h/w), assim como diferentes taxas de ocupação do solo e para isso foram criados dois grupos de modelos, quanto à largura das vias, foram criados os seguintes modelos:

1) I2061 e V2061_ORTO: modelo de ocupação ortogonal com a largura das vias atual, considerando um recuo do alinhamento predial de 5 metros;
2) I2061 e V2061_ORTO_0: modelo de ocupação ortogonal com a largura das vias reduzida, sem recuo das edificações em relação às vias;
3) I2061 e V2061_ORTO_10: modelo de ocupação ortogonal com a largura das vias ampliada, considerando um recuo do alinhamento predial de 10 metros;

Na figura II.3.4 são mostradas as curvas de temperatura equivalente UTCI:

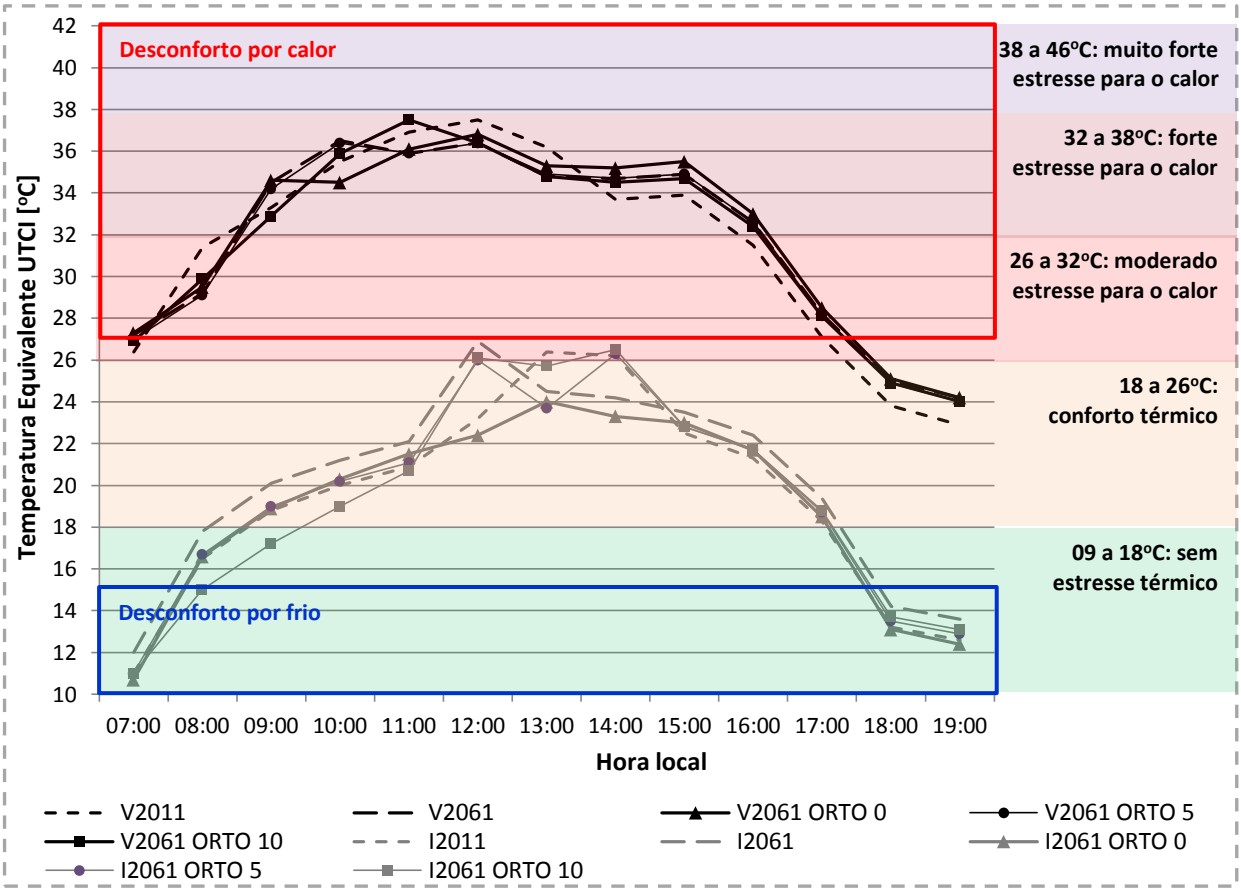


FIGURA II.3.4– UTCI CENÁRIOS LARGURA DAS VIAS (INVERNO E VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

A Tabela II.3.7 apresenta os resultados das simulações de inverno.

TABELA II.3.7 – UTCI LARGURA DAS VIAS, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	I2011	I2061	I2061 ORTO 0	I2061 ORTO 5	I2061 ORTO 10
11.08.2011	07:00	11,0	12,0	10,7	11,0	11,0
11.08.2011	08:00	16,5	17,8	16,6	16,7	15,0
11.08.2011	09:00	18,8	20,1	18,9	19,0	17,2
11.08.2011	10:00	20,0	21,2	20,3	20,2	19,0
11.08.2011	11:00	20,9	22,1	21,5	21,1	20,7
11.08.2011	12:00	23,2	26,9	22,4	26,0	26,1
11.08.2011	13:00	26,4	24,5	24,0	23,7	25,7
11.08.2011	14:00	26,2	24,2	23,3	26,3	26,5
11.08.2011	15:00	22,5	23,5	23,0	22,8	22,8
11.08.2011	16:00	21,3	22,4	21,7	21,7	21,7
11.08.2011	17:00	18,3	19,4	18,5	18,7	18,8
11.08.2011	18:00	13,2	14,2	13,1	13,5	13,7
11.08.2011	19:00	12,6	13,6	12,4	12,9	13,1
Mín.		11,0	12,0	10,7	11,0	11,0
Med.		19,3	20,1	19,0	19,5	19,3
Máx.		26,4	26,9	24,0	26,3	26,5

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Os resultados em situação de inverno mostram valores mais adequados para uma menor largura de via (2061 ORTO 0), o que reduz a largura do cânion e, considerando as temperaturas e a redução no número de horas e na intensidade da insolação no inverno curitibano, o estreitamento do cânion não é favorável para o conforto térmico em espaços abertos nos dias frios.

Nos resultados de verão, entretanto, a melhor situação é justamente a situação existente, com o afastamento de 5 metros em relação ao alinhamento predial (2061 ORTO 5). A análise dos resultados é complicada, pois nesse modelo a ocupação da quadra é ortogonal, diferente da que ocorre em 2011 ou 2061. Porém, analisando-se as três larguras de via, observa-se uma elevação na temperatura equivalente tanto para o aumento como para a redução da largura da via. No caso da redução da largura da das vias, há um aumento há relação h/w e o cânion se torna mais estreito alterando condições de ventilação, umidade e dispersão de poluentes. Por outro lado, o aumento da largura da via, que elevou ainda mais a temperatura equivalente UTCI, amplia as áreas impermeabilizadas junto as ruas, potencializando o efeito dessas superfícies junto ao pedestre e gerando valores que se colocam na faixa de forte estresse por calor.

TABELA II.3.8 – UTCI LARGURA DAS VIAS, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2061	V2061 ORTO 0	V2061 ORTO 5	V2061 ORTO 10
22.02.2011	07:00	26,4	27,2	27,3	27,0	26,9
22.02.2011	08:00	31,4	29,2	29,5	29,1	29,9
22.02.2011	09:00	33,3	34,5	34,6	34,2	32,9
22.02.2011	10:00	35,5	36,5	34,5	36,4	35,9
22.02.2011	11:00	36,9	35,9	36,1	35,9	37,5
22.02.2011	12:00	37,5	36,4	36,8	36,4	36,4
22.02.2011	13:00	36,2	34,8	35,3	34,9	34,8
22.02.2011	14:00	33,7	34,7	35,2	34,7	34,5
22.02.2011	15:00	33,9	34,9	35,5	34,9	34,7
22.02.2011	16:00	31,5	32,6	33,0	32,6	32,4
22.02.2011	17:00	27,1	28,2	28,5	28,1	28,1
22.02.2011	18:00	23,8	25,0	25,1	24,9	24,9
22.02.2011	19:00	22,9	24,2	24,2	24,0	24,0
Mín.		22,9	24,2	24,2	24,0	24,0
Med.		31,5	31,9	32,0	31,8	31,8
Máx.		37,5	36,5	36,8	36,4	37,5

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Ainda no que diz respeito à estrutura urbana, a taxa de ocupação dos lotes constitui-se numa importante característica, aumentando a densidade construída ou ampliando os espaços livres e dando oportunidade para instalação de áreas verdes, sombreadas. Para investigar esse aspecto foram criadas duas simulações de ocupação das quadras que mantém sua densidade construía, e uma terceira que a reduz:

1) I2061 e V2061 P25T30H3: redução do potencial construtivo de 4,0 para 2,5, redução da taxa de ocupação de 50% para 30%, e ampliação do afastamento entre os edifícios de 1/6 da altura para 1/3, limitando os edifícios a 10 pavtos;
2) I2061 e V2061 TX30: redução da taxa de ocupação, mas manutenção do potencial construtivo, o que eleva a altura dos edifícios para 16 pavimentos;
3) I2061 e V2061 TX60: taxa de ocupação de 60% e manutenção do potencial construtivo, altura dos edifícios de 9 pavimentos;

Na Figura II.3.4 são mostrados as curvas de temperatura equivalente UTCI para as simulações de ocupação.

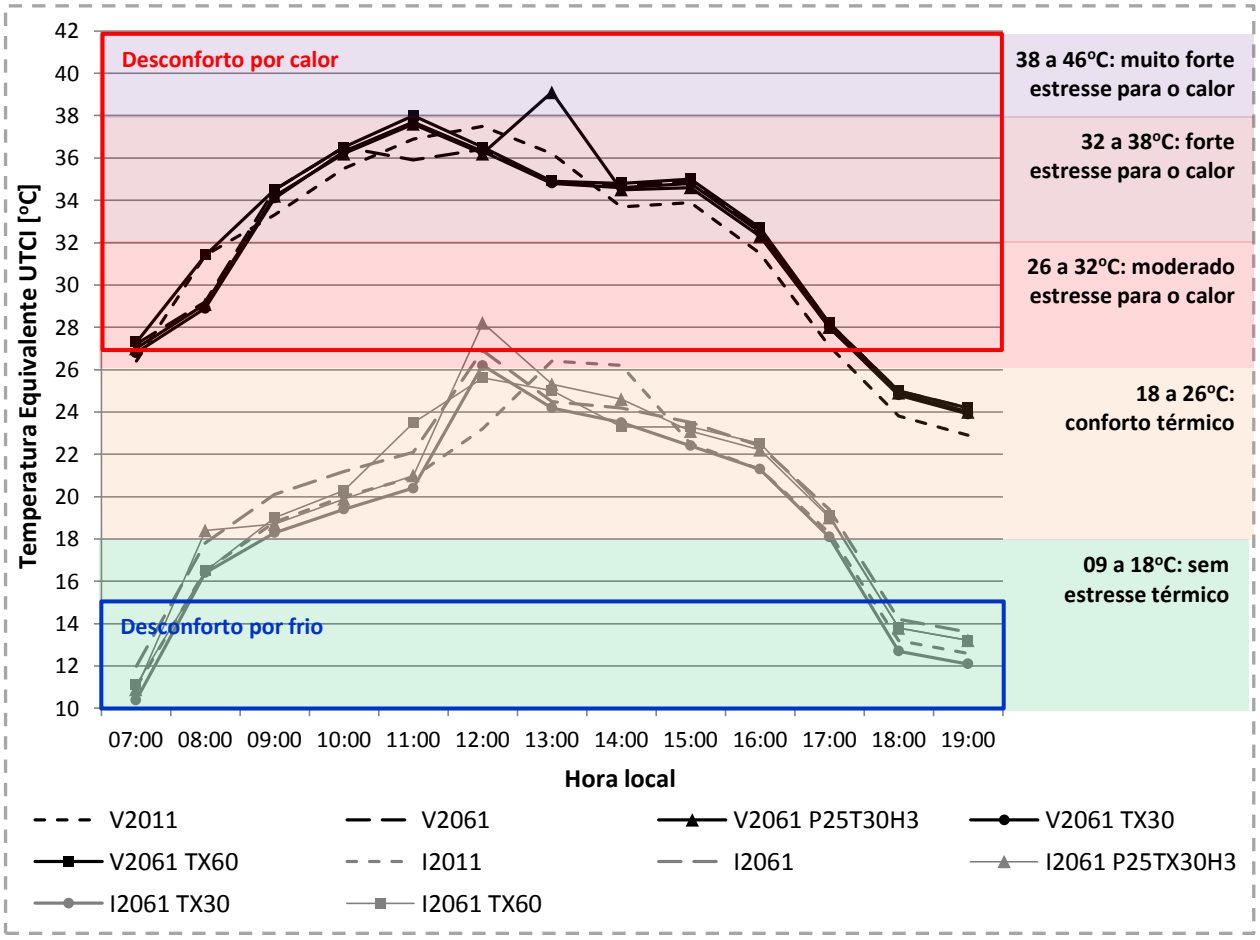


FIGURA II.3.4 – UTCI CENÁRIOS OCUPAÇÃO DO SOLO (INVERNO E VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

Nota-se que todas as simulações apresentam picos de desconforto dentro da faixa de faixa de moderado estresse para o calor (no caso do inverno) e de muito forte estresse para o calor no caso do verão. Ou seja, especialmente no verão, as simulações de alteração da taxa de ocupação não resultaram incremento no conforto em relação aos cenários de 2011 e 2061.

Na tabela 3.9, na qual são mostrados os resultados das simulações de inverno, percebe-se que os valores da temperatura equivalente UTCI, tantos os valores horários como os médios, são bastante similares aos obtidos pelas simulações de 2011 e 2061 e, dentre eles, destaca-se a redução da ocupação para 30% (TX_30) com o melhor resultado médio e sem ocorrência de qualquer estresse para o calor. A redução na área ocupada promoveu o aumento da Trm e da Ta em todos os casos, o que ocasionou perda de qualidade no conforto térmico urbano e consequente elevação no UTCI.

TABELA II.3.9 – UTCI TAXA DE OCUPAÇÃO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011).

Date	Time	I2011	I2061	I2061 P25TX30H3	I2061 TX30	I2061 TX60
11.08.2011	07:00	11,0	12,0	10,9	10,4	11,1
11.08.2011	08:00	16,5	17,8	18,4	16,4	16,5
11.08.2011	09:00	18,8	20,1	18,7	18,3	19,0
11.08.2011	10:00	20,0	21,2	19,9	19,4	20,3
11.08.2011	11:00	20,9	22,1	21,0	20,4	23,5
11.08.2011	12:00	23,2	26,9	28,2	26,2	25,6
11.08.2011	13:00	26,4	24,5	25,3	24,2	25,0
11.08.2011	14:00	26,2	24,2	24,6	23,5	23,3
11.08.2011	15:00	22,5	23,5	23,1	22,4	23,3
11.08.2011	16:00	21,3	22,4	22,2	21,3	22,5
11.08.2011	17:00	18,3	19,4	19,0	18,1	19,1
11.08.2011	18:00	13,2	14,2	13,8	12,7	13,8
11.08.2011	19:00	12,6	13,6	13,2	12,1	13,2
Mín.		11,0	12,0	10,9	10,4	11,1
Med.		19,3	20,1	19,9	18,9	19,7
Máx.		26,4	26,9	28,2	26,2	25,6

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Observando-se a Tabela II.3.10, nota-se o mesmo padrão nos resultados das simulações de verão: ocorreu o aumento da temperatura equivalente UTCI em todas as simulações, situação que significa queda no conforto térmico nos espaços abertos e reforço dos valores máximos aumentando a intensidade do estresse térmico para o calor especialmente nos horários mais quentes do dia.

TABELA II.3.10 – UTCI TAXA DE OCUPAÇÃO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2061	V2061 P25T30H3	V2061 TX30	V2061 TX60
22.02.2011	07:00	26,4	27,2	27,0	26,8	27,3
22.02.2011	08:00	31,4	29,2	29,1	28,9	31,4
22.02.2011	09:00	33,3	34,5	34,2	34,1	34,5
22.02.2011	10:00	35,5	36,5	36,2	36,3	36,5
22.02.2011	11:00	36,9	35,9	37,6	37,7	38,0
22.02.2011	12:00	37,5	36,4	36,2	36,3	36,5
22.02.2011	13:00	36,2	34,8	39,1	34,8	34,9
22.02.2011	14:00	33,7	34,7	34,5	34,6	34,8
22.02.2011	15:00	33,9	34,9	34,6	34,8	35,0
22.02.2011	16:00	31,5	32,6	32,3	32,5	32,7
22.02.2011	17:00	27,1	28,2	28,0	28,0	28,2
22.02.2011	18:00	23,8	25,0	24,9	24,8	25,0
22.02.2011	19:00	22,9	24,2	24,0	23,9	24,2
Mín.		22,9	24,2	24,0	23,9	24,2
Med.		31,5	31,9	32,1	31,8	32,2
Máx.		37,5	36,5	39,1	37,7	38,0

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

II.3.1.1.4. Orientação

A orientação relaciona-se ao posicionamento dos elementos componentes da estrutura urbana frente a insolação, ao regime de ventos, às fontes de ruído e poluição sonora e também à topografia. (HIGUERAS, 1998, p.22). O traçado urbano pode permitir uma melhor orientação desses elementos, otimizando racionalmente radiação solar e ventos dominantes e como ressalta a autora, as ruas são os principais elementos de configuração da estrutura urbana, podendo ser orientadas levando em consideração as condições de sol e ventilação que afetam a ocupação.

Nesse sentido, foram feitas simulações considerando a orientação das ruas, cuja orientação possui 22º de deflexão em relação ao norte, propondo-se sua orientação nos sentidos norte-sul e leste-oeste, para avaliar possíveis ganhos em termos de conforto térmico. Foram então criados modelos para comparar a mudança na orientação com relação a 2061, assim chamados:

1) I2061 e V2061 NS: cenário 2061 com orientação norte-sul;
2) I2061 e V2061 LO: cenário 2061 com orientação leste-oeste;

As curvas de temperatura equivalente resultantes das simulações são apresentados na Figura II.3.5 a partir da qual pode-se verificar entre os diferentes

modelos. No inverno há algum ganho em conforto na simulação de orientação norte-sul (I2061_NS), mas no que se refere ao verão, ambas as simulações resultaram em perdas para o conforto quando comparados os resultados às simulações de 2061.

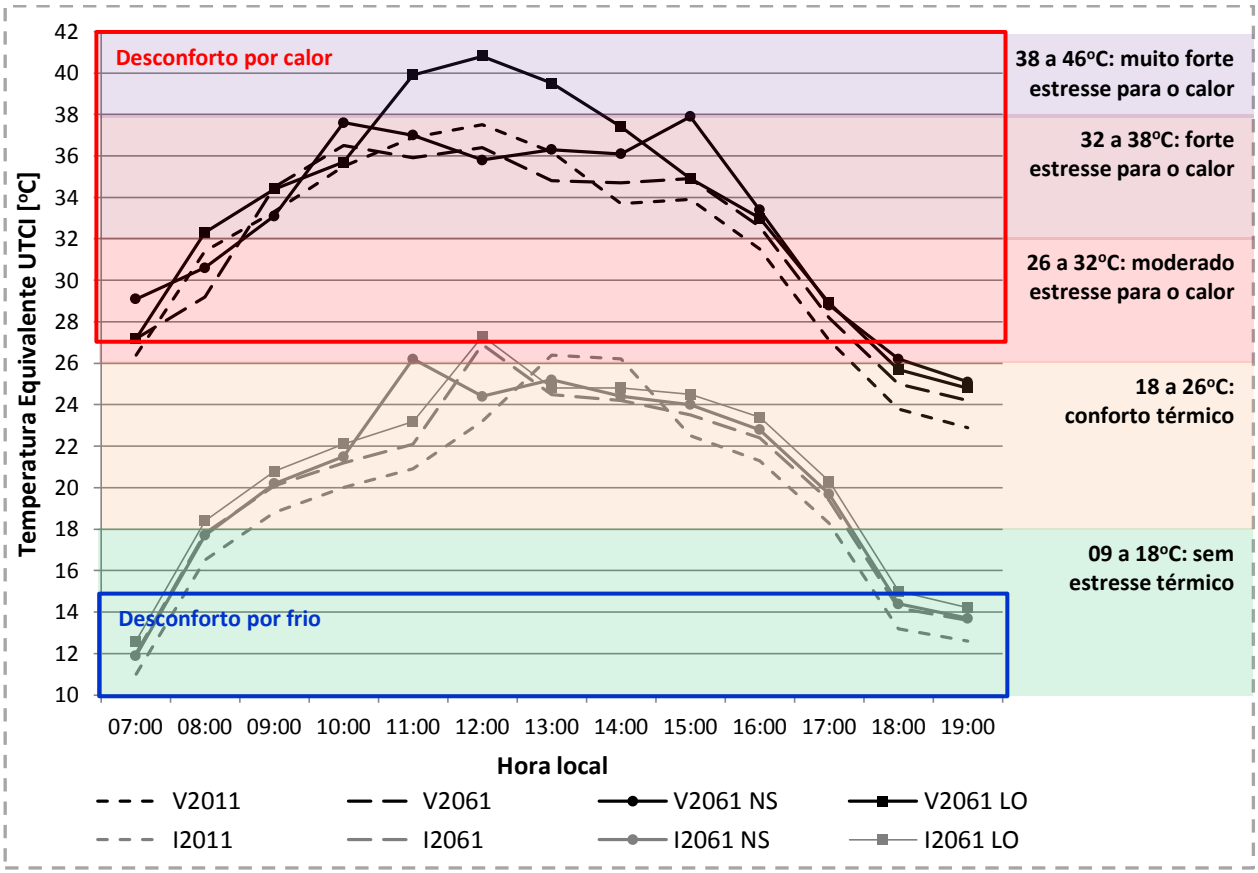


FIGURA II.3.5 – UTCI CENÁRIOS ORIENTAÇÃO (INVERNO E VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

A tabela II.3.11 apresenta os resultados obtidos para as simulações de orientação em situação de inverno, os quais mostram ganhos da simulação de orientação norte-sul de 2061 (V2061 NS) com relação às simulações de orientação real (V2061). Comparando-se a temperatura equivalente UTCI, verifica-se a redução de 0,1^{o}C no valor inicial das 07h00 (caindo de 12^{o}C para 11,9^{o}C) o que não é positivo, pois nesse caso há aumento do desconforto por frio. Já no valor médio verifica-se o aumento de 0,4^{o}C, visto que a temperatura equivalente UTCI média eleva-se de 20,1^{o}C para 20,5^{o}C, nesse caso o efeito é positivo pois há um pequeno aumento na média que, nesse caso está dentro da faixa de conforto. Por fim, quanto à temperatura equivalente UTCI máxima contata-se 0,7^{o}C de redução (caindo de 26,9^{o}C em 2061 para 26,2^{o}C na orientação norte-sul – I2061 NS) redução também dentro da faixa de conforto.

TABELA II.3.11 – UTCI PARA ORIENTAÇÃO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011).

Date	Time	I2011	I2061	I2061 NS	I2061 LO
11.08.2011	07:00	11,0	12,0	11,9	12,6
11.08.2011	08:00	16,5	17,8	17,7	18,4
11.08.2011	09:00	18,8	20,1	20,2	20,8
11.08.2011	10:00	20,0	21,2	21,5	22,1
11.08.2011	11:00	20,9	22,1	26,2	23,2
11.08.2011	12:00	23,2	26,9	24,4	27,3
11.08.2011	13:00	26,4	24,5	25,2	24,8
11.08.2011	14:00	26,2	24,2	24,4	24,8
11.08.2011	15:00	22,5	23,5	24,0	24,5
11.08.2011	16:00	21,3	22,4	22,8	23,4
11.08.2011	17:00	18,3	19,4	19,7	20,3
11.08.2011	18:00	13,2	14,2	14,4	15,0
11.08.2011	19:00	12,6	13,6	13,7	14,2
Mín.		11,0	12,0	11,9	12,6
Med.		19,3	20,1	20,5	20,9
Máx.		26,4	26,9	26,2	27,3

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

A tabela II.3.12 apresenta os resultados d as simulações de verão, os quais mostram ganhos na temperatura UTCI, tanto na orientação leste-oeste como na norte-sul e, por conseguinte, perdas no conforto térmico e intensificação das temperaturas máximas, as quais chegam a situar-se na faixa de “muito forte estresse para o calor”.

TABELA II.3.12 – UTCI PARA ORIENTAÇÃO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2061	V2061 NS	V2061 LO
22.02.2011	07:00	26,4	27,2	29,1	27,2
22.02.2011	08:00	31,4	29,2	30,6	32,3
22.02.2011	09:00	33,3	34,5	33,1	34,4
22.02.2011	10:00	35,5	36,5	37,6	35,7
22.02.2011	11:00	36,9	35,9	37,0	39,9
22.02.2011	12:00	37,5	36,4	35,8	40,8
22.02.2011	13:00	36,2	34,8	36,3	39,5
22.02.2011	14:00	33,7	34,7	36,1	37,4
22.02.2011	15:00	33,9	34,9	37,9	34,9
22.02.2011	16:00	31,5	32,6	33,4	33,0
22.02.2011	17:00	27,1	28,2	28,8	28,9
22.02.2011	18:00	23,8	25,0	26,2	25,7
22.02.2011	19:00	22,9	24,2	25,1	24,8
Mín.		22,9	24,2	25,1	24,8
Med.		31,5	31,9	32,8	33,4
Máx.		37,5	36,5	37,9	40,8

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

II.3.1.1.5. Permeabilidade do solo

O gerenciamento da permeabilidade do solo relaciona-se tanto à taxa de ocupação do lote como a taxa de permeabilidade dos solos (expostos ou com cobertura vegetal), capazes de contribuir para a infiltração de água. A urbanização leva à impermeabilização das cidades tanto pelo processo de construção, como pelo revestimento dos solos por pavimentos impermeáveis, agravando o problema de escoamento das águas pluviais e contribuindo para ocorrência de enchentes urbanas.

A permeabilidade foi investigada por meio das simulações de redução da taxa de ocupação (descritas na seção II.3.1.1.3, págs. 254-255) e pela simulação de áreas verdes que propõe a conformação de praças nas áreas livres dos miolos das quadras (simulação I2061 e V2061 PRAÇA). A figura II.3.6 mostra os resultados do UTCI.

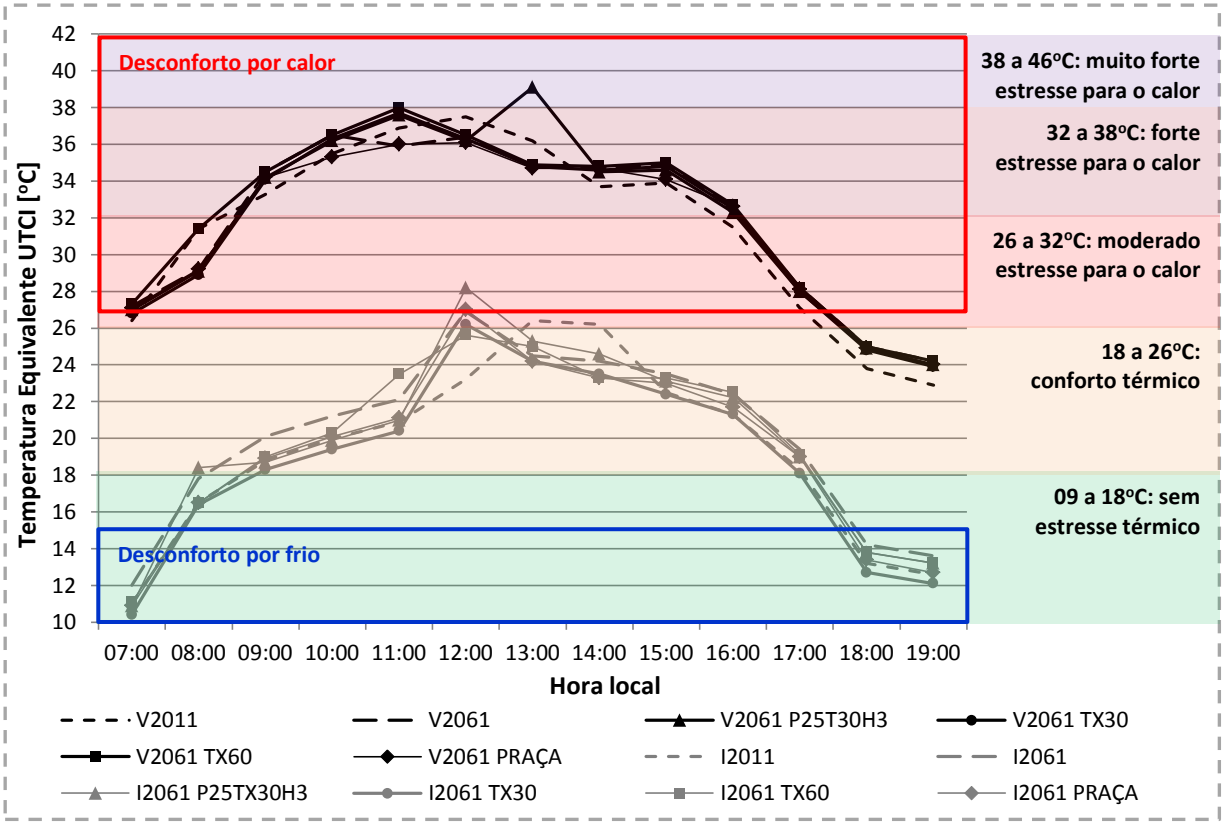


FIGURA II.3.6 – UTCI CENÁRIOS DENSIDADE CONSTRUÍDA (INVERNO E VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

A taxa de ocupação mínima requerida na área é de 25%, porém, os levantamentos de preparação da base cartográfica mostraram que em 2011 era de aproximadamente 24% da área. Nos modelos simulados há diferentes taxas de permeabilidade: nos modelos 2061 P25T30H3 e 2061 TX30 a permeabilidade é de 24%

(a mesma do modelo de 2011); no modelo 2061 TX60 reduz-se para 20%; e, no modelo 2061 PRAÇA, em que são conformadas praças nos miolos de quadra, há aumento da permeabilidade para 32%.

Os resultados obtidos, apresentados na tabela II.3.13 para situação de inverno, mostram pouca variação nos valores de saída, os modelos que expõem mais as fachadas dos edifícios e as superfícies ao sol devido aos espaços criados entre edifícios – I2061 P25TX30H3 e I2061 PRAÇA, apresentam elevação na Trm e consequentemente nas temperaturas UTCI máximas. Já os modelos I2061 TX30 e I2061 TX60, nos quais o espaçamento entre as edificações permanece o mesmo ou é até mesmo reduzido (I2061 TX60), verifica-se também redução em todos os valores UTCI, totalizando 0,7^{o}C na primeira (I2061 TX30) e de 1,3^{o}C na segunda (I2061 TX60).

TABELA II.3.13 – UTCI PERMEABILIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011).

Date	Time	I2011	I2061	I2061 P25TX30H3	I2061 TX30	I2061 TX60	I2061 PRAÇA
11.08.2011	07:00	11,0	12,0	10,9	10,4	11,1	10,9
11.08.2011	08:00	16,5	17,8	18,4	16,4	16,5	16,5
11.08.2011	09:00	18,8	20,1	18,7	18,3	19,0	18,9
11.08.2011	10:00	20,0	21,2	19,9	19,4	20,3	20,1
11.08.2011	11:00	20,9	22,1	21,0	20,4	23,5	21,1
11.08.2011	12:00	23,2	26,9	28,2	26,2	25,6	27,0
11.08.2011	13:00	26,4	24,5	25,3	24,2	25,0	24,2
11.08.2011	14:00	26,2	24,2	24,6	23,5	23,3	23,3
11.08.2011	15:00	22,5	23,5	23,1	22,4	23,3	23,0
11.08.2011	16:00	21,3	22,4	22,2	21,3	22,5	21,7
11.08.2011	17:00	18,3	19,4	19,0	18,1	19,1	19,0
11.08.2011	18:00	13,2	14,2	13,8	12,7	13,8	13,4
11.08.2011	19:00	12,6	13,6	13,2	12,1	13,2	12,7
Mín.		11,0	12,0	10,9	10,4	11,1	10,9
Med.		19,3	20,1	19,9	18,9	19,7	19,4
Máx.		26,4	26,9	28,2	26,2	25,6	27,0

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Na tabela II.3.14 são apresentados os resultados para situação de verão e, neste caso, a proposta de conformação de áreas verdes para o aumento da permeabilidade é o cenário mais positivo. Nesse modelo observa-se redução de 0,2^{o}C na temperatura equivalente UTCI mínima (07h00), nota-se a redução de 0,3^{o}C na média e de 0,4^{o}C na temperatura máxima do dia, que nesse caso ocorre às 12h00 (13h00 se considerado o horário de verão).

TABELA II.3.14 – UTCI PERMEABILIDADE, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2061	V2061 P25T30H3	V2061 TX30	V2061 TX60	V2061 PRAÇA
22.02.2011	07:00	26,4	27,2	27,0	26,8	27,3	27,1
22.02.2011	08:00	31,4	29,2	29,1	28,9	31,4	29,2
22.02.2011	09:00	33,3	34,5	34,2	34,1	34,5	34,2
22.02.2011	10:00	35,5	36,5	36,2	36,3	36,5	35,3
22.02.2011	11:00	36,9	35,9	37,6	37,7	38,0	36,0
22.02.2011	12:00	37,5	36,4	36,2	36,3	36,5	36,1
22.02.2011	13:00	36,2	34,8	39,1	34,8	34,9	34,7
22.02.2011	14:00	33,7	34,7	34,5	34,6	34,8	34,7
22.02.2011	15:00	33,9	34,9	34,6	34,8	35,0	34,1
22.02.2011	16:00	31,5	32,6	32,3	32,5	32,7	32,6
22.02.2011	17:00	27,1	28,2	28,0	28,0	28,2	28,1
22.02.2011	18:00	23,8	25,0	24,9	24,8	25,0	24,9
22.02.2011	19:00	22,9	24,2	24,0	23,9	24,2	24,0
Mín.		22,9	24,2	24,0	23,9	24,2	24,0
Med.		31,5	31,9	32,1	31,8	32,2	31,6
Máx.		37,5	36,5	39,1	37,7	38,0	36,1

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

O índice UTCI não é capaz de refletir os ganhos em termos de permeabilidade, mas sim do conforto térmico em espaços abertos decorrente das alterações propostas pelos novos modelos. Sendo assim, o modelo de conformação de praças (V2061 PRAÇA) deveria retornar os resultados mais expressivos, especialmente no verão, em face da maior expansão da área permeável e é o que se verifica.

II.3.1.1.6. Propriedades Termodinâmicas dos materiais

Com a urbanização, os materiais de construção utilizados, em substituição dos materiais naturais, provocam mudanças nos processos de absorção, transmissão e reflexão, apresentando geralmente menor valor de albedo, maior capacidade calorífica e valor elevado de condutividade térmica (NOGUEIRA, 2010, p.51). O desempenho dos materiais urbanos é determinado por suas características térmicas, sendo o albedo e a emissividade fatores dos mais significantes para os processos de absorção e transmissão de calor.

Nesse sentido, o ENVI-met permite a alteração das propriedades termodinâmicas dos materiais, pela configuração dos valores de albedo e emissividade para pisos, paredes, tetos e solos. Com base no estudo realizado por

Emmanuel *et al* (2007) para Colombo no Sri Lanka, foram realizadas simulações compatíveis com o uso de materiais com valores de albedo mais altos. Objetivando reduzir a condutividade térmica dos materiais empregados, foram realizadas as seguintes simulações de albedo alto (High Albedo), e nessas os únicos valores alterados foram os valores do albedo e da transmitância:

1) I2061 e V2061 HALB PAREDES: utilização de albedo alto nas paredes, inserido na seção do edifício, do arquivo de configuração da simulação. Valores utilizados foram albedo de 0,6 e transmitância das paredes de 0,57 (EMMANUEL *et al,* 2007), equivalente a parede de blocos de concreto de 225 mm revestido por camada de argamassa de 15 mm;
2) I2061 e V2061 HALB PISOS: alteração do albedo e emissividade somente dos pisos, utilizando-se a estratégia do “branqueamento” que consiste no uso de materiais compostos por agregados mais claros, ou utilização de pintura branca (TAHA et al, 1992), o valor de albedo utilizado foi de 0,6;
3) I2061 e V2061 HALB TETOS: utilizando 0,6 de albedo e 0,64 de transmitância (EMMANUEL *et al,* 2007), referente a cobertura em concreto impermeabilizado, de 150 mm, composto por agregado claro, se fosse considerada pintura branca poderia ser utilizado albedo de 0,7 (TAHA et al, 1992);
4) I2061 e V2061 HALB PAT: composição utilizando albedo alto nas paredes e tetos conforme configurações anteriores;
5) I2061 e V2061 HALB PIT: composição utilizando albedo alto em pisos e tetos, conforme configurações anteriores;
6) I2061 e V2061 HALB PPT: composição utilizando albedo alto em pisos, paredes e tetos, conforme configurações anteriores.

Na Figura II.3.7 são apresentadas as curvas de evolução da temperatura equivalente UTCI para as diversas simulações, na qual é possível verificar a ocorrência de alguns pontos de temperatura abaixo das curvas de 2011 e 2061, tanto na situação de inverno como de verão.

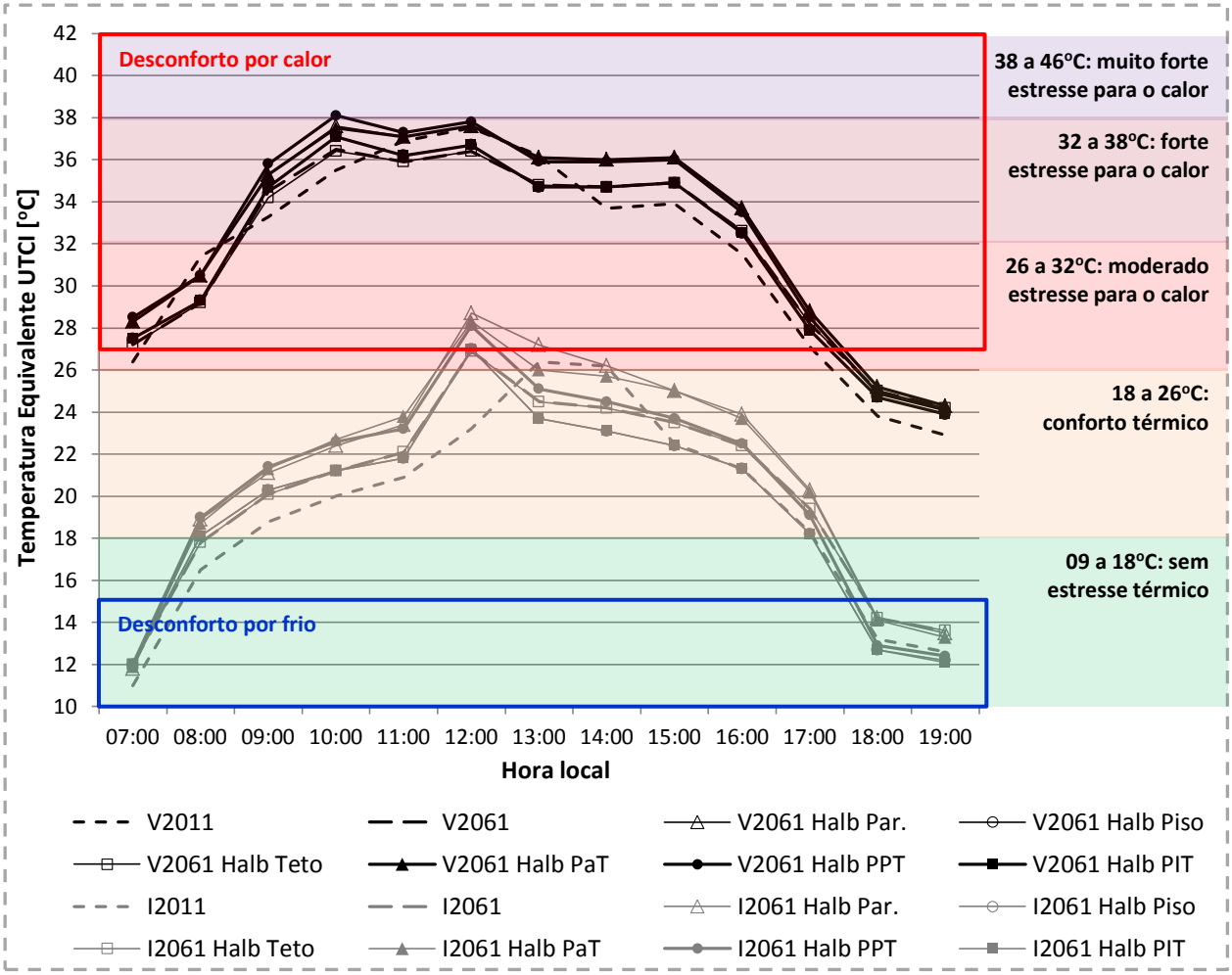


FIGURA II.3.7 – UTCI CENÁRIOS ALBEDO ALTO (INVERNO E VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

A Tabela II.3.15 apresenta resultados médios e horários, do período das 07h00-19h00, em situação de inverno no qual pode-se verificar que a utilização de materiais de albedo alto em pisos e tetos reduz a temperatura exterior à edificação e melhora as condições de conforto no espaço urbano. Por outro lado, a utilização de materiais ou composições de materiais de albedo alto em paredes aumenta o calor no espaço externo ao mesmo tempo em que protege e isola mais eficientemente o espaço interno.

A utilização nos pisos resultou mais eficiente do que nos tetos, isso porque a opção em concreto, baseada em Emmanuel et al (2007) não é a mais efetiva e sim uma boa opção para o local estudado. A pintura branca (“branqueamento”) chega a um valor de albedo de 0,70-0,80 e a utilização de elastômeros (membranas) a base de Etileno-Propileno (EPDM ou EPT – *Ethylene-Propylene-Diene Terpolymer ou Ethylene-Propylene Terpolymer*) com albedo de 0,81-082 (TAHA *et al*, 1992).

TABELA II.3.15 – UTCI PARA ALBEDO ALTO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011).

Date	Time	I2011	I2061	I2061 Halb Par.	I2061 Halb Piso	I2061 Halb Teto	I2061 Halb PaT	I2061 Halb PPT	I2061 Halb PIT
11.08.2011	07:00	11,0	12,0	11,8	12,0	12,0	11,9	12,0	12,0
11.08.2011	08:00	16,5	17,8	18,9	18,1	17,8	18,7	19,0	18,1
11.08.2011	09:00	18,8	20,1	21,1	20,3	20,1	21,3	21,4	20,3
11.08.2011	10:00	20,0	21,2	22,4	21,2	21,2	22,7	22,6	21,2
11.08.2011	11:00	20,9	22,1	23,4	21,8	22,1	23,8	23,2	21,8
11.08.2011	12:00	23,2	26,9	28,7	27,0	26,9	28,3	28,1	27,0
11.08.2011	13:00	26,4	24,5	27,2	23,7	24,5	26,0	25,1	23,7
11.08.2011	14:00	26,2	24,2	26,2	23,1	24,2	25,7	24,5	23,1
11.08.2011	15:00	22,5	23,5	25,0	22,4	23,5	25,0	23,7	22,4
11.08.2011	16:00	21,3	22,4	23,9	21,3	22,4	23,7	22,5	21,3
11.08.2011	17:00	18,3	19,4	20,3	18,2	19,4	20,2	19,1	18,2
11.08.2011	18:00	13,2	14,2	14,2	12,7	14,2	14,1	12,9	12,7
11.08.2011	19:00	12,6	13,6	13,5	12,2	13,6	13,3	12,4	12,1
Mín.		11,0	12,0	11,8	12,0	12,0	11,9	12,0	12,0
Med.		19,3	20,1	21,3	19,5	20,1	21,1	20,5	19,5
Máx.		26,4	26,9	28,7	27,0	26,9	28,3	28,1	27,0

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Na tabela II.3.16 são mostrados os resultados obtidos para as simulações de verão, nos quais verifica-se que a utilização de materiais de revestimento de albedo alto nas coberturas foi a melhor solução, resultando na redução da temperatura equivalente UTCI no verão, sem, no entanto, reduzi-la no inverno.

TABELA II.3.16 – UTCI PARA ALBEDO ALTO, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2061	V2061 Halb Par.	V2061 Halb Piso	V2061 Halb Teto	V2061 Halb PaT	V2061 Halb PPT	V2061 Halb PIT
22.02.2011	07:00	26,4	27,2	28,3	27,5	27,2	28,3	28,5	27,5
22.02.2011	08:00	31,4	29,2	30,5	29,3	29,2	30,5	30,5	29,3
22.02.2011	09:00	33,3	34,5	35,3	34,7	34,2	35,3	35,8	34,7
22.02.2011	10:00	35,5	36,5	37,6	37,1	36,4	37,5	38,1	37,1
22.02.2011	11:00	36,9	35,9	37,1	36,2	35,9	37,1	37,3	36,2
22.02.2011	12:00	37,5	36,4	37,6	36,7	36,4	37,6	37,8	36,7
22.02.2011	13:00	36,2	34,8	36,1	34,7	34,8	36,1	35,9	34,7
22.02.2011	14:00	33,7	34,7	36,0	34,7	34,7	36,0	35,9	34,7
22.02.2011	15:00	33,9	34,9	36,1	34,9	34,9	36,1	36,0	34,9
22.02.2011	16:00	31,5	32,6	33,7	32,5	32,6	33,7	33,5	32,5
22.02.2011	17:00	27,1	28,2	28,8	27,9	28,2	28,8	28,5	27,9
22.02.2011	18:00	23,8	25,0	25,2	24,7	25,0	25,2	24,9	24,7
22.02.2011	19:00	22,9	24,2	24,3	23,9	24,2	24,3	24,1	23,9
Mín.		22,9	24,2	24,3	23,9	24,2	24,3	24,1	23,9
Med.		31,5	31,9	32,8	31,9	31,8	32,8	32,8	31,9
Máx.		37,5	36,5	37,6	37,1	36,4	37,6	38,1	37,1

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

II.3.1.1.7. Áreas Verdes

Arborização urbana e as áreas verdes refrescam as áreas circunvizinhas tanto através da evapotranspiração (conversão da energia solar em água evaporada ao invés de calor), mantendo assim as do ar mais baixas, promovendo sombras para as superfícies, protegendo-as do calor do sol, mantendo-as mais frescas e reduzindo o calor armazenado por elas. (GARTLAND, 2010, p.64-65). As espécies arbóreas assim como demais tipos de vegetação, são os elementos mais completos para adaptar e proteger os espaços livres, para manter o equilíbrio do ecossistema urbano, além de favorecer a composição atmosférica, a velocidade do ar ou a umidade ambiental. Trazem também benefícios ambientais proporcionando a melhoria do microclima urbano, através do sombreamento e do controle do vento, além da redução da poluição do ar por absorção e redução de ruído. (HIGUERAS, 1998; SHASUA-BAR E HOFFMAN, 2000).

No intuito de investigar a contribuição da vegetação para o conforto térmico na área estudada, foram propostos diversos modelos de simulação com a intensificação da arborização viária, uso de lajes e tetos verdes, e uso de lajes verdes sombreadas por espécies de pequeno porte entre outros:

1) I2061 e V2061_SARV: modelo de ocupação para 2061 sem qualquer arborização, apenas áreas verdes rasteiras (gramíneas de até 50 cm);
2) I2061 e V2061_LV: modelo de ocupação para 2061 com utilização de lajes verdes em 60% das superfícies livres;
3) I2061 e V2061_LVS: modelo de ocupação para 2061 com uso de lajes verdes sombreadas por árvores de pequeno porte em 60% das superfícies livres;
4) I2061 e V2061_TV: modelo de ocupação para 2061 com utilização de tetos verdes em 100% das áreas de cobertura;
5) I2061 e V2061_LVTV: modelo de ocupação para 2061 com utilização de lajes verdes em 60% da área e tetos verdes em 100% das coberturas;
6) I2061 e V2061_LVSTV: modelo de ocupação para 2061 com utilização de lajes verdes sombreadas por árvores de pequeno porte em 60% da área e tetos verdes em 100% das coberturas;
7) I2061 e V2061_PRAÇA: modelo de ocupação para 2061 e conformação de praças no miolo das quadras da área do recorte espacial;

8) I2061 e V2061_IARB: modelo de ocupação para 2061com intensificação da arborização viária através da utilização de árvores de grande porte (20 metros de altura e de copa), plantadas a cada 15 metros de modo a fechar uma cobertura verde sobre ruas e calçadas;
9) I2061 e V2061_VERDE: modelo de ocupação para 2061 e utilização cumulativa de todas as estratégias de aumento da área verde.

Para efeitos de proposição de intensificação da arborização (modelos I2061 e V2061_PRAÇA, I2061 e V2061_IARB e I2061 e V2061_VERDE), foram utilizados valores reunidos nos trabalhos de Spangenberg (2010), Pietrobon (1999), Weingartner (1994), Bueno (2003), que fornecem parâmetros dimensionais, de atenuação dos raios solares e de índice da área folhar (*Leaf Area Index – LAI*) para árvores de grande porte (acima de 12 m de altura e diâmetro de copa da ordem de 15 m ou mais) e alta capacidade de atenuação, assim como para árvores de médio porte (abaixo de 10 m de altura e apresentando copas também inferiores a 10 m) com base em árvores utilizadas na arborização urbana brasileira, tais como: Tipuana (*Tipuana tipu*), Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*), Quaresmeira (*Tibouchina granulosa*), Ipê Amarelo (*Tebebuia crysotricha*), Ipê Roxo (*Tebebuia impetiginosa*), etc. Utilizaram-se então os maiores valores levantados por Weingartner para a cidade de Porto Alegre cujo LAI atinge 6,30 m/m^2 em situação de verão e 3,6 m/m^2 em situação de inverno para árvores de grande porte como as Tipuanas. E, no caso das árvores de pequeno e médio porte o LAI médio indicado pelos presentes autores considerando diversas espécies foi de 2,3 m/m^2 e 1,5 m/m^2 para situações de verão e inverno respectivamente.

Na figura II.3.8 são apresentadas as curvas de temperatura equivalente UTCI para situação de inverno e verão que demonstram uma convergência bastante significativa para várias simulações e o destaque para algumas simulações cujas curvas mostram-se abaixo da maioria. As simulações que mostram resultados visivelmente mais favoráveis são aquelas que introduzem a intensificação da arborização, seja viária ou no interior dos lotes.

A Tabela II.3.17, resultados em situação de inverno, mostram que há redução na temperatura equivalente UTCI em todas as simulações que fizeram uso de tetos verdes ou intensificação da arborização (LV, LVTV, LVSTV, IARB, VERDE).

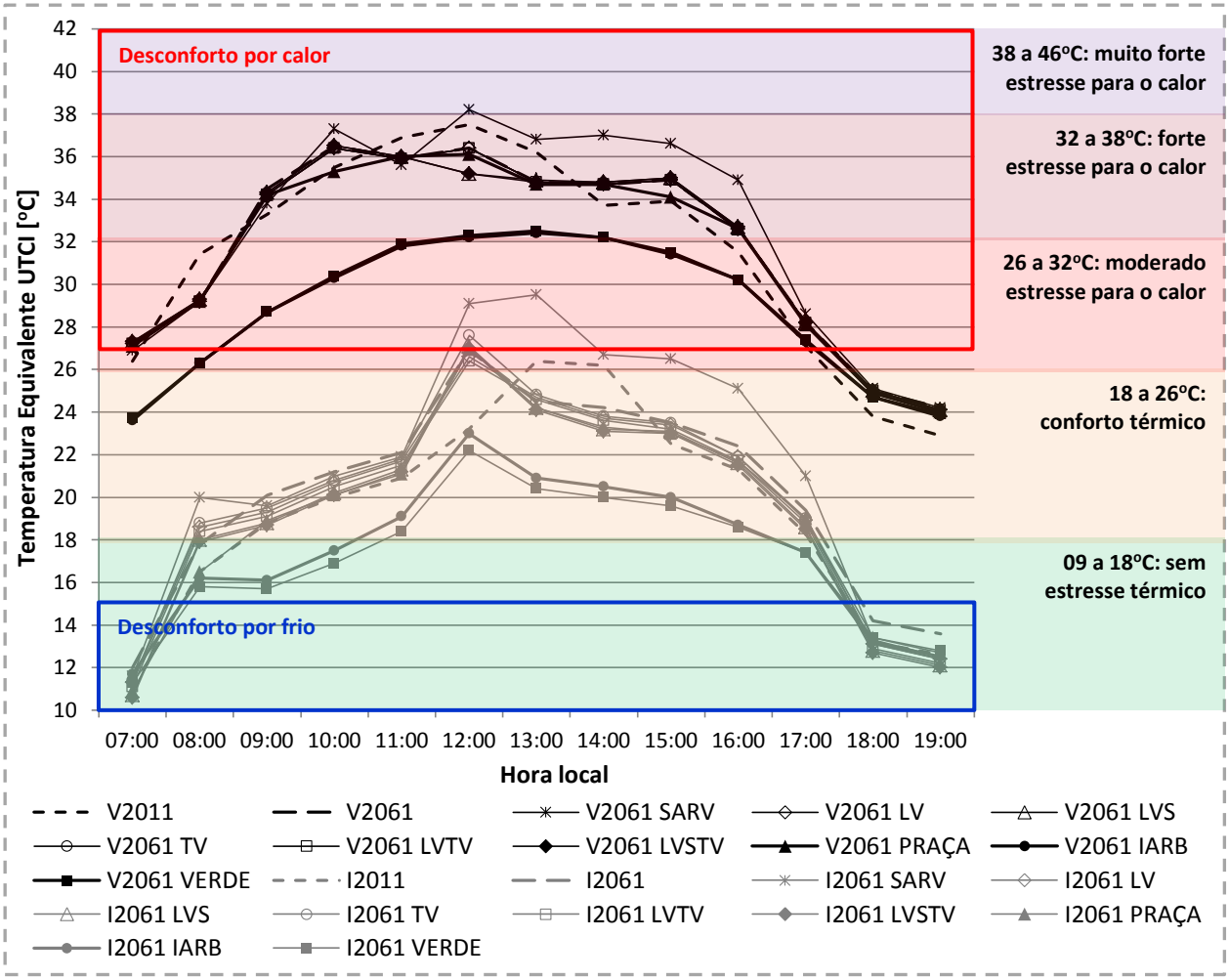


FIGURA II.3.8 – UTCI CENÁRIOS ÁREAS VERDES (INVERNO E VERÃO).

Os melhores resultados são proporcionados pela intensificação da arborização urbana (simulações I2061_IARB e I2061_VERDE) proporcionam reduções na temperatura equivalente UTCI da ordem de 3ºC na e de 4ºC na temperatura equivalente UTCI máxima.

Quando comparadas aos cenários de 2011 e 2061, a simulação de intensificação da arborização urbana (I2061_IARB) retorna uma redução de 2,7ºC na média em relação a 2061 e de 1,9ºC em relação à média de 2011, já a simulação cumulativa (I2061_VERDE) retorna reduções de 2,2ºC e 3ºC respectivamente a 2011 e 2061. No horário de maior temperatura, porém, a redução proporcionada pela simulação cumulativa (I2061_VERDE) chega a 4,7ºC (para 2061) e 4,2ºC (para 2011) reduzindo a temperatura equivalente UTCI de 26,9ºC para 22,2º C.

TABELA II.3.17 – UTCI PARA ÁREAS VERDES, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (11/08/2011).

Date	Time	I2011	I2061	I2061 SARV	I2061 LV	I2061 LVS	I2061 TV	I2061 LVTV	I2061 LVSTV	I2061 PRAÇA	I2061 IARB	I2061 VERDE
11.08.2011	07:00	11,0	12,0	11,6	11,3	10,7	11,4	11,1	10,6	10,9	11,7	11,3
11.08.2011	08:00	16,5	17,8	20,0	18,6	18,0	18,8	18,4	17,9	16,5	16,2	15,8
11.08.2011	09:00	18,8	20,1	19,6	19,3	18,8	19,5	19,1	18,7	18,9	16,1	15,7
11.08.2011	10:00	20,0	21,2	21,0	20,7	20,2	20,8	20,5	20,1	20,1	17,5	16,9
11.08.2011	11:00	20,9	22,1	21,9	21,7	21,3	21,8	21,5	21,2	21,1	19,1	18,4
11.08.2011	12:00	23,2	26,9	29,1	26,6	27,1	27,6	26,4	27,0	27,0	23,0	22,2
11.08.2011	13:00	26,4	24,5	29,5	24,7	24,2	24,8	24,6	24,1	24,2	20,9	20,4
11.08.2011	14:00	26,2	24,2	26,7	23,7	23,2	23,8	23,6	23,1	23,3	20,5	20,0
11.08.2011	15:00	22,5	23,5	26,5	23,4	23,1	23,5	23,2	23,0	23,0	20,0	19,6
11.08.2011	16:00	21,3	22,4	25,1	21,9	21,6	21,9	21,7	21,5	21,7	18,7	18,6
11.08.2011	17:00	18,3	19,4	21,0	18,9	18,6	19,0	18,8	18,5	19,0	17,4	17,4
11.08.2011	18:00	13,2	14,2	13,3	13,1	12,8	13,1	12,9	12,7	13,4	13,2	13,4
11.08.2011	19:00	12,6	13,6	12,5	12,4	12,1	12,4	12,2	12,0	12,7	12,5	12,8
Mín.		11,0	12,0	11,6	11,3	10,7	11,4	11,1	10,6	10,9	11,7	11,3
Med.		19,3	20,1	21,4	19,7	19,4	19,9	19,5	19,3	19,4	17,4	17,1
Máx.		26,4	26,9	29,5	26,6	27,1	27,6	26,4	27,0	27,0	23,0	22,2

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

A Tabela II.3.18 apresenta os resultados em situação de verão, os quais reiteram os ganhos das simulações com intensificação da arborização (I2061_IARB e I2061_VERDE).

TABELA II.3.18 – UTCI PARA ÁREAS VERDES, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2061	V2061 SARV	V2061 LV	V2061 LVS	V2061 TV	V2061 LVTV	V2061 LVSTV	V2061 PRAÇA	V2061 IARB	V2061 VERDE
22.02.2011	07:00	26,4	27,2	26,9	27,2	27,3	27,2	27,2	27,3	27,1	23,6	23,7
22.02.2011	08:00	31,4	29,2	29,2	29,2	29,3	29,2	29,2	29,3	29,2	26,3	26,3
22.02.2011	09:00	33,3	34,5	33,8	34,2	34,3	34,2	34,2	34,3	34,2	28,7	28,7
22.02.2011	10:00	35,5	36,5	37,3	36,4	36,5	36,4	36,4	36,5	35,3	30,3	30,4
22.02.2011	11:00	36,9	35,9	35,6	35,9	36,0	35,9	35,9	36,0	36,0	31,8	31,9
22.02.2011	12:00	37,5	36,4	38,2	36,4	35,2	36,4	36,4	35,2	36,1	32,2	32,3
22.02.2011	13:00	36,2	34,8	36,8	34,8	34,9	34,8	34,8	34,8	34,7	32,4	32,5
22.02.2011	14:00	33,7	34,7	37,0	34,7	34,8	34,7	34,7	34,8	34,7	32,2	32,2
22.02.2011	15:00	33,9	34,9	36,6	34,9	35,0	34,9	34,9	35,0	34,1	31,4	31,5
22.02.2011	16:00	31,5	32,6	34,9	32,6	32,7	32,6	32,6	32,7	32,6	30,2	30,2
22.02.2011	17:00	27,1	28,2	28,6	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,1	27,3	27,4
22.02.2011	18:00	23,8	25,0	25,1	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,9	24,7	24,7
22.02.2011	19:00	22,9	24,2	24,2	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,0	23,8	23,9
Mín.		22,9	24,2	24,2	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,0	23,6	23,7
Med.		31,5	31,9	32,6	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,6	28,8	28,9
Máx.		37,5	36,5	38,2	36,4	36,5	36,4	36,4	36,5	36,1	32,4	32,5

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

As reduções na temperatura equivalente UTCI média ampliam-se um pouco, situando-se na ordem 3,1^{o}C (I2061_IARB) e 3,0^{o}C (I2061_VERDE) comparadas a 2061 e 2,7^{o}C e 2,6^{o}C comparadas a 2011. Porém, quando examinados os horários mais quentes do dia (das 10h00 as 16h00) notam-se reduções mais significativas que vão de 3,4^{o}C (as 15h00) a até 6,2^{o}C (10h00), implicando na mudança de faixa de estresse para o calor movendo-se da faixa de forte estresse (32-38^{o}C) para a de moderado estresse (abaixo dos 32^{o}C).

Evidenciam-se de modo claro os benefícios da utilização da vegetação no espaço urbano, como nesse caso, em que foram analisados sob o ponto de vista do conforto térmico em espaços abertos, mas que se ampliam para outras esferas do ecossistema urbano. Contribuem não somente através redução da temperatura do ar e radiação solar sob sua sombra (ABREU e LABAKI, 2007), promovida pela evapotranspiração que pode resultar na redução da temperatura na microescala em cerca de 1 a 5^{o}C, como também pela capacidade das árvores de agirem como armazenadores de carbono, pelo potencial da vegetação como revestimento do solo capaz de contribuir para a redução das inundações urbanas, pela filtragem de poluentes e CO_2 do ar e sua contribuição para qualidade de vida. (KATZSCHNER, 2007, p.8).

Além das funções ligadas ao sombreamento das superfícies e absorção da radiação contribuindo para diminuição da temperatura do ar e aumento da umidade do ar, as áreas verdes aumentam a qualidade de vida na cidade exercendo também outras funções urbanas, como a social e a psicológica. (DANNI-OLIVEIRA, 1987; OLIVEIRA, 1988; ROMERO, 1988; GIVONI, 1991, 1998).

II.3.1.1.8. Uso e Ocupação do Solo

O uso do solo interfere na distribuição das temperaturas dentro das estruturas urbanas, seja pela dispersão ou concentração de atividades com o tempo (dias úteis e finais de semana), da centralização ou descentralização das atividades (maior massa construída nos centros urbanos) e também pela proporção e distribuição das áreas verdes. (BARBIRATO *et al*, 2007). A concentração de determinados usos pode influir na formação de microclimas particulares e até prejudiciais ao conforto térmico na cidade.

O uso do solo, regulamentado pelos parâmetros de uso e ocupação do solo que dão forma à cidade, relaciona-se diretamente a fatores, tais como a concentração

e/ou dispersão de usos ditada pelo zoneamento, taxas de ocupação e permeabilidade, rugosidade e porosidade, densidade construída e áreas verdes. Relaciona-se também, indiretamente, ao tamanho da estrutura urbana, a orientação e as propriedades termodinâmicas dos materiais utilizados nos edifícios e pavimentação da cidade. Portanto, considerando tais relações de dependência, optou-se pela não investigação dessa diretriz separadamente.

II.3.1.2. Impactos no conforto térmico quanto às estratégias de proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas

Objetivando a proteção do clima e adaptação às mudanças climáticas previstas pelo IPCC, Endlicher 2012, propôs algumas estratégias para buscar a mitigação desses efeitos ou até mesmo evita-los. As soluções propostas estão dividem em três grupos principais:

1) Soluções de adequação ao desconforto por calor;
2) Soluções de adequação para a alta precipitação; e,
3) Soluções de adequação para períodos de seca.

O desconforto por calor, provocado na maioria das vezes por ondas de calor, está relacionado tanto a aspectos de clima urbano como humano-biometeorológicos e seu principal reflexo se dá o aquecimento das áreas construídas que carecem de resfriamento noturno por causa de ventilação deficiente. Os principais reflexos desse desconforto atingem diretamente o ser humano com a redução na qualidade de permanência, na perda de produtividade e na redução do bem-estar e saúde. Segundo o autor, podem enfrentados por soluções de reestruturação urbana de médio e longo prazo, tendo sido algumas destas previamente investigadas pelas simulações realizadas. O quadro II.3.1 apresenta um panorama das soluções propostas e dos resultados encontrados.

Ainda no que diz respeito ao desconforto por calor, Endlicher (2012, p.241), destaca a importância da conservação da água nas ocupações humanas, cuja problemática se faz sentir pela elevação da evaporação e pelo ressecamento das superfícies não impermeabilizadas que levam, inclusive, ao aquecimento do solo. O grande consumo de água potável para irrigação de espaços públicos e privados agrava esse problema, levando a redução na renovação do lenço freático promovida pela crescente redução na permeabilidade do solo, cujos reflexos são sentidos no

aquecimento da água potável nos encanamentos e pelo crescente risco de enchentes ocasionadas pela elevação do volume de drenagem superficial.

ADEQUAÇÃO AO DESCONFORTO POR CALOR ASPECTOS HUMANO-BIOMETEOROLÓGICOS.	
SOLUÇÕES PROPOSTAS (ENDLICHER, 2012, P.240).	RESULTADOS RELATIVOS AO CENÁRIO FUTURO 2061. COM BASE NA TEMPERATURA UTCI MÉDIA.
Fixar limites de construção;	I2061 e V2061 H/W 1.5
	Simulação de diversos fatores de rugosidade (H/W) buscando um valor de limitação para a altura resultou na redução da temperatura equivalente UTCI em 0,2°C no inverno 0,0°C no verão.
Conservar superfície livre, criar e conformar;	I2061 e V2061_TX30
	Redução da taxa de ocupação dos lotes para 30% da área total resultou na redução da temperatura equivalente UTCI em 1,2°C no inverno e 0,1°C no verão.
Conservação e criação de superfícies de ar fresco e corredores de ventilação;	I2061 e V2061_LV
	Criação de lajes verdes sombreadas em 60% das superfícies livres do térreo. Resultou em redução de 0,4°C no inverno e 0,1°C no verão.
Ampliação da área verde com uso de árvores grandes nas ruas;	I2061 e V2061_IARB
	Intensificação da arborização viária pelo plantio de árvores de grande porte (altura e diâmetro de copa de 20m), espaçamento de 15 metros a para criando corredor de sombreamento sobre calçadas e ruas. Utilização LAI médio de 4,3 m/m^2 para verão e 1,7 m/m^2 para inverno (SPANGENBERG *et al*, 2008). Retornou redução na temperatura equivalente UTCI de 2,7°C no inverno e 3,1°C no verão.
Elevação do albedo do edifício	I2061 e V2061_HALB_TETOS
	Elevação do albedo das coberturas dos edifícios, concreto de 15mm a base de agregado e aglutinantes claros, albedo de 0,6 e emissividade de 0,54 (EMMANUEL *et al*, 2007), resultou na redução da temperatura equivalente UTCI de 0,0°C no inverno e 0,1°C no verão.
Uso de materiais de construção mais qualificado;	I2061 e V2061_HALB_PIT
	Elevação do albedo das coberturas dos edifícios, considerando cobertura em concreto de 15mm a base de agregado e aglutinantes claros, com albedo de 0,6 e emissividade de 0,54 (EMMANUEL *et al*, 2007), coordenado ao uso de revestimentos de piso a base de agregados e aglutinantes claros, com albedo de 0,6 (TAHA *et al*, 1992) resultou na redução da temperatura equivalente UTCI de 0,6°C no inverno e 0,0°C no verão.
Teto e fachadas verdes;	I2061 e V2061_HALB_TETOS
	Resultou na redução da temperatura equivalente UTCI de 0,0°C no inverno e 0,1°C no verão.
Criar áreas abertas de superfície de água;	Embora sejam de grande influência sobre o microclima urbano, não foi possível simular essa tipologia nos modelos estudados.
Sombreamento das paredes dos edifícios com elementos móveis;	Embora sejam de grande influência sobre o microclima urbano, não foi possível simular essa tipologia nos modelos estudados.

QUADRO II.3.1 – ADEQUAÇÃO AO DESCONFORTO POR CALOR.

A propósito da conservação da água nas ocupações, o autor indica soluções possíveis, apresentadas no Quadro II.3.2, dentre as quais algumas foram objeto de simulação e tem seus resultados apresentados nesse.

ADEQUAÇÃO AO DESCONFORTO POR CALOR CONSERVAÇÃO DA ÁGUA NAS OCUPAÇÕES.	
SOLUÇÕES PROPOSTAS (ENDLICHER, 2012, P.241).	RESULTADOS RELATIVOS AO CENÁRIO FUTURO 2061. COM BASE NA TEMPERATURA UTCI MÉDIA.
Aumentar o emprego da vegetação como cobertura do solo;	I2061 e V2061_LV
	Uso de lajes verdes em 60% das superfícies livres pavimento térreo. Resultou em redução de 0,4^{o}C no inverno e 0,1^{o}C no verão.
	I2061 e V2061_LVS
	Redução na área pavimentada em pavimento térreo pela criação de lajes verdes sombreadas em 60% das superfícies livres. Não retornou redução na temperatura equivalente UTCI na simulação de inverno, mas resultou em redução de 0,7 ^{o}C no inverno 0,1 ^{o}C no verão.
Sombreamento das superfícies relevantes;	I2061 e V2061_IARB
	Intensificação da arborização viária pelo plantio de árvores de grande porte (altura e diâmetro de copa de 20m), espaçamento de 15 metros a para criando corredor de sombreamento sobre calçadas e ruas. Utilização LAI médio de 4,3 m/m^{2} para verão e 1,7 m/m^{2} para inverno (SPANGENBERG *et al*, 2008). Retornou redução na temperatura equivalente UTCI de 2,7^{o}C no inverno e 3,1^{o}C no verão.
Plantação nos espaços urbanos de plantas mais apropriadas;	I2061 e V2061_IARB
	Intensificação da arborização viária pelo plantio de árvores de grande porte (altura e diâmetro de copa de 20m), espaçamento de 15 metros a para criando corredor de sombreamento sobre calçadas e ruas. Utilização LAI médio de 4,3 m/m^{2} para verão e 1,7 m/m^{2} para inverno (SPANGENBERG *et al*, 2008). Retornou redução na temperatura equivalente UTCI de 2,7^{o}C no inverno e 3,1^{o}C no verão.
Novas construções da superfície de tráfego com materiais de menor capacidade de armazenamento e condução de calor;	I2061 e V2061_HALB_PISOS
	Uso de revestimentos de piso a base de agregados e aglutinantes claros, com albedo de 0,6 (TAHA *et al*, 1992) resultou na redução da temperatura equivalente UTCI de 0,6^{o}C no inverno e 0,0^{o}C no verão.
Criação de soluções de armazenamento para água da chuva;	A criação de reservatórios e lagos a céu aberto pode influenciar positivamente o microclima urbano, mas não pode ser modelada na área estudada.

QUADRO II.3.2 – ADEQUAÇÃO DESCONFORTO POR CALOR E CONSERVAÇÃO DA ÁGUA.

A intensificação na ocorrência de eventos climáticos extremos, tais como as tempestades, vendavais, enchentes, aumenta os riscos e prejuízos para cidades e cidadãos. Um dos problemas recorrentes têm sido as enchentes urbanas, provocadas

pelo rápido escoamento superficial da água e cuja causa principal é a impermeabilização da superfície útil. A falta de permeabilidade do solo leva à sobrecarga do sistema de drenagem, à inundação de estradas túneis e subsolos e ao transbordamento do sistema de drenagem. Os reflexos são os prejuízos para infraestrutura e propriedade privada, contaminação e riscos à saúde. Endlicher (2012, p. 242) sugere algumas soluções, dentre as quais algumas já foram investigadas anteriormente (Quadro II.3.3).

SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO PARA ALTA PRECIPITAÇÃO	
SOLUÇÕES PROPOSTAS (ENDLICHER, 2012, P.242).	RESULTADOS RELATIVOS AO CENÁRIO FUTURO DE 2061. COM BASE NA TEMPERATURA UTCI MÉDIA.
Remoção das superfícies impermeabilizadas;	I2061 e V2061_TX30
	Redução da taxa de ocupação dos lotes para 30% da área total resultou na redução da temperatura equivalente UTCI em 1,2^{o}C no inverno e 0,1^{o}C no verão.
Melhoria, e ampliação das possibilidades de infiltração;	I2061 e V2061_PRAÇA
	Conformação de praças no miolo das quadras, com pisos vegetados (gramíneas de até 50 cm de altura) e arborização de grande porte (altura e diâmetro aproximados de 20 m). Retornou redução da temperatura equivalente UTCI de 0,7^{o}C e 0,3^{o}C respectivamente.
Tetos verdes;	I2061 e V2061_HALB_TETOS
	Resultou na redução da temperatura equivalente UTCI de 0,0^{o}C no inverno e 0,1^{o}C no verão.
Criação de soluções de armazenamento para água da chuva por causa de necessidade;	A criação de reservatórios e lagos a céu aberto pode influenciar positivamente o microclima urbano, mas não pode ser modelada na área estudada.

QUADRO II.3.3 – ADEQUAÇÃO PARA A ALTA PRECIPITAÇÃO.

Por fim, o autor ainda ressalta que, nesse cenário de aquecimento global, existe o risco de períodos prolongados de seca ocasionados pela pouca precipitação ou inexistência dela. O aumento no uso da água para irrigação em espaços públicos e privados sem renovação do lençol freático, reforçado pela redução na mescla do escoamento de água na rede de canalização poderão levar à redução na disponibilidade de água, a contaminação e a diminuição da capacidade hidráulica da rede de canalização. (ENDLICHER, 2012, p.243). No quadro II.3.4 são apresentadas algumas das soluções sugeridas, assim como resultados obtidos para aquelas já investigadas.

SOLUÇÕES DE ADEQUAÇÃO PARA PERÍODOS DE SECA.	
SOLUÇÕES PROPOSTAS (ENDLICHER, 2012, P.241).	RESULTADOS RELATIVOS AO CENÁRIO FUTURO 2061. COM BASE NA TEMPERATURA UTCI MÉDIA.
Melhoria, e ampliação das possibilidades de infiltração;	I2061 e V2061_PRAÇA
	Conformação de praças no miolo das quadras, com pisos vegetados (gramíneas de até 50 cm de altura) e arborização de grande porte (altura e diâmetro de copa 20 m). Retornou redução da temperatura equivalente UTCI de 0,7^{o}C e 0,3^{o}C respectivamente.
Criação de soluções de armazenamento para água da chuva;	A criação de reservatórios e lagos a céu aberto pode influenciar positivamente o microclima urbano, mas não pode ser modelada.

QUADRO II.3.4 – ADEQUAÇÃO PARA PERÍODOS DE SECA.

II.3.1.3. Verificação dos resultados da aplicação das diretrizes.

No Quadro II.3.5 é apresentada uma síntese das simulações desenvolvidas para investigar aspectos relativos à relação clima x desenho urbano os quais servem de embasamento de diretrizes para ocupações consolidadas ou novas:

CONDICIONANTE SIMULADO	SIMULAÇÃO REALIZADA	REDUÇÃO UTCI 2061 MÉD./MÁX. [^{O}C]	APLICABILIDADE NAS OCUPAÇÕES	
			NOVAS	EXISTENTES
SIMULAÇÕES DE VERÃO – 22/02/2011				
Rugosidade	V2061 HW 1,5	0,0 / -0,1	Sim	Não
Porosidade	V2061 ORTO	0,1 / 0,1	Sim	Não
Densidade construída	V2061 HW 1,5	-0,1 / 0,0	Sim	Não
Tamanho Estrutura Urbana (largura das vias)	V2061 ORTO_5	0,1 / 0,1	Sim	Não
Tamanho Estrutura Urbana (taxa de ocupação)	V2061_TX30	0,1 / -1,2	Sim	Não
Orientação	V2061_NS	-0,9 / -1,4	Sim	Não
Permeabilidade	V2061_PRAÇA	0,3 / 0,4	Sim	Não
Propriedades Termodinâmicas dos materiais	V2061 HALB_TETO	0,1 / 0,1	Sim	Sim
Áreas verdes	**V2061 IARB**	**3,1 / 4,1**	**Sim**	**Sim**
SIMULAÇÕES DE INVERNO – 11/08/2011				
Rugosidade	I2061 HW 2,0	0,3 / 1,0	Sim	Não
Porosidade	I2061 PERIFERIA	0,7 / 0,7	Sim	Não
Densidade construída	I2061 HW 2,0	0,3 / 1,0	Sim	Não
Tamanho Estrutura Urbana (largura das vias)	I2061 ORTO_0	1,1 / 2,9	Sim	Não
Tamanho Estrutura Urbana (taxa de ocupação)	I2061_TX30	1,2 / 0,7	Sim	Não
Orientação	I2061_NS	-0,4 / 0,7	Sim	Não
Permeabilidade	I2061_TX60	0,4 / 1,3	Sim	Não
Propriedades Termodinâmicas dos materiais	I2061 HALB_TETO	0,0 / 0,0	Sim	Sim
Áreas verdes	**I2061 VERDE**	**3,0 / 4,7**	**Sim**	**Sim**

QUADRO II.3.5 – SÍNTESE DAS SIMULAÇÕES E RESULTADOS OBTIDOS.

A partir da síntese dos resultados, na qual os valores negativos significam aumento da temperatura equivalente UTCI e consequente redução do conforto, verificam-se ganhos muito reduzidos, especialmente nas simulações de verão. Os ganhos mais significativos se dão nos modelos de intensificação do uso da vegetação, principalmente com o incremento da arborização de grande porte. Nesse caso, a redução na temperatura equivalente UTCI passa dos décimos de graus para 3 ou 4 graus na média e nos valores máximos, redução importante para o conforto térmico.

II.3.1.4. Cenários de síntese das diretrizes de desenho urbano.

Com base na verificação dos resultados, foram elaboradas simulações síntese reunindo os condicionantes apontados por Oliveira (1988) que retornaram os melhores ganhos para o conforto térmico nos espaços abertos, para uma avaliação cumulativa dos seus efeitos e elaboração de diretrizes para ocupações consolidadas e novas:

1) I2061 e V2061_CONSOLIDADO: simulação cumulativa com base no cenário de ocupação para 2061, sobre o qual foram aplicados os condicionantes não dependentes de alteração da legislação de uso do solo vigente: utilização de materiais de albedo alto em pisos e tetos e a utilização das estratégias de áreas verdes cumulativas (lajes verdes sombreadas em 60% da área livre + tetos verdes em 100% das coberturas + intensificação da arborização viária conforme a simulação de intensificação de arborização);
2) I2061 e V2061_NOVOS 6: aplicadas todas as estratégias que resultaram reduções na temperatura equivalente listadas no quadro II.3.1, também, para uso mais compatível da infraestrutura urbana. Optou-se também pela ampliação da largura da via, passando para 10 m de recuo do alinhamento predial o que possibilita melhor arborização viária e maior qualidade junto às calçadas e pistas. E, nesse caso foram utilizados 6 pavimentos, resultando no coeficiente de aproveitamento de 2 vezes a área do terreno e H/W=0,42.
3) I2061 e V2061_NOVOS 8: idêntico a 2061 NOVO 6, mas altura dos edifícios de 8 pavimentos, coeficiente de aproveitamento de 2,5 vezes a área do terreno e H/W=0,56;
4) I2061 e V2061_NOVOS 10: idêntico a 2061 NOVO 6, mas altura dos edifícios de 10 pavimentos, coeficiente de aproveitamento de 3 vezes a área do terreno e H/W=0,7.

Na Figura II.3.9 são mostrados os modelos de área (*Area Input File*) desenhados para realização das simulações finais. O modelo aplicado a áreas já consolidadas, fiel ao cenário de ocupação do recorte espacial no ano de 2061, recebeu intervenções cumulativas de áreas verdes e albedo alto. Já o modelo voltado para novas ocupações foram tratados aspectos como a ampliação do recuo do alinhamento predial para ampliação do cânion, cuja largura passa de 32,6 m para 42,6 m (sem considerar a arborização viária); afastamento mínimo de 5,0 m para aumentar ventilação e insolação mesmo no arranjo de ocupação ortogonal às vias; a altura máxima de 6, 8 e 10 pavimentos, e coeficiente de aproveitamento fixado em 2, 2,5 e 3.

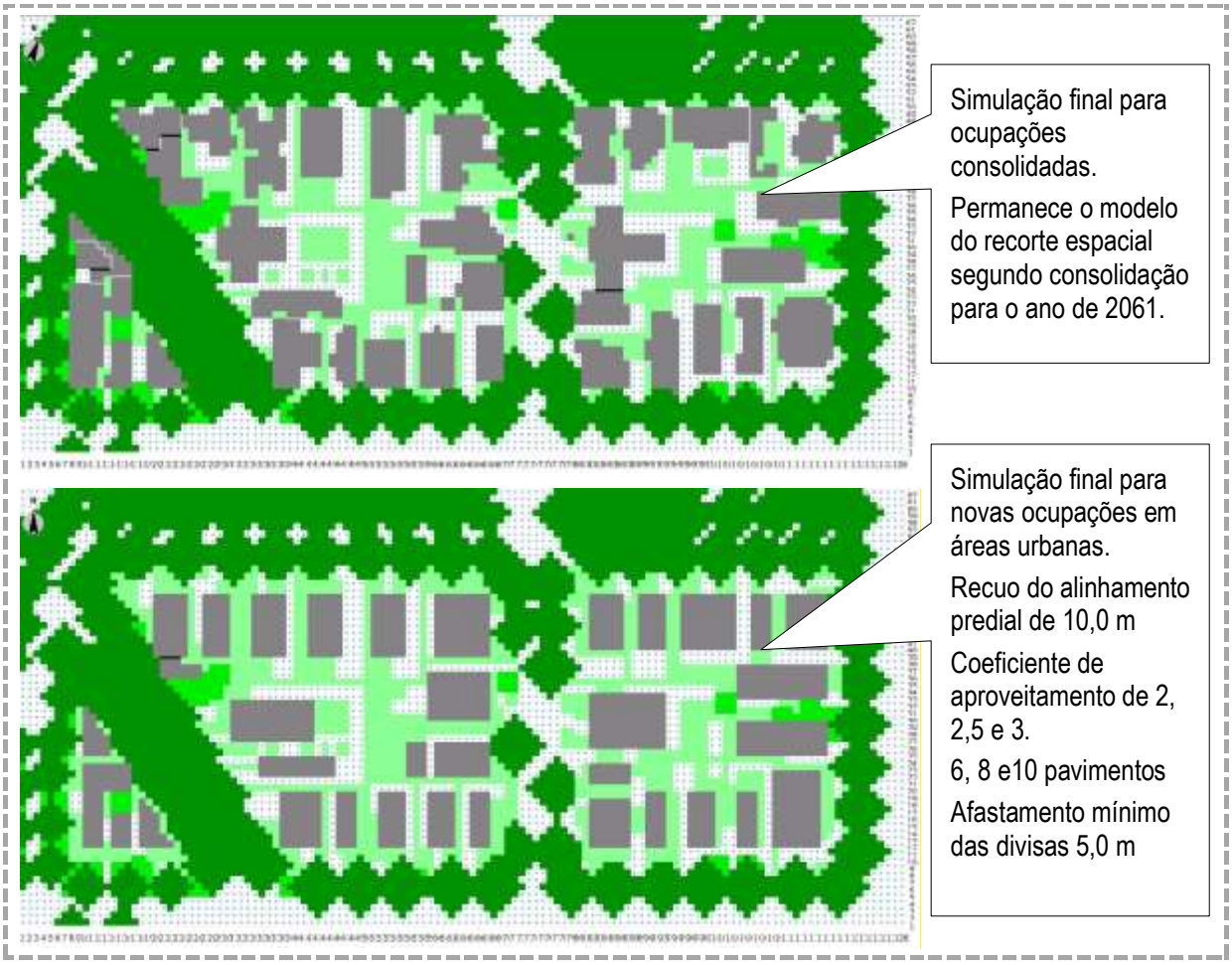


FIGURA II.3.9 – MODELOS DE ÁREA DE ENTRADA DAS SIMULAÇÕES FINAIS.

Na figura II.3.10 são mostradas as curvas de Temperatura UTCI Equivalente UTCI para ambas as simulações, em situação de inverno, e comparadas com os valores UTCI obtidos para os anos de 2011, 2061.

A partir da análise dos resultados, se pode verificar que nas simulações finais para ocupações consolidadas e novos não há desconforto para o calor nas simulações

do inverno, porém, nos horários das 07h00 as 09h00 e das 18h00 as 19h00, situados na faixa UTCI de 9°C a 18°C (sem desconforto térmico), haverá algum desconforto por frio pois esse, segundo Rossi *et al* (2012, p.56), acontece abaixo dos 15°C tanto da Ta como da Temperatura UTCI equivalente.

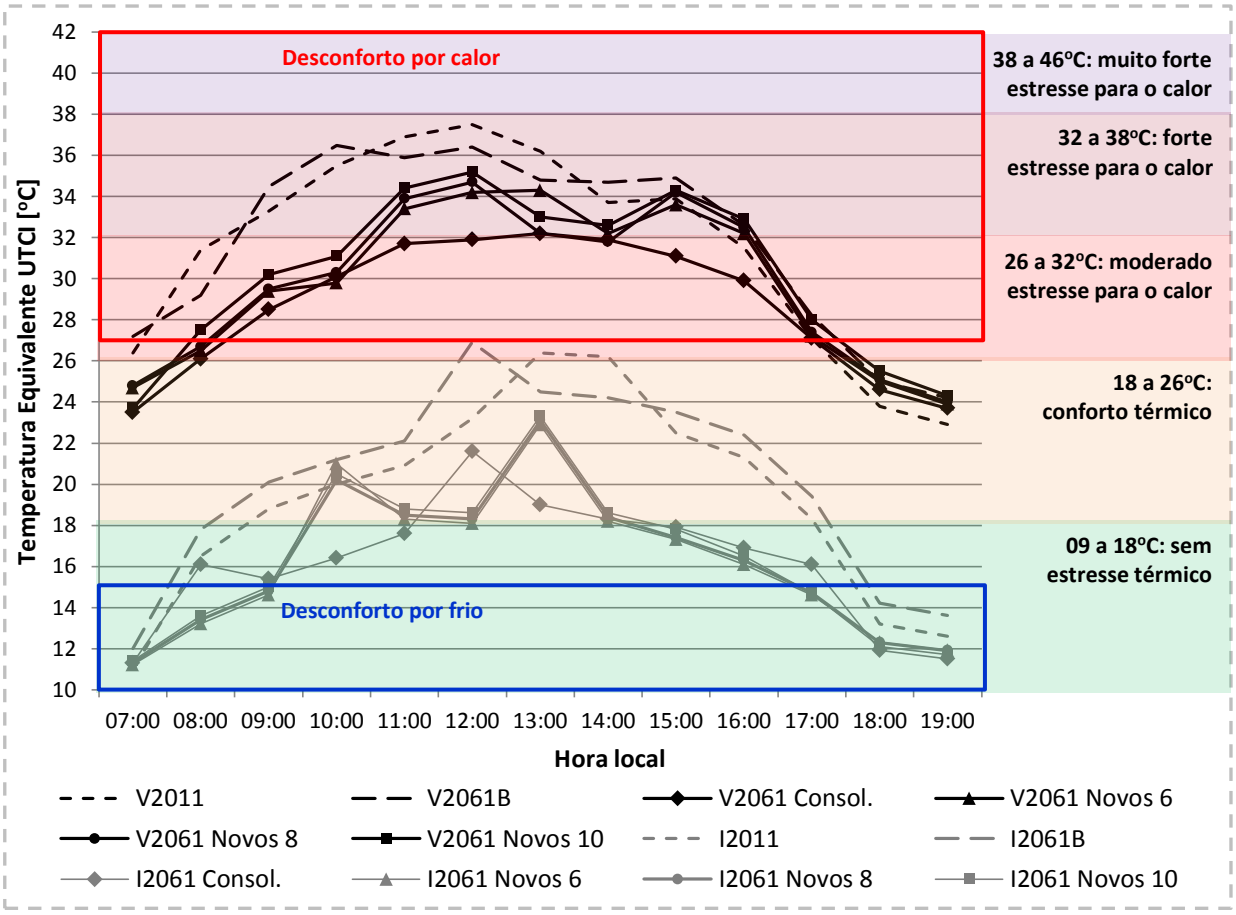


FIGURA II.3.10 – TEMPERATURA EQUIVALENTE UTCI FINAIS (INVERNO E VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

No que diz respeito aos resultados em situação de verão, quando comparando as curvas de 2011 e 2061 com aquelas das simulações finais, observa-se que as curvas das simulações finais são bastante inferiores nos horários mais quentes, especialmente entre 9h00 e 11h00, e mais semelhantes nos horários do final da tarde a partir das 16h00.

A tabela II.3.19 mostra os resultados de inverno hora a hora e, a partir dela, pode-se constatar que as simulações que mais atenuam os valores de temperatura equivalente UTCI são a simulação para área consolidada ou em consolidação (I2061 CONSOL.) aplicada ao recorte espacial da pesquisa, assim como a simulação para novas ocupações de até 6 pavimentos (I2061 NOVOS 6). A redução na temperatura

UTCI para a simulação de ocupação consolidada é de 4°C na média e de 5,3°C no valor máximo. Já para as novas ocupações a redução é de 4°C na média e também no valor máximo.

TABELA II.3.19 – UTCI SIMULAÇÕES FINAIS, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	I2011	I2061B	I2061 Consol.	I2061 Novos 10	I2061 Novos 8	I2061 Novos 6
11.08.2011	07:00	11,00	12,00	11,30	11,40	11,30	11,20
11.08.2011	08:00	16,50	17,80	16,10	13,60	13,40	13,20
11.08.2011	09:00	18,80	20,10	15,40	15,00	14,80	14,60
11.08.2011	10:00	20,00	21,20	16,40	20,50	20,20	21,00
11.08.2011	11:00	20,90	22,10	17,60	18,80	18,50	18,30
11.08.2011	12:00	23,20	26,90	21,60	18,60	18,30	18,10
11.08.2011	13:00	26,40	24,50	19,00	23,30	23,10	22,90
11.08.2011	14:00	26,20	24,20	18,30	18,60	18,40	18,20
11.08.2011	15:00	22,50	23,50	17,90	17,80	17,40	17,30
11.08.2011	16:00	21,30	22,40	16,90	16,50	16,30	16,10
11.08.2011	17:00	18,30	19,40	16,10	14,70	14,70	14,60
11.08.2011	18:00	13,20	14,20	11,90	12,10	12,30	12,30
11.08.2011	19:00	12,60	13,60	11,50	11,70	11,90	11,90
Mín.		11,00	12,00	11,30	11,40	11,30	11,20
Med.		19,30	20,15	16,15	16,35	16,20	16,13
Máx.		26,40	26,90	21,60	23,30	23,10	22,90

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

A tabela II.3.20 apresenta os resultados para as simulações de verão.

TABELA II.3.20 – UTCI SIMULAÇÕES FINAIS, EVOLUÇÃO HORÁRIA E MÉDIA (22/02/2011).

Date	Time	V2011	V2061B	V2061 Consol.	V2061 Novos 10	V2061 Novos 8	V2061 Novos 6
22.02.2011	07:00	26,40	27,20	23,50	23,70	24,80	24,70
22.02.2011	08:00	31,40	29,20	26,10	27,50	26,70	26,50
22.02.2011	09:00	33,30	34,50	28,50	30,20	29,50	29,40
22.02.2011	10:00	35,50	36,50	30,10	31,10	30,30	29,80
22.02.2011	11:00	36,90	35,90	31,70	34,40	33,90	33,40
22.02.2011	12:00	37,50	36,40	31,90	35,20	34,70	34,20
22.02.2011	13:00	36,20	34,80	32,20	33,00	32,20	34,30
22.02.2011	14:00	33,70	34,70	31,90	32,60	31,80	32,20
22.02.2011	15:00	33,90	34,90	31,10	34,30	34,20	33,60
22.02.2011	16:00	31,50	32,60	29,90	32,90	32,50	32,20
22.02.2011	17:00	27,10	28,20	27,10	28,00	27,40	27,20
22.02.2011	18:00	23,80	25,00	24,60	25,50	25,10	25,00
22.02.2011	19:00	22,90	24,20	23,70	24,30	24,00	23,90
Mín.		22,90	24,20	23,50	23,70	24,00	23,90
Med.		31,55	31,85	28,64	30,21	29,78	29,72
Máx.		37,50	36,50	32,20	35,20	34,70	34,30

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Analisando os resultados para as simulações finais em situação de verão, observa-se que os dois modelos com melhor redução nos valores médios e máximos UTCI são os mesmos do inverno. Nesse caso, a redução na temperatura UTCI para a simulação de ocupação consolidada é de 3,4°C na média e de 4,3°C no valor máximo. Já para as novas ocupações a redução é de 2,1°C na média e de 2,3°C no valor máximo. Embora os valores de redução sejam mais modestos, há redução importante na intensidade do desconforto por calor.

Quanto ao comportamento das variáveis climáticas, no inverno, na Figura II.3.11, observa-se a redução na Ta e Trm em relação às simulações para os anos de 2011 e 2061, e, por outro lado a elevação na UR e declínio de Va. Nas simulações finais fez-se a utilização de estratégias de aumento da área verde, em lajes de piso como cobertura, a intensificação da arborização no lote e nas vias com árvores de maior porte (20m), portanto o aumento da umidade é esperado nessa circunstância, assim como o aumento de Va para a simulação com edifícios de 10 pavimentos.

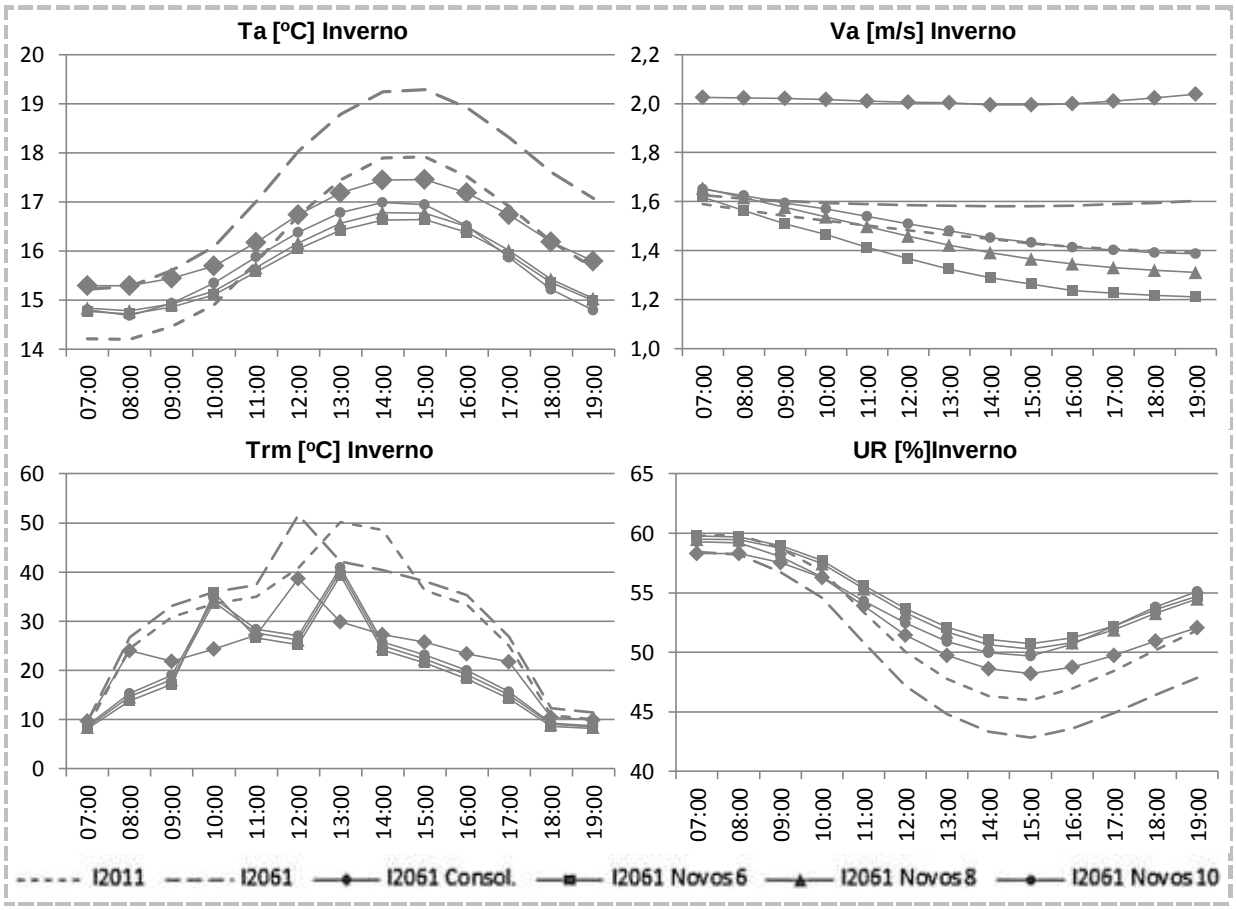


FIGURA II.3.11 – Ta, Trm, UR e Va PARA SIMULAÇÕES FINAIS DE INVERNO.
Fonte: O autor (2014).

Na simulação finais de verão (Figura II.3.12), por outro lado, observa-se o incremento significativo da Trm a partir das 10h00 acompanhado pela Ta, por outro lado, opostamente, verifica-se a queda na Va e na UR nesse mesmo período (entre 10h00 e 16h00) e a sua elevação a partir das 17h00. A intensidade da Trm influencia diretamente o comportamento das demais variáveis e a relação de aumento de Ta e redução das demais variáveis o demonstra de modo claro.

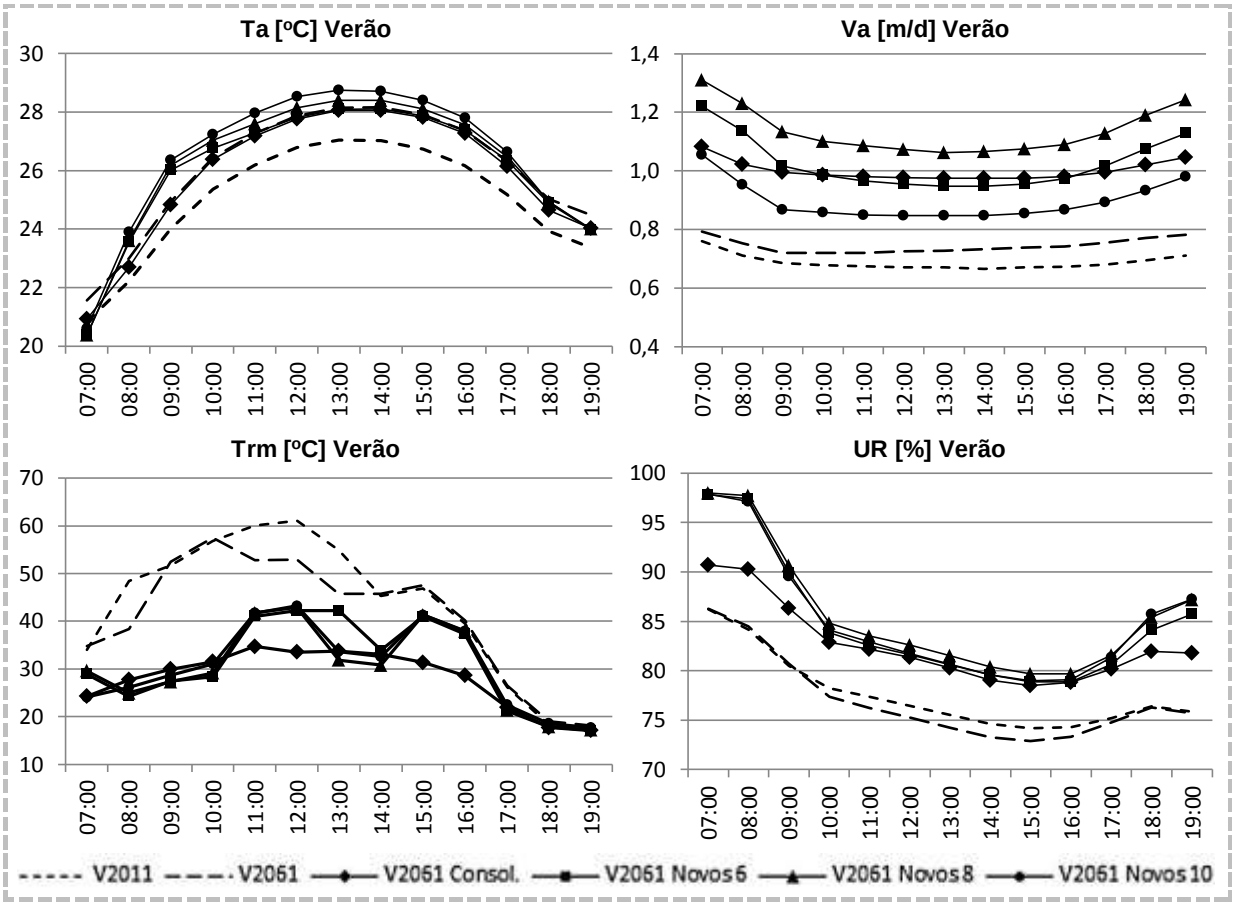


FIGURA II.3.12 – Ta, Trm, UR e Va PARA SIMULAÇÕES FINAIS DE VERÃO.
Fonte: O autor (2014).

Aspectos importantes dessas simulações são o sombreamento das superfícies impermeabilizadas de vias e calçadas, proporcionado pela arborização, o qual reduz a quantidade de radiação incidente sobre estas. O emprego de materiais de alto albedo no revestimento dessas superfícies também são fatores que concorrem para a redução da Ta e especialmente da Trm nos horários mais quentes do dia.

Nas simulações finais têm-se duas conformações de cânion as quais influem diretamente nos resultados obtidos, pois conforme Givoni (1998) em locais muito adensados a maior parte da radiação solar é absorvida pelas superfícies mais altas,

resultando em pequeno aquecimento perto do solo, situação que ocorre na simulação de ocupação consolidada (2061 CONSOL.) cujo H/W é igual a 1,2. Por outro lado, segundo o autor, em locais medianamente adensados, grande parte da radiação solar é refletida tanto pelos edifícios como pelo solo e apenas uma pequena parcela é absorvida pelo solo ou pelas superfícies em seu entorno, situação verificada na simulação para novas ocupações onde o H/W varia a 0,4 a 0,7.

As intervenções de baixo impacto que foram aplicadas a área consolidada, relativas ao incremento da vegetação e uso de materiais de alto albedo, retornaram redução da Ta, da Trm e expressiva redução na temperatura equivalente UTCI. Nos horários mais quentes do dia, inclusive resultados mais positivos reduzindo o estresse para o calor da faixa de forte estresse para a faixa de moderado estresse para o calor.

São resultados bastante significativos, mas é importante ressaltar que houve uma queda também expressiva nos valores UTCI médios e máximos do inverno. Isso ocasionaria a intensificação do desconforto por frio nos horários de início e final do período considerado (07h00-19h00). Nesse caso, o uso de estratégias que ajudem a manter a temperatura mais estável nos horários mais frios seria aconselhável.

II.3.2. INDICAÇÃO E REVISÃO DE DIRETRIZES DE DESENHO URBANO

Na busca por respostas quantitativas para as questões relativas ao microclima urbano, foram realizadas 44 simulações distintas, para situações de inverno e verão, sendo 7 simulações de cenários climáticos com base nos dados monitorados em campo, 33 das diretrizes ligadas ao desenho urbano (rugosidade, porosidade, densidade construída, tamanho da estrutura urbana, orientação, permeabilidade do solo, propriedades termodinâmicas dos materiais e áreas verdes) e 4 últimas simulações aplicando cumulativamente os condicionantes que retornaram os melhores ganhos para o conforto térmico selecionados entre as 33 simulações de investigação da relação clima x desenho urbano.

Ao final desse processo algumas diretrizes podem ser indicadas tanto para ocupações consolidadas ou em consolidação, assim como para novas ocupações urbanas. Não é possível fazer recomendações quantitativas precisas, em face dos estudos serem direcionados por simulações configuradas para um recorte espacial e temporal com características particulares (geográficas e climáticas) e também pela

necessidade de relativização dos resultados considerando o grau de correspondência (R^2) obtido para as simulações de verão. Porém, quando considerados os resultados das simulações de inverno, percebe-se que a incerteza presente nas simulações de verão não é determinante sobre os valores resultantes, pois embora a correspondência do verão seja inferior a de inverno (0,50 contra 0,91), os resultados e os ganhos em conforto são coerentes para ambos os casos.

II.3.2.1. Diretrizes de desenho urbano

As diretrizes apresentadas pretendem, antes de tudo, fornecer elementos para futuras simulações e estudos mais aprofundados que levem à quantificação mais precisa dos impactos das decisões de desenho urbano.

Todas as imagens foram comparadas em situação de verão, no horário de 14h00 (equivalente às 15h00 no horário de verão), um dos horários mais quentes e objeto de maior desconforto por calor quando considerando o conjunto das simulações.

a) **Aumentar a rugosidade e a densidade construída:**

O aumento da densidade construída é uma das alternativas utilizadas para acomodar o crescimento populacional, em cidades nas quais toda a área do município está loteada, assim como está ocorrendo em Curitiba. A substituição de edificações de 1 ou 2 pavimentos por torres de múltiplos pisos permite o aumento da taxa de densidade construída através do aumento da verticalização, ou seja, da rugosidade.

De modo geral pode-se dizer que quanto maior a razão H/W maior o grau de conforto térmico verão. Simulações realizadas com diferentes valores de H/W demostraram que o aumento da razão H/W proporciona maior sombreamento das superfícies (paredes e pisos no nível do térreo) esse, por sua vez, provoca a redução na Trm e até mesmo na Ta. Portanto, quanto maior o H/W, menor será a Trm e menor também a Ta. Por outro lado, com o aumento da rugosidade, há mudança na ventilação urbana, impulsionando o aumento da Va e, por conseguinte, a redução da UR. Porém, a redução da Ta ou na Trm não significa efeito direto na melhoria do conforto, pois o UTCI é função de diversas variáveis: Ta, Trm, Va, UR e Vapor de Pressão, entre outros.

Emmanuel *et al* (2007) executaram simulações focadas no aumento da razão H/W visando a verificação do seu impacto sobre o conforto térmico na cidade de

Colombo, Sri Lanka. Através da adoção de valores de H/W de 1.0, 1,8 e 3,0 constataram o efeito sobre a Trm, resultando em redução de 5°C a 6°C na temperatura das superfícies.

Foram realizadas simulações focadas na razão H/W (0.25, 0.35, 0.52, 0.78, 0.85, 1.2, 1.5 e 2.0), nelas a Ta mostrou-se estável, no verão e inverno e a Trm inversamente proporcional ao valor de H/W no verão. Os valores mais adequados para o conforto térmico urbano situam-se na faixa de H/W entre 0.78 e 1.5 (8 e 13 pavtos.), porém devido ao sombreamento no inverno, os valores de 0.78 ou 0.85 (6 ou 8 pavtos.) podem ser os mais adequados para ambas as estações.

As simulações finais para ocupações urbanas consolidadas /ou em consolidação e para novas ocupações (6, 8 ou 10 pavimentos), agregam estratégias relativas ao aumento da vegetação, arborização, e materiais de alto albedo, entre outros, e mostram-se mais eficientes para verão e inverno (tabela II.3.21).

TABELA II.3.21 – RESULTADOS SIMULAÇÕES FINAIS Ta, Trm, Va, UR e UTCI.

22/02/2011	V2061	V2061 CONSOL.	V2061 NOVOS 6_PAVS.	V2061 NOVOS 8_PAVS.	V2061 NOVOS 10_PAVS.
Ta MÉDIA	26,0	25,8	26,0	26,2	26,4
Trm MÉDIA	40,9	28,1	31,0	30,3	30,7
Va MÉDIA	0,74	1,00	1,02	1,14	0,90
UR MÉDIA	77,0	82,6	84,7	85,6	85,1
UTCI MÉDIO	31,9	28,6	29,7	29,8	30,2
UTCI MÁXIMO	36,5	32,2	34,3	34,7	35,2
11/08/2011	I2061	I2061 CONSOL.	I2061 NOVOS 6_PAVS.	I2061 NOVOS 8_PAVS.	I2061 NOVOS 10_PAVS.
Ta MÉDIA	17,4	16,4	15,6	15,7	15,8
Trm MÉDIA	30,8	22,6	20,1	20,6	21,3
Va MÉDIA	1,59	2,01	1,36	1,45	1,50
UR MÉDIA	49,2	52,6	54,7	54,4	54,0
UTCI MÉDIO	20,1	16,2	16,1	16,2	16,4
UTCI MÁXIMO	26,9	21,6	22,9	23,1	23,3

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Observa-se que a Ta se reduz mais expressivamente no inverno, entre 1°C e 1,8°C, e que a Trm decai entre 8°C e 10°C. Nota-se a redução de 4,3°C na temperatura máxima para ocupações consolidadas e de 2,2°C para áreas de novas ocupações com limite de 6 pavimentos. Conclui-se, portanto, que a rugosidade mais elevada (H/W = 1,2) promove maior redução no valor da temperatura equivalente UTCI, situação muito favorável para o verão, mas prejudicial ao conforto no inverno cuja redução é de 3,9°C

na média e de 5,3°C no inverno, possivelmente influenciado pelo aumento da Va que passou de 1,59 m/s (I2061) para 2,01 m/s (I2061 CONSOL.). Na figura II.3.13 pode-se perceber claramente a redução da Trm nas quadras junto aos edifícios, sob as árvores e no interior das quadras.

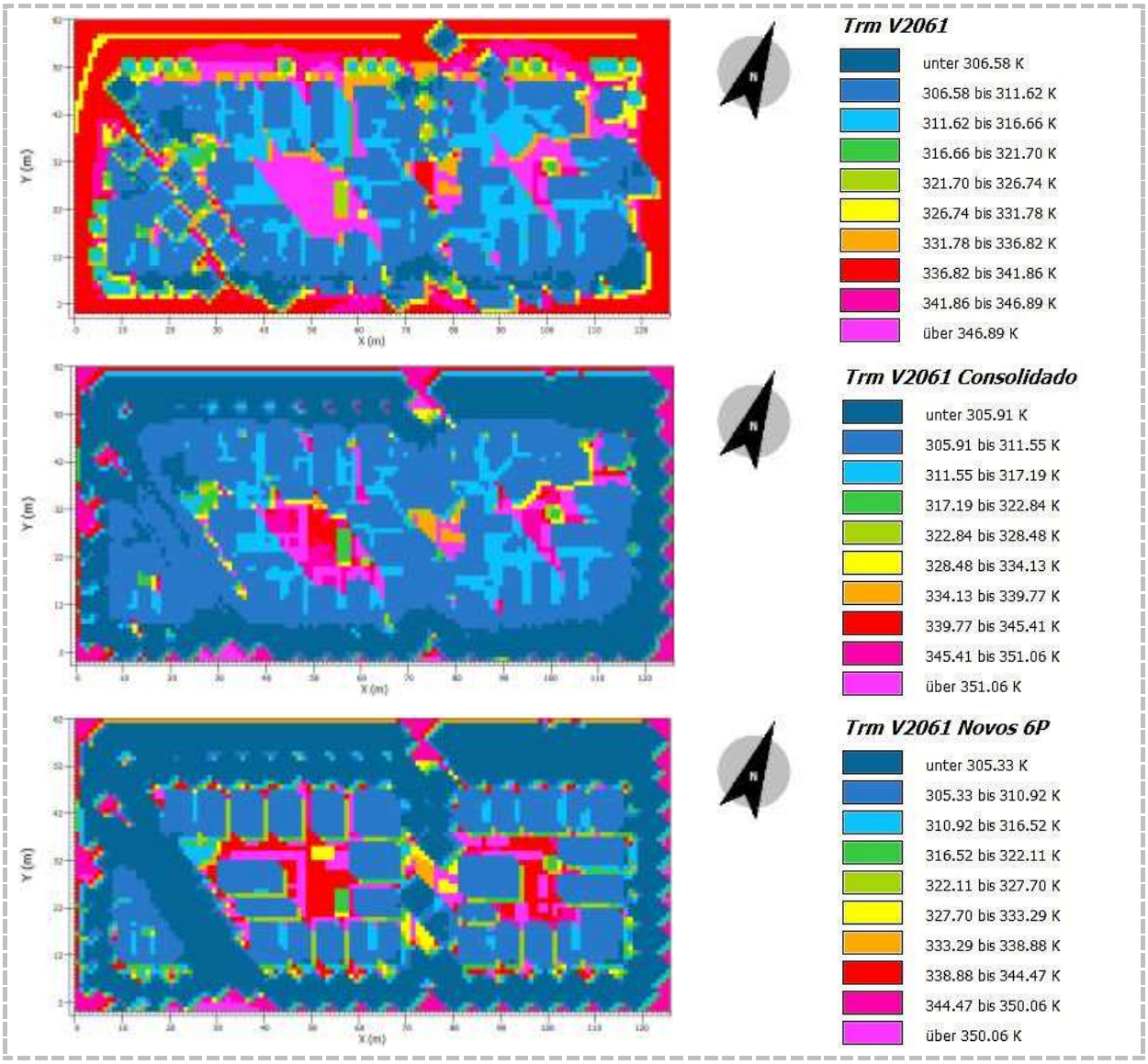


FIGURA II.3.13 – ESPACIALIZAÇÃO DA Trm V2061, V2061 CONSOL. E V2061 NOVOS 6P.
Fonte: O autor (2014).

b) **<u>Tipologia edificada em arranjo ortogonal ou em tabuleiro de xadrez:</u>**

Embora a tipologia de ocupação da quadra mais favorável, de acordo com Olgyay (1998), seja a organização na forma de tabuleiro de xadrez nas simulações realizadas a organização ortogonal mostrou-se discretamente mais favorável. Na tipologia ortogonal há áreas de miolo de quadra maiores, com superfícies expostas ao sol, nas quais a Trm é mais intensa, mas nessa tipologia a ventilação tem melhor

penetração entre edifícios e no miolo da quadra (Figura II.3.14). O valor UTCI médio no arranjo ortogonal é de 19,5°C/31,78°C, no arranjo em xadrez 20,12°C /32,37°C e o arranjo em 45 gaus de 20,05°C /32,32°C em inverno e verão respectivamente.

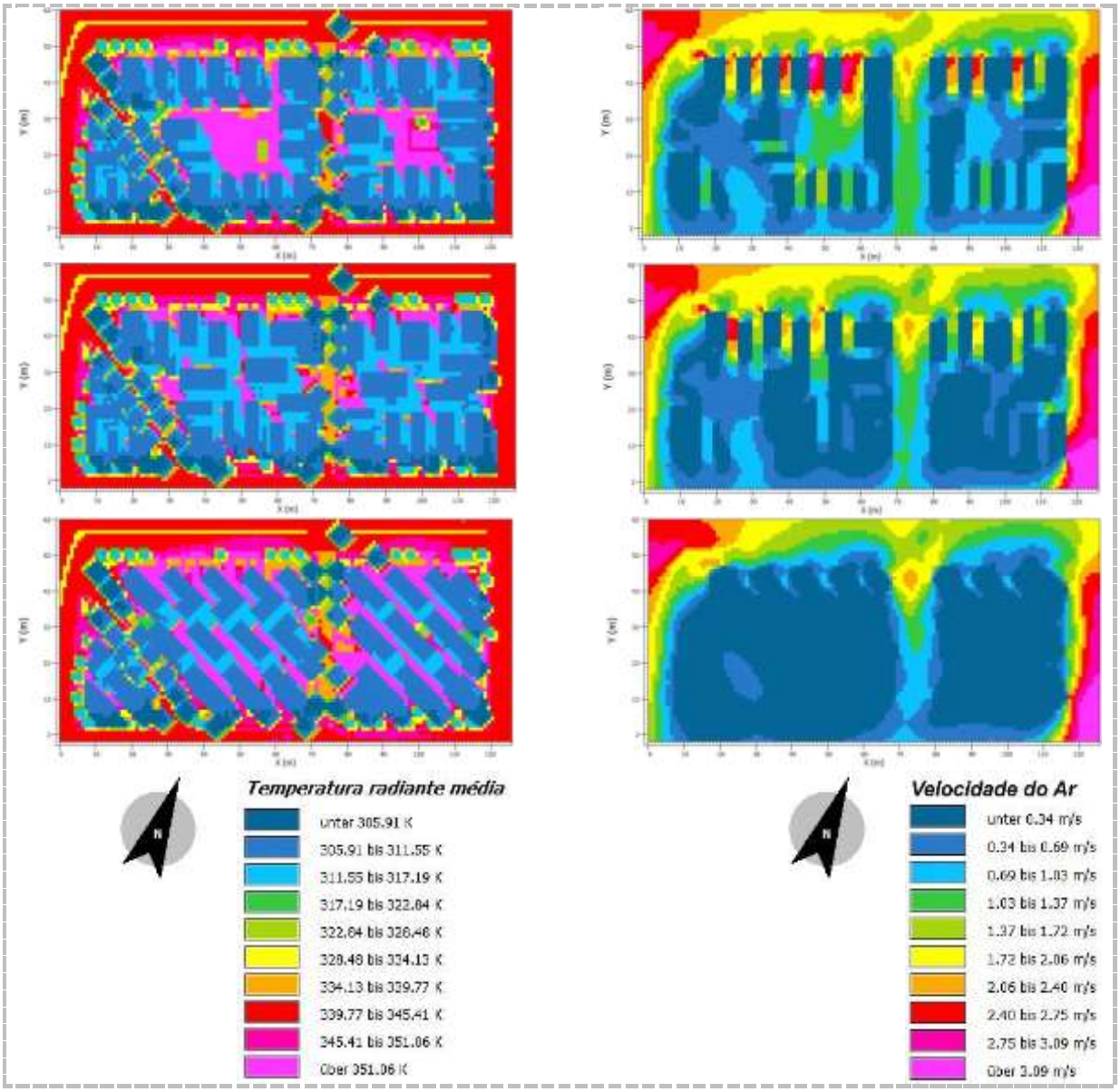


FIGURA II.3.14 – POROSIDADE, ARRANJO ORTOGONAL, XADREZ E 45 GRAUS (VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

c) **O tamanho da estrutura urbana deve favorecer a insolação e a ventilação, e para tanto, quanto maior a altura permitida, maior deverão ser as dimensões da estrutura urbana:**

O aumento da altura deve estar associado à redução da taxa de ocupação para permitir uma melhor distribuição do fluxo de ar (BITTENCOURT et al, 1997), porém deve-se buscar um equilíbrio entre as dimensões, pois em dias de temperatura elevada

observa-se maior desconforto por calor onde há maior largura das vias e/ou espaçamentos. Minela *et al* (2011) verificaram que, em dias de temperatura elevada na cidade de Curitiba, um maior valor de FVC resultou maior desconforto por calor e que esse cenário tende a inverter-se a noite e em dias frios.

Foram realizadas simulações reduzindo e ampliando o recuo do alinhamento predial, o que amplia a largura da rua (entre edifícios em ambos os lados) e pode contribuir para maior ou menor permeabilidade pela ampliação ou redução de jardins frontais aos edifícios. Utilizou-se o recuo do alinhamento atual de 5 metros (2061 ORTO 5), sua ampliação para 10 metros (2061 ORTO 10) e a extinção dele (2061 ORTO 0), todas as simulações foram aplicadas sobre a tipologia edificada ortogonal.

Na tabela II.3.22 são explorados os valores das simulações. No caso do maior recuo do alinhamento, ampliam-se as superfícies expostas e o efeito do sombreamento se reduz, aumentando a Trm. Se o incremento de área fosse ocupado por jardins, então haveria atenuação da Trm. No inverno a temperatura equivalente UTCI aumenta à medida que o recuo do alinhamento aumenta passando de 19^{o}C para 19,5^{o}C e 19,3^{o}C; já no verão o melhor valor ocorre no recuo de 5 metros (V2061 ORTO 5), como no modelo de ocupação atual, pois nesse tanto o valor médio (31,8^{o}C) como o valor máximo (36,4^{o}C) são os menores.

TABELA II.3.22 – TAMANHO DA ESTRUTURA URBANA, VALORES UTCI.

UTCI	V2061 ORTO 0	V2061 ORTO 5	V2061 ORTO 10	I2061 ORTO 0	I2061 ORTO 5	I2061 ORTO 10
MÍNIMO	24,2	24,0	24,0	10,7	11,0	11,0
MÉDIO	32,0	31,8	31,8	19,0	19,5	19,3
MÁXIMO	36,8	36,4	37,5	24,0	26,3	26,5

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Verificou-se que no verão o modelo com recuo de 5 metros (2061 ORTO 5) se mostrou o mais adequado, enquanto que no inverno o mais favorável foi o modelo sem recuo do alinhamento predial (2061 ORTO 0). A figura II.3.15 mostra a Trm sobre a área simulada reflete-se diretamente na superfície exposta, e no horário mais quente do verão a Trm aumenta conforme o recuo aumenta (53^{o}C, 57^{o}C, e 60^{o}C).

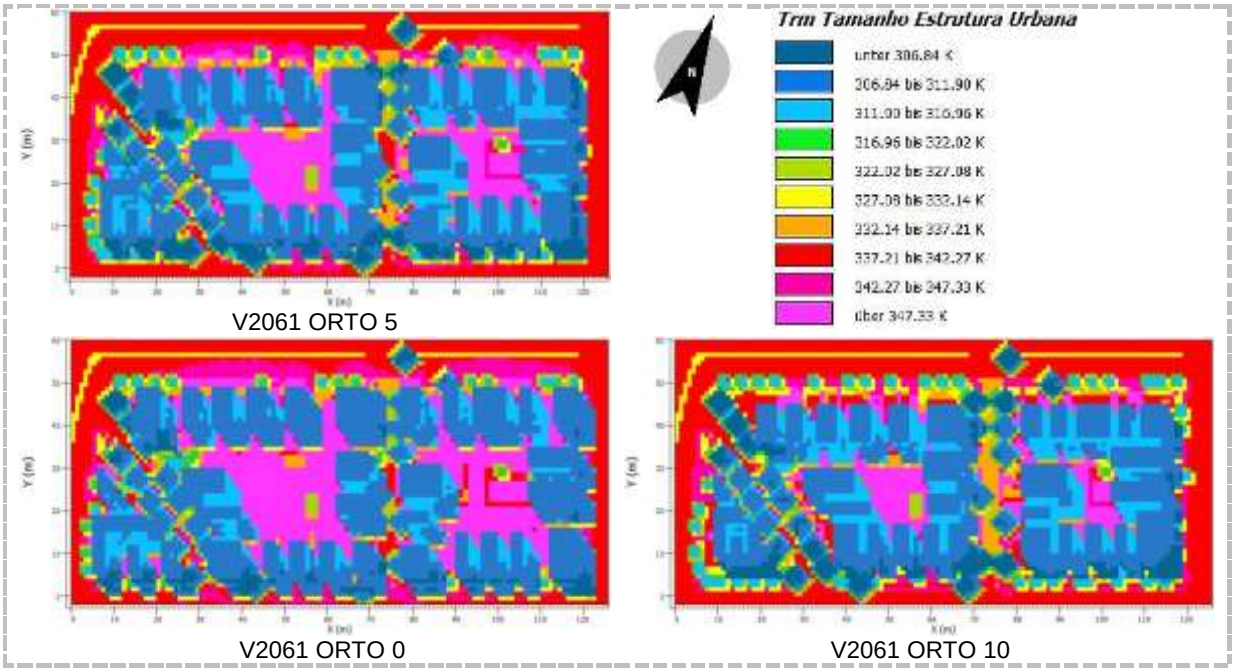


FIGURA II.3.15 – TRM ORIENTAÇÃO NE-SO, N-S, L-O (VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

d) **<u>Orientação diagonal à quadra preferível a orientação perpendicular:</u>**

O efeito da orientação foi verificado em três diferentes modelos: orientação atual (NE-SO), N-S, e L-O. Os resultados mostraram que a orientação perpendicular ao alinhamento predial, seja N-S ou L-O retornou aumento na Ta média em inverno e verão, assim como na temperatura equivalente UTCI média e máxima, intensificando do desconforto por calor. Quanto ao inverno, a tabela II.3.23 mostra, o decréscimo na Trm e na Va médias nas orientações N-S e L-O e constata-se ainda a redução na temperatura equivalente UTCI para a simulação de orientação N-S (I2061 NS).

TABELA II.3.23 – EFEITO DAS DIFERENTES ORIENTAÇÕES SOBRE O UTCI.

VARIÁVEIS	V2061	V2061 NS	V2061 LO	I2061	I2061 NS	I2061 LO
Ta MÉDIA	26,0	26,7	26,7	17,4	17,6	18,0
Trm MÉDIA	40,9	40,6	42,3	30,8	30,8	30,5
Va MÉDIA	0,74	0,75	0,81	1,59	1,45	1,27
UR MÉDIA	77,0	82,5	85,0	49,2	48,2	47,5
UTCI MÉDIO	31,9	32,8	33,4	20,1	20,5	20,9
UTCI MÁXIMO	36,5	37,9	40,8	26,9	26,2	27,3

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Na figura II.3.16, são mostradas os diferentes modelos de orientação e percebe-se pela espacialização da Trm o aumento da sombra projetada junto aos edifícios que altera o comportamento do ar próximo da superfície do solo (CARVALHO et al, 2009), o sombreamento altera-se conforme a orientação simulada.

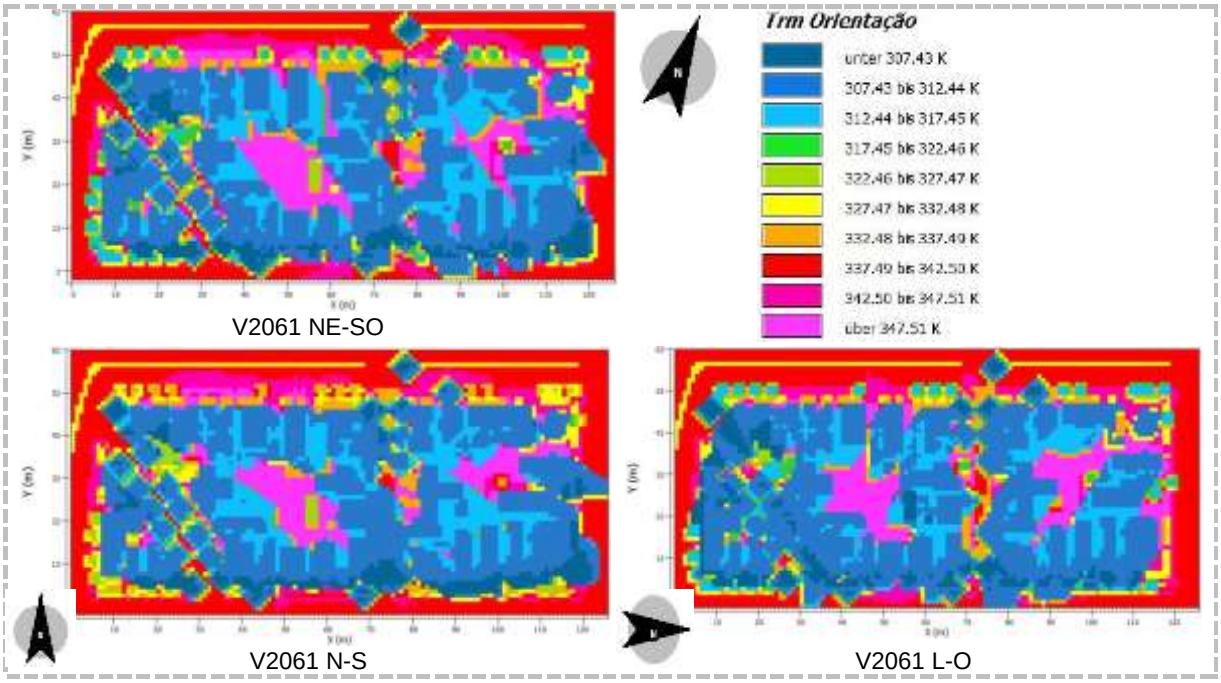


FIGURA II.3.16 – ESPACIALIZAÇÃO Trm ORIENTAÇÕES NE-SO, N-S, L-O (VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

e) **<u>Aumento da permeabilidade do solo contribui para o aumento da umidade relativa do ar e escoamento das aguas pluviais:</u>**

A permeabilidade tem sido reduzida pelo processo de urbanização dando lugar ao solo edificado e pavimentado o que reduz a umidade relativa do ar e a evaporação e aumenta o risco da ocorrência de enchentes urbanas. Buscando sua ampliação foram construídos quatro modelos de permeabilidade: dois modelos com permeabilidade de 24% e taxa de ocupação de 30% (2061 P25T30H3 e 2061 TX30), modelo de 20% de permeabilidade e taxa de ocupação de 60% (2061 TX60) e modelo de 32% de permeabilidade obtida pela conformação de praças no miolo das quadras (2061 Praça).

Na tabela II.3.24 são apresentados resultados dos cenários simulados, que mostram o aumento da permeabilidade promoveu o aumento da UR, a qual obteve seus maiores percentuais, 77,7% e 49,1% para verão e inverno, no modelo que conforma praças (2061 Praça). Constata-se também para esse modelo o menor valor de Trm no verão, 40,1^{o}C, e o segundo melhor valor para o inverno, 31,4^{o}C. Na Ta as variações observadas entre os diferentes modelos são muito pequenas apenas 0,2 tanto para o verão (26,0^{o}C -26,2^{o}C) como para o verão (17,3^{o}C -17,5^{o}C).

TABELA II.3.24 – EFEITO PERMEABILIDADEDO SOLO SOBRE O UTCI.

	V2061 P25T30H3	V2061 TX30	V2061 TX60	V2061 PRAÇA	I2061 P25T30H3	I2061 TX30	I2061 TX60	I2061 PRAÇA
Ta MÉDIA	26,1	26,0	26,2	26,1	17,3	17,4	17,5	17,4
Trm MÉDIA	42,5	41,6	42,0	40,1	31,7	31,6	31,2	31,4
Va MÉDIA	0,8	1,0	0,7	0,9	1,8	2,3	1,9	2,1
UR MÉDIA	76,1	77,3	76,3	77,7	49,0	48,9	48,7	49,1
UTCI MÉDIO	32,1	31,8	32,2	31,6	19,9	18,9	19,7	19,4
UTCI MÁXIMO	39,1	37,7	38,0	36,1	28,2	26,2	25,6	27,0

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

A figura 3.17 mostra a espacialização da UR pela área dos modelos, mostrando os menores valores em tons azuis (entre 73,2% e 74,5%), os valores intermediários em tons do verde ao alaranjado (entre 74,5% e 77%) e os maiores valores nos tons vermelho e rosa (entre 77% e 78,3%), vistos no miolo da quadra no modelo 2061 Praça.

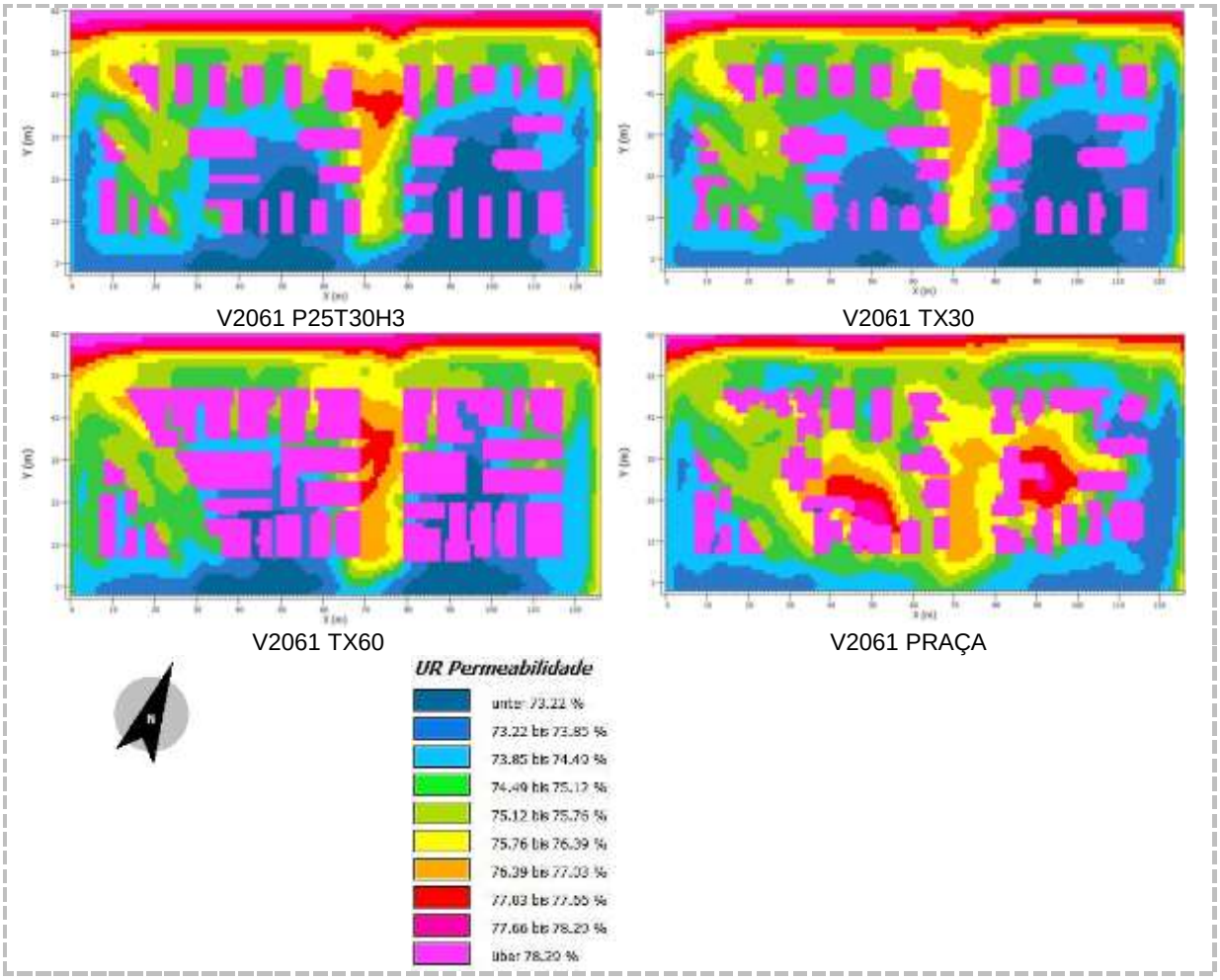


FIGURA II.3.17 – ESPACIALIZAÇÃO UR PARA PERMEABILIDADE (VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

f) **<u>Utilizar materiais de melhores propriedades termodinâmicas em pisos e coberturas dos edifícios:</u>**

Com a urbanização e o uso de materiais de construção de menor albedo, maior capacidade calorífica e elevada condutividade térmica (NOGUEIRA, 2010, p.51), ocorre a intensificação das IC e perda no conforto térmico urbano. O uso de materiais de melhores propriedades termodinâmicas, por exemplo, de maior albedo, pode-se favorecer o clima e o conforto urbano. Nesse sentido, foram construídos modelos com a aplicação de albedo alto em pisos, paredes e tetos e também cumulativamente: Halb Par. (paredes); Halb Piso (pisos); Halb Teto (coberturas); Halb Pat (paredes e coberturas), Halb PPT (paredes, pisos e coberturas); e, Halb PIT (pisos e coberturas).

A tabela II.3.25 apresenta os resultados, nos quais nota-se alterações na Trm cuja redução contribui para melhor valor UTCI. Os modelos Halb Teto e Halb PIT mostram os melhores valores de Trm (40,9^{o}C e 41,8^{o}C respectivamente) e UTCI (36,4^{o}C e 37,1^{o}C respectivamente) para a aplicação isolada ou combinada de materiais de alto albedo. A alteração na Ta é pequena, apresenta variação total de 0,4^{o}C (25,8^{o}C -26,2^{o}C) a Va permanece estável 0,7 m/s, e a UR varia em 0,4% (77,1% e 78,1%).

TABELA II.3.25 – RESULTADOS PROPR. TERMODINÂMICAS DOS MATERIAIS (VERÃO).

VARIÁVEL	V2061	V2061 Halb Par.	V2061 Halb Piso	V2061 Halb Teto	V2061 Halb PaT	V2061 Halb PPT	V2061 Halb PIT
Ta MÉDIA	26,0	26,2	25,8	26,0	26,2	25,9	25,8
Trm MÉDIA	40,9	44,3	41,8	40,9	44,3	45,0	41,8
Va MÉDIA	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
UR MÉDIA	77,0	76,5	78,1	77,1	76,6	77,8	78,1
UTCI MÉDIO	31,9	32,8	31,9	31,8	32,8	32,8	31,9
UTCI MÁXIMO	36,5	37,6	37,1	36,4	37,6	38,1	37,1
	I2061	I2061 Halb Par.	I2061 Halb Piso	I2061 Halb Teto	I2061 Halb PaT	I2061 Halb PPT	I2061 Halb PIT
Ta MÉDIA	17,4	17,5	16,2	17,4	17,5	16,3	16,2
Trm MÉDIA	30,8	35,0	30,9	30,8	33,9	33,8	30,9
Va MÉDIA	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
UR MÉDIA	49,2	48,7	52,8	49,2	48,6	52,7	52,9
UTCI MÉDIO	20,1	21,3	19,5	20,1	21,1	20,5	19,5
UTCI MÁXIMO	26,9	28,7	27,0	26,9	28,3	28,1	27,0

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Na figura II.3.18 é possível verificar primeiramente a pequena variação da Ta, com os menores valores em azul, localizados junto aos edifícios na parte sul e o maior aquecimento nas áreas de piso exposto ao norte-noroeste nos tons avermelhados.

Na Trm há bastante diferenciação conforme a utilização do albedo, em sua aplicação nas coberturas (V2061 HALB TETOS) os tons azuis localizam-se nas áreas

dos edifícios e junto a eles. No uso do albedo nas paredes e tetos (V2061 HALB PAT) verifica-se a inversão dos tons de azul, ou seja, agora os menores valores estão junto aos edifícios, em sua sombra, e na cobertura o azul mais claro mostra o aquecimento. Cumulativamente, em pisos e coberturas (V2061 HALB PIT), vê-se a intensificação do azul mais escuro, ou seja, reduzindo mais a Trm na cobertura e sombra dos edifícios.

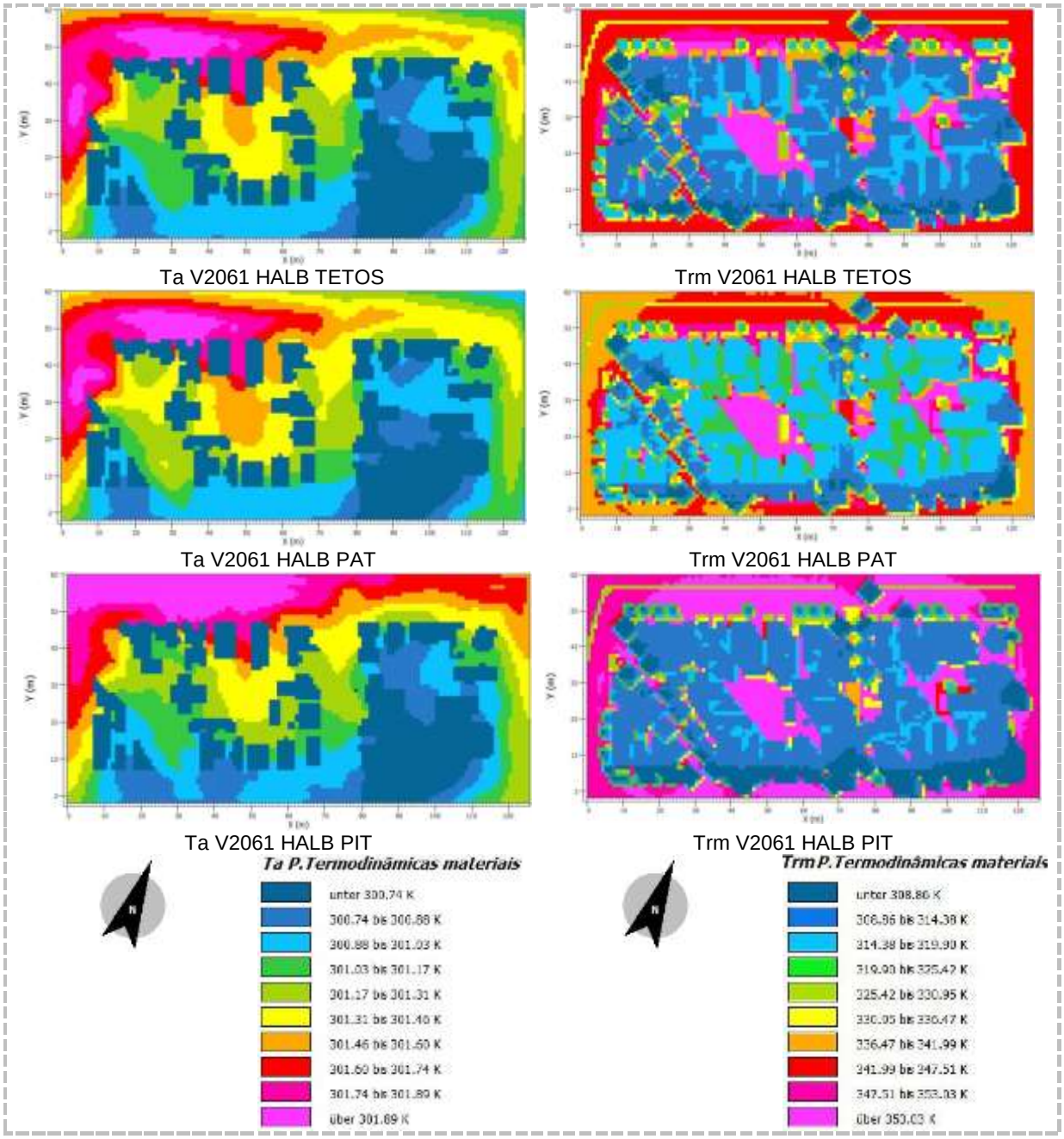


FIGURA II.3.18 – Ta E Trm PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS MATERIAIS (VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

g) **<u>Utilizar a vegetação nos telhados, como cobertura do solo e intensificar a arborização urbana:</u>**

A utilização de árvores e vegetação pode ajudar no arrefecimento, protegendo superfícies do calor do sol, reduzindo o calor armazenado por elas e mantendo-as mais frescas (GARTLAND, 2010, p.65). Contribuem também para o conforto nos climas frios, reduzindo o desconforto provocado pelo vento, visto que reduzem a Va (SPANGENBERGER, 2008, p.3). Objetivando investigar os efeitos da vegetação sobre o microclima fez-se sua aplicação de diferentes modelos, em estratégias isoladas e combinadas e na tabela II.3.26 aparecem os resultados das várias simulações: sem arborização (SARV), em lajes (LV), em lajes arborizadas (LVS), nas coberturas (TV), lajes e coberturas (LVTV e LVSTV), conformando praças no miolo das quadras (PRAÇA), arborização urbana (IARB) e cumulativamente (VERDE).

A Ta apresentou variação de apenas 0,1^{o}C (26^{o}C – 26,1^{o}C) no verão e somente 0,3^{o}C (17,3^{o}C – 17,5^{o}C) no inverno(tabela II.3.26). A Trm apresenta pouca variação em todos os modelos exceto naqueles em que há intensa arborização urbana (IARB e VERDE), nos quais reduz-se em mais de 11^{o}C no verão e 7 ^{o}C no inverno. É também nesses modelos em que se verifica maior aumento da Va e da UR no verão, assim como a maior redução na temperatura média e máxima UTCI: 3^{o}C e 4^{o}C, respectivamente, praticamente deixando a faixa de forte desconforto para o calor.

TABELA II.3.26 – RESULTADOS INTENSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO (VERÃO).

VARIÁVEL	V2061	V2061 SARV	V2061 LV	V2061 LVS	V2061 TV	V2061 LVTV	V2061 LVSTV	V2061 PRAÇA	V2061 IARB	V2061 VERDE
Ta MÉDIA	26,0	26,1	26,0	26,1	26,0	26,0	26,0	26,1	26,0	26,0
Trm MÉDIA	40,9	45,1	40,9	40,4	40,9	40,9	40,4	40,1	28,7	28,7
Va MÉDIA	0,7	1,0	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,9	1,0	1,0
UR MÉDIA	77,0	75,7	77,1	77,4	77,3	77,3	77,6	77,7	81,7	82,0
UTCI MÉDIO	31,9	32,6	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,6	28,8	28,9
UTCI MÁXIMO	36,5	38,2	36,4	36,5	36,4	36,4	36,5	36,1	32,4	32,5
	I2061	I2061 SARV	I2061 LV	I2061 LVS	I2061 TV	I2061 LVTV	I2061 LVSTV	I2061 PRAÇA	I2061 IARB	I2061 VERDE
Ta MÉDIA	17,4	17,4	17,4	17,3	17,4	17,3	17,3	17,4	17,5	17,5
Trm MÉDIA	30,8	36,5	31,6	31,7	31,9	31,6	31,7	31,4	23,5	23,4
Va MÉDIA	1,6	1,8	1,9	2,1	1,9	2,0	2,1	2,1	1,8	2,0
UR MÉDIA	49,2	48,1	48,5	48,5	48,5	48,6	48,6	49,1	48,5	49,1
UTCI MÉDIO	20,1	21,4	19,7	19,4	19,9	19,5	19,3	19,4	17,4	17,1
UTCI MÁXIMO	26,9	29,5	26,6	27,1	27,6	26,4	27,0	27,0	23,0	22,2

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

Na figura II.3.19 são Ta e Trm aparecem espacialmente distribuídas na área e verifica-se a pouca variação na Ta, apresentando maior intensidade ao norte-noroeste e

menor ao sul, áreas sombreadas pelos edifícios. Na observação da Trm nota-se, por outro lado, grande diferença especialmente entre o modelo de aplicação em lajes e tetos (V2061 LVTV) e os modelos em que se fez a utilização de intensa arborização urbana (V2061IARB e V2061VERDE) com árvores de grande porte, plantadas a cada 15 metros, sombreando completamente ruas e calçadas públicas. Isso se reflete na expressiva queda no valor da Trm nos últimos dois modelos.

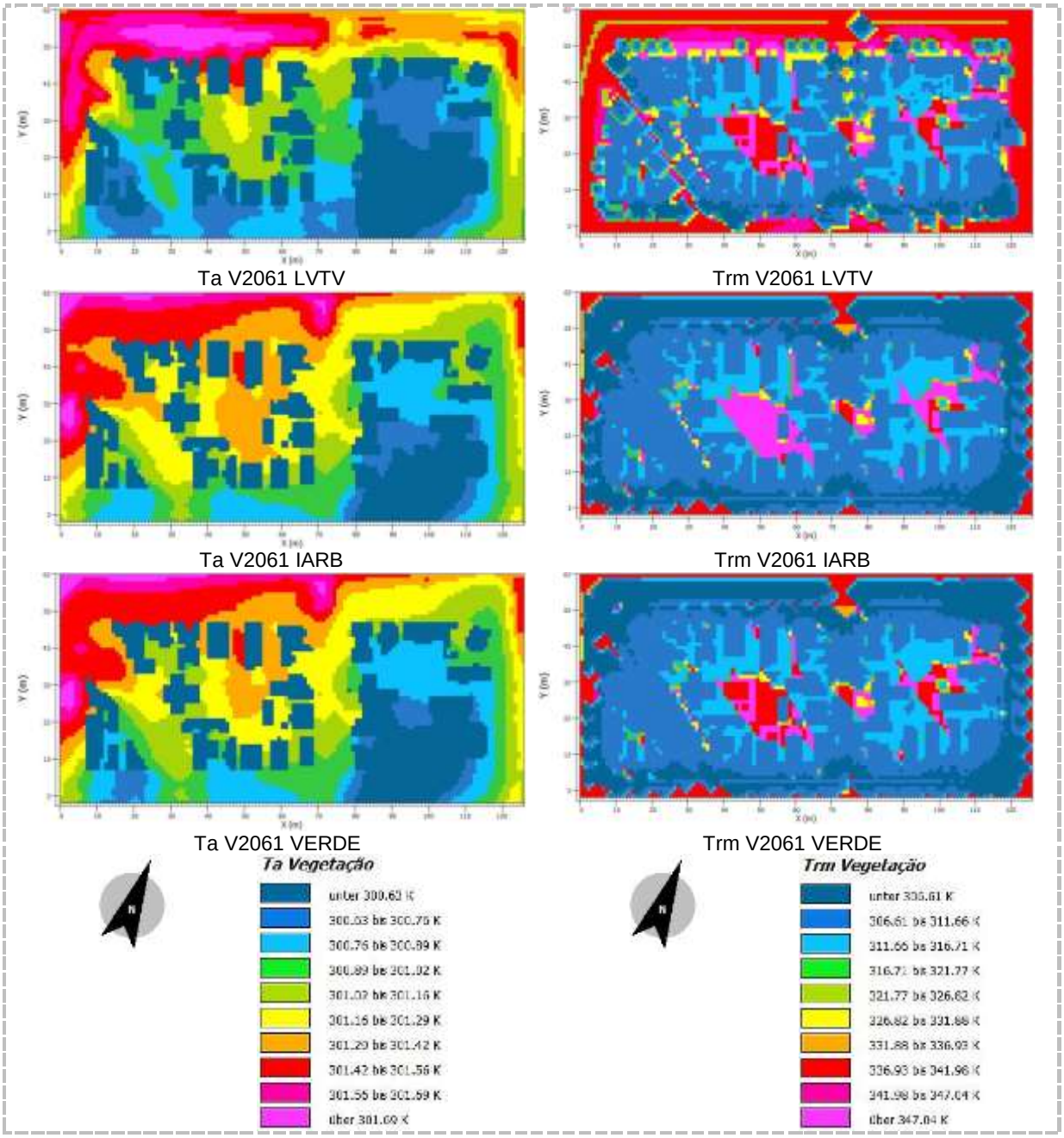


FIGURA II.3.19 – Ta E Trm INTENSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO (VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

h) **<u>Usar conjuntamente mais de uma diretriz de desenho urbano para potencializar o incremento do conforto térmico urbano:</u>**

Os modelos propostos para áreas consolidadas ou em consolidação, assim como para novas áreas de ocupação, utilizam conjuntamente várias ações. No primeiro caso, apenas relativas ao uso da vegetação, de materiais de melhores propriedades termodinâmicas. No segundo caso todas as diretrizes, inclusive aquelas que demandariam alteração da legislação vigente, tais como o aumento do recuo do alinhamento predial, ampliação do afastamento para as divisas e a restrição no número de pavimentos. Foram desenvolvidos 4 modelos, mostrados na figura II.3.20, sendo 1 para ocupações consolidadas e 3 para novas com 6, 8 e 10 de pavimentos.

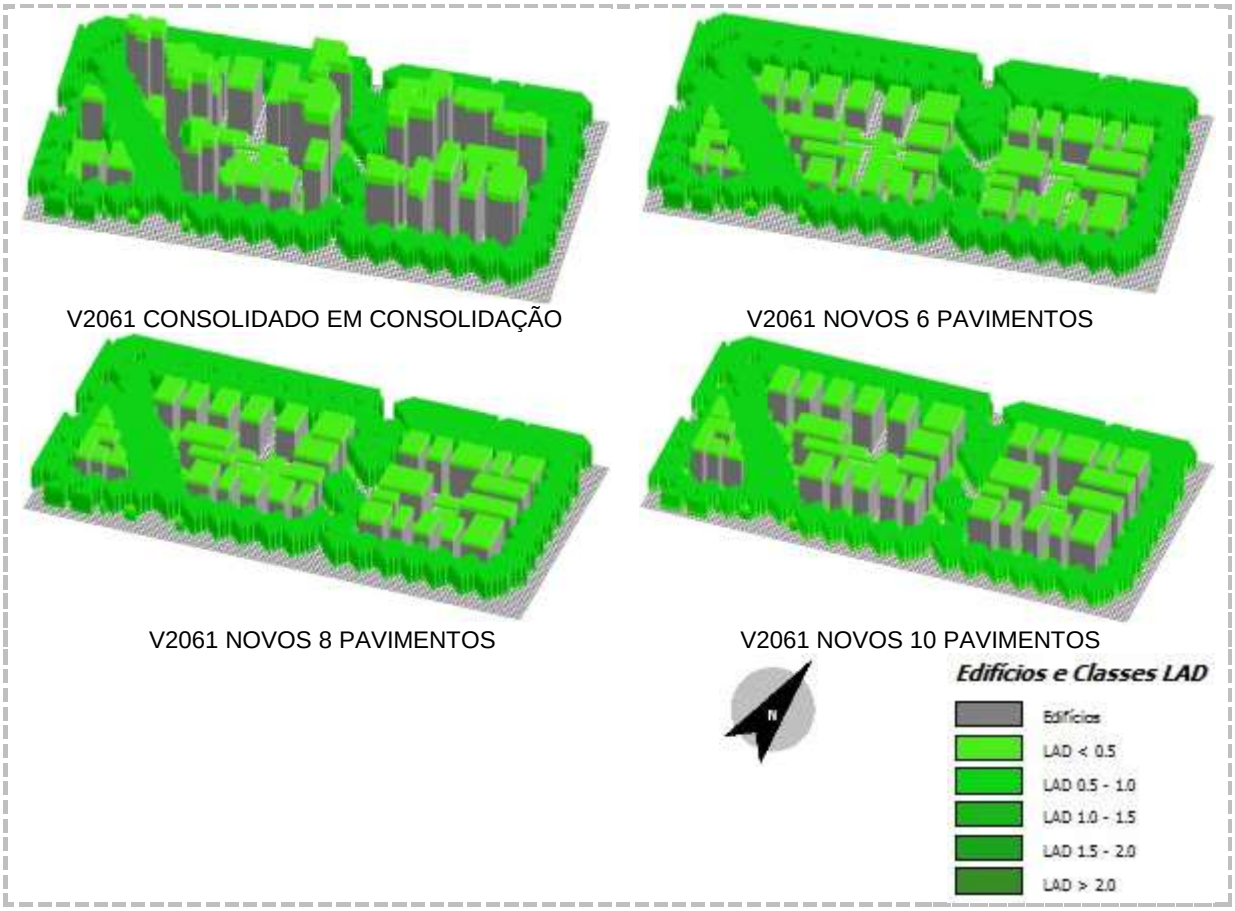


FIGURA II.3.20 – MODELOS DE OCUPAÇÃO EM ÁREAS CONSOLIDADAS OU NOVAS.
Fonte: O autor (2014).

A tabela II.3.27 apresenta os resultados obtidos e mostra numericamente a importância da aplicação cumulativa das estratégias. No caso do modelo para áreas consolidadas (2061 Consolidado), quando comparada ao modelo para 2061, verifica-se a redução na Ta, na Trm, aumento da Va e da UR, tanto no inverno como no verão. Isso se reflete positivamente no conforto térmico, por meio da redução nos valores médio e máximo do UTCI (3,21^{o}C/4,3^{o}C no verão e 4^{o}C/5,3^{o}C no inverno). Porém, a elevação da Va verificada em verão e inverno, é positiva para o verão e negativa para o

inverno e, portanto, deveria ser evitada para impedir que houvesse redução na temperatura equivalente UTCI no inverno.

Quanto aos modelos voltados para novas ocupações urbanas, fica evidente que a menor altura das edificações atua mais positivamente para o conforto térmico, pois a Va aumenta no verão e reduz-se no inverno, diferentemente do modelo consolidado. Observa-se ainda que, no geral, o modelo para 6 pavimentos apresenta o melhor desempenho, apesar do maior valor de Trm verificado no verão (31^{o}C). Os ganhos na temperatura UTCI média e máxima, quando comparados aos valores de 2061, são mais modestos, 2,13^{o}C /2,2^{o}C no verão e 3,85^{o}C /4^{o}C no inverno, entretanto as reduções verificadas no UTCI no inverno são menos impactantes do que aquelas obtidas no modelo consolidado.

TABELA II.3.27 – RESULTADOS MODELOS CUMULATIVOS (VERÃO).

VARIÁVEL	V2061	V2061 Consol.	V2061 Novos 10	V2061 Novos 8	V2061 Novos 6
Ta MÉDIA	26,04	25,83	26,45	26,22	26,04
Trm MÉDIA	40,91	28,09	30,70	30,32	31,00
Va MÉDIA	0,74	1,00	0,90	1,14	1,02
UR MÉDIA	76,99	82,64	85,08	85,59	84,74
UTCI MÉDIO	31,85	28,64	30,21	29,78	29,72
UTCI MÁXIMO	36,50	32,20	35,20	34,70	34,30
	I2061	I2061 Consol.	I2061 Novos 10	I2061 Novos 8	I2061 Novos 6
Ta MÉDIA	17,42	16,36	15,78	15,74	15,65
Trm MÉDIA	30,84	22,63	21,29	20,63	20,09
Va MÉDIA	1,59	2,01	1,50	1,45	1,36
UR MÉDIA	49,21	52,60	53,99	54,38	54,70
UTCI MÉDIO	20,15	16,15	16,35	16,20	16,13
UTCI MÁXIMO	26,90	21,60	23,30	23,10	22,90

Fonte: O autor (2014) /Nota: tabelas resultantes simulações ENVI-met.

A figura II.3.21 apresenta a espacialização da Ta e da Trm para os modelos consolidado e de 6 pavimentos para novas ocupações. O efeito da altura fica muito claro tanto na Ta como na Trm, pois no modelo consolidado, cuja altura média é de 13 pavimentos, os edifícios funcionam como uma massa periférica de sombreamento que se confunde com a vegetação, sobrando apenas algumas áreas de miolo de quadra onde a Trm é mais alta.

Já no modelo de 6 pavimentos, no qual o afastamento entre edifícios é de 5 metros (praticamente o dobro do afastamento médio do modelo consolidado), nota-se

uma espacialização diferente das classes de valores de Ta, as quais avançam do norte para o sul, adentrando até mesmo no miolo de quadra; diferente do modelo consolidado onde as classes de valores mais altos se concentravam a noroeste da área. No que concerne à distribuição da Trm, as classes de menor valor (em azul escuro) da arborização urbana não se fundem as áreas de sombreamentos dos edifícios, assim como a área de mais alto valor de Trm do miolo de quadra se expande para os espaços entre os edifícios, devido à maior dimensão nesse modelo.

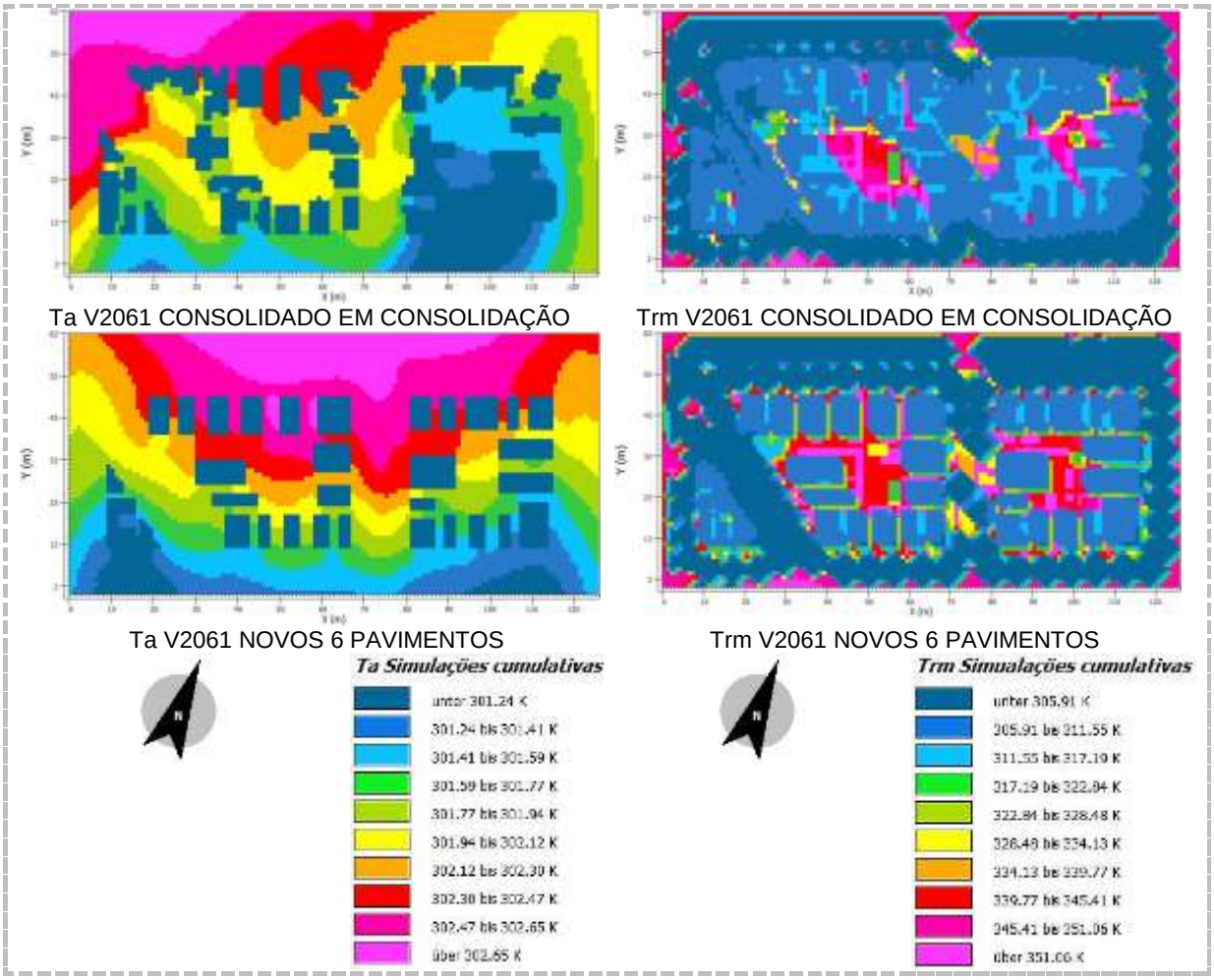


FIGURA II.3.21 – Ta E Trm MODELOS CUMULATIVOS (VERÃO).
Fonte: O autor (2014).

II.3.2.2. Limitações do processo de simulação

Foram encontradas diversas limitações no processo de simulação, muitas delas já relatadas por outros autores (SPANGENBERG *et al*, 2007; EMMANUEL *et al*, 2007; MINELA *et al*, 2009; BRANDÃO, 2009; dentre outros).

Quanto ao desenho da área de entrada – apesar da habilidade de representação de resoluções que vão de 0,5 a 10 m, de acordo com Minela et al (2009) uma maior resolução não significa maior acuidade para os resultados e, portanto, devido a limitações de processamento o próprio software conduz à simplificação dos modelos através de opção por resoluções mais baixas. Resoluções de 5x5m ou 6x6 tem sido utilizadas com sucesso (MINELA et al, 2009; SPANGENBERG et al, 2008). No presente trabalho, a adoção de resolução de 2,5x2,5m significou dupla complicação: processamento extremamente lento (até 48 horas para processar 24 horas e até mais de 100 horas para executar 48 horas de simulação), além de gerar problemas quanto à complexidade do modelo e ocasionar falhas de convergência e a interrupção do processamento por diversas vezes. Portanto, tanto a área do domínio, assim como sua resolução interferem no processamento, como nos resultados obtidos para as variáveis climáticas. (BRANDÃO, 2009).

Quanto à escolha da malha para simulação - a malha para simulação, assim como a definição da altura total do modelo e da quantidade de células aninhadas ao modelo principal (*Nesting grids*) influenciam sobremaneira o modelo, tanto sob o aspecto da performance de processamento como no tocante à convergência e a temperatura. Dependendo do número de células que compõe a borda do modelo (*Nesting grids*) e dos materiais indicados como revestimento do solo, pode haver um sobreaquecimento da área toda, gerando reflexo para a temperatura do modelo e podendo causar mais instabilidades. Bruse (2008, apud Brandão, 2009) sugere a atribuição de solos argilosos para a área da borda do modelo para não camuflar os dados da área principal. Nas simulações realizadas para o presente trabalho, observaram-se duas consequências do dimensionamento da altura e da borda: com mais de 18 células na borda (*Nesting grids)* e a utilização de solo argiloso nessa área verificou-se a tendência ao rebaixamento da temperatura do modelo resultando em valores inferiores aos medidos e houve a formação de um patamar de temperatura estável a partir do horário de maior aquecimento. Quanto à altura, se utilizada altura significativamente superior à relação de 2,5 vezes a altura do maior obstáculo ou edifício do modelo, gerou-se excesso de turbulência e a interrupção do processamento da simulação.

Quanto aos resultados das variáveis climáticas – vários autores (SPANGENBERG et al, 2008; EMMANUEL et al, 2007; BRANDÃO, 2009) relataram a obtenção de temperaturas iniciais mais altas ou baixas do que as esperadas, mas principalmente menor amplitude térmica do que a esperada.

Quanto ao estudo da circulação de ar e porosidade entre edifícios – de acordo com Bruse (2008, *apud* Brandão, 2009) seria necessário deixar 6 células de espaçamento entre os edifícios para que que pudesse haver independência na análise de um edifício para seus vizinhos. Com menos de 6 células há forte influência das funções de extrapolação de superfície e a tendência é que não haja independência entre os resultados de um e outro edifício. Isso limita ainda mais a dimensão máxima das áreas simuladas, o que já consiste numa das maiores limitações do software, fazendo com que possivelmente só possa ser modelada uma quadra urbana. A falta de independência entre os edifícios, com a formação de manchas extensas de espacialização de uma dada variável e o possível sobreaquecimento verificado nos resultados são decorrentes da utilização de espaçamento de apenas 1 célula entre a maioria dos edifícios. Porém, em modelos experimentados com duas ou três células de espaçamento o processamento se tornou ainda mais moroso e foi necessário aumentar tanto a altura como o número das células de borda para conseguir finalizar a simulação.

Quanto à geração de mapas dos resultados com o software Leonardo: o software não é muito intuitivo e a configuração dos mapas é bastante limitada. Modelos complexos não são mostrados em vistas tridimensionais, apenas nas vistas bidimensionais (cortes e plantas). Cada mapa é gerado a partir de um arquivo de saída dos receptores, os quais geram um arquivo para cada período de tempo indicado (no presente trabalho é de 20 minutos) dificultando análise mais dinâmicas dos resultados.

Interoperabilidade – o software e seus módulos trabalham com formatos proprietários que dificultam ou impedem a importação e/ou exportação de dados de entrada ou saída, tais como as imagens (restritas ao formato Bitmap) ou o modelo de elevação (DEM) para ser utilizado na configuração topográfica da área modelada.

SINOPSE PARTE II

Na segunda parte da pesquisa foram desenvolvidos todos os aspectos da metodologia proposta relativos à investigação do clima e do conforto térmico no recorte espacial indicado (área do bairro Batel no Setor Estrutural Sul da cidade) segundo dados coletados em monitoramento de campo e simulações das condições climáticas e do conforto térmico em espaços abertos.

No primeiro capítulo da segunda parte da pesquisa fez-se a apresentação do roteiro metodológico e a caracterização das duas fases de desenvolvimento da pesquisa, assim como a descrição de cada etapa de desenvolvimento da metodologia. Nesse capitulo foi feita também a caracterização da área de estudos segundo uma perspectiva da evolução da urbanização e a caracterização do zoneamento dentro do qual está inserido o recorte espacial. Finalmente, desenvolveu-se a caracterização climática partindo do clima da cidade de Curitiba, para os ambientes climáticos intraurbanos e chegando ao Setor Estrutural Norte-Sul, que é o objeto de investigação em foco.

No segundo capítulo da segunda parte da pesquisa, foram descritos, caracterizados e simulados os cenários climáticos para o ano de 2011, e os cenários climáticos futuros para 2036 e 2061 utilizando-se estimativas de elevação das temperaturas médias relativas aos percentis de 50% e 75% do prognóstico apresentado pelo IPCC (2013, AI-37). Foram também simulados modelos para as temperaturas mínimas/máximas médias e absolutas tanto para inverno como verão, nos moldes da ocupação da quadra em 2011 a fim de ter-se uma caracterização completa das perspectivas climáticas possíveis, sobre aquele recorte espacial. Nesse capítulo fez-se também a caracterização do conforto térmico no espaço urbano para todos os cenários climáticos simulados e observou-se que desde 2011 já são registrados vários horários de desconforto por calor no período de produtivo do dia.

No terceiro capítulo foram então indicados condicionantes de desenho urbano que influenciam o microclima urbano e foram desenvolvidas, apresentadas e caracterizadas todas as simulações desses condicionantes. Então, a partir da avaliação do impacto de cada simulação sobre o conforto térmico nos espaços abertos, foram sugeridas diretrizes de desenho urbano capazes de contribuir para a melhoria do

conforto térmico nos espaços abertos no ano de 2061, sob influência do aquecimento global, na situação mais severa de elevação da temperatura média para a área onde se situa a cidade de Curitiba. Várias simulações, especialmente aquelas relativas à intensificação do uso da vegetação e ao emprego de materiais de melhores propriedades termodinâmicas mostraram-se bastante significativas para a melhoria do conforto térmico e indicaram possibilidades concretas de mitigação dos efeitos do aquecimento global nos próximos 50 anos, por meio de medidas de baixo impacto e que podem ser realizadas em curto prazo e médio prazo.

As diretrizes lançadas direcionam-se tanto para novas ocupações como para ocupações existentes que estejam consolidadas ou em processo de consolidação. No que se refere as áreas consolidadas ou em consolidação, o foco é a proteção do clima e a adaptação às mudanças climáticas, aplicando ações de curto e médio prazo, que não dependam da aprovação de novas leis, mas que possam contribuir para o incremento do conforto térmico. Nesse caso as ações obtiveram resultados muito positivos, reduzindo o grau de desconforto no verão em cerca de 10%, o que significou redução de mais de 4^{o}C na temperatura equivalente UTCI máxima. Já no segundo caso, voltado para áreas de novas ocupações, foram aplicadas as diretrizes que retornaram os melhores resultados, considerando cada tipologia investigada. O incremento para o conforto térmico, representado pela atenuação da temperatura equivalente UTCI máxima no verão, foi de 2,3^{o}C mais modesto que no caso modelo para ocupações existentes. Mas em contrapartida, em face da adoção de limites de altura, significou menor redução da temperatura UTCI também no inverno e menor perda de conforto nessa estação.

CAPÍTULO 4: CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES.

4.1. CONCLUSÕES.

Considerando os resultados obtidos chegou-se à conclusão de que a hipótese de pesquisa foi verificada e que a consolidação urbana resultará em perdas no conforto térmico nos espaços abertos. A elevação das temperaturas médias provocadas pelo aquecimento global reforçam os indicadores extremos para o verão, mas não para o inverno, pois causam a elevação das temperaturas mínimas no inverno e reduzem em alguma medida o desconforto por frio.

Foi possível verificar, ainda que parcialmente, que aspectos do desenho urbano e ações de adaptação às mudanças climáticas são capazes de promover ganhos no conforto térmico suficientes para mitigar os efeitos do aquecimento global sobre o conforto térmico no espaço urbano, fazendo com que o conforto térmico em 2061 apresente-se, em alguns casos, até mesmo superior ao ano de 2011.

Na média a temperatura equivalente UTCI foi de 21,7^{o}C para o inverno e 30^{o}C para o verão no ano de 2011. Já em 2061 os valores médios foram de 20,15^{o}C e 31,85^{o}C para inverno e verão respectivamente. As diretrizes investigadas, quando aplicadas cumulativamente sobre o modelo em consolidação (cenário de 2061) retornaram reduções na temperatura equivalente UTCI de 4,0^{o}C e 3,2^{o}C para inverno e verão. No caso das novas ocupações, quando considerados edifícios de seis pavimentos, obteve-se reduções nos valores médios da ordem de 2,1^{o}C e 4,0^{o}C para verão e inverno respectivamente.

No que se refere aos objetivos traçados, foi possível atingir tanto o objetivo geral como os objetivos específicos da pesquisa de modo bastante satisfatório: foi possível analisar, diagnosticar, prognosticar o clima urbano e o conforto térmico no Eixo Estrutural Sul de Curitiba. Assim como, a partir da construção de modelos de ocupação nos anos de 2036 e 2061 e das simulações das condições climáticas e de conforto térmico futuros, foi possível verificar que diretrizes de desenho urbano podem abrandar os efeitos do aquecimento global nos próximos 50 anos.

Como resultados da pesquisa, podem ser destacados: (a) a obtenção dos cenários de investigação do microclima futuro na área de estudo, a partir da

simulação do clima nos horizontes de 2036 e 2061, que permitiram caracterizar o clima e o conforto térmico em espaços abertos nos dois cenários futuros; (b) a simulação de diretrizes de desenho urbano, relacionadas por Oliveira (1988), gerando cenários resultantes da aplicação destas e quantificando os efeitos de cada intervenção; (c) indicação de diretrizes de desenho urbano, com base em Oliveira (1988) e Endlicher (2012), que podem ser aplicadas tanto em ocupações urbanas em fase de consolidação ou já consolidadas como também em áreas de novas ocupações urbanas.

Embora a simulação de calibragem de verão tenha apresentado baixa correspondência com os dados monitorados em campo, o mesmo não ocorreu com a simulação de inverno que apresentou boa correlação e contribuiu para confirmar os dados das simulações dos parâmetros de desenho urbano feitas para a situação de verão. A partir da calibragem de verão não foi possível estabelecer um grau de certeza aceitável para os valores encontrados, mas é possível depreender que dada a baixa amplitude térmica e os valores mais brandos retornados para as temperatura máximas do dia simulado (22/02/2011), possivelmente a causa da baixa correspondência reside na dificuldade do ENVI-met representar a grande variabilidade e amplitude do dia considerado. Porém, levando em conta a amplitude e a temperatura máxima simulada inferior à medida, possivelmente o valor dos ganhos em termos de conforto térmico retornados para as simulações de intervenção também estejam mais brandos do que deveriam ser.

Além da verificação das hipóteses e atendimento dos objetivos traçados, a pesquisa contribui para a verificação da própria metodologia de formulação e investigação de cenários e sua simulação por meio do ENVI-met, visando a produção de resultados quantitativos. Permite também avaliar o comportamento do aplicativo para simulação de condições climáticas de destacada amplitude térmica e (8^{o}C entre 07h00 e 20h00), especialmente, de grande variabilidade horária, pois, no dia simulado houve queda de temperatura da ordem 5^{o}C entre 15h00 e 16h00.

4.2. CONSIDERAÇÕES.

Todo o processo de desenvolvimento da pesquisa mostrou-se bastante válido como metodologia de investigação do clima e do conforto térmico presente e futuro, e demonstrou que, a despeito das limitações do software, o ENVI-met é uma

ferramenta útil para a simulação de cenários climáticos, retornando muitas variáveis, além daquelas consideradas no texto, as quais permitem exploração mais aprofundada dos resultados encontrados.

A maior dificuldade encontrada foi na modelagem do cenário inicial no ENVI-met, pois não basta a coleta de algumas variáveis de controle para garantir a correspondência entre dados monitorados em campo e dados produzidos pelo software. Diversos autores relatam a necessidade de ajustar a realidade ao software para conseguir melhor correspondência de dados e esse procedimento também foi necessário na pesquisa em tela, tanto com respeito à temperatura inicial quanto à velocidade do vento na altitude de 10 metros. Foram gastas muitas horas de configuração do modelo de área de entrada, assim como dos parâmetros de configuração para rodar o modelo, o qual se mostrou muito sensível a qualquer pequena mudança retornando resultados muito distintos para parâmetros de entrada bastante similares.

A experimentação de modelos de simulação com uso do ENVI-met, embora todos os problemas iniciais mostrou-se satisfatória no que diz respeito ao inverno, pois o grau de incerteza ficou em 9%. Simulação feita com dados de 2012, considerando data e período iguais, retornou apenas 4% de incerteza. No que diz respeito ao verão, porém, notou-se que as temperaturas mais elevadas acompanhadas pela redução da ventilação tornaram a simulação das condições de verão bem mais capciosa. No processo de simulação foi possível verificar, inclusive, que ações de mitigação carregadas nos modelos de área fizeram com que simulações anteriormente interrompidas por instabilidades relativas à ventilação ou sobreaquecimento, fossem concluídas dando claras mostras dos benefícios das diretrizes de desenho urbano relacionadas à intensificação das áreas verdes ou à utilização de materiais de alto albedo.

Como limitações da pesquisa podem ser apontadas a necessidade de redução da área modelada em decorrência de limitações de representação e processamento do próprio software. O grande volume de dados para processamento, tanto os coletados no monitoramento como os obtidos por simulação, os quais demandaram muitas horas de trabalho e reduziram as possibilidades de aprofundamento ou revisão dos procedimentos que poderiam reduzir o grau de incerteza presente nos resultados do verão.

As limitações do software relativas à construção do modelo e da própria malha de células disponível para representação dos elementos urbanos, impõe a redução da área de simulação e a investigação de aspectos importantes, tais como o espaçamento entre os edifícios. E nesse sentido, a opção por uma relação dimensional mais realista em relação ao recorte espacial (uso de células de 2,5 x 2,5 x 3,0 m) fez com que o processamento de cada simulação levasse de 25 a 48 horas e por isso o tempo total de simulação teve de ser limitado a apenas 24 horas.

Considerando o grande número de simulações executadas e o grande número de simulações interrompidas por instabilidades do processamento, não foi possível investigar mais profundamente as potencialidade do software ou mesmo a origem dos problemas de instabilidade causados pela turbulência ou sobreaquecimento na simulação. As complicações no processo de simulação, durante o qual foram rodados mais de 100 modelos de teste ao longo de oito meses de processamento quase ininterrupto, impediram uma investigação mais detalhada do comportamento individual de cada proposta de intervenção do desenho urbano.

O resultado insatisfatório da simulação de verão, em contraposição ao resultado da simulação de inverno mais acurado e obtido com muito mais facilidade, instiga ao aprofundamento no processo de simulação para obtenção de uma simulação de verão mais satisfatória para reduzir a incerteza presente nos resultados obtidos. E induz à investigação do outras ferramentas de simulação das condições climáticas e de conforto, possibilitando tanto a validação dos resultados produzidos pelo ENVI-met, como também a realização de simulações complementares de aprofundamento ou investigação de outras variáveis.

O trabalho de pesquisa abre possibilidade para o desenvolvimento de estudos mais aprofundados em diversas áreas, pois o caráter diverso das diretrizes de desenho urbano permitiu apenas uma investigação superficial de todas as propostas. Caberia então o aprofundamento em cada aspecto levantado: quanto às áreas verdes, quanto aos materiais, quanto à rugosidade, à permeabilidade e assim por diante, para obtenção de resultados quantitativos acurados, os quais pudessem ser aplicados como parâmetros de configuração ou de restrição.

REFERÊNCIAS

ABREU, L.V.; LABAKI, L.C. Avaliação do raio de influência da vegetação no microclima proporcionado por diferentes espécies arbóreas. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.

ABREU, L.V.; LABAKI, L.C. Comparação de métodos de conforto térmico em ambientes externos para avaliação do raio de influência de espécie arbórea decídua. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

ADRIAZOLA, M.K. **O. Avaliação do desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR, Unidade Curitiba.** 2002. 132f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ALI-TOUDERT, F.; MAYER. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. **Solar Energy**, v.81, p.742 754, 2007. doi:10.1016/j.solener.2006.10.007

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Effects of street design on outdoor thermal comfort. In: Kiss, A., Mezösi, G.,Sümeghy, Z. eds.. Landscape, Environment and Society. Studies in Honour of Professor Ilona Bárány-Kevei on the Occasion of Her Birthday. SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged, p.45-55, 2006.

ANANIAN, P.; FONTES, M.S.G. C.; SILVA, B. Avaliação quanto ao desempenho térmico de equipamento urbano no calçadão de Bauru. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8, 2005, Maceió, AL. **Anais...** Maceió, AL: ENTAC, 2005. 1 CD-ROM.

ANDRADE, T.C.Q.; MÉNDEZ, K.U.; ROCHA, M.M.B.; BASTOS, M.S. Condições de conforto térmico na orla de Salvador abrangida pela lei municipal 5.502/99. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: ENTAC, 2001. 1 CD-ROM.

ARAÚJO, C.V. A.; MAIA, A.F.R. de A. B.; BENTES SOBRINHA, D.; PEDRINI, A. Recomendações de sombreamento para espaços de circulação de pedestres no campus da UFRN. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.

ARAÚJO, V.M.D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários e edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. 1996. Tese Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ASSIS, E. S. **Impactos da forma urbana na mudança climática: Método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano.** Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003.

BARBIRATO, G.M. **Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico de Maceió-AL**. 1998. 173f. Tese Doutorado em Engenharia Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

BARBIRATO, G.M.; MATTOS, A.. O uso da modelagem climática no planejamento dos espaços urbanos. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 5, 1999, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, CE: ENTAC, 1999. 1 CD-ROM.

BARBOSA, M. **A Influência do paisagismo e tecnologia construtiva no clima e qualidade de espaços residenciais com exemplo na Vila Tecnológica de Curitiba/Pr.** 2008. 157f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

BARLATI, A.B.; BUENO-BARTHOLOMEI, C.L. Calçadão de Presidente Prudente SP: o conforto térmico em espaços públicos abertos. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

BELDING, H. S.; HATCH, T. F. ***Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains***. In: Heating, Piping and Air Conditioning, p.207-239, 1955.

BERTRAND, G. Paisage y geografia física global. In: MENDOZA, J.G.; JIMINES, J.M.; CANTERO, N.O. (Orgs.). **El pensamiento geográfico: estúdio interpretativo y antologia de textos (de Humboldt a las tendências radicales)**. Madrid: Alianza Editorial, 1982.

BITTENCOURT, L. S. et al. A influência da relação da taxa de ocupação x n° de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4, **Anais**. Salvador: ANTAC, 1997. p. 102-106.

BORGHI, S.; COBETTA, G.; DE BIASE, L. *A heat island. Model for large urban áreas and its application to Milan.* ***Il nuovo cimento***, Bologna, v.23, n.5, p.517-566, set-out 2000.

BORNSTEIN, R.D. *The two-dimensional URBMET urban boundary layer model.* ***Journal of Applied Meteorology***, 14, p.1459-1477, 1975.

BRANDÃO, R. S. **As interações espaciais urbanas e o clima**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BRÖDE, P.; JENDRITZKY, G.; FIALA, D.; HAVENITH, G.. The Universal Thermal Climate Index UTCI in Operational Use. **Proceedings** of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 2010. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, 2010.

BRUSANTIN, G.N.; FONTES, M.S.G.C. Conforto térmico em espaços públicos de permanência: uma experiência na cidade de Bauru-SP. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

BRUSE, M.; FLEER, H. ***Simulating surface – plant - air interactions inside urban environments with three dimensional numerical model***. Environmental Modelling and Software, v.13, 1998, p. 373–384.

BRUSE, M. 1999. ***The influences of local environmental design on microclimate*** (...), Ph.D Thesis University of Bochum, Bochum (Alemanha).

BRUSE, M. ***Updated overview over ENVI-met 3.1 beta5***. 2004. Disponível em: http://www.envi-met.com. Acessado em 15/08/ 2010.

BRUSE, M. ***Updated overview over ENVI-met 3.1 Manual Contents***. 2006. Disponível em**:** http://www.envi-met.com. Acessado em 11/12/2012.

BUENO, C. L.; LABAKI, L.C.; SANTOS, R.F. Caracterização das espécies arbóreas e sua contribuição para o conforto térmico urbano do sub-distrito de Barão Geraldo, Campinas. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4, 1997, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA: ENTAC, 1997. 1 CDROM.

BUENO-BARTHOLOMEI, C.L.; LABAKI, L.C.; VIANNA, P. Z. Comportamento de diferentes espécies arbóreas quanto à atenuação da radiação solar. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: ENTAC, 2001. 1 CD-ROM.

CARVALHO, H.J. M.; CAVALCANTI, A.K. G.; RIBEIRO, C.A.; ROCHA, J.P.; SILVA, M.P.; SILVEIRA, J.G.; SANTOS, M. A. Relação entre o sombreamento provocado pelas edificações e o campo térmico. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

CASTANHEIRA, R. G.; COSTA, C. E. S. Estudo da radiação solar incidente em planos inclinados no Rio de Janeiro parte 1: situação de verão. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: ENTAC, 2001a. 1 CD-ROM.

CHATZIDIMITRIOU *et al*. **Ground surface materials and microclimates in urban open espaces.** PLEA 2006, The 23 Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.

CHOAY, F. **O urbanismo.** São Paulo: Perspectiva SA, 1997, 4ª Ed.

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

CORBELLA, O.D.; YANNAS, S. Posto 3 Copacabana Rio de Janeiro. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4, 1997, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA: ENTAC, 1997. 1 CD-ROM.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC). Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba. **PDI/2006-COMEC**, 2006.

COSTA, A.; ARAÚJO, V. Estudo do conforto térmico em ambientes externos: o caso de Petrópolis em Natal/RN. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 7, 2003, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: ENTAC, 2003. 1 CD-ROM. p.616-623.

COSTA, A.; RODRIGUES, G.; LABAKI, L. Tipos de revestimento do solo e sua influência no microclima: estudo de caso para a Unicamp SP. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8, 2005, Maceió, AL. **Anais...** Maceió, AL: ENTAC, 2005. 1 CD-ROM.

CPTEC/INPE. CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática.** Vol. 26, No 02, 2011 Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. ISSN 0103-0019 CDU-555.5. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/. Acesso em: setembro/2013.

CPTEC/INPE. CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Vol. 26, No 08, 2011b.Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. ISSN 0103-0019 CDU-555.5. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/. Acesso em: setembro/2013.

CPTEC/INPE. Climanálise. **Boletim técnico. Análise Sinótica.** Disponível em: http://tempo1.cptec.inpe.br/boletimtecnico. Acesso em: fevereiro/2014.

CURITIBA. **Lei nº. 9.800, de 3 de janeiro de 2000** (Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências). Prefeitura Municipal de Curitiba, 2000.

DACANAL, C.; RIBEIRO, B.; RANCURA, R. L.; LABAKI, L.C. Conforto térmico em espaços livres públicos: estudo de caso em Campinas, SP. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

DACANAL, C.; PEZZUTO, C. C.; LABAKI, L.; MATSUMOTO, E. Avaliação do efeito da ventilação nos espaços urbanos abertos através de simulações e medições experimentais. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Canela-RS, 2010**. Anais**...Canela, 2010.

DANNI, I.M. **Aspectos temporoespaciais da temperatura e da umidade relativa de Porto Alegre-RS em janeiro de 1982**: **uma contribuição ao estudo do clima urbano.** São Paulo, 1987. 129f. Dissertação Mestrado em Geografia - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. Aspectos conceituais do sistema clima urbano: uma breve revisão bibliográfica sobre ilhas de calor. In: **Cadernos de Geociências**. Rio de Janeiro, n.15, p.13-26, jul/set 1995.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. Aspectos Climáticos de Curitiba-PR: uma contribuição para o ensino médio. **RA' EGA O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, no 03, p. 229-253, 1999a.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. **A cidade de Curitiba/PR e a poluição do ar. Implicações de seus atributos urbanos e geoecológicos na dispersão de poluentes em período de inverno.** São Paulo, 330p. Tese (Doutorado) USP, 1999b.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. Considerações sobre a poluição do ar em Curitiba-PR face a seus aspectos de urbanização. **Revista RA' EGA O Espaço Geográfico em Análise**, n. 4, p. 101-110. 2000. Editora da UFPR: Curitiba, 2000.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. **A Cidade de Curitiba e a Poluição do ar: implicações de seus atributos urbanos e geoecológicos na dispersão de poluentes em período de inverno.** In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (Orgs). Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003.

DINES, M. **Climatologia urbana e o desenho das cidades: insumos para o planejamento da metrópole paulistana**. 1991. Dissertação Mestrado em Arquitetura Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

DUARTE D.H.S. **Clima como parâmetro de projeto para a região de Cuiabá-MT**. 1995. Dissertação Mestrado em Arquitetura - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

DUARTE, D.H.S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. 2000. 296f. Tese Doutorado em Arquitetura Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DUBOIS, D.; DUBOIS, E. F. ***A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known.*** In: Archives of Internal Medicine. v.17, p.863-871, 1916.

DUMKE, E.M.S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitações de interesse social**. 2002. 230f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

DUMKE, E.M.S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU-RMC).** Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

ECHENIQUE, M. ***Modelos: una discusión*****.** In: MARTIN, L. *et al*. *La estructura del espacio urbano.* Barcelona: Gustavo Gili, 1975. P 235-249.

ELIASSON, I.. *The use of climate knowledge in urban planning*. In: ***Landscape and Urban Planning***, 48 Göteborg: Elservier Science, 2000. p. 31-44.

EMMANUEL, R. ***An Urban Approach to Climate Sensitive Design: Strategies for the Tropics.*** Spon. Press: London, 2005.

EMMANUEL, R; JOHANSSON, E. ***Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka.*** Climate Research 30, 2006, 189–200.

EMMANUEL, R.; ROSENLUND, H.; JOHANSSON, E. ***Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka.*** In: INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY. Wiley InterScience: 5 September 2007. DOI: 10.1002/joc.1609.

ENDLICHER, W.. ***Einführung in die Stadtökologie***. Stuttgart: Eugen Ulmer, 2012.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FANGER, P.O. **Thermal Comfort**. Florida: Robert E. Krieger Publishing Co., 1982.

FERNANDES, L.C. **Utilização de equações preditivas para estimativa da temperatura interna de edificações de interesse social**. 2005. 187f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FIALA, D.; LOMAS, K.J.; STOHRER, M. A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system. **Journal of Applied Physiology**, v87, p.1957-1972, 1999. doi: 10.1007/s004840100099.

FIALA, D.; LOMAS, K.J.; STOHRER, M. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. **International Journal of Biometeorology**, v.45, n.3, p.143-159, 2001. doi: 10.1007/s004840100099.

FIALA, D.; LOMAS, K..J.; STOHRER, M. First principles modeling of thermal sensation responses in steady-state and transient conditions**. ASHRAE Transactions**, v.109, p.179-186, 2003.

FIALA, D., LOMAS, K.J.; STOHRER, M. Dynamic simulation of human heat transfer and thermal comfort. In: MEKJAVIC, I.B.; KOUNALAKIS, S.N.; TAYLOR, N.A.S. eds. **Proceedings** of the 12th International Conference on Environmental Ergonomics, Portoroz, Slovenia, p.513-515, 2007.

FIALA, D.; HAVENITH, G.; BRÖDE, P.; KAMPMANN, B.; JENDRITZKY, G. UTCI-Fiala multi-node model of human temperature regulation and thermal comfort. **International Journal of Biometeorology** special issue, 2011. doi: 10.1007/s00484-011-0424-7.

FICHTER, K.; GLEICH, A.; PFRIEM, R.; SIEBENHÜNER, B. (Org.). ***Theoretische Grundlagen für erflogreich Klimaanpassungsstraterien.*** Nordwest 2050 Berichte: H.I Bremen, Oldenburg, 2010.

FONTANELLA, M.S. **Percepção do ambiente térmico: preferências subjetivas e conforto térmico**. 2009. 145f. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

FONTES, M.S.G.C. **Efeito climático das áreas de fundo de vale no ambiente urbano: o caso de São Carlos-SP**. 1998. Tese Doutorado em Arquitetura - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

FONTES, M.S.G.C.; BRUSANTIN, G. Limites de conforto térmico em um espaço público de permanência arborizado. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

FRANÇA, F.P.M.; BARBIRATO, G.M. Conforto térmico externo e configuração urbana: uma avaliação em espaços urbanos na cidade de Maceió - AL. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

FROEHLE, A.W. Climate variables as predictor of basal metabolic rate: new equations. In: **American Journal of Human Biology**, n.20, p.510-529, 2008. doi: 10.1002/ajhb.20769

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual do conforto térmico**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GAGGE, A.P.; BURTON, A.C. BAZETT, H.D. ***A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment.*** In: Science, n.94, p.428-430, 1971.

GARCÍA, M.C. ***Estudio del clima urbano de Barcelona: la „isla de calor".*** Barcelona, 1990. 193f. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional de La Universidad de Barcelona.

GARCÍA, F.F. ***Manual de Climatología Aplicada: clima, medio ambiente y planificación***. Madrid: Sintesis, 1995.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GEIGER, R. **Manual de Microclimatologia o clima da camada de ar junto ao solo.** 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990. 556p.

GIRALT, R.P. **Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres RS**. 2006. 238f. Dissertação Mestrado em Planejamento Urbano e Regional. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2a ed. London: Applied Science Publishers Ltd, 1976.

GIVONI, B. Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. In: **Atmospheric Environment**, Great Britain, v.25B, n.3, p.289-299, 1991.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. Nova Iorque: ITP, 1998.

GOMES, P.S.; LAMBERTS, R. Influência dos parâmetros: densidade construída e geometria urbana no comportamento térmico de áreas urbanas, o caso de Montes Claros MG. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

GOMES, P.S.; LAMBERTS, R. **O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso de Montes Claros, MG.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.9, n.1, p.73-91, jan/mar, 2009.

GUPTA, J.; TERMEER, K.; KLOSTERMANN, J.; MEIJERINK, S.; VAN DEN BRNK, M.; JONG, P. ***Institutions for Climate Change. A method to assess the Inherent Characteristics of Institutions to enable the Adaptative Capacity of Society.*** Institute of Environmental Studies, Vrije Universiteit: Amsterdam, 2008.

HAN, S.; MUN, S.; HUH, J. **Changes of the micro-climate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Korea.** Proceeding: Building Simulation 2007.

HARDT, L.P.A.; CARVALHO. G.R.; AFONSO, T.M.; HARDT, C. **Grandes Projetos Urbanos: Impactos do Plano Serete sobre a Morfologia e a Paisagem do Ambiente Construído de Curitiba, Paraná.** IV Encontro Nacional da Anppas, Anais, 4, 5 e 6 de junho de 2008 Brasília – D F – Brasil.

HIGUERAS, E. ***Urbanismo bioclimático - critérios medioambientales en la ordenación de asentamientos***. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Madrid, 1997.

HIGUERAS, E. ***Urbanismo bioclimático - critérios medioambientales en la ordenación de asentamientos.*** Cuadernos de investigación urbanística, 1998.

HIGUERAS, E. ***Urbanismo Bioclimático.*** Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

HIRASHIMA, S.Q.S. **Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente PET para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG.** 2010, 225f. Dissertação Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

HIRASHIMA, S.Q. S.; ASSIS, E.S.; FERREIRA, D.G. Calibração do índice de conforto térmico temperatura Equivalente fisiológica (PET) para espaços abertos do Município de Belo Horizonte MG. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

HÖPPE, P. The Physiological Equivalent Temperature: an index for the biometeorological assessment of the thermal environment. In: **International Journal of Biometeorology**. n.43. p. 71-75, 1999.

HOUGHTEN, F.C.; YAGLOU, C.P. ***Determining lines of equal comfort*****.** In: ASHVE Transaction, St. Joseph, v.29, n.4, p.163-176, 1923.

HUTTNER, S.; BRUSE, M.; DOSTAL, P. ***Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities.*** Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Nr. 18 (2008): Helmut Mayer and Andreas Matzarakis (eds.): 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, 2008, p. 307-312.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2000.** IBGE. Disponível em http://www.ibge.gov.br Acessado em: 09/07/2010.

_____. **Censo 2010. Primeiros Resultados de 29/11/2010.** Disponível em: < http://www.censo2010.ibge.gov.br/primeiros_dados_divulgados/index.php?uf=41> Acesso em: 07/02/2012.

IPARDES. Paraná - **Diagnóstico social e econômico.** Curitiba, 2003, p.15-18. Disponível em <http://www.ipardes.gov.br/index.php> Acessado em: 30/06/2003.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**, IPCC Working Group I, 4th Assessment Report (AR4). Summary for Policymakers, 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**, IPCC Working Group I, 5th Assessment Report (AR5). Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections - Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2000. IBGE. Disponível em <http://www.ibge.gov.br> Acessado em: 09/07/2010.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC). **Curitiba Digital 2007**. Curitiba: IPPUC, 2007. CD-ROM.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC). **Curitiba Digital 2010**. Curitiba: IPPUC, 2010. CD-ROM.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC). **População Projetada 2013 a 2040 para os Bairros de Curitiba.** Curitiba em Dados. 2013a. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br>. Acesso em 15/01/2013. (2013a)

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC). **Construções Liberadas por Bairro e Ano em Curitiba até 2008.** Curitiba em Dados. 2013b. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br>. Acesso em 15/01/2013. (2013b)

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**. Ergonomics of the thermal environments Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genève: ISO, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**. Ergonomics of the thermal environments Instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8896**. Ergonomics of the thermal environments Determination of thermal metabolic rate. Genève: ISO, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**. Ergonomics of the thermal environments Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève: ISO, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9920**. Ergonomics of the thermal environments Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genève: ISO, 2007.

INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY - ISB Commission 6 for the development of a Universal Thermal Climate Index UTCI. **Meeting Report**, June 7-8, 2001, Freiburg, Germany. Freiburg: ISB Commission, 2001.

INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY - ISB. **Report for 2003**. Genebra, ISB Commission 6, 2003.

INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY (ISB). Commission 6 for the Development of a Universal Thermal Climate Index (UTCI). ***Meeting Report***, Freiburg, Germany, june 7-8, 2001. Freiburg: ISB Commission, 2001.

INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY (ISB). Commission 6 for the Development of a Universal Thermal Climate Index (UTCI). ***Report for 2003.*** Genebra: ISB Commission 6, 2003.

IPARDES. Paraná - Diagnóstico social e econômico. Curitiba, 2003, p.14. Disponível em <http://www.ipardes.gov.br/index.php> Acessado em: 30/06/2003.

JANSSON, C. **Urban microclimate and surface hydrometeorological processes.** KTH Architecture and the Built Environment, 2006.

JENDRITZKY, G.; SÖNNING, W.; SWANTES, H.J. ***Ein objectives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt-und Landschaftsplanung*** („Klima-Michel-Modell"), ARL Beiträge, n.28, 1979.

JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: a study in Fez, Morocco. **Building and Environment**, v.41, p.1326-1338, 2006. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.05.022.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 4a.ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1988.

JUSUF, S. K.; WONG, N. H.; HAGEN, E.; ANGGORO, R.; HONG, Y. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore, **Habitat International,** 31, 2007, p. 232-242.

KALANDA, B.D; OKE, T.R; SPITTLEHOUSE, D.L..***Suburban energy balance estimates for Vancouver, B.C., using the Bowen ratio – energy balance approach.*** American Meteorological Society, v. 19, p.791-802.

KATZSCHNER, L.; FREIRE, T.; NERY, J.; ANDRADE, T.; CARVALHO, L.. Urban climate study of Salvador: thermal comfort pattern. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 5, 1999, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, CE: ENTAC, 1999. 1 CD-ROM.

KATZSCHNER, L***. New deveolpments in applied urban climatology.*** In: Encontro nacional de conforto no ambiente construído, 9., 2007, Ouro Preto. Anais do... Ouro Preto: ANTAC, 2007. p. 01-10.

KATZCHNER, L.; THORSSON, S. **Microclimatic Investigations as Tool for Urban Design**. ICUC-International Conference on Urban Climate. Yokohama, Japan, 2009.

KNEZ, I.; THORSSON, S. Influence of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. **International Journal of Biometeorology**, v.50, p.258-268, 2006. doi: 10.1007/s00484-006-0024-0.

LAMAS, J.M.R.G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 3.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

LAMOTTA, M.G.; LABAKI, L.C. Dez anos depois: estudo do clima de Campinas. Caracterização e proposição de recomendações de projeto para climas compostos em 1998 e em 2008 o que mudou. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

LIMA, L.P. **Clima e forma urbana: métodos de avaliação do efeito das condições climáticas nos graus de conforto térmico e no consumo de energia elétrica em edificações**. 2005. 153f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LOIS, É.; LABAKI, L.C. Conforto Térmico em Espaços Externos: uma revisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro. **Anais**... São Pedro: ANTAC, 2001.

LOMBARDO, M.A. **Ilha de calor na metrópole paulista**. 1984. Tese Doutorado em Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

LOMBARDO, M.A. **Ilhas de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: HUCITEC, 1985.

LUNGO, M. ***Macroproyectos urbanos: desafíos para las ciudades latinoamericanas.*** Land Lines. Boston, v.14, n.4, 2002.

MAKRIDAKIS, S. *et al.* ***Forecasting: methods and applications****.* 2 ed., New York: Jonh Wiley, 1983.

MARENGO, J.A. Mudanças **climáticas: detecção e cenários futuros para o Brasil até o final do século XXI.** In: CAVALCANTI, I.F.A. (Org.) et al. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

MARTINS, T.L.F. **Avaliação de desempenho térmico dos setores de aulas da UFRN**. 1995. 86f. Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1995.

MENDONÇA, F. **O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequeno-proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR.** Tese (Doutorado em Geografia) Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F. **Clima e Criminalidade: ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência da criminalidade urbana.** Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

MENDONÇA, F. Aspectos da problemática ambiental urbana da cidade de Curitiba/PR e o mito da "Capital Ecológica". **GEOUSP – Espaço e Tempo.** São Paulo: no. 12, 2002a.

MENDONÇA, F. Aspectos da problemática ambiental urbana da cidade de Curitiba/PR e o mito da "Capital Ecológica". In: **Espaço e Tempo**, n.12, São Paulo, GEOUSP, 2002b, p.1-8.

MENDONÇA, F.A.. "S.A.U. – Sistema socioambiental urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade". In. MENDONÇA, F.A. (Org.). **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: Editora da UFPR, 2004, p. 185-208.

MENDONÇA, F. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC de Curitiba. **Desenvolvimento e meio ambiente**, n.10, p.139-148, jul/dez, 2004, Editora UFPR.

MENDONÇA, F. **Effects of global warming on human health: An approach from "re-emergent" diseases in Brazil**. In: DIAS, Pedro Leite da Silva; RIBEIRO, W.C.; NUNES, L.H.. (Org.). A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America. 1 ed. São Paulo: Editora do IEA/USP, 2007, v. 1, p. 217-238.

MENDONÇA, F. Geografia, Geografia Física e Meio Ambiente: uma reflexão à partir da problemática socioambiental urbana. In: **Revista da ANPEGE**, v. 5, 2009, p.131-132.

MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **Revista RA'EGA O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 9, p. 25-35, 2005. Editora UFPR.

MENDONÇA, F.; KOZEL, S (Orgs.). **Elementos de Epistemologia da Geografia Contemporânea.** 1ª. Ed. Revisada. Curitiba: Editora UFPR, 2009.

MENDONÇA, F. A.; OLIVEIRA, E. L. **O ritmo pluvial e as inundações em Curitiba: relatório técnico-científico de iniciação científica.** Curitiba: PRPPG/UFPR, 1998.

METRÔ CURITIBANO. **Linha Azul CIC Sul.** Disponível em: <http://metro.curitiba.pr.gov.br>. Acesso em: 23/01/2014.

MICHALOSKI, A.O. **Avaliação do desempenho térmico por meio de simulação computacional de habitações populares implantadas na Vila Tecnológica de Curitiba.** 2001. 204f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MILLS, G. *An urban canopy-layer climate model.* ***Theoretical and Applied Climatology***, 57, p. 229-244, 1997.

MINELLA, F.O. **Avaliação da influência de aspectos da geometria urbana sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres de Curitiba**. 2009. 163f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MINELLA, F.O.; ROSSI, F.A.; KRÜGER, E.L. Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

MOCHIDA, A., et al. *CFD analysis of mesoscale climate in the Greater Tokio.* ***Journal of Wind Engineer and Industrial Aerodynamics***, 67 & 68, p. 459-477, 1997.

MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. IGEOG-USP, Série Teses e Monografias, n. 25, São Paulo: USP, 1976. 181p.

MONTEIRO, C.A.F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de Clima Urbano no Brasil. **GeoSul,** Florianópolis, Edufsc, n. 9, ano 5, p. 7-19, 1990.

MONTEIRO, C.A.F. Geossistemas: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

MONTEIRO, C.A.F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C.A.F. (Orgs.) **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, C.A.F. **Geografia sempre: o homem e seus mundos.** Campinas: Edições Territorial, 2008.

MONTEIRO, L.M. **Modelos preditivos de conforto térmico**: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 2008. 382 f. Tese Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Procedimentos de quantificação de variáveis para análise termofisiológica em espaços abertos. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8, 2005, Maceió, AL. **Anais...** Maceió, AL: ENTAC, 2005. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1: verificação experimental de modelos preditivos. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007a. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos. In: IX Encontro Nacional de

Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007b. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Conforto térmico em espaços abertos. Parte 1: consideração de variáveis ambientais. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009a. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Conforto térmico em espaços abertos. Parte 2: consideração da taxa metabólica e do isolamento térmico da roupa. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009b, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009b. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Conforto térmico em espaços abertos. Parte 3: consideração do sexo, aclimatação e adaptação. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009c, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009c. 1 CD-ROM.

MYRUP, L.O. *A numerical model f the urban heat island.* ***Journal of Applied Meteorology***, 8, p.908-918, 1969.

NAKATA, C.M. **Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano**. 2010, 133f, Dissertação Mestrado em Design, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2010.

NASCIMENTO, C.C. **Clima e morfologia urbana em Belém**. 1993. 114f. Dissertação Mestrado em Planejamento Urbano. Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

NERY, J.M.F.G.; ANDRADE, T.C. Q.; LIRA, I. S. Temperatura do ar e padrões de ocupação em Salvador. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 7, 2003, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: ENTAC, 2003. 1 CD-ROM. p.616-623.

NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K.. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In: **Energy and Buildings**, v.35, p.95-101, 2003. doi: 10.1016/S0378-7788(02)00084

NIKOLOPOULOU, M. Outdoor Comfort. In: STEEMERS, Koen; STEANE, Mary Ann (eds.). **Environmental diversity in architecture**. Spon Press: Oxford, 2004a.

NIKOLOPOULOU, M. ed.. **Designing open spaces in the urban environment:** a bioclimatic approach. Grécia: CRES, 2004b.

NOGUEIRA, A.M.P. **Configuração urbana e microclimas: estudo em loteamento horizontal de Maceió-Alagoas.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

OBA, L.T. **Cidade grifada: Curitiba e seus eixos estruturais.** In: ENCONTRO ANUAL ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE – ANPPAS, 2., Brasília, 2004. Anais do... Brasília: ANPPAS, 2004.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. London: Mathuen & Co., 1978.

OKE, T.R. ***Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.*** World Meteorological Organizations: Report N.81, Instruments and observing methods. 2006. Disponível em: https://www.wmo.int/pages/prog/...81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf. Acesso em: 19/02/2014.

OLGYAY, V. ***Design with climate***. New Jersey: Princeton University Press, 1976.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, P.M.P. **Cidade apropriada ao clima e à forma urbana como instrumento de controle climático urbano**. 1985. 134f. Dissertação Mestrado em Planejamento Urbano. Universidade de Brasília, Brasília, 1985.

OLIVEIRA, P.M.P. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade de Brasília. Brasília, 1988.

PAREJA JÚNIOR, J.; AUGUSTO NETO, M.; AGOSTINHO, M.V.V.; MANCINI, M.T.; SPOSITO, M.E.B.; BARTHOLOMEI, C.L.. Praças em Presidente Prudente - SP: levantamento de parâmetros ambientais e pessoais para análise de conforto térmico no período de inverno. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.

PERTSCHI, S.C. **Padrão urbano de ocupação e temperatura do ar na camada intra-urbana em São José dos Pinhais / PR**: situação de verão. 2005. 172f. Dissertação mestrado em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

POMBO, J.F. da R. **O Paraná no centenário: 1500-1900.** Rio de Janeiro: José Olympio, 1980.

POSTIGO, C.P.; SOUZA, L.C.L. Ambiente térmico urbano: verticalização, acesso solar e formação de ilhas de calor. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (PMC). **Plano Municipal de Mobilidade Urbana e Transporte Integrado - Proposta Preliminar.** Curitiba: PMC, 2008a.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (PMC). **Plano Municipal de Mobilidade Urbana e Transporte Integrado - Diagnostico Transporte Coletivo e Comercial.** Curitiba: PMC, 2008b.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (PMC). **Guia do Investidor. Informações sócio-econômicas. Curitiba 2012.** Curitiba: PMC, 2012. Disponível em: <www.agenciacuritiba.com.br>. Acesso em: 08/02/2014.

PROST, C. **O falso consenso sobre a defesa do meio ambiente**. In: MENDONÇA, F.; LOWEN-SAHR, C.L.; SILVA, M. (orgs.) Espaço e Tempo. Complexidades e desafios do pensar e do fazer geográfico. Curitiba, Ademadan, 2009, p. 181-218.

RIBEIRO, C.A.M.; FIDELIS, C.N.; CARVALHO, H.J. M. Fator de Visão do Céu e Ilhas de Calor: geoprocessamento aplicado ao conforto urbano. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 3., Fortaleza. 2008. Anais... Fortaleza: CONNEPI, 2008. Disponível em: < http://docs.google.com > Acesso em: 22/03/2011.

ROMERO, M.A.B. **Princípio bioclimático para o desenho urbano**. 1985. 149f. Dissertação Mestrado em Planejamento Urbano. Universidade de Brasília, Brasília, 1985.

ROMERO, M.A.B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 1988.

ROMERO, M.A.B. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

RORIZ, M. **Conforto térmico em edificações: um modelo matemático e uma aplicação**. 1996. Tese Doutorado em Arquitetura Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

ROSSI, F.A. **Análise da influência da ocupação do solo na variação da temperatura em diferentes localidades da cidade de Curitiba**. 2004. 167f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

ROSSI, F.A.; KRÜGER, E.L.; BRÖDE, P. Definição de faixas de estresse térmico para espaços abertos em Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

ROSSI, F.A.; KRÜGER, E.L.; NIKOLOPOULOU, M. A influência da configuração urbana no microclima e sensação térmica em ruas de pedestre de Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

RUAS, A.C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999.

SAMPAIO, A.V.C.F. **Clima urbano e arquitetura: adequação, conforto e qualidade de vida estudo para a cidade de Londrina**. 1996. 245f. Dissertação Mestrado em Arquitetura Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 1996.

SANTAMOURIS, M. Energy and climate in the urban built environment. London: James & James, 2001.

SANTANA, A.M.S. **O desenho urbano e a climatologia em Fortaleza**. São Paulo, 1997. 200f. Dissertação Mestrado em Geografia Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e tempo, razão e emoção.** 4ª. Ed. 2ª. Reimpressão. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M.L. **O BRASIL: Território e sociedade no início do século XXI.** 12ª ed. Rio de Janeiro/São Paulo: Record, 2008.

SCARAZZATO, P.S. **Investigando sobre critérios para a determinação dos níveis de conforto térmico**. 1988. 163f. Dissertação Mestrado em Arquitetura Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, 1988.

SILVA, I.J.O.; MARTINS, J.L.; FAGNANI, M.A.; PIEDADE, S.M. Sombreamento natural: avaliação térmica de algumas espécies. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: ENTAC, 2001. 1 CD-ROM.

SILVEIRA, A. L. R. C. da; ROMERO, M. A. B. The microclimate in housing estates in the Northeast of Brazil. In:**The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA**. Geneva, Switzerland, 2006.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. ***Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees. Building and Environment,*** Oxford, vol. 39, p. 1087-1099, 2004.

SHIMAKAWA, A.H.; BUENO-BARTHOLOMEI, C.L. Aplicação dos modelos preditivos de conforto PET e PMV em Presidente Prudente-SP: estudo de caso - parque do povo. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

SOUZA, A.T**. Impacto ambiental na mudança do ambiente construído: análise qualitativa dos efeitos nos sistemas de condicionamento ambiental**. 1996. 231f. Dissertação Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

SOUZA, M.L. Para pensar o futuro das metrópoles brasileiras. Notas epistemológicas e metodológicas sobre a construção de cenários. In: **Novos estudos de geografia urbana.** Salvador: UFB, 1999.

SPANGENBERG, J. ***Improvement of Urban Climate in Tropical Metropolis – A case study in Maracanã/ Rio de Janeiro,*** Thesis (Master in architecture), University of Applied Sciences, Cologne, Germany, 2004. Disponível em: < http://www.basis-id.de/science >. Acesso em: 03/03/2013.

SPANGENBERG, J.; SHINZATO, P.; JOHANSSON, E.; DUARTE, D. ***Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo***, In: Rev. SBAU, v.3, n.2, jun.2008, p.1-19.

SOMEKH, N. **A cidade vertical e o urbanismo modernizador: São Paulo 1920 – 1939**. São Paulo: NOBEL, 1997, p. 13-32.

SORANO, E. C. **Ergonomia de quadras urbanas: condição térmica do pedestre.** Bauru: UNESP, 2009.

SOTCHAVA, V.B. **O estudo de geossistemas.** Métodos em questão. Instituto de Geografia – USP, São Paulo, 1977, p. 1-52.

STANCATO, F. **Análise do ambiente térmico de cabine de aeronave**. 2009. 171f. Tese Doutorado em Engenharia Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2009.

STEINRÜCKE, M; SNOWDON, A. ***Handbuch Stadklima. Maßnahmen und Handlungskonzept für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an der Klimawandel.*** Regionalverband Ruhr: Essen, 2010.

SUERTEGARAY, D.M.A. Geografia Física (?) Geografia Ambiental (?) ou Geografia e Ambiente (?) In: MENDONÇA, F.; KOZEL, S (Orgs.). **Elementos de Epistemologia da Geografia Contemporânea.** 1ª. Ed. Revisada. Curitiba: Editora UFPR, 2009, p. 112-113.

SUERTEGARAY, D.M.A. Geografia Física e Geomorfologia: Temas para Debate. Revista da ANPEGE, v. 5, p. 22 – 35, 2009.

SUGA, M. **Avaliação do potencial de aproveitamento de luz natural em cânions urbanos: estudo realizado nos Eixos Estruturais de Curitiba.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia) Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005.

SWAID, H. *Intelligent Urban Forms (IUF); a new climate-concerned, urban planning strategy.* ***Theoretical and Applied Climatology***, 46, p. 179-191, 1992.

TAHA, H; SAILOR, D.; AKBARI, H. ***High-albedo materials for reducing building cooling energy use.*** University of California: Energy and Environment Division, Berkeley, 1992.

TAKENAKA, V.M.; FARIA, J.R.G. Análise da qualidade do ambiente térmico das vias públicas. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 7, 2003, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: ENTAC, 2003. 1 CD-ROM. p.616-623.

TARIFA, J.R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP), Brasil. **Geografia***, 2,* 1977. p. 59-80

THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. In*:* ***International Journal of Climatology***, v.27, p.1983-1993, 2007. doi: 10.1002/joc.1537

TORRES, S.C. **Arranjos construtivos urbanos: um estudo sobre a influência da configuração de conjuntos habitacionais verticais na qualidade térmica de edificações em Maceió-AL.** Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006.

TRICART, J.J.L. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE – Supren, 1977.

TSO, C.P.;CHAN, B.K.; HASHIM, M.A. *A improvement to the basic energy balance model for urban thermal environment analysis.* ***Energy and Buildings***, n.14, p. 143-152.

ULTRAMARI, C.; REZENDE, D.A. Grandes projetos urbanos: conceitos e referenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.7, n.2, p.7-14, abr./jun. 2007.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Lidar Base Specification Version 1.0. Acessado em 27/01/2014. Disponível em: http://lidar.cr.usgs.gov/

VICENTINI, Y. et al. **Urbanização e recursos hídricos na Região Metropolitana de Curitiba.** Curitiba: MA&D/UFPR, 2004. 1 CD-ROM.

VIEIRA, F.M. **Proposta de roteiro para análise e concepção bioclimática dos espaços externos urbanos**. 1994. Dissertação Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

VIEIRA, T.C. **Conforto higrotérmico nas oficinas do Centro de Formação Profissional do SENAI-RJ**: análise e recomendação de projeto. 1995. Dissertação Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

VILELA, J.A.; ASSIS, E.S.; PAIVA, J.E.M. Análise da influência do parâmetro massa térmica construída na variação das condições de temperatura e umidade em área urbana de Belo Horizonte, utilizando a técnica de cenários. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.

WILMORE, J.H. **Fisiologia do esporte e do exercício**. 2. ed. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2001.

WHO. **Impact of climate change on health: how to address new threats now**. Fact sheet EURO/15/05. http://www.euro.who.int/Document/Mediacentre/fs1505e.pdf, 2005.

XAVIER, A.A.P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. 209f. Dissertação Mestrado em EngenhariaCivil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

XAVIER, A.A.P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias: teoria física aliada a estudos de campo**. 2000. 251f. Tese Doutorado em Engenharia da Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

YAGLOU, C. P., MINARD, C. ***Control of heat casualties at military training centers.*** A.M.A. Archives of Industrial Health, 16, p.302-316, 1957.

YU, C; HIEN, W.N. ***Thermal benefits of city parks.*** Energy and Buildings, Oxford, vol. 38, p. 105-120, 2006.

ZANELLA, M.E. **Inundações urbanas em Curitiba/PR: impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental no bairro Cajurú.** Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade de Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

ZANELLA, M.E. ; MENDONCA, F. A. **Algumas considerações sobre o clima urbano de Curitiba e suas repercussões na saúde da população.** In: VI Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade ANPPAS, 2004, Indaiatuba. VI Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2004.

MUITO OBRIGADA!