

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

LAIZ REIS LEAL

**Análise do adensamento urbano no comportamento
microclimático de Vitória (ES): aplicações no Modelo ENVI-met**

Vitória
Outubro de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

LAIZ REIS LEAL

Análise do adensamento urbano no comportamento microclimático em Vitória (ES): aplicações no Modelo ENVI-met

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Construção Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora:

Prof^ª. Dr^ª. Cristina Engel de Alvarez.

Vitória
Outubro de 2018

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

L433a Leal, Laiz Reis, 1987-
Análise do adensamento urbano no comportamento microclimático de Vitória (ES) : aplicações no modelo ENVI-met / Laiz Reis Leal. - 2018.
190 f. : il.

Orientadora: Cristina Engel de Alvarez.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Mudanças climáticas. 2. Planejamento urbano. 3. Adensamento urbano. 4. Simulação microclimática. I. Alvarez, Cristina Engel de. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

LAIZ REIS LEAL

“Análise do adensamento urbano no comportamento microclimático em Vitória (ES): aplicações no modelo ENVI-met”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Construção Civil.

Aprovada em 09 de Outubro de 2018

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Cristina Engel de Alvarez
(orientadora – PPGEC/UFES)

Prof^a. Dr^a. Geilma Lima Vieira
(membro interno – PPGEC/UFES)

Prof^a. Dr^a. Eleonora Sad de Assis
(membro externo – UFMG)

Aos meus pais, Marly e Rubens,
pelo amor refletido em
apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

À Prof^ª Dr^ª Cristina Engel de Alvarez, minha orientadora, pela condução atenta, compreensiva e carinhosa, desde as primeiras aproximações. Por sempre se colocar à disposição quando solicitada, mesmo imersa nas intensas dinâmicas cotidianas. Pelo admirável e inspirador exemplo de entrega e dedicação amorosa ao ensino e produção do conhecimento. Por todas as formas de apoio, desde as mais práticas às mais sutis.

Ao Prof. Dr. Luis Bragança, por ter aceitado gentilmente participar da banca de qualificação, dedicando atenção ao trabalho e lançando contribuições valiosas para o desenvolvimento desta pesquisa.

Às professoras Dr^ª Eleonora Sad de Assis e Dr^ª Geilma Lima Vieira, pelas participações na banca de defesa e generosas contribuições, com seus olhares analíticos e agregadores.

Ao Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP), por todas as potenciais trocas construtivas, apoio e companhia cotidiana de grande riqueza, agregando sempre, e cada um ao seu modo, no desenvolvimento desta pesquisa.

Especialmente à Tatiana Xavier e Brenda Silva, pelas generosas contribuições nos primeiros passos dentro do extenso caminho das simulações microclimáticas.

Ao Jordano, sempre disponível para toda e qualquer ajuda, tanto dentro quanto fora do ambiente acadêmico, contribuindo com reflexões e a ampliação do meu olhar nos mais diversos, não premeditados e surpreendentes ramos.

À Lohane, por sempre ter se colocado voluntariamente disposta a ajudar no que fosse preciso, além das trocas construtivas sintonizadas em frequências compartilhadas e complementares.

À Renata, por todas as contribuições, por se colocar disponível e aberta para diversas ajudas, incluindo revisões textuais e, sobretudo, pelos abraços de urso.

À Ana Karolina e Malena que, nos auxílios junto à coordenação do LPP, sempre estiveram atentas a contribuir para o melhor andamento das pesquisas de todos.

A todos que dispuseram de seu tempo para viabilizar a realização das medições de campo, especialmente Ana Paula, Brenda, Filipe, Juliana, Jordano, Lohane, Patrick, Suelem e Tamires.

Aos amigos e colegas da geografia meteorológica, que não mediram esforços para contribuir sempre que solicitados, Wemerson Oliveira, Wesley Correa e Prof. Dr. Edson Fialho.

Às amigas e companheiras de cotidiano e de vida, Bárbara, Janaína, Mariana, Rafaella, Tamires e Thiara.

À Aline. Gratidão por receber minhas inquietações e apostar na realização dos desafios surgidos, por ser impulso, ajuda, apoio, conforto, clareza, cuidado, soluções, tempo e engrandecedoras perturbações. Por acreditar, por vezes, mais do que eu mesma nos próximos passos.

Aos meus pais, Marly e Rubens, e à minha irmã, Lara, pelo apoio incondicional e sempre amoroso à realização das minhas escolhas de vida, pelas partilhas respeitadas e agregadoras diante das diversidades dos nossos olhares.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa concedida, viabilizando a realização desta pesquisa.

A todos, meus sinceros e carinhosos agradecimentos.

RESUMO

A busca pela adaptação do ambiente urbano às mudanças climáticas é apontada como um dos maiores desafios deste século e as cidades surgem tanto como potenciais geradoras das alterações do clima como receptoras de tais consequências. Nesse sentido, as ações do planejamento urbano são fundamentais, visando tanto a mitigação dos efeitos das alterações do clima quanto adaptações das cidades aos eventos futuros. São necessários estudos preditivos que respaldem as tomadas de decisões, observando-se destaque para aqueles associados às simulações computacionais. As previsões advertem que eventos extremos ocorrerão com maior frequência e intensidade, e dentre eles incluem-se as ondas de calor, cujas altas temperaturas interferem negativamente na qualidade de vida, potencializando inclusive riscos à saúde humana. As conformações urbanas que já atuam modificando as condições ambientais originais, associadas às influências das mudanças do clima, podem potencializar efeitos, interferindo diretamente no balanço de energia do meio. O estudo em questão tem como objetivo avaliar as implicações do adensamento urbano no comportamento térmico ao nível do pedestre diante do provável cenário de aquecimento global em Vitória (ES). A metodologia é composta por levantamento de campo, medições microclimáticas, modelagens e simulações dos cenários avaliados utilizando o programa ENVI_MET 4.3, considerando avaliações da sua acurácia. As simulações principais englobaram quatro cenários morfológicos distintos, nos quais foram alterados parâmetros de adensamento e verticalização. Como resultado, identificou-se que o cenário de maior verticalização apresentou os valores mais baixos tanto para T_a quanto para TRM, chegando a uma diferença de até 1°C para T_a às 15h e de até 27°C para TRM às 9h, ambas em relação ao cenário padrão representativo da situação atual. Esta diferenciação se mostrou estreitamente ligada à incidência direta da radiação. Logo, os cenários mais sombreados pelas próprias edificações tiveram menores temperaturas no nível da rua. Em contrapartida, os mesmos cenários, por serem mais adensados e assim compostos por maior quantidade de materiais construtivos, tiveram seu resfriamento dificultado diante do processo de balanço energético, além de terem influenciado a distribuição e velocidade do vento, caracterizando diminuição destes valores em grande parte da área analisada.

Palavras-chave: Atenuação térmica urbana. Simulação microclimática. ENVI_MET 4.3. Mudanças climáticas. Planejamento Urbano.

ABSTRACT

The pursuit for urban environment adaptation to climate change is indicated one of the greatest challenges of this century, and the cities appear both as potential originators of the climate change as well as targets of such consequences. Therefore, the processes of urban planning are essentials, aiming to mitigate the climate change and the adaptations of cities for future events. Thus, predictive studies are required to support the decision-making, observing those highlighted and referred to computational simulations. Predictions alert that extreme events will occur in more frequency and intensity, and among them are included heat waves, in which high temperatures interfere negatively in the quality of life, and even more, increasing risks to the human health. The urban configurations that act already to modify the original environmental conditions, related to the influences of the climate changes, can have effects potentialized, interfering directly in the energy balance of the urban environment. The aim of this study is to evaluate the implications of urban density in the thermal behavior at the pedestrian level toward to the potential global warming scenario in Vitória (ES). The methodology is composed by field survey, microclimatic measurements, modeling and simulations of the measured scenarios using the program ENVI_MET 4.3, considering evaluations of its accuracy. The main simulations included four different morphological scenarios, in which the parameters of densification and verticalization were changed. As result, it was identified that the scenario of greatest verticalization presented the lowest values for both Ta and TRM, reaching a difference up to 1°C for Ta at 15h, and up to 27°C for TRM at 9h, both linked to the standard scenario according to the current condition. This contrast was nearly related to the direct incidence of the radiation. Therefore, the scenarios more shaded by buildings indicated lower temperatures at the street level. However, the same scenarios, due to the fact that they were denser, and thus composed of a greater quantity of construction materials, had their cooling hindered toward the energy balance process, apart from having influenced the wind distribution and velocity, outlining a decrease of these values in most of the analyzed area.

Keywords: *Urban thermal attenuation. Microclimatic simulation. ENVI_MET 4.3. Climate changes. Urban Planning.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma metodológico.....	28
Figura 2: Relação entre escalas climáticas urbanas.	49
Figura 3: Esquema representativo da estrutura do modelo ENVI_MET	56
Figura 4: Aba de configuração de perfil do solo disponível no <i>Manage Database</i> , ENVI_MET V4.3.0 Winter 17/18.	57
Figura 5: Área territorial do município de Vitória e sua inserção no território nacional.....	62
Figura 6: Regiões administrativas do município de Vitória (ES) com destaque para o bairro Jardim da Penha	62
Figura 7: Normal Climatológica de Precipitação e Temperatura para Vitória (ES) 1981 - 2010.	64
Figura 8: Demarcação da área de estudo e delimitação do bairro Jardim da Penha.	66
Figura 9: Destaque dos conjuntos habitacionais contidos na área de estudo em contextos temporais distintos: (a) década de 1970 (b) década de 2010.....	66
Figura 10: Aproximação da área de estudos, com destaque das tipologias distintas identificadas.	70
Figura 11: Visuais das principais tipologias de conformação da área, indicadas na Figura 10.	71
Figura 12: Evolução dos lotes em Vitória entre os anos 2000 e 2012.	74
Figura 13: Levantamento de lotes com potencial de renovação, edificações e gabaritos.	75
Figura 14: Planta baixa do cenário 01 e sua representação no modelo 3D.	76
Figura 15: Planta baixa do cenário 02 e sua representação no modelo 3D.	77
Figura 16: Planta baixa do cenário 03 e sua representação no modelo 3D.	78
Figura 17: Planta baixa do cenário 04 e sua representação no modelo 3D.	79
Figura 18: Modelo de Data Logger utilizado.	81
Figura 19: Modelo de Termo-higro-anemômetro utilizado.....	81
Figura 20: Modelo de miniestação utilizada.	81
Figura 21: Teste dos Data Loggers em ambiente interno.	82
Figura 22: Teste dos equipamentos junto à estação meteorológica Vitória-A612/INMET.	82

Figura 23: Gráficos de dispersão linear com suas respectivas equações de retas e valores dos coeficientes de determinação (R^2), entre os dados de Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade Relativa do ar (%) da estação Vitória-A612 e miniestação 1.....	83
Figura 24: Gráficos de dispersão linear com suas respectivas equações de retas e valores dos coeficientes de determinação (R^2), entre os dados de Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade Relativa do ar (%) da estação Vitória-A612 e miniestação 2.....	83
Figura 25: Gráficos de dispersão linear com suas respectivas equações de retas e valores dos coeficientes de determinação (R^2), entre os dados de Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade Relativa do ar (%) da estação Vitória-A612 e miniestação 3.....	84
Figura 26: Gráficos de dispersão linear entre os dados de Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade Relativa do ar (%) da estação Vitória-A612/INMET e da estação SBVT/INPE/CPTEC, assim como seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).....	85
Figura 27: Mosaico de cartas sinóticas de superfície (1A e 1B) e imagens do satélite GOES-13 (2A e 2B), as 00Z respectivamente dos dias 18/12/17 e 19/12/17.....	89
Figura 28: Localização dos pontos de medições compreendidos na área de estudo.....	90
Figura 29: Registro das medições de campo no ponto de medição 01 (a, b) com miniestação localizada na Rua Maria Eleonora Pereira; (c) sombreamento pelo edifício no período da tarde; e, (d) panorama do entorno.	91
Figura 30: Registro das medições de campo no ponto de medição 02. (a, b) miniestação locada na Rua Dr. Antônio Basílio; (c) medições noturnas; e, (d) panorama do entorno.	92
Figura 31: Registro das medições de campo no ponto de medição 03. (a, b) miniestação locada na Rua José Neves Cypreste; (c) sombreamento pelo edifício no período da tarde; e, (d) panorama do entorno.	93
Figura 32: Representação da planta baixa base com seus limites definidos, salva no formato <i>bitmap</i> para ser inserida no editor do modelo.	96
Figura 33: Tela inicial do ENVI_MET SPACES para acesso ao <i>Editing Settings/Create New Area</i>	97
Figura 34: Tela de configuração do domínio do modelo de calibragem no ENVI_MET 4.3. ...	98
Figura 35: Seleção da planta baixa base através da aba <i>Digitize</i> e ícone <i>Select bitmap</i>	99
Figura 36: Aproximação da área modelada com indicação dos receptores 01, 02 e 03.	101
Figura 37: Ferramenta <i>Model Inspector</i> , com acesso pela aba <i>Tools</i> , viabiliza a análise da geometria do modelo.	102
Figura 38: Visualização em 3D correspondente ao modelo do cenário atual, com vegetação. Acesso através do <i>3D View Editor</i>	103

Figura 39: Seção <i>Area Input file</i> , em <i>Config Wizard</i> , com o arquivo de modelagem da área carregado.....	104
Figura 40: Seção <i>Time and Date Output</i> , em <i>Config Wizard</i> , com dados gerais da simulação.	105
Figura 41: Seção <i>Meteorology: Basic settings</i> , em <i>Config Wizard</i> , com parte dos dados meteorológicos de entrada.	105
Figura 42: Seção <i>Meteorology: Simple forcing</i> , em <i>Config Wizard</i> , com a entrada de dados horários de temperatura e umidade relativa do ar.....	106
Figura 43: Seção <i>Meteorology: Futher settings</i> , em <i>Config Wizard</i> , com a entrada de dados relativos à radiação solar e cobertura de nuvens.	108
Figura 44: Acesso ao <i>Preview radiation</i> , na seção <i>Meteorology: Further settings</i> , em <i>Config Wizard</i> , para identificação do fator de ajuste da radiação solar.	108
Figura 45: Cartogramas de Ta e Vv no Cenário 01, às 15h.....	148
Figura 46: Cartogramas de Ta e Vv no Cenário 04, às 15h.....	149
Figura 47: Cartogramas de Ta e Vv no Cenário 03, às 15h.....	152
Figura 48: Cartograma de Temperatura do Ar para o Cenário 01, às 9 horas.....	153
Figura 49: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 04, às 9 horas.	154
Figura 50: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 01, às 15 horas.	155
Figura 51: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 04, às 15 horas.	156
Figura 52: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 01, às 21 horas.	157
Figura 53: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 04, às 21 horas.	157
Figura 54: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 01, às 9 horas. ...	159
Figura 55: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 04, às 9 horas. ...	160
Figura 56: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 01, às 15 horas. .	161
Figura 57: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 04, às 15 horas. .	161
Figura 58: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 01, às 21 horas. .	163
Figura 59: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 04, às 21 horas. .	163
Figura 60: Comportamento da Umidade Relativa em P1 para C1, C2, C3 e C4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.....	184

Figura 61: Comportamento da Umidade Relativa em P2 para C1, C2, C3 e C4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.....	184
Figura 62: Comportamento da Umidade Relativa em P2 para C1, C2, C3 e C4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.....	185
Figura 63: Cartogramas de Temperatura do Ar para os horários sinóticos e cenários avaliados.	186
Figura 64: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para os horários sinóticos e cenários avaliados.	187
Figura 65: Índices de controle urbanístico do PDU 2006 de Vitória para ZOC 01/03.....	190
Figura 66: Índices de controle urbanístico do PDU 2018 de Vitória para ZOC 2.	190

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comportamento de T nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC1 e medidos em campo.	124
Gráfico 2: Comportamento de UR nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC1 e medidos em campo.	128
Gráfico 3: Comportamento de T nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC5 e medidos em campo.	131
Gráfico 4: Comportamento de UR nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC5 e medidos em campo.	132
Gráfico 5: Comportamento de T nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC10 e medidos em campo.	134
Gráfico 6: Comportamento de UR nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC10 e medidos em campo.	135
Gráfico 7: Comportamento de Ta em P1 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horário com maior diferença entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.	140
Gráfico 8: Comportamento de Ta em P2 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horário com maior diferença entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.	140
Gráfico 9: Comportamento de Ta em P3 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horário com maior diferença entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.	141
Gráfico 10: Comportamento de TRM em P1 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horários com maiores diferenças entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.	143
Gráfico 11: Comportamento de TRM em P2 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horários com maiores diferenças entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.	143
Gráfico 12: Comportamento de TRM em P3 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horários com maiores diferenças entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.	144
Gráfico 13: Comportamento de Ta, TRM e UR em P2 nos cenários 1, 2, 3 e 4.	145
Gráfico 14: Comportamento de Vv em P1 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.	146

Gráfico 15: Comportamento de Vv em P2 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.	147
Gráfico 16: Comportamento de Vv em P3 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de correlação de <i>Pearson</i> (r) e coeficiente de determinação (R^2) entre os dados de Temperatura do ar (T) e Umidade Relativa (UR) das miniestações 1, 2 e 3 com a estação Vitória-A612.	82
Tabela 2: Espécies arbóreas 3D utilizadas na modelagem da área.	100
Tabela 3: Dados climáticos de entrada para a configuração do arquivo de simulação (.SIM), referente a simulação de calibragem 01 do programa ENVI_MET 4.3.	114
Tabela 4: Dados horários de Temperatura do ar (°C) do dia 18/12/2017 da estação Vitória - A612 inseridos na ferramenta <i>Simple forcing</i>	114
Tabela 5: Dados horários de Umidade Relativa (%) do dia 18/12/2017 da estação Vitória - A612 inseridos na ferramenta <i>Simple forcing</i>	115
Tabela 6: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 2.	116
Tabela 7: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 3.	116
Tabela 8: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 4.	116
Tabela 9: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 5.	116
Tabela 10: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 6.	116
Tabela 11: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 7.	117
Tabela 12: Dados horários de Temperatura do ar (°C) do dia 18/12/2017 da estação SBVT / METAR inseridos na ferramenta <i>Simple forcing</i>	117
Tabela 13: Dados horários de Umidade Relativa (%) do dia 18/12/2017 da estação SBVT / SYNOP inseridos na ferramenta <i>Simple forcing</i>	117
Tabela 14: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 8.	117
Tabela 15: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 9.	117
Tabela 16: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 10.	118
Tabela 17: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 11.	118
Tabela 18: Dados de entrada para a configuração do arquivo de simulação (.SIM), referente a simulação de calibragem 10 do programa ENVI_MET 4.3.	118
Tabela 19: Dados de entrada para a configuração do arquivo de simulação (.SIM), referente as simulações dos cenários paramétricos, utilizando o programa ENVI_MET 4.3.	119
Tabela 20: Dados horários de Temperatura do ar (°C) do dia 25/02/2006 da estação SBVT / METAR inseridos na ferramenta <i>Simple forcing</i>	119

Tabela 21: Dados horários de Umidade Relativa (%) do dia 25/02/2006 da estação SBVT / SYNOP inseridos na ferramenta <i>Simple forcing</i>	119
Tabela 22: Análise da acurácia da Simulação de Calibragem 1 (SC1).	123
Tabela 23: Análise da acurácia da Simulação de Calibragem 05.	130
Tabela 24: Análise da acurácia da Simulação de Calibragem 10.	133
Tabela 25: Dados de Ta máximas, mínimas e amplitudes térmicas de P1, P2 e P3 em C1, C2, C3 e C4.	139
Tabela 26: Dados de TRM máximas, mínimas e amplitudes térmicas de P1, P2 e P3 em C1, C2, C3 e C4.	144

LISTA DE SIGLAS

ABL	<i>Atmospheric Boundary Layer</i> (Camada Limite Atmosférica)
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CA	Coefficiente de Aproveitamento
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CFD	<i>Computational Fluid Dynamic</i> (Dinâmica de Fluidos Computacional)
CLA	Camada Limite Atmosférica
CLP	Camada Limite Planetária
COP	Conferência das Partes
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
D_{PIELKE}	Índice de Destreza <i>Pielke</i>
GCM	<i>Global Circulation Models</i> (Modelo de Circulação Global)
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Concordância
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>International Panel on Climate Change</i>
LABSOL	Laboratório de Energia Solar
LBC	<i>Lateral Boundary Conditions</i> (Condições de Limite do Entorno)
LPP	Laboratório de Planejamento e Projetos
ME	<i>Mean Error</i> (Erro Médio)
MSE	<i>Mean Square Error</i> (Erro Quadrático Médio)
ONU	Organização das Nações Unidas
PBMC	Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas

PDU	Plano Diretor Urbano
PMV	Prefeitura Municipal de Vitória
PNA	Plano Nacional de Adaptação à Mudança Climática
RMGV	Região Metropolitana da Grande Vitória
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i> (Raiz do Erro Quadrático Médio)
TO	Taxa de Ocupação
TRM	Temperatura Radiante média
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UR	Umidade Relativa do ar
WMO	<i>World Meteorological Organization</i> (Organização Meteorológica Mundial)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
°C	graus Celsius
ABS	termo absoluto
h	horas
hab/km²	habitante por quilômetro quadrado
m	metros
m²	metros quadrados
min	minutos
r	coeficiente de correlação de <i>Pearson</i>
R²	coeficiente de determinação
t_a	temperatura do ambiente
v_r	velocidade relativa do ar
W/m²	Watt por metro quadrado
σ	desvio padrão
Σ	somatória

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVOS	26
1.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	33
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O CONTEXTO URBANO	35
2.2	PLANEJAMENTO URBANO E MICROCLIMA URBANO	43
2.3	SIMULAÇÕES MICROCLIMÁTICAS: O MODELO NUMÉRICO ENVI_MET	51
3.	PROCEDIMENTOS DE SIMULAÇÃO	61
3.1	ÁREA DE ESTUDO	61
3.1.1	DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO	61
3.1.2	PROPOSIÇÃO DOS CENÁRIOS PARAMÉTRICOS	72
3.2	MEDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS	79
3.2.1	INSTRUMENTAÇÃO E TESTE DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	80
3.2.2	MEDIÇÕES DE CAMPO	85
3.3	O PROCESSO DE SIMULAÇÃO NO ENVI_MET 4.3	94
3.3.1	MODELAGEM E PROCESSOS DE CONFIGURAÇÕES	94
3.3.2	VALORES E ORIGENS DOS DADOS DE ENTRADA: SIMULAÇÕES DE CALIBRAGEM E DOS CENÁRIOS PARAMÉTRICOS	110
3.4	CALIBRAÇÃO DO MODELO	119
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	138
5.	CONCLUSÃO	165
	REFERÊNCIAS	171
	APÊNDICES	184
	APÊNDICE A: GRÁFICOS DE UR DE P1, P2 E P3 PARA OS QUATRO CENÁRIOS	184
	APÊNDICE B: CARTOGRAMAS DE TA E TRM PARA OS QUATRO CENÁRIOS	186
	APÊNDICE C: RECURSOS COMPUTACIONAIS PARA SIMULAÇÃO	188
	ANEXOS:	190
	ANEXO 1:TABELA DE CONTROLE URBANÍSTICO DA LEI 6.705/2006, VITÓRIA.	190
	ANEXO 2: TABELA DE CONTROLE URBANÍSTICO DA LEI 9.271/2018, VITÓRIA.	190

1 Introdução

1. INTRODUÇÃO

A última década marcou a transição de um mundo onde a população passou de predominantemente rural para urbana. O crescente número de habitantes nas cidades caminha concomitantemente com a dimensão das expansões urbanas e diante do contexto da conformação espacial surgem condições que têm alterado progressivamente o ambiente natural. De acordo com dados que retratam a distribuição populacional global, a partir de 2007 o número de pessoas vivendo em áreas urbanas, pela primeira vez na história, superou o das áreas rurais e as projeções apontam que em 2050, 66% da população mundial será urbana (UNITED NATIONS, 2014). Segundo o censo demográfico apresentado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, mais de 80% da população brasileira já se encontrava em áreas urbanas e, de acordo com as projeções da ONU, espera-se que em 2050 a população urbana no país chegue a 91% (UNITED NATIONS, 2014). Tal situação se mostra desafiadora em diversos aspectos, tendo em vista a garantia e manutenção da qualidade de vida, o que engloba a solidez quanto à saúde, segurança, conforto, meio ambiente, economia entre outros aspectos.

De modo geral, a associação entre grandes populações, estruturas densamente construídas e superfícies impermeáveis aumentam as dificuldades de se atuar frente às mudanças climáticas (JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017). Os danos ambientais, decorrentes de práticas construtivas e econômicas perniciosas, têm suas manifestações potencializadas e percebidas primeiramente nas cidades, sendo observados através do aumento de temperatura e dos índices de poluição atmosférica; de contaminação ou escassez das águas; da redução na produção de alimentos; e de quedas na oferta de energia, em contrapartida ao aumento do consumo em virtude da piora nos níveis de conforto humano (EDWARDS, 2005). Além desses aspectos, as alterações climáticas surgem como uma ameaça ao desenvolvimento urbano sustentável, colocando muitas cidades em risco (WAMSLER; BRINK; RIVERA, 2013) assim como seus habitantes. Sob a perspectiva de um contexto climático cujos eventos extremos tendem a se tornarem mais frequentes, são esperados aumentos nas ocorrências de inundações, secas e estresse térmico, que geram, além de danos financeiros, ameaças à segurança e a saúde pública (GAO et al., 2015; FIELD et al., 2014, *apud* JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017).

Casagrande (2013) destaca como crítica fundamental ao modelo de desenvolvimento atual o

ideal defendido que melhores condições de vida estão diretamente ligadas ao crescimento financeiro. E neste sentido, “pressupõe-se que o progresso de uma nação pode ser medido somente pela sua produção material, desconsiderando fatores sociais e ambientais” (CASAGRANDE, 2013, p. 22). Tendo em vista os sinais de alerta sobre a instabilidade futura mundial correlacionada às consequências do aumento populacional, ao modelo de crescimento econômico praticado e à cultura de consumo estabelecida, Fossati (2008) já indicava na primeira década deste século, a necessidade de uma reestruturação em diversas esferas do ambiente urbano e sociedade.

As alterações do meio físico para a conformação do espaço produzido, quando não planejadas de forma holística, isto é, considerando integralmente as dimensões dos fenômenos que o compõe, ou que necessariamente deva compor, leva à produção de ambientes doentios e cujo próprio potencial qualitativo não é manifestado, seja ambiental, social, cultural ou econômico. Lombardo (1985) já apontava a cidade como a maior expressão social da produção espacial, destacando que sua expansão desordenada possibilita o surgimento de problemas ambientais, como as diversas formas de poluição e degradação do solo, ocasionando consequências como o desconforto ambiental, que engloba aspectos térmicos, acústicos e visuais, por exemplo. E essa é a situação pela qual passam a maioria das cidades brasileiras, cujo processo de urbanização aconteceu de forma desorganizada ou com um planejamento ineficiente por um longo período de tempo (MONTEIRO, 2003).

Tendo em vista que a interferência negativa na qualidade de vida dos seres humanos se relaciona diretamente às alterações no meio ambiente natural, muitas delas ocasionadas pelas ações dos próprios indivíduos, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos visando mitigar as consequências deste processo. Jamei e Rajagopalan (2017) destacam que a integração do conhecimento climático urbano às políticas de planejamento e o desenvolvimento de estratégias de minimização das consequências provenientes das mudanças climáticas têm recebido maior atenção nas últimas décadas. Neste sentido, destacam-se as pesquisas desenvolvidas por Krüger, Minella e Rasia (2011); Shashua-Bar, Tsiros e Hoffman (2012); Müller, Kuttler e Barlag (2013); Taleghani et al.(2015) sobre o conforto térmico urbano, diretamente relacionado às alterações microclimáticas, sejam

estas em consequência de influências locais ou global, ou mesmo oriundas de processos cíclicos naturais do planeta.

Logo, a escolha do tema deste trabalho partiu da observação do crescente cenário de discussões sobre mudanças climáticas e impactos diretamente ligados à qualidade de vida nas cidades. A relevância de tal assunto se mostra cada vez maior, visto que as ocorrências dos eventos extremos relacionados ao panorama em questão têm se apresentado de modo mais frequente ao longo dos últimos anos (IPCC, 2014; WMO, 2017a). Não por acaso, o número de estudos cujo enfoque se volta para avaliações e proposições de adaptações e modificações de configurações já firmadas tem aumentado gradualmente. São diversos os programas lançados visando à preparação de cidades ou regiões de forma que as mesmas se tornem capazes de enfrentar as circunstâncias adversas provenientes das mudanças do clima, firmando sua resiliência ou capacidade de adaptações (HUTTNER; BRUSE; DOSTAL, 2008; HUTTNER et al., 2009).

Assim, esta pesquisa se justifica à medida que estudos relacionados as questões das interferências das mudanças climáticas na alteração da qualidade de vida urbana se mostram fundamentais diante do desafiador cenário que se apresenta já para este século. Tendo em vista que tal panorama climático é de abrangência global e que assim qualquer região, localidade ou área é entendida como potencial receptora de suas consequências, independente das escalas das ocorrências e consequentes necessidades específicas de adaptação, este estudo se desenvolve diretamente relacionado às alterações térmicas urbanas em Vitória (ES), considerando-as como um dos aspectos que sofrerão transformações dentro do panorama vislumbrado.

Diante do exposto, as perguntas que direcionaram a pesquisa foram: como se comportarão microclimaticamente – especificamente, no aspecto térmico – as atuais configurações urbanas na cidade de Vitória (ES) orientadas pelo Plano Diretor Urbano (PDU) vigente (VITÓRIA, 2018) em situação de aquecimento futuro? E ao se considerar os panoramas de renovação urbana para a área, analisando possíveis alternativas de crescimento, como estes se comportariam, tendo em vista o mesmo contexto de alteração climática? Uma questão, de caráter secundário, refere-se à avaliação da adequabilidade de simulações computacionais como instrumento gerador dos modelos de análise.

O recorte territorial considerado corresponde a um trecho urbano da cidade, especificamente localizado no bairro Jardim da Penha, e busca-se identificar tanto o panorama de condições térmicas para o contexto construído atual quanto para cenários de crescimento futuro, para situações climáticas de aquecimento global. A hipótese dessa pesquisa é a de que configurações urbanas que caracterizam a ocupação territorial de Vitória (ES) conformam-se de modo a desfavorecer a atenuação térmica ao nível do pedestre, o que se agravará em condições climáticas futuras, considerando o panorama de aquecimento global e suas respectivas interferências previstas para a área.

Como resultado, são identificados os comportamentos de cada cenário construído diante da condição climática considerada como representativa da condição futura, sendo apresentados aspectos a serem integrados no processo de desenvolvimento de futuras políticas urbanas que busquem estar alinhadas com o panorama previsto em relação ao clima. Assim, são indicadas contribuições para que medidas de planejamento sejam tomadas com embasamento preditivo de suas consequências, visando minimizar os efeitos térmicos provenientes das futuras condições climáticas, objetivando propiciar bem-estar, seguridade e conforto térmico aos usuários do meio urbano e consequente manutenção ou melhora da qualidade de vida na cidade.

1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo principal identificar as implicações do adensamento urbano, do ponto de vista construtivo, no comportamento térmico ao nível do pedestre em Vitória (ES), diante da situação de aquecimento global, com o uso do modelo ENVI-met .

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Definir critérios para a elaboração dos modelos de análise atual e futuros;
- Avaliar como se comportarão microclimaticamente, com ênfase para o comportamento térmico, os modelos morfológicos de adensamento urbano existente e futuros;
- Avaliar a adequabilidade do uso de simulações computacionais como instrumento gerador dos modelos de análise.

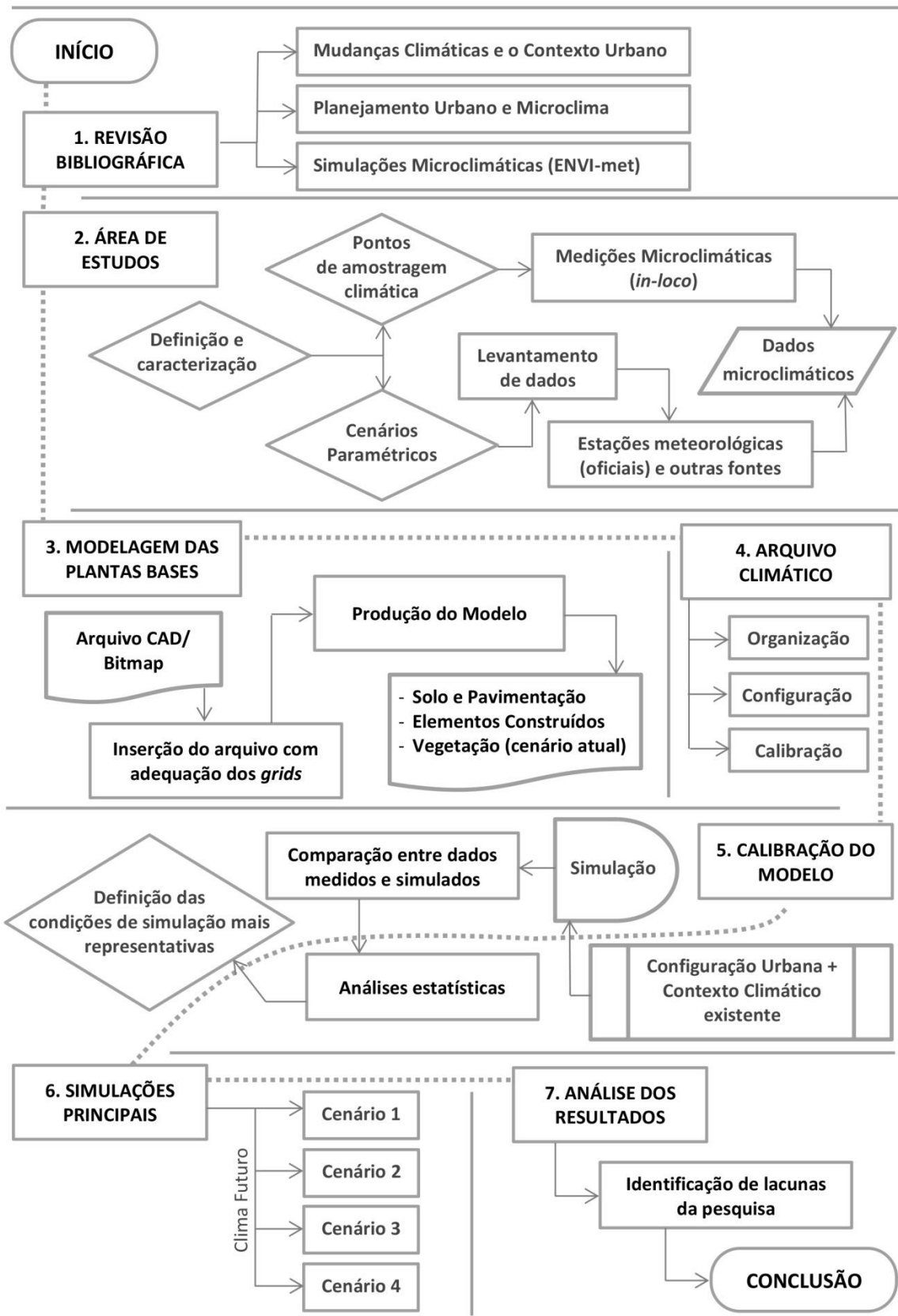
1.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O tópico em questão explicita os procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento deste trabalho, apresentando as estratégias de pesquisa e os métodos utilizados para alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos. Logo, para efetuar a análise do impacto no microclima, foram definidos quatro cenários urbanos para o mesmo recorte territorial, sendo o primeiro existente e os demais hipotéticos, inseridos no contexto de Vitória (ES) diante da situação de aquecimento global. Para o estudo dos cenários, optou-se pela realização de simulações computacionais alimentadas com dados climáticos do dia identificado com a ocorrência da temperatura mais elevada dentro de uma série de registros de 30 anos, considerando que tal condição representa uma situação futura que pode vir a se tornar mais recorrente à medida que os efeitos das alterações climáticas têm suas proporções acentuadas.

Os procedimentos necessários para o desenvolvimento da pesquisa se enquadra em três métodos distintos: indutivo, dedutivo e experimental. O método se caracteriza como indutivo à medida que, ao se definir uma área para estudo de caso, se faz necessária a descrição da mesma através da realização de levantamentos de campo, envolvendo desde a caracterização de uso e ocupação do solo às condições microclimáticas locais. Em sequência, se enquadra como método dedutivo o processo que envolve a utilização de um modelo computacional, no qual se tem uma entrada de dados e o mesmo deduz quais serão os resultados. Por fim, exercita-se também o método experimental ao serem realizados testes de como a variável adensamento responde diante de determinada condição climática.

De modo geral, foram definidas sete etapas principais para o desenvolvimento do trabalho, tendo cada uma seus respectivos desdobramentos. Os procedimentos metodológicos são apresentados de forma sintetizada no diagrama da Figura 1 e posteriormente detalhados.

Figura 1: Fluxograma metodológico.



Fonte: A autora.

- ***Etapa 1 - Revisão bibliográfica***

A primeira etapa do estudo consistiu no desenvolvimento de um referencial teórico formulado a partir de revisões de bibliografias que abordam os subtemas relacionados ao tema central deste trabalho. Tal revisão bibliográfica contemplou produções nacionais e internacionais, abrangendo publicações de livros, relatórios de órgãos institucionais, legislações e normas pertinentes, artigos publicados em periódicos disponíveis pelo portal CAPES, assim como manuais e tutoriais dos *softwares* utilizados para a realização das simulações computacionais vislumbradas. Esta etapa marca o início da pesquisa, contudo, se prolonga durante as demais etapas, visto a necessidade de retroalimentação de todo o processo. O conteúdo que compõe a revisão bibliográfica deste estudo abordou três partes específicas, cujos assuntos principais são: **mudanças climáticas e o contexto urbano; planejamento urbano e microclima; e simulações microclimáticas.**

A abordagem sobre o assunto **“Mudanças Climáticas e o Contexto Urbano”** teve como intuito principal conhecer os estudos que indicam possíveis modificações das condições climáticas atuais, com enfoque nas situações de aquecimento, destacando a necessidade de se prever adaptações das cidades ao contexto climático futuro. Deste modo, foram selecionados estudos que contextualizam a atual situação das pesquisas relacionada à área, que buscam apresentar as interferências preditivas, que avaliam a ocorrência de eventos extremos e que destacam a relação entre mudanças climáticas, cidades e o contexto das expansões urbanas, assim como aqueles que, embasados em análises diversas, lançam previsões futuras de condições climáticas, inclusive para o contexto local de desenvolvimento desta pesquisa. Diante do mesmo foco, ainda foram avaliados aqueles que lançam possíveis estratégias de mitigação e adaptação às futuras condições extremas, vislumbrando atingir níveis satisfatórios de resiliência urbana.

Por sua vez, a abordagem do assunto **“Planejamento Urbano e Microclima Urbano”** visa apresentar conceitos gerais sobre o mesmo, assim como aspectos específicos da relação entre a configuração da morfologia urbana e a caracterização do microclima urbano. Tal apanhado parte de uma escala ampliada sobre clima urbano seguindo em direção à escala microclimática, sobre a qual é dado ênfase, já que corresponde ao contexto onde ocorrem as interferências diretas nas percepções térmicas dos transeuntes dos espaços públicos, sendo este o contexto vislumbrado como foco deste estudo. Tal investigação também se

mostra necessária ao apresentar como o direcionamento legal dado pelos gestores e planejadores da cidade ao desenvolvimento urbano, bem como as diretrizes consideradas para a formulação das políticas, podem interferir na caracterização microclimática das cidades. Assim, é possível observar o resultado dos planos urbanos na conformação do contexto atual e, do mesmo modo, como meio de configuração no contexto futuro, considerando que as indicações atuais para a expansão urbana serão responsáveis para a caracterização de tais contextos construídos.

Finalmente, a pesquisa referente às “**Simulações microclimáticas**” procura abordar o panorama atual de pesquisas desenvolvidas cujo foco é analisar, por meio de simulações computacionais, a relação entre os aspectos da conformação urbana e as interferências no microclima. Busca-se identificar as metodologias aplicadas nas investigações e simulações, considerando a utilização do *software* ENVI_MET, assim como definir sua abrangência, os possíveis tipos de resultados a serem alcançados e mesmo as limitações do processo.

- **Etapa 2- Área de estudo**

A **definição e caracterização** da área de estudo parte da identificação, por meio de mapas e visitas *in loco*, de um trecho urbano da cidade de Vitória (ES), o qual se caracteriza morfologicamente tal como definido pelo atual PDU, mas que ainda apresenta possibilidades de expansão e adensamento. Esta consideração foi feita visto que o estudo busca avaliar tanto as condições atuais quanto futuras para o mesmo trecho, logo, possibilidades limites de expansão deveriam ser vislumbradas.

Após a delimitação da área de estudo, foram **selecionados os pontos** onde se realizaram as medições microclimáticas. Todos os processos foram embasados por normas específicas, manuais e tutoriais de utilização de *softwares* e equipamentos. As **medições microclimáticas** forneceram dados tanto para a calibração do *software* e validação da simulação quanto para as simulações finais propriamente ditas. Para tal, foi necessária a preparação de equipamentos, conforme normas específicas para as variáveis previamente determinadas, e a realização das medições simultaneamente em todos os pontos definidos, com intervalos pré-estabelecidos.

Nesta etapa também foram **propostos os cenários paramétricos** após reconhecimento das características da área, tal como distribuição e dimensão de quadras, lotes e vias, observação dos limites estabelecidos pelas legislações vigentes e a identificação de

edificações com potencial de renovação. O **levantamento de dados** consistiu na compilação de informações específicas necessárias para a entrada de dados do programa ENVI_MET, o que inclui dados bioclimáticos e características do local. Alguns dados bioclimáticos foram coletados por meio de buscas em sites de órgãos institucionais que fornecem informações climáticas originadas em estações meteorológicas. Demais informações, incluindo as medições microclimáticas anteriormente mencionadas, foram obtidas em trabalho de campo, reunindo características das edificações, largura das vias, vegetações existentes, tipos de pavimentação e demais materiais que compõem a área de estudo.

- ***Etapa 3 - Modelagem das plantas bases***

Após efetivada a Etapa 2, com a delimitação da área, a realização das medições microclimáticas e levantamentos de dados necessários, foi efetuada a **modelagem das plantas bases de cada cenário**. Tal atividade consiste na representação gráfica da planta da área de estudo, em formato 2D, com determinação exata das medidas do seu recorte e a indicação adequada dos *grids* (células da malha ortogonal do ENVI_MET). Foi utilizado o *software* AutoCAD para a representação gráfica de modo que, após finalizado, o arquivo pôde ser convertido para extensão Bitmap, formato aceito pelo ENVI_MET para carregamento. Na sequência, quando inserida no *software* de simulação, são sobrepostas as informações coletadas em campo, que contemplam as características das edificações, larguras das vias, vegetações, tipos de pavimentação e demais materiais construtivos. A modelagem da planta base representativa do cenário construído atualmente foi utilizada para a realização das simulações de calibragem do programa, enquanto nos demais modelos foram alteradas as edificações, conforme os adensamentos construtivos a serem testados.

- ***Etapa 4 - Arquivo climático***

Dando sequência à preparação para realização da simulação microclimática, foi produzido um arquivo em formato “*cf*” com os dados climáticos do local. Como mencionado anteriormente, os referidos dados foram adquiridos tanto nas etapas de levantamento de dados quanto nas medições microclimáticas. Também foi especificado, neste momento, os horários desejados para a simulação. Assim, tem-se a organização, configuração e calibração do modelo, de modo que os parâmetros necessários para a simulação sejam capazes de representar, de forma coerente com a realidade, a área em estudo quanto aos aspectos avaliados, ou seja, no que se refere às condições térmicas urbanas.

- ***Etapa 5 – Calibração do modelo***

O processo de **calibração do modelo** é fundamental para determinar sua capacidade de reprodução do contexto simulado de modo condizente com a realidade. Ele foi desenvolvido através de simulações de ajuste, nas quais os dados de entrada são os mesmos dos dias em que as medições de campo foram realizadas. Assim, foram contrapostos os valores reais medidos com os dados de saída simulados, verificando-se a acurácia das informações por meio de análises estatísticas e identificando, conseqüentemente, a necessidade de adequabilidade de parâmetros de entrada do modelo simulado para que o mesmo forneça dados coerentes com a realidade.

- ***Etapa 6 - Simulação principal***

A etapa de **simulação principal** teve seu início com a definição dos parâmetros que se desejava extrair, que no caso do estudo em questão refletem as condições térmicas urbanas ao nível do transeunte do local avaliado. Foram analisadas as condições para quatro contextos distintos, sendo o primeiro referente à configuração urbana existente; o segundo contemplando um cenário de renovação urbana baseado nos atuais limites estabelecidos pelo PDU vigente; e os outros dois referentes a contextos de renovação urbana, porém, extrapolando os limites construtivos previstos na legislação atual, considerando possibilidade futuras de atualização das leis. Todos os cenários construtivos das simulações principais foram avaliados sob a perspectiva das interferências das mudanças climáticas previstas.

Nesta etapa foram utilizados os arquivos desenvolvidos nas etapas anteriores, ou seja, de modelagem da planta base e arquivo climático, previamente atualizados com a calibração do modelo. Como resultado, a partir dos dados de saída provenientes das simulações foram elaboradas planilhas e gráficos, assim como gerados cartogramas que retratam o contexto avaliado, viabilizando a posterior análise.

- ***Etapa 7 - Análise dos resultados***

A partir dos dados de saídas gerados pelas simulações, avaliou-se como o microclima urbano responde a diferentes conformações do espaço, considerando contextos de adensamento construtivo. Assim, analisou-se o quanto cada cenário testado pode contribuir para a amenização térmica no microclima em situação de aquecimento global. Diante das análises

realizadas, foram destacadas as consequências microclimáticas para os cenários edificados testados. Ao final do processo, foram avaliados os resultados obtidos em relação ao previsto, bem como identificadas as dificuldades e lacunas da pesquisa.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação, em seu formato final, foi organizada em seis capítulos, conforme descrito a seguir:

O **capítulo 1** – Introdução – apresenta o contexto em que a pesquisa está inserida, expondo sua problemática, a hipótese de trabalho, justificativas para o desenvolvimento do estudo, bem como os objetivos, geral e específicos, e a estrutura da dissertação.

O **capítulo 2** – Revisão Bibliográfica – expõe o estudo comentado das literaturas que abordam as relações entre configurações urbanas, planejamento e o cenário climático em situação de aquecimento global, bem como a aplicação de simulações computacionais para identificar o comportamento do microclima urbano de modo preditivo.

O **capítulo 3** – Material e Método – apresenta as etapas da pesquisa dando ênfase aos procedimentos relacionados à definição da área de estudo, ao levantamento de dados, às medições microclimáticas, à preparação dos processos de simulações e à calibração do modelo.

O **capítulo 4** – Análise dos Resultados – apresenta a análise dos dados obtidos das simulações correlacionado ao embasamento conceitual anteriormente apresentado.

O **capítulo 5** – Considerações Finais – apresenta as principais conclusões produzidas através da análise dos resultados, bem como as considerações sobre possíveis métodos a serem aplicados nas reestruturações das legislações de planejamento urbano, no que se refere a estratégias de adaptação das cidades às alterações climáticas, além de sugestões para a continuidade da pesquisa;

Por fim, são apresentados respectivamente os capítulos das **Referências**, os **Apêndices** e **Anexos**.

2 Revisão Bibliográfica

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi estruturada considerando a necessidade de contextualização da pesquisa em relação aos seguintes aspectos: as implicações das mudanças climáticas no contexto urbano; as questões inerentes à relação entre o planejamento urbano e o microclima urbano; e os aspectos específicos relacionados às simulações microclimáticas, através do uso do software ENVI_MET.

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O CONTEXTO URBANO

De certo modo, as reflexões sobre a influência do ambiente construído diante do cenário mundial de mudanças climáticas tiveram como importante propulsora a crise do petróleo na década de 1970, com a qual países importadores e dependentes do insumo sofreram grandes impactos ligados ao setor energético e econômico. As consequências foram de abrangência internacional, embora alguns países tenham sido mais afetados do que outros. Inicialmente o impacto foi percebido nos países desenvolvidos, com economia estreitamente dependente do produto. Motivou-se então traçar planos estratégicos que embasassem alternativas à falta do insumo, até então desconsiderados, embora fosse clara a dependência em relação aos países que continham o poder sobre o petróleo (ROMERO, 2015).

A crise gerou reverberações nas mais variadas áreas e direções, mercadológicas e sociais, em virtude das demandas energéticas, além de impulsionar, à época, reflexões e questionamentos sobre o aspecto do consumo de recursos naturais finitos e fontes energéticas poluidoras. Os setores vinculados à construção civil se depararam com o desafio de rever as formas e meios de produção dos espaços. Inicialmente os esforços se voltaram para a criação de políticas públicas e governamentais visando reduzir a participação dos edifícios na matriz energética (ROMERO, 2015), incentivando estratégias de diminuição do consumo em toda a cadeia produtiva.

Apesar dos enfoques particulares de cada nação com interesse em desenvolvimento estratégico para a garantia do seu sustento energético, o momento também incitou o movimento ambiental internacional, que não deixou de reconhecer as necessidades do desenvolvimento de alternativas energéticas, mas defendia associá-las às questões

emergenciais do planeta, tanto em relação ao consumo de recursos naturais quanto ao seu potencial poluidor. A partir de então, com o apoio da Organização das Nações Unidas (ONU), foi dado início a uma série de conferências internacionais para debater o tema. A abordagem ambiental não resultou em conclusões e decisões efetivas tão rapidamente quanto às questões energéticas, tendo seu primeiro marco documental na conferência de Copenhague em 1987 e, posteriormente, em 1992 no Rio de Janeiro, com o estabelecimento da Agenda 21 Global (ROMERO, 2015), assim como a criação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC do original em inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change*), atualmente composta por 195 países participantes dentre os quais o Brasil se inclui (BRASIL, 2017a, 2017b).

Romero (2015) destaca como reflexão necessária o fato dos governos terem se organizado no início da década de 1970 em torno das questões energéticas, mas não terem adotado a mesma postura em relação às questões ambientais. De modo geral, tal conduta pode ser observada como diretamente relacionada à necessidade de contornar os riscos econômicos eminentes. Porém, evidencia-se a hipótese de que, enquanto os interesses econômicos não são diretamente afetados pelos desafios ambientais, ou quando as propostas de medidas de mitigação das alterações climáticas interferem incisivamente nos interesses econômicos, a relevância das questões ligadas ao meio ambiente é posta em planos posteriores, independente das consequências abrangerem significativamente aspectos de outras dimensões. No entanto, se as medidas preservacionistas favorecem a economia, então são adotadas como de caráter prioritário. Em síntese, verifica-se uma indissociabilidade entre as questões ambientais e econômicas.

Estudos apontam as mudanças climáticas como sendo, indiscutivelmente, o maior desafio planetário a ser encarado neste século e cuja ameaça é vista como sem precedentes na história da humanidade, embora a sua trajetória ainda se mantenha incerta (O'BRIEN; LEICHENKO, 2008). Apesar das discussões a respeito do clima terem se iniciado ainda na década de 1980, por muitos anos giraram em torno da necessidade de se diminuir as cargas ambientais em escala global, deixando de abordar a relevância das atuações locais, cujos impactos em conjunto configuram importante parte do todo. Deste modo, assim como nas conferências, relatórios, agendas e acordos anteriores ligados às alterações do clima, o protocolo de Kyoto, estabelecido em 1997, não considerou diretamente a questão das

idades (DUARTE, 2015a), dando ênfase ao estabelecimento da redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelos países desenvolvidos (BRASIL, 2017c).

Seguindo esta tendência de discussões, apenas em 2007, no 4º relatório do *International Panel on Climate Change - IPCC (AR4)* a urbanização foi considerada pela primeira vez diante do cenário de mudanças climáticas, apontando-se aspectos sobre a necessidade de adaptação das cidades (HEBBERT; JANKOVIC, 2013). A partir de então, a menção à adaptação das cidades às condições climáticas futuras se tornou mais frequente em âmbito mundial, mesmo que ainda seja observada ênfase aos aspectos de mitigação da alteração do clima, inclusive nos encontros anuais da Conferência das Partes (COP).

A COP 23, que aconteceu em 2017 retomou com destaque o Acordo de Paris, firmado na COP 21, em 2015, visando finalizar os procedimentos necessários para a sua efetivação e colocação em prática até 2020 (BRASIL, 2017d). Tal acordo, assim como o Protocolo de Kyoto, continua a focar na diminuição das emissões de GEE, tendo como objetivo mitigar o aquecimento global. O Acordo de Paris estabeleceu especialmente como meta entre os países signatários tomarem medidas para manter o aumento da temperatura média do planeta abaixo de 2°C até 2100, tendo como meta o aumento limitado a 1,5°C em relação ao nível pré-industrial (BRASIL, 2017b). Inserido nesta abordagem, Dietz et al. (2016) apresenta uma avaliação econômica relacionada ao impacto do aumento da temperatura em um valor superior a 2°C, demonstrando o temor dos investidores em ativos financeiros, principalmente aqueles considerados “neutros” ou avessos a riscos.

Nesta linha, observa-se que no contexto nacional o conjunto de iniciativas com efetiva colocação em prática é muito mais direcionado para a mitigação das mudanças climáticas do que para a adaptação das cidades em lidar com as mesmas. Isto é, o foco se concentra em reduzir as fontes de impactos ambientais, como a redução dos gases que favorecem o efeito estufa, para amenizar as consequências futuras. No entanto, ainda são raras as iniciativas voltadas para a adaptação aos eventos, independentemente de serem ou não mitigados (DUARTE, 2015a).

No Brasil, as discussões sobre a necessidade de se considerar a adaptação às mudanças climáticas que se mostram inevitáveis, independente do grau que alcançarão, começaram a ganhar corpo em 2013, quando se iniciou a formulação do Plano Nacional de Adaptação à

Mudança Climática (PNA), lançado em 2016 (BRASIL, 2018a). Além do PNA, neste ano também foram lançados dois relatórios especiais do Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas (PBMC), voltados diretamente para a questão da adaptação das cidades: “Mudanças Climáticas e Cidades” (PBMC, 2016a) e “Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas” (PBMC, 2016b).

Nobre e Young (2011) destacam que nas cidades os efeitos das mudanças climáticas serão mais sentidos em função, principalmente, dos modos de vida, valores e práticas sociais. Adicionalmente, a associação entre os problemas acrescidos no futuro com os conflitos das mais diversas ordens já existentes, potencializam as implicações a serem tratadas no meio urbano.

As cidades são potenciais contribuintes para a alteração do clima global, o que as confere destaque quando se pretende atuar com medidas de mitigação, ao serem nelas observados aspectos como a fragmentação da paisagem, o uso intensivo de energia, a pressão sobre ecossistemas, a expansão urbana e do consumo (NOBRE; YOUNG, 2011). Destaca-se também a mobilidade rodoviária no cenário nacional, o que contribui com expressivas emissões de GEE e com o alto consumo de recursos naturais (PBMC, 2016a), o consumo de materiais de construção ligados à expansão urbana (IPCC, 2014) e, no cenário global, observa-se que 70% da energia primária produzida é consumida pelas cidades (ECF, 2014 *apud* PBMC, 2016a).

Ao mesmo tempo em que surgem como potenciais geradoras das alterações climáticas, as cidades também serão os principais locais onde seus impactos serão percebidos (NOBRE; YOUNG, 2011), pois são vulneráveis tanto ao aquecimento global quanto aos efeitos de aquecimento local (DUARTE, 2015a), que podem ser inclusive acentuados em diversas situações pelas características da conformação urbana. As cidades também sofrerão com o surgimento e intensificação das ilhas de calor; com a ocorrência de eventos extremos, tanto de aquecimento quanto de precipitações e vendavais; com o incremento do número de ocorrências e nas proporções de inundações e deslizamentos; com a escassez de água e alimentos, assim como diversos impactos na saúde da população, com eventos de ondas de calor mais frequentes e intensas; com a deterioração da qualidade do ar e com o aumento do nível do mar nas regiões costeiras (PBMC, 2016a; ROAF, CRICHTON, NICOL, 2009).

A importância de se discutir a adaptação do ambiente urbano diante dos contextos preditivos de alterações do clima ocorre, sobretudo, por dois pontos base: o primeiro tendo em vista a evolução das concentrações humanas em cidades que, segundo a ONU, em 2007, pela primeira vez na história, ultrapassou a população rural em nível mundial, sendo que o esperado é que este processo se mantenha nas próximas décadas (UNITED NATIONS, 2014). O Brasil segue essa tendência, de modo que em 2015 a população urbana já correspondia a 85,7% de sua população total (PBMC, 2016a), com previsão de que chegue a 91% em 2050 (UNITED NATIONS, 2014); e o segundo, tendo em vista que as aglomerações urbanas se mostram mais vulneráveis às mudanças climáticas do que outras realidades de ocupação humana (DUARTE, 2015a), em função do contingente populacional, suas demandas e a necessidade de garantia de serviços essenciais.

Diferentemente de décadas atrás, quando as maiores aglomerações de pessoas se encontravam nas regiões mais desenvolvidas (DUARTE, 2015a), hoje as áreas mais populosas se concentram nas regiões emergentes ou subdesenvolvidas do ponto de vista econômico e social, fator este que potencializa a vulnerabilidade quanto à capacidade de preparo para minimização dos riscos e danos em todos os campos de ação.

Apesar dos países mais desenvolvidos serem os principais responsáveis pelas mudanças climáticas, ao ser aceita a relação entre as ações antrópicas e a evolução das mesmas, Bathiany et al. (2018) aponta que aqueles que mais sofrerão com aumento na variabilidade das temperaturas encontram-se, sobretudo, localizados entre os trópicos, e correspondem a muitos dos países mais pobres do mundo. O estudo apresenta uma relação entre renda *per capita* e vulnerabilidade à variabilidade térmica, assim como uma relação entre renda *per capita* e emissões de CO₂, concluindo, de acordo com projeções de modelos climáticos, que os países mais impactados serão os que menos poluem.

Dentre todas as regiões mundiais, parte do território brasileiro, especificamente a Amazônia, surge como um foco particular de preocupação, tendo em vista que é apontada como uma das áreas que mais sofrerão com a variabilidade térmica. Nesse sentido, as maiores mudanças observadas por Bathiany et al. (2018) no desvio padrão da temperatura mensal correspondem a aumentos de até 40% para áreas como Amazônia e África do Sul na primavera austral. Logo, as previsões de alteração do clima indicam ressecamento dos solos,

configurando marcantes cenários de desertificação, o que também contribui, direta e indiretamente, para a alteração da dinâmica climática de outras regiões correlacionadas, tanto em nível nacional como internacional.

Apesar dos riscos serem maiores nos países emergentes, muitas de suas cidades têm a oportunidade de considerar estratégias de mitigação e adaptação nos seus planos e diretrizes de desenvolvimento, já que se encontram em processo de conformação, o que passa a ser mais delicado à medida que as infraestruturas se mostram mais consolidadas (DUARTE, 2015a). Neste sentido, se torna evidentemente indispensável o desenvolvimento de medidas nacionais adaptativas para todos os setores da sociedade. Os principais estudos governamentais nacionais com foco neste tema são os publicados pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014a, 2014b, 2014c, 2016a, 2016b) e o Plano Nacional de Adaptação à Mudança Climática (PNA, 2016a, 2016b).

Visando orientar medidas de planejamento, mitigação e adaptação às várias consequências possíveis, ressalta-se a carência e, assim, a necessidade de estudos mais aprofundados sobre os impactos das alterações do clima na dinâmica das cidades (PBMC, 2014a; 2014b; 2016a; KENNEL; BRIGGS; VICTOR, 2016). O setor de seguros ainda é um dos poucos em que o desenvolvimento destes estudos se destaca, vista a necessidade de previsões de riscos, sobretudo materiais e financeiros (DUARTE, 2015a; ROAF, CRICHTON, NICOL, 2009).

Diversos estudos apontam a tendência de aumento nas médias das temperaturas mundiais e a ocorrência cada vez mais frequente de eventos extremos em várias partes do planeta (IPCC, 2014; DUARTE, 2015a; WMO, 2017a; JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017). Em 2017 a Organização Meteorológica Mundial anunciou o ano de 2016 como o mais quente já registrado até então (WMO, 2017a). Porém, mais notável do que ter alcançado o recorde em questão é o fato de ter sido o terceiro ano consecutivo caracterizado da mesma maneira. Os anos de 2014 e 2015 também haviam batido os recordes dos anos anteriores, evidenciando a demonstração de continuidade do aquecimento global, o que, segundo Duarte (2015a), é mais relevante do que o destaque de um ano específico.

Diante também das observações de alterações microclimáticas sub-regionais e ressaltando a maior frequência dos eventos extremos, Duarte (2015a) defende que o planejamento urbano deve considerar tais condições ao invés de basear os investimentos em séries

históricas, buscando assim a adaptação às alterações das condições ambientais que se mostram evidentes. Contudo, a mesma autora aponta que as iniciativas nacionais de pesquisas voltadas para as interferências no meio urbano e as alternativas de adaptação às mudanças climáticas neste contexto ainda são escassas, havendo maior ênfase e incentivo aos estudos relacionados à sua mitigação ou adaptação aos impactos em setores específicos, como o agrícola, por exemplo.

Inclusive, observa-se tal enfoque no mais recente programa de desenvolvimento de pesquisas voltadas para o tema no âmbito estadual, iniciado em 2018, por meio de uma parceria entre o Governo do Estado do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e instituição privada. O Centro de Estudos Climáticos Avançados do Espírito Santo, que surge como uma das principais iniciativas estaduais na área, terá suas pesquisas voltadas para previsões de eventos climáticos e as interferências dos mesmos, principalmente quanto às questões ambientais, focando nas consequências agrícolas, nos recursos hídricos, saúde e logística (ESPÍRITO SANTO, 2018).

Um fato que deve ser destacado é que a vulnerabilidade urbana se potencializa ao associar a ocorrência do aquecimento global ao efeito do aquecimento local. Duarte (2015a) enfatiza a relação do aquecimento urbano com os padrões de urbanização e não somente em função das mudanças do clima. Neste mesmo sentido, os impactos provenientes das interações entre o processo de urbanização e alterações climáticas podem ser organizados em duas categorias: aqueles originários em áreas urbanas que têm efeitos negativos sobre as mudanças climáticas e os provenientes das mudanças climáticas que têm efeitos negativos sobre as áreas urbanas (XIAOPEI et al., 2006 *apud* FERREIRA FILHO et al., 2014).

No entanto, suas consequências vão além das interferências na infraestrutura urbana, nas condições de conforto e na qualidade de vida dos habitantes da cidade. Os dados apresentados pelo PBMC (2016a) indicam relações diretas com impactos na saúde e aumento dos riscos de mortalidade, seja pela maior ocorrência de desastres ambientais que favorecem as situações de traumas físicos, a ampliação das condições de propagação de vetores de doenças, o impacto na qualidade (e quantidade, para alguns casos) de elementos essenciais como água, ar e alimento, ou ainda os impactos diretos, como as interferências fisiológicas decorrentes de ondas de calor e temperaturas extremas.

Peng et al. (2011) analisaram o incremento da mortalidade relacionada às ondas de calor diante de cenários de mudanças climáticas globais em uma avaliação de escala local, considerando modelos de mudanças climáticas com dados de poluição do ar, condições do clima e saúde. Já Ahdoot e Pacheco (2015) abordaram especialmente a vulnerabilidade da saúde das crianças diante das alterações no clima global por apresentarem, por exemplo, desenvolvimento fisiológico e metabólico ainda incompleto, além de outros atributos característicos da idade.

O calor extremo é observado como a principal causa de mortes ligadas a fatores ambientais nos Estados Unidos, ficando à frente das fatalidades provenientes de eventos extremos, como furacões e enchentes, e está diretamente ligado à capacidade limite de termorregulação do corpo (AHDROOT; PACHECO, 2015). Os autores ainda ressaltam que na medida em que há o incremento nas temperaturas médias e as ondas de calor se tornam mais frequentes, maiores serão as consequências na saúde da população por exposição ao calor. A termorregulação em situações de calor extremo, por exemplo, é consideravelmente dificultada em crianças abaixo de 5 anos e idosos acima de 65 anos (PBMC, 2016a).

A desconsideração das interferências das mudanças climáticas na escala urbana, e vice-versa, inicialmente apresentou relação com as limitações tecnológicas dos modelos atmosféricos globais que, por originalmente apresentarem baixa sensibilidade, não conseguiam identificar o comportamento ou mesmo a interferência das cidades diante deste processo (DUARTE, 2015a). Com o incremento na capacidade de resolução dos modelos, a análise da influência do ambiente urbano, com todas as suas peculiaridades geométricas, materiais de diversas propriedades térmicas e concentração de poluentes, começa a ser resolvida de modo que as cidades passam a ser identificadas nos sistemas gerais de circulação atmosférica (HEBBERT; JANKOVIC, 2013).

Adentrando especificamente na interação entre morfologia urbana e clima, Leite (2012) aponta o adensamento populacional e construtivo como indicador de sustentabilidade urbana ao possibilitar, por exemplo, a otimização de infraestruturas, a redução dos deslocamentos, o favorecimento de interações sociais, a movimentação da dinâmica econômica local, etc. Segundo o mesmo autor, alguns dos grandes nomes das ciências econômicas contemporânea, como Paul Krugman (prêmio Nobel de Economia em 2008),

Richard Florida (percursor da “economia criativa”) e Edward Glaser (autor do best-seller “O Triunfo das cidades”) têm suas visões alinhadas ao considerarem que o modelo de cidades com maior densidade urbana é a alternativa ideal para o desenvolvimento no século XXI. Neste sentido, Leite (2012) afirma que:

A tese é aparentemente simples e óbvia e está suportada em três pilares:

- *grandes densidades urbanas propiciam concentração de diversidade que geram inovações e oportunidades únicas (em tudo: conhecimento, cultura, desenvolvimento econômico);*
- *maiores densidades urbanas propiciam otimização das infraestruturas urbanas, de ruas e sistemas de transportes a redes de cabos e fibras ou equipamentos públicos; cidades mais compactas desperdiçam menos investimentos públicos e aproximam as pessoas e suas necessidades urbanas;*
- *maiores densidades determinam menor consumo per capita daquilo que a população consome (principalmente recursos energéticos) e gera (de resíduos a emissões de gases de efeito estufa); ou seja, cidades compactas são mais sustentáveis. (LEITE, 2012, p.67 e 68))*

Contudo, para que o adensamento tenha resultados qualitativos é imprescindível um planejamento adequado e seu efetivo desenvolvimento, pois do contrário, esse aspecto pode gerar consequências negativas (DUARTE, 2015a).

De modo geral, a necessidade de adaptação deve permear todos os setores da sociedade, não sendo possível serem mantidas as regras de mercado até então praticadas e estimuladas. Nobre e Young (2011) se referem ao mercado sob a ótica do capital, cujo sistema econômico se caracteriza pela propriedade privada dos meios de produção, a existência de livre comércio, processos ininterruptos de produção coletiva em massa, geração de lucro e acúmulo de capital, o que indiscutivelmente deve ser remodelado e adaptado às condições requeridas para o desenvolvimento de uma sociedade cooperativa com o objetivo comum do desenvolvimento de sua resiliência. Assim, a busca deve seguir em prol de políticas de mitigação e adaptação que associam-se visando contribuir para a redução da magnitude dos impactos das mudanças futuras.

2.2 PLANEJAMENTO URBANO E MICROCLIMA URBANO

A Organização Meteorológica Mundial (WMO do original em inglês *World Meteorological Organization*) define clima como sendo uma condição meteorológica média observada em uma determinada área por um longo período de tempo, que por convenção consideram-se intervalos de 30 anos ou mais. De modo geral, o clima é o estado dinâmico entre as condições em que se apresentam a atmosfera, a hidrosfera, a criosfera, a superfície da

litosfera e a biosfera (WMO, 2017b).

Já o clima urbano é a condição ambiente estabelecida a partir das interferências que o processo de urbanização gera, ocasionando alterações nos aspectos climáticos originais. Segundo Oke (1981), é possível definir uma relação entre as variáveis planejamento urbano e clima das cidades, pois as mesmas formam um sistema termodinâmico fechado, avaliado a partir do cálculo de balanço energético. A poluição do ar, o calor antropogênico, as superfícies impermeáveis, as propriedades térmicas dos materiais e a geometria da superfície são características da urbanização tidas como responsáveis pelas alterações de trocas de energia e condições térmicas (OKE, 1981).

Assis (2007) aponta que a abordagem do balanço energético é vista como promissora para propósitos de planejamento urbano, à medida que pondera múltiplos aspectos de composição do espaço na caracterização das interações termodinâmicas entre elementos da atmosfera e do tecido urbano. Duarte (2015b) reforça esta ideia ao apresentar a ótica do balanço de energia como a melhor maneira para a compreensão do microclima urbano. Barbirato, Souza e Torres (2016) corroboram com estes posicionamentos ao considerarem que é possível alcançar uma melhor caracterização das influências da urbanização na superfície atmosférica com estudos dos fluxos de energia, umidade e massa em ambientes urbanos. As autoras ainda complementam a definição de balanço energético da seguinte forma:

O balanço de energia é resultado do intercâmbio de radiações entre a Terra, o Sol e o ar, de forma que, numa definição simplificada, representa a diferença entre as radiações recebidas pela superfície terrestre e aquela devolvida ao espaço, após as interações térmicas entre as superfícies e o ar. No entanto, a complexidade dessas inter-relações é muito grande, principalmente, quando considerada a ação humana (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2016, p. 67).

O clima da cidade é produto das interações entre o ambiente construído e a atmosfera, e as alterações microclimáticas partem das introduções de fontes de calor antropogênicos e reduções do termo de calor latente, interferindo na forma como a energia é particionada no meio urbano (DUARTE, 2015b). Neste contexto prevalece o fluxo térmico de calor sensível, vista a grande capacidade calorífica dos materiais, aumentando o estoque de calor no tecido urbano e propiciando a irradiação da energia acumulada (ASSIS, 2007; 2011). Porém, estudos chegaram a identificar que a influência da morfologia urbana sobre o calor sensível não é linear, à medida que pode variar de acordo com a disponibilidade de água e a

capacidade térmica específica da estrutura urbana que a compõem (OKE et al. 1999, *apud* ASSIS, 2007).

Assim, a radiação introduzida no meio pode atuar de formas distintas, aquecendo superfícies, evaporando água, podendo ser reirradiada para a atmosfera e ter seu saldo aplicado no aquecimento do ar (DUARTE, 2015b). Assis (2007, 2011) ressalta que a atmosfera é um dos estratos que mais sofrem alterações nas suas condições originais a partir da influência do processo de urbanização, o que pode favorecer a ocorrência de estresse bioclimático, especialmente em cidades tropicais, ocasionando interferências negativas desde infraestruturas à saúde humana. Duarte (2015a) destaca que a perda de calor latente que ocorre através da associação entre radiação e umidade, contrabalançando os ganhos de calor pela evaporação, é a chave do balanço de energia, visto que *“é a única variável que é sempre de perda de calor, as demais trocas de calor sensível são perdas ou ganho, dependendo do caso”* (DUARTE, 2015a, p. 29).

Embora Lombardo (1985) já indicasse que é imprescindível considerar as características do desenho físico urbano, assim como a distribuição das áreas verdes, os materiais de construção e índices de áreas construídas e espaços livres, tendo-se como foco a redução das interferências da urbanização no microclima, Sanaieian et al. (2014) apontam que a relação entre os parâmetros do projeto urbano e o conforto térmico dos pedestres têm sido objetos de investigações na atualidade. Edwards (2005) assinala que, por si só, a arquitetura não é capaz de resolver todos os problemas ambientais, mas pode contribuir significativamente para a criação de *habitats* humanos mais sustentáveis.

Assim, a busca por promover a melhoria da qualidade do ambiente urbano passa pela avaliação de arquitetos e urbanistas quanto ao desempenho das diferentes soluções projetuais lançadas (ASSIS, 2007). Taesler (1986, *apud* ASSIS, 2007) já apontava que para se fazer uma análise representativa, inclusive estatisticamente, sobre o impacto do clima em diferentes alternativas de planejamento é necessário um conjunto de estudos de caso sob condições similares. Além disso, Assis (2007) ressalta a necessidade de se desenvolver modelos preditivos que permitam a comparação entre a situação atual e a prevista pelas legislações urbanas.

A denominação do termo “arquitetura bioclimática” partiu dos ideais de se alcançar

conforto ambiental e eficiência energética, de modo que a arquitetura estivesse integrada e adequada ao clima local (CORBELLA; YANNAS, 2003). É dentro deste contexto que alguns estudos buscam desenvolver ou apresentar estratégias alternativas para proporcionar melhorias nas características térmicas de áreas urbanas através de modificações de infraestruturas e elementos de composição convencionais (AKBARI; LEVINSON, 2008; SANTAMOURIS et al., 2012; SANTAMOURIS, 2013).

Os estudos relativos ao conforto térmico humano se iniciaram tendo como foco as condições em ambientes internos. Assim, autores das décadas de 1980 e 1990 trouxeram definições do conceito de conforto térmico que o tratavam como sendo “a ausência de desconforto térmico, situação na qual os indivíduos não sentem nem muito calor e nem muito frio” (MCINTYRE, 1980 *apud* JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017) ou ainda como sendo “a condição da mente expressando satisfação com o ambiente térmico” (ASHRAE, 1997 *apud* JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017). Ruas (1999) apresentou a definição de conforto térmico ambiente como sendo a sensação de bem-estar experimentada pelos usuários em determinado meio.

Tal condição é tida com a combinação satisfatória entre a temperatura radiante média (TRM), umidade relativa (UR), temperatura do ambiente (t_a) e velocidade relativa do ar (v_r) com a atividade em desenvolvimento e vestimentas dos usuários no ambiente (RUAS, 1999; MONTEIRO; ALUCCI, 2007). Além das variáveis microclimáticas e pessoais mencionadas, destaca-se ainda a relação da sensação de conforto térmico com as taxas metabólicas de cada indivíduo, que variam de acordo com idade, gênero e peso, em conjunto com a atividade realizada (SILVA, 2014; JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017). Assim, segundo os mesmos autores, a avaliação das condições de estresse e conforto térmico das pessoas em espaços abertos implica no balanço termofisiológico entre o corpo humano e o entorno.

Em virtude dos espaços abertos envolverem uma maior oscilação das condições climáticas, pesquisas sobre conforto térmico neste contexto são mais complexas que as desenvolvidas em ambientes internos (LOIS; LABAKI, 2001, *apud* SILVA, 2014). Além destes aspectos, o estado de conforto térmico em ruas, praças e parques é fortemente influenciado pela satisfação dos usuários, o que torna muito complexa a definição dos limites de conforto nesses ambientes, pois envolve o entendimento da inter-relação entre numerosos e diferentes parâmetros, inclusive subjetivos (LABAKI et al., 2012). Silva (2014) indica que,

apesar dos índices preditivos buscarem equacionar as condições climáticas e o conforto térmico humano, é preciso atentar para as particularidades de cada contexto avaliado.

Para a análise do clima urbano faz-se necessária a compreensão do espaço em sua tridimensionalidade, levando em conta todos os elementos que o compõe e considerando efetivamente suas interferências particulares (SILVA, 2014). Como apresentado por Oke (1988) e firmado por Jamei e Rajagopalan, (2017), o aspecto de relação (H/W), onde “H” representa a altura das paredes do cânion urbano¹ e “W” é a largura ou distância entre os cânions opostos, é o primeiro e mais importante parâmetro que define a geometria de uma determinada área urbana. A orientação das ruas é outro parâmetro que define o nível de incidência solar e de circulação de ar entre os cânions urbanos, o que interfere diretamente no conforto dos pedestres (YANG; QIAN; LAU, 2013).

Observando as abordagens mais frequentes nos estudos realizados sobre clima urbano, destacam-se pesquisas sobre a relação da forma urbana com a alteração dos microclimas, de modo que muitos resultados indicam o ajuste da forma como uma das soluções de atenuação das interferências negativas no microclima e melhorias quanto ao conforto térmico (SILVA; ALVAREZ, 2013). Assim, a manipulação da geometria urbana e a inserção de infraestruturas verdes no nível das ruas são identificadas como as estratégias de projeto mais eficazes para a melhoria do conforto térmico ao ar livre no nível do pedestre (JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017).

Assis (2011) desenvolve uma análise do comportamento térmico urbano a partir do estabelecimento da relação entre limite de ocupação local e o processo de perda térmica por radiação durante a noite, partindo da avaliação de ocorrência de ilha de calor urbana. As análises das interações entre limites de ocupação e caracterização do microclima urbano permitem chegar a diretrizes de volumetrias mais adequadas para a conformação do espaço construído, associando planejamento urbano a critérios ambientais e relacionando especialmente conforto ambiental e climatologia, o que requer a integração de abordagens interdisciplinares (ASSIS, 2011).

¹ Cânion urbano – “refere-se ao volume de ar delimitado pelas paredes e o solo entre dois edifícios adjacentes” (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2016, p. 57)

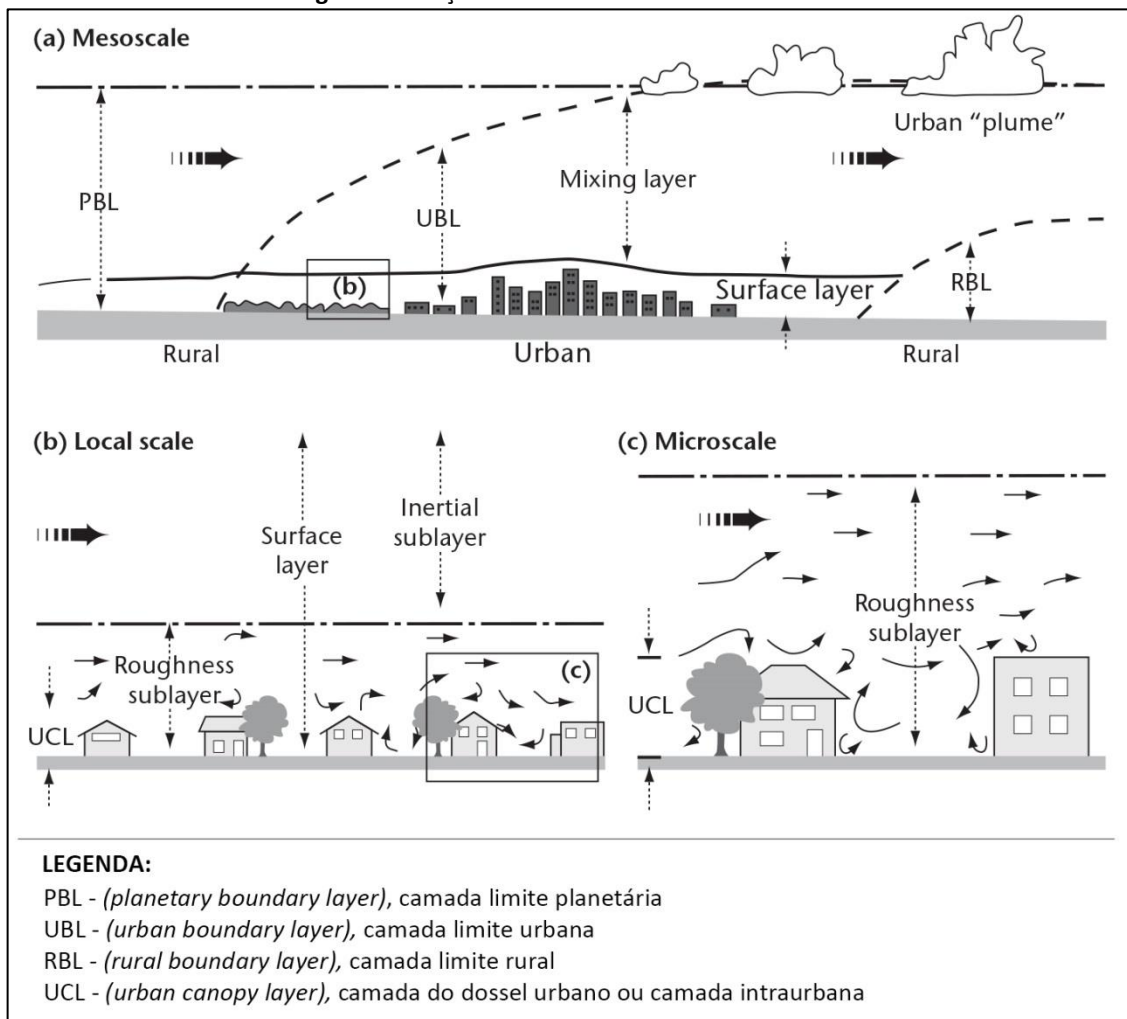
Segundo Assis (2011), mesmo diante do consenso de que a urbanização gera diversos efeitos sobre o clima local, as atuais limitações na capacidade preditiva dos estudos sobre clima urbano interferem diretamente na efetiva aplicação de informações da climatologia urbana nas atividades de planejamento e projetos urbanos. Faz-se necessário desenvolver recomendações para um planejamento urbano climaticamente adequado indicando critérios e métodos menos genéricos. Para isso, é preciso associar análises sistemáticas do espaço urbano com modelos de simulação climática, viabilizando revisões dos padrões de configuração da cidade, de suas legislações e do processo de planejamento urbano, à medida que são apresentados resultados quantificados a respeito dessas interações (ASSIS, 2007). A autora ainda reforça que o desenvolvimento de modelagens é fundamental para identificar os arranjos urbanos mais adequados e alcançar melhores condições climáticas locais, o que não é contemplado por estudos cujas abordagens são apenas descritivas.

As análises das condições climáticas são fundamentais para embasar os estudos relacionados ao tema e variam de acordo com os objetivos e necessidades de cada pesquisa (WMO, 2014). Logo, para que seu desenvolvimento seja adequado, as medições utilizadas para as análises devem ser representativas do ambiente meteorológico de enfoque (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2016). Para isso é preciso definir a escala de estudo que, segundo WMO (2014), são três as principais escalas horizontais relacionadas ao clima urbano: Mesoescala, a Escala Local e a Microescala.

A Mesoescala corresponde à escala da cidade por inteira, podendo se estender por dezenas de quilômetros, de modo que uma única estação meteorológica não é capaz de representá-la. A Escala Local é influenciada por características da paisagem, tal como a topografia, e nas áreas urbanas pode ser definida como o clima de um bairro, ou de uma região com padrão construtivo similar. Pode se caracterizar pela integração dos efeitos microclimáticos que a compõe e ter dimensões que variam de um a vários quilômetros. Já a Microescala (ou o microclima) é definida pelas influências diretas dos elementos que compõem seu entorno imediato, podendo variar em distâncias muito curtas, e se caracterizando pelas influências de prédios, árvores, pavimentos, ruas, etc., estendendo-se a distâncias que variam de menos de um metro a centenas de metros (WMO, 2014), contemplando, por exemplo a escala de grandeza de um trecho de uma rua.

A Figura 2 busca exemplificar a situação de uma escala em relação à outra, apresentando também a distinção das escalas verticais do clima urbano, tais como a UBL (*Urban Boundary Layer*) ou camada limite urbana, na qual observa-se a influência climática da cidade na atmosfera, estando diretamente associada à Mesoescala, ou a UCL (*Urban Canopy Layer*), ou camada de dossel urbano, ou ainda camada intraurbana. Esta camada apresenta altura aproximada dos elementos que compõem a estrutura urbana, tais como edificações e vegetações (WMO, 2014). Em regiões com predominância de elementos de maior verticalização, a UCL tende a ter maior extensão.

Figura 2: Relação entre escalas climáticas urbanas.



Fonte: WMO (2014, p. 766). Legenda reorganizada e traduzida pela autora.

Extrapolando as escalas previamente apresentadas, diretamente ligadas ao clima urbano, surge também a macroescala climática que, de modo mais abrangente, descreve o clima geral de uma região com informações como insolação, nebulosidade, precipitações, umidades e ventos (LOMBARDO, 1985; MASCARÓ, 1996).

Se tratando dos impactos que o homem produz sobre as áreas urbanas, é perceptível que sua interferência chega a modificar o clima local de modo que este se diferencie consideravelmente das áreas rurais do seu entorno (STATHOPOULOU; CARTALIS, 2007; MORRIS et al., 2017), configurando as denominadas “ilhas de calor urbanas”. Contudo, tais impactos ao meio também podem gerar alterações em escalas menores. Alguns autores apresentam a geometria urbana como sendo a configuração morfológica dominante em uma escala de bairro. Considera-se ainda que cada bairro pode apresentar configurações urbanas variadas e, conseqüentemente, caracterizar microclimas urbanos distintos, o que cria modificações nas variáveis climáticas em cada contexto observado (STATHOPOULOU; CARTALIS, 2007).

No entanto, a desqualificação do espaço pelas alterações do microclima tem a sua dimensão expandida quando associada às alterações climáticas em níveis globais, considerando os estudos de previsão de modificação do clima, sobretudo em situação de aquecimento global. Tal panorama indica o agravamento das condições de desconforto – especialmente nas cidades de clima quente e úmido – e das demais conseqüências no cotidiano ligados à garantia da qualidade de vida nas cidades. Loughnan, Nicholls e Tapper (2010), por exemplo, destacam que ambientes externos desconfortáveis e calor extremo afetam negativamente a saúde pública.

Diante do contexto de mudanças climáticas, especialmente sobre a ótica de estudos relacionados aos estresses térmicos, Jamei e Rajagopalan (2017) indicam pesquisas que apontam ocorrências progressivas de dias extremamente quentes (mais de 35°C) na cidade de Melbourne, Austrália. Prevê-se um aumento destes eventos em 22% por ano até 2030 e de 122% até 2070. Em contraponto, os mesmos autores apresentam investigações sobre os efeitos potenciais de determinadas conformações urbanas sobre a caracterização térmica local e a criação de condições para o conforto térmico de pedestres ao ar livre na escala de vizinhança.

Taleb e Abu-Hijleh (2013) constataram que as estruturas urbanas têm influência direta sobre a variação da temperatura do ar e na alteração da velocidade dos ventos, criando níveis de sombreamento que contribuem para o desempenho térmico ou mesmo interferindo no direcionamento da ventilação de forma indesejada. Já ao avaliar o conforto térmico dos pedestres em cinco conformações urbanas distintas, Taleghani et al. (2015) concluíram que

o nível de compacidade urbana interfere significativamente na condição térmica da área, assim como no tempo de incidência direta da luz solar a qual a área é exposta e na TRM característica. Estes aspectos têm relação direta com a forma urbana e são apresentados no estudo como os principais fatores ligados ao nível de (des)conforto térmico urbano.

Ayoade (2011) destaca a necessidade de se ampliar as pesquisas sobre o ambiente atmosférico, visto que inadvertidamente o homem tem influenciado no clima do globo, seja pela urbanização, pela industrialização, pela agricultura e pela modificação da vegetação natural. Assim, a produção de calor apresenta-se com uma de suas consequências mais significativas, fato este associado por parte dos especialistas da área como responsável pelo aumento da temperatura média global. É dentro deste contexto que muitos governos estão empenhados em desenvolver políticas públicas focadas em contornar, se adaptar ou minimizar as consequências das mudanças climáticas. Para isso, são tidos como base estudos que apontam o comportamento variável do clima e a alteração de suas dinâmicas naturais, como por exemplo, a distribuição do calor (KENNEL; BRIGGS; VICTOR, 2016; CASAGRANDE; ALVAREZ, 2013).

Embora as discussões sobre mudanças climáticas tenham começado a se destacar ainda no século XX, estudos apontam que, até o momento, medidas efetivas de adaptação das cidades aos possíveis eventos climáticos extremos decorrentes das alterações do clima são pontualmente observadas (WAMSLER; BRINK; RIVERA, 2013; KENNEL; BRIGGS; VICTOR, 2016). Contudo, tais autores também indicam que, para que as cidades sejam consideradas resilientes, uma gama de medidas devem ser ponderadas em conjunto e não individualmente. Para isso, políticas públicas de adaptação devem estar à frente das tomadas de decisões, regendo as iniciativas de implementações e coordenando os novos modelos de planejamento urbano.

2.3 SIMULAÇÕES MICROCLIMÁTICAS: o modelo numérico ENVI_MET

Modelos numéricos de simulações têm sido adotados como instrumentos de auxílio nas análises dos mais variados fenômenos espaciais. Tal como citado por Schimitz (2014), as modelagens podem apresentar diversas finalidades, sejam de caráter climático, hidrológico ou mesmo socioeconômico. Ao compilarem informações provenientes da associação de múltiplas variáveis, simplificam o processo de representação da realidade, favorecendo sua

leitura e permitindo tratar incertezas futuras. Yang et al. (2013) apontam as simulações numéricas como uma técnica adequada para lidar com as complexidades e não linearidade do sistema climático urbano, o que justifica sua ampla utilização e crescente popularidade em estudos nesta área. Neste contexto, Francisco (2012) e Schimitz (2014) destacam como pesquisas computacionais também são capazes de serem aplicadas visando contribuir nos processos de planejamento e intervenções urbanas.

No que se refere aos estudos relacionados ao clima, os mecanismos de monitoramento e previsão surgem como ferramentas indispensáveis, ao objetivarem gerar informações de comportamentos climáticos, atuais e futuros, visando preparar a sociedade para lidar da melhor forma possível com eventos potencialmente danosos. De modo geral, no campo da climatologia, são especialmente conhecidos os modelos meteorológicos de mesoescala ou larga escala (escala sinótica), por vezes, diretamente ligados ao clima global. Santiago (2009) enfatiza, dentre outros, os modelos *Global Forecast System (GFS)*, *Weather Research and Forecasting Model (WRF)* e *Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model (MM5)*. Samaali et al. (2007), ao abordarem a calibração do modelo ENVI_MET, apresentando-o como um modelo de camada limite atmosférica (ABL do original em inglês *Atmospheric Boundary Layer*), cita como modelos disponíveis e reconhecidos pela comunidade científica também o *MM5*, o Méso-NH, desenvolvido pela *météo France*, e o *RAMS*, desenvolvido por Pielke. Segundo Bruse e Fleer (1998), os modelos numéricos de alta resolução voltados para simular as interações entre superfícies, vegetação e atmosfera, experimentaram crescente reconhecimento ainda na década de 1990 e compunham uma importante parte dos modelos de circulação global (*Global Circulation Models – GCM*, em inglês).

Na parte mais baixa da atmosfera, aonde vive a população humana, os padrões dos sistemas microclimáticos acabam sofrendo modificações, especialmente em áreas urbanas, onde há grande variedade de superfícies e obstáculos. Assim, os fenômenos de larga escala, descritos pelos GCM com resoluções quilométricas, podem não ser percebidos na escala local conforme as condições médias esperadas, em função do surgimento de um clima alterado pelo contexto urbano diferenciado (BRUSE; FLEER, 1998; HUTTNER et al., 2008). Logo, para simular os efeitos locais, são necessários esquemas de interações em microescala, especiais para as típicas características urbanas (BRUSE; FLEER, 1998).

Neste sentido, em pesquisas voltadas para análises em microescala, nas quais se busca identificar as interações entre clima local e a dimensão urbana, tem se destacado o uso do modelo numérico tridimensional ENVI_MET² (FRANCISCO 2012; GUSSON, 2014; SCHMITZ, 2014). O ENVI_MET (BRUSE; FLEER, 1998) é um modelo prognóstico, baseado nas leis da dinâmica dos fluidos e da termodinâmica (YANG et al., 2012a; YANG et al., 2012b). Desenvolvido por Michael Bruse e equipe, do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz - Alemanha, o *freeware* realiza simulações das interações ente superfícies – vegetação – atmosfera em ambientes urbanizados, permitindo avaliar as relações entre o desenho urbano e a conformação do microclima (HUTTNER et al., 2008; YANG et al., 2013; FRANCISCO, 2012; GUSSON, 2014).

Tendo em vista as influências mútuas entre atmosfera e superfícies, nas quais são estabelecidas trocas de energia e massa em diferentes escalas (da microescala à escala global), o comportamento da superfície está diretamente ligado às condições em que se apresenta a estrutura vertical atmosférica, assim como o inverso também pode ser observado, tanto em situações diurnas quanto noturnas. Tais interações dependem das características dinâmicas da atmosfera, bem como das mais variadas propriedades das superfícies (SAMAALI et al., 2007). Sendo o ENVI_MET composto por quatro sistemas principais – solo, vegetação, atmosfera e elementos construídos (YANG et al., 2013) –, a simulação que realiza permite analisar os efeitos no microclima decorrentes de pequenas mudanças no desenho urbano, ao calcular as interações entre os módulos considerados na conformação do modelo 3D, podendo determinado contexto espacial ser avaliado sob a influência de diferentes condições climáticas de mesoescala (BRUSE; FLEER, 1998).

Como um modelo microclimático tridimensional com base em dinâmica dos fluidos computacional (CFD do original em inglês *Computational Fluid Dynamic*), o ENVI_MET se apresenta sendo capaz de descrever de forma detalhada as condições atmosféricas locais em um domínio complexo (MAERSCHALCK et al., 2008; WANIA et al., 2011), simulando fluxos de ar no entorno dos edifícios, processos de trocas de calor e vapor entre o meio e superfícies, trocas de energia e massas entre vegetação e seus arredores, dispersão de

² ENVI_MET: Disponível em: <https://www.envi-met.com/>. Acesso em: 17 nov. 2017.

partículas e análise bioclimática (YANG et al., 2012a; YANG et al., 2013). Seu módulo principal, caracterizado pelo modelo CFD atmosférico, se acopla a um modelo de solo unidimensional simplificado, um modelo de vegetação (BRUSE; FLEER, 1998), um modelo de transferência de radiação (SAMAALI et al., 2007), além de incorporar um modelo de qualidade do ar (MAERSCHALCK et al., 2008).

Em relação ao módulo de vegetação, quando comparado a outros modelos CFD, o ENVI_MET se distingue por descrever interações detalhadas desta porção com o meio. A vegetação é considerada como um elemento poroso, que oferece resistência aos fluxos, interagindo diretamente com os fluxos de ar, com os processos termodinâmicos das superfícies e atmosfera, e com os efeitos de deposição e propagação de gases e partículas relacionadas à poluição atmosférica local (MAERSCHALCK et al., 2008).

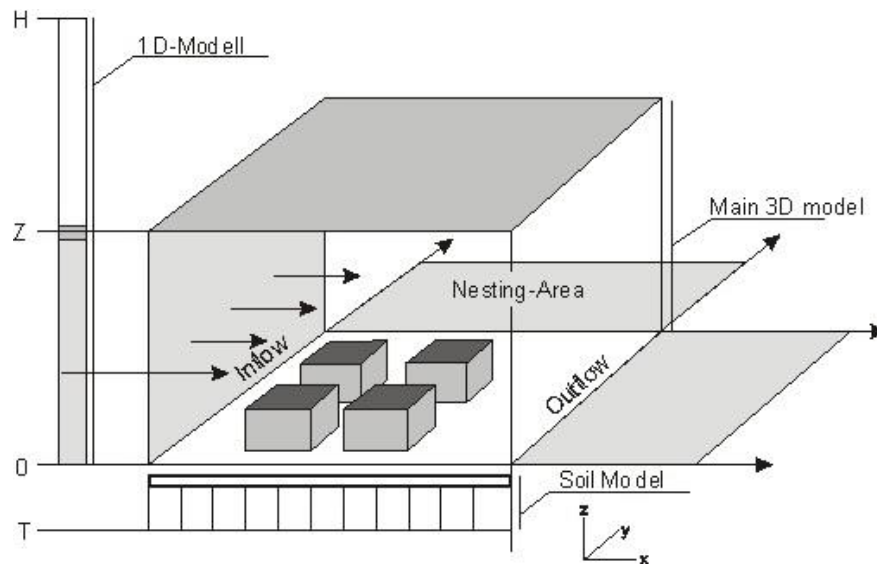
Samaali et al. (2007) indicam como vantagens do ENVI_MET o fato de não ser tão complexo quanto os modelos mais reconhecidos pela comunidade científica, contando com um processamento relativamente simples e baixa demanda de tempo de computação, quando comparado a outros modelos ABL disponíveis. Além disso, conta com boa representação das trocas entre superfícies, visto que a vegetação e solo são configurados em várias camadas; possibilita representação em resoluções aproximadas da realidade, com grades horizontais e verticais em unidade métrica; e requer baixo número de parâmetros de entrada para todos os módulos, representativos dos sistemas solo, vegetação e atmosfera; características estas que muitos modelos complexos não possuem, mesmo tendo sido validados para condições variadas de superfícies e atmosfera.

Por ser uma ferramenta de simulação de microescala capaz de ser utilizada em previsões do comportamento climático do ambiente externo e aplicável a várias configurações urbanas (YANG et al., 2012b), desde sua versão inicial, o ENVI_MET tem sido empregado por muitos pesquisadores nos mais variados estudos relacionados ao tema (YANG et al., 2013). É possível encontrar estudos nos quais sua aplicação se volta para a avaliação dos efeitos de diferentes conformações de edificados no microclima ou no conforto térmico urbano (EMMANUEL; ROSENLUND; JOHANSSON, 2007; KRÜGER; MINELLA; RASIA, 2011; FRANCISCO, 2012; GUSSON, 2014; SCHMITZ, 2014; TARGHI; VAN DESSEL, 2015; GUSSON; DUARTE, 2016; JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017), assim como aqueles voltados para os efeitos da vegetação no

clima local (LAHME; BRUSE, 2003; FRANCISCO, 2012; SHINZATO; DUARTE, 2012; ASSIS; SIRQUEIRA; BAMBERG, 2013; SCHMITZ, 2014; JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017; XAVIER, 2017; SIMON et al, 2018), bem como sobre a qualidade do ar (MAERSCHALCK et al., 2008; WANIA et al., 2011). Também observa-se sua aplicação nos estudos de comportamento térmico de materiais (YANG et al., 2013; SCHMITZ, 2014) e em estudos direcionados a identificar os efeitos das mudanças climáticas em determinados contextos urbanos (HUTTNER et al., 2008; HUTTNER et al., 2009; SCHMITZ, 2014; DUARTE et al., 2015; JAMEI; RAJAGOPALAN, 2017), sendo alguns dos estudos citados diretamente ligados a projetos oficiais de planejamento urbano (LAHME; BRUSE, 2003; MAERSCHALCK et al., 2008; HUTTNER et al., 2008; HUTTNER et al., 2009).

Em relação a sua estrutura interna, o ENVI_MET é um modelo em três dimensões associado a um modelo unidimensional de fronteira que, por sua vez, contém as condições meteorológicas do entorno da área representada em 3D. O modelo unidimensional é caracterizado pelos processos atmosféricos que ocorrem dentro de uma camada com limite definido em 2.500m de altura. Já o modelo tridimensional, no qual é representada a área que será avaliada, é dividido em células de grades (ou *grids*) organizadas em três eixos (x, y, z), cujo tamanho de cada dimensão define sua resolução final (WANIA et al., 2011; ENVI_MET, 2017b). Tipicamente a resolução espacial pode variar entre 0,5 e 5 metros por célula e em um período de 24 a 48 horas, com intervalos de 1 a 5 segundos (YANG et al., 2013; ENVI_MET, 2017a). O modelo também é composto por uma grade de aninhamento, ou *nesting-area* (ou ainda, *nesting grids*), situada em suas bordas. Sua principal finalidade é diminuir as interferências dos resultados de borda, comumente não confiáveis na maioria dos modelos numéricos 3D, ao afastá-los da área principal de simulação (ENVI_MET, 2017b). Um esquema representativo da estrutura do programa é apresentado na Figura 3, na qual se demonstra a associação entre o modelo 3D e o modelo 1D, assim como os demais componentes do modelo, como a *nesting grids*, o modelo de solo e os fluxos de entrada.

Figura 3: Esquema representativo da estrutura do modelo ENVI_MET



Fonte: ENVI_MET (2017b).

Podem ser definidos dois tipos distintos de solos para compor a grade de aninhamento, que são distribuídos pela grade em estilo tabuleiro de xadrez. Sua dimensão mínima está diretamente relacionada com o tamanho total da área simulada, de modo que a área destinada para tal finalidade deve ser considerada dentro do limite total estabelecido para a malha, o que se aplica apenas à atual versão TRIAL do programa, já que nas demais licenças não existem limites estabelecidos para o tamanho da área do modelo. O programa fornece a ferramenta *Model Inspector* para a verificação da adequação do tamanho previsto de *nesting grids* em relação ao modelo em questão. Tal ferramenta se encontra na aba Tools, dentro do próprio editor de modelagem ENVI-met SPACES, que será apresentado de forma detalhada no tópico 3.3.1 Modelagem e processos de configurações.

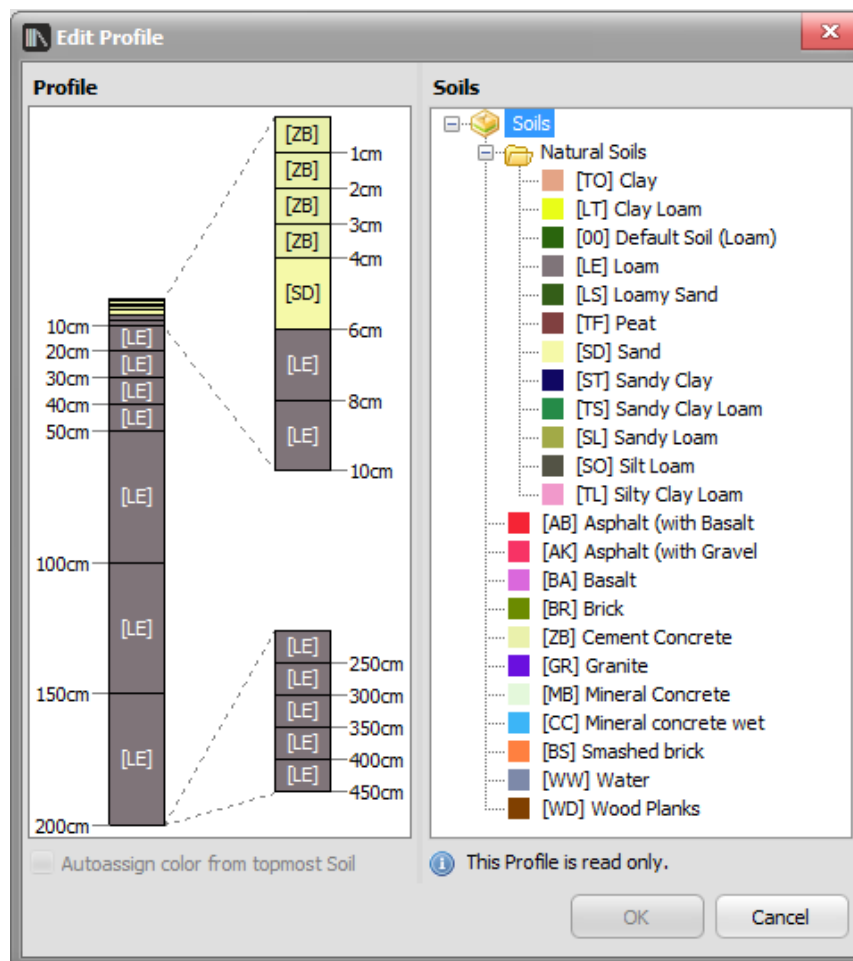
Para cada ponto que compõe a malha são calculadas diversas condições meteorológicas, tais como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e energia cinética turbulenta, além de possibilitar a definição de uma resolução variável de *grids* verticais, o que favorece identificar o perfil de turbulência próximo ao solo (MAERSCHALCK et al., 2008). Cada célula da grade é apta a receber diferentes elementos, tais como, perfis de solos distintos, materiais de superfícies artificiais (YANG et al., 2013), módulos de edificações ou vegetações.

Na versão 4.3 do programa, o módulo de solo é composto por 19 camadas, alcançando 4,5m de profundidade, de modo que as camadas próximas à superfície são menos espessas, se tornando mais largas quando intermediárias e voltando a ter sua espessura reduzida nas

camadas mais profundas, como pode ser observado na representação esquemática de perfil do solo apresentado na Figura 4. Para a realização dos cálculos, por questões de simplificação, o modelo considera apenas as transferências de calor e umidade entre solo e superfície, em fluxo bidirecional (SAMAALI et al., 2007; WANIA et al., 2011). As transferências de calor e vapor de água são levadas em consideração para os solos naturais, no entanto, para os demais materiais, apenas a simples transferência de calor é considerada (YANG et al., 2013).

Informações mais detalhadas sobre as relações físicas, equações e hipóteses admitidas pelo programa para calcular os demais processos na realização das simulações são encontradas em Bruse e Fler (1998), Samaali et al. (2007), Maerschack et al. (2008), Huttner e Bruse (2009), Wania et al. (2011), e ENVI_MET (2017b).

Figura 4: Aba de configuração de perfil do solo disponível no *Manage Database*, ENVI_MET V4.3.0 Winter 17/18.



Fonte: elaborado pela autora a partir do ENVI_MET.

Dentre os parâmetros de entrada necessários para a realização de uma simulação pelo ENVI_MET estão os dados meteorológicos do período analisado, tais como velocidade e direção do ar, temperatura e umidade relativa do ar, umidade específica a 2.500m de altura, índices de radiação, cobertura de nuvens, além de perfis iniciais de umidade e temperatura do solo, estrutura e propriedades físicas das superfícies urbanas e vegetação (YANG et al., 2012a; YANG et al., 2012b; YANG et al., 2013).

Como mencionado anteriormente, o ENVI_MET é um *software* que conta com uma versão gratuita, disponibilizado por ENVI_MET (2017a). Porém, além da versão TRIAL básica, o ENVI_MET V4.3 também conta com três tipos de licenças pagas para o acesso ao modelo de simulação avançada: *Student*, *Science* e *Business*. Dentre as características restringidas na versão gratuita estão, por exemplo, a dimensão da área a ser modelada e simulada, o que passou a ser ilimitada nas demais licenças; a redução do fornecimento de dados de saída para a realização das análises e a não possibilidade de utilização de processamento computacional simultâneo, que foi implementado na atual versão para as licenças *Science* e *Business* visando contribuir de forma significativa na redução do tempo gasto com as simulações (ENVI_MET, 2017a).

Além de tais características, a atual versão do *software* mantém os principais avanços da versão 4.0, apontados por Huttner e Bruse (2009), Yang et al. (2013), Gusson (2014) e Simon et al. (2018). Destacam-se entre tais avanços as características do editor da área de estudo, que passou a permitir o desenvolvimento das modelagens diretamente em 3D; os avanços nos cálculos de fachadas e coberturas, que passam a considerar dados de reflexão, absorção, transmissão, emissividade, inércia térmica, dentre outros; a implementação do modelo de vegetação 3D, garantindo possibilidade de edição específica de cada árvore em relação à forma, distribuição espacial das folhas e diversas outras características; e, a disponibilização da ferramenta *Forcing*, em sua versão *Simple Forcing* para a versão TRIAL do programa e *Full Forcing* para as demais versões, a qual é apontada como uma das evoluções mais notáveis dentre os aprimoramentos aplicados.

A ferramenta *Forcing* ganha notoriedade em grande parte das pesquisas (HUTTNER et al., 2008; HUTTNER et al., 2009; YANG et al., 2012b; YANG et al., 2013; GUSSON, 2014; GUSSON; DUARTE, 2016; SIMON et al., 2018), pois viabiliza a inserção diferenciada de dados

meteorológicos de entrada, essenciais em estudos microclimáticos. Ao escolher realizar a simulação habilitando a versão *Simple Forcing*, o usuário tem a possibilidade de inserir dados horários de duas importantes variáveis climáticas solicitadas dentre os dados de entrada para a simulação: temperatura do ar e umidade relativa do ar. Isso contribui de forma considerável na reprodução das condições climáticas pelo modelo, o que aproxima os resultados da simulação com os dados observados na realidade.

Já ao utilizar as funcionalidades do *Full Forcing*, além das variáveis customizáveis na versão *Simple Forcing* também é possível especificar, em dados horários ou em intervalos de meia hora, direção e velocidade do ar, radiação solar, cobertura de nuvens, concentração de partículas, dentre outros parâmetros (YANG et al., 2012a; YANG et al., 2013; SIMON et al., 2018). Do contrário, ao se optar por não utilizar a ferramenta *Forcing*, apenas dados meteorológicos relativamente simples, ou genéricos, podem ser introduzidos no modelo. Assim, a partir dos valores iniciais (de direção e velocidade do ar, temperatura, umidade, radiação e cobertura de nuvens) o modelo passa a deduzir, direta ou indiretamente, o comportamento das variáveis meteorológicas da simulação, o que pode não favorecer a representação de cenários próximos da realidade.

3 Material e Método

3. PROCEDIMENTOS DE SIMULAÇÃO

Considerando especificamente a etapa de simulações, os procedimentos adotados foram definidos em 4 etapas, conforme anteriormente exposto no capítulo 0 1.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: definição e caracterização da área de estudo; realização de medições microclimáticas; processo de simulações e calibração do modelo.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

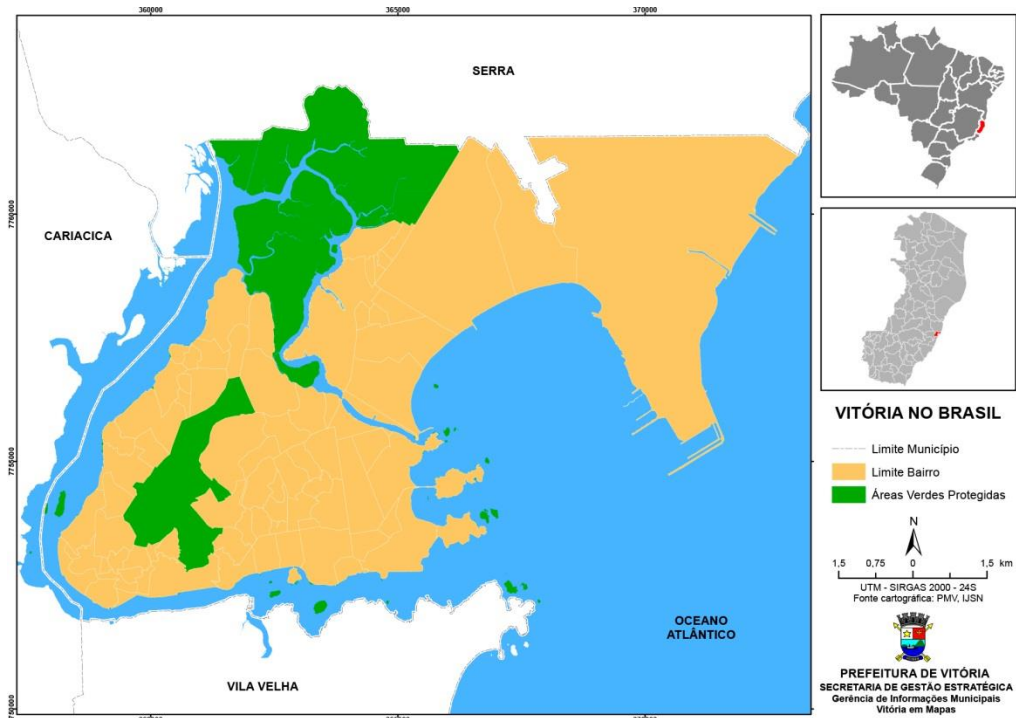
Dentre os procedimentos metodológicos traçados para se alcançar os objetivos deste trabalho consta a definição de uma área enquanto recorte territorial para a realização das análises, assim como o estabelecimento dos cenários paramétricos a serem testados na mesma.

3.1.1 Definição e caracterização

A área definida como recorte territorial localiza-se no Município de Vitória, capital do Estado do Espírito Santo, situado na região sudeste do Brasil entre as coordenadas LAT (S) 20°19'15''e LONG (W) 40°20'10'' (PMV, 2017a). A unidade territorial conta com área de aproximadamente 96,54 km² (IBGE, 2016), sendo constituída por uma ilha principal, com área de 29,31 km², ilhas menores no seu entorno imediato, uma parcela continental de 39,66 km², além de também ser integrada pelas Ilhas Oceânicas de Trindade e o Arquipélago de Martins Vaz, situados a 1.140 km da costa e com área aproximada de 10,92 km² (PMV, 2017a). A Figura 5 apresenta Vitória em relação ao território nacional, assim como as áreas que compõem o município.

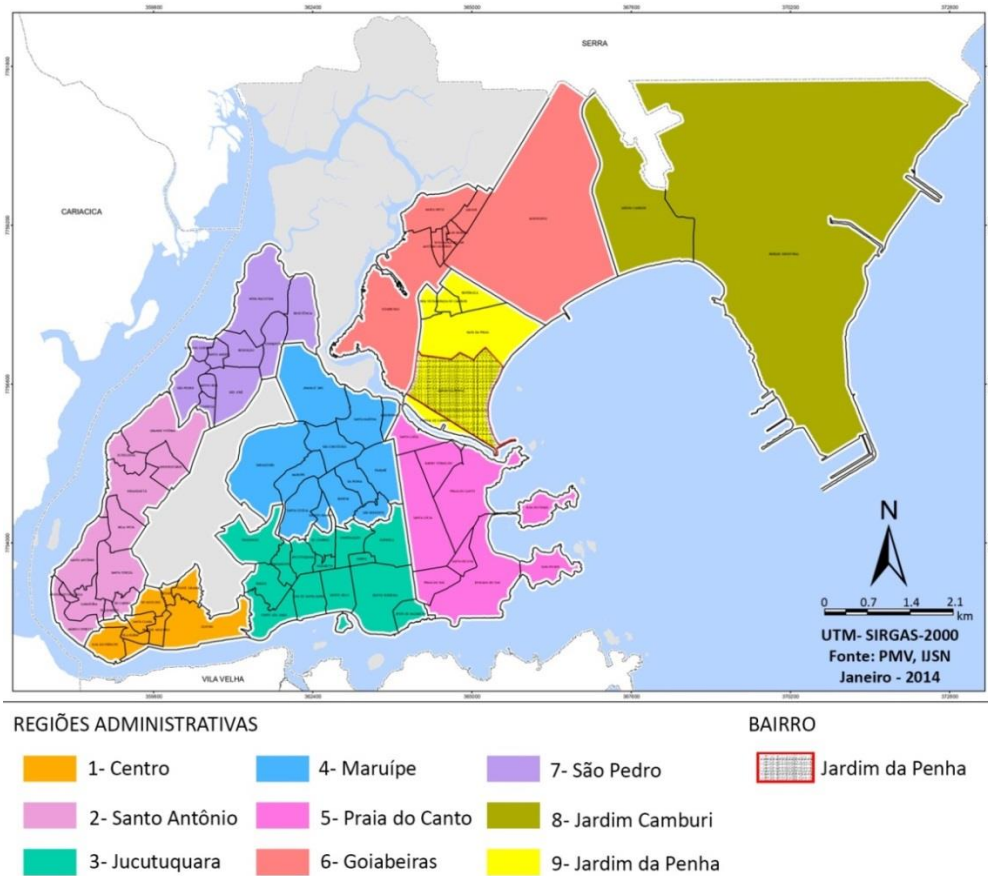
Segundo o censo de 2010, a cidade de Vitória conta com uma população de 327.801 pessoas e densidade demográfica de 3.338,3 hab/km² (IBGE, 2017a). De acordo com sua organização político-administrativa, regulamentada pela Lei Municipal nº 8.611/2014 (PMV, 2017b), que define o atual limite territorial conforme os ajustes vigentes, a cidade se organiza em 80 bairros distribuídos entre 9 Regiões Administrativas, que podem ser observadas na Figura 6 (PMV, 2017c). A área estabelecida como de enfoque do estudo em questão se encontra especificamente contida no bairro Jardim da Penha, que compõe a Região Administrativa IX, situando-se na parte continental do município.

Figura 5: Área territorial do município de Vitória e sua inserção no território nacional.



Fonte: PMV (s.d.). Disponível: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/dados/localizacao/vix_brasil.pdf>. Acesso em: dez. 2017.

Figura 6: Regiões administrativas do município de Vitória (ES) com destaque para o bairro Jardim da Penha

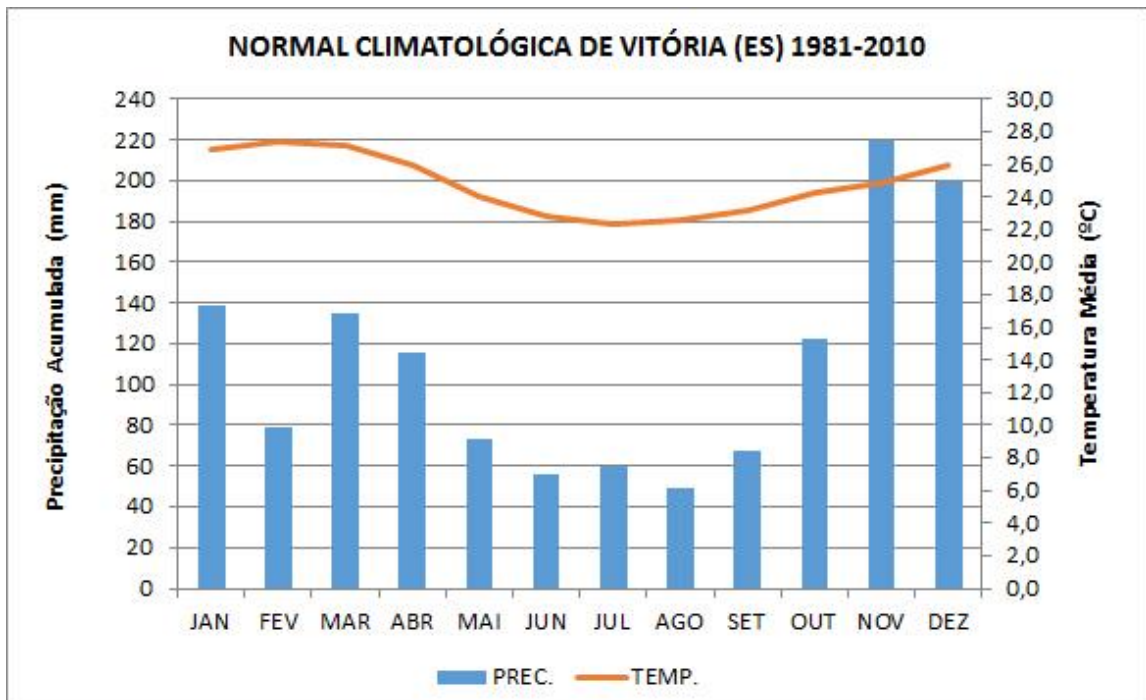


Fonte: Adaptado pela autora a partir de PMV e IJSN (2014). Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/regiao_administrativa/RA_GERAL.pdf>. Acesso em: dez. 2017

Quanto às características climáticas, de acordo com a classificação proposta por Köppen-Geiger, uma das mais reconhecidas e, portanto, frequentemente utilizada em estudos globais ou regionais (KOTTEK et al., 2006; PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), associada a estudos que trazem informações sobre o comportamento climático de Vitória (CORREA, 2011, 2014), o clima local pode ser definido como tropical quente e úmido, se enquadrando no grupo climático A, cujo critério é apresentar temperaturas médias mensais ≥ 18 °C. A mesma proposta de classificação ainda define o tipo específico de clima de acordo com as características de precipitação da área, o que o enquadra como sendo do tipo **Aw** por contar com estação de inverno seco, na qual observa-se a ocorrência mensal de pluviosidade menor que 60 mm (KOTTEK *et al*, 2006; PEEL et al, 2007), embora apresente uma estação chuvosa marcante entre primavera e verão (CORREA, 2011).

Em estudo desenvolvido buscando analisar e registrar as alterações do clima, o INMET (2018) disponibiliza dados da Normal Climatológica para o período de 1981-2010. Assim, ao analisar o comportamento das precipitações e temperaturas médias, observa-se para Vitória (ES) totais pluviométricos anuais médios de 1.318,6mm, onde se destacam como os meses mais chuvosos janeiro, novembro e dezembro, com respectivamente 138,7mm, 219,9mm e 199,7mm mensais. Estes meses se caracterizam como quentes e úmidos, apresentando temperaturas médias que variam entre 24,9°C e 26,9 °C. Tais aspectos apresentam comportamentos similares aos analisados por Correa (2011) para os anos de 1978 a 2007 quanto ao destaque dos meses mencionados como os mais chuvosos, quentes e úmidos, assim como a ocorrência de uma estação de inverno mais seca, com média pluviométrica mensal inferior a 60mm. Assim, a estação de verão se caracteriza por temperaturas mais altas e maiores níveis pluviométricos, enquanto no inverno observa-se situação contrária, com a ocorrência das temperaturas médias mensais mais baixas registradas anualmente, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7: Normal Climatológica de Precipitação e Temperatura para Vitória (ES) 1981 - 2010.



Fonte: A autora. Produzido a partir de dados do INMET (2018).

O recorte territorial realizado para a definição da área de estudo teve como premissas determinadas condicionantes. Buscou-se por uma área com as seguintes características:

- a) Conjuntos edificados distintos quanto aos afastamentos e gabaritos, viabilizando analisar possíveis diferenças de comportamento do microclima no entorno de cada conjunto tipológico;
- b) Traçado relativamente regular, visando modelagens mais próximas da situação existente, tendo em vista as limitações do modelo quanto à representação de realidades não ortogonais;
- c) Conformação urbana consolidada, o que garante a condição de substituição do ambiente natural pelo construído e, logo, viabiliza-se a identificação e análise das condições microclimáticas dentro dos cenários produzidos antropicamente; e,
- d) Embora consolidada, que a área apresentasse potencial de expansão ou modificação através do processo de renovação urbana, possibilitando avaliar como os direcionamentos urbanísticos lançados pelas legislações podem atuar na manutenção ou modificação do microclima diante de um futuro cenário climático em situação de aquecimento global.

Além das características morfológicas do lugar, também foram ponderados aspectos de aquisição dos dados microclimáticos necessários para a realização das simulações, pois estas compõem parte fundamental da metodologia estabelecida para a realização da pesquisa. Assim, observou-se a proximidade da área com estações meteorológicas disponíveis no município, tendo sido consideradas as estações localizadas no *campus* de Goiabeiras da UFES e no Aeroporto Eurico de Aguiar Salles. Por fim, considerou-se também a viabilização logística para a realização das medições de campo, que envolve a mobilização de equipe, possibilidades de acesso e permanência na área durante o período das medições, transporte e instalação de equipamentos e segurança, tanto da equipe quanto de instrumentos e dados coletados. As considerações relativas às etapas de medições encontram-se descritas no tópico 3.2 MEDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS.

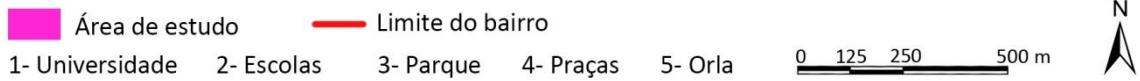
Diante do exposto, delimitou-se uma área representativa da realidade observada no bairro Jardim da Penha, que apresenta condições que atendem às diretrizes previamente estabelecidas. É importante ressaltar que a definição de suas dimensões foi limitada em virtude da área máxima possível de ser simulada na versão utilizada do programa ENVI-MET, tendo sido fixada em 267 x 267 m, totalizando 71.289 m², conforme apresentado detalhadamente no tópico 3.3.1 Modelagem e processos de configurações. A Figura 8 demarca a localização da área de estudo e destaca alguns pontos significantes do próprio bairro e de seu entorno.

Em um panorama mais abrangente, a urbanização da região se iniciou na década de 1950 com o desenvolvimento de um loteamento constituído, em grande parte, pelo território de uma fazenda, conhecida como Fazenda Mata da Praia, no qual o traçado foi referenciado na cidade de Belo Horizonte (MG). Contudo, o processo de ocupação se evidenciou a partir da década de 1970, quando surgiram conjuntos habitacionais multifamiliares destinados à classe média baixa (PMV, 2017d), contidos inclusive dentro da área delimitada pela pesquisa em questão (Figura 9).

Figura 8: Demarcação da área de estudo e delimitação do bairro Jardim da Penha.



LEGENDA:



Fonte: Adaptado de Google Earth (2017).

Figura 9: Destaque dos conjuntos habitacionais contidos na área de estudo em contextos temporais distintos: (a) década de 1970 (b) década de 2010.



Fonte: (a) Adaptado de PMV (2017d); (b) adaptado do Google Earth (2017).

Atualmente, o bairro se mostra predominantemente residencial, embora abranja um grande número de serviços, comércios e estruturas de lazer que atendem inclusive bairros vizinhos. Localizado nas proximidades imediatas do *campus* universitário de Goiabeiras da UFES, o

bairro teve o seu desenvolvimento fortemente ligado a esta e demais estruturas de ensino que se instalaram na região.

É possível identificar diversas práticas cotidianas de lazer nas infraestruturas disponíveis e em seu entorno, o que incluem atividades esportivas, sejam nas praças distribuídas pela região, no calçadão e na “Rua de Lazer” liberada aos domingos na orla da Praia de Camburi, ou ainda no Parque Pedra da Cebola. A vida noturna também é ativa, atraindo inclusive frequentadores provenientes de regiões intermunicipais. Sua população demonstra vínculo com o espaço público através de interações sociais perceptíveis, manifestando carácter afetivo com o bairro, o que favorece o uso e ocupação dos espaços urbanos. As tradicionais feiras livres semanais reforçam esta relação, contribuindo significativamente para o uso das ruas por pedestres e ciclistas.

O bairro recebe uma população visitante diária expressivamente vinculada às estruturas de ensino que comporta e, de modo secundário, em função da dinâmica de serviços e comércios estabelecidos na área. Embora seja notável o fato de seus usuários optarem pelo transporte ativo, condição esta geralmente observada em regiões consideradas humanizadas (GEHL, 2014), é grande o fluxo interno de veículos motorizados, especialmente em horários de início e final de turnos de trabalhos e escolas, quando observa-se, inclusive, a utilização do bairro como forma de acesso a outras regiões da cidade.

Internamente sua estrutura viária é composta por vias coletoras, locais principais e locais, sendo as vias que compõem a área delimitada para o estudo em questão prioritariamente do tipo local, conforme hierarquização estabelecida pelo Art. 122 da Lei 6705/2006³, referente ao PDU de Vitória. Porém, o bairro é parcialmente contornado por vias arteriais metropolitanas, correspondentes à Av. Fernando Ferrari, margeando-o no seu limite oeste e configurando fronteira com o bairro Goiabeiras; e à Av. Dante Michelini, no seu limite leste, junto à orla da Praia de Camburi. O relevo de Jardim da Penha é predominantemente plano e a área definida para estudo situa-se ligeiramente a leste da região central do bairro.

Atualmente o bairro é o segundo mais populoso de Vitória, com 30.571 habitantes segundo o censo demográfico 2010 (PMV, 2011) e apresenta uma área de 1,47 km² (PMV, 2014a), o

³ **Lei 6705/2006:** Institui o Plano Diretor Urbano do Município de Vitória. Disponível em: <http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/consulta.cfm?id=167650>. Acesso em: abr. 2017.

que configura uma densidade populacional de 20.796,59 hab/km². Do ponto de vista da ocupação urbana, observa-se uma predominância tipológica de edifícios de 4 a 6 pavimentos, conforme levantamento realizado pela PMV (2014b), havendo, contudo, ocorrências de edificações residenciais unifamiliares majoritariamente com dois pavimentos, assim como a configuração de edifícios de maior gabarito nas imediações da Av. Fernando Ferrari, com no máximo 12 pavimentos.

Quanto ao seu enquadramento no zoneamento de uso e ocupação do solo apresentado pelo PDU de Vitória, a área é classificada como Zona de Ocupação Controlada (ZOC) 01/03, segundo a Lei 6.705/2006, ainda em vigor (ANEXO 1). Porém, nas revisões de tal legislação⁴, propostas e debatidas no ano de 2017, foi alterada sua classificação para ZOC 2 (ANEXO 2). Atualmente o gabarito é limitado a 6 pavimentos na maior parte do bairro, conforme o índice urbanístico definido para a área, e este mesmo índice foi mantido na proposta de revisão do PDU. Dentre as alterações lançadas para o futuro PDU, observa-se o aumento do Coeficiente de Aproveitamento (CA) para edificações destinadas a uso misto e Taxa de Ocupação Máxima (TO), que passaram de 1,95 e 50% para 2,25 e 60%, respectivamente. Neste sentido, observa-se um direcionamento legislativo que estimula o adensamento, restringindo a verticalização, o que contribui para configurar espaços com volumes construtivos cada vez mais aglomerados, com a diminuição de espaços livres ao nível do pedestre.

A restrição de gabarito durante o seu processo de desenvolvimento teve relação próxima com o fato do bairro se encontrar na rota do Aeroporto Eurico de Aguiar Salles – Vitória (ES), além da forte presença da Associação de Moradores nas definições do planejamento para a área. Porém, com a expansão do aeroporto, que passou por reformas e construção de nova pista (BRASIL, 2018b), configurando alterações nas rotas de pousos e decolagens, abre-se possibilidade para revisões dos modelos construtivos, até então limitados parcialmente em função de tal condicionante.

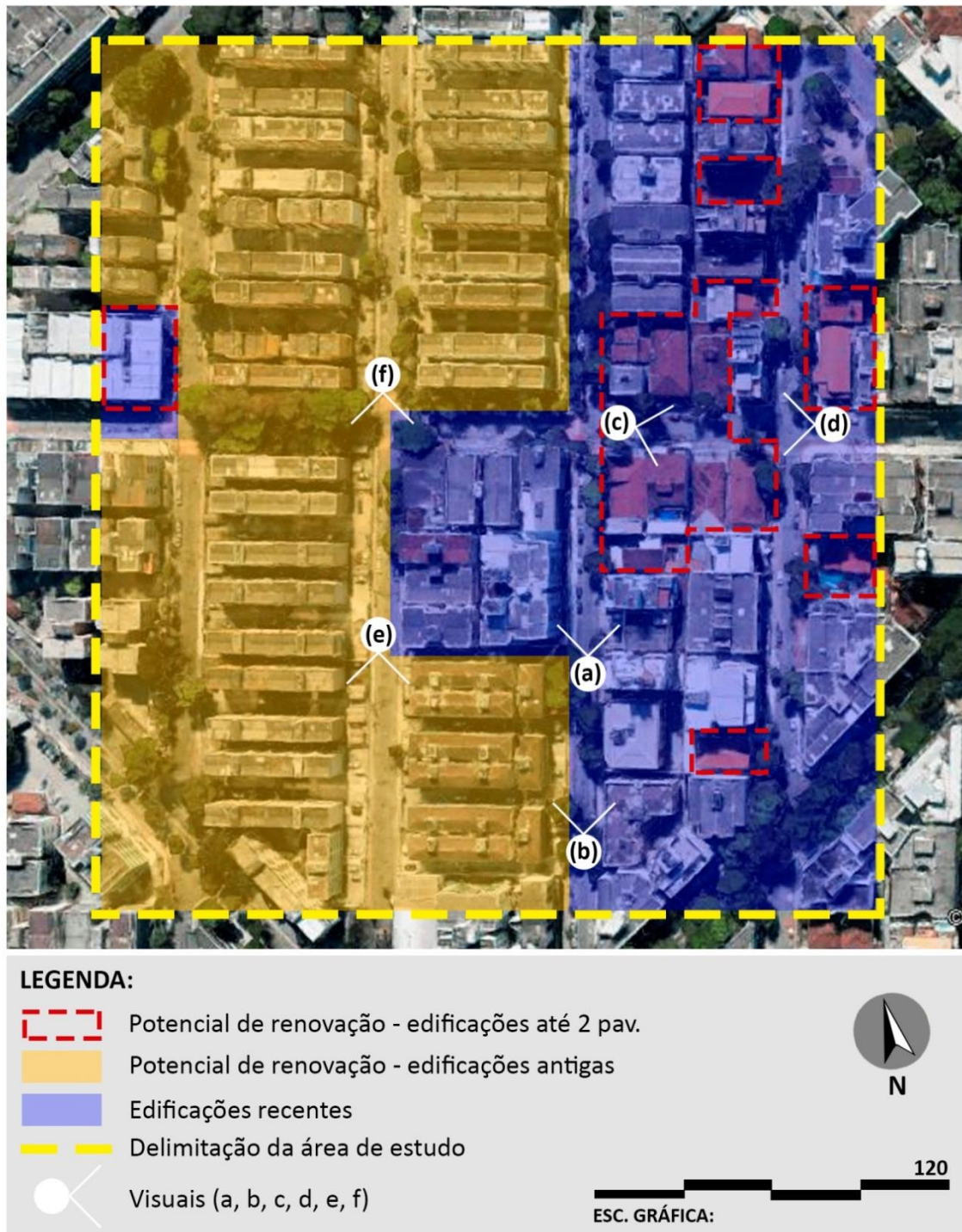
⁴ **Revisões do PDU de Vitória:** Embora a Lei 6.705/2006 tenha passado por processo de revisão durante o ano de 2017, tendo suas alterações sido apresentadas, debatidas e definidas junto a órgãos competentes e comunidade, ainda se encontra em processo de deferimento até o momento da elaboração da análise aqui apresentada (Dez. 2017).

Embora o bairro se mostre consolidado do ponto de vista da ocupação territorial, observa-se um notável número de edificações com cerca de 50 anos ou mais, algumas em condições de precariedade e ocupantes de grandes terrenos, tendo seus coeficientes de aproveitamento subutilizados se comparados com os atualmente aplicáveis. Logo, em um panorama para as próximas décadas, avalia-se a possibilidade de um provável cenário de renovação urbana. Diante de tais considerações, foi definido o recorte da área a ser analisada do ponto de vista microclimático, considerando diferentes cenários de expansão e sob a condição de alteração climática, tendo em vista a provável situação de aquecimento global.

Diante de tal contextualização, foi observado em levantamento e análises que a área delimitada para estudo apresenta edificações verticais mais recentes, enquadradas nos atuais índices máximos de aproveitamento construtivo estabelecidos pelo PDU. Ao mesmo tempo, conta com edificações mais antigas, destacando-se a configuração de conjuntos residenciais verticalizados, sendo a ocupação dos lotes dada predominantemente pela tipologia de edifício fita e caracterizada por grandes afastamentos entre seus volumes. Ressalta-se que, quando os mesmos são analisados conforme os índices urbanísticos atuais identifica-se maior potencial de ocupação do que sua configuração atual utiliza. Assim, em um panorama futuro, tais áreas podem ser consideradas visadas para possíveis transformações, caracterizando-se conforme eventuais leis vigentes. Apesar da área ser formada de modo majoritário por edificações verticais, ainda se observam unidades horizontais, sejam unifamiliares ou pontos comerciais, aglomeradas ou pontualmente situadas entre os prédios.

A Figura 10 destaca as tipologias distintas identificadas segundo os critérios apresentados e a Figura 11 ilustra as conformações urbanas das áreas. As características da área necessárias de serem identificadas em levantamento para o desenvolvimento do modelo 3D de simulação são detalhadas no tópico 3.3.1 Modelagem e processos de configurações.

Figura 10: Aproximação da área de estudos, com destaque das tipologias distintas identificadas.



Fonte: Adaptado de Google Earth 2017.

Figura 11: Visuais das principais tipologias de conformação da área, indicadas na Figura 10.



Fonte: A autora.

Diante dos aspectos de conformação do seu espaço urbano e considerando que a cidade tende a se desenvolver conforme as diretrizes legislativas máximas aplicáveis, considerou-se como relevante avaliar como tais configurações atuam do ponto de vista do comportamento térmico urbano. Assim, buscou-se analisar os modelos estabelecidos pelas leis atuais, além de eventuais condições de configuração do espaço provenientes de futuras atualizações.

3.1.2 Proposição dos Cenários Paramétricos

A definição dos cenários paramétricos a serem testados neste estudo teve como ponto de partida o objetivo previamente definido, que consiste em identificar as implicações do adensamento urbano no comportamento microclimático, diante da situação de aquecimento global. Entendendo a cidade como um corpo dinâmico submetido a constantes transformações e estando os índices urbanísticos diretamente associados a estes processos, foram definidos como foco de análise os índices relacionados ao adensamento, verticalização e afastamentos, diretamente ligados à caracterização da morfologia da área e, conseqüentemente, ao estabelecimento de sua rugosidade.

Nogueira (2011), em estudo similar direcionado a um loteamento na cidade de Maceió (AL), avalia as interferências do adensamento na qualidade microclimática urbana. Por sua vez, Francisco (2012), visando analisar a influência da forma urbana sobre o clima local em Belo Horizonte (MG), realiza simulações testando um cenário de verticalização, desenvolvendo também análises sobre a influência das áreas verdes no comportamento microclimático para determinada região. Gusson (2014), tendo como objetivo quantificar os efeitos microclimáticos de diferentes arranjos de quadras para a realidade urbana e climática de bairros de São Paulo (SP), desenvolve simulações de cenários paramétricos com diferentes tipologias construtivas, mesmo coeficiente de aproveitamento e mesma densidade habitacional, observando assim o comportamento distinto dos arranjos testados.

Inserido também dentro de tal temática, o estudo realizado por Schmitz (2014) sobre influências da conformação urbana no conforto térmico do pedestre para a realidade de Curitiba (PR) analisou diversas possibilidades de alteração do cenário edificado existente. Considerando tendências de crescimento para a área, foram realizadas simulações com alterações de aspectos variados, sendo o adensamento, a verticalização e os afastamentos apenas três dos diversos parâmetros testados individualmente e, posteriormente, em associações. Além de índices urbanísticos, a autora também avaliou aspectos como a influência da arborização e de materiais construtivos.

Jamei e Rajagopalan (2017), diante do plano de estruturação urbana lançado em 2013 para a cidade de Melbourne, Austrália, avaliam as conseqüências térmicas de sua aplicação, visto que o mesmo lança estratégias que serão implementadas na morfologia da determinada área até o ano de 2050. Neste sentido, realizaram simulações do comportamento da atual

conformação urbana, assim como da conformação lançada pelo plano, confrontando os resultados e observando os possíveis ganhos alcançados. Os testes envolveram, dentre outros aspectos, o adensamento da área, para a qual é prevista a transformação da atual condição em um bairro compacto, denso e com a alteração da altura média dos prédios, que passam de baixa elevação para de média à alta visando receber um aporte de habitantes nas próximas décadas.

No tocante ao crescimento populacional, de acordo com o IBGE, a estimativa para o Estado do Espírito Santo em 2017 foi de 4.016.356 habitantes, sendo que quase metade vivendo nos municípios da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV)⁵, numa área que compreende apenas 5% do território capixaba (COMDEVIT, 2017). Em um panorama mais amplo, quando observado o crescimento populacional do estado, em série histórica dos últimos 20 anos, nota-se um aumento de 40,7%, passando de 2.853.093 habitantes em 1997 para acima de 4 milhões em 2017 (IBGE, 2017b).

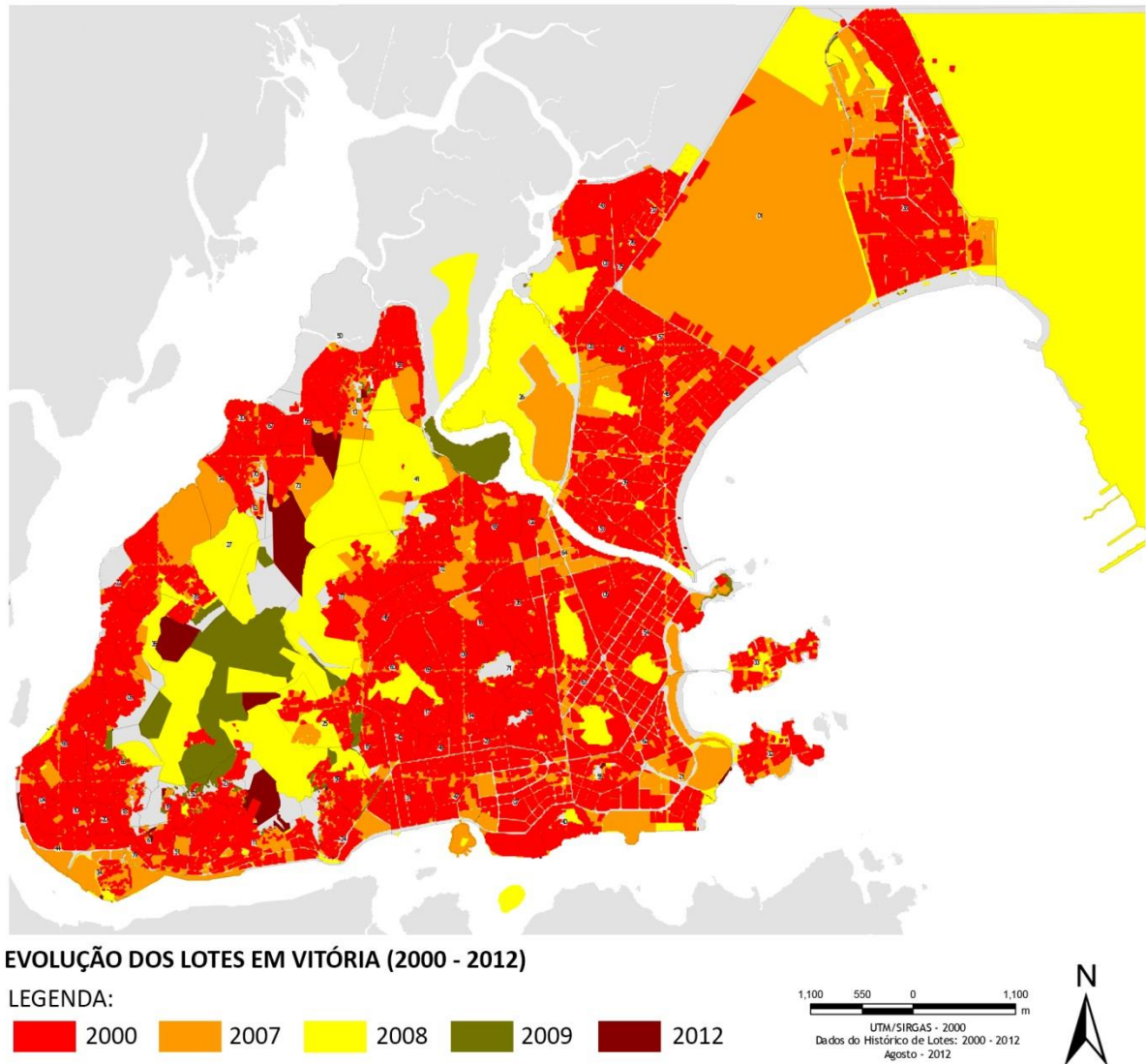
Vitória, apesar de ser a capital do estado, encontra-se em 4º lugar dentre as cidades mais habitadas, contando com 363.140 habitantes, se posicionando abaixo dos municípios de Serra, Vila Velha e Cariacica, que contam respectivamente com 502.618, 486.388 e 387.368 habitantes nas estimativas lançadas pelo IBGE em 2017. Em quinto lugar se apresenta Cachoeiro de Itapemirim, com 211.649 habitantes (IBGE, 2017b).

Tal característica habitacional também confere à capital capixaba a classificação de uma das capitais com menor número de habitantes no país, ficando apenas à frente de Boa Vista (Roraima) e Palmas (Tocantins). Contudo, quando observada quanto ao aspecto de densidade demográfica, Vitória passa a se posicionar em 10º lugar entre as capitais das unidades federativas brasileiras, apresentando uma relação de 3.338,30 hab/km² conforme dados oficiais do censo 2010 (IBGE, 2010), sendo provável que atualmente esse número seja ainda maior, dada a grande expansão urbana da última década. A área da unidade territorial municipal corresponde a aproximadamente 96,54 km² (IBGE, 2016), encontrando-se praticamente toda loteada, com exceção das áreas de preservação. A evolução de seu loteamento entre os anos 2000 e 2012 pode ser observada na Figura 12. Diante deste

⁵ A RMGV é composta pelos sete municípios: Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória (COMDEVIT, 2017).

contexto, a possibilidade de acomodar o crescimento previsto para as próximas décadas parte da condição de aumento da taxa de densidade, o que pode se refletir em adensamento construtivo e verticalização, incluindo até mesmo áreas identificadas como já consolidadas.

Figura 12: Evolução dos lotes em Vitória entre os anos 2000 e 2012.



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Vitória. 2012. Disponível em:

<http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/imagens/mapa/EVOLUCAO_2000_2012.pdf>. Acesso em: set. 2017.







Assim, o estudo em questão buscou avaliar a atual relação entre conformação urbana e microclima urbano, tomando como objeto de análise uma parcela do bairro Jardim da Penha, conforme apresentado no tópico 3.1.1 Definição e caracterização. A Figura 13 apresenta o levantamento realizado na área quanto ao gabarito das edificações que a compõe, destacando os lotes com possibilidade de renovação, isto é, aqueles com edificações de até três pavimentos e edificações antigas com baixo coeficiente de


aproveitamento. No total foram identificadas 86 edificações e, dentre estas, 58 foram observadas com potencial de renovação.

Figura 13: Levantamento de lotes com potencial de renovação, edificações e gabaritos.



LEGENDA:

 1 pav. (3m)	 4 pav. (12m)
 2 pav. (6m)	 5 pav. (15m)
 3 pav. (9m)	 6 pav. (18m)

 Lotes com potencial de renovação

0 10 30 50 (m)

ESC. GRÁFICA:



Fonte: A autora.

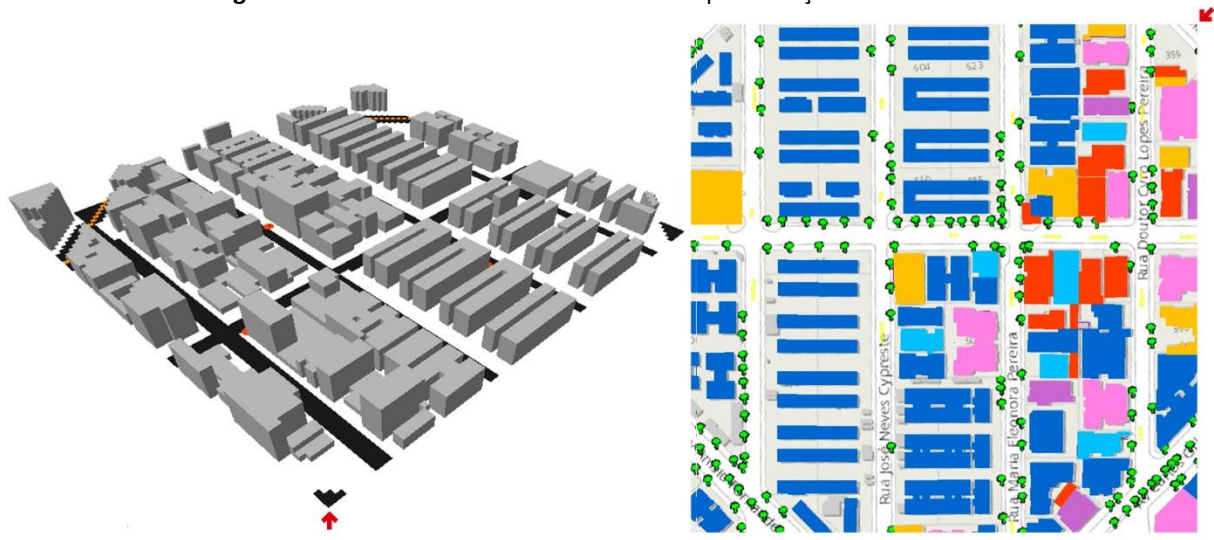
Um dos parâmetros para serem consideradas enquadrados nos novos índices urbanísticos previstos para a área, e assim serem definidas como edificações que tendem a ser mantidas, foi apresentar $CA \geq 2,25$, correspondente ao atual índice máximo estabelecido para a área, condição esta observada em 28 edificações. Dentre estas, observou-se que os coeficientes de aproveitamento calculados variam de 2,30 a 4,73, chegando a um CA médio de 3,05, valor este 36% superior ao estabelecido pela Lei, tomado então como o percentual médio de

áreas não computáveis que compõem as edificações. Os valores das áreas de lotes e projeções das edificações foram levantados a partir da Base Cartográfica⁶ do município.


Após alguns estudos exploratórios, foram selecionados quatro diferentes cenários morfológicos para a realização das avaliações a partir das simulações, considerando a condição climática local diante da ocorrência mais extrema já registrada em situação de aquecimento, de modo que tais cenários se caracterizam da seguinte forma:

- **Cenário 01:** conformação urbana existente, que embora se apresente consolidada, conta com uma parcela significativa de edificações com aproveitamento construtivo abaixo do atual potencial previsto para a região, em grande parte, por serem edificações antigas. A representação deste cenário pode ser observada na Figura 14, que traz respectivamente sua planta baixa com as projeções das edificações identificadas conforme seus gabaritos e o modelo 3D criado a partir da mesma;

Figura 14: Planta baixa do cenário 01 e sua representação no modelo 3D.



LEGENDA:

 1 pav. (3m)	 3 pav. (9m)	 5 pav. (15m)
 2 pav. (6m)	 4 pav. (12m)	 6 pav. (18m)



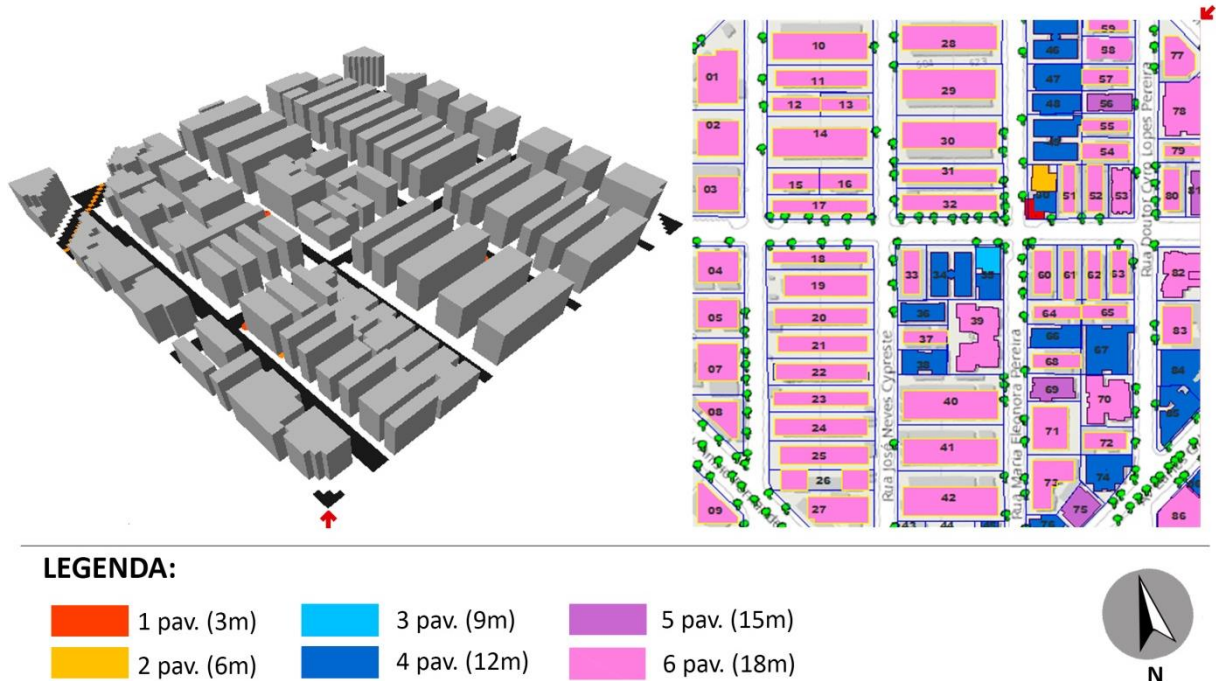
Fonte: A autora.

- **Cenário 02:** conformação urbana futura A (Figura 15), considerando a renovação da área, por meio da substituição de edificações de até três pavimentos e edificações antigas identificadas com baixo coeficiente de aproveitamento por novas edificações,

⁶ Base Cartográfica 2007 Planta Geral (SIRGAS2000): Prefeitura de Vitória. GeoWeb, Downloads, DWG. Disponível em: <http://geoweb.vitoria.es.gov.br/#/dwg>. Acesso em: Mar. 2017.

sendo estas enquadradas com o máximo potencial construtivo estabelecido pelo PDU que se encontra em processo de implantação, no qual a região passa a ser classificada como ZOC 2, conforme apresentado no tópico 3.1.1 Definição e caracterização. Assim, para o estabelecimento deste cenário, utilizou-se o CA de 2,25, TO máxima de 60% e limitação de gabarito em 6 pavimentos, conforme estipulado pela referida Lei. É importante destacar que, para se alcançar o aproveitamento máximo da área, observou-se a necessidade de ajustar o coeficiente de aproveitamento considerando o percentual médio de áreas não computáveis. Aplicou-se então o percentual médio de 36% a mais de área construída identificada no levantamento, o que garantiu que todas as 58 edificações renovadas neste cenário alcançassem gabarito de 6 pavimentos, TO que varia entre 44,11% e 51,27% e CA entre 2,65 e 3,14, considerando que estes valores contemplam as áreas não computáveis.

Figura 15: Planta baixa do cenário 02 e sua representação no modelo 3D.

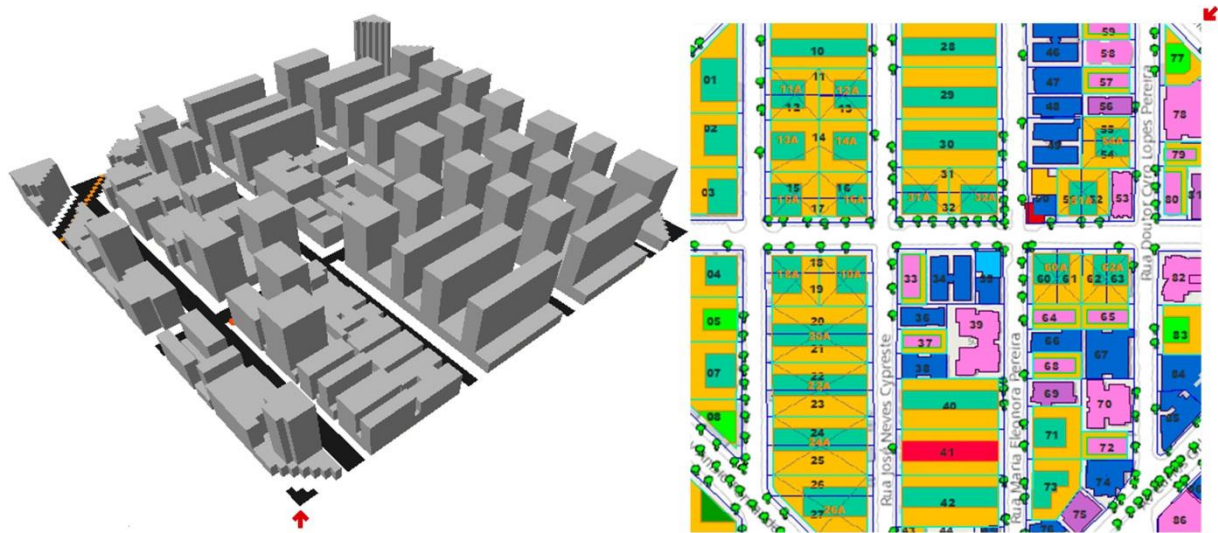


Fonte: A autora.

- **Cenário 03:** conformação urbana futura B (Figura 16), considerando a substituição das mesmas edificações do cenário 02 por edificações de uso misto, enquadrando-as na tipologia base e torre, desconsiderando a limitação de gabarito estabelecida e aplicando às novas edificações um coeficiente de aproveitamento 50% maior do que o atualmente previsto para a área, assim como uma taxa de ocupação máxima de

40% do lote, menor do que a atualmente prevista (TO máxima de 60%), visando um cenário de verticalização. Neste sentido, para o estabelecimento deste cenário o CA utilizado foi de 3,38, aplicando-se ainda sobre este valor os 36% relativos ao percentual de áreas não computáveis que compõem a área total construída de cada edificação, o que passa a configurar um CA de 4,6. Para a viabilização de cenários de verticalização foram lembrados lotes vizinhos estreitos, sendo possível assim garantir as características de afastamentos mínimos estabelecidos pelo PDU conforme altura alcançada pela edificação. Assim, as 58 edificações identificadas com potencial de renovação, passam a contabilizar 49 edificações, com gabaritos que variam de 6 a 12 pavimentos, sendo os dois primeiros andares destinados à base, que pode ocupar toda a área do terreno desde que atenda todas as demais condicionantes estabelecidas, tais como afastamento frontal, áreas permeáveis, ventilação adequada dos cômodos, etc. Os demais pavimentos conformam as torres, que passam a apresentar TO entre 30,12% e 52,37%. Assim, os CAs das edificações com potencial de renovação que compõem o cenário 02 se encontram entre 3,22 e 4,61.

Figura 16: Planta baixa do cenário 03 e sua representação no modelo 3D.



LEGENDA:

■ 1 pav. (3m)	■ 3 pav. (9m)	■ 5 pav. (15m)	■ 9 pav. (27m)	■ 11pav. (33m)
■ 2 pav. (6m)	■ 4 pav. (12m)	■ 6 pav. (18m)	■ 10 pav. (30m)	■ 12 pav. (36m)

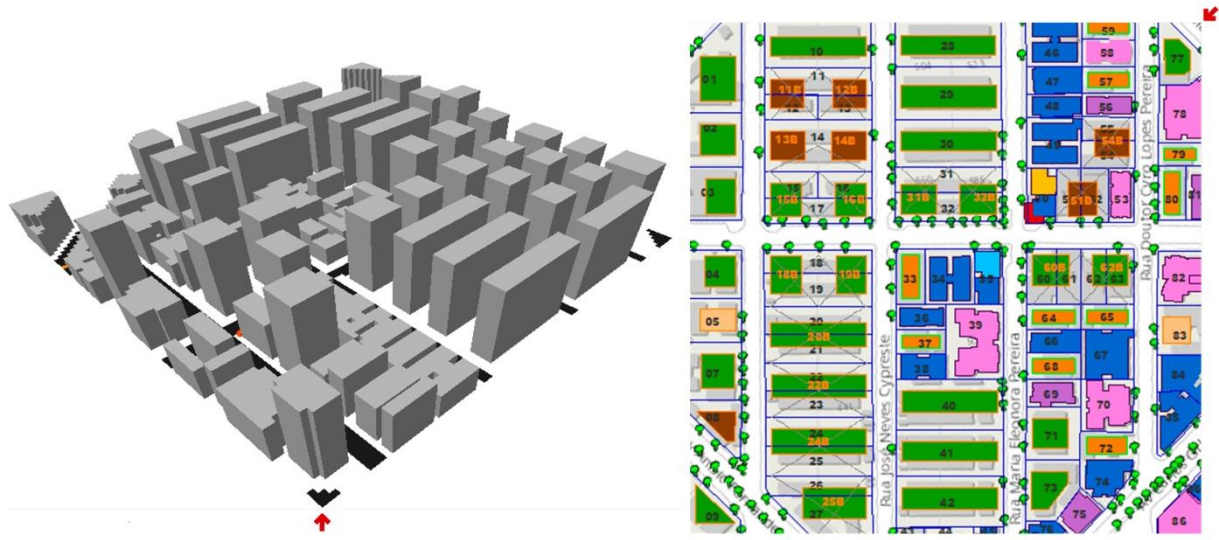


Fonte: A autora.

- **Cenário 04:** conformação urbana futura C (Figura 17), considerando as mesmas condições do cenário 03, porém, utilizando a tipologia torre, o que o caracteriza

como o cenário de maior verticalização, visto que as áreas destinadas ao embasamento no cenário 03 passam a ser redistribuídas verticalmente. Assim, na conformação urbana futura C os gabaritos variam entre 7 e 14 pavimentos, a TO entre 32,67% e 52,37% e o CA entre 2,61 e 4,76.

Figura 17: Planta baixa do cenário 04 e sua representação no modelo 3D.



LEGENDA:

■ 1 pav. (3m)	■ 4 pav. (12m)	■ 9 pav. (27m)	■ 12 pav. (36m)
■ 2 pav. (6m)	■ 5 pav. (15m)	■ 10 pav. (30m)	■ 13 pav. (39m)
■ 3 pav. (9m)	■ 6 pav. (18m)	■ 11pav. (33m)	■ 14 pav. (42m)



Fonte: A autora.

Os testes realizados no cenário 03 e 04, nos quais são alterados os índices urbanísticos atualmente propostos para a área, caracterizam-se como ensaios, que visam avaliar como situações de adensamento e verticalização além do limite atualmente previsto interferem nas condições do microclima.

3.2 MEDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS

Dando sequência à abordagem da metodologia aplicada, os tópicos seguintes descrevem os processos relacionados à realização das medições de campo, cujo intuito envolve a caracterização de aspectos microclimáticos da área definida como objeto de estudo. Deste modo, no tópico 3.2.1 é apresentada a etapa de preparação dos instrumentos e equipamentos utilizados nas medições microclimáticas, assim como os testes de funcionalidade e confiabilidade dos dados por eles fornecidos. Por sua vez, o tópico 3.2.2 descreve as considerações tomadas para a realização das medições e como o processo

ocorreu. Portanto, esse item aborda as questões relativas à caracterização do tempo, metodologia e duração de coletas de dados adotadas, esquematização da localização dos equipamentos conforme objetivos específicos, características do entorno e suas respectivas interferências no processo.

3.2.1 Instrumentação e teste de equipamentos de medição

A etapa de instrumentação corresponde à preparação de aparelhos e demais equipamentos necessários para realizar as medições microclimáticas em campo. Assim, antes de seguir para a coleta efetiva é importante averiguar o funcionamento adequado dos instrumentos através de testes prévios, de modo a certificar-se que os mesmo fornecem dados confiáveis (FRANCISCO, 2012).

Foram predefinidos três pontos de coletas de dados para as medições de campo principais, logo, dependentes da instalação de três miniestações portáteis, cada uma contendo 1 Data Logger, Onset, modelo HOBO U12 Temp/ RH/ 2 external channels (Figura 18), voltado para o registro de dados de temperatura e umidade relativa do ar; e 1 Termo-Higro-Anemômetro, INSTRUTEMP, modelo ITAN 700 (Figura 19), utilizado na coleta dos dados de velocidade do ar. O Quadro 01 apresenta as especificações dos instrumentos em questão. A estrutura de cada miniestação (Figura 20) foi composta por um tripé de altura regulável, um suporte para fixação do anemômetro e um abrigo produzido com a sobreposição de pratos de poliestireno expandido para resguardar o Data Logger da radiação solar direta e indireta, assim como da incidência direta da ação do vento. Em estudo publicado pela Organização Mundial de Meteorologia (*World Meteorological Organization – WMO*, em inglês), sobre medições meteorológicas urbanas, aponta-se especialmente a necessidade de se atentar para tais precauções, visando evitar interferências nos registros dos dados (WMO, 2014).

Quadro 1: Especificações técnicas dos instrumentos de medição.

Instrumentos	Parâmetro	Faixa de medição	Resolução	Precisão
HOBO U12	Temperatura do Ar	-20° a 70°C	0.03°C	±0.35 °C de 0° a 50°C
	Umidade Relativa	5% a 95%	0.03% UR	±2.5% de 10% a 90% UR
ITAN 700	Velocidade do Ar	0.4m/s a 20m/s	0.1 m/s	±2% quando +0.2m/s

Fonte: Adaptado pela autora a partir de *Specifications HOBO U12 Temp/ RH/ 2 External Data Logger (Part # U12-013)*; e, Manual de Instruções INSTRUTEMP Termo-Higro-Anemômetro ITAN 700.

Figura 18: Modelo de Data Logger utilizado.



Fonte: A autora.

Figura 19: Modelo de Termo-higro-anemômetro utilizado.



Fonte: A autora.

Figura 20: Modelo de miniestação utilizada.



Fonte: A autora.

A aferição dos equipamentos se deu em duas etapas, tendo sido a primeira realizada no Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP/UFES) e a segunda junto à estação meteorológica Vitória-A612/INMET. Na primeira etapa foram testados 4 Data Loggers, programados para coletar dados a cada 30 minutos, tanto para temperatura quanto para a umidade relativa do ar. Os equipamentos foram dispostos em ambiente interno estável (Figura 21), isolado por 24 horas (a partir das 16h do dia 10 de novembro de 2017), sem influência de ventilação ou iluminação natural ou artificial. Nesta etapa de teste foi avaliada tanto a constância no registro como a correlação entre os dados dos aparelhos, verificando-se o grau de correlação de *Pearson*, a partir do qual se obtém o coeficiente de determinação (R^2), que representa a porcentagem da variabilidade entre as variáveis avaliadas. Foi identificada alta correlação para ambos os registros, apresentando para temperatura do ar coeficientes de determinação $R^2 > 0,991$ e para umidade relativa do ar $R^2 > 0,972$.

Os mesmos equipamentos passaram pela segunda etapa de teste, porém, desta vez, juntamente com as estruturas das miniestações, conforme previstas para serem utilizadas em campo. Assim, em 17 de novembro de 2017 as miniestações foram dispostas na área de coleta de dados da estação meteorológica Vitória-A612/INMET (Figura 22), de 8h às 18h, com os Data Loggers programados para efetuar registros a cada minuto. O dia apresentava condição sinótica estável, característica da atuação de zona de alta pressão do Atlântico Sul, o que para a realidade local corresponde a um tempo com céu limpo, vento regular predominantemente nordeste e sem a ocorrência de precipitações. Nesta etapa de teste,

um dos aparelhos apresentou problema, não registrando os dados, sendo assim desconsiderado para a continuidade da avaliação.

Figura 21: Teste dos Data Loggers em ambiente interno.



Fonte: A autora.

Figura 22: Teste dos equipamentos junto à estação meteorológica Vitória-A612/INMET.



Fonte: A autora.

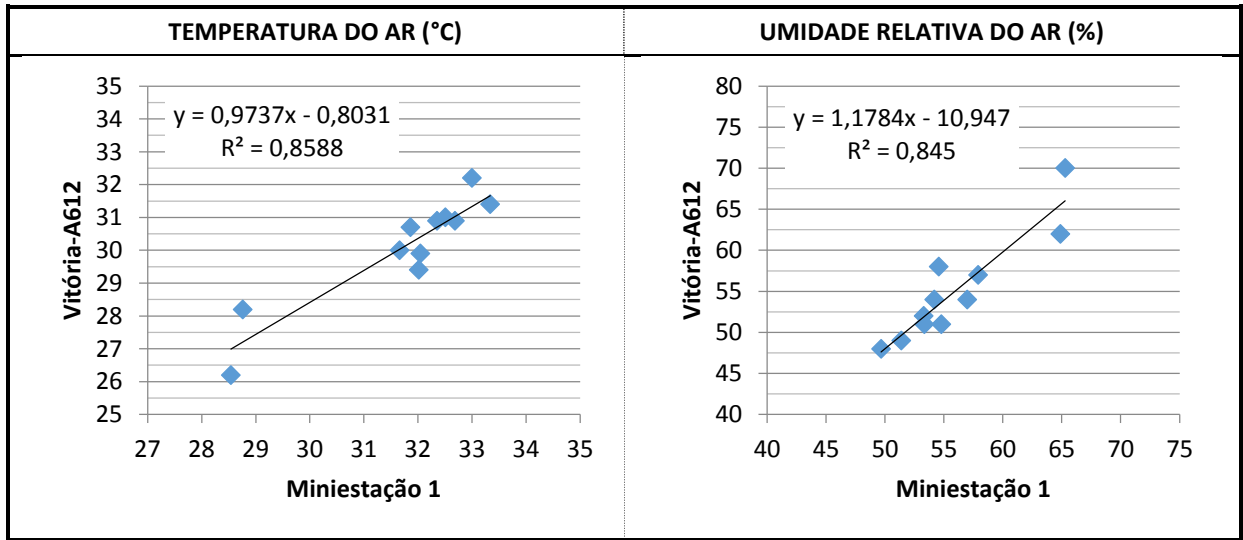
Os dados dos demais aparelhos foram confrontados com os dados da estação padrão. Assim, foram comparados os dados horários instantâneos e avaliado o coeficiente de determinação (R^2), neste caso, referentes aos dados meteorológicos das respectivas fontes consideradas. Os resultados, apresentados na Tabela 1, mostraram os seguintes coeficientes de correlação (r) e de determinação (R^2) entre os dados de temperatura do ar de cada miniestação e da estação padrão Vitória-A612, assim como entre os dados de umidade do ar das mesmas. As Figura 23, Figura 24 e Figura 25 trazem os gráficos de dispersão linear resultantes e suas respectivas equações das retas, utilizadas posteriormente nas correções dos dados coletados nas medições de campo realizadas no dia 18 de dezembro de 2017.

Tabela 1: Coeficientes de correlação de *Pearson* (r) e coeficiente de determinação (R^2) entre os dados de Temperatura do ar (T) e Umidade Relativa (UR) das miniestações 1, 2 e 3 com a estação Vitória-A612.

Dados comparados	r	R^2	Equação de correção dos dados
T (Miniestação 1) x T (Vitória-A612)	0,926	0,858	$y = 0,9737x - 0,8031$
T (Miniestação 2) x T (Vitória-A612)	0,923	0,853	$y = 0,9638x - 0,3871$
T (Miniestação 3) x T (Vitória-A612)	0,913	0,834	$y = 1,0988x - 4,3042$
UR (Miniestação 1) x UR (Vitória-A612)	0,919	0,845	$y = 1,1784x - 10,947$
UR (Miniestação 2) x UR (Vitória-A612)	0,882	0,777	$y = 1,2523x - 16,898$
UR (Miniestação 3) x UR (Vitória-A612)	0,892	0,796	$y = 1,2037x - 14,495$

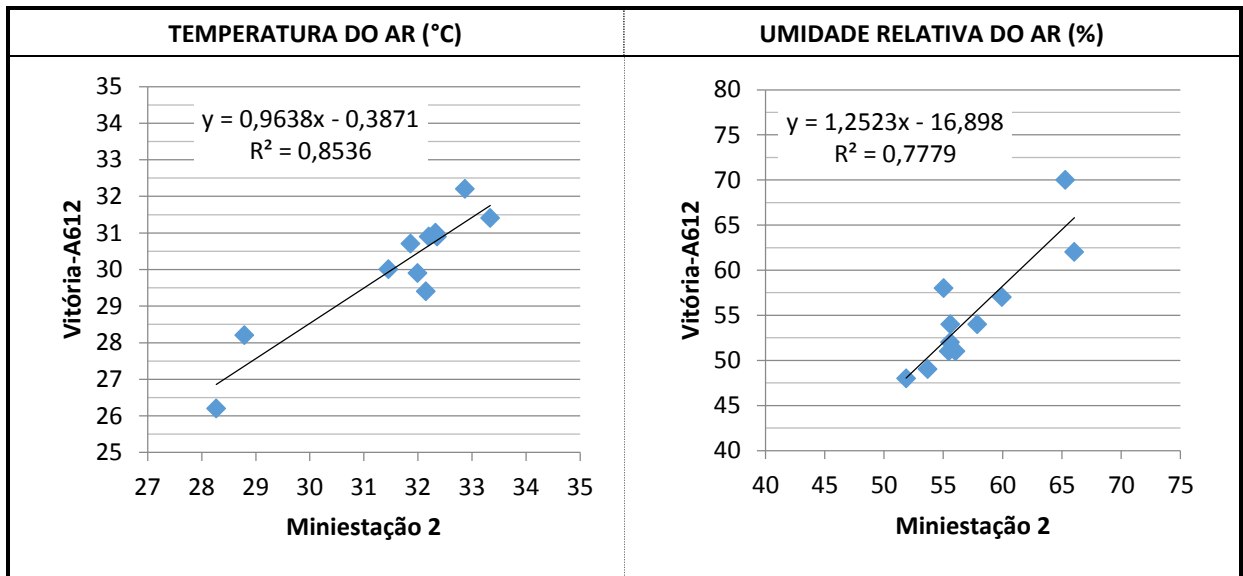
Fonte: A autora.

Figura 23: Gráficos de dispersão linear com suas respectivas equações de retas e valores dos coeficientes de determinação (R^2), entre os dados de Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade Relativa do ar (%) da estação Vitória-A612 e miniestação 1.



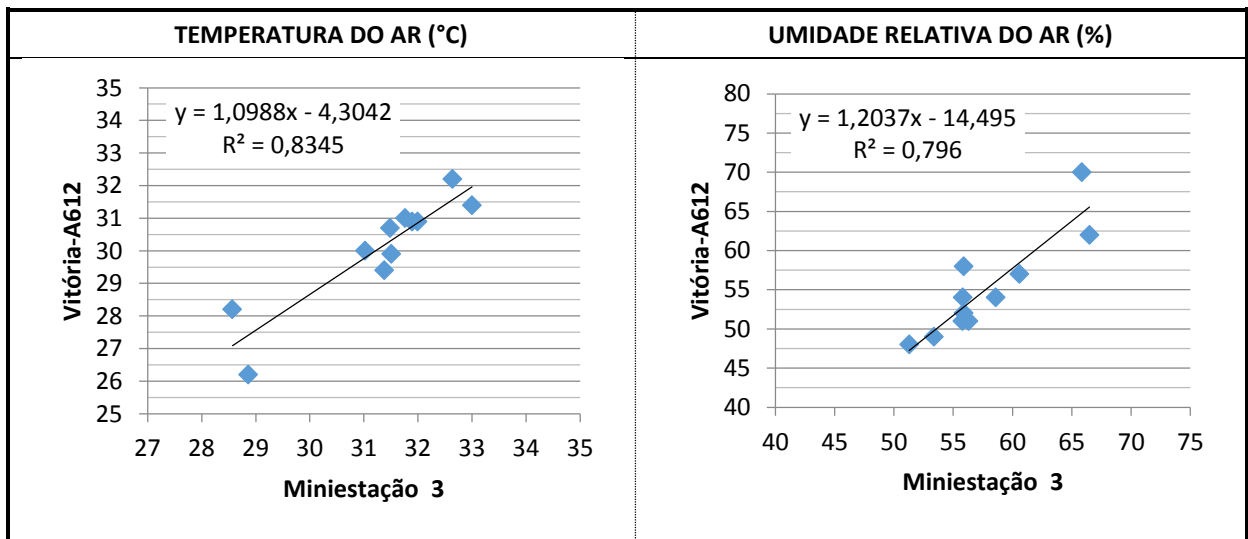
Fonte: A autora.

Figura 24: Gráficos de dispersão linear com suas respectivas equações de retas e valores dos coeficientes de determinação (R^2), entre os dados de Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade Relativa do ar (%) da estação Vitória-A612 e miniestação 2.



Fonte: A autora.

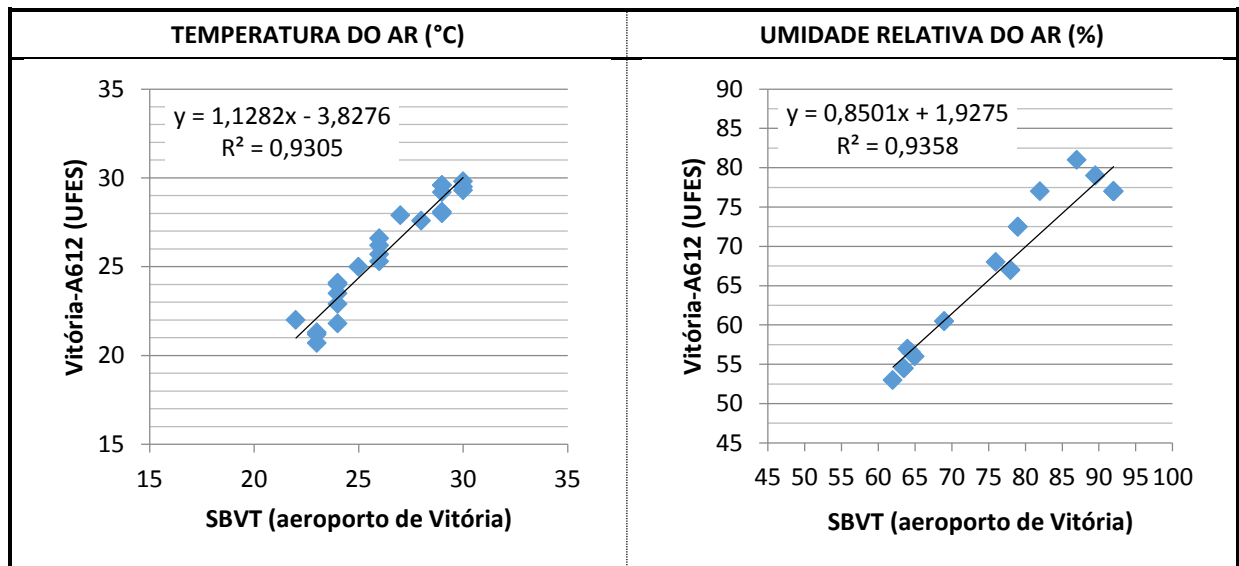
Figura 25: Gráficos de dispersão linear com suas respectivas equações de retas e valores dos coeficientes de determinação (R^2), entre os dados de Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade Relativa do ar (%) da estação Vitória-A612 e miniestação 3.



Fonte: A autora.

É importante ressaltar que as correções dos aparelhos foram feitas em relação à estação meteorológica Vitória-A612/INMET, localizada no campus UFES/Goiaberais, em virtude das limitações logísticas para a realização dos mesmos testes em relação à estação SBVT/INPE/CPTEC, localizada no aeroporto de Vitória, embora esta tenha sido definida como estação base para a coleta dos dados das simulações principais, relativas aos cenários paramétricos, conforme apresentado no tópico 3.3.2 Valores e origens dos dados de entrada: simulações de calibragem e dos cenários paramétricos. Contudo, tais correções se mostram válidas para a estação SBVT, visto que identificou-se forte correlação entre os dados da estação localizada na UFES e os dados da estação do aeroporto de Vitória, conforme apresentam os gráficos de dispersão e os coeficientes de determinação obtidos (Figura 26).

Figura 26: Gráficos de dispersão linear entre os dados de Temperatura do ar (°C) e Umidade Relativa do ar (%) da estação Vitória-A612/INMET e da estação SBVT/INPE/CPTEC, assim como seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).



Fonte: A autora.

3.2.2 Medições de campo

Muitos estudos apontam a necessidade de se calibrar o modelo para as condições específicas da área a ser avaliada, visto que cada área tem suas particularidades quanto às características microclimáticas. Assim, é importante verificar como o mesmo corresponde às especificidades e quais são as necessidades de adaptação ao contexto. Segundo Assis, Siqueira e Bamberg (2013), em trabalho que envolvem simulações com modelos computacionais, dentre as etapas metodológicas, a calibração do modelo para cada região deve sempre preceder à simulação principal. Assim, tais verificações se fazem necessárias para que o uso do *software* não seja feito de modo indiscriminado (SCHMITZ, 2014).

Desenvolvido na Alemanha, o ENVI_MET foi inicialmente aplicado na reprodução das condições de tal contexto, embora venha sendo utilizado e validado em diferentes estudos em vários locais do mundo para diversas condições climáticas. Contudo, ao ser aplicado em estudos voltados para áreas com características de clima quente e úmido, observou-se a dificuldade do modelo em reproduzir, por exemplo, as amplitudes térmicas diárias, por vezes, características de determinados climas. É dentro deste contexto de necessidade de calibração do modelo que as medições de campo são fundamentais. A calibração é realizada ao serem comparados os dados medidos em campo com os dados de saída do modelo.

Gusson (2014) e Schmitz (2014) indicam que vários estudos apontam entraves na simulação de calibragem, especialmente quanto à reprodução do comportamento das variáveis medidas em campo. Dentre as limitações identificadas, foram relatadas por Brandão (2009) divergências entre as curvas provenientes dos dados de temperatura coletados em campo e as resultantes das simulações de calibragem. Neste mesmo sentido Emmanuel, Rosenlund e Johansson (2007) apontam que o ENVI_MET tende a subestimar as variações de temperaturas diurnas em situação de clima quente e úmido, nos quais os gráficos dos dados de saída mostram comportamento mais homogêneo e suavizado em comparação com os gráficos produzidos com os dados das medições de campo.

Segundo os testes de calibragem realizados por Francisco (2012) o modelo também apresentou tendência a subestimar as amplitudes térmicas diárias, afastando os dados simulados dos medidos, sobretudo quando representativos das temperaturas máximas do período simulado, embora o comportamento da temperatura ao longo de toda a curva tenha se mostrado semelhante. Nos estudos realizados por Schmitz (2014), mesmo depois de diversas adequações, o modelo demonstrou limitações para representar a amplitude térmica para a realidade climática de Curitiba (PR), tanto em cenários de inverno quanto de verão.

Xavier (2017), em estudo desenvolvido para Vitória (ES), aponta divergências entre os valores medidos em campo e simulados na etapa de calibração, principalmente em relação à discordância entre os dados de umidade relativa do ar. Segundo a autora, como a versão utilizada do *software* não possibilitava a utilização da ferramenta *Forcing*, o programa não correspondeu bem às características de umidade relativa de modo coerente com o contexto de uma cidade litorânea. Desta forma, mesmo após as adequações consideradas para a calibração, confirmou-se o comportamento de subestimação do programa em relação aos picos diários de umidade, assim como os de temperatura do ar, por vezes, característicos de climas tropicais.

Embora Gusson (2014) tenha identificado que algumas pesquisas brasileiras relataram limitações do modelo ENVI_MET, sobretudo quanto ao ajuste da curva de temperatura do ar em clima tropical, no seu estudo, que se diferenciou da maior parte dos demais por utilizar a ferramenta *Forcing* da versão ENVI_MET 4.0 *Preview*, os ajustes das curvas entre dados medidos e simulados se mostraram favoráveis.

Diante do contexto das simulações computacionais, Duarte (2015a) destaca como aspecto fundamental não adotar uma única técnica de pesquisa, de modo a enriquecer os estudos. Assim, mesmo que os avanços no modelo sejam progressivos, é importante não utilizá-lo como única técnica aplicada, calibrando-o em conjunto com as medições realizadas na dimensão real. Só então é recomendada sua aplicação em estudos de cenários paramétricos ou preditivos.

Para o estudo em questão, definiu-se por realizar tais simulações de calibração utilizando dados de entrada relativos ao dia das medições de campo, obtidos de fontes distintas, tais como estações meteorológicas e programas auxiliares. Informações específicas sobre o acesso aos dados utilizados para a realização das simulações encontram-se no tópico 3.3.2 Valores e origens dos dados de entrada: simulações de calibragem e dos cenários paramétricos.

A decisão de se calibrar o modelo de tal forma se deu em função do que envolve o objetivo da pesquisa, que pretende avaliar as condições microclimáticas da determinada localidade sob a perspectiva de condições climáticas características de situação de aquecimento global. Diante de tais questões, foi preciso verificar como o modelo trabalha com os dados provenientes das determinadas fontes, visto que os dados característicos do dia de enfoque da pesquisa, identificado conforme apresentado no tópico 3.3.2 Valores e origens dos dados de entrada: simulações de calibragem e dos cenários paramétricos, provêm das mesmas fontes aplicadas nas simulações de calibragem, porém, não havendo dados medidos em campo, por se tratar de uma data retrógrada.

Assim, os resultados obtidos em campo são utilizados na comparação com os dados resultantes da simulação, verificando-se se o programa realmente consegue representar o contexto avaliado conforme condições de aquisição dos dados de entrada aplicáveis às datas retrógradas. Caso os resultados do modelo se mostrem discrepantes em relação ao contexto real, são realizadas novas simulações, com alterações de determinados valores de entrada, visando adequar o programa à realidade e, assim, aproximar os dados simulados dos dados reais. Deste modo, define-se em quais condições o programa trabalha da melhor forma possível na representação da realidade de estudo. Todos os testes de calibragem realizados neste estudo, assim como os seus respectivos parâmetros alterados em cada teste, são

apresentados no tópico 3.3.2 Valores e origens dos dados de entrada: simulações de calibragem e dos cenários paramétricos.

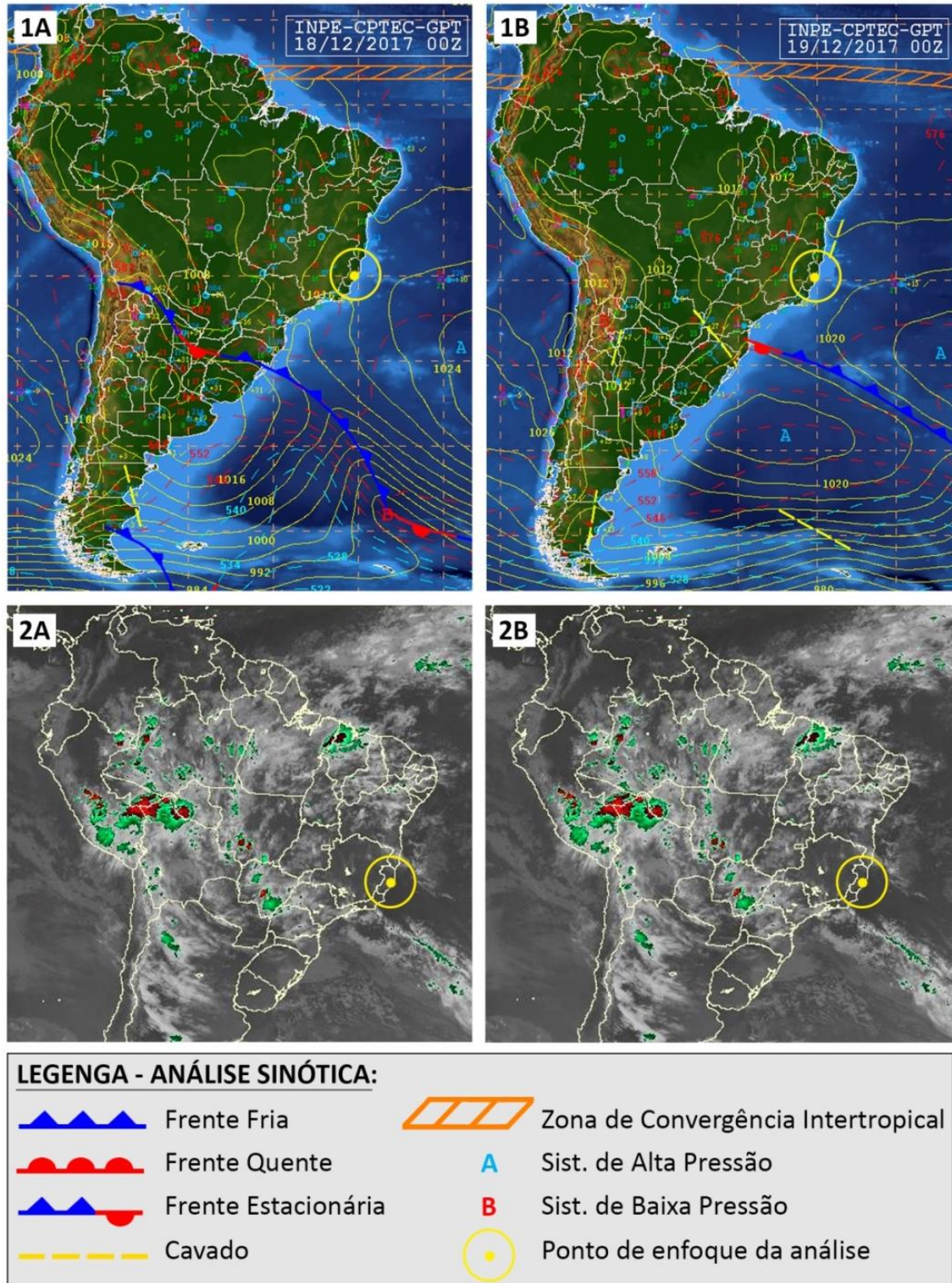
Neste intuito, as medições de campo foram realizadas no dia 18 de dezembro de 2017, período de transição entre as estações de primavera e verão no qual as temperaturas anuais normalmente voltam a se elevar, favorecendo a calibração para condições climáticas tendenciosamente quentes, o que a torna condizente com o dia de enfoque do estudo, historicamente o mais quente dentro de um recorte de 30 anos.

As coletas dos dados microclimáticos foram realizadas no período das 07h30min às 19h (desconsiderando o horário de verão), sendo os primeiros 30 minutos considerados como período de adaptabilidade dos aparelhos aos respectivos pontos. Logo, foram utilizados para a realização das análises comparativas os dados coletados a partir das 8h.

A condição do tempo se encontrava favorável para aquisição dos dados microclimáticos. Como pode ser observado no mosaico de cartas sinóticas apresentado na Figura 27 (1A e 1B), a região se encontrava sob a atuação do sistema de pressão Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), característico por não apresentar mudanças bruscas de temperatura, mantendo céu aberto, atmosfera estável, com baixa ocorrência de nebulosidade e ventos fracos (CORREA; COELHO; VALE, 2015). As imagens de satélite para os dias 18 e 19 de dezembro de 2017, às 00h GMT, apresentadas na (Figura 27: 2A e 2B), evidenciam que a área de enfoque da análise, embora avaliada em relação à escala sinótica, se encontrava sob baixa influência da umidade marítima, confirmando a condição de céu predominantemente limpo observado durante o levantamento de campo.

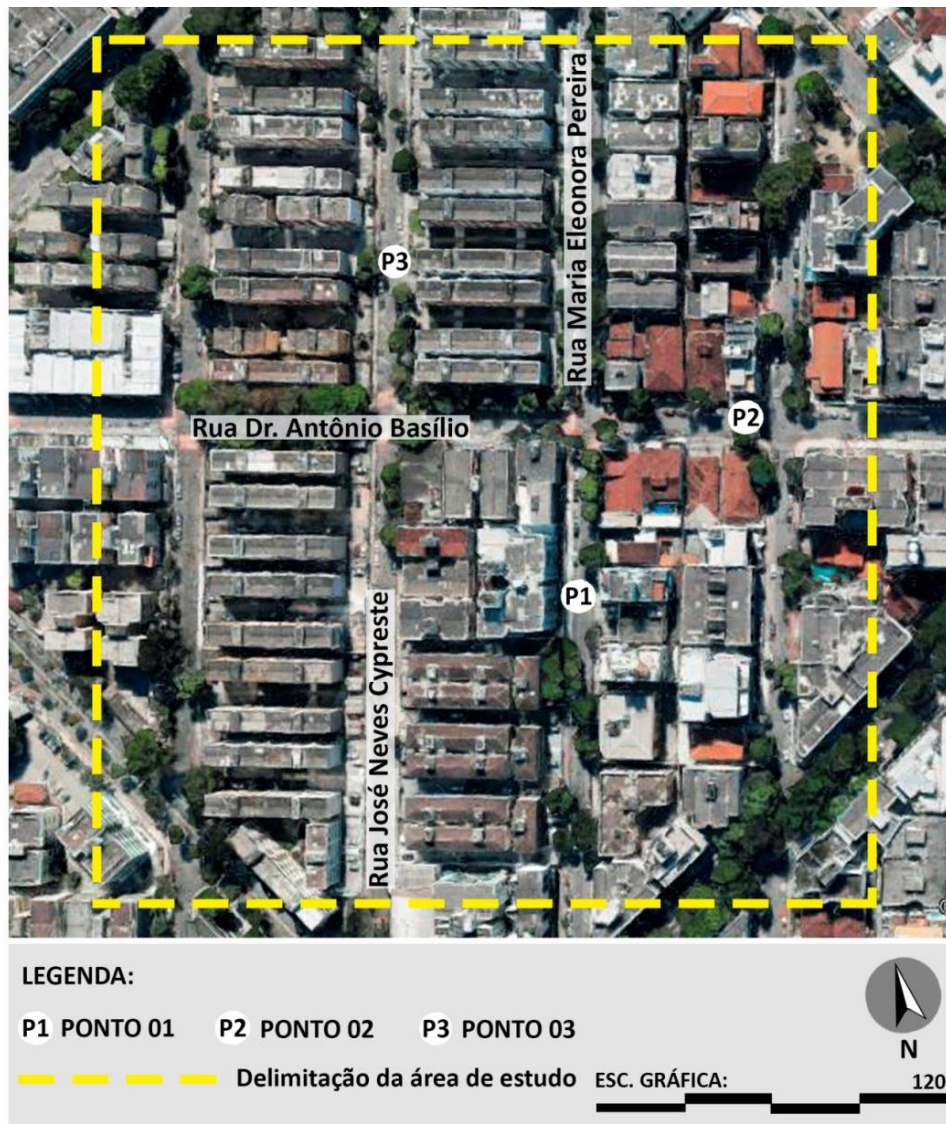
Foram definidos três pontos de medições distribuídos pela área delimitada como de estudo, de modo a se localizarem próximos de determinadas tipologias de edificações características do lugar (Figura 28). As miniestações utilizadas correspondem às apresentadas no tópico 3.2.1 Instrumentação e teste de equipamentos de medição, com os Data Loggers programados para registrar dados de temperatura do ar e umidade relativa a cada minuto. Por sua vez, os dados de velocidade do ar (máxima, mínima e AVG) provenientes dos termo-higro-anemômetros foram coletados manualmente, em intervalos de 15 minutos.

Figura 27: Mosaico de cartas sinóticas de superfície (1A e 1B) e imagens do satélite GOES-13 (2A e 2B), as 00Z respectivamente dos dias 18/12/17 e 19/12/17.



Fonte: Adaptado de Boletim Técnico, CPTEC/INPE. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>. Acesso em: 20 de dezembro de 2017.

Figura 28: Localização dos pontos de medições compreendidos na área de estudo.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2017).

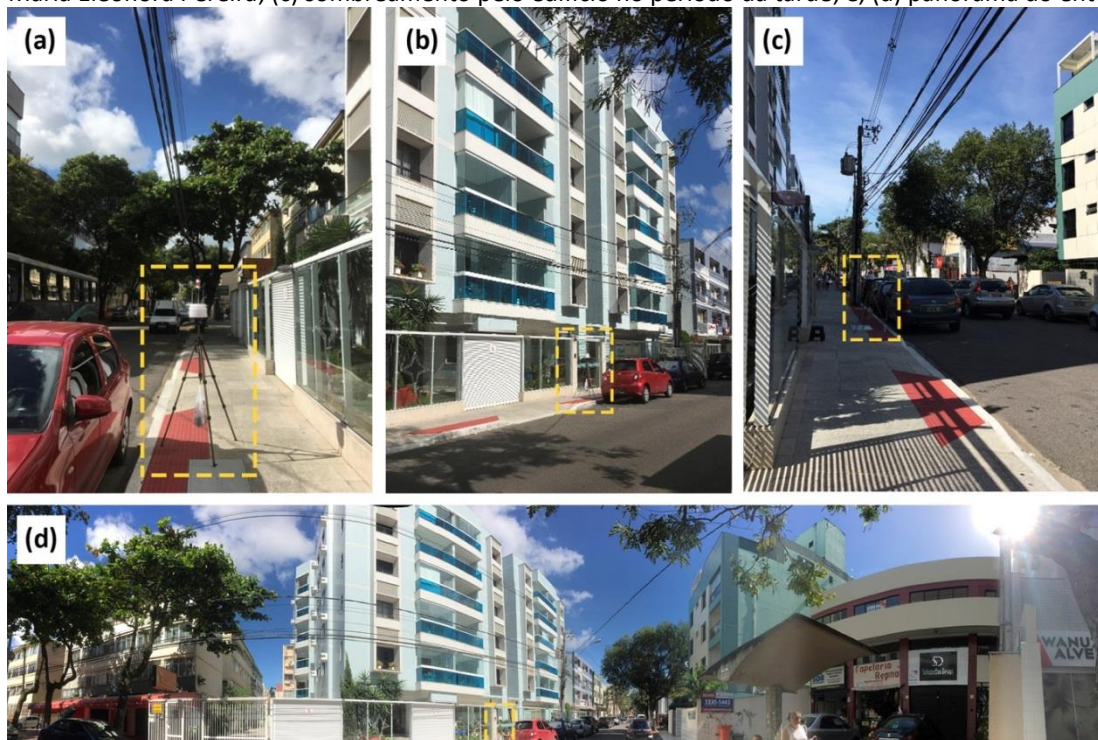
Embora os aparelhos e estruturas tenham sido testados previamente, nesta etapa o termo-higro-anemômetros do ponto de medição 03 apresentou disfunção, impossibilitando os registros e posterior utilização dos dados. Porém, observou-se que os dados dos demais aparelhos se mostraram condizentes entre si, viabilizando posteriormente a consideração de um dado único através da média dos mesmos.

Segundo WMO (2014) as condições de localização dos aparelhos ou estações de coleta de dados devem ser representativas do contexto a ser avaliado, assim como pode ser ponderado conforme os objetivos de cada pesquisa. Como o objetivo das medições microclimáticas se volta para a comparação com os dados de saída fornecidos pelo modelo,

verificando assim sua acurácia, as medições realizadas nos três pontos se direcionaram de modo a ser possível observar como o programa trabalha na reprodução dos dados conforme as diferenças tipológicas modeladas, visto que tais pontos apresentam entornos imediatos de características distintas.

O ponto de medição 01 (Figura 29), por exemplo, foi localizado na Rua Maria Eleonora Pereira, região onde se concentram prédios de características mais recentes, com gabaritos predominantemente de 4 a 6 pavimentos e afastamentos frontais que variam de zero a 8m, embora observe-se a prevalência de 2,5m, e afastamentos laterais que variam de zero a 1,5m. Tal via apresenta sentido norte/sul, caracterizando prioritariamente o sombreamento da mesma durante o período diurno em função da trajetória solar e altura dos elementos que compõem o entorno. A miniestação 01 foi locada na calçada oeste, em frente ao nº 505, de modo a minimizar as interferências em relação ao fluxo de acesso dos veículos às garagens, assim como à acessibilidade dos pedestres. O ponto contou com radiação direta durante as horas de medição da manhã, passando a ser sombreado pelo edifício em que se encontrava em frente após as 13h. Esta característica foi considerada no momento de escolha do ponto, visando identificar se o modelo demonstraria esta mesma condição.

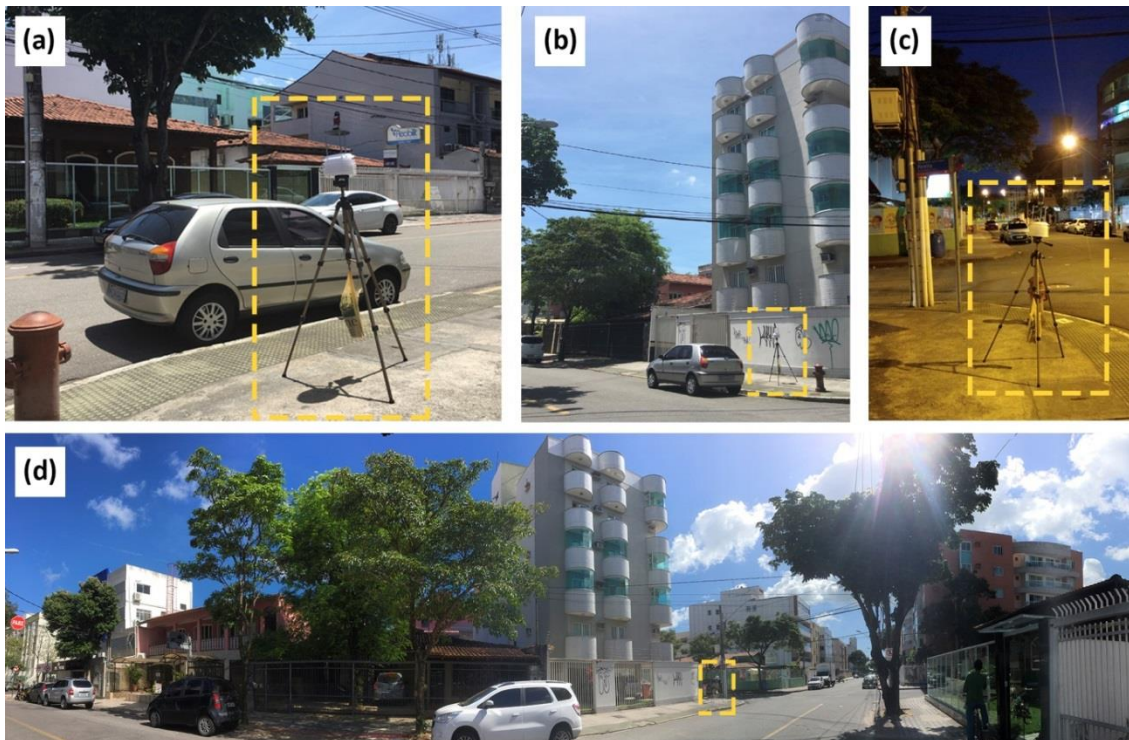
Figura 29: Registro das medições de campo no ponto de medição 01 (a, b) com miniestação localizada na Rua Maria Eleonora Pereira; (c) sombreamento pelo edifício no período da tarde; e, (d) panorama do entorno.



Fonte: A autora.

Já o ponto de medição 02 (Figura 30) localizou-se na Rua Dr. Antônio Basílio, região com a maior concentração de residências e com predominância de edifícios com gabaritos entre 01 e 02 pavimentos, embora conte com a ocorrência de gabaritos de até 6 pavimentos. Os afastamentos frontais variam de zero a 3 metros e os laterais são predominantemente nulos. A miniestação 02 foi locada na calçada norte, em frente ao nº 643 considerando as mesmas questões de posicionamento já apresentados para o ponto 01. A via em que o ponto 02 foi fixado apresenta sentido leste/oeste, o que contribuiu significativamente para que o mesmo contasse com radiação direta durante praticamente todo o período diurno, passando a ser sombreado às 17h45min pela projeção das sombras dos edificadados que se encontravam em sua linha do horizonte diante das condições de sol poente.

Figura 30: Registro das medições de campo no ponto de medição 02. (a, b) miniestação locada na Rua Dr. Antônio Basílio; (c) medições noturnas; e, (d) panorama do entorno.

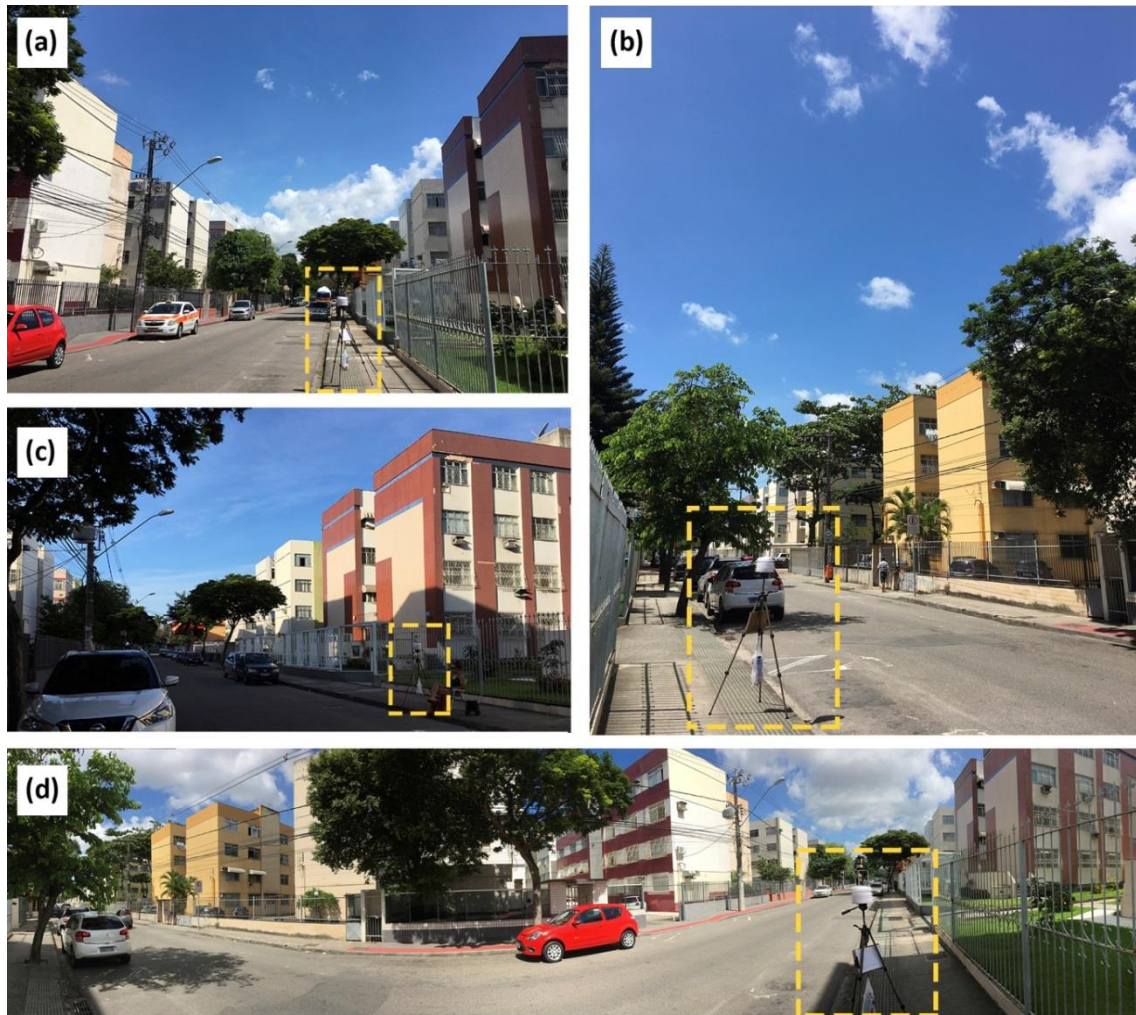


Fonte: A autora.

O ponto 3 (Figura 31), por sua vez, localizou-se na Rua José Neves Cypreste, região com concentração de edifícios residenciais mais antigos, com gabarito de 4 pavimentos, afastamentos frontais variando entre 3m e 6m e afastamentos laterais variando entre 3m e 10m. A via tem sentido norte/sul, sendo, portanto, paralela à via do ponto 01. Porém, em função dos afastamentos característicos da tipologia do seu entorno, o ponto 03 contou com maior influência de radiação direta do que de sombreamento, como observado no ponto 01.

Embora a área de estudo apresente vegetação arbórea, buscou-se localizar todos os pontos de modo que não sofressem influência direta com tal sombreamento, visando minimizar seus efeitos sobre as variáveis microclimáticas medidas. Neste mesmo sentido de minimizar interferências adversas, os pontos foram locados sobre superfícies similares, sendo todas calçadas de concreto, conforme aplicado no modelo da área.

Figura 31: Registro das medições de campo no ponto de medição 03. (a, b) miniestação locada na Rua José Neves Cypreste; (c) sombreamento pelo edifício no período da tarde; e, (d) panorama do entorno.



Fonte: A autora.

Estando os três pontos situados em locais com características distintas, foi possível verificar como o programa responde em relação a cada situação, de modo que a confirmação de sua acurácia se mostrou satisfatória à medida que foi confirmada a sua capacidade de representar distintamente cada contexto.

3.3 O PROCESSO DE SIMULAÇÃO NO ENVI_MET 4.3

Diante da metodologia traçada para o desenvolvimento da pesquisa, a etapa de simulações microclimáticas é uma das mais importantes. Assim, os tópicos seguintes apresentam os processos necessários para a realização das mesmas, sendo que no tópico 3.3.1 é descrito pontualmente como foram desenvolvidos os modelos utilizados e como se dá o processo de configuração do programa até estar apto para o início de cada simulação. De modo complementar, o tópico 3.3.2 traz informações fundamentais sobre a aquisição e demais definições em relação aos dados de entrada utilizados na configuração de cada arquivo de simulação. Este processo foi descrito à parte, visto que cada simulação realizada apresenta sua especificidade quanto aos dados utilizados, seja para os testes de calibração do modelo ou para as simulações finais.

3.3.1 Modelagem e processos de configurações

Como descrito por Xavier (2017), visando facilitar a compreensão do processo de simulação, este pode ser segmentado em quatro etapas. A **etapa 1** corresponde aos processos de modelagem da área a ser simulada, tendo como finalidade a elaboração do arquivo de modelo do tipo ENVI_MET *Area Input File* e de extensão (.INX); a **etapa 2** corresponde a criação e edição do arquivo de simulação do tipo *SIM File* e extensão (.SIM) com informações do período que se deseja simular e seus respectivos dados meteorológicos; a **etapa 3** consiste no processamento da simulação; e a **etapa 4** é a finalizadora deste processo, por ser o momento no qual são extraídos e analisados os dados fornecidos pela simulação.

Cada uma das quatro etapas principais apresentam suas subdivisões específicas. Logo, dando início à **etapa 1**, o primeiro passo para sua realização consiste na compilação de dados característicos da área a ser simulada, assim como a definição de alguns parâmetros de aspectos do próprio modelo como, por exemplo, as dimensões dos *grids* a serem utilizados, para então ser elaborada a modelagem.

A etapa de modelagem depende diretamente da realização do levantamento de dados da área. Já a definição do tamanho da área a ser modelada é limitada pela dimensão possível de ser simulada na versão utilizada do programa, que no estudo em questão corresponde à versão gratuita do ENVI_MET 4.3. Neste sentido, tem-se a limitação de uma grade de modelagem de 100 x 100 x 40 células (*grid*, respectivamente nos eixos X, Y e Z). Para este

estudo foi definida a utilização de células com dimensão de 3 x 3 x 3 m, visto que tal módulo viabiliza a representação de calçadas, vias, afastamentos e gabaritos das edificações com nível satisfatório de especificidade e representatividade. Assim, a área possível de ser simulada tem como dimensão final 300 x 300 x 120 m, o que corresponde a uma área de 90.000 m².

Contudo, diante da necessidade de se destinar 5 linhas do *grid* para compor os *nesting grid* (grade de aninhamento, ou área de borda) em ambos os sentidos dos eixos X e Y (5 linhas subtraídas dos sentidos -X, +X, -Y e +Y, o que totalizam 10 linhas subtraídas da malha modelável nos quatro sentidos), a área total disponível para ser modelada passa a contar com, no máximo, 90 módulos em X e em Y. Porém, para o modelo em questão verificou-se que as condições de modelagem eram atendidas com 89 módulos em cada sentido do plano horizontal, o que corresponde a 267 x 267 m em extensões, ou ainda 71.289 m².

Quanto à condição vertical estipulada pela simulação, a dimensão final para o eixo Z deve corresponder a, no mínimo, duas vezes a altura do maior obstáculo existente no modelo (GUSSON, 2014), o que para a modelagem de calibragem desse estudo corresponde a edificações de 6 pavimentos, padronizadas em 18m de altura. Logo, para representar a área relativa ao contexto edificado identificado em levantamento, satisfazendo tal condição de altura mínima estabelecida, foram utilizados 15 módulos no eixo Z, caracterizando um modelo 3D de altura total igual a 45m.

A etapa de levantamento contempla a elaboração de uma planta baixa da área, na qual são demarcadas as seguintes características: projeções das edificações, locando-as dentro de seus respectivos lotes e indicando o número de pavimentos correspondentes, material construtivo predominante em fachadas e coberturas; caixas viárias e calçadas com suas dimensões aproximadas e identificação dos materiais que revestem suas superfícies; jardins e grandes extensões compostas por elementos diferenciados, quando existentes, tais como, campos gramados, bosques, lagos, etc.; e as árvores distribuídas pontualmente pelas vias e terrenos, identificando suas alturas aproximadas, espécies ou níveis de adensamento do dossel. É necessária a indicação do posicionamento da área em relação ao norte geográfico, assim como identificar suas coordenadas geográficas, sobretudo nos estudos realizados em

idades que não estão previamente inseridas entre as que compunham o banco de dados do programa.

A planta baixa base, elaborada com as características identificadas no levantamento da área, é salva em formato *bitmap*, conforme Figura 32, para então ser inserida no editor de modelo, que corresponde ao ícone *SPACES* encontrado na aba *ENVI_MET V4* do *ENVI_MET Headquarter V4.3.0 Winter1718*. A imagem deve ter seus limites bem definidos e estar dimensionada conforme o tamanho total estabelecido para a grade horizontal, pois o programa a ajusta automaticamente dentro da grade predefinida, que para caso foi fixada em 89 x 89 (x- Grids e y- Grids).

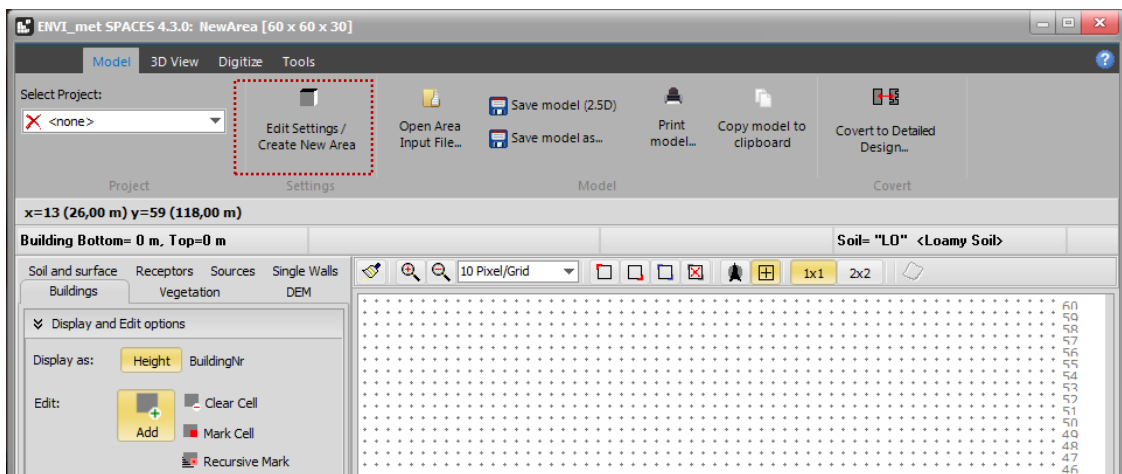
Figura 32: Representação da planta baixa base com seus limites definidos, salva no formato *bitmap* para ser inserida no editor do modelo.



Fonte: A autora.

Após aberto o ícone *SPACES*, é necessário acessar *Edit Settings / Create New Area*, na aba *Model* (Figura 33). Neste estágio define-se o tamanho do domínio do modelo, estipulando o número de x-Grids, y-Grids e z-Grids, o número de *nesting grids* do entorno da área de domínio e os seus perfis de solos predominantes, assim como as dimensões das células de *grid*. Além das características de tamanho do modelo, neste estágio também são indicados os materiais básicos, ou predominantes, de paredes e telhados característicos da área. Já nos campos destinados às informações geográficas da área, solicita-se a inserção do dado de rotação do norte, o nome da localização (cidade/país), dados de latitude e longitude, assim como a referência da zona em GMT e o georreferenciamento do *grid* inferior esquerdo da área modelada. Após o lançamento de todos os dados solicitados, é dado prosseguimento ao processo, clicando em *Create new area*, ou editando configurações previamente definidas ao escolher *Apply changes*, conforme apresentado na Figura 34.

Figura 33: Tela inicial do ENVI_MET SPACES para acesso ao *Editing Settings/Create New Area*.



Fonte: A autora

Figura 34: Tela de configuração do domínio do modelo de calibragem no ENVI_MET 4.3.

Change or create model Domain

Number of grids and nesting properties

Model type: Concept Design

Main model area:

x-Grids: 89 y-Grids: 89 z-Grids: 15

Nesting grids around main area:

Nr of nesting grids: 5

Set soil profiles for nesting grids

Soil A: [ST] Asphalt Road

Soil B: [PG] Concrete Pavement Gray

Grid size and structure in main area

Size of grid cell in meter:

dx= 3.00 dy= 3.00 dz= 3.00 (base height)

Method of vertical grid generation:

equidistant (all dz are equal except lowest grid box)

telescoping (dz increases with height)

Telescoping factor (%): 0.00

Start telescoping after height (m): 0.00

Default Wall/ Roof Properties

Wall Material: [C2] Concrete wall (light weight)

Roof Material: [R1] Roofing: Tile

Model area description: A brave new area

Geographic Properties

Model rotation out of grid north: 353.00

Location on earth

Name of location: Vitória/Brazil

Position on earth: Latitude (deg. +N, -S): -20.32

Longitude (deg. -W, +E): -40.33

Reference time zone: Name: GMT-3

Reference longitude: -45.00

Georeference

Co-ordiante of lower left grid x-value: -40.17

y-value: -20.17

Reference system: <plane>

Reference level above sea level for DEM=0 : 0.00

Maximum Model Size is 100x100x40 in ENVI-met BASIC

Create new area

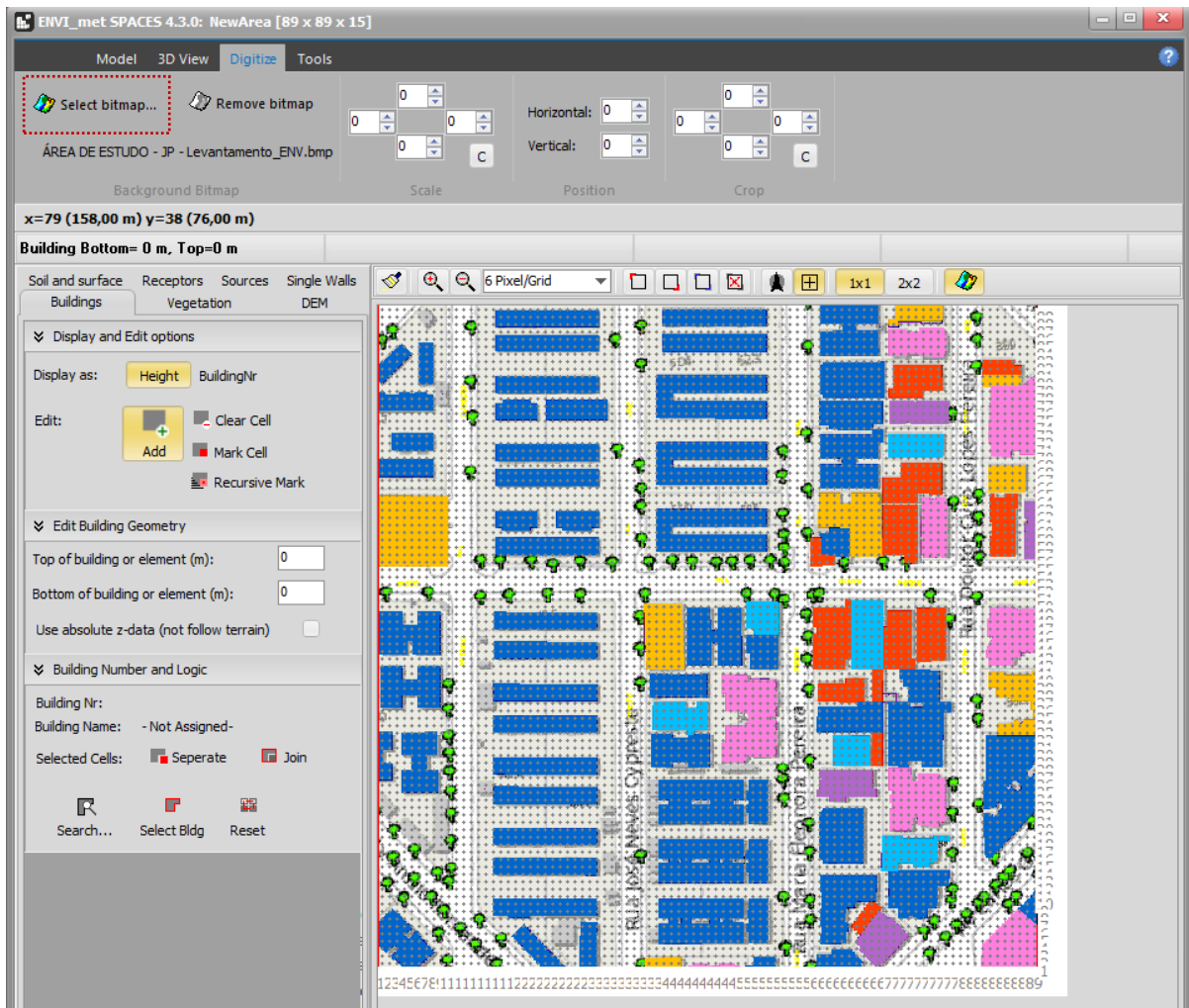
Apply changes

Cancel

Fonte: A autora

Estando as configurações do domínio definidas, abre-se a aba *Digitize* para carregar a planta baixa base previamente preparada, clicando em *Select bitmap*. A imagem será carregada dentro do modelo, ocupando todo o domínio da grade, conforme pode ser observada na Figura 35. Ela poderá ser visualizada quando estiver em uso a edição dos elementos edificações, receptores e vegetação, não aparecendo apenas na edição dos elementos solos e superfícies, tanto na edição pelo modo 2D, observando apenas a projeção da planta, quanto pelo modo 3D. Neste estudo, especificamente, optou-se por realizar a modelagem em 2D, visando evitar eventuais travamentos do programa decorrentes de limitação de processamento.

Figura 35: Seleção da planta baixa base através da aba *Digitize* e ícone *Select bitmap*.



Fonte: A autora

Após inserida a planta baixa base, segue-se para a edição das camadas de edificações na aba *Buildings*, de vegetação na aba *Vegetation*, de solo e superfícies de terreno na aba *Soil and Surface*, e por fim, são inseridos pontualmente os receptores na aba *Receptors*. Foram definidos como materiais padrões caracterizadores das edificações as paredes de concreto leve (C2- *Concrete Wall - light weight*) e coberturas de telha (R1- *Roofing Tile*), ambos disponibilizados pelo banco de dados de materiais do próprio programa, e para cada gabarito identificado no levantamento foi estipulada a altura de topo específica do edifício.

Para a modelagem da vegetação, foram consideradas espécies arbóreas disponíveis no banco de dados de plantas 3D do programa, cujo porte e dossel mais se aproximam dos observados em levantamento. Assim, foram inseridos 150 indivíduos arbóreos, com a variedade de 8 espécies, conforme apresentadas na Tabela 2. Nas áreas onde foi observado solo aparente, tais como canteiros centrais e laterais que compõem algumas vias, definiu-se

como solo padrão o tipo argiloso (LO - *Loamy Soil*). Em relação às superfícies padrões aplicadas às calçadas e caixas viárias foram utilizados, respectivamente, os tipos Pavimento de Concreto Cinza (PG - *Concrete Pavement Gray*) e Asfalto (ST - *Asphalt Road*).

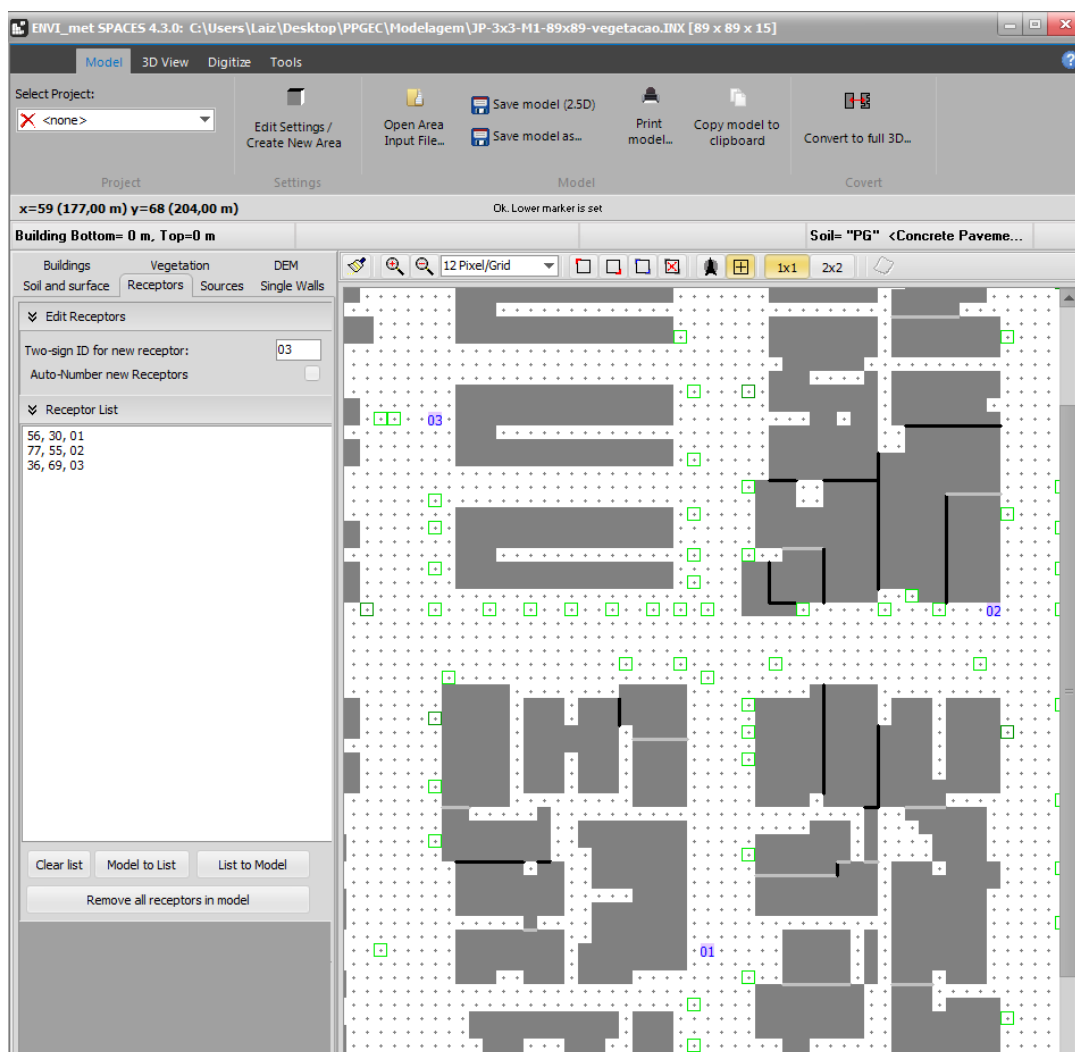
Tabela 2: Espécies arbóreas 3D utilizadas na modelagem da área.

Cód.	Nome/ espécie	Altura (m)	Diâmetro copa (m)
03	<i>Robina Pseudoacacia</i>	12	7
LI	Privet	5	5
S2	<i>Sophora Japonica</i>	10	15
NN	<i>Jacaranda Mimosifolia</i>	15	9
A5	<i>Gleditsia Triacanthos</i>	15	11
PA	<i>Populus Alba</i>	7	5
B7	<i>Betula Pendula</i>	6	7
AN	<i>Acer Negundo</i>	11	9

Fonte: A autora.

Finalizada a modelagem dos elementos componentes da área, são indicados os receptores, que correspondem aos pontos para onde são gerados os dados climáticos específicos. Assim, foram lançados três pontos de receptores, cujos dados são posteriormente utilizados para serem comparados com os dados coletados em campo, nos respectivos locais onde os receptores foram locados no modelo. A Figura 36 traz uma aproximação da área modelada, na qual podem ser observados os receptores 01, 02 e 03.

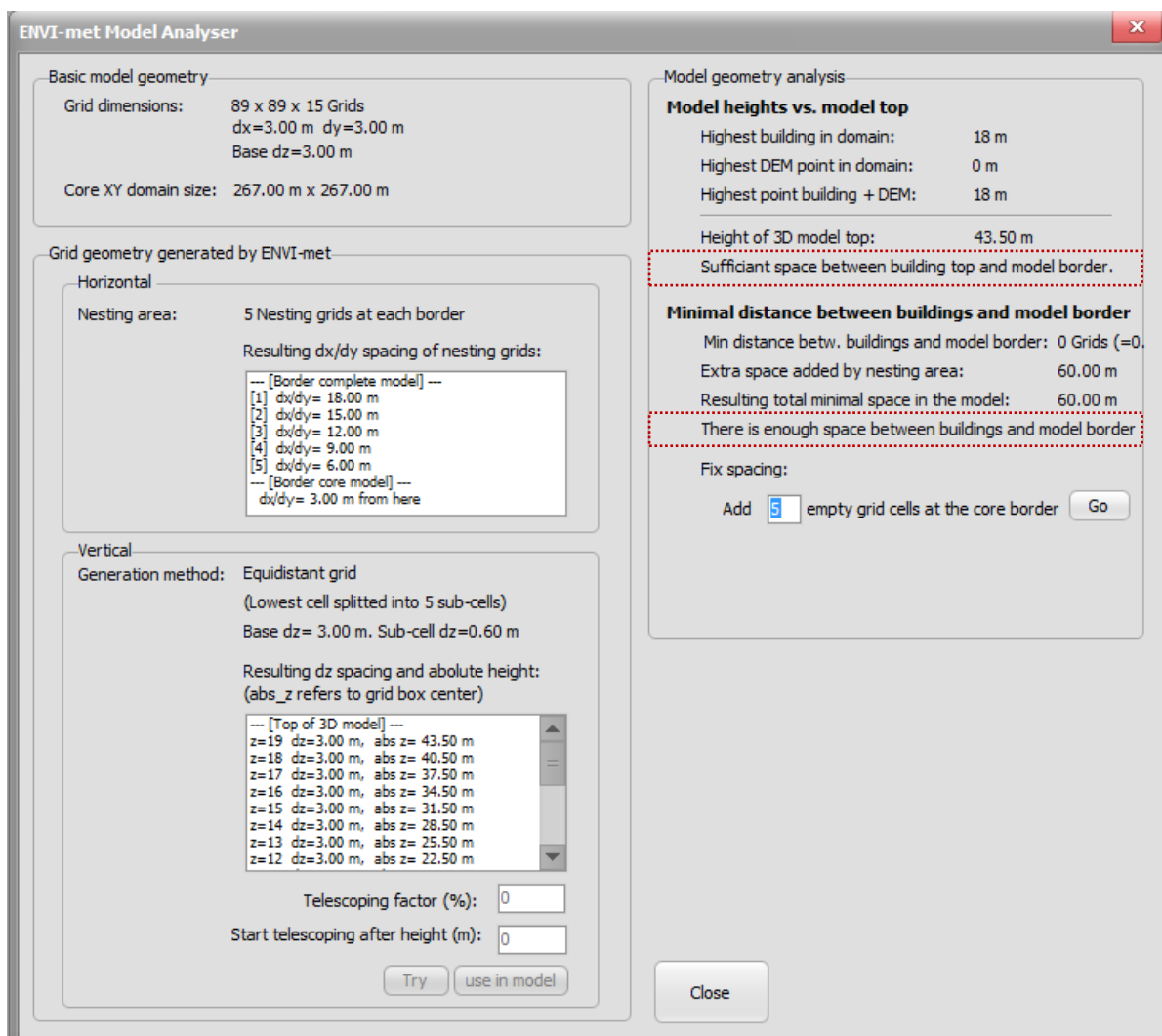
Figura 36: Aproximação da área modelada com indicação dos receptores 01, 02 e 03.



Fonte: A autora

Com a modelagem concluída, é necessário verificar as condições do modelo por meio da ferramenta *Model Inspector*, disponibilizadas na aba *Tools*. Esta ferramenta apresenta uma análise sintetizada das características básicas da geometria do modelo, incluindo as dimensões da malha horizontal e vertical interior ao modelo, assim como de sua grade de aninhamento (*nesting grids*). A ferramenta em questão realiza basicamente duas verificações, sendo a primeira análise em relação à condição da altura de topo dos elementos modelados *versus* o topo do modelo 3D; e a segunda em relação à distância mínima entre edifícios e a borda do modelo. São indicados, nos dois casos, se existem ou não espaços suficientes entre os aspectos considerados, apontando ao final as condições de atendimento (Figura 37). Estando tais condições atendidas, o arquivo do modelo é salvo no formato ENVI_MET Area Input File (.INX).

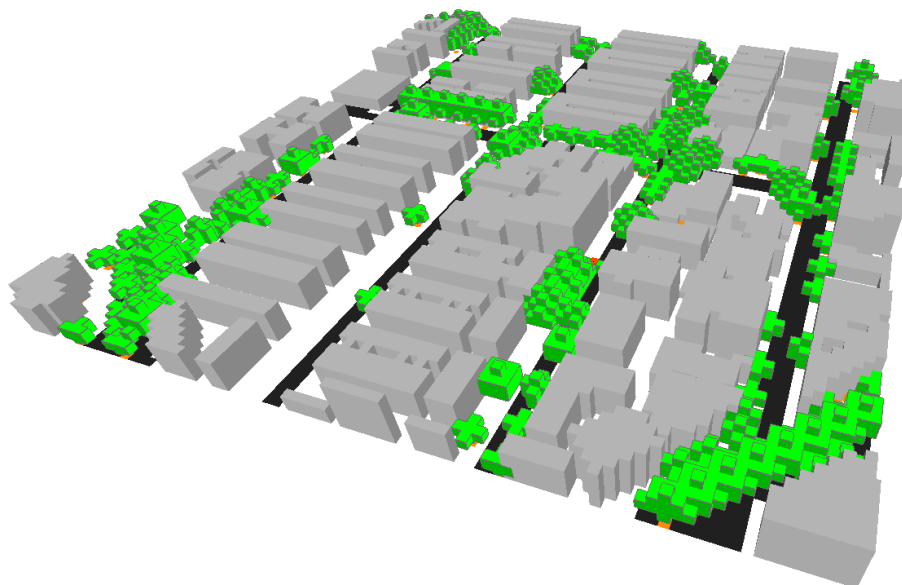
Figura 37: Ferramenta *Model Inspector*, com acesso pela aba *Tools*, viabiliza a análise da geometria do modelo.



Fonte: A autora

O mesmo procedimento foi realizado para os demais cenários simulados, tendo sido modelados 5 cenários distintos. O primeiro cenário corresponde a atual disposição da área, incluindo vegetação, conforme apresentado na Figura 38. Dentre os quatro demais cenários, o primeiro corresponde a atual situação da área, similar ao modelo apresentado na Figura 38, porém, sem a vegetação existente. Esta mesma condição também é aplicada nos modelos correspondentes às evoluções urbanas testadas nos três cenários restantes, para que os mesmos pudessem ser comparados entre si. A condição de elaboração de modelos sem vegetação é estabelecida visto que busca-se identificar especificamente a influência do edificado na caracterização do microclima local. Neste sentido, optou-se por não incluir vegetação, para não configurar influências deste elemento nos resultados das análises relativas especificamente ao edificado. Os aspectos caracterizadores de cada cenário testado são apresentados no tópico 3.1.2 Proposição dos Cenários Paramétricos.

Figura 38: Visualização em 3D correspondente ao modelo do cenário atual, com vegetação. Acesso através do *3D View Editor*.



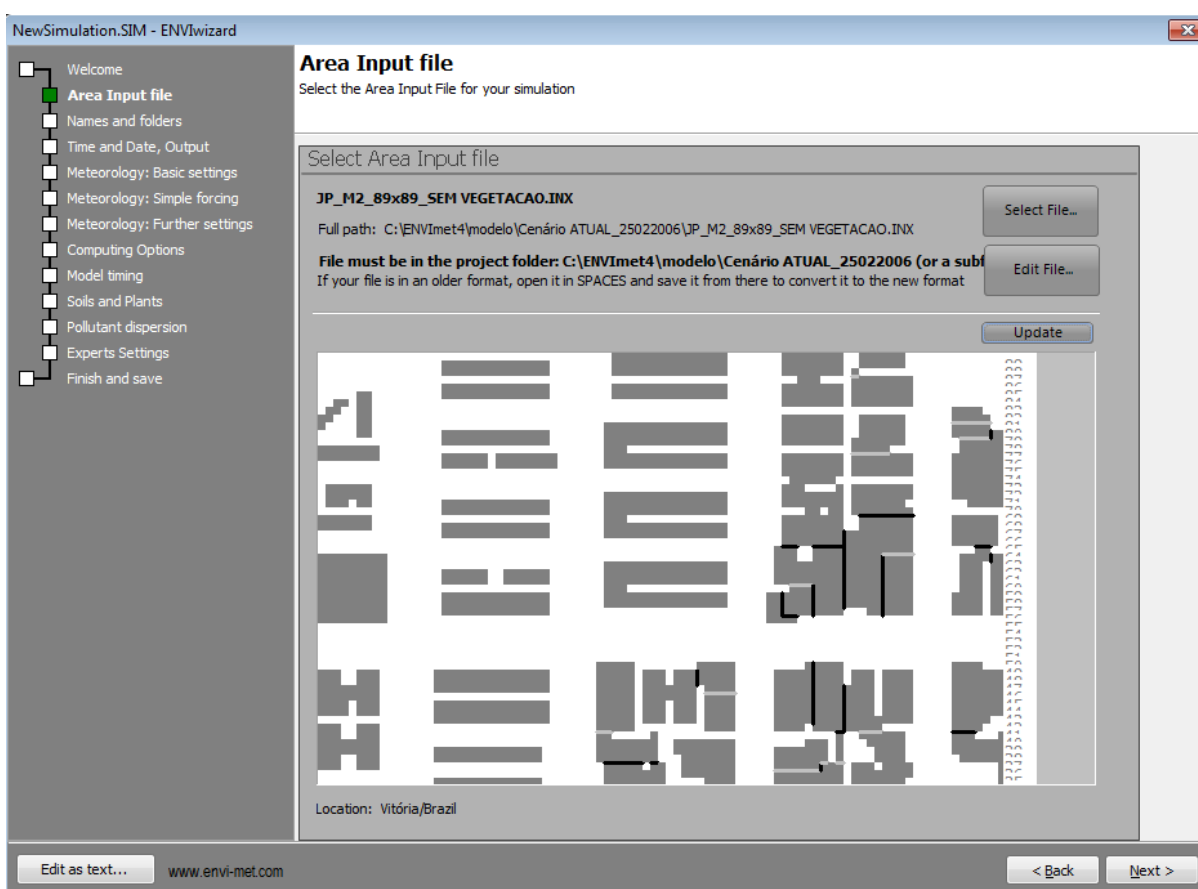
Fonte: A autora.

Após a conclusão da primeira etapa, estando salvos os arquivos dos modelos representativos de cada cenário que se pretende avaliar, segue-se para a **etapa 2**, correspondente a edição e criação do arquivo de simulação *SIM File* (.SIM), no ícone *Config Wizard*, localizado na aba ENVI_MET V4 do ENVI_MET *Headquarter* V4.3.0 Winter1718. Neste estágio, é carregado o arquivo com extensão .INX do modelo a ser simulado, criado na ferramenta *SPACE*, como apresentado na etapa 1. Neste momento também são inseridas as informações específicas sobre a simulação, tais como: data e hora de início da simulação, quantidade de horas simuladas, intervalo entre dados provenientes dos receptores e os dados microclimáticos de entrada. O processo é descrito a seguir e deve ser efetuado para cada modelo a ser simulado.

Para dar início a configuração do arquivo de simulação é necessário criar um novo projeto, acessando o ícone *Run Project Manager*, localizado na tela inicial do *Config Wizard*. Uma nova janela é aberta, na qual deve-se selecionar a opção *Create a new Projec* e com isto surgirá um novo ícone denominado *New Project* na área *Available Projects*. Clica-se no ícone criado para habilitar a edição das suas informações básicas, tais como o nome e descrição do projeto, devendo-se então selecionar a pasta onde serão salvos todos os dados relativos à simulação em questão. Em seguida, clica-se em *Apply Project settings* e *Done*, retornando automaticamente para a tela inicial do *Config Wizard*, na qual o novo projeto se torna

disponível para ser selecionado e editado. Em sequência, é necessário escolher o arquivo do modelo (.INX), clicando em *New* para acessar a tela *Area Input file*, onde encontra-se o item *Select File*, que dá acesso à pasta de origem do projeto, a qual deve conter o arquivo modelado. Ao ser selecionado, o arquivo do modelo é então carregado dentro do arquivo de simulação, conforme apresentado na Figura 39. Todas as seções que compõem a configuração do arquivo de simulação são apresentadas no campo lateral esquerdo da tela do *Config Wizard*.

Figura 39: Seção *Area Input file*, em *Config Wizard*, com o arquivo de modelagem da área carregado.

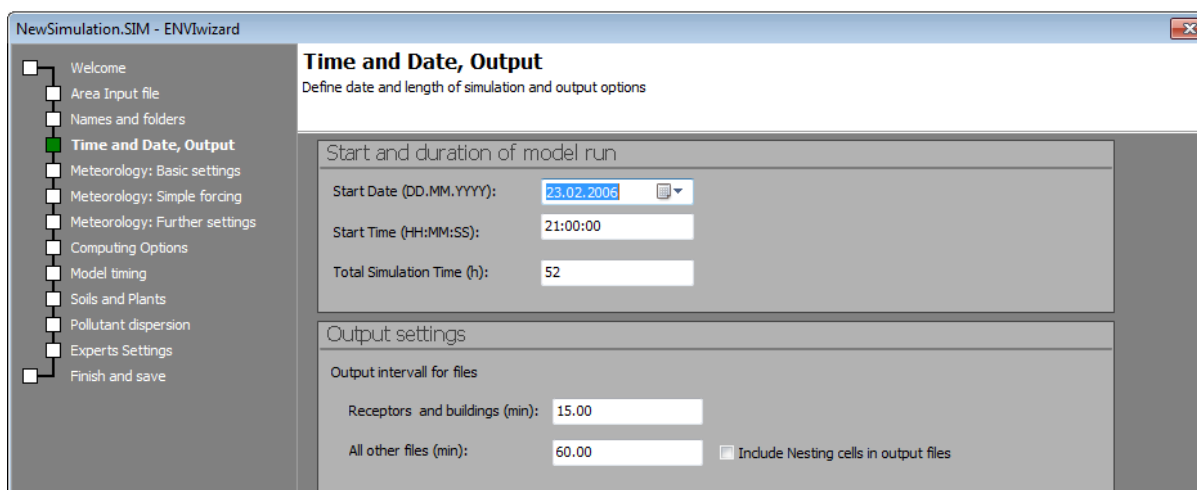


Fonte: A autora.

Dando sequência ao processo de elaboração do arquivo de simulação, na seção *Names and folders* é indicado um nome geral para a simulação e um prenome para ser aplicado em cada arquivo gerado como dado de saída; em *Time and Date Output*, são inseridos os dados de data e hora de início da simulação, tempo total de simulação (em horas) e definidos os intervalos de tempo entre os arquivos gerados para os pontos de receptores, assim como o intervalo para os demais arquivos gerados (Figura 40); em *Meteorology: Basic settings*, são inseridos dados de velocidade (m/s) e direção (°) do vento, rugosidade, umidade específica a

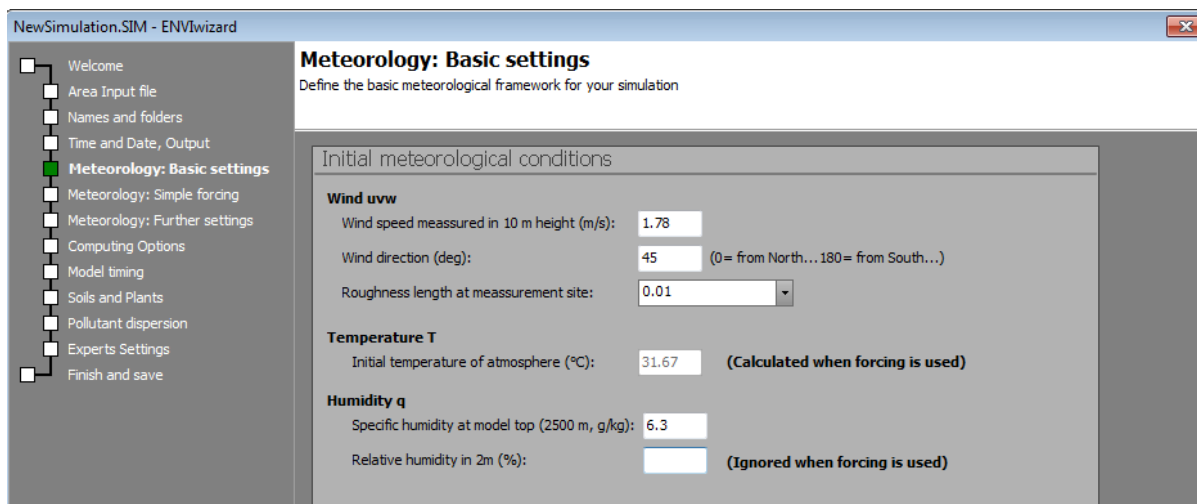
2.500m (g/kg), temperatura inicial (°C) e umidade relativa do ar (%), sendo que os dois últimos dados citados devem ser inseridos nesta seção quando não estiver prevista a utilização da ferramenta *Forcing*, conforme indicado na Figura 41.

Figura 40: Seção *Time and Date Output*, em *Config Wizard*, com dados gerais da simulação.



Fonte: A autora.

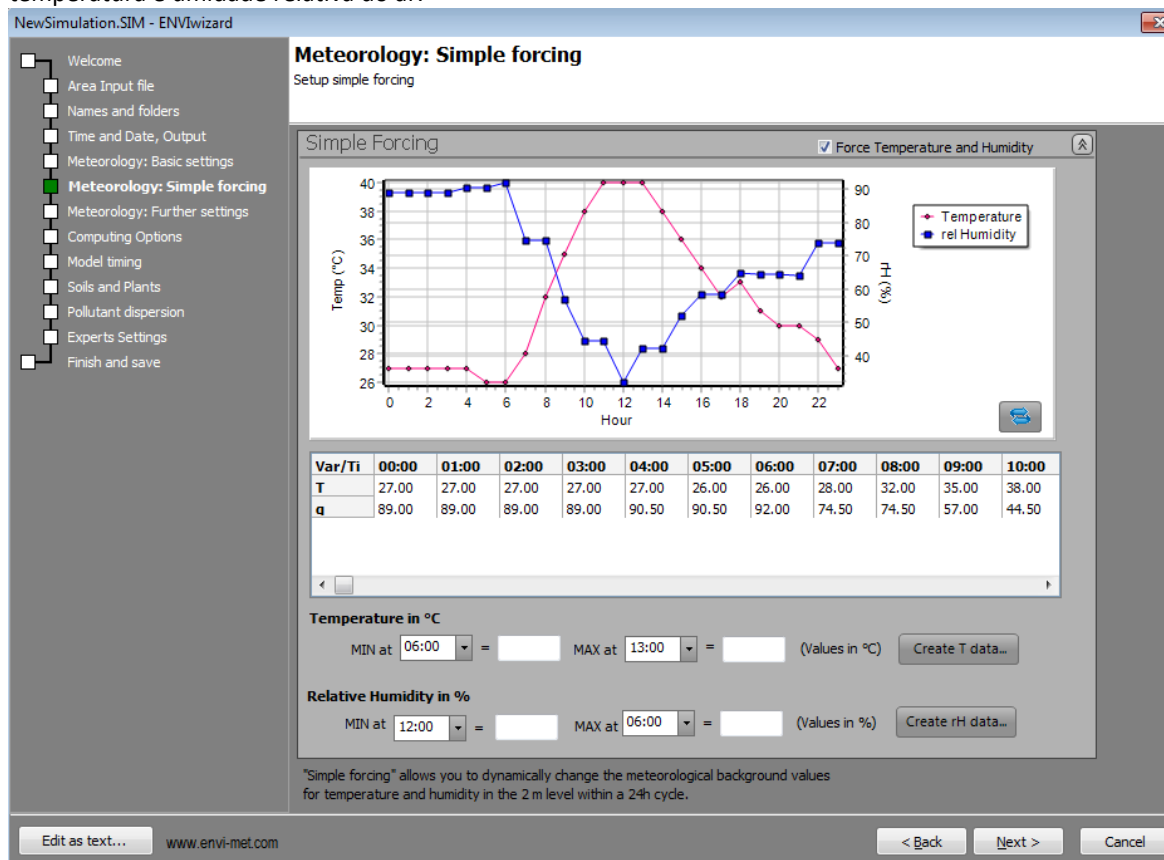
Figura 41: Seção *Meteorology: Basic settings*, em *Config Wizard*, com parte dos dados meteorológicos de entrada.



Fonte: A autora.

Como neste estudo considerou-se a utilização da ferramenta *Simple forcing*, contemplada pela seção *Meteorology: Simple forcing* (Figura 42), foram informados os valores horários dos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, correspondentes ao período de 00h às 23h do dia 18/12/17, para as simulações de calibragem do programa, e do dia 25/02/2006 para as simulações dos cenários paramétricos, conforme apresentado no tópico 3.3.2 Valores e origens dos dados de entrada: simulações de calibragem e dos cenários paramétricos.

Figura 42: Seção *Meteorology: Simple forcing*, em *Config Wizard*, com a entrada de dados horários de temperatura e umidade relativa do ar.



Fonte: A autora

Dando sequência à configuração do arquivo de simulação, segue-se para a seção *Meteorology: Further settings* (Figura 43). Nela, é possível entrar com dados meteorológicos adicionais, tais como, fator de radiação solar e cobertura de nuvens (em oitavas), e definir a utilização de determinados modelos de turbulência, assim como indicar especificamente a condição de fronteira (LBC – *Lateral boundary conditions*) a ser considerada. Tais informações podem contribuir para uma caracterização mais específica do contexto avaliado. Contudo, para este estudo foram personalizadas apenas as informações de fator de radiação solar e cobertura de nuvens, mantendo-se aplicados os valores padrões para *Turbulence Model* e LBC, tal como indicado pelo próprio programa quando não for identificada a necessidade de configurações de alto rigor de especificidade.

Para definir o fator de ajuste de radiação solar são necessários os dados de cobertura de nuvens e radiação solar global. Os valores de nebulosidade foram obtidos através do banco

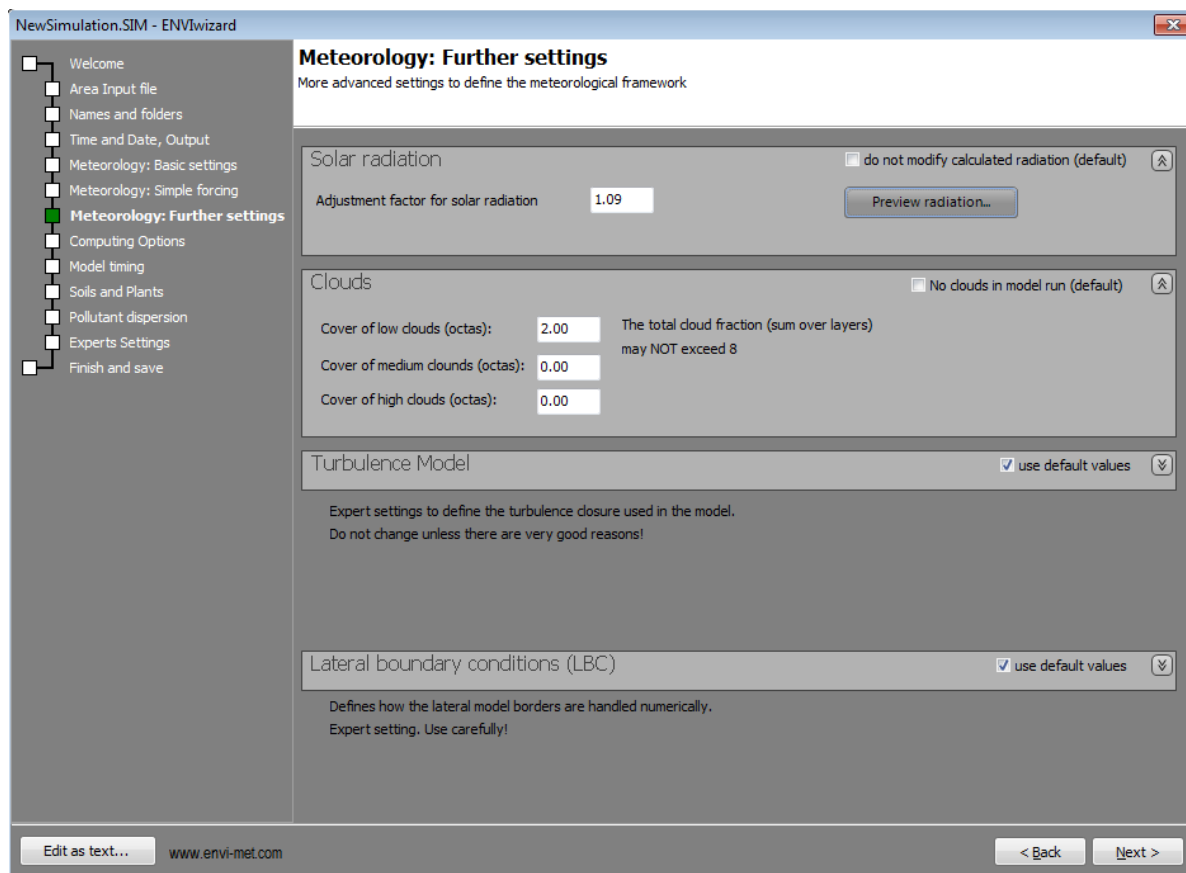
de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC⁷), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), relativos à estação SBVT, localizada no aeroporto de Vitória. Já para obter o dado de radiação global, foi utilizado o *software* RADIASOL2⁸, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no qual são inseridas as coordenadas geográficas do local, definindo-se a radiação a partir das horas do ano contabilizadas até o dia para o qual deseja-se obter o dado. O programa realiza os cálculos e aponta a radiação máxima característica para o determinado momento.

Inclui-se então os dados de cobertura de nuvens baixas, médias ou altas (em oitavas) nos respectivos campos que compõem a aba *Clouds*, e posteriormente acessa-se a ferramenta *Preview radiation*, disponibilizada na aba *Solar radiation* (Figura 43). Na tela acessada relativa à ferramenta (Figura 44), observa-se o valor máximo de radiação global previsto pelo programa, podendo ser aplicado um fator de ajuste, para mais ou para menos, visando aproxima-lo do valor correspondente ao identificado para o dia. O valor do fator de ajuste encontrado é então inserido no campo direcionado para tal, conforme apresentado na Figura 43. Para todas as demais seções que compõem o *Config Wizard*, incluindo dados de solo, vegetação e dispersão de poluentes, foram considerados os valores padrões adotados pelo programa. Por fim, na última seção do *Config Wizard* é salvo o arquivo de simulação com extensão (.SIM).

⁷ CPTEC: Dados disponíveis em <http://bancodedados.cptec.inpe.br/downloadBDM/consulta.jsp>. Acesso: dez. 2017.

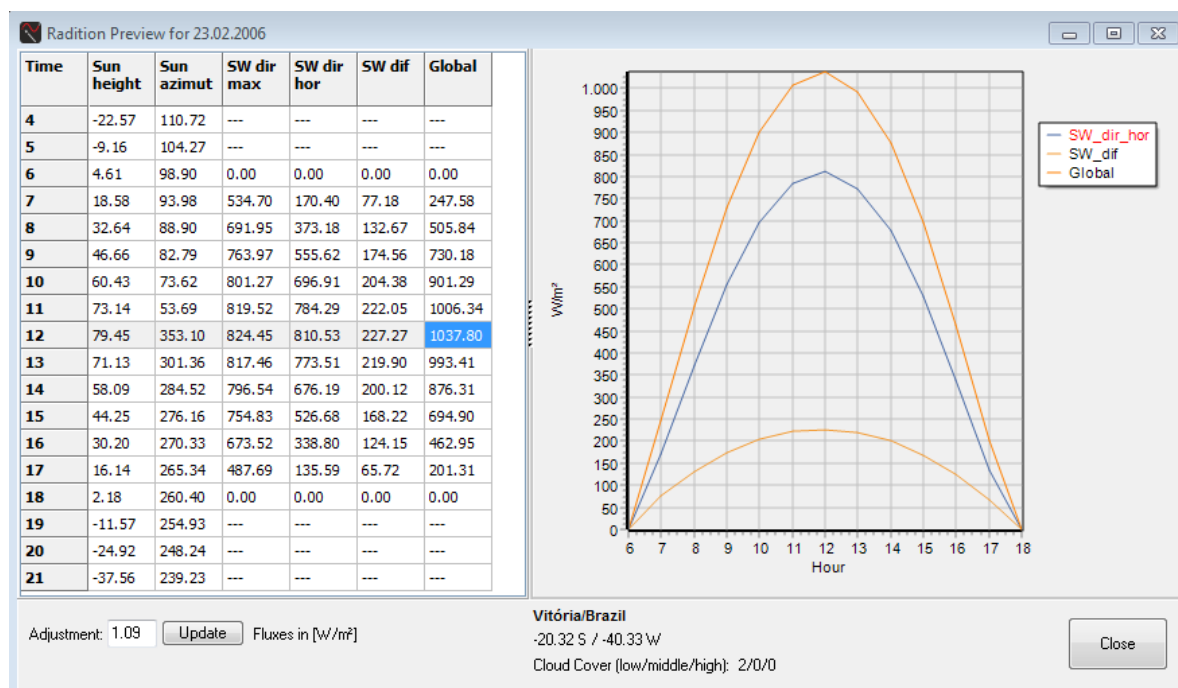
⁸ RADIASOL2: Disponível para download em: <http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>. Acesso: jul. 2017.

Figura 43: Seção *Meteorology: Further settings*, em *Config Wizard*, com a entrada de dados relativos à radiação solar e cobertura de nuvens.



Fonte: A autora.

Figura 44: Acesso ao *Preview radiation*, na seção *Meteorology: Further settings*, em *Config Wizard*, para identificação do fator de ajuste da radiação solar.



Fonte: A autora

Finalizada a etapa de criação do arquivo de simulação, pode ser dado início à **etapa 3**, que corresponde exatamente ao processamento da simulação. Através do ENVI_MET *Headquarter V4.3.0 Winter1718* acessa-se o ícone ENVI_MET (64Bit). Neste momento, seleciona-se o projeto criado para a simulação que se pretende realizar, sendo a mesma previamente carregada, clica-se em *Load Simulaton* e escolhe-se o arquivo de simulação configurado na etapa 2. Clica-se em *Check“NewSimulation.SIM”*, onde então é verificado se existem possíveis erros. Caso não apresente nenhum erro, inicia-se a simulação clicando em *Run“NewSimulation.SIM”*. A simulação despenderá tempo conforme sua complexidade e capacidade de processamento da máquina utilizada. As simulações realizadas para a pesquisa em questão demandaram um tempo médio de 35,53 horas por simulação, sendo que o menor e o maior tempo observados foram respectivamente 14,53 horas e 64,70 horas de processamento. Os dados sobre os recursos computacionais utilizados são apresentados no “INTRODUÇÃOAPÊNDICE C: Recursos computacionais para simulação”. Informações adicionais sobre as etapas 2 e 3 aqui descritas podem ser encontradas em ENVI_MET (2017c).

Finalizado o processo de simulação, os dados de saída se encontram salvos em pastas específicas para cada tipo de resultado fornecido pelo programa. Assim, é possível dar início à **etapa 4**, que consiste na representação gráfica dos resultados. Para isso, utiliza-se o *plug-in* LEONARDO 4.3.0 nas leituras e visualizações dos mesmos. O LEONARDO faz parte dos aplicativos que acompanham o programa e viabiliza a produção de plantas e cortes, cromáticos e vetoriais – os cartogramas –, das diversas variáveis disponibilizadas como resultados. Dependendo do tipo de arquivo de dados selecionado para a análise, podem ser extraídos até 36 diferentes informações, como no caso dos arquivos de saída relativos aos dados atmosféricos. A partir destes arquivos é possível obter dados como, por exemplo, temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s), direção do vento (°), temperatura radiante média (°C), temperatura de folha (°C), resistência dos estômatos (s/m), dentre outros. Já os arquivos de dados originários dos receptores, com extensão .1DT, podem ser lidos como dados de texto por programas de criação de planilhas, tal como o Microsoft Excel, viabilizando assim a realização de suas análises.

3.3.2 Valores e origens dos dados de entrada: simulações de calibragem e dos cenários paramétricos

Para a realização do estudo, foi necessária a preparação de dois conjuntos de dados de entrada voltados para a configuração dos arquivos de simulação com extensão .SIM. Isso se deu em virtude da necessidade de se efetuar as simulações de calibragem do programa e as simulações dos cenários paramétricos investigados em dias distintos.

As simulações de calibragem foram elaboradas utilizando dados do dia 18 de dezembro de 2017, dia este correspondente ao das medições microclimáticas de campo. Assim, viabilizou-se a comparação entre resultados simulados e coletados no local, verificando a acurácia das simulações e identificando possíveis necessidades de ajuste dos dados de entrada. A realização de tais ajustes visa preparar o programa para corresponder de forma satisfatória à realidade observada.

Já as simulações dos cenários paramétricos foram realizadas utilizando dados climáticos do dia 25 de fevereiro de 2006, o qual foi identificado como o dia mais quente em Vitória, considerando um recorte histórico de 30 anos. Observa-se que esse dia foi escolhido como representativo da provável condição de aquecimento climático futuro. Para definir a data que apresentava a característica de maior temperatura máxima diária já alcançada dentro do recorte temporal mencionado, foi realizada uma busca no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)⁹, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no qual são fornecidos dados climáticos diversos, sendo possível demarcar o período que se deseja ter acesso para análise.

O banco de dados mencionado disponibiliza um arquivo de texto com extensão .txt, que pode ser lido e tratado através de planilhas, de modo a identificar as características desejadas. O recorte temporal para a coleta dos dados históricos foi definido como sendo entre 01 de dezembro de 1987 e 01 de dezembro de 2017, tendo sido observado que a mais alta temperatura máxima diária registrada foi de 39,6 °C, no dia 25 de fevereiro de 2006.

⁹ BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso: dez. 2017.

Neste sentido, a coleta dos demais dados necessários para a configuração dos arquivos de simulações dos cenários paramétricos foi efetuada tendo como base tal data.

Dentre os dados climáticos necessários, foram utilizados os provenientes da estação meteorológica de observação de superfície automática, Vitória-A612¹⁰, localizada na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), cujos dados são disponibilizados pelo INMET, assim como os disponibilizados pelo INPE/CPTEC, provenientes da estação SBVT¹¹, localizada no Aeroporto de Vitória. Embora a estação Vitória-A612 esteja em funcionamento desde outubro de 2006, a pesquisa de dados é restrita aos últimos 365 dias. Diferentemente, a estação SBVT disponibiliza acesso aos dados SYNOP desde julho de 1995 e METAR desde julho de 1999.

Enquanto os dados METAR são disponibilizados de forma horária, os dados SYNOP são disponibilizados apenas de três em três horas, iniciando à meia noite de cada dia. Logo, quando necessário, os dados SYNOP utilizados nas simulações foram estimados através de médias. Porém, avaliou-se individualmente a forma de se considerar os valores dos parâmetros climáticos de entrada nas simulações, de modo que estes estivessem coerentes com a realidade identificada nas medições de campo.

Assim, para se definir, por exemplo, o valor de entrada de direção do vento, verificou-se o vetor resultante dentre as direções predominantes registradas pela estação meteorológica durante o período estabelecido para a realização das análises dos resultados gerados pelas simulações. Tal recorte também foi utilizado para identificar o valor de entrada de velocidade do vento, visto que ambos os valores são unitários e, portanto, constantes durante toda a simulação. Logo, para corresponder da melhor forma possível a realidade observada, foi utilizada como dado de entrada no arquivo de simulação a média dos valores registrados nos horários definidos como de enfoque das análises.

¹⁰ Vitória-A612: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática, ES-Vitória. Disponíveis em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas> Acesso: dez. 2017.

¹¹ SBVT: Estação meteorológica do aeroporto de Vitória. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/downloadBDM/consulta.jsp> Acesso: dez. 2017.

Contudo, após a realização de diversos testes de simulações de calibragem, observou-se a necessidade de adaptação de alguns dos valores de entrada, como por exemplo, a velocidade do vento. Assim, desconsiderou-se a velocidade fornecida pelo conjunto de dados das estações meteorológicas para ser utilizada (na simulação de calibragem) a própria velocidade média coletada nas medições de campo, conforme testado por SHINZATO (2009), e um dado proporcional à relação encontrada entre a velocidade apontada pela estação meteorológica SBVT/METAR e os dados medidos no local (nas simulações dos cenários paramétricos). Isso se deu ao ser observado que a média da velocidade do vento identificada nas medições, quando inserida como valor de entrada no arquivo de calibração, caracterizava um contexto simulado mais próximo da realidade.

Para isso, verificou-se o valor da velocidade do vento na estação SBVT/METAR durante o período das medições e identificou-se um valor de correspondência, uma proporcionalidade entre ambos os dados. Assim, enquanto a estação SBVT apresentou como média do período 7,25 m/s, nas medições de campo foi obtida uma média de 1,93 m/s, o que corresponde a 26,58% da média de velocidade do vento registradas na estação do aeroporto. Esta diferença observada entre os dados fornecidos pela estação SBVT e coletados no local é significativa em função da estação do Aeroporto se encontrar em campo aberto, enquanto as estações móveis utilizadas nas medições de campo sofrem influência do contexto edificado onde foram inseridas.

Os dados de direção do vento são similares, tanto para o contexto temporal das simulações de calibragem (18 de dezembro de 2017), quanto para os cenários paramétricos (25 de fevereiro de 2006). Logo, para se definir a velocidade do vento utilizada nos cenários paramétricos, considerou-se uma proporção da velocidade do vento fornecida por SBVT, utilizando como fator de ajuste o percentual de 26,58 %, identificado no processo de calibração.

O dado de entrada solicitado pelo programa, relativo ao comprimento de rugosidade, corresponde à característica da superfície sobre a qual foi locada a estação microclimática utilizada nas medições de campo, segundo Francisco (2012) e Gusson (2014). Logo, tratando-se de pavimento liso de concreto, o valor de comprimento de rugosidade correspondente é de 0,01 (FRANCISCO, 2012).

Os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar utilizados nas simulações de calibragem foram provenientes tanto da estação Vitória-A612 quanto da estação SBVT/METAR e SBVT/SYNOP, dependendo do teste realizado. Os dados de temperatura do ar, provenientes de METAR também foram utilizados nas simulações dos cenários paramétricos, tendo sido coletados de modo horário, de 00h às 23h, dos respectivos dias simulados. Por sua vez, os dados de umidade relativa do ar, quando extraídos de SBVT/SYNOP, como mencionado anteriormente, foram preenchidos com médias calculadas com o valor anterior e posterior aos campos faltosos. Isso por que, ao utilizar-se a ferramenta *simple forcing*, é necessária a entrada de dados horários tanto de temperatura do ar quanto de umidade relativa do ar.

Os dados referentes à umidade específica a 2.500 m de altura, para ambos os contextos temporais avaliados – fevereiro de 2006 e dezembro de 2017 –, foram acessados através do site do departamento de ciências atmosféricas da Universidade de *Wyoming*¹² (FRANCISCO, 2012; GUSSON; DUARTE, 2016). Nele foram selecionados os dados de umidade específica correspondente à estação de Vitória/ES (código 83649) para os dias definidos das simulações. Foram encontrados disponíveis apenas os dados de 12Z (UTC) que correspondem ao de 9 horas local (horário enquadrado dentro do período de enfoque das análises dos resultados).

Já os dados de coberturas de nuvens em oitavas foram definidos através da média de ocorrências registradas em SBVT/ SYNOP, tendo sido considerado como período de interesse aquele no qual a superfície se manteve sob influência da radiação solar. Logo, os dados noturnos de cobertura de nuvens não foram considerados para o cálculo. Contudo, de acordo com a calibragem observou-se que a cobertura de nuvens influenciou diretamente nos resultados simulados. Enquanto no levantamento de campo identificou-se céu predominantemente com duas octas encobertas, a estação forneceu dados de céu indicando predominância de quatro octas encobertas. Logo, optou-se por realizar teste de calibragem reduzindo o valor de cobertura de nuvens fornecido pela estação, visando identificar se os resultados de simulação se aproximavam dos dados coletados em campo, o que se

¹² Universidade de *Wyoming*: acesso ao portal de dados meteorológicos através do site <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> Acesso em: 13 de jun. de 2017 e 20 de dez. de 2017.

confirmou. Assim, tomou-se como parâmetro de calibragem utilizar um valor correspondente à metade do valor fornecido pela estação SBVT/ SYNOP para cobertura de nuvens.

Em relação aos dados de radiação solar, como mencionado no tópico 3.3.1 Modelagem e processos de configurações, para sua definição foi utilizado o programa RADIASOL2, com o qual identificou-se os valores máximos de radiação global de 1033 (W/m²) para dia 25 de fevereiro de 2006 e 840 (W/m²) para 18 de dezembro de 2017. Assim, coletados os dados de entrada básicos, realizou-se a primeira simulação, referente à verificação da necessidade de calibragem do programa. Os dados de entrada utilizados nesta etapa são apresentados nas Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 3: Dados climáticos de entrada para a configuração do arquivo de simulação (.SIM), referente a simulação de calibragem 01 do programa ENVI_MET 4.3.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
1	Data de início (dd/mm/aaaa)	17/12/2017	Definido pela autora
2	Hora de início (hora)	21:00:00	Definido pela autora
3	Duração (horas)	26	Definido pela autora
4	Intervalo dos receptores (min.)	15	Definido pela autora
5	Intervalo dos dados gerais (min.)	60	Definido pela autora
6	Velocidade do ar (m/s)	3,17	Vitória - A612
7	Direção do ar (°)	31	Vitória - A612
8	Coeficiente de rugosidade	0,01	FRANCISCO (2012)
9	Temperatura do ar (°C) *	ver Tabela 4	Vitória - A612
10	Umidade Relativa (%) *	ver Tabela 5	Vitória - A612
11	Umidade específica a 2500 m (g/kg)	3,59	Universidade de Wyoming
12	Coeficiente de radiação solar	1,1	Preview radiation (ENVI_METt)
13	Cobertura do céu 1ª/2ª/3ª camadas (oitavas)	4/0/0	SBVT / SYNOP
14	Demais dados	Padrão	ENVI_MET

*Foram utilizados dados horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar, conforme solicitado pelo programa ao se optar pelo uso da ferramenta *Simple forcing*. Fonte: A autora.

Tabela 4: Dados horários de Temperatura do ar (°C) do dia 18/12/2017 da estação Vitória - A612 inseridos na ferramenta *Simple forcing*.

HORAS	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
T (°C)	24,0	22,9	21,8	21,2	21,3	20,7	22,0	26,6	27,9	28,0	29,2	29,5
HORAS	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
T (°C)	29,6	29,3	29,8	29,6	28,1	27,6	26,2	25,7	25,3	25,0	24,1	23,5

Fonte: A autora.

Tabela 5: Dados horários de Umidade Relativa (%) do dia 18/12/2017 da estação Vitória - A612 inseridos na ferramenta *Simple forcing*.

HORAS	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
UR (%)	81	85	77	77	77	77	77	68	65	57	54	56
HORAS	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
UR (%)	56	52	52	53	57	60	68	72	74	77	81	84

Fonte: A autora.

Contudo, quando comparados os dados adquiridos nas medições de campo com os resultados da Simulação de Calibragem 1 (SC1), foi identificada a necessidade de ajustes. As descrições das análises de acurácia de todas as simulações de calibração realizadas neste estudo são apresentadas no tópico 3.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO, no qual são comparados os resultados obtidos nas simulações e os dados coletados em campo. Assim, para a realização da calibragem do programa, foram desenvolvidas simulações nas quais se alterou tanto parâmetros climáticos como métodos de simulação, visando alcançar aproximações entre os resultados medidos em campo e os simulados. No total foram realizadas 11 simulações de calibragem e as alterações testadas são apresentadas a seguir:

- **Simulação de Calibragem 1 (SC1):** Simulação inicial, com dados de entrada conforme apresentado nas Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5;
- **Simulação de Calibragem 2 (SC2):** tal como SC1, porém, com as alterações dos dados apresentadas na Tabela 6;
- **Simulação de Calibragem 3 (SC3):** tal como SC1, porém, com as alterações dos dados apresentadas na Tabela 7;
- **Simulação de Calibragem 4 (SC4):** tal como SC1, porém, sem a utilização da ferramenta *Simple forcing*, conforme alterações de dados apresentadas na Tabela 8;
- **Simulação de Calibragem 5 (SC5):** tal como SC4, porém, com as alterações dos dados apresentadas na Tabela 9;
- **Simulação de Calibragem 6 (SC6):** tal como SC1, porém, com as alterações dos dados apresentadas na Tabela 10;
- **Simulação de Calibragem 7 (SC7):** tal como SC1, porém, com as alterações dos dados apresentadas nas Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13;
- **Simulação de Calibragem 8 (SC8):** tal como SC7, porém, com as alterações dos dados apresentadas na Tabela 14;
- **Simulação de Calibragem 9 (SC9):** tal como SC8, porém, com a alteração do dado apresentada na Tabela 15;
- **Simulação de Calibragem 10 (SC10):** tal como SC8, porém, com as alterações dos dados apresentadas na Tabela 16;
- **Simulação de Calibragem 11 (SC11):** tal como SC8, porém, com a alteração do dado apresentada na Tabela 17.

Tabela 6: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 2.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
12	Coeficiente de radiação solar	0,88 ⁽¹⁾	Preview radiation (ENVI_MET)
13	Cobertura do céu 1ª/2ª/3ª camadas (oitavas)	2/0/0 ⁽²⁾	50% de SBVT / SYNOP

⁽¹⁾ Alteração do coeficiente de radiação para manter o valor de radiação global máxima identificado para o dia simulado;

⁽²⁾ Redução do dado de nebulosidade fornecido pela estação meteorológica em 50% considerando dados observados em campo.

Fonte: A autora.

Tabela 7: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 3.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
2	Hora de início (hora)	00:00:00	Definido pela autora
3	Duração (horas)	48 ⁽³⁾	Definido pela autora

⁽³⁾ Aumento da quantidade de horas simuladas, visando descartar maior quantidade de horas iniciais, tendo em vista maior estabilidade dos dados de saída do 2º dia de simulação (GUSSON, 2014).

Fonte: A autora.

Tabela 8: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 4.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
9	Temperatura do ar (°C)	25,79 ⁽⁴⁾	Vitória - A612
10	Umidade Relativa do ar (%)	69,80 ⁽⁴⁾	Vitória - A612

⁽⁴⁾ Média dos dados horários de T e UR das 00h às 23h do dia 18/12/2017 (data de enfoque de análise dos resultados).

Fonte: A autora.

Tabela 9: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 5.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
2	Hora de início (hora)	00:00:00	Definido pela autora
3	Duração (horas)	48 ⁽⁵⁾	Definido pela autora

⁽⁵⁾ Aumento da quantidade de horas simuladas, visando descartar maior quantidade de horas iniciais, tendo em vista maior estabilidade dos dados de saída do 2º dia de simulação (GUSSON, 2014).

Fonte: A autora.

Tabela 10: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 6.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
1	Data de início (dd/mm/aaaa)	16/12/2017	Definido pela autora
2	Hora de início (hora)	21:00:00	Definido pela autora
3	Duração (horas)	72 ⁽⁶⁾	Definido pela autora

⁽⁶⁾ Aumento da quantidade de horas simuladas, visando realizar dois testes de descarte de horas: 1º com descarte de 24 horas iniciais e 24 horas finais e o 2º com descarte de 48 horas iniciais, tendo em vista verificação de maior estabilidade dos dados de saída.

Fonte: A autora.

Tabela 11: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 7.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
6	Velocidade do ar (m/s)	1,00 ⁽⁷⁾	Definido pela autora
9	Temperatura do ar (°C) *	ver Tabela 12 ⁽⁸⁾	SBVT / METAR
10	Umidade Relativa (%) *	ver Tabela 13 ⁽⁸⁾	SBVT / SYNOP

* Foram utilizados dados horários de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR), conforme solicitado ao se optar pelo uso da ferramenta *Simple forcing*.

⁽⁷⁾ Redução do dado de velocidade do ar, conforme indicado em estudos que identificaram melhor estabilidade do modelo com valores mais baixos (FRANCISCO, 2012; GUSSON, 2014; SHINZATO, 2009);

⁽⁸⁾ Substituição dos dados de T e UR da estação Vitória - A612 pelos da estação SBVT, considerando equivalência apontada pelos alto nível de correlação identificado entre dados das respectivas estações.

Fonte: A autora.

Tabela 12: Dados horários de Temperatura do ar (°C) do dia 18/12/2017 da estação SBVT / METAR inseridos na ferramenta *Simple forcing*.

HORAS	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
T (°C)	24,0	24,0	24,0	23,0	23,0	23,0	22,0	26,0	27,0	29,0	29,0	30,0
HORAS	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
T (°C)	29,0	30,0	30,0	29,0	29,0	28,0	26,0	26,0	26,0	25,0	24,0	24,0

Fonte: A autora.

Tabela 13: Dados horários de Umidade Relativa (%) do dia 18/12/2017 da estação SBVT / SYNOP inseridos na ferramenta *Simple forcing*.

HORAS	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
UR (%)	87,0	89,5	89,5	92,0	92,0	92,0	92,0	78,0	78,0	64,0	64,5	64,5
HORAS	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
UR (%)	65,0	63,5	63,5	62,0	69,0	69,0	76,0	79,0	79,0	82,0	84,5	84,5

Fonte: A autora.

Tabela 14: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 8.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
1	Data de início (dd/mm/aaaa)	16/12/2017	Definido pela autora
2	Hora de início (hora)	21:00:00	Definido pela autora
3	Duração (horas)	52 ⁽⁹⁾	Definido pela autora
6	Velocidade do ar (m/s)	1,93 ⁽¹⁰⁾	Medições de campo

⁽⁹⁾ Aumento da quantidade de horas simuladas, visando descartar maior quantidade de horas iniciais, tendo em vista maior estabilidade dos dados de saída do 2º dia de simulação (GUSSON, 2014);

⁽¹⁰⁾ Média de velocidade do ar calculada a partir dos dados coletados nas medições de campo.

Fonte: A autora.

Tabela 15: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 9.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
6	Velocidade do ar (m/s)	0,50 ⁽¹¹⁾	Definido pela autora

⁽¹¹⁾ Redução do dado de velocidade do ar, conforme indicado em estudos que identificaram melhor estabilidade do modelo com valores mais baixos (FRANCISCO, 2012; GUSSON, 2014; SHINZATO, 2009).

Fonte: A autora.

Tabela 16: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 10.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
12	Coeficiente de radiação solar	0,88 ⁽¹²⁾	Preview radiation (ENVI-met)
13	Cobertura do céu 1ª/2ª/3ª camadas (oitavas)	2/0/0 ⁽¹³⁾	50% de SBVT / SYNOP

⁽¹²⁾ Alteração do coeficiente de radiação para manter o valor de radiação global máxima identificada para o dia simulado;

⁽¹³⁾ Redução do dado de nebulosidade fornecido pela estação meteorológica em 50% considerando dados observados em campo.

Fonte: A autora.

Tabela 17: Dados de entrada alterados na simulação de calibração 11.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
11	Umidade específica a 2500 m (g/kg)	8,78 ⁽¹⁴⁾	Universidade de Wyoming

⁽¹⁴⁾ Média dos dados de UE provenientes das estações 83746 (aeroporto Galeão/RJ) e 83566 (aeroporto Confins/MG), às 21h do dia 17/12/2017 (anterior ao de enfoque da análise), tendo em vista o não fornecimento deste dado para a estação 83649 (Vitória/ES), tanto para o dia de enfoque da simulação de calibração quanto para das simulações dos cenários paramétricos.

Fonte: A autora.

Por fim, a simulação que obteve o melhor resultado comparativo entre dados medidos e simulados foi a SC10, cujos dados utilizados na configuração do arquivo de simulação seguem apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Dados de entrada para a configuração do arquivo de simulação (.SIM), referente a simulação de calibragem 10 do programa ENVI_MET 4.3.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
1	Data de início (dd/mm/aaaa)	16/12/2017	Definido pela autora
2	Hora de início (hora)	21:00:00	Definido pela autora
3	Duração (horas)	52	Definido pela autora
4	Intervalo dos receptores (min.)	15	Definido pela autora
5	Intervalo dos dados gerais (min.)	60	Definido pela autora
6	Velocidade do ar (m/s)	1,93	Medições de campo
7	Direção do ar (°)	31	SBVT / SYNOP
8	Coeficiente de rugosidade	0,01	FRANCISCO (2012)
9	Temperatura do ar (°C) *	ver Tabela 12	SBVT / METAR
10	Umidade Relativa (%) *	ver Tabela 13	SBVT / SYNOP
11	Umidade específica a 2500 m (g/kg)	3,59	Universidade de Wyoming
12	Coeficiente de radiação solar	0,88	Preview radiation (ENVI_MET)
13	Cobertura do céu 1ª/2ª/3ª camadas (oitavas)	2/0/0	50% de SBVT / SYNOP
14	Demais dados	Padrão	ENVI_MET

* Foram utilizados dados horários de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR), conforme solicitado ao se optar pelo uso da ferramenta *Simple forcing*. Fonte:A autora.

Partindo-se do princípio de definição dos dados de entrada identificados no processo de calibração do programa, foram levantados os dados de entrada para configuração dos arquivos de simulação dos cenários paramétricos. Estes são apresentados na Tabela 19. É importante ressaltar que, embora tenham sido simulados quatro cenários paramétricos,

todos foram realizados com as mesmas configurações de arquivo de simulação, exceto pela alteração do arquivo correspondente à modelagem, que foi inserido de acordo com cada cenário representado.

Tabela 19: Dados de entrada para a configuração do arquivo de simulação (.SIM), referente as simulações dos cenários paramétricos, utilizando o programa ENVI_MET 4.3.

Nº	TIPO DE DADO	VALOR	FONTE
1	Data de início (dd/mm/aaaa)	23/02/2006	Definido pela autora
2	Hora de início (hora)	21:00:00	Definido pela autora
3	Duração (horas)	52	Definido pela autora
4	Intervalo dos receptores (min.)	15	Definido pela autora
5	Intervalo dos dados gerais (min.)	60	Definido pela autora
6	Velocidade do ar (m/s)	1,78	26,58 % de SBVT / METAR
7	Direção do ar (°)	45	SBVT / SYNOP
8	Coeficiente de rugosidade	0,01	FRANCISCO (2012)
9	Temperatura do ar (°C) *	ver Tabela 20	SBVT / METAR
10	Umidade Relativa (%) *	ver Tabela 21	SBVT / SYNOP
11	Umidade específica a 2500 m (g/kg)	6,3	Universidade de Wyoming
12	Coeficiente de radiação solar	1,09	Preview radiation (ENVI_MET)
13	Cobertura do céu 1ª/2ª/3ª camadas (oitavas)	2/0/0	50 % de SBVT / SYNOP
14	Demais dados	Padrão	ENVI_MET

* Foram utilizados dados horários de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR), conforme solicitado ao se optar pelo uso da ferramenta *Simple forcing*. Fonte: A autora.

Tabela 20: Dados horários de Temperatura do ar (°C) do dia 25/02/2006 da estação SBVT / METAR inseridos na ferramenta *Simple forcing*.

HORAS	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
T (°C)	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	26,0	26,0	28,0	32,0	35,0	38,0	40,0
HORAS	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
T (°C)	40,0	40,0	38,0	36,0	34,0	32,0	33,0	31,0	30,0	30,0	29,0	27,0

Fonte: A autora.

Tabela 21: Dados horários de Umidade Relativa (%) do dia 25/02/2006 da estação SBVT / SYNOP inseridos na ferramenta *Simple forcing*.

HORAS	00h	01h	02h	03h	04h	05h	06h	07h	08h	09h	10h	11h
UR (%)	89,0	89,0	89,0	89,0	90,5	90,5	92,0	74,5	74,5	57,0	44,5	44,5
HORAS	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
UR (%)	32,0	42,0	42,0	52,0	58,5	58,5	65,0	64,5	64,5	64,0	74,0	74,0

Fonte: A autora.

3.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO

Segundo Hallak e Pereira (2011), metodologias de avaliação da acurácia de modelos de previsões dos fenômenos meteorológicos têm grande relevância entre os problemas científicos que envolvem os estudos baseados em simulações computacionais, motivando investigações globais. Ao abordar a utilização de modelos matemáticos de simulação para a representação de propriedades dinâmicas e termodinâmicas da Camada Limite Planetária

(CLP), Santiago (2009) destaca a importância de serem aplicadas análises estatísticas para comprovar a competência dos modelos e possibilitar uma melhor interpretação dos resultados obtidos. Para a calibração de tais modelos, vários métodos estatísticos podem ser aplicados visando avaliar a concordância entre os resultados provenientes das simulações e os valores observados no contexto real (CORREA, et al., 2013; CORREA; VALE, 2016).

Em pesquisa direcionada à verificação do desempenho de simulações numéricas ligadas a fenômenos meteorológicos, Hallak e Pereira (2011) apresentam diversos métodos estatísticos aplicáveis e suas adequabilidades à avaliação de tais acurácias. Os autores analisaram estudos consagrados na área de estatística, destacando ao final os desenvolvidos por Willmot (1982), Pielke (2002) e Wilks (2006). A partir dos critérios propostos por Pielke (2002) para a determinação da qualidade de uma simulação, Hallak e Pereira (2011) propõem e testam um novo índice de destreza para modelos, o D_{PIELKE} , constatando que o mesmo apresentou desempenho adequado para o tipo de simulação em que foi aplicado. Outros estudos da área de meteorologia que envolvem simulações numéricas, tais como Morais (2014) e Guerrero (2015), também utilizaram o índice D_{PIELKE} na verificação da destreza de seus respectivos modelos.

A correspondência de uma mesma variável entre pontos simulados e medidos (por exemplo, temperatura do ar) proporciona um teste quantitativo para mensurar a habilidade (ou destreza) do modelo em reproduzir ou prever determinadas condições (PIELKE, 2002, *apud* HALLAK; PEREIRA, 2011). Para a avaliação de tal correspondência, vários índices estatísticos derivam da diferença (d_n) entre a variável (T , por exemplo) simulada no ponto “ n ” (T_{ns}) e a variável observada no mesmo ponto “ n ” (T_{no}), relativas àquele espaço bidimensional e àquele instante “ t ” nas “ n ” condições (HALLAK e PEREIRA, 2011). Assim, d_n é expresso por:

$$d_n = T_{ns} - T_{no} \quad (1)$$

De modo simplificado, $d_n = 0$ indica uma simulação perfeita para a variável avaliada no determinado ponto, diante das condições de espaço e tempo comuns às duas realidades (simulada e observada). Por outro lado, $d_n \gg 0$ ou $d_n \ll 0$ sugerem resultados imperfeitos (HALLAK; PEREIRA, 2011). O autor ainda explicita que, embora a somatória ($\sum d_n$) sirva para expressar a qualidade de uma simulação quanto à variável considerada, seu resultado não contribui na interpretação das fontes dos erros. Uma das medidas derivadas de d_n é o Erro Médio (ME, do original em inglês *Mean Error*), também conhecido como Viés (*Bias*, em

inglês), erro sistemático, ou ainda tendência, justamente por permitir identificar a tendência apresentada pelo modelo em superestimar ou subestimar a variável considerada em relação aos dados observados. Contudo, Hallak e Pereira (2011) destacam que o *Bias* não pode ser usado como medida de acurácia de simulações, por não informar os erros individualmente, sendo possivelmente que o erro final da simulação seja interpretado menor do que é na realidade, visto que os erros individuais (positivos e negativos) de mesma magnitude se cancelam na somatória.

Já o Erro Quadrático Médio, (MSE, do original em inglês *Mean Square Error*) (WILKS, 2006; HALLAK; PEREIRA, 2011), contorna este problema, se mostrando mais sensível aos grandes erros por elevar as diferenças individuais ao quadrado e, por sua vez, é comumente usado ao se avaliar a destreza de modelos numéricos. Derivado do MSE, surge a medida Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE, do original em inglês *Root Mean Square Error*), tendo como vantagem o fato de apresentar seus resultados com a mesma dimensão da variável analisada (HALLAK; PEREIRA, 2011).

Hallak e Pereira (2011) ainda apontam que o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), assim como seu equivalente, coeficiente de determinação (R^2) devem ser cautelosamente considerados na avaliação de acurácia de simulações, podendo levar a falsas conclusões dependendo de sua aplicação, não sendo adequados para indicar completamente a medida de precisão de uma simulação quando analisados isoladamente, tal como seu análogo, coeficiente de correlação espacial (ρ). Willmot (1982), por exemplo, indica que muitas vezes, a inclinação da reta de regressão linear e o parâmetro de intercepção podem fornecer mais informações sobre a conformidade dos testes do que o próprio valor dos coeficientes (WILLMOT, 1982; HALLAK e PEREIRA, 2011). Do mesmo modo, acaba sendo simplificada a avaliação de calibração e validação de um modelo quando feita apenas através da comparação do comportamento visual dos gráficos provenientes dos dados gerados e observados.

Por sua vez, o Índice de Concordância (IC), proposto por Willmot (1982), é aplicável à comparação de diferentes simulações de um mesmo fenômeno, demonstrando aquela cuja concordância entre dados simulados e observados em campo é maior. Isso ocorre por o mesmo fornecer informações sobre o tamanho relativo das diferenças, ($0 \leq IC \leq 1$), sendo que $IC = 1$ indica concordância perfeita (WILLMOT, 1982; HALLAK e PEREIRA, 2011).

Diante de estudos estatísticos aplicáveis à avaliação da acurácia de modelos numéricos, Pielke (2002) propõe uma metodologia complementar para a determinação da qualidade de simulações computacionais, de modo que, ao preencher três critérios, sua destreza pode ser considerada verdadeira. São eles:

- I) $\sigma_s \cong \sigma_o$ ou, equivalente, $\frac{\sigma_s}{\sigma_o} \cong 1$;
- II) $RMSE < \sigma_o$;
- III) $RMSE_{BIAS} < \sigma_o$;

Onde: σ_s é o desvio padrão dos dados simulados, σ_o é o desvio padrão dos dados observados em campo, $RMSE$ é a Raíz do Erro Quadrático Médio e $RMSE_{BIAS}$ é a Raíz do Erro Quadrático Médio com a subtração de *Bias* constante (PIELKE, 2002 *apud* HALLAK e PEREIRA 2011).

Mais informações sobre erros, métricas, escores e índices estatísticos apresentados e aplicáveis à avaliação da acurácia de simulações ou previsões, dentre definições e fórmulas, podem ser encontrada em Hallak e Pereira (2011). Diante dos critérios estabelecidos por Pielke (2002), Hallak e Pereira (2011) propõem um índice de destreza, denominado D_{PIELKE} , que, assim como o IC de Willmot (1982), permite comparar o melhor desempenho entre diferentes simulações de um mesmo fenômeno, de modo que a destreza do modelo é medida da seguinte forma:

- 1) Sua destreza fica comprovada se: $D_{PIELKE} < 2$;
- 2) A melhor simulação entre aquelas do mesmo caso é a que apresentar o menor valor de D_{PIELKE} ;
- 3) Simulações perfeitas apresentam $D_{PIELKE} = 0$.

Assim, para se chegar ao valor de D_{PIELKE} utiliza-se a seguinte equação¹³:

$$D_{PIELKE} = \text{ABS} \left(1 - \frac{\sigma_s}{\sigma_o} \right) + \frac{RMSE}{\sigma_o} + \frac{RMSE_{BIAS}}{\sigma_o} \quad (3)$$

Diante de tais considerações, para a verificação da acurácia do modelo utilizado neste trabalho, foram aplicados métodos estatísticos na avaliação dos resultados das simulações de calibragem descritas no tópico 3.3.2 Valores e origens dos dados de entrada: simulações de calibragem e dos cenários paramétricos. Os testes analisaram as variáveis Temperatura

¹³ Equação proposta por Hallak e Perreira (2011).

do ar (T) e Umidade Relativa do ar (UR), comparando três pontos distintos do modelo em relação aos seus respectivos correspondentes, nos quais foram realizadas as coletas de dados em campo conforme apresentados no tópico 3.2.2 Medições de campo.

Embora tenham sido realizadas avaliações estatísticas para todas as 11 simulações de calibragem, serão apresentadas as três consideradas mais representativas no processo: a primeira relativa à simulação de calibragem **SC1**, correspondente àquela com dados de entrada originais, sem alterações de parâmetros; a segunda relativa ao pior resultado observado entre as simulações de calibragem realizadas, correspondente à simulação **SC5**; e, a terceira com o melhor resultado encontrado, a simulação de calibragem **SC10**, tendo sido considerada como simulação padrão para os cenários paramétricos.

Tendo em vista a aplicação dos critérios de habilidade estabelecidos por Pielke (2002), o índice de destreza D_{PIELKE} e o Índice de Concordância (IC), foram calculados o desvio padrão de valores simulados (σ_s), o desvio padrão dos valores observados em campo (σ_o), Erro Médio (ME), Erro Quadrático Médio (MSE), a Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE), a Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio com subtração de *Bias* constante ($RMSE_{BIAS}$), o próprio Índice de Concordância (IC), além dos coeficientes de correlação de Pearson (r) e de determinação (R^2). A aplicação de tal conjunto de avaliações estatísticas visa contribuir para a interpretação do comportamento do modelo, conforme a característica de cada índice calculado. Os resultados são apresentados em sequência, trazendo os valores alcançados para SC1, SC5 e SC10, respectivamente expostos nas Tabela 22, Tabela 23 e Tabela 24, apresentadas no decorrer do detalhamento das informações.

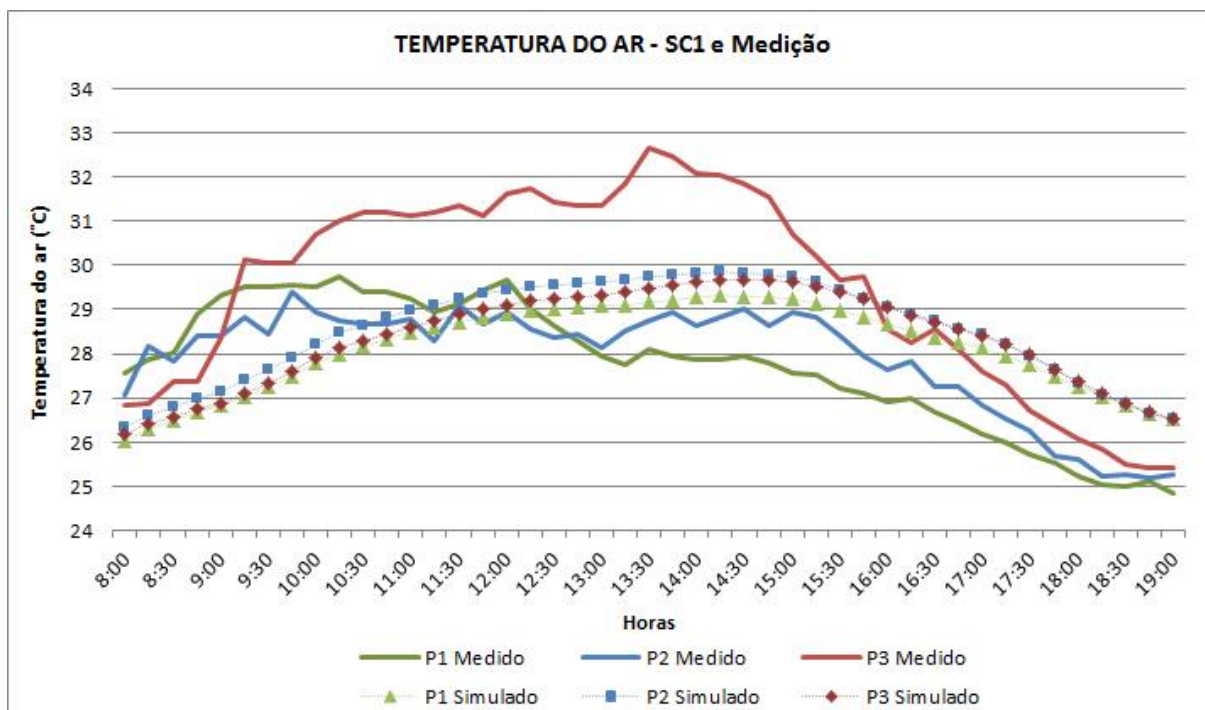
Tabela 22: Análise da acurácia da Simulação de Calibragem 1 (SC1).

Variável	r	R ²	ME	σ_s	σ_o	RMSE	RMSE _{BIAS}	IC	D _{PIELKE}	Critérios de Habilidade		
										I	II	III
P1 (T)	0,31	0,10	0,34	1,10	1,48	1,57	1,53	0,44	2,35	SIM	NÃO	NÃO
P2 (T)	0,64	0,41	0,56	1,23	1,23	1,18	1,04	0,73	1,80	SIM	SIM	SIM
P3 (T)	0,80	0,64	-1,10	1,19	2,33	1,89	1,53	0,71	1,96	SIM	SIM	SIM
P1 (UR)	0,54	0,29	-11,30	3,37	7,06	12,74	5,89	0,24	3,16	SIM	NÃO	SIM
P2 (UR)	0,78	0,60	-10,99	3,97	6,48	11,76	4,19	0,36	2,85	SIM	NÃO	SIM
P3 (UR)	0,87	0,76	-4,76	3,95	9,34	7,77	6,14	0,68	2,07	SIM	SIM	SIM

Fonte: A autora.

No que diz respeito às análises das simulações de calibragem, como mencionado anteriormente, constatou-se condição insatisfatória de correspondência entre os dados medidos e simulados na SC1, o que levou a realização dos demais testes de calibragem. Como pode ser observado na Tabela 22, dentre os três critérios de habilidade aplicados, não foram atendidos os critérios II e III para P1 (T), assim como também não foi atendido o critério II para P1 (UR) e P2 (UR). Além deste aspecto, apenas dois dentre os seis índices de destrezas D_{PIELKE} calculados tiveram resultados satisfatórios, comprovando a destreza da simulação para as variáveis P2 (T) e P3 (T), que também corresponderam a aquelas com melhores resultados para IC. A medida ME permitiu observar que na SC1 o modelo subestimou consideravelmente os resultados para UR nos três pontos avaliados, embora de acordo com o coeficiente de determinação R^2 , 76% dos dados de P3 (UR) apresentem correspondência. P3 (UR) também atende aos três critérios de habilidade, porém, de acordo com o índice D_{PIELKE} , sua destreza não pode ser considerada comprovada, já que seu valor é >2 . Os Gráfico 1 e Gráfico 2 mostram os comportamentos de T e UR apresentados pelo modelo nos três pontos avaliados, em comparação com os dados observacionais coletados no local.

Gráfico 1: Comportamento de T nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC1 e medidos em campo.



Fonte: A autora.

O Gráfico 1 permite observar que, mesmo o modelo indicando diferenças de temperatura entre os resultados das simulações para os três pontos avaliados, essas diferenças são muito sutis quando comparadas com as observadas entre os dados medidos em campo. As maiores diferenças observadas entre dados simulados são de $0,5^{\circ}\text{C}$, identificadas entre P1 Simulado e P2 Simulado, correspondentes aos valores das 13h15min, 13h30min e 13h45min, embora P2 apresente as mais altas temperaturas simuladas entre 14h e 14h30min, com pico de $29,8^{\circ}\text{C}$ às 14h15min. Já em relação aos dados medidos em campo, a diferença entre temperaturas chega a $4,5^{\circ}\text{C}$, ao serem comparados os valores de P1 Medido e P3 Medido, das 13h30min e 13h45min, dentre os quais P3 se destaca com os maiores valores registrados em campo. Em P3 Medido identificou-se $32,6^{\circ}\text{C}$ e $32,4^{\circ}\text{C}$, contra $28,1^{\circ}\text{C}$ e $27,9^{\circ}\text{C}$ de P1 Medido nos horários mencionados.

Nos resultados da SC1, as temperaturas dos três pontos tendem a se mostrarem mais próximas no período de início da manhã, se diferenciando, sobretudo, nos horários de maior incidência solar e voltando a se aproximarem no final da tarde e início da noite. A maior diferença entre temperaturas simuladas e medidas no P1 foi relativa ao dado de 9h15min, quando a temperatura registrada em campo foi de $29,5^{\circ}\text{C}$ e simulada de $27,0^{\circ}\text{C}$, estando assim $2,5^{\circ}\text{C}$ abaixo da identificada no local. A partir das 12h15min os dados simulados passam a ser mais altos do que os medidos, não representando a queda de temperatura observada em campo. Apesar do modelo inverter o comportamento da temperatura a partir das 14h15min, quando a mesma começa a decrescer, sua queda é proporcionalmente mais lenta do que a observada em campo. Assim, às 17h30min e 18h, embora a temperatura de simulação se apresente em queda, os dados simulados encontram-se $2,0^{\circ}\text{C}$ acima dos coletados em campo.

Quanto ao comportamento da temperatura medida e simulada no P2, observa-se que no período da manhã o modelo apresenta temperatura de até $1,6^{\circ}\text{C}$ menor do que as observadas em campo. A partir das 10h30min os dados simulados passam a ser mais altos do que os medidos, não representando de forma significativa as temperaturas medidas no P2 que, embora tenham sofrido variações de quedas e elevações no período da tarde, passando a decrescer definitivamente a partir das 15h, têm seus valores mantidos sempre abaixo dos simulados para os períodos correspondentes. Apesar de o modelo inverter o comportamento da temperatura a partir das 14h45min para P2 Simulado, passando a

apresentar queda nos seus valores, sua queda também se mostra mais lenta do que a observada em P2 Medido, de modo que os dados simulados se mantêm superestimados em relação aos medidos no local. Assim, o momento de maior diferença entre temperatura medida e simulada para o P2 é observado às 17h45min, quando o dado simulado se mostra 1,9°C superior ao medido em campo.

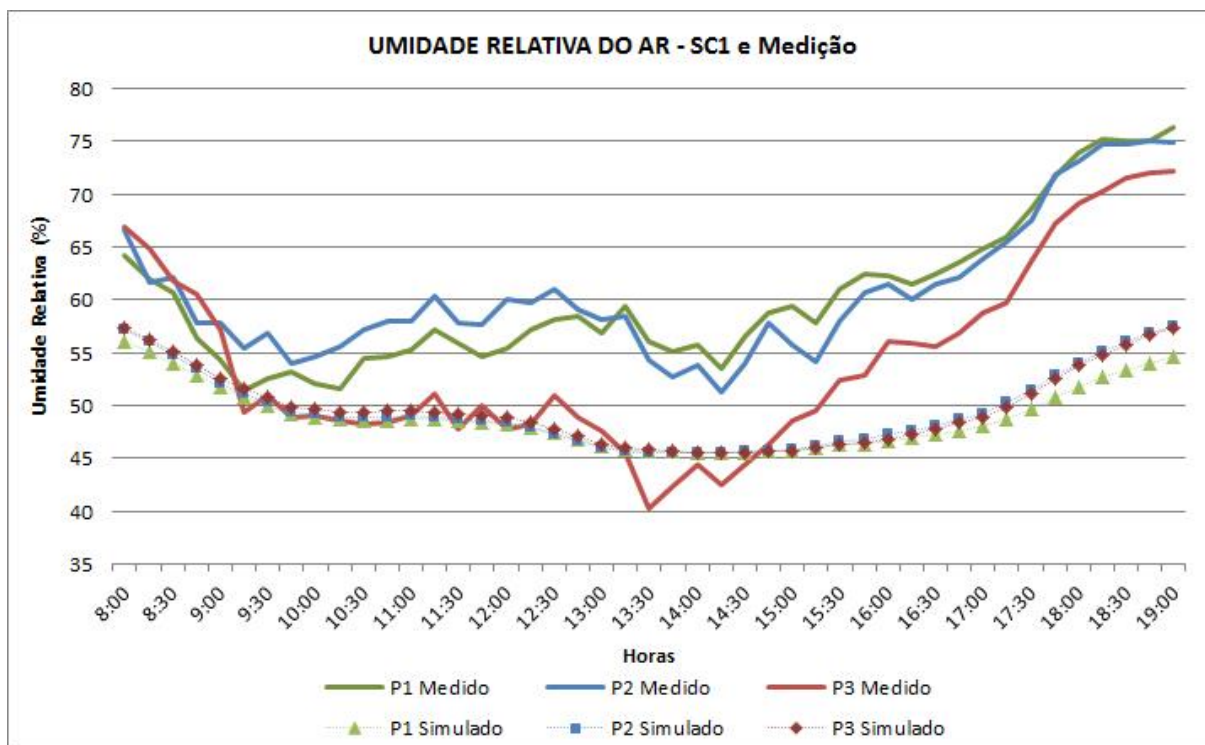
Por sua vez, na comparação entre dados medidos e simulados do P3, observa-se o seu destaque em relação aos demais pontos. No P3 identificou-se uma temperatura do ar simulada 3,2°C inferior à observada em campo, no horário de 13h30min. De modo geral, o modelo apresentou tendência em subestimar os resultados durante a maior parte do período avaliado. Isso pode ser observado também pelo valor negativo de $ME = -1,10$ para P3(T). De modo isolado, observou-se uma inversão nesta situação apenas após as 15h45min, quando a temperatura medida em campo passa a ter valores inferiores aos resultados da simulação. Nesta condição, embora o modelo também apresente comportamento de temperatura em queda, assim como os dados medidos, o decréscimo não é reproduzido nas mesmas proporções em que ocorre na situação real. Assim, às 18h30min chega-se a observar temperatura simulada de até 1,4°C superior à medida em campo. Neste sentido, como o período final da simulação apresentou valores maiores do que os observados em campo, não representando com tanta rapidez a queda da temperatura observada, o valor de ME, se considerado para os períodos de temperaturas mais elevadas, pode se mostrar menor do que o que realmente foi identificado, visto que nesta medida valores opostos de mesma magnitude se anulam.

De modo geral, observa-se que o modelo rodado para a SC1 tende a reproduzir um comportamento mais homogêneo da variável temperatura do que o observado nas medições de campo, não reproduzindo as variabilidades e amplitudes apontadas pelos dados coletados, o que corresponde a umas das limitações indicadas por Emmanuel *et al* (2007) e Schmitz (2014) ao avaliarem a utilização do programa. Porém, embora tal aspecto seja notado, o comportamento das simulações quanto aos períodos de temperaturas mais baixas e mais altas, assim como os períodos de transição entre estes estados, se mostra próximo do comportamento apontado pelas medições de campo.

Por outro lado, diante das condições testadas na SC1, é importante ressaltar que, embora tenha apresentado queda no valor da variável T no período de transição entre tarde e noite, tal como observado nas medições de campo, o modelo não conseguiu representar em proporções adequadas as características de aquecimento e resfriamento atmosférico do local. Deste modo, após o processo de aquecimento assim como de resfriamento atmosférico, os resultados para P1 (T) e P2 (T) foram superestimados, ao mesmo tempo em que subestimou para P3 (3), em relação ao aquecimento, e superestimou quando em processo de resfriamento. Porém, do ponto de vista do comportamento sequencial dos dados, as temperaturas nos períodos de aquecimento tendem a se diferenciar, enquanto no de resfriamento tendem a se igualar, tal como o comportamento observado nas medições de campo. Por fim, de modo geral, pode-se constatar que na SC1 o modelo não expressou tanta diferença entre os contextos edificados contemplados pelos pontos P1, P2 e P3 quanto como observado em campo. E este aspecto pode estar relacionado ao fato do *modelo ser preparado com equações microclimáticas de escala superior à microescala (informação verbal* ¹⁴).

¹⁴ Consideração feita pela Prof. Dra Eleonora Sad de Assis (UFMG) na arguição como membra da banca examinadora, em 09/10/2018.

Gráfico 2: Comportamento de UR nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC1 e medidos em campo.



Fonte: A autora.

Quanto ao comportamento da variável Umidade Relativa do ar na SC1, expresso nos testes estatísticos de P1 (UR), P2 (UR) e P3 (UR) apresentados na Tabela 22 e representado pelo Gráfico 2, destaca-se o fato do modelo não ressaltar as diferenças entre URs (%) dos pontos simulados, tal como observado entre os dados medidos em campo, assim como ocorrido para a variável $T(^{\circ}C)$. Como apresentado no Gráfico 2, enquanto os valores medidos mostram variações particulares, os valores simulados mantêm forte similaridades ao longo do período analisado nos três pontos de medição. Neste sentido, a maior diferença identificada entre dados simulados foi de 2,91%, às 19h, entre P1 Simulado e P2 Simulado, enquanto entre os dados medidos foi de 15,81%, às 13h30min, entre P1 Medido e P3 Medido.

Por sua vez, quando comparados os dados simulados e medidos correspondentes, isto é, relativos ao mesmo ponto e ao mesmo horário de análise, observa-se que, em geral, a simulação gera dados predominantemente abaixo dos observados em campo, sobretudo para P1 (UR) e P2 (UR). Comparado a estes pontos, identifica-se um comportamento diferenciado para P3 Medido, de modo que, a partir das 9h há uma queda nos valores de umidade, fazendo com que P3 Medido se mantenha próximo de P3 Simulado até meados da

tarde, quando retoma seu comportamento crescente, se diferenciando dos dados simulados e se aproximando dos demais pontos medidos.

Tanto em relação aos dados simulados quanto aos medidos, observam-se três momentos marcantes no comportamento da UR. O primeiro, relativo ao início do período analisado, quando os dados de umidade se apresentam em queda; o segundo que se caracteriza pela predominância de um aspecto constante, a partir de meados da manhã até meados da tarde; e elevação, no final da tarde para a noite. É possível notar o comportamento inversamente proporcional ao da temperatura, de modo que, com sua elevação no decorrer das horas do dia, observa-se a queda da umidade, assim como seu incremento quando há queda na temperatura.

Diante dos aspectos analisados e associados aos resultados estatísticos gerados, destaca-se que a SC1 não apresentou resultados satisfatórios para UR, tendendo a subestimá-los para todos os três pontos considerados, sendo de modo mais expressivo para P1 (UR) e P2 (UR). Adicionalmente, o modelo não foi capaz de diferenciar as particularidades de cada ponto, mantendo seus resultados muito próximos, independentemente do contexto edificado característico do entorno.

A Tabela 23 apresenta as análises estatísticas aplicadas à SC5, que dentre as simulações de calibragem realizadas corresponde a que obteve os piores resultados quanto à verificação de acurácia do modelo. Como apresentado no tópico 3.3.2 Valores e origens dos dados de entrada: simulações de calibragem e dos cenários paramétricos, a SC5 testou o comportamento do modelo utilizando a metodologia de simulação tradicional (comum às versões anteriores do programa), na qual os dados de entrada são únicos também para temperatura e umidade relativa do ar. Informações específicas sobre os dados de entrada considerados para a configuração deste modelo se encontram no tópico 3.3.2, anteriormente mencionado.

Tabela 23: Análise da acurácia da Simulação de Calibragem 05.

Variável	r	R ²	ME	σ_s	σ_o	RMSE	RMSE _{BIAS}	IC	D _{PIELKE}	Critérios de Habilidade		
										I	II	III
P1 (T)	0,22	0,05	1,51	1,05	1,48	2,20	1,59	0,22	2,85	SIM	NÃO	NÃO
P2 (T)	0,61	0,37	1,90	1,18	1,23	2,17	1,05	0,42	2,66	SIM	NÃO	SIM
P3 (T)	0,80	0,64	0,32	1,23	2,33	1,56	1,53	0,79	1,80	SIM	SIM	SIM
P1 (UR)	-0,05	0,00	-42,58	1,83	7,06	43,20	7,31	0,00	7,89	SIM	NÃO	NÃO
P2 (UR)	0,20	0,04	-43,43	1,84	6,48	43,88	6,32	0,00	8,46	SIM	NÃO	SIM
P3 (UR)	0,46	0,21	-37,44	1,91	9,34	38,40	8,53	0,02	5,82	SIM	NÃO	SIM

Fonte: A autora.

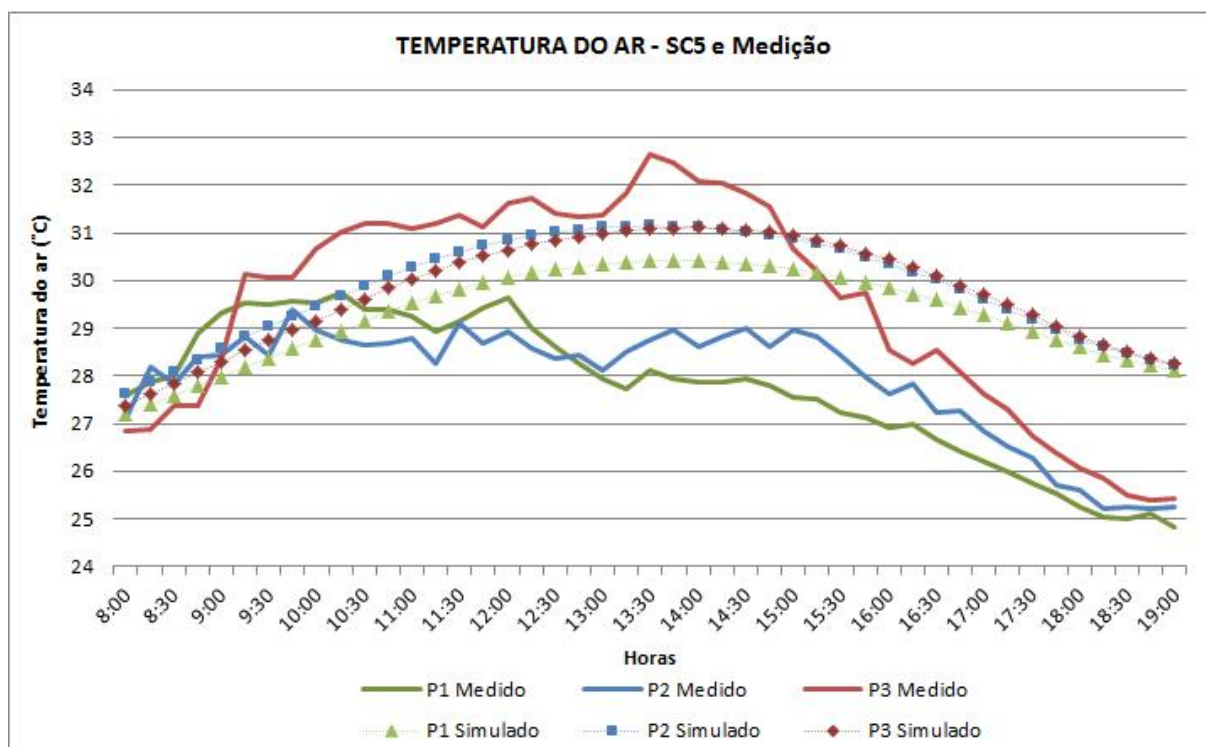
Quanto aos resultados das análises estatísticas de SC5, apenas P3 (T) atendeu aos três critérios de habilidade testados com um índice de destreza D_{PIELKE} satisfatório. Todos os demais testes realizados, para P1 (T) e P2 (T), assim como para P1 (UR), P2 (UR) e P3 (UR), não atenderam ao menos um dos três critérios de habilidade considerados e não alcançaram índices D_{PIELKE} satisfatórios. Os mesmos comportamentos foram observados para as análises de IC em relação às variáveis mencionadas, sendo que para todos os testes relativos à UR o IC teve valor muito próximo de 0 ou exatamente 0, o que configura não concordância dos dados simulados com os obtidos em campo. Observando ME para a variável UR, o modelo SC5 demonstrou as mais altas subestimações dentre todas as demais simulações de calibragem realizadas.

Diante do Gráfico 3, no qual são apresentados os dados relativos à temperatura do ar de SC5 em comparação com os medidos em campo, nota-se que o modelo distingue parcialmente o comportamento da variável T de acordo com cada ponto avaliado. Assim, o P2 inicia-se apresentando as maiores temperaturas, seguido do P3 e P1, com as temperaturas mais baixas. Para o início do período avaliado, T simulada e T medida se mostram próximas, sendo, por vezes, compatíveis, sobretudo para P2. Contudo, o modelo não representa o momento em que a temperatura tende à mudança de comportamento em P1 e P2, assim como, posteriormente, o seu declínio.

Desta forma, o modelo mantém a elevação da temperatura nestes pontos, favorecendo a não correspondência dos dados simulados com os medidos. Porém, para P3, o fato de o modelo manter o aumento da temperatura ao longo da curva do dia fez com que as diferenças máximas entre valores medidos e simulados na SC5 se mostrassem menores do que na SC1, por exemplo. Isso garantiu melhor resultado para ME, que se aproxima do

equilíbrio (valor = 0), apresentando leve tendência à superestimação. Diante deste aspecto, o IC para P3 (T) se mostra favorável, com um valor de 0,79, assim como o D_{PIELKE} de 1,80 e alcança-se o atendimento dos três critérios de habilidade.

Gráfico 3: Comportamento de T nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC5 e medidos em campo.



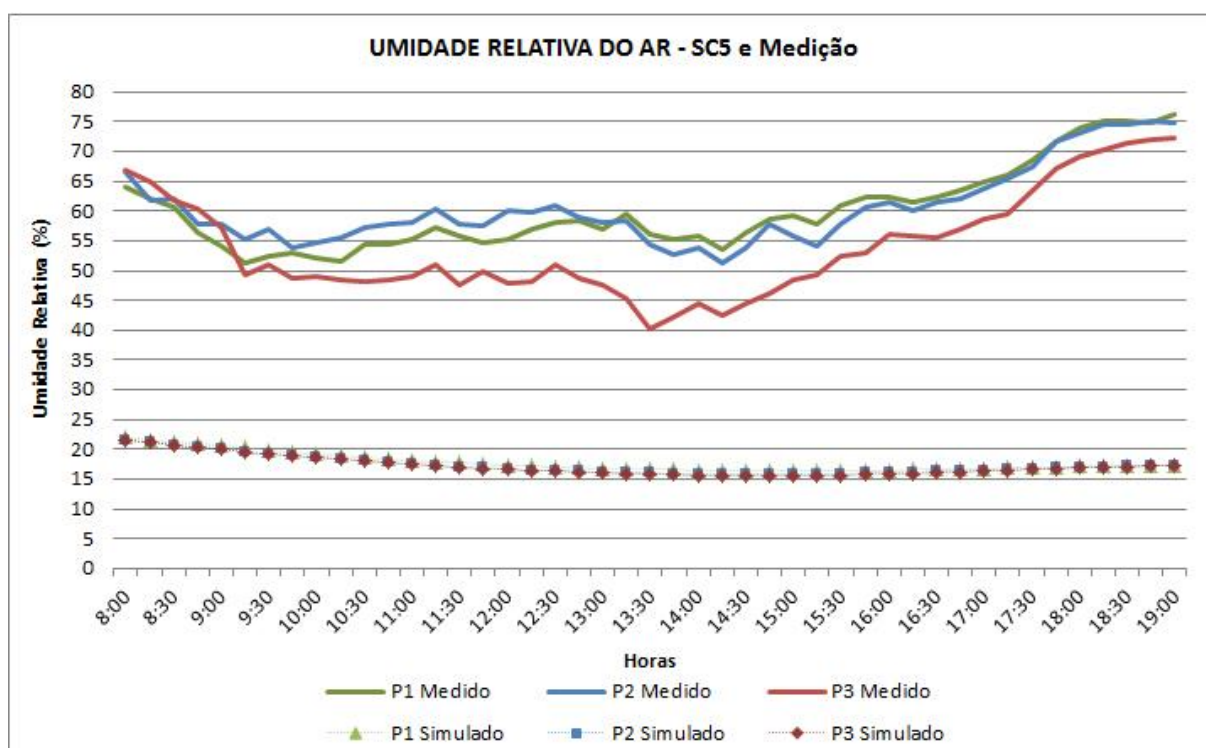
Fonte: A autora.

Contudo, nesta simulação o modelo também demora a responder à queda de temperatura, embora o comportamento da curva (em relação aos períodos de T crescente, T constante, T máxima e T decrescente) seja condizente com o observado entre os dados de campo. Porém o modelo demonstra dificuldades de representar a queda de temperatura, tal como observada no local. Por outro lado, ao final da tarde e início da noite, enquanto há queda de temperatura, o modelo tende a aproximar os dados dos três pontos analisados, tal como o comportamento identificado para os pontos medidos.

Em relação aos valores numéricos encontrados, pode-se destacar diferenças de até 3,4°C entre os valores de P1 Medido e P1 Simulado, assim como 3,3°C para P2 Medido e P2 Simulado e 3,0°C para P3 Medido e P3 Simulado, todos no período da noite. Já os dados entre pontos medidos mostraram diferenças de até 4,5°C entre P1 e P3 às 13h30min e às 13h45min, os dados simulados de SC5 apresentaram diferença máxima entre si de 0,7°C, ocorridas às 14h15min e 14h30min entre P1 e P2.

De modo geral, quanto às análises de temperatura do ar, a simulação SC5 não se mostra satisfatória, sobretudo pelas avaliações de P1 (T) e P2 (T), conforme dados apresentados na Tabela 23. Essa condição se dá pelo fato do modelo não demonstrar correspondência para os períodos de temperaturas estabilizadas nestes pontos durante o período de final da manhã e meados da tarde, assim como o declínio da temperatura ao final do dia se mostrar mais suave do que o comportamento observado em campo, afastando com isso os resultados das simulações dos dados medidos.

Gráfico 4: Comportamento de UR nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC5 e medidos em campo.



Fonte: A autora.

Quanto aos dados de UR, a SC5 teve seu pior desempenho dentre todas as simulações testadas e variáveis avaliadas, de modo que o modelo se mostrou extremamente distante da representação da realidade, conforme apresentado no Gráfico 4. Tal ocorrência pode ter relação com o fato do dado de entrada para configuração do modelo (dado inicial de UR) ter sido lançado como dado único, à 00h do dia considerado para a análise, quando se deu início à simulação em questão. Assim, a ocorrência de queda contínua ao longo do período simulado não favoreceu a representação do comportamento de UR no período de recorte da análise, visto que o modelo não estabiliza a condição de UR para o local, tal como observado nos testes de calibragem realizados por Xavier (2017).

Os dados de UR se mantiveram extremamente abaixo dos dados medidos e praticamente não houve diferenciação entre os dados de cada ponto, de modo que a menor diferença entre dados medidos e simulados foi de 24,4 unidade, considerando os dados de 13h30min para P3 medido e P3 simulado, e a maior diferença entre os resultados das simulações e medições de campo foi de 58,8 unidades, entre os dados das 19h de P1 medido e P1 simulado.

Tabela 24: Análise da acurácia da Simulação de Calibragem 10.

Variável	r	R ²	ME	σ_s	σ_o	RMSE	RMSE _{BIAS}	IC	D _{PIELKE}	Critérios de Habilidade		
										I	II	III
P1 (T)	0,52	0,27	0,69	1,02	1,48	1,46	1,28	0,59	2,16	SIM	SIM	SIM
P2 (T)	0,79	0,62	0,88	1,16	1,23	1,17	0,77	0,76	1,63	SIM	SIM	SIM
P3 (T)	0,90	0,82	-0,83	1,15	2,33	1,60	1,37	0,79	1,73	SIM	SIM	SIM
P1 (UR)	0,70	0,49	-4,34	2,95	7,06	6,89	5,35	0,55	2,32	SIM	SIM	SIM
P2 (UR)	0,84	0,71	-3,90	3,71	6,48	5,48	3,86	0,73	1,87	SIM	SIM	SIM
P3 (UR)	0,93	0,86	2,54	3,76	9,34	6,48	5,96	0,75	1,93	SIM	SIM	SIM

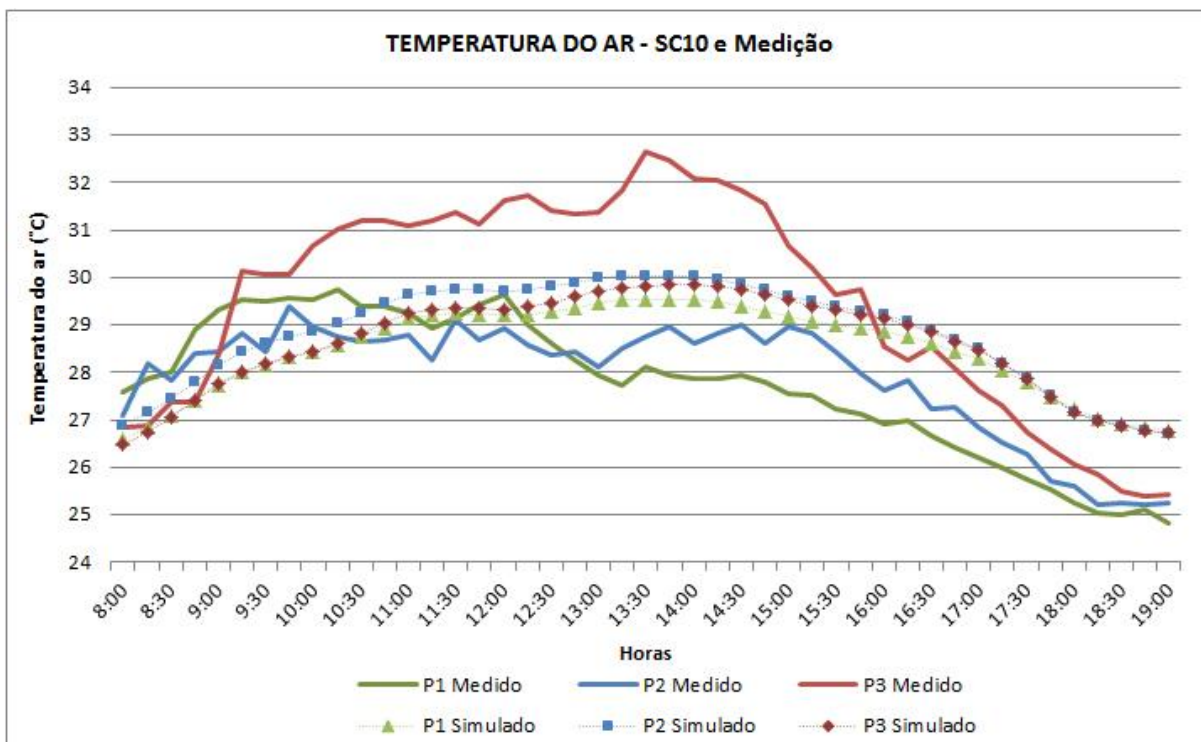
Fonte: A autora.

Dentre as 11 simulações de calibragem realizadas, a que obteve melhor desempenho quando avaliada sua acurácia foi a SC10. Para esta simulação todos os três critérios de habilidades testados foram atendidos para as variáveis T e UR nos três pontos testados, como apresentado na Tabela 24. Embora em P1(T) e P1(UR) o índice de destreza D_{PIELKE} não tenha atendido a condição de resultado < 2 , foram os melhores valores alcançados dentre todas as simulações de calibragem realizadas para tal ponto e tais variáveis. Da mesma forma, o IC para estes pontos não se mostram tão elevados quanto para os demais pontos avaliados. Porém, é importante ressaltar que o comportamento de P1, tanto para T quanto para UR, se destacou com maiores dificuldades de corresponder ao contexto medido em todas as simulações testadas.

Assim, buscou-se avaliar as condicionantes locais que pudessem ter influenciado na diferenciação entre os resultados das simulações e medições de campo. Para este ponto, especificamente, notou-se temperaturas medidas mais altas do que as simuladas, sobretudo no período da manhã, o que pode ter tido influência direta de condicionantes específica do local, tal como a radiação refletida por materiais do entorno não considerados no modelo, como o vidro componente da fachada do edifício em que o equipamento foi locado próximo, assim como a lataria do automóvel estacionado ao lado do equipamento, ambos recebendo

radiação direta no período da manhã e possivelmente interferindo nas temperaturas coletadas.

Gráfico 5: Comportamento de T nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC10 e medidos em campo.



Fonte: A autora.

De modo específico, P1 passa a sofrer com menor radiação a partir das 12h30min, tendo seu sombreamento efetivo por volta das 13h, quando as medições de campo revelam queda da temperatura do ar. Porém, este aspecto aparentemente não conseguiu ser representado pela simulação, de modo que o modelo continuou a acentuar as temperaturas para o ponto, conforme pode ser observado no Gráfico 5. Apesar disso, comparado com os demais modelos testados, o SC10 consegue manter as curvas simuladas de forma mais próxima das medidas. Para o P1, observa-se a diferenciação deste como o ponto onde as temperaturas são predominantemente mais baixas do que os demais pontos simulados. Assim, dentre as simulações realizadas, SC10 foi identificada como aquela na qual as diferenciações entre as temperaturas dos três pontos se mostram mais evidentes, demonstrando possíveis influências quanto ao contexto edificado característico de cada ponto de medição.

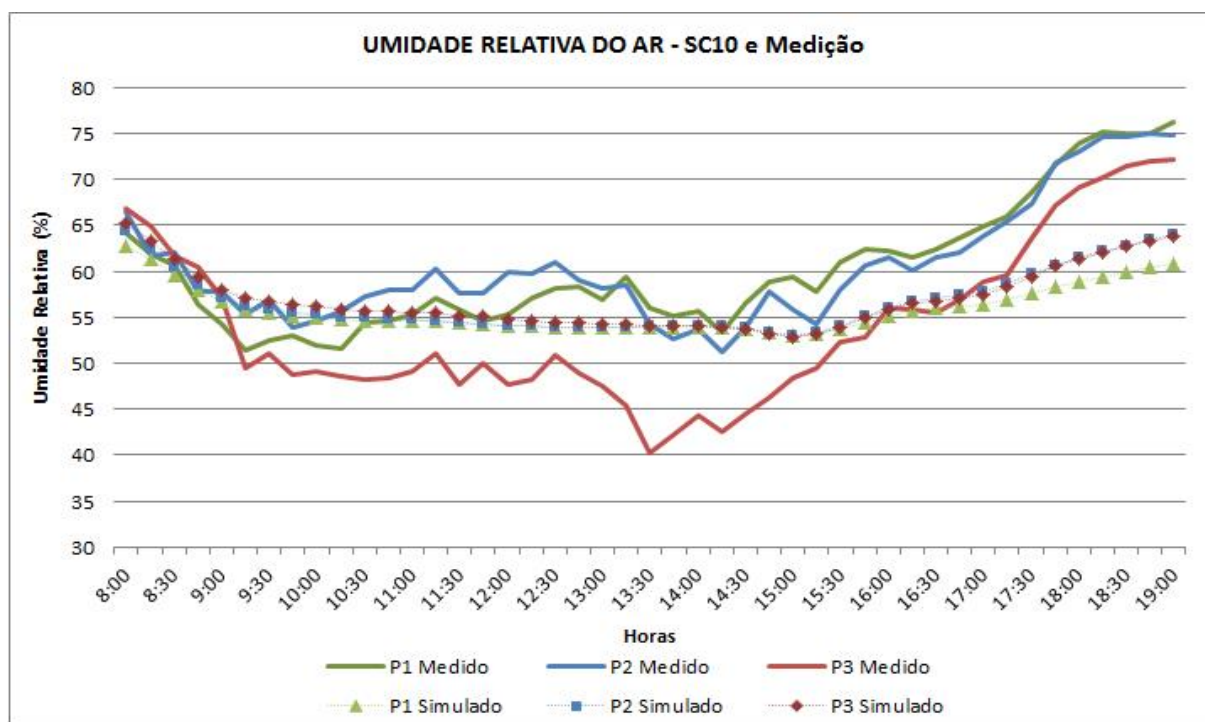
Embora de modo suave, há um comportamento ligeiramente irregular nas curvas dos dados simulados, mostrando variabilidade da variável T no decorrer do período analisado. Porém, assim como nos demais modelos testados, o SC10 mantém a característica de manutenção regular das temperaturas entre meados da manhã e meados da tarde, logo após sua

elevação no início da manhã. Do mesmo modo, o modelo apresenta queda de temperatura em meados da tarde, aproximando os dados simulados nos três pontos, tal como observado em campo.

Quanto as análises dos valores de SC10 (T), observou-se diferenças de até 2,1°C entre P1 medido e simulado, de até 1,8°C entre P2 medido e simulado, sendo que a maior diferença foi entre os dados de P3 medido e simulado, entre os quais se observou uma diferença máxima de 2,8°C. Já a diferença máxima observada entre pontos simulados foi de 0,5°C, entre os resultados de P1 e P2 para às 12h 30min.

Os dados de UR obtidos em SC10 também se mostraram mais coerentes com os dados coletados na realidade, de modo que a curva dos valores simulados se aproxima dos dados de campo, conforme apresentado pelo Gráfico 6. Foram identificados valores próximos entre dados simulados e medidos e, graficamente, observa-se coerência entre os comportamentos dos mesmos.

Gráfico 6: Comportamento de UR nos pontos 1, 2 e 3, fornecidos pela SC10 e medidos em campo.



Fonte: A autora.

As linhas representativas do gráfico com os resultados se acompanham no período de queda de UR no início da manhã, assim como no período de manutenção dos seus valores de forma regular, em meados da manhã até meados da tarde, e no período de sua elevação, no final da tarde e início da noite. Diante deste cenário, a diferença entre P1 (UR) medido e P1 (UR)

simulado passou a ser de 15,6 unidades UR, para P2 (UR) medido e P2 (UR) simulado passou a ser de 12,4 unidades UR, assim como para P3 (UR) medido e P3 (UR) simulado, passou a ser de 13,9. A diferença de UR entre os pontos medidos foi de 15,8 entre P1 (UR) e P3 (UR), e entre os pontos simulados, foi de 0,8 também entre P1 e P3.

Quanto à UR para P1 e P2, o modelo demonstrou tendência a subestimar os dados conforme a análise de ME (Tabela 24). Isso se destaca, sobretudo, pela dificuldade do modelo em representar o aumento da umidade relativa ao final do dia, mantendo os dados com as maiores diferenças em relação aos observados em campo. Já para P3 (UR), o modelo tendeu a superestimar, neste caso, ao manter os dados de meados da manhã até meados da tarde, acima dos medidos em campo. Porém, de modo geral, o modelo SC10 se mostrou condizente com a realidade observada, a partir do conjunto estatístico utilizado, sendo assim considerado como modelo base para as simulações definitivas relativas aos cenários paramétricos.

4 Análise dos Resultados

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

No desenvolvimento desse estudo foram realizadas simulações visando avaliar o comportamento térmico de quatro diferentes cenários edificadas, cujas caracterizações encontram-se no tópico 3.1.2 Proposição dos Cenários Paramétricos. Considerou-se os dados climáticos do dia mais quente ocorrido em Vitória, em uma série histórica de 30 anos, conforme apresentado no tópico 3.3.2 Valores e origens dos dados de entrada: simulações de calibragem e dos cenários paramétricos. O cenário 1 (C1) se apresenta como o cenário padrão, visto que representa a realidade edificada atualmente estabelecida. Logo, os demais cenários (C2, C3 e C4), representativos das transformações espaciais testadas, são comparados sempre em relação ao C1.

As análises do comportamento da área se desenvolveram de dois modos: pontualmente, por meio dos dados especificamente gerados para cada um dos três receptores lançados no modelo, com os quais foram elaborados gráficos das variáveis analisadas; e de forma geral, através dos cartogramas de temperatura do ar (T_a) e temperatura radiante média (TRM), produzidos com o plug-in LEONARDO 4.3.0 que acompanha o programa ENVI_MET. Os pontos receptores (P1, P2 e P3) foram locados em regiões representativas de configurações urbanas distintas dentro da área analisada e seus comportamentos foram observados a 1,5m de altura a partir do nível do solo quanto às variáveis microclimáticas T_a , TRM, umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (V_v).

Dentre os quatro cenários avaliados, C1 se destacou com os mais altos valores de T_a , TRM e V_v , enquanto C4 como o que apresentou os menores valores de T_a máxima, TRM máxima e V_v , para todos os pontos avaliados. Em relação à T_a , a máxima atingida em C1 foi de 38,7°C no P2, enquanto em C4 foi de 38,3°C, caracterizando uma diferença de 0,46°C ocorrida às 13h. A Tabela 25 apresenta os dados de temperaturas máximas, mínimas e as amplitudes térmicas de cada um dos três pontos receptores nos quatro cenários simulados. Nela, destaca-se P2 como o ponto que, independente do cenário, apresenta tanto as maiores como as menores temperaturas do ar, o que o caracteriza como aquele que tem as maiores amplitudes térmicas em todos os cenários.

Tabela 25: Dados de Ta máximas, mínimas e amplitudes térmicas de P1, P2 e P3 em C1, C2, C3 e C4.

	C1			C2			C3			C4		
	Ta máx	Ta min	Amp	Ta máx	Ta min	Amp	Ta máx	Ta min	Amp	Ta máx	Ta min	Amp
P1	38,0	27,9	10,1	37,9	28,0	9,8	37,6	27,9	9,7	37,4	27,9	9,5
P2	38,7	27,5	11,2	38,7	27,5	11,2	38,5	27,5	11,0	38,3	27,5	10,7
P3	38,2	27,9	10,2	38,0	28,0	9,9	37,6	28,0	9,6	37,5	27,9	9,5

Fonte: A autora.

Neste mesmo sentido, C2 se destaca com a ocorrência da menor Ta dentre os cenários simulados, apresentando Ta mínima de 27,5°C para P2. Assim, entre as diferenças de Ta máximas e mínimas ocorridas em cada ponto nas 24 horas avaliadas, observa-se que C1 e C2 surgem com a maior amplitude térmica dentre os cenários considerados, configurando uma diferença de 11,2°C entre as temperaturas máxima e mínima registradas em P2. Por outro lado, C4 se destaca com a menor amplitude térmica, de acordo com os dados de P1, configurando uma diferença de 9,5°C durante o período avaliado. Tais fatos ressaltam que a troca de calor se mostra mais evidente em P2, sobretudo em C1 e C2, do que nos demais pontos e cenários.

Alguns fatores de configuração urbana podem estar associados a este aspecto, tais como direcionamento da via e circulação do ar, já que P2 corresponde ao ponto que apresenta maior constância de radiação em virtude de se localizar em via de sentido leste/oeste. Por outro lado, em análise geral, C1 e C2 se mostraram tanto com maior capacidade de aquecimento quanto de resfriamento, e isso se relaciona ao fato de proporcionarem maior incidência de radiação direta sobre as superfícies da área, tendo em vista a menor proporção de bloqueios solares, em decorrência de sua composição por edificações mais baixas. Porém, apesar de receberem mais calor, a quantidade de material construtivo em função de edificações de menor porte também se mostra reduzida em relação a C3 e C4. Assim, o processo de balanço energético urbano ocorre mais rapidamente em C1 e C2 do que nos demais cenários, cujo calor absorvido pela maior quantidade de materiais que os compõem demanda maior tempo para ser liberado, tendo em vista as características de fluxo de energia e equilíbrio térmico entre materiais e atmosfera.

Os comportamentos horários das temperaturas por ponto em cada cenário avaliado são apresentados nos Gráfico 7, Gráfico 8 e Gráfico 9, destacando a distinção dos seus valores conforme o momento de maior amplitude entre cenários, o momento de alcance de

temperaturas máximas e conforme os horários sinóticos considerados (9h, 15h e 21h). O instante em que ocorre a maior diferença entre as Ta(s) é às 11h, independente do cenário avaliado em relação ao C1, destacando-se como a maior diferença a ocorrida entre C1 e C4 em P1, configurando uma variação de 0,7°C. Porém, o pico de Ta nos quatro cenários avaliados, ocorre às 13h, configurando queda desta variável logo após esse horário.

Gráfico 7: Comportamento de Ta em P1 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horário com maior diferença entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.

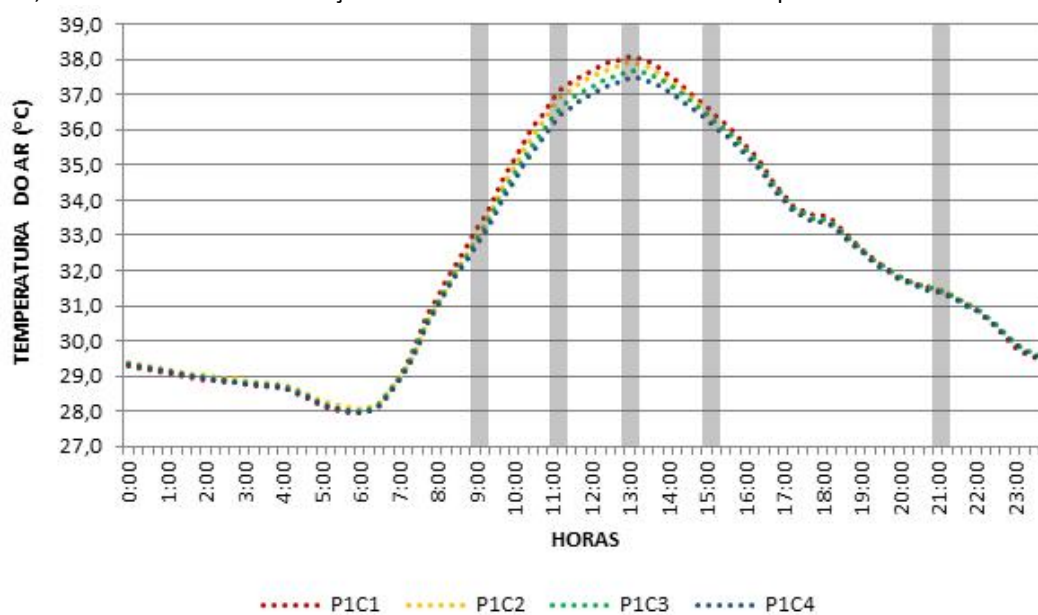


Gráfico 8: Comportamento de Ta em P2 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horário com maior diferença entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.

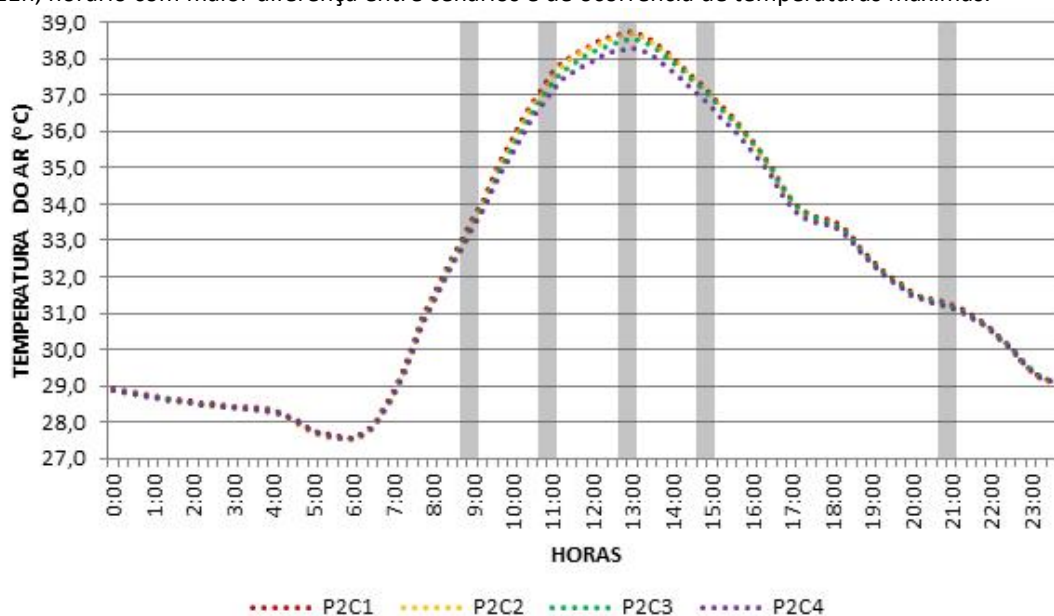
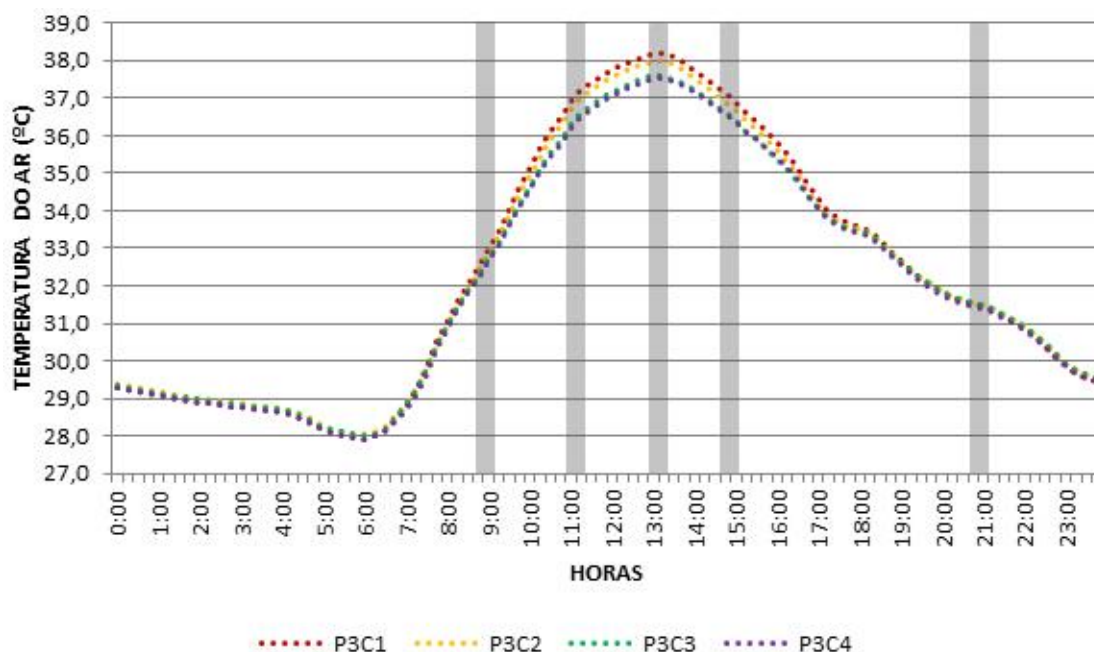


Gráfico 9: Comportamento de Ta em P3 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horário com maior diferença entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.



Fonte: A autora.

Conforme observado nos gráficos apresentados, o comportamento da variável Ta é similar tanto nos quatro cenários avaliados quanto nos três pontos, apresentando valores mais baixos no início da manhã, quando começam a se tornarem crescentes, e tendo seus ápices às 13h. À medida que a variável Ta aumenta ao longo do dia, até o início da tarde, quando alcança os seus pontos máximos em todos os cenários, evidenciam-se os distanciamentos dos valores entre cenários, destacando-se o C1 com a maior elevação da Ta, em contraponto ao C4. O período de elevação coincide com o período de maior radiação solar, o que contribui diretamente para o aquecimento das superfícies e atmosfera. Com a diminuição contínua do nível de radiação, evidenciam-se as quedas das temperaturas de todos os cenários, voltando a se aproximarem de forma que, ao final do dia, praticamente se igualam.

Dentre os dados de Ta avaliados, observa-se que C1, ao mesmo tempo em que se aquece com maior facilidade, também perde calor com maior rapidez assim que os valores de radiação direta diminuem. Isso se deve à menor densidade construtiva de C1, que apresenta gabaritos predominantemente de até 4 pavimentos, chegando no máximo a 6 pavimentos. Embora os edifícios modelados para a representação do C4 apresentem maior gabarito (chegando a 14 pavimentos) e configurando maiores proporções de sombreamento em comparação com o C1, conseqüentemente, C4 é constituído por maior quantidade de matéria. Esta, ao absorver radiação, contribui para que o fenômeno de equilíbrio térmico

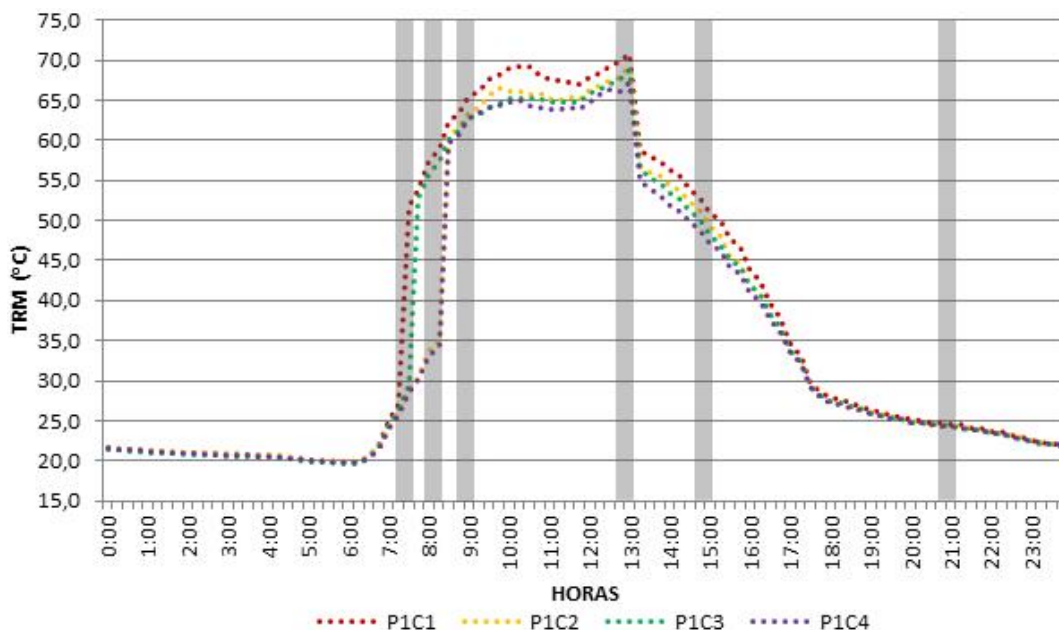
com a atmosfera se prolongue por um maior período de tempo, tendo em vista a condição de inércia térmica atmosférica. Logo, observa-se a prorrogação do período de queda de temperaturas em C4 quando comparado com os cenários de menores densidades construtivas. Isso acontece em virtude dos materiais liberarem calor à medida que a atmosfera esfria, caracterizando o equilíbrio dos fluxos térmicos.

Observando os dados provenientes das simulações, a partir das 22h30min, C4 passa a ter temperaturas superiores as do C1, porém, num contexto já de resfriamento, no qual as temperaturas encontradas são de 30,3°C para C1 e 30,4 °C para C4. Assim, mantendo-se tal comportamento nos horários subsequentes, C4 apresenta-se mais aquecido do que o C1 até as próximas horas de radiação. Porém, o aquecimento de C1 volta a se mostrar mais rápido do que em todos os demais cenários logo que submetido à radiação.

Do ponto de vista térmico, também foi avaliado o comportamento da variável TRM, considerando os dados a 1,5m de altura do solo. Enquanto para Ta foi observada uma diferença máxima entre pontos de 0,7°C às 11h, como mencionado anteriormente, a TRM chega a apresentar uma diferença de 24,7°C às 8h15min em P1 entre C1 e C4. Tal comportamento evidencia que logo que a superfície começa a receber incidência direta de radiação, sua temperatura passa a se elevar de modo mais acentuado, em virtude das propriedades térmicas dos materiais que a compõe. Consequentemente, a TRM se altera consideravelmente, de modo que passa de 26,9°C às 7h15min em P1 do C1 para 51,8 °C às 7h30min, enquanto em C4 observa-se 28,6°C neste mesmo horário. O Gráfico 10 demonstra tal situação, assim como o comportamento similar ocorrido posteriormente em C4. Embora também apresente elevação brusca de temperatura, em C4 o evento ocorre uma hora após em C1, em consequência do sombreamento configurado pela característica de verticalização do entorno.

A partir de então, a TRM se mantém elevada nos quatro cenários até às 13h, quando se observa uma queda acentuada nos seus valores, condizente com o sombreamento do ponto pela edificação próxima. Em seguida, a TRM decresce de modo suavizado, mantendo-se os valores de C1 mais elevados do que os dos demais cenários, relação esta ligada aos maiores valores de TRM alcançados, assim como aos maiores valores de Ta, que associados à inércia térmica atmosférica, retardam-se as trocas entre a mesma e superfícies.

Gráfico 10: Comportamento de TRM em P1 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horários com maiores diferenças entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.



A diferença de TRM entre cenários não se mostrou tão acentuada no P2, ocorrendo uma diferença máxima entre cenários de $4,8^{\circ}\text{C}$ às 10h30min, como apresentado no Gráfico 11. Já no P3, embora seus valores tenham se mantido abaixo dos encontrados em P1, as diferenças máximas entre C1 e C4 chegaram a $20,6^{\circ}\text{C}$ às 10h30min (Gráfico 12).

Gráfico 11: Comportamento de TRM em P2 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horários com maiores diferenças entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.

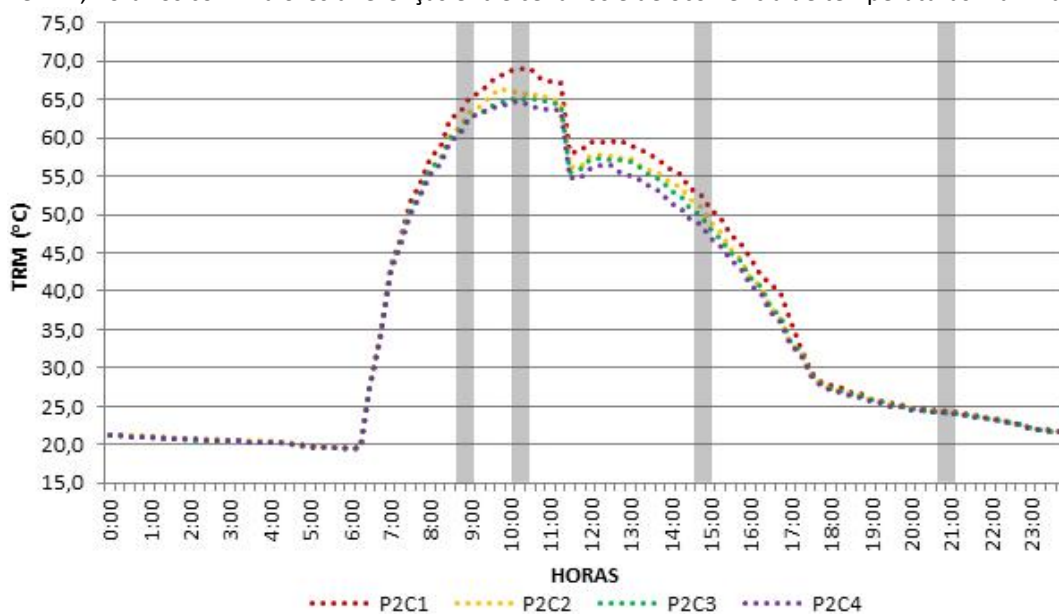
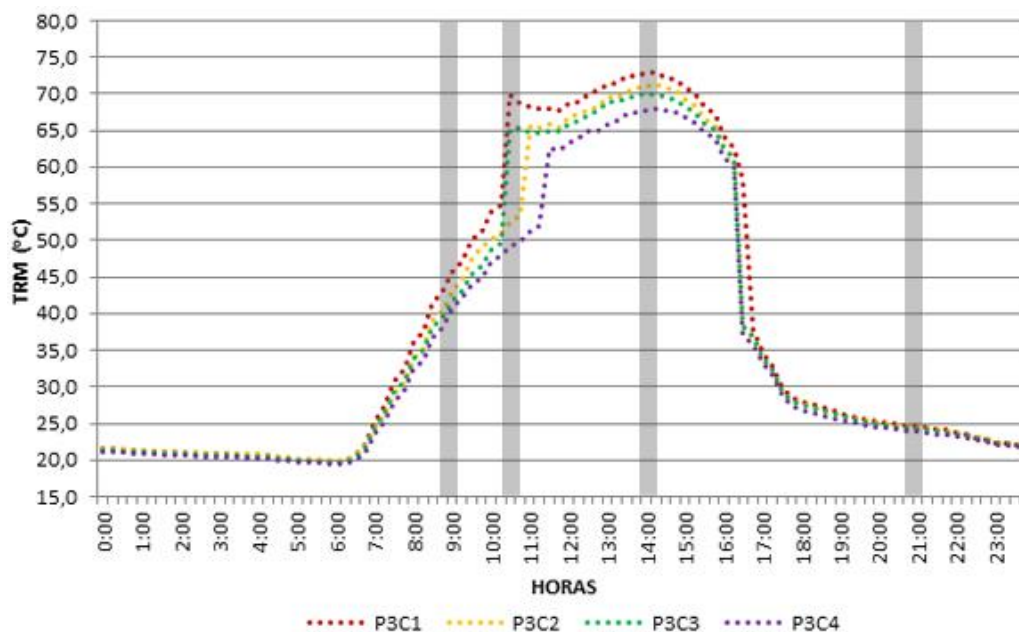


Gráfico 12: Comportamento de TRM em P3 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, horários com maiores diferenças entre cenários e de ocorrência de temperaturas máximas.



Fonte: A autora.

Diante do contexto apresentado, o C1 mantém-se em destaque como aquele que alcança os maiores valores de TRM, sendo seu pico de 70,77°C às 13h no P1, 68,9°C às 10h30min no P2 e 72,8°C às 14h no P3. Em contrapartida, as maiores TRM alcançadas em C4, para os respectivos pontos, foram de 67,2°C, 64,6°C e 67,8°C. A Tabela 26 apresenta os valores de TRM máximos, mínimos e as amplitudes ocorridas em cada um dos três pontos nos quatro cenários simulados. Após queda, as TRM tendem a se igualarem até o final do dia, à medida que as superfícies perdem calor para o meio.

Tabela 26: Dados de TRM máximas, mínimas e amplitudes térmicas de P1, P2 e P3 em C1, C2, C3 e C4.

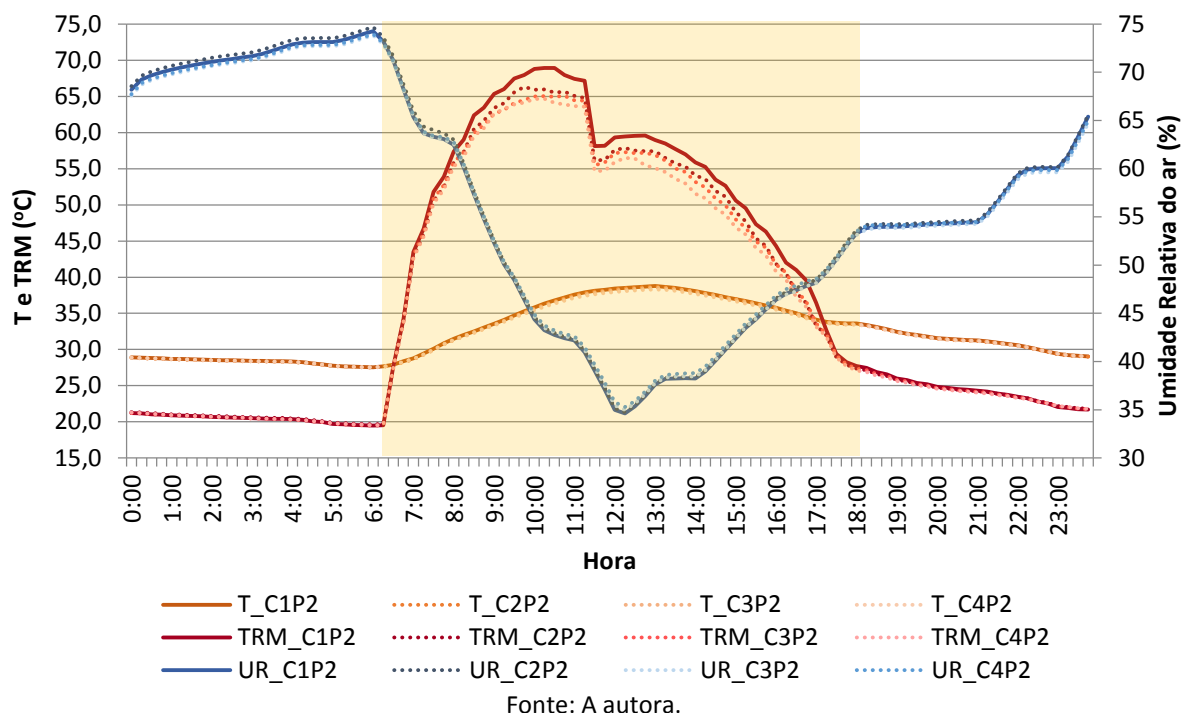
	C1			C2			C3			C4		
	TRM máx	TRM min	Amp	TRM máx	TRM min	Amp	TRM máx	TRM min	Amp	TRM máx	TRM min	Amp
P1	70,7	19,7	50,9	69,3	19,9	49,3	68,8	19,6	49,1	67,2	19,7	47,4
P2	68,9	19,4	49,4	66,3	19,6	46,6	65,0	19,4	45,5	64,6	19,5	45,1
P3	72,8	19,7	53,0	71,1	19,9	51,2	70,0	19,6	50,3	67,8	19,5	48,3

Fonte: A autora.

De modo geral, ao observar o comportamento das variáveis climáticas consideradas, evidencia-se uma relação tanto de elevação da Ta quanto de TRM e queda de UR (Gráfico 13) diretamente ligadas ao período de incidência de radiação na área. É importante lembrar que, embora o comportamento da UR encontre-se apresentado graficamente, os cenários simulados não consideraram a inserção da vegetação, visando analisar isoladamente a

influência do edificado no comportamento térmico local. Logo, os dados de UR correspondem aos obtidos nos contextos avaliados nesta condição.

Gráfico 13: Comportamento de Ta, TRM e UR em P2 nos cenários 1, 2, 3 e 4.



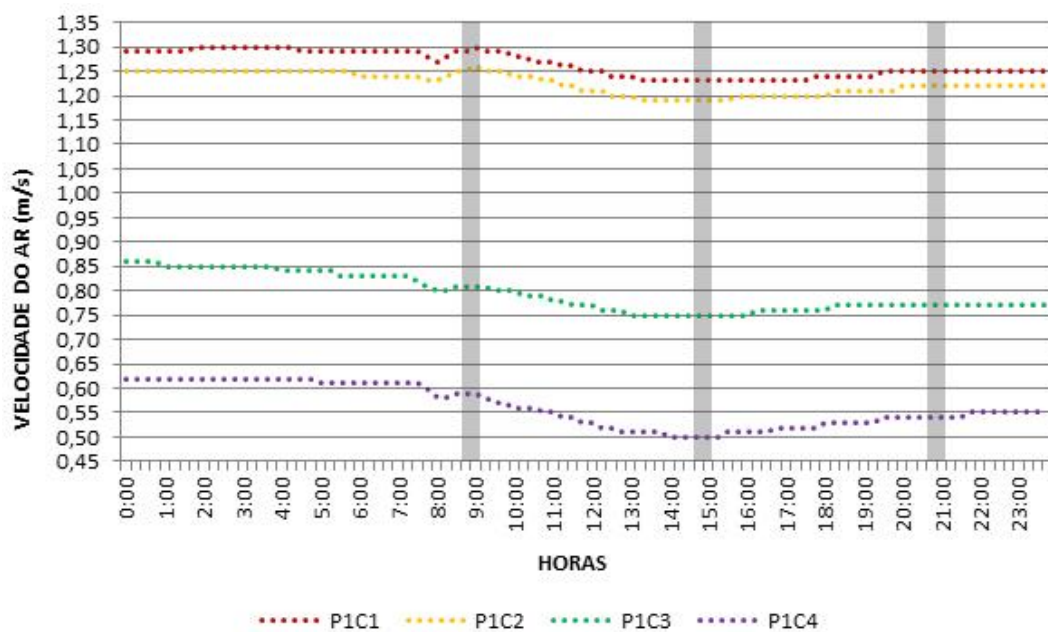
Não foram observadas variações significativas nos valores de UR entre os cenários e seu comportamento se mostrou similar em todos os pontos avaliados. As amplitudes identificadas se mostraram próximas nos quatro cenários, independente do ponto receptor considerado. Porém, P2 se destacou como o ponto de maior amplitude, chegando a apresentar em C2 valor máximo de 74,71% de UR e mínimos de 34,75%, configurando uma diferença de 39,96 unidades para o período analisado. Tal comportamento pode ser observado no Gráfico 13, destacando-se como inversamente proporcional ao comportamento de Ta e TRM. Os gráficos de UR específicos para cada ponto são apresentados no APÊNDICE A: Gráficos de UR de P1, P2 e P3 para os quatro cenários e neles podem ser observadas as similaridades no comportamento da variável em todos os pontos e cenários considerados.

Os resultados para Vv também foram analisados, de modo que as simulações apresentaram diferenças entre os valores, tanto entre pontos quanto entre os cenários. Os maiores valores de Vv observados em P1 e P3 foram relativos ao C1, sendo que P1C1 se destacou com o maior valor dentre os resultados gerados (Gráfico 14). Já para P2, a Vv de maior valor foi observada no C2. Contudo, a maior expressividade dos dados de Vv está em relação aos

valores gerais encontrados entre cenários. Os valores mais altos foram registrados em P1, enquanto os valores mais baixos em P3 (Gráfico 16), ficando P2 com valores intermediários aos demais pontos.

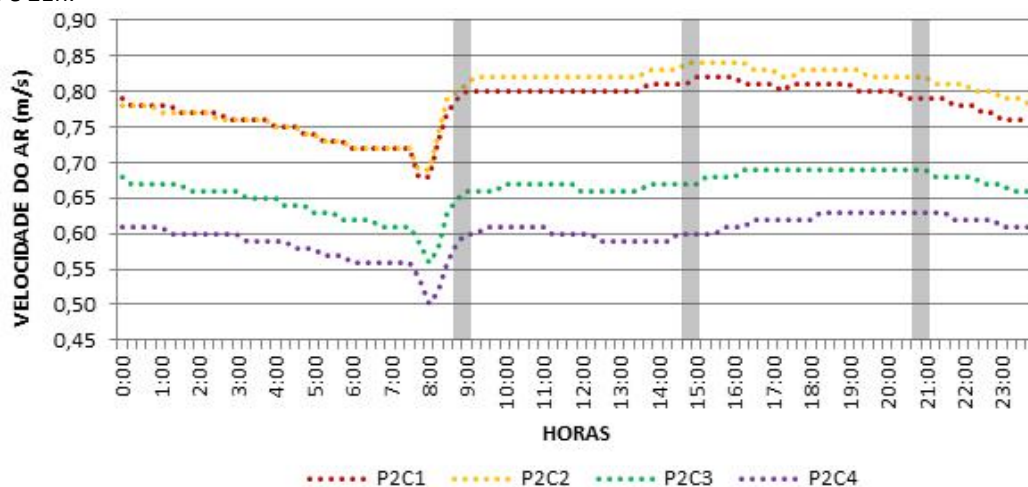
Enquanto P1C1 apresentou valores entre 1,30 m/s e 1,23 m/s, em P2C1 e P3C1 os valores observados se mostram mais baixos, variando entre 0,82 m/s e 0,68 m/s em P2C1 e entre 0,68 m/s e 0,60 m/s em P3C1. Em contraponto aos maiores valores de C1, mais uma vez, surgem os dados de C4, com a ocorrência dos menores valores em P3, com dados que variam de 0,42 m/s a 0,33 m/s e máximas de 0,63 m/s no P2. O Gráfico 14 apresenta os valores de Vv em P1 para os quatro cenários, permitindo observar a diferença entre C1 e C4, enquanto os Gráfico 15 e Gráfico 16 apresentam as mesmas condições, porém, respectivamente para os valores de P2 e P3.

Gráfico 14: Comportamento de Vv em P1 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.



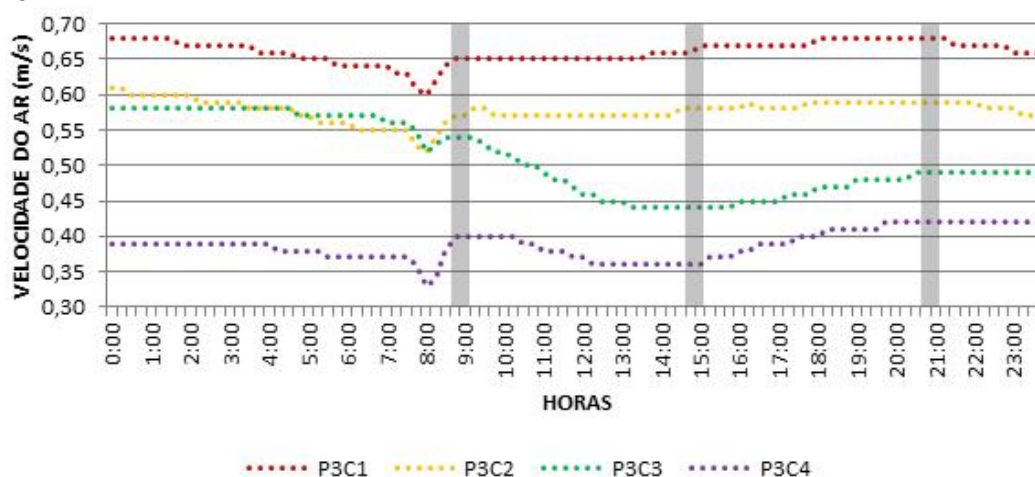
Fonte: A autora.

Gráfico 15: Comportamento de Vv em P2 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.



Fonte: A autora.

Gráfico 16: Comportamento de Vv em P3 nos cenários 1, 2, 3 e 4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.

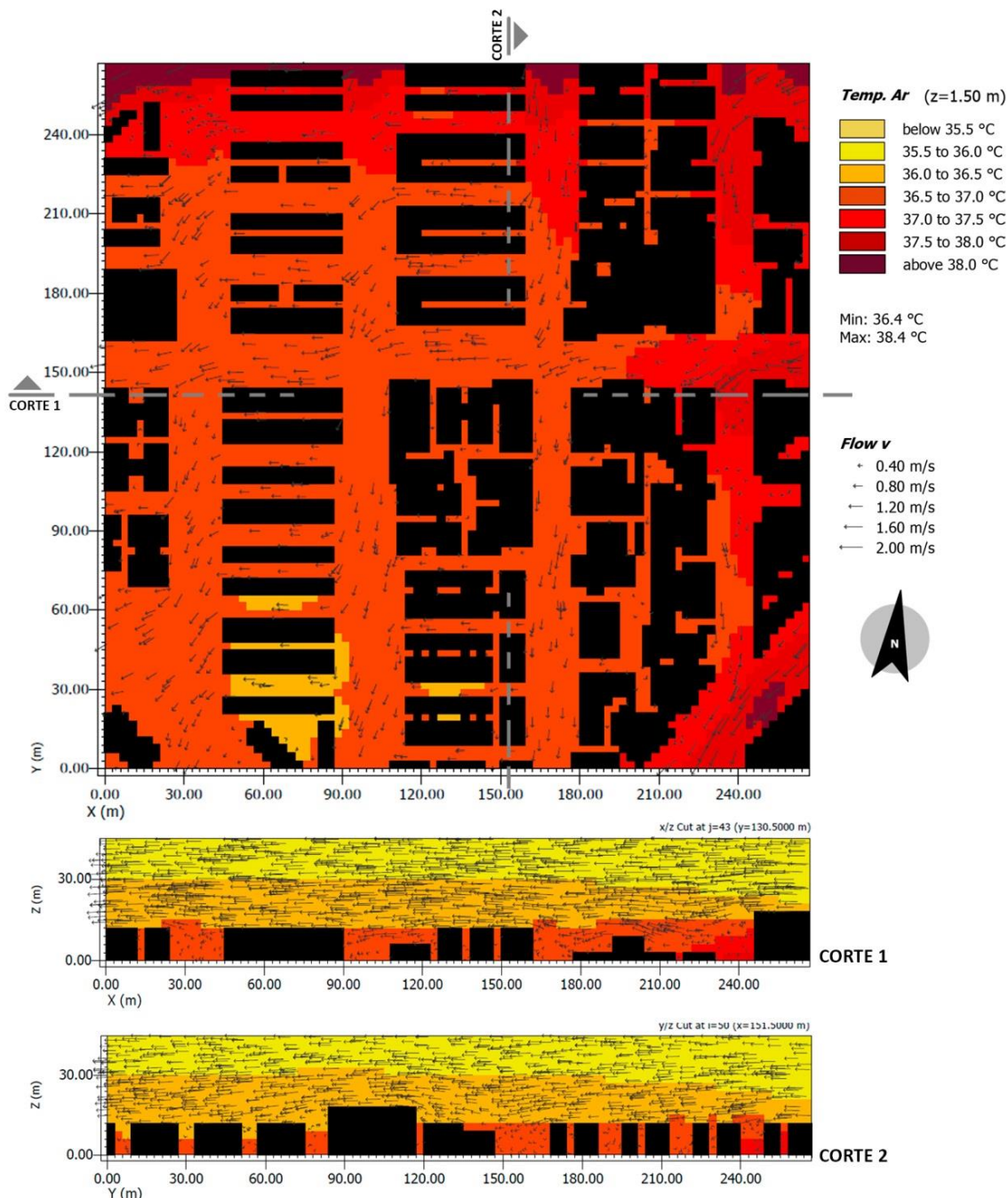


Fonte: A autora.

Quando avaliada a relação entre a distribuição da ventilação e a temperatura do ar a 1,5m de altura para às 15h, momento de maior temperatura dentre os horário sinóticos considerados, observa-se que as temperaturas mais quentes encontram-se nas bordas norte e leste e no início das vias que recebem o vento predominante, identificado na simulação como vento nordeste. Tal como observado nos estudos de Gusson (2014), a influência do vento no aumento de Ta nas bordas do modelo está ligada ao efeito de convecção, visto que o maior volume de ar em movimento proporciona a retirada de calor das superfícies aquecidas pela radiação, transferindo-o para o ar do entorno. Este comportamento se atenua à medida que o ar penetra na área e sua velocidade se reduz no plano horizontal, sobretudo nos cenários de verticalização. As Figura 45 e Figura 46 mostram o

comportamento da ventilação em C1 e C4, tanto em relação às ocorrências de velocidade quanto à sua distribuição pela área.

Figura 45: Cartogramas de Ta e Vv no Cenário 01, às 15h.

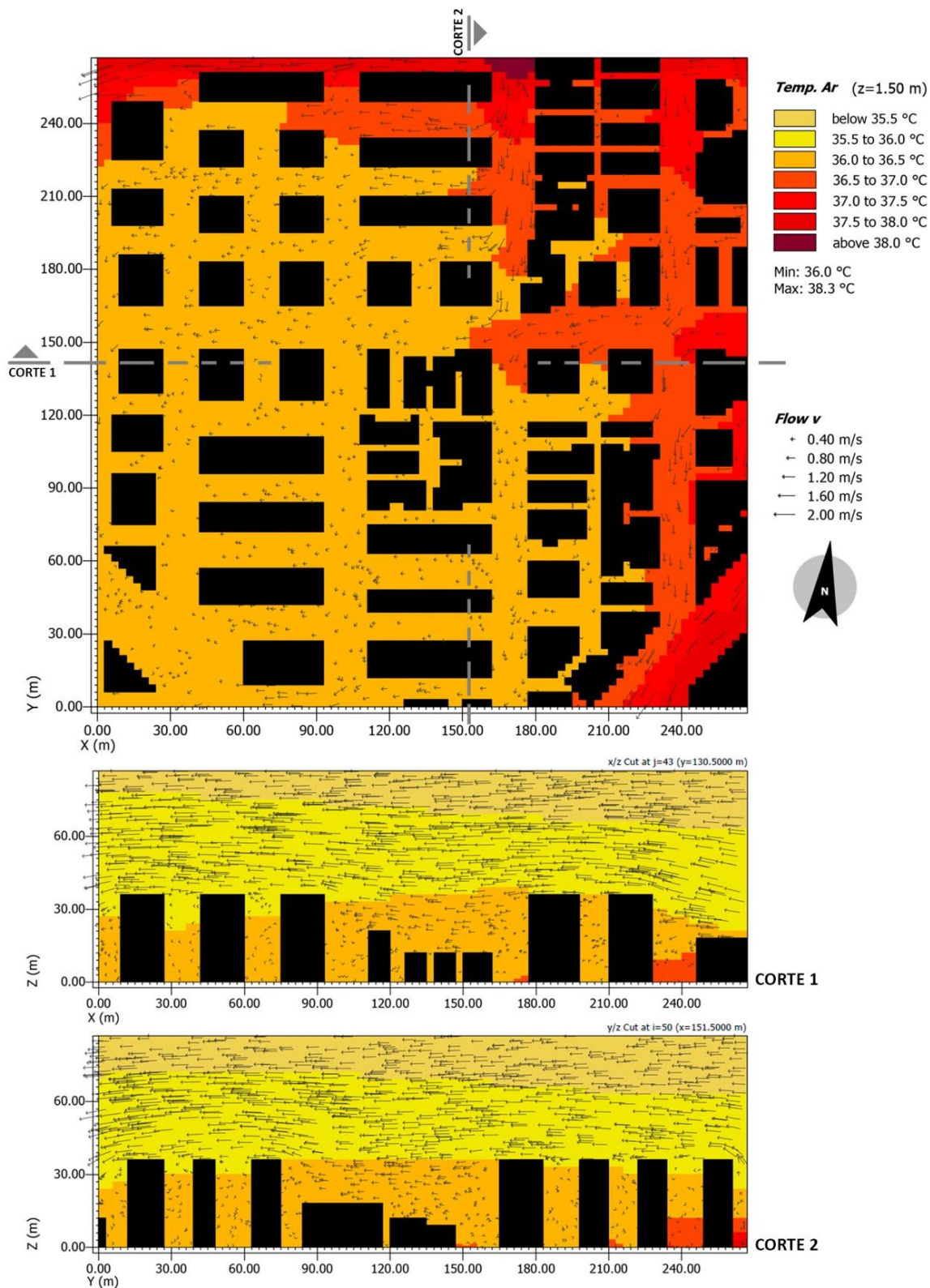


Fonte: A autora.

Observa-se que em ambos os cenários a ventilação se mostra mais intensa na via de sentido nordeste, localizada no canto inferior direito da área, no extremo norte da via N-S, localizada aproximadamente no eixo X=170m, assim como no extremo leste da via L-O, localizada aproximadamente no eixo Y=160m. Nestas regiões a velocidade do vento varia entre 1,60m/s e 2,00m/s no C1 e 1,20m/s e 1,60 m/s no C4, tendo sua intensidade diminuída no

interior da área. Assim, em C1 a velocidade interna predominante passa a ser de aproximadamente 1,20m/s, enquanto em C4 seus valores se mostram em torno de 0,40m/s.

Figura 46: Cartogramas de Ta e Vv no Cenário 04, às 15h.



Fonte: A autora.

Já os Cortes 1 e 2 de cada cenário permitem observar o comportamento vertical da velocidade do ar, indicando aumento de V_v na camada superior da atmosfera, sobretudo acima do dossel urbano. Assim, de acordo com os resultados do modelo, os cenários de maior verticalização dificultam a penetração do vento nos níveis mais próximos da superfície, reduzindo consideravelmente a sua velocidade nessas regiões.

Contudo, é importante ressaltar algumas considerações acerca dos resultados das simulações quanto ao comportamento da ventilação, visto que a versão utilizada do ENVI_MET não possibilita a inserção de valores horários de velocidade e direção do vento, não favorecendo a representação da realidade, na qual observa-se uma modificação, sobretudo na direção do vento, a partir do período final da tarde e noite. Neste período é comumente notada mudanças entre os fenômenos de brisa marítima e terrestre na realidade climática local.

A ocorrência deste fenômeno, no qual o vento sopra do oceano para o continente no período da manhã e do continente para o mar no período de final de tarde e noite, é habitualmente observado em Vitória e relatado por alguns estudos, tais como os desenvolvidos por Salvador (2014), Santiago (2015) e Correa e Vale (2016). Neste caso, ao serem considerados apenas dados unitários de entrada para velocidade e direção do vento, observa-se que o programa viabiliza a demonstração da interferência do edificado nos níveis e direcionamento da ventilação inserida como dado de entrada, indicando que os cenários mais verticalizados contribuem para a diminuição do vento ao nível do pedestre, sobretudo no interior da área.

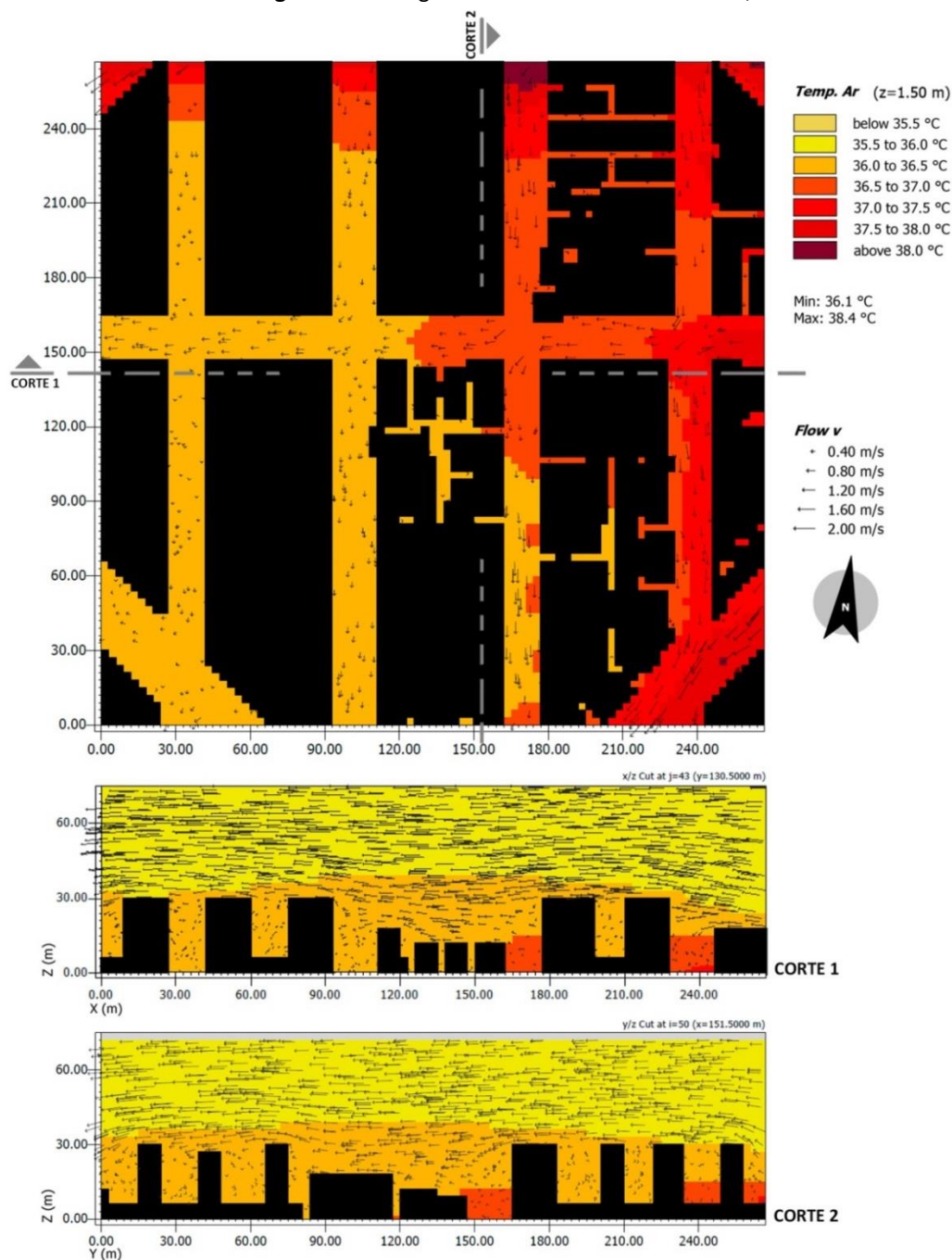
Neste mesmo sentido, outro aspecto que pode ser observado quanto ao comportamento esperado da ventilação nos cenários testados se refere à verticalização como potencial favorecedora à conformação de corredores de ventos no nível do transeunte. Silva (2014) identifica este comportamento entre edifícios de até 16 pavimentos, em estudos desenvolvidos para Vitória (ES) em área com características geográficas similares e localizada próxima da área considerada no estudo em questão. Porém, tal evento não foi constatado entre os resultados dos cenários simulados, possivelmente demonstrando não correspondências das simulações na representação da realidade quanto a este aspecto, pois ambos os cenários verticalizados (C3 e C4) apresentaram valores de V_v inferiores aos cenários de gabaritos mais baixos, conforme apresentado nos gráficos de V_v por ponto.

Quando comparados os cenários verticalizados entre si, C3 se destaca com menores reduções nos valores de velocidade do vento que C4. O comportamento horizontal do vento em C4 ressalta a sua distribuição pela área, demonstrando que os afastamentos entre as edificações contribuem para distribuir a ventilação, favorecendo a diminuição de V_v , enquanto as bases contínuas das edificações previstas para C3 contribuem para a canalização da ventilação, configurando áreas com velocidade do ar superior, embora reduzidas em relação aos cenários de menor verticalização. A Figura 47 apresenta o comportamento da ventilação quanto a distribuição pela área e velocidades características em cada região.

Além dos aspectos relacionados ao comportamento da ventilação no plano horizontal, ao nível do transeunte, a Figura 47 traz o comportamento da ventilação e temperatura do ar para C3 no plano vertical. Neste sentido, embora não apresente diferenças notáveis em relação ao C4 no que diz respeito ao direcionamento de V_v , visto que as maiores velocidades encontram-se acima do dossel urbano, ressalta-se em C3 o comportamento vertical da temperatura do ar. Diferente de C4, T_a em C3 mantém maiores valores por alguns metros acima do limite edificado. Este aspecto pode ter relação com o fato do volume de materiais ser superior neste cenário, o que absorve maior quantidade de calor, liberando, conseqüentemente, maior quantidade para o meio. Observa-se, ainda, valores superiores de T_a entre os próprios edifícios nas regiões mais próximas da superfície.

De modo geral, as quatro variáveis apresentadas (T_a , TRM, UR e V_v) estão diretamente ligadas ao estabelecimento de índices de conforto térmico. Embora o conforto urbano não seja objeto desta pesquisa, esses índices são uma forma de avaliação da condição de qualidade dos espaços urbanos para os usuários. Como pode ser avaliado nos cartogramas térmicos, à medida que o contexto se caracteriza como de maior verticalização, observa-se queda na temperatura local diurna, o que pode interferir positivamente na melhoria da condição de conforto térmico em situações de ondas de calor, embora seja necessário considerar conjuntamente as análises das demais variáveis climáticas. Contudo, diante dos aspectos apresentados, o C4 se destaca como o cenário em que as condições térmicas do local se apresentam mais amenas do que nos demais cenários testados, considerando as condições do modelo.

Figura 47: Cartogramas de Ta e Vv no Cenário 03, às 15h.



Fonte: A autora.

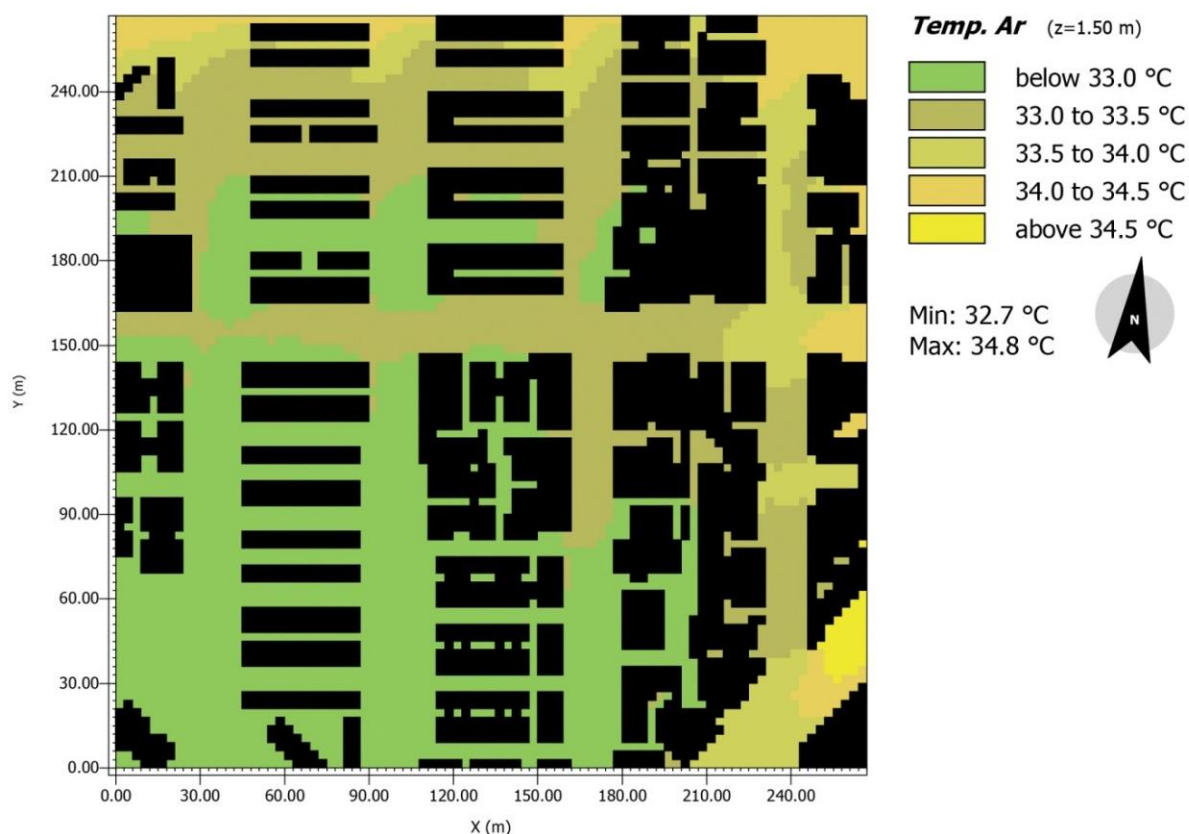
Enquanto as avaliações pontuais apresentadas nos gráficos representaram o comportamento específico para cada ponto avaliado em cada cenário, os cartogramas permitiram avaliar o comportamento térmico da área como um todo. Eles são apresentados a seguir representando os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h, nos quais pode ser observado o comportamento da atmosfera de forma distribuída pela área, no período da manhã, em meados da tarde e à noite. Para esta avaliação deu-se enfoque às variáveis Ta e TRM,

sobretudo dos cenários de maior divergência, como apresentado nas análises gráficas, correspondentes ao C1 e C4.

De modo geral, a compilação dos cartogramas de Ta na Figura 63 (APÊNDICE B: Cartogramas de Ta e TRM para os quatro cenários), apresentando os quatro cenários em cada horário sinótico considerado, mostra uma evolução quanto à capacidade da área em reter menor quantidade de calor conforme suas características de adensamento e verticalização. Assim, a área em C1 apresenta-se mais aquecida em todos os horários em relação ao C4 e essa diferenciação pode ser observada, sobretudo, na distribuição das manchas que representam a caracterização térmica do espaço.

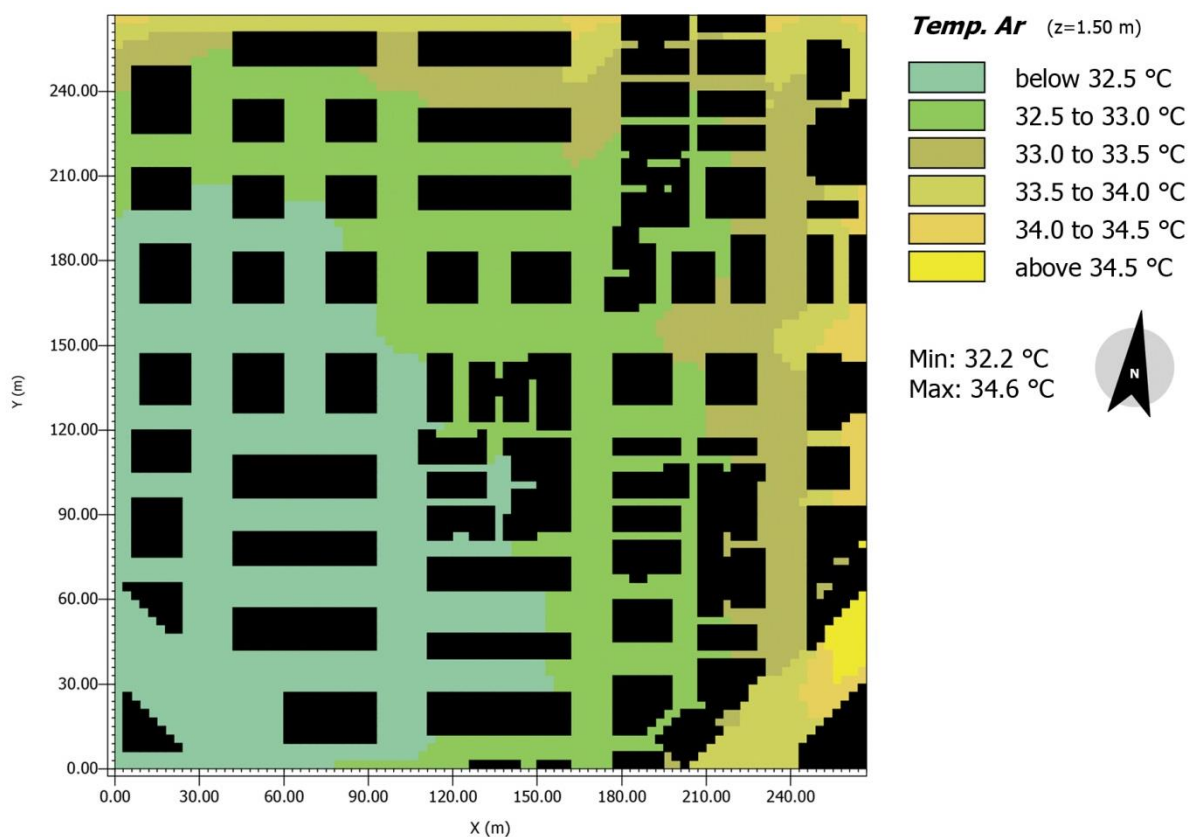
O C4 às 9h (Figura 49), por exemplo, apresenta uma área concentrada a sudoeste com temperaturas inferiores a 32,5°C, enquanto a região equivalente em C1 se mostra 0,5°C mais aquecida, conforme os cartogramas apresentados nas Figura 48 e Figura 49. A comparação entre os cenários mencionados permite ainda observar que a diferenciação do comportamento térmico ocorre predominantemente no entorno das edificações alteradas, mantendo-se similar nas áreas onde prevalecem as edificações existentes.

Figura 48: Cartograma de Temperatura do Ar para o Cenário 01, às 9 horas.



Fonte: A autora.

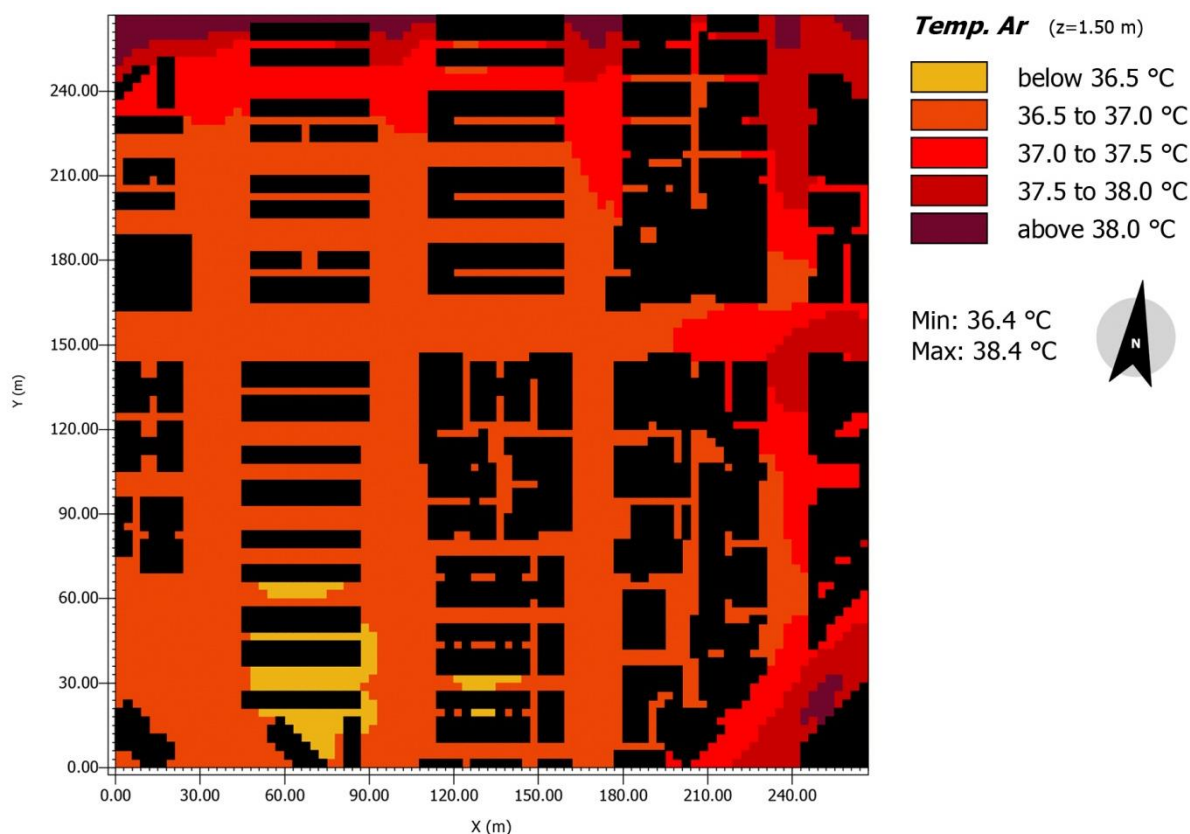
Figura 49: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 04, às 9 horas.



Fonte: A autora.

Todos os cartogramas do período da manhã e da tarde demonstram um aquecimento maior da região na localização nordeste e leste. Entretanto, a diferença entre C1 e C4 se destaca às 15h, quando C4 apresenta grande parte da sua área com temperaturas inferiores à 36,5°C, enquanto C1 apresenta uma pequena região com tal característica, mostrando-se prioritariamente com temperaturas compreendidas no intervalo de 36,5°C à 37,0°C, como pode ser observado nas Figura 50 e Figura 51. Contudo, os cartogramas das 15h chegam a apresentar regiões em que a diferença das temperaturas podem chegar a 1°C, tal como nas proximidades do eixo (x) 60m e (y) 240m. Porém, estes dados devem ser olhados com ressalvas, visto que correspondem à região próxima a borda do modelo, onde as distorções são comumente observadas.

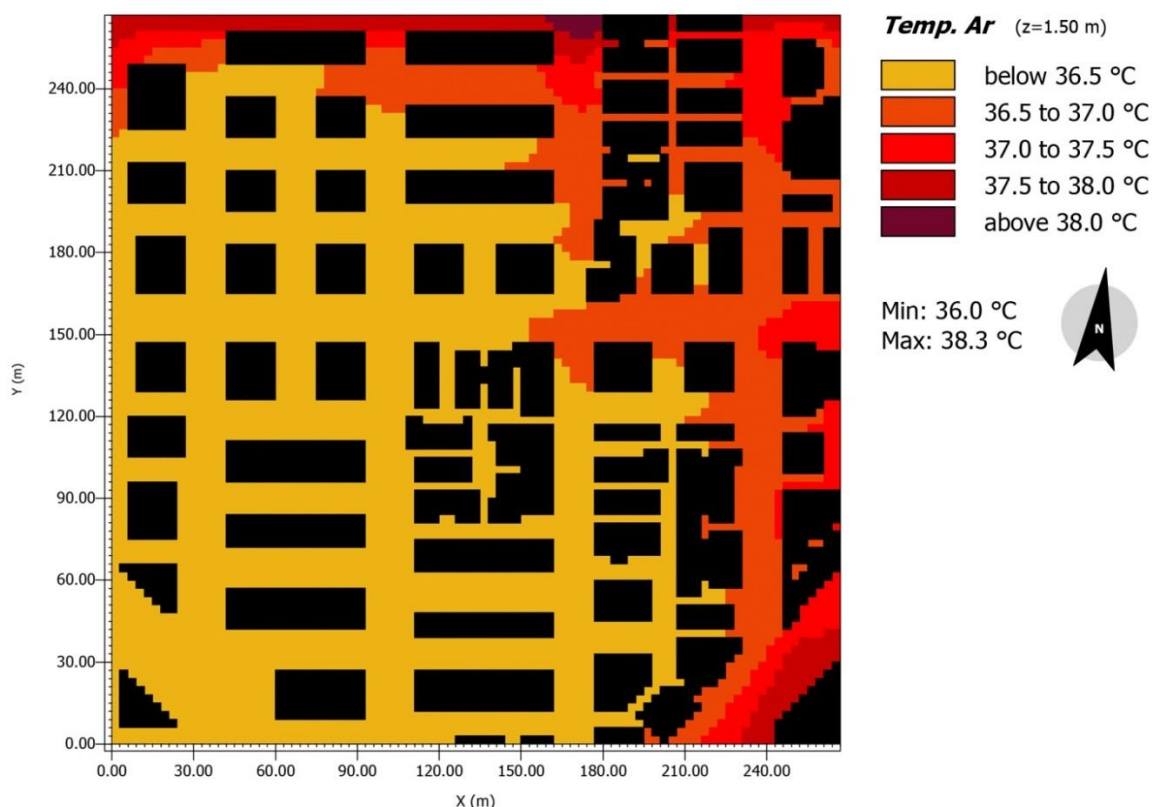
Figura 50: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 01, às 15 horas.



Fonte: A autora.

Os picos de temperatura entre os dois cenários se mostram próximos, chegando às máximas de 38,4°C em C1 e 38,3°C em C4, embora as áreas de maior temperatura sejam mais recorrentes em C1. Estas áreas correspondem às regiões de borda, para as quais a simulação pode apresentar instabilidades quanto à representação da realidade, conforme descrito por Gusson (2014), cujo estudo aponta que nestas áreas do modelo o programa tende a deixar sobressair trocas de calor por convecção, ao potencializar o contato do vento de entrada no modelo com as superfícies aquecidas, configurando o equilíbrio térmico entre a energia absorvida pelos materiais de superfície e o ar do entorno imediato. No contexto real, esta situação pode não necessariamente ocorrer de tal forma, já que não são representados os edifícios do entorno posterior à área modelada, que podem configurar barreiras na ventilação e conseqüente diminuição do fluxo de ar.

Figura 51: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 04, às 15 horas.



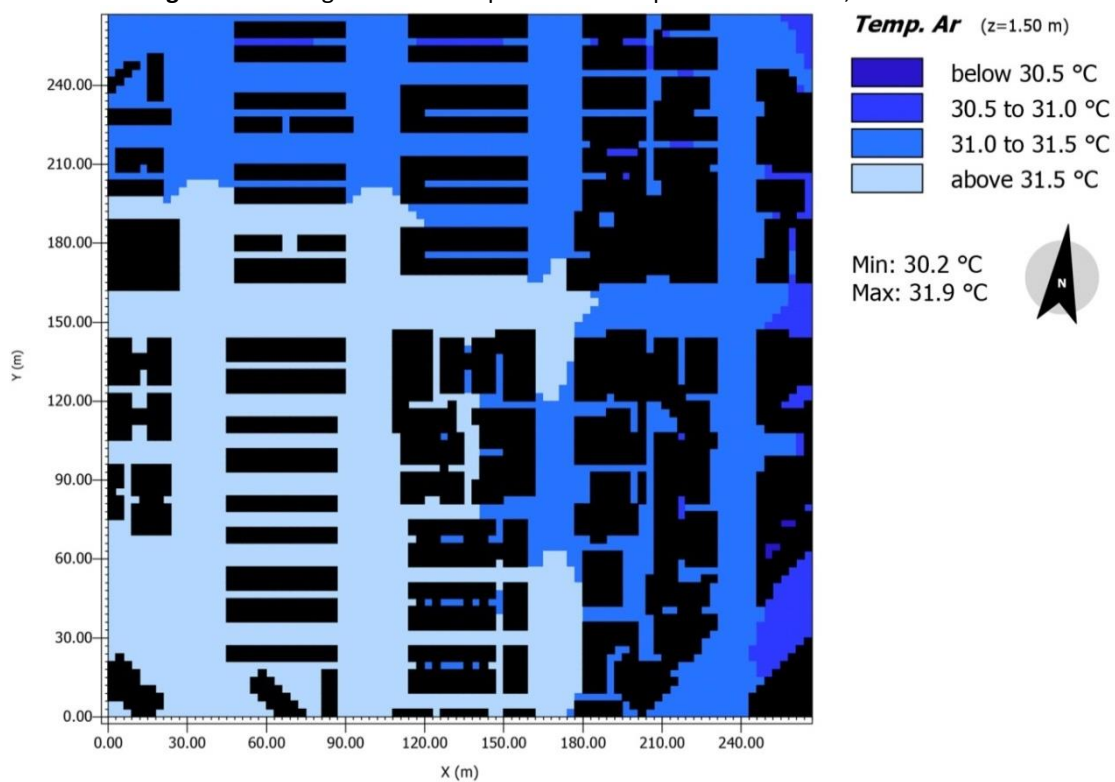
Fonte: A autora.

Já quanto ao comportamento térmico noturno da área, observado às 21h, a situação entre o C1 e C4 começa a se inverter, visto que as diferenças entre os mesmos passam a ser menores, de modo que C1 (Figura 52) chega a apresentar T_a máxima inferior ao C4 (Figura 53). Outro aspecto comparativo que ganha destaque diz respeito às dimensões das manchas representativas das maiores temperaturas em C1 e C4, que às 21h se aproximam, inversamente ao observado às 15h quanto às regiões de menor temperatura, quando os respectivos cenários apresentam significativa diferença na distribuição térmica espacial (Figura 50 e Figura 51).

Este aspecto demonstra a capacidade de resfriamento superior do C1 em relação aos demais cenários observados, sobretudo ao C4. Assim, reforça-se a ideia de que a configuração espacial de C1 tem seu resfriamento mais acelerado, sendo que às 21h as regiões de maior temperatura em ambos os cenários se aproximam significativamente, independentemente se a configuração espacial da região corresponde ao edificado alterado ou mantido. São observadas, inclusive, temperaturas mais baixas nas regiões norte e leste da área, indicando a relação da rugosidade urbana com tal caracterização térmica, visto que, em função das

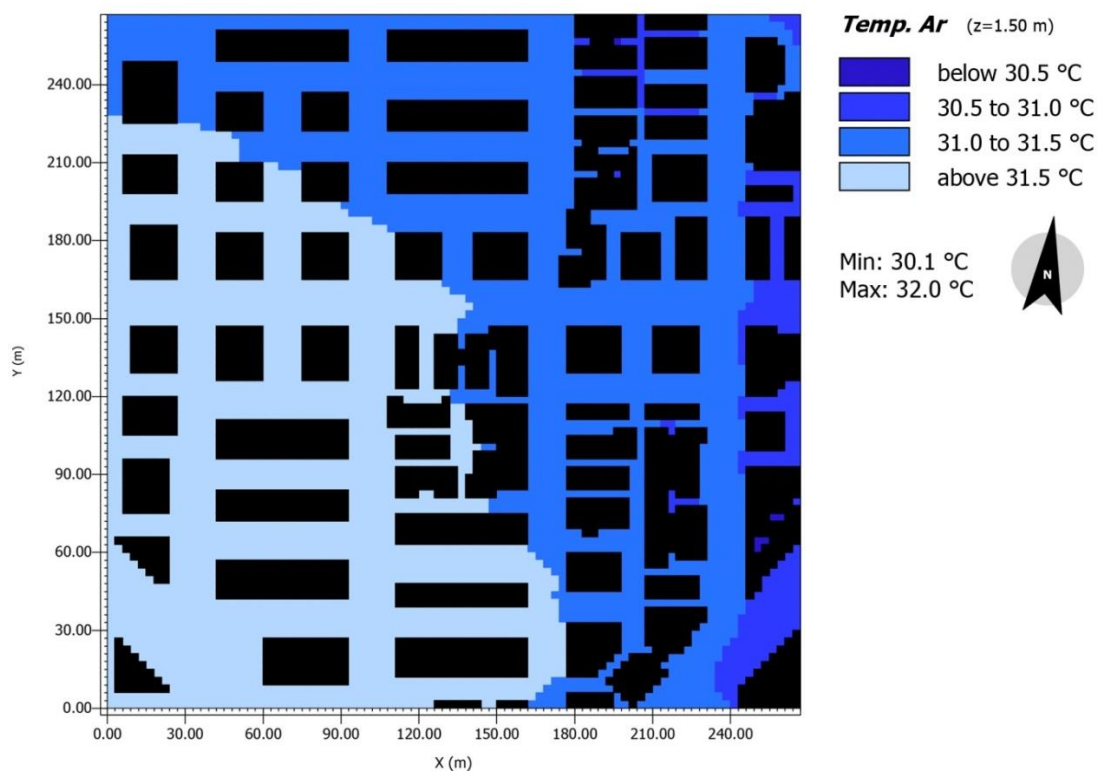
alturas dos edifícios, o resfriamento através das trocas de calor é favorecido pela entrada da ventilação em C1. Estes aspectos são observados nos cartogramas das Figura 52 e Figura 53.

Figura 52: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 01, às 21 horas.



Fonte: A autora.

Figura 53: Cartogramas de Temperatura do Ar para o Cenário 04, às 21 horas.

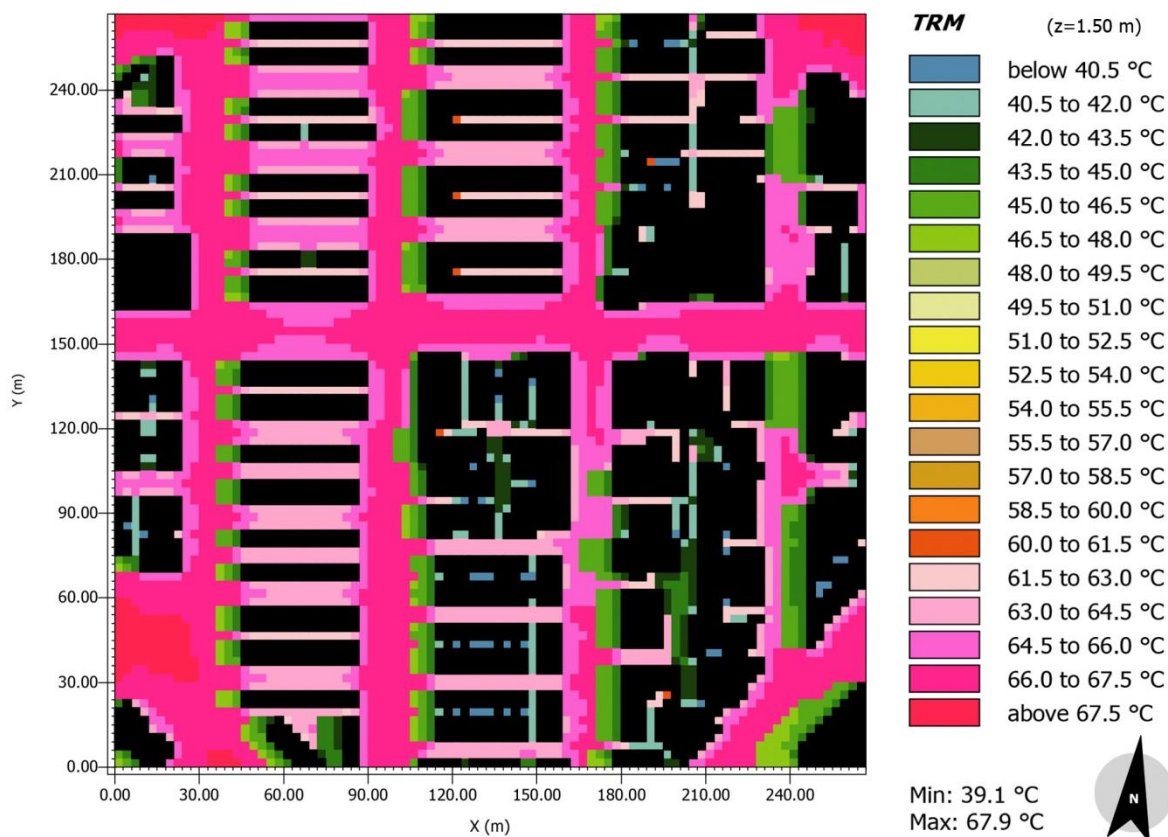


Fonte: A autora.

Já as análises dos cartogramas de TRM evidenciam a influência do sombreamento proporcionado pelas edificações no comportamento térmico da área. As áreas de menor temperatura observadas nos cartogramas representam as regiões mais afetadas pelas sombras das edificações, conforme os cenários testados. A Figura 64 (APÊNDICE B: Cartogramas de Ta e TRM para os quatro cenários) traz o comportamento da TRM para os quatro cenários simulados nos horários sinóticos definidos, ressaltando, em um panorama geral, como se comporta a variável microclimática em questão.

Tendo em vista as edificações de menor altura que compõem o C1, observa-se menor sombreamento, favorecendo a caracterização deste como o cenário mais aquecido dentre os considerados. Logo, para os três horários sinóticos analisados (9h, 15h e 21h), C1 apresenta as TRM(s) mais altas, inclusive dentre as áreas sombreadas. Isso ocorre pela quantidade de calor acumulado pelo entorno das áreas sombreadas que influenciam diretamente na sua caracterização térmica, em função das constantes trocas de calor características do equilíbrio termodinâmico. Enquanto no C1 às 9h observa-se TRM mínimas de 39,1°C (Figura 54), apesar destas serem características dos resquícios de áreas entre as edificações, a TRM predominante se mostra contida no intervalo entre 66,0°C a 67,5°C. Por sua vez, no C4 há predominância de valores entre 61,5°C e 64,5°C (Figura 55), configurando diferenças que chegam à 6,0°C em determinados pontos quando comparados os cenários em questão. Porém, algumas regiões mais específicas neste horário, chegam a ter uma diferença de até 27°C, ao serem observadas TRM de 66,0°C a 67,5°C em C1 enquanto em C4 pontos correspondentes apresentam TRM de 40,5 °C a 42,0 °C.

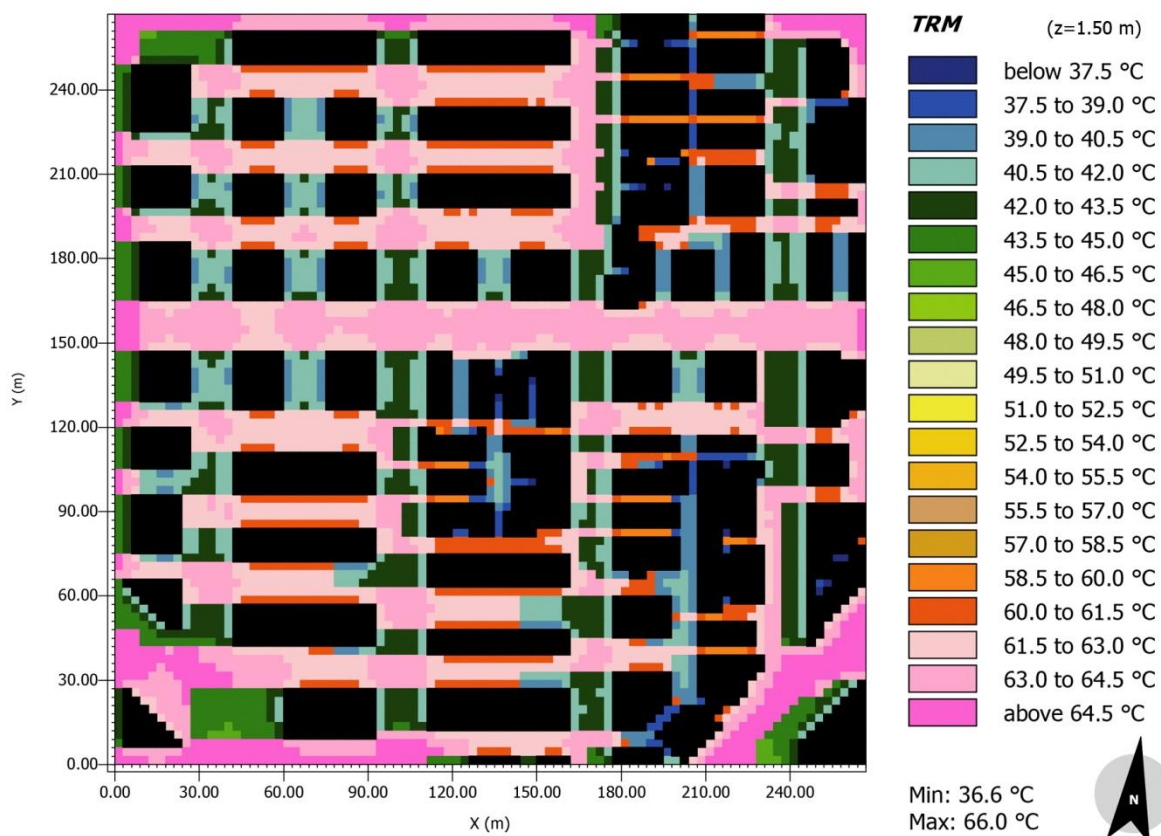
Figura 54: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 01, às 9 horas.



Fonte: A autora.

Contudo, a variabilidade de temperatura apresentada pelo C4 é superior a de C1, em função do sombreamento proporcionado pelas edificações de C4, que configuram áreas menos aquecidas e maior quantidade de ocorrências de transições térmicas entre estas e áreas não sombreadas. Isto é, as regiões que não sofrem influência direta do sombreamento se mostram mais aquecidas, embora o seu entorno conte com regiões sombreadas. Assim, tanto as áreas sombreadas quanto as não sombreadas contribuem entre si para o equilíbrio térmico, de modo que as áreas sombreadas absorvem o calor das áreas mais quentes, que por sua vez, ao cederem o calor para áreas sombreadas, reduzem a intensidade da sua própria caracterização térmica.

Figura 55: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 04, às 9 horas.

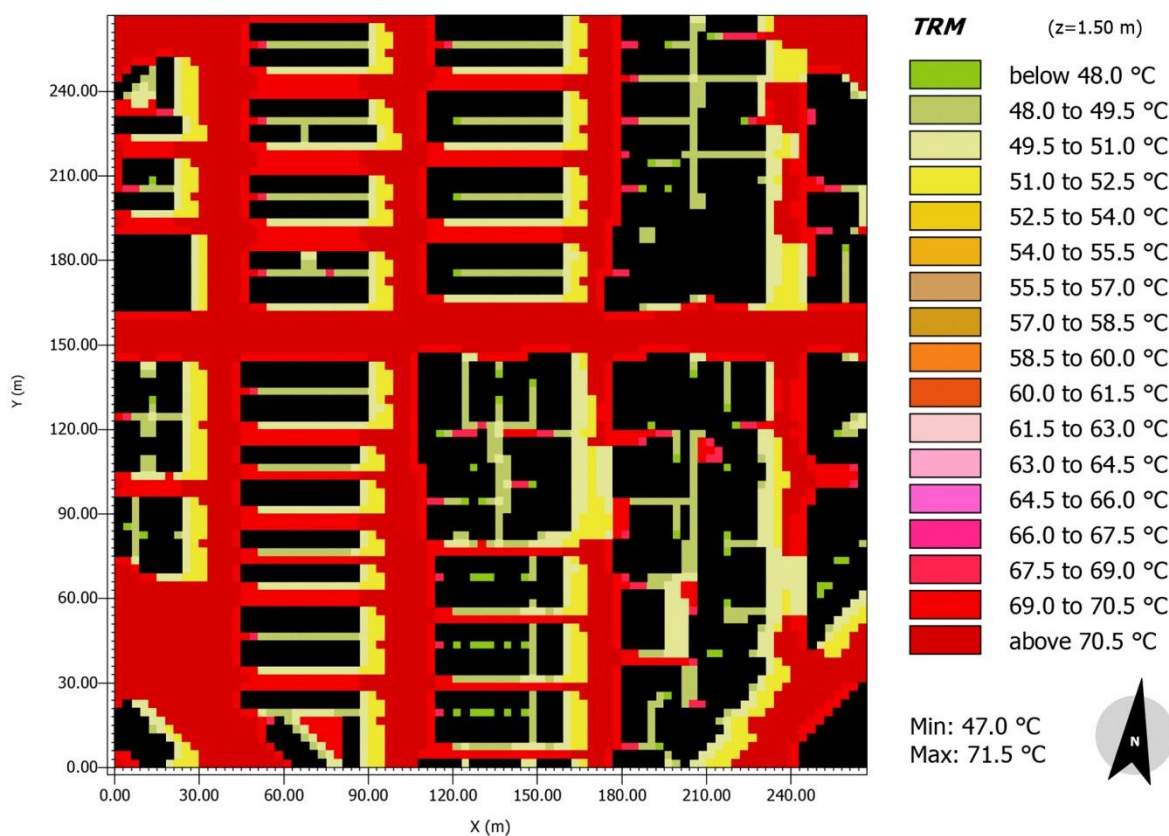


Fonte: A autora.

De modo geral, o C4 se equilibra termicamente, se mostrando menos aquecido do que os demais cenários, sobretudo o C1, em função da sua característica de verticalização. A diferença entre C1 e C4 se evidencia às 15h. Neste horário a TRM mínima observada em C1 (Figura 56) é da ordem de 47°C, enquanto que a TRM mínima encontrada em C4 é de 43,6°C. Mais uma vez, ambas ocorreram pontualmente nos vazios existentes entre as próprias edificações. A Figura 57 apresenta o comportamento térmico de C4 às 15h e nela pode-se observar regiões de TRM com valores reduzidos em proporções significativamente superiores às apresentadas em C1.

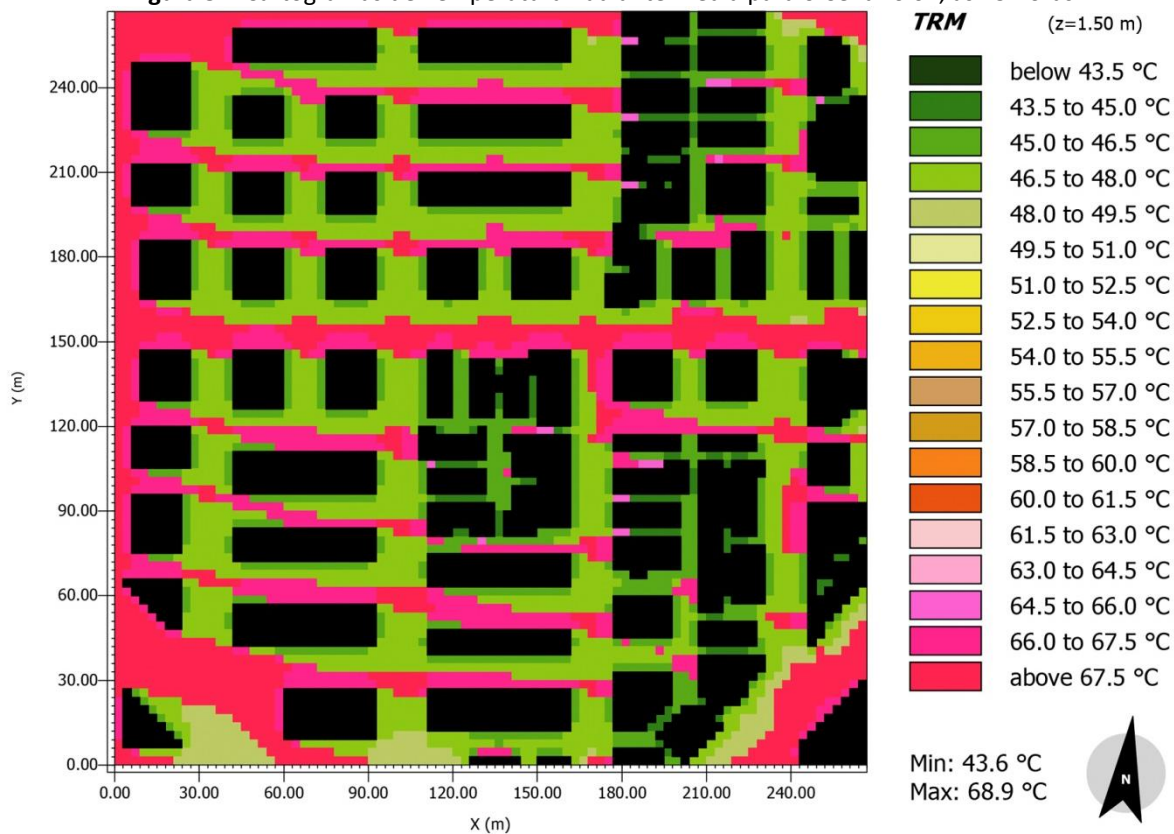
Em C1 os sombreamentos das edificações proporcionam TRM reduzidas enquadradas predominantemente entre 49,5°C e 52,5°C, enquanto em C4, as regiões sob influência de sombreamento têm seus valores predominantemente entre 43,5°C e 48,0°C. Tais características configuram uma diferença que pode chegar a 9,0°C em determinados pontos sombreados em ambos os cenários.

Figura 56: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 01, às 15 horas.



Fonte: A autora.

Figura 57: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 04, às 15 horas.



Fonte: A autora.

De modo geral, a TRM máxima encontrada em C1 chega a 71,5°C, sendo que os valores mais elevados coincidem com as regiões das vias urbanas, enquanto em C4 a TRM máxima corresponde à 68,9°C e os valores mais elevados (acima de 67,5°C) encontram-se nos entornos de edifícios e vias nas quais não se observa influência direta do sombreamento. No entanto, é importante ressaltar que, quando considerados pontos que não recebem sombreamento em C1, apresentando TRM superiores a 70,5°C, mas que se mostram influenciados pelos sombreamentos em C4, aonde suas TRM apresentam valores de 46,5°C a 48,0°C, a diferença de TRM entre pontos correspondentes no C1 e C4 pode chegar à 24,0°C.

Na condição de 15h a área como um todo já havia passado pelo momento de maior radiação do dia, se caracterizando com um período de equilíbrio térmico tendenciosamente decrescente. Portanto, as superfícies expostas à radiação direta já haviam absorvido o pico de radiação, de modo que, posterior a este horário, as superfícies passam a receber menor carga térmica, tendendo ao seu resfriamento em relação ao pico anteriormente alcançado.

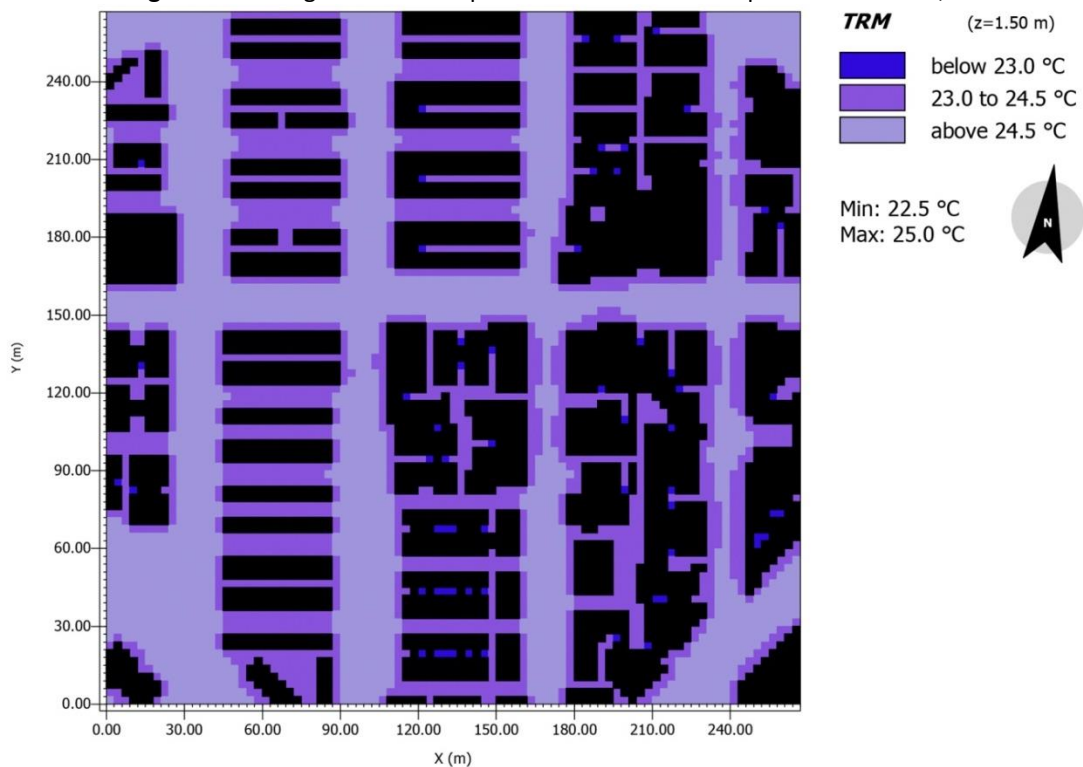
Por sua vez, as características de TRM das 21h, tanto em C1 (Figura 58) quanto em C4 (Figura 59), passam a demonstrar maior proximidade, embora C4 ainda se mostre menos aquecido do que no C1. Mesmo tendo sido constatada maior facilidade de resfriamento de C1 em relação aos demais cenários, ter adquirido menor carga térmica nos horários anteriores durante o período de radiação favoreceu para que C4 mantivesse a característica de menor aquecimento até o horário noturno avaliado. Porém, a tendência para as horas seguintes é que tal diferença diminua e que C1 passe a se caracterizar mais resfriado do que o C4.

Em contrapartida, apesar das temperaturas entre C1 e C4 se mostrarem muito próximas neste horário, as regiões de menor temperatura no C4 configuram área consideravelmente superior às regiões de mesma característica térmica em C1. Assim, enquanto C1 apresenta valores de 23,0°C a 24,5°C apenas no entorno imediato das edificações, C4 garante tal característica também para a maior parte das áreas de vidas urbanas.

De modo geral, observa-se que o desempenho térmico de C4 em relação aos demais cenários se diferencia em virtude das suas características de verticalização e consequente garantia de sombreamento para as áreas urbanas. Assim, as maiores diferenças térmicas entre cenários evidencia o fenômeno de aquecimento conforme a altura das edificações, de

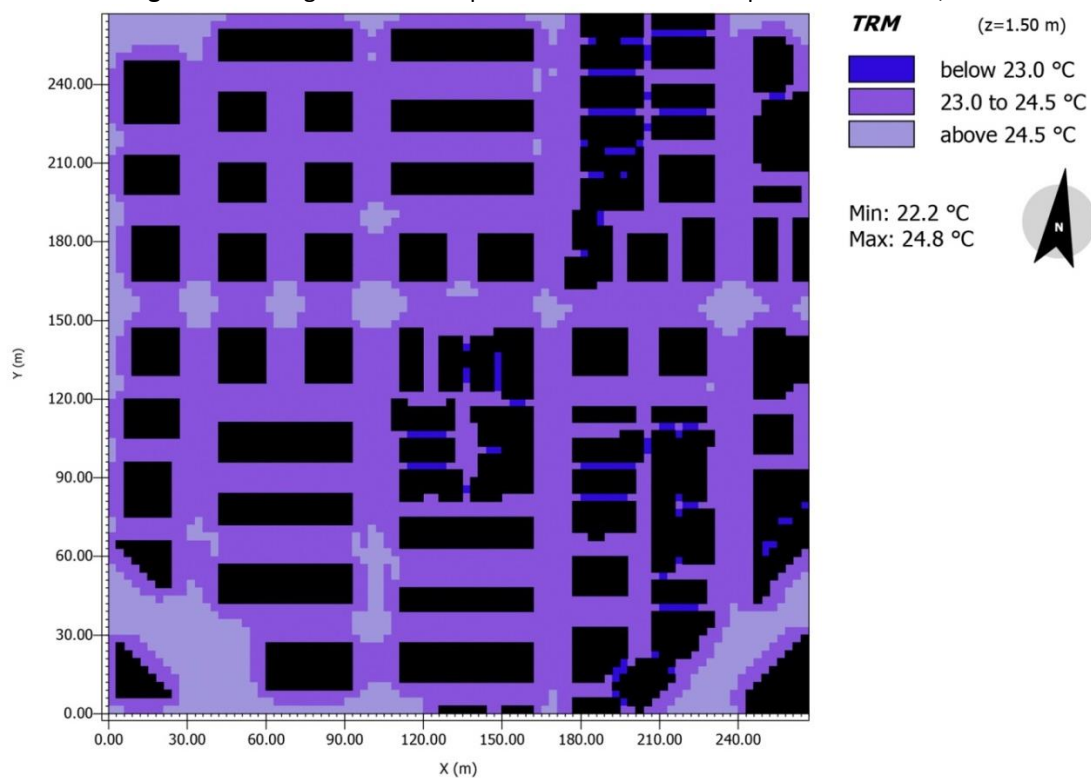
modo que os cenários de maior verticalização apresentam tanto processo de aquecimento quanto de resfriamento retardado em relação aos cenários menos verticalizados.

Figura 58: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 01, às 21 horas.



Fonte: A autora.

Figura 59: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para o Cenário 04, às 21 horas.



Fonte: A autora.

5 Conclusão

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do trabalho em questão permitiu observar e concluir como as alterações morfológicas urbanas, especialmente os parâmetros de adensamento e verticalização, podem interferir na caracterização térmica do microclima urbano. Neste sentido, o objetivo da pesquisa foi atendido, já que identificou as implicações do adensamento urbano no comportamento térmico, ao nível do pedestre, diante da situação estimada de aquecimento global. Quanto à hipótese levantada, o estudo demonstrou confirmação, já que as configurações urbanas que caracterizam a ocupação territorial da área avaliada desfavorecem a atenuação térmica ao nível do pedestre, tendo tal condição agradava em situação de aquecimento global.

Porém, os futuros cenários morfológicos testados, que incluem índices atualmente previstos para a área, assim como suposições de revisões futuras dos mesmos, demonstram que realidades construtivas futuras podem atuar na atenuação térmica, sobretudo em virtude do bloqueio da radiação solar direta. Contudo, atenta-se para que diversos outros aspectos sejam avaliados simultaneamente, já que o programa demonstrou não completa adequabilidade à realidade climática local, não identificando, por exemplo, as diferenciações microclimáticas entre contextos construídos distintos quando comparados os resultados das simulações com os das medições de campo.

Tendo em vista os cenários de mudanças climáticas mundiais, os quais demandam atuações de diversas frentes para o desenvolvimento de medidas de adaptação das cidades, o aspecto térmico se destaca perante tal situação. Como considerado por estudos de relevância internacional, como por exemplo, os relatórios desenvolvidos pelo IPCC, os eventos extremos serão incrementados, incluindo aqueles relacionados à maior intensidade e frequência nas ocorrências de temperaturas mais elevadas, especialmente nas regiões tropicais.

As cidades são apontadas como o tipo de aglomeração humana que mais sofrerá os impactos provenientes das mudanças climáticas, justificando os estudos relacionados ao tema, visando a adoção de medidas adequadas de adaptações e de mitigação dos prováveis efeitos pelos quais serão submetidas. Também deve ser ressaltado que as cidades, assim como são receptoras dos efeitos das mudanças climáticas, são também as responsáveis por grande parte das emissões, sendo possível a definição de estratégias e ações que possam

contribuir com a redução das cargas ambientais provenientes dos atuais padrões do modo de vida urbano.

Assim como identificado nos estudos apresentados na revisão bibliográfica, as simulações computacionais surgem como um meio de produção de conhecimento preditivo relevante para as realidades que o planejamento urbano precisa lidar. Porém, é imprescindível que sua acurácia seja devidamente verificada, para que seus resultados sejam validados. Os estudos desta ordem contribuem para quantificar e qualificar, dependendo do direcionamento dado, o desempenho das medidas estipuladas pelas leis que definem o encaminhamento do desenvolvimento das cidades, embasando e respaldando as decisões lançadas pelas políticas de planejamento urbano.

Como parte fundamental da metodologia desta pesquisa, foram realizadas simulações computacionais com o uso do modelo ENVI_MET 4.3, calibradas a partir de medições microclimáticas, levantamentos de campo e análises estatísticas da sua precisão. Com as simulações de calibragem do modelo foram realizados ajustes de parâmetros, de modo que sua acurácia foi confirmada pela aplicação de índices estatísticos, tais como o índice de Destreza de Pielke (D_{Pielke}), Índice de Concordância (IC) e o atendimento dos Critérios de Habilidade. Por fim, com as simulações paramétricas, nas quais foram simulados os distintos cenários edificados C1, C2, C3 e C4, pôde-se verificar como a alteração da morfologia urbana se comporta termicamente em cenários de temperaturas elevadas para determinado contexto construído de Vitória (ES).

O adensamento urbano, populacional e construtivo, é apontado por muitos estudos como uma alternativa vantajosa para a realidade das interações entre morfologia urbana e clima a ser enfrentada, podendo ser observado como um indicador de sustentabilidade urbana (LEITE, 2012). Ao serem avaliadas as consequências térmicas da aplicação de tal estratégia para Vitória (ES), observou-se que a manipulação da geometria urbana, configurando cenários mais adensados demonstrou atenuação térmica diurna dos espaços urbanos, diante das condições estabelecidas para o modelo. Do mesmo modo, estudos desenvolvidos por Taleb e Abu-Hijleh (2013), Gusson (2014), Schmitz (2014), Taleghani et al.(2015) e Jamei e Rajagopalan (2017) também identificaram caracterizações de atenuação térmica específicas em áreas com influência de sombreamento proveniente das geometrias construtivas avaliadas.

Nesta pesquisa, quando avaliado o cenário característico da configuração morfológica urbana atual, descrito no estudo como Cenário 01 (C1), em comparação com os demais cenários paramétricos (todos mais adensados do que o primeiro), mas, sobretudo, em relação ao Cenário 04 (C4), de maior verticalização e adensamento, observou-se diferenças de temperatura do ar de até $0,73^{\circ}\text{C}$ às 11h e de TRM de até $24,71^{\circ}\text{C}$ às 8h15min, para o ponto P1 entre C1 e C4 ao nível do pedestre, de modo que C4 apresentou os resultados mais baixos. Neste sentido, corrobora-se com as visões que trazem o nível de compacidade urbana como fator de interferência na condição térmica do lugar, aspecto este intimamente relacionado ao tempo de incidência direta da luz solar a qual a área é exposta.

Já quanto à distribuição do comportamento térmico espacial, viabilizada pela análise dos cartogramas observados nos horários sinóticos das 9h, 15h e 21h, tanto para Ta quanto TRM, destaca-se a diferença encontrada às 15h entre C1 e C4, quando foi possível identificar regiões onde a Ta chega a se diferenciar em até 1°C para menos em C4. Para TRM a diferença é maior, alcançando valores superiores em até 27°C em determinadas regiões de C1 às 9h. Tais resultados demonstraram que a atenuação da temperatura ao nível do pedestre está diretamente ligada à limitação da radiação solar direta sobre as superfícies urbanas, favorecida pelo sombreamento proporcionado pela verticalização.

Em contrapartida, observou-se maior dificuldade dos cenários verticalizados em dissipar o calor absorvido durante o dia, apresentando lentidão na queda dos valores de temperatura a partir do momento em que a incidência direta da radiação solar foi reduzida e passou-se a contar com o resfriamento atmosférico característico do período noturno. Este aspecto apresenta relação com os níveis de adensamento construtivo e, logo, com a quantidade de material compondo a área, assim como a forma de sua volumetria, que configurou barreira para a penetração da ventilação.

De modo geral, os dados de distribuição e velocidade da ventilação propiciada pelos distintos contextos edificados demonstraram que aqueles de menor verticalização e adensamento viabilizaram maiores velocidades de vento, o que contribui na dissipação do calor no período em que a incidência solar já não apresenta influência direta sobre as superfícies da área. Observou-se assim que, especialmente as variáveis estudadas – adensamento e verticalização – influenciaram no balanço térmico da área distintamente, conforme os horários analisados.

Para o contexto de Vitória, é de grande relevância que as considerações das variações do vento sejam realmente representadas pelo modelo computacional utilizado na realização das simulações, vista a influência da variável ventilação no contexto local, sobretudo por se tratar de uma cidade litorânea, onde as variações diárias de intensidade e direção do vento são comumente observadas, aspecto este não contemplado pela versão gratuita do *software*. Assim, é fundamental que o modelo utilizado para simular as condições locais reproduza com fidelidade o comportamento desta variável, não podendo ser representada de modo genérico, pois suas contribuições para o comportamento térmico local são significativas. Neste sentido, uma alternativa a ser testada em pesquisas futuras visando contornar esta condição pode ser a realização de simulações distintas para períodos “dia” e “noite”, de modo que, ao serem inseridos os dados representativos de cada período, obtêm-se os resultados representativos dos mesmos.

Identificou-se que, para pesquisas posteriores também é relevante considerar o incremento das informações de caracterização do modelo, tais como especificidades das características do solo e níveis de umidade. É importante ressaltar também a importância de se caracterizar de forma específica com a realidade as condições de *LBC*, sobretudo por se tratar de uma área inserida em um contexto litorâneo e que assim apresenta características específicas, sobretudo em relação à influência da umidade e dos fenômenos de brisa marítima. Outro ponto se refere aos materiais que compõem a área a ser simulada, buscando ao máximo a aproximação com suas características e propriedades reais. Além do mais, é relevante considerar dados sobre particulados atmosféricos, que também influenciam na alteração térmica microclimática local e compõem a realidade urbana de Vitória. Por fim, vislumbra-se o incremento na capacidade de simulações, através da aquisição de licenças do *software* para que seja possível ampliar os panoramas de pesquisas, incluindo a expansão das avaliações para as frentes diretamente relacionadas aos índices de conforto térmico.

Além das simulações relativas ao adensamento, é de extrema importância associar as análises relacionadas à morfologia urbana com a de outros enfoques, visando avaliar em conjunto demais estratégias de preparação e configuração do espaço público. Outros aspectos considerados de relevância são os que envolvem a avaliação do comportamento de materiais, de inserção de infraestruturas verdes, de reestruturação da mobilidade urbana e infraestruturas de transporte, atuação da arborização urbana, influência de corpos d’água,

relevos e superfícies naturais; e demais testes morfológicos, tais como a utilização de estratégias de pilotis, avaliando a distribuição da ventilação no meio, dentre outros. Estas análises devem ser consideradas de forma integrada, para que uma avaliação holística do desempenho das diretrizes de desenvolvimento urbano seja viabilizada e, assim, se aproxime da obtenção das melhores condições possíveis de conforto e qualidade de vida para os habitantes da cidade em um futuro próximo.

Além destes aspectos, é interessante realizar pesquisas conjuntas com outros *softwares* específicos de análises de desempenho térmico de edifícios, juntamente com os dados preditivos do ENVI_MET, para então ser verificado como os mesmos atuarão nos contextos climáticos futuros, caracterizando aumento ou não na demanda do consumo energético, por exemplo.

Por fim, um ponto de extrema importância demonstrado pela pesquisa em questão e que deve ser ressaltado foi a dificuldade do programa em representar o contexto microclimático levantado nas medições de campo. Suas representações demonstraram pouca sensibilidade em retratar as variáveis levantadas, tanto para a variabilidade quanto à amplitude dos dados representativos do campo, embora comprovadas pelos testes estatísticos. Deste modo, abre-se espaços para ponderações sobre a fragilidade da aplicabilidade do programa, assim como sua real adequabilidade de aplicação a representação de contextos microclimáticos.

O programa fornece tendências médias e, diferente do que foi observado nas medições de campo, demonstrou incapacidade em enxergar as variabilidades dentro de áreas pequenas, ou seja, áreas em microescalas, que se enquadram em um ou mais parâmetros da lei de uso e ocupação do solo. Portanto, deve-se avaliar formas mais assertivas se desenvolver experimentos com o modelo.

Referências

REFERÊNCIAS

- AHDOOT, S.; PACHECO, S. E.. Global Climate Change and Children's Health. **Pediatrics**, [s.l.], v. 136, n. 5, p.1468-1484, 26 out. 2015. American Academy of Pediatrics (AAP). <<http://dx.doi.org/10.1542/peds.2015-3233>>.
- AKBARI, H.; LEVINSON, R.. Evolution of Cool-Roof Standards in the US. **Advances In Building Energy Research**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.1-32, jan. 2008. Informa UK Limited. <<http://dx.doi.org/10.3763/aber.2008.0201>>.
- ASSIS, E. S.. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **RUA**. Revista de Arquitetura e Urbanismo, v. 9, p. 20-25, 2007.
- ASSIS, E. S. ESTUDO INTEGRADO DA ILHA DE CALOR EM ÁREAS URBANAS E SUA CONTRIBUIÇÃO AO PLANEJAMENTO: o caso de Belo Horizonte, MG. **Fórum Patrimônio: Mudanças climáticas e o impacto das cidades**. Belo Horizonte, p. 69-83. 2011.
- ASSIS, E. S.; SIRQUEIRA, C. A.; BAMBERG, A. M.. INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO MICROCLIMA EM AMBIENTE SIMULADO CONTROLADO. In: XII Encontro Nacional de Conforto No Ambiente Construído e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto No Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais**. Brasília: Encac e Elacac, 2013. p. 1 - 10.
- AYOADE, J. O.. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 15. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C.. **Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. 2. ed. Maceió: Edufal, 2016. 201 p.
- BATHIANY, S.; DAKOS, V.; SCHEFFER, M.; LENTON, T. M.. Climate models predict increasing temperature variability in poor countries. **Science Advances**, [s.l.], v. 4, n. 5, p.1-10, maio 2018. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.aar5809>>.
- BRASIL, 2017a. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. . **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)**. 2017a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>>. Acesso em: 13 out. 2017.
- BRASIL, 2017b. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. . **Acordo de Paris**. 2017b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 13 out. 2017.
- BRASIL, 2017c. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. . **Protocolo de Quioto**. 2017c. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>>. Acesso em: 13 out. 2017.
- BRASIL, 2017d. Lucas Tolentino. Ministério do Meio Ambiente. **Brasil reforça liderança pelo clima na COP 23**. 2017d. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=2692>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BRASIL, 2018a. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. . **Plano Nacional de Adaptação**. 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao#monitoramento-do-pna>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

BRASIL, 2018b. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL. **Novo Aeroporto de Vitória é inaugurado**. MTPA, INFRAERO. Abr. 2018. Disponível em: <http://transportes.gov.br/ultimas-noticias/6933-novo-aeroporto-vitoria-inaugurado.html> Acesso em: 20 abril. 2018.

BRUSE, M.; FLEER, H.. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, [s.l.], v. 13, n. 3-4, p.373-384, out. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1364-8152\(98\)00042-5](http://dx.doi.org/10.1016/s1364-8152(98)00042-5).

CASAGRANDE, B. G.; ALVAREZ, C. E.. **Preparação de arquivos climáticos futuros para avaliação dos impactos das mudanças climáticas no desempenho termoenergético de edificações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 173-187, jul./set 2013.

CASAGRANDE, B. G.. **CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS: diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético de edifícios comerciais no Brasil para o século XXI**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

COMDEVIT. Conselho Metropolitano de Desenvolvimento da Grande Vitória. **Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV)**, 2017. Disponível em: <<https://planometropolitano.es.gov.br/comdevit> >. Acesso em: Dezembro 2017

CORBELLA, O.; YANNAS, S.. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: Conforto Ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORREA, W.S.C.. **Comportamento dos elementos climáticos, temperatura e precipitação, no Município de Vitória (ES) no período de 1978 a 2007**. Monografia (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

CORREA, W.S.C, SIMÕES, A.S., MARCHIORO, E., VALE, C.C.. Simulação de um Evento de Precipitação no Município de Vitória (ES) utilizando o Modelo WRF. In: **XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 20013, Vitória, p. 622 - 630. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/316521484>>. Acesso em: 25 dez. 2017.

CORREA, W.S.C.. **CAMPO TÉRMICO E HIGROMÉTRICO DA REGIONAL PRAIA DO CANTO NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA (ES)**. 2014. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

CORREA, W.S.C; VALE, C. C.. Contribuição à compreensão do campo térmico da Regional Praia do Canto, em Vitória (ES) pela metodologia de transectos. **Ra'e Ga: o espaço geográfico em análise**, Curitiba, v. 38, n. , p.50-81, dez. 2016.

CORREA, W. S. C.; COELHO, A. L. N.; VALE, C. C.. INFLUÊNCIA DE DISTINTOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA (ES). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 53, p.37-54, mar. 2015. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>>. Acesso em: 06 set. 2017.

DIETZ, S.; BOWEN, A.; DIXON, C.; GRADWELL, P. 'Climate value at risk' of global financial assets. **Nature Climate Change**, [s.l.], v. 6, n. 7, p.676-679, 4 abr. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2972>.

DUARTE, D. H. S.. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano**: Contribuições a uma abordagem interdisciplinar. 2015a. 167 p. Tese (Livre Docência) - Departamento de Tecnologia da Arquitetura, FAUUSP, São Paulo, 2015a.

DUARTE, D. H. S.. O clima urbano e o ambiente construído. In: GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus (Org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015b. Cap. 6. p. 155-179.

DUARTE, D. H. S.; SHINZATO, P.; GUSSON, C. S.; ALVES, C. A.. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. **Urban Climate**, [s.l.], v. 14, p.224-239, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.006>

EDWADRS, B.. **O Guia Básico para a Sustentabilidade**. 2ª ed. RIBA Enterprises: London, 2005.

EMMANUEL, R.; ROSENLUND, H.; JOHANSSON, E.. Urban shading—a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal Of Climatology**, [s.l.], v. 27, n. 14, p.1995-2004, 2007. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1609>

ENVI_MET, 2017a. Disponível em: < <https://www.envi-met.com/> >. Acesso em: nov. 2017.

ENVI_MET,. **ENVI-met V4.3 Quickstart**: Winter 2017/2018. 2017c. Disponível em: <http://envi-met.info/public/files/docs/getting_started_4_3.pdf>. Acesso em: nov. 2017.

ENVI_MET. **ENVI-met Knowledgebase Overview**. 2017b. Disponível em: <<http://envi-met.info/doku.php?id=kb:start> >. Acesso em: nov. 2017.

ESPÍRITO SANTO. Governo Do Estado do Espírito Santo. . **Centro de Estudos Climáticos do Espírito Santo entra em atividade**. 2018. Disponível em: <<https://www.es.gov.br/Noticia/centro-de-estudos-climaticos-do-espírito-santo-entra-em-atividade>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

FERREIRA FILHO, J. B. S; YOUNG, A.; COSTA, H.; LUCENA, A. F. P.; SANTOS, A. S.. AGLOMERADOS HUMANOS, INDÚSTRIA E INFRAESTRUTURA. In: BRASIL. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. PBMC (Org.). **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas**: Contribuição do GT2 do PBMC ao RAN1. Rio de Janeiro: COPPE, 2014. Cap. 5. p. 196-261.

FOSSATI, M.. **Metodologia para avaliação de sustentabilidade do projeto de edifícios: o caso de escritórios de Florianópolis**, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

FRANCISCO, R. C. A.. **CLIMA URBANO: UM ESTUDO APLICADO A BELO HORIZONTE, MG**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

GEHL, J.. **Cidade Para Pessoas**. 2. ed. S.l: Perspectiva, 2014. 280 p.

GUERRERO, V. V. U. **Condições atmosféricas associadas à dispersão de poluentes nas cidades de São Paulo e Santiago**. São Paulo: USP, 203 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

GUSSON, C. S.. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano**: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo, SP. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GUSSON, C. S.; DUARTE, D. H.S.. Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI_met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 169, p.2-10, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.001>.

HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A.J. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 26, n. 4, p.591-608, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862011000400009>.

HEBBERT, M.; JANKOVIC, V. L.. Cities and Climate Change: The Precedents and Why They Matter. **Urban Studies**, [s.l.], v. 50, n. 7, p.1332-1347, 19 abr. 2013. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0042098013480970>.

HUTTNER, S.; BRUSE, M.. NUMERICAL MODELING OF THE URBAN CLIMATE: A PREVIEW ON ENVI-MET 4.0. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 7., 2009, Yokohama, Japan. **Proceedings...** . S.l.: Icac, 2009. p. 1 - 4. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/237757978>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

HUTTNER, S.; BRUSE, M.; DOSTAL, P.. Using ENVI_met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In: 5th JAPANESE-GERMAN MEETING ON URBAN CLIMATOLOGY, 5., 2008, Universität Freiburg. **Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs**. Universität Freiburg: Helmut Mayer and Andreas Matzarakis (eds.), 2008. v. 18, p. 307 - 312.

HUTTNER, S.; BRUSE, M.; DOSTAL, P.; KATZSCHNER, A.. Strategies for mitigating thermal heat stress in central european cities: the project Klimes. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE

ON URBAN CLIMATE, 7., 2009, Yokohama,. **Proceedings...** . Yokohama - Japan: ICUC, 2009. p. 1 - 5. Disponível em: <http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/382880-4-090514012244-002.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2017.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL 1961 - 1990**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 20 maio 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. **Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **CIDADES: Vitória**. IBGE, 2017a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vitoria/panorama>. Acesso em: set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2017**. IBGE, 2017b. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2017/estimativa_dou.shtm Acesso em: set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geociência, Organização do território, Estrutura Territorial: **Áreas dos Municípios**. IBGE, 2016. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=downloads_ Acesso em: set. 2017.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

JAMEI, E.; RAJAGOPALAN, P.. Urban development and pedestrian thermal comfort in Melbourne. **Solar Energy**, [s.l.], v. 144, p.681-698, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.023>.

KENNEL, C. F.; BRIGGS, S.; VICTOR, D. G.. Making climate science more relevant. **Science**, [s.l.], v. 354, n. 6311, p.421-422, 27 out. 2016. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.aag3248>.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK; C., RUDOLF, B.; RUBEL, F.. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 15, n. 3, p.259-263, 10 jul. 2006. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.

KRÜGER, E.I.; MINELLA, F.O.; RASIA, F.. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. **Building And Environment**, [s.l.], v. 46, n. 3, p.621-634, mar. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006>.

LABAKI, L. C.; FONTES, M. S.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; DACANAL, C.. **Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2012.

LAHME, E; BRUSE, M.. MICROCLIMATIC EFFECTS OF A SMALL URBAN PARK IN A DENSELY BUILD UP AREA: measurements and model simulations. In: 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 5., 2003, Lodz, Pologne. **Proceedings...** . Lodz, Pologne: ICUC, 2003. p. 1 - 4. Disponível em: <http://ENVI_met.net/documents/papers/park2003.pdf>. Acesso em: 23 set. 2017.

LEITE, C.. Gestão e Planejamento: Indicadores de desenvolvimento Urbano Sustentável. In: PADOVANO, Bruno Roberto; NAMUR, Marly; SALA, Patricia Bertacchini (Org.). **SÃO PAULO: EM BUSCA DA SUSTENTABILIDADE**. São Paulo: Pini, Editora da Universidade de São Paulo, 2012. Cap. 1.4. p. 54-69.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Editora Hucitec, 1985.

LOUGHNAN, M. E.; NICHOLLS, N.; TAPPER, N. J.. When the heat is on: Threshold temperatures for AMI admissions to hospital in Melbourne Australia. **Applied Geography**, [s.l.], v. 30, n. 1, p.63-69, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.08.003>.

MAERSCHALCK, B. D.; JANSSEN, S.; VANKERKOM, J.; MENSINK, C; BURG, A. V. D.; FORTUIN, P.. CFD SIMULATIONS OF THE IMPACT OF A LINE VEGETATION ELEMENT ALONG A MOTORWAY ON LOCAL AIR QUALITY. **Croatian Meteorological Journal**. Zagreb, dez. 2008. p. 339-344. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=96384>. Acesso em: 12 jul. 2017.

MASCARÓ, L. R.. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: DC Luzzatto, 1996.

MONTEIRO, C. A. F.. Teoria e clima urbano. In: MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 9-67.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P.. **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2007.

MORAIS, M.V.B. **Efeitos da vegetação sobre os termos do balanço de energia em áreas urbanas**. 144 f. Tese Doutorado – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MORRIS, K. I.; CHAN, A.; MORRIS, K. J. K.; OOI, M. C. G.; OOZEER, M. Y.; ABAKR, Y. A.; NADZIR, M. S. M. ; MOHAMMED, I. Y.; AL-QRIMLI, H. F.. Impact of urbanization level on the interactions of urban area, the urban climate, and human thermal comfort. **Applied Geography**, [s.l.], v. 79, p.50-72, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.007>.

MÜLLER, N.; KUTTLER, W.; BARLAG, A.. Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort. **Theoretical And Applied Climatology**, [s.l.], v. 115, n. 1-2, p.243-257, 17 abr. 2013. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-013-0890-4>.

NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F.. **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre INPE/CCST; Universidade Estadual de Campinas, Núcleo de Estudos de População Unicap/NEPO, 2011.

NOGUEIRA, A. M. P.. **CONFIGURAÇÃO URBANA E MICROCLIMAS**: estudo em loteamento horizontal de Maceió-Alagoas. 2011. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Fau/ufal, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

O'BRIEN, K.; LEICHENKO, R.. **Human Security, Vulnerability and Sustainable Adaptation**. Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World. Human Development Report 2007/2008. United Nations Development Program (UNDP), New York, NY, USA, 2008.

OKE, T. R.. **Canyon geometry and nocturnal urban heat island**: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, v. 1, p. 237 - 254. 1981.

OKE, T.R.. Street design and urban canopy layer climate. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 11, n. 1-3, p.103-113, mar. 1988. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6).

PBMC, 2014a: **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp.

PBMC, 2014b: **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.

PBMC, 2014c: **Mitigação das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Bustamante, M. M. C., Rovere E.L.L, (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 463 pp.

PBMC, 2016a: **Mudanças Climáticas e Cidades**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PBMC, 2016b: **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas**: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A.. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, European Geosciences Union, 2007, 11 (5), pp.1633-1644. <hal-00305098>

PENG, R. D.; BOBB, J. F.; TEBALDI, C.; McDANIEL, L.; BELL, M. L.; DOMINICI, F.. Toward a Quantitative Estimate of Future Heat Wave Mortality under Global Climate Change. **Environmental Health Perspectives**, [s.l.], v. 119, n. 5, p.701-706, mai. 2011. *Environmental Health Perspectives* <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1002430>.

PNA, 2016a. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: Estratégia Geral**. Ministério do Meio Ambiente. Brasil. Brasília: MMA, 2016. v1. 59 p. Versão Pós-Consulta Pública.

PNA, 2016b. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: Estratégias Setoriais e Temáticas**. Ministério do Meio Ambiente. Brasil. Brasília: MMA, 2016. v2. 371 p. Versão Pós-Consulta Pública.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Censo Demográfico: Dados Sinopse – Julho/2011 – População: Tab.2** . Gerência de Informações Municipais. PMV, Julho 2011. Disponível em: http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/Censo_2010/Tab2_sinopse_pop.asp .Acesso em 14 set. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Área territorial dos bairros de Vitória**. Secretaria de Gestão Estratégica – Gerência de Informações Municipais. PMV, Abril 2014a. Disponível em: http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/dados/AREA_BAIRROS_abril2014.pdf .Acesso em 14 set. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Município de Vitória: número de pavimentos**. Secretaria Municipal de Fazenda. PMV, Junho 2014b. Disponível em: http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/Numero_de_Pavimentos_jun2014.pdf .Acesso em 14 set. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Geral: dados geográficos**. PMV, 2017a. Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/geograficos.asp> . Acesso em 14 set. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Vitória em Mapas: Regiões Administrativas – Lei nº 8.611/2014**. PMV, 2017b. Disponível em: http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/reg_adm_2014.asp Acesso em: set. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Geral: Territorialização**. PMV, 2017c. Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/territorializacao2014.asp> . Acesso em: set. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Regiões Administrativas: Região 9 – Jardim da Penha**. PMV, 2017d. Disponível em: http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/dados_regiao/regiao_9/regiao9d.asp . Acesso em: set. 2017.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F.. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas: um guia de sobrevivência para o século XXI**.. Porto Alegre: Bookman, 2009. 384 p.

ROMERO, M. A.. APRESENTAÇÃO. In: GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus (Org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 7-10.

RUAS, A. C.. **Conforto térmico nos ambientes de trabalhos**. Fundacentro, 1999.

SALVADOR, N.. **Estudo da Camada Limite Atmosférica em Regiões Metropolitanas Costeiras com Simulações de Brisa**. 2014. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SAMAALI, M.; COURAULT, D.; BRUSE, M.; OLIOSO, A.; OCCELLI, R.. Analysis of a 3D boundary layer model at local scale: Validation on soybean surface radiative measurements. **Atmospheric Research**, [s.l.], v. 85, n. 2, p.183-198, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2006.12.005>.

SANAIEIAN, H., TENPIERIK, M., LINDEN, K.V.D., MEHDIZADEH S., F., MOFIDI S. S. M.. Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 38, p.551-560, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.06.007>.

SANTAMOURIS, M.; GAITANI, N.; SPANOU, A.; SALIARI, M.; GIANNOPOULOU, K.; VASILAKOPOULOU, K.; KARDOMATEAS, T.. Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas – Design realization and results of the flisvos project. **Building And Environment**, [s.l.], v. 53, p.128-136, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.022>.

SANTAMOURIS, M.. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 26, p.224-240, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>.

SANTIAGO, A. M.. **SIMULAÇÃO DA CAMADA LIMITE PLANETÁRIA SOBRE A REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA COM O USO DO MODELO DE MESOESCALA WRF**. 2009. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

SANTIAGO, A. M.. **FORMAÇÃO E TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO NA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA/ES: UTILIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO CMAQ**. 2015. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

SCHMITZ, L. K.. **Reestruturação Urbana e Conforto Térmico em Curitiba/PR: diagnóstico, modelagem e cenários**. 2014. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SHASHUA-BAR, L.; TSIROS, I. X.; HOFFMAN, M.. Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate (Athens) under hot summer conditions. **Building And Environment**, [s.l.], v. 57, p.110-119, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.019>.

SHINZATO, P.. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. 2009. 173 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Tecnologia da Arquitetura) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2009.

SHINZATO, P.; DUARTE, D.H.S.. Microclimatic Effect of Vegetation for Different Leaf Area Index - LAI. In: OPPORTUNITIES, LIMITS & NEEDS TOWARDS AN ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE ARCHITECTURE, 28., 2012, Lima, Perú. **Anais**. Lima, Perú: Plea, 2012. p. 1 - 6. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/baff/35e17741b0f36bacb1555b88700690b69d45.pdf?_ga=2.41617057.2061114236.1521746519-1127462006.152174651 Acesso em: 23 ago. 2017.

SILVA, F. T.; ALVAREZ, C. E.. **Pressupostos teóricos para análise climática da camada intra-urbana**: recomendações gerais para obtenção e análise de dados. In: ELECS. Curitiba, 2013.

SILVA, F. T.. **CONFORTO TÉRMICO DO TRANSEUNTE**: a porosidade urbana como condicionante da ventilação. 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SIMON, H.; LINDÉN, J.; HOFFMANN, D.; BRAUN, P.; BRUSE, M.; ESPER, J.. Modeling transpiration and leaf temperature of urban trees – A case study evaluating the microclimate model ENVI-met against measurement data. **Landscape and Urban Planning**, [s.l.], v. 174, p.33-40, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.003>

STATHOPOULOU, M.; CARTALIS, C.. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. **Solar Energy**, [s.l.], v. 81, n. 3, p.358-368, mar. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.014>.

TALEB, D.; ABU-HIJLEH, B. Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 50, p.747-762, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.030>.

TALEGHANI, M.; KLEEREKOPER, L.; TENPIERIK, M.; DOBBELSTEEN, A. V. D.;. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. **Building And Environment**, [s.l.], v. 83, p.65-78, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>.

TARGHI, M. Z; VAN DESSEL, S. Potential Contribution of Urban Developments to Outdoor Thermal Comfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 118, p.1153-1161, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.457>.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects**: The 2014 Revision. Department of Economic and Social Affairs. New York: United Nations, 2014. 32 p. Highlights. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf>>. Acesso em: 17 ago.. 2017

VITÓRIA. Lei nº 9.271, de 22 de maio de 2018. Aprova o Plano Diretor Urbano do Município de Vitória e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Vitória** - Estado do

Espírito Santo. ed. Nº 940. Vitória, ES - BRASIL: Diário Oficial, 22 maio 2018. Disponível em: <<http://diariooficial.vitoria.es.gov.br/ExibirArquivo.aspx?qs=qWdXNT75uq4jT8sAXHV4YcKe8SoLZJ3dDlftaxRwv%2fkTq2%2f08j9RDCzsKhIVvmB0Zi%2f2pT3g5ubRfg3EwY9aOzpu4NH1LpoBjb2FbaHLOXU%3d>>. Acesso em: 27 maio 2018.

WAMSLER, C.; BRINK, E.; RIVERA, C. **Planning for climate change in urban areas: from theory to practice**. Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 50, p.68-81, jul. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.008>.

WANIA, A.; BRUSE, .; BLOND, N.; WEBER, C. Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 94, n. 1, p.91-101, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.036>.

WILKS, Daniel S.. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2. ed. (s.l.): Elsevier, 2006. 649 p. (International Geophysics Series).

WILLMOTT, C. J.. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. **Bulletin Of The American Meteorological Society**, [s.l.], v. 63, n. 11, p.1309-1313, nov. 1982. American Meteorological Society. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1982\)0632.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1982)0632.0.co;2).

WMO, 2014. World Meteorological Organization (Suíça) (Org.). URBAN OBSERVATIONS. In: World Meteorological Organization (WMO) (Org.). **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. 8. ed. Genebra. WMO, 2014. Cap. 9. p. 765-793. Updated in 2017. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/CIMO-Guide.html>>. Acesso em: 23 out. 2017.

WMO, 2017a. World Meteorological Organization. **WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016**. No.1189. Switzerland, Geneva, 2017. 28 p. Disponível em: <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3414>. Acesso em: 22 nov. 2017.

WMO, 2017b. World Meteorological Organization. **Climate**. WMO, 2017b. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate>>. Acesso em: 02 de março de 2017.

XAVIER, T. C. **A INFLUÊNCIA DA ARBORIZAÇÃO NO MICROCLIMA URBANO**: um estudo aplicado à cidade de Vitória, ES. 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Disponível em: http://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/dissertacao_-_tatiana_c_xavier.pdf. Acesso em: 03 dez. 2017

YANG, F.; QIAN, F.; LAU, S. S. Y. Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai. **Building And Environment**, [s.l.], v. 70, p.122-137, dez. 2013(a). Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.019>

YANG, X.; ZHAO, L.; BRUSE, M.; MENG, Q. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. **Building And Environment**, [s.l.], v. 60, p.93-104, fev. 2013(b). Elsevier BV.<<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>>.

YANG, X.; ZHAOA, L.; BRUSE, M.; MENG, Q.. An integrated simulation method for building energy performance assessment in urban environments. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 54, p.243-251, nov. 2012b. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.042>>.

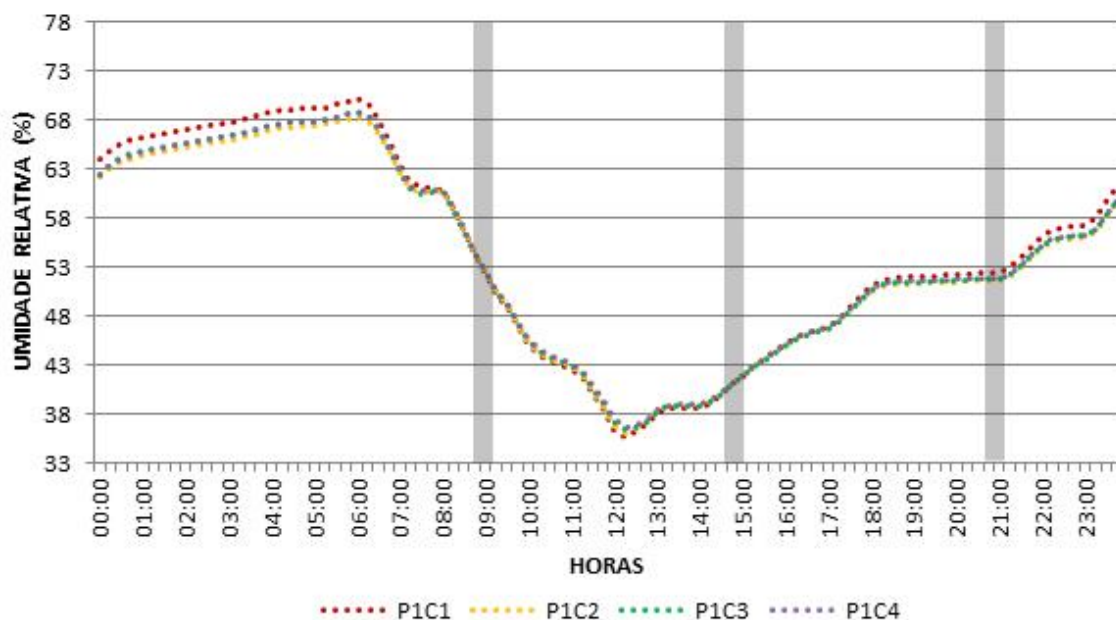
YANG, X.; ZHAOA, L.; BRUSE, M.; MENG, Q. Assessing the Effect of Microclimate on Building Energy Performance by Co-Simulation. *Applied Mechanics And Materials*, [s.l.], v. 121-126, p.2860-2867, 2012a. Trans Tech Publications. <<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.121-126.2860>>.

Apêndices

APÊNDICES

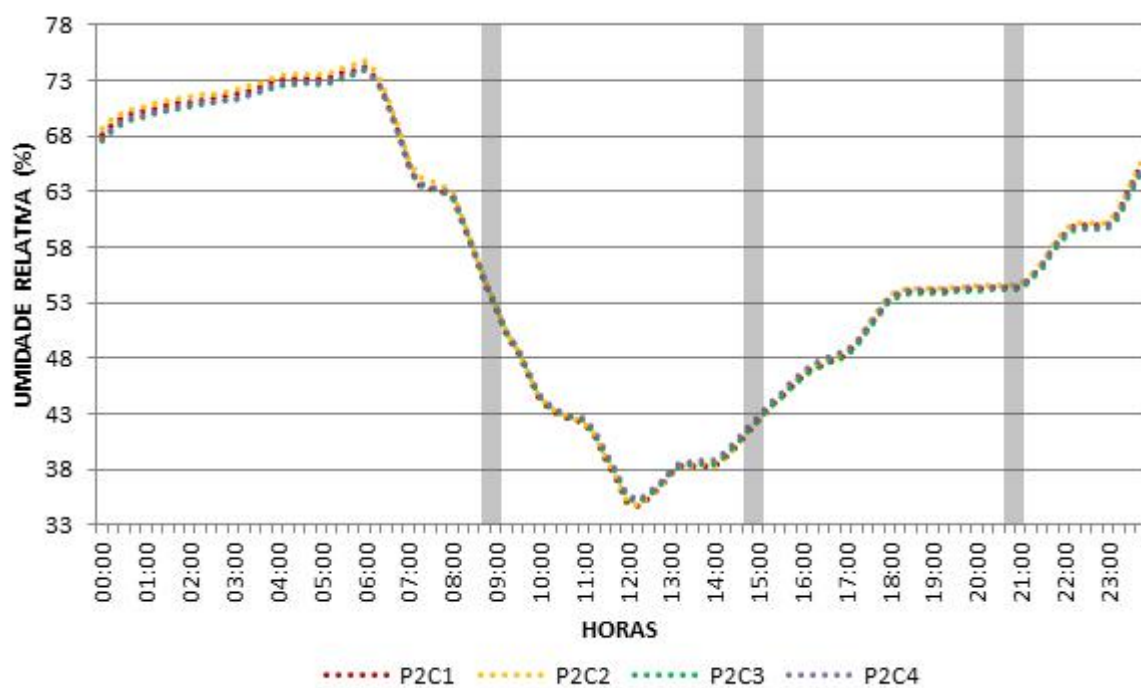
APÊNDICE A: Gráficos de UR de P1, P2 e P3 para os quatro cenários

Figura 60: Comportamento da Umidade Relativa em P1 para C1, C2, C3 e C4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.



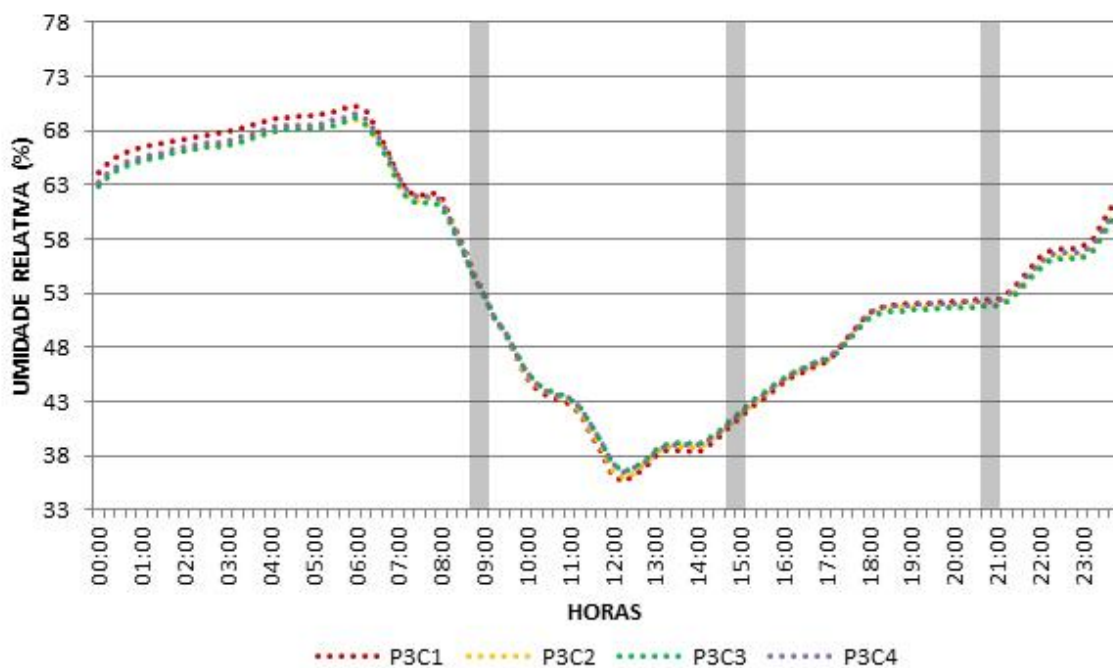
Fonte: A autora.

Figura 61: Comportamento da Umidade Relativa em P2 para C1, C2, C3 e C4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.



Fonte: A autora.

Figura 62: Comportamento da Umidade Relativa em P2 para C1, C2, C3 e C4, com destaque para os horários sinóticos de 9h, 15h e 21h.



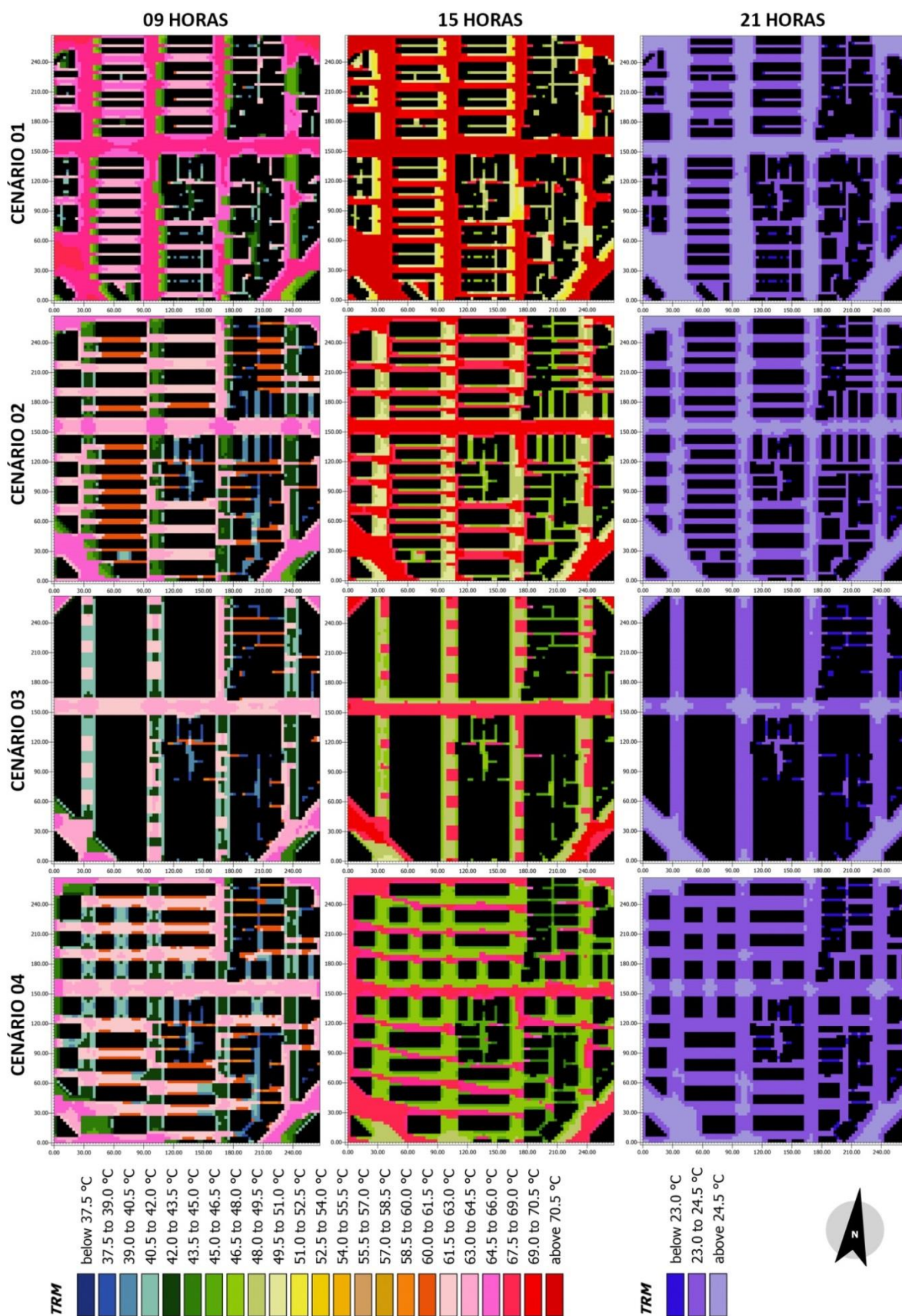
Fonte: A autora.

APÊNDICE B: Cartogramas de Ta e TRM para os quatro cenários

Figura 63: Cartogramas de Temperatura do Ar para os horários sinóticos e cenários avaliados.



Figura 64: Cartogramas de Temperatura Radiante Média para os horários sinóticos e cenários avaliados.



Fonte: A autora.

APÊNDICE C: Recursos computacionais para simulação

Para a realização das simulações foram utilizados três computadores distintos, com as seguintes configurações:

COMPUTADOR 01:

Modelo: Dell Inspiron 3268;

Processador: Intel Core i7 – 7700 (3,60GHz);

Memória RAM: 8GB;

Sistema Operacional: Windows 10 Home single Language (1803) – 64bits;

Placa de vídeo: (integrada) Intel (R) HD Graphics 630.

COMPUTADOR 02:

Modelo: Dell Inspiron 3268;

Processador: Intel Core i7 – 7700 (3,60GHz);

Memória RAM: 8GB;

Sistema Operacional: Windows 10 Home single Language (1803) – 64bits;

Placa de vídeo: (integrada) Intel (R) HD *graphics* 630.

COMPUTADOR 03:

Modelo: Dell Optiplex 7010;

Processador: Intel (R)Core (TM) i5 – 3570 (3,40 GHz);

Memória RAM: 8GB;

Sistema Operacional: Windows 10 Pro (1803) – 64bits;

Placa de vídeo: (integrada) AMD HD 7000 *series*.

Anexos

ANEXOS:

ANEXO 1: Tabela de Controle Urbanístico da Lei 6.705/2006, Vitória.

Figura 65: Índices de controle urbanístico do PDU 2006 de Vitória para ZOC 01/03.

ANEXO 9.3 – ZONA DE OCUPAÇÃO CONTROLADA 1 – ZOC1

TABELA DE CONTROLE URBANÍSTICO											
USOS		ÍNDICES									
PERMITIDOS	TOLERADOS	CA MÁXIMO	TO MÁXIMA	TP MÍNIMA	GABARITO	ALTURA DA EDIFICAÇÃO	AFASTAMENTOS MÍNIMOS			PARCELAMENTO	
							FRENTE	LATERAL	FUNDOS	TESTADA MÍNIMA	ÁREA MÍNIMA
Residencial Unifamiliar e Condomínio Residencial Unifamiliar	Empreendimentos Especiais classificados em G1 em qualquer via e G2 nas vias locais principais e coletoras	1,2	60%	10%	ZOC1/01-5 pav.	ZOC1/01- 15 m	3,00m	Até o 2º pav. – Isento Acima – Ver Anexo 10	Até o 2º pav. – Isento Acima – Ver Anexo 10	12,00m	360,00m²
Atividades não residenciais classificadas como G1 em qualquer via e G2 nas vias locais principais e coletoras					ZOC1/02 e ZOC1/03 - 6 pav.	ZOC1/02 e ZOC1/03- 18,50m					
Condomínio Residencial Multifamiliar	Hotel, Apart-hotel e similares enquadrados como G2 nas vias locais principais e coletoras.	1,95	50%	10%	ZOC1/05, ZOC1/06, ZOC1/07 – 10 PAV.	ZOC1/04 ver obs.	3,00m	1º pav. isento	1º pav. isento	12,00m	360,00m²
Misto (Residencial e não-residencial)					ZOC1/05, ZOC1/06, ZOC1/07 – 10 PAV.	ZOC1/05, ZOC1/06, ZOC1/07 – 30m		Acima do 1º pav. – Ver Anexo 10	Acima do 1º pav. – Ver Anexo 10		

CA – Coeficiente de Aproveitamento TO – Taxa de Ocupação TP – Taxa de Permeabilidade

Fonte: Adaptado de Vitória (2006).

ANEXO 2: Tabela de Controle Urbanístico da Lei 9.271/2018, Vitória.

Figura 66: Índices de controle urbanístico do PDU 2018 de Vitória para ZOC 2.

PLANO DIRETOR URBANO DE VITORIA

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITORIA
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO DA CIDADE

ÍNDICES DE CONTROLE URBANÍSTICO ZOR, ZOC, ZOP, ZAR, ZOE e ZI												ANEXO 9 TABELA 01 FOLHA 01			
CARACTERÍSTICA DAS ZONAS	ZONA	COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO (CA)					TAXA DE OCUPAÇÃO MÁXIMA	TAXA DE PERMEABILIDADE		AFASTAMENTOS MÍNIMOS		PARCELAMENTO			
		MÍNIMO	R1, R2 e R3	USO MISTO e R4	HOTEL, APART HOTEL E SIMILARES	USO NÃO RESIDENCIAL		TAXA MÍNIMA (6)	BACIAS CRÍTICAS	FRENTE (m)	FUNDOS E LATERAIS (m)	TESTADA MÍNIMA (m)	ÁREA MÍNIMA (m²)		
ZONA DE OCUPAÇÃO RESTRITA ZOR	ZOR 1	0,2	1,2	1,4 (7 e 11)	1,4 (7)	1,4 (7)	60%	10%	ANEXO 13	3	ISENTO	15	450m² (8)		
	ZOR 2		1,2	1,4 (11)	1,4 (10)	1,4	60%			3	ISENTO				
	ZOR 3		NA	NA	NA	NA	30%			5	8m				
ZONA DE OCUPAÇÃO CONTROLADA ZOC	ZOC 1	0,2	1,2	1,4 (11)	1,4 (10)	1,4	60%	10%	ANEXO 13	3 (12)	ISENTO ATÉ 5,60m (5)	15	450m²		
	ZOC 2		2,25 (11)	2,25 (10)	1,4	60% (1)	3 (12)			ISENTO ATÉ 8,40m (5)					
	ZOC 3		2,8 (11)	2,8 (10)	1,4	60% (3)	3 (12)			ISENTO ATÉ 8,40m (5)					
ZONA DE OCUPAÇÃO PREFERENCIAL ZOP	ZOP 1	0,2	1,2	2,25	2,25	1,8	60%	10%	ANEXO 13	4	ISENTO ATÉ 5,60m (5)	12	450m²		
	ZOP 2					2,25	60% (2)			6 (14)	5,60m (5)				
	ZOP 3					1,4	60% (3)			4	ISENTO ATÉ 8,40m (5)				
	ZOP 4					2,8	30% (4 e 18)			8	8,40m (5)				
	ZOP 5					1,8	ANEXO 10			NA	ANEXO 10			ISENTO ATÉ 8,40m (13)	
ZONA ARTERIAL ZAR	ZAR 1	0,2	1,2	2,8	2,8	2,8	60% (4)	10%	ANEXO 13	4 (16)	ISENTO ATÉ 8,40m (5)	12	360m²		
	ZAR 2			2,25	2,25	1,4				4					
ZONA DE OCUPAÇÃO ESPECÍFICA ZOE	ZOE 1	NA	NA	NA	0,3	0,3	20%	60%	ANEXO 13	5	4	NA	NA		
	ZOE 2				1,0	1,0	50%	30%		ANEXO 13	5			4	
	ZOE 3				NA	1,2	ANEXO 12	10%		ANEXO 12	ISENTO ATÉ 8,40m (5)				
	ZOE 4				NA	0,5	0,3	20%		10%	ANEXO 13			5	ISENTO
	ZOE 5				NA	NA	NA	0,25		15%	60%			ANEXO 13	15 (17)
ZONA INDUSTRIAL ZI	ZI	NA	NA	NA	NA	0,25	15%	60%	ANEXO 13	15 (17)	15 (17)	NA	NA		

NA = NÃO SE APLICA

Fonte: Adaptado de Vitória (2018). Disponível em: <http://www.vitoria.es.gov.br/minhavitoriapdu.php> . Acesso em: 27/05/2018.