

Marina Soares Silva

Vegetação e o microclima urbano em área de ocupação consolidada: aplicação do modelo
ENVI-met ao Conjunto Confisco em Belo Horizonte, MG.

Belo Horizonte
2021

Marina Soares Silva

Vegetação e o microclima urbano em área de ocupação consolidada: aplicação do modelo ENVI-met ao Conjunto Confisco em Belo Horizonte, MG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Linha de pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientadora: Profa. Dra. Eleonora Sad de Assis

Co-orientadora: Profa. Dra. Maria Rita Scotti Muzzi

Belo Horizonte
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

S586v

Silva, Marina Soares.

Vegetação e o microclima urbano em área de ocupação consolidada [manuscrito] : aplicação do modelo ENVI-met ao Conjunto Confisco em Belo Horizonte, MG / Marina Soares Silva. - 2021.

120f. : il.

Orientadora: Eleonora Sad de Assis.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Vegetação e clima - Teses. 2. Climatologia urbana - Teses. 3. Cidades e vilas - Teses. 4. Mudanças climáticas - Teses. 5. Simulação (Computadores) - Teses. 6. Planejamento urbano - Teses. I. Assis, Eleonora Sad de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 711.42



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO(A) ALUNO(A) **Marina Soares Silva**, nº de matrícula **2018710901**, DO CURSO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL DA ESCOLA DE ARQUITETURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Aos quatorze dias, do mês de maio do ano de dois mil e vinte e um, às quatorze horas, por meio de videoconferência, reuniu-se a Comissão Examinadora de Dissertação para julgar o trabalho "Vegetação e o microclima urbano em área de ocupação consolidada: aplicação do modelo ENVI-met ao Conjunto Confisco em Belo Horizonte, MG", requisito para a obtenção do grau de Mestre na área interdisciplinar de concentração em "Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável". Abrindo a sessão, o(a) orientador(a) professor(a) doutor(a) Eleonora Sad de Assis, após expor as Normas Regulamentares do Trabalho Final pediu para o(a) aluno(a) iniciar a apresentação do trabalho. Seguiu-se arguição pelos examinadores com a respectiva defesa do(a) candidato(a). Logo após a comissão reuniu-se, sem a presença do(a) mestrando(a) e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado:

☒ (X) Aprovação

☐ () Aprovação com solicitação das revisões constantes nesta ata.

☐ () Reprovação

O resultado final foi comunicado publicamente ao(à) candidato(a) pelo Presidente da Comissão.

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/USP

Profa. Dra. Rejane Magiag Loura

Escola de Arquitetura/UFMG

Profa. Dra. Eleonora Sad de Assis - Orientadora

PPG-ACPS/UFMG

Profa. Dra. Maria Rita Scotti Muzzi Marques Leitão - Coorientadora

PPG-ACPS/UFMG

Belo Horizonte, 14 de maio de 2021.

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Denise Helena Silva Duarte, Usuário Externo**, em 14/05/2021, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Rita Scotti Muzzi Marques Leitaó, Professora do Magistério Superior**, em 14/05/2021, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eleonora Sad de Assis, Professora do Magistério Superior**, em 14/05/2021, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rejane Magiag Loura, Professora do Magistério Superior**, em 14/05/2021, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0726967** e o código CRC **E83F2C9D**.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001".

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001".

AGRADECIMENTOS

A realização desta pesquisa em meio à pandemia global e isolamento social em função do COVID-19 não seria possível sem a contribuição destas pessoas as quais dedico meus sinceros e profundos agradecimentos.

Primeiramente à minha orientadora, Profa. Dra. Eleonora Sad de Assis pela oportunidade e pelas orientações ao longo do trabalho. A minha co-orientadora Profa. Dra. Maria Rita Scotti Muzzi agradeço a colaboração, os intensos diálogos interdisciplinares e por disponibilizar seu grupo de pesquisa.

Às alunas de Iniciação Científica da Escola de Arquitetura da UFMG Carolina Bordoni Diniz e Sabrina de Oliveira Fabiano que acompanharam o trabalho e contribuíram expressivamente para o desenvolvimento da pesquisa, trabalho de campo e modelagem no ENVI-Met. Ao grupo de pesquisa da Profa. Maria Rita Scotti Muzzi, em especial aos alunos Arthur de Carvalho Antão e Alessandra Rondina Fontanesi Gomes por todas as visitas à campo, identificação dos indivíduos arbóreos do Conjunto Confisco e as inúmeras trocas sobre a vegetação.

À toda coordenação do Programa de Pós Graduação Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, em especial à Renata Baracho, Leonardo Castriota, Yacy-Ara Froner, Daniel Bicalho e Victoria de León Grego. Agradeço também à CAPES pelo fornecimento de bolsa de estudo durante um período do desenvolvimento desta pesquisa.

À todos do grupo de pesquisa COMPasso em especial à Rejane Magiag Loura, Natalia Aguiar e Katia Pego pelo trabalho junto às comunidades e pelo incentivo ao longo do trabalho. Aos colegas do Labcon Daniele Gomes, Jaqueline, Thyago, Júlio de Marco e Ana Caetano agradeço as trocas sinceras, apoio e carinho compartilhados ao longo da jornada.

Ao grupo de pesquisa da FAUUSP em especial à Carolina Gusson pela imensa ajuda com o ENVI-Met e à Paula Shinzato pelos dados da modelagem das árvores e pelas contribuições com os procedimentos no ENVI-Met.

Ao Prof. Dr. Wellington Lopes Assis por contribuir para a base do meu conhecimento em climatologia, pelo empréstimo do abrigo meteorológico de campo, pelo suporte com o levantamento dos dados de campo e por estar à disposição para colaboração com a pesquisa.

A equipe do LABGEO da UFMG, em especial à Profa. Ana Clara Mourão Moura, Danilo Marques de Magalhães, Tiago Augusto Gonçalves Mello, Camila Fernandes de Moraes pela base de dados levantamento de dados do Confisco e toda ajuda com fornecimento de dados obtido ao longo da pesquisa.

Ao 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (5ºDISME/INMET), em especial aos senhores Lizandro Gemiacki, Anete dos Santos Fernandes, Jorge Luiz Batista Moreira e Marco Tulio Silva por disponibilizarem os dados climáticos, pela colaboração na aferição da instrumentação utilizada nesta pesquisa e por esclareceram dúvidas recorrentes ao longo do trabalho.

À Fundação Zoobotânica e Zoológico de Belo Horizonte agradeço aos senhores Sérgio Augusto, Humberto Espírito Santo de Mello e Rafael Rangel Giovanini pela autorização da coleta de dados meteorológico em uma das áreas de mata da Fundação Zoobotânica e por toda colaboração durante as manutenções da instrumentação.

Às Prefeituras de Belo Horizonte e de Contagem agradeço aos colaboradores Kátia Cilene Pereira Bordoni Diniz, Rosane de Magalhães Lopes Corgosinho, Nei, Luiz Carlos Rodrigues Costa e Dany Silvio Souza Leite Amaral pelo trabalho em parceria.

À Comunidade do Conjunto Confisco, estendo meus agradecimentos à todos que contribuíram para a instalação dos abrigos meteorológicos e coleta de dados em campo, principalmente à Maria das Graças Silva Ferreira, Wagner Silva, Pastor Wagner Lana, Aline Salgado Soares e Maria Lucia de Jesus Gomes, Albert Ferreira Araújo, Mirielli Salla Araújo, Maria das Graças, Juliene Maria Nunes e Jhonatan Michael Lopo Nunes.

Ao amigo Fernando Assis Fonseca pela imensa ajuda com os *dataloggers*, tratamento e processamento dos dados sempre com tanta boa vontade. Ao Alfredo Marques Diniz agradeço pelo apoio com a coleta de dados e manutenção dos abrigos meteorológicos.

À minha família agradeço imensamente todo amor, por acreditarem e incentivarem vãos longos e mergulhos profundos, em especial à minha vó Nércia, vô Leonel, Natan, Ester, Bruno e Arthur. Ao meu amor Alexandre Planta agradeço o amor, a leveza, a força e o nosso time. Ao Amir toda doçura e respiros. Ao meu querido terapeuta Claudius por muitos momentos de consciência, poesia e verdade. Aos meus amigos Giovanni e Henrique sou profundamente grata à jornada compartilhada com carinho, diálogos profundos e sinceros.

Por fim, agradeço muitíssimo à toda minha rede de amigos pelo companheirismo nessa jornada desafiadora de muito amadurecimento, em especial à Amanda Cerqueira, Bárbara Dalla Vecchia, Beatriz Berbert, Bruna Cruz, Danilo Borges, Debora Ruffato, Ewaldo Tivaldo, Gabriela Bitencourt, João Luiz Van Ham, João Pedro Otoni, Lucas Cascelli, Luisa Lobato, Mariana Lima, Mariana Mendes, Ruhana Falcão, Vladimir Diniz e Victor Pires.

“Do fundo do meu coração,
Do mais profundo canto em meu interior
Pro mundo em decomposição
Escrevo como quem manda cartas de amor” (Emicida)

RESUMO

O clima das cidades é produto do fenômeno de transformações de energia a partir da interação no tecido urbano de variáveis do ar atmosférico, vegetação e solo. O efeito da vegetação no microclima de áreas urbanas, embora venha sendo extensivamente descrito, ainda não é bem compreendido, tendo em vista mútuas influências entre a superfície urbana, a atmosfera e a vegetação. Diante das complexidades dessas interações, modelos micrometeorológicos vêm sendo desenvolvidos para auxiliar o planejamento urbano, dentre eles o modelo ENVI-Met, que foi aplicado neste trabalho. Buscou-se, portanto, como objetivo principal desta pesquisa identificar a influência microclimática que a vegetação de porte arbóreo pode ter em áreas de ocupação consolidadas, a exemplo do Conjunto Confisco, em Belo Horizonte. A metodologia adotada teve como base o processo de elaboração de modelos a partir do método indutivo, partindo de características de um estudo de caso comparando-o com casos similares visando a generalização do fenômeno. As técnicas de observação extensiva diretas utilizadas foram realizadas em três etapas: a fase de coleta de dados, a modelagem numérica e a etapa de simulação. Utilizou-se como base os dados coletados de estações meteorológicas juntamente com dois abrigos meteorológicos implementados na área de estudo. Os registros por termohigrômetros, no fragmento florestal da Fundação Zoobotânica e Zoológico e em uma área urbanizada do Conjunto Confisco, serviram como referência para a validação dos modelos de calibração e descritivo. A partir da construção de um cenário exploratório testou-se a hipótese da aplicação da legislação vigente para a arborização viária e verificação sobre possíveis variações no microclima. Os resultados encontrados demonstraram que as alterações microclimáticas consequentes da presença da vegetação em um território tem relação direta com o seu arranjo, ou seja, os arranjos com maior número de indivíduos arbóreos tendem a influenciar as variáveis microclimáticas (temperatura do ar e umidade relativa do ar) em maiores proporções, além de provocarem maior estabilidade no microclima local. Os efeitos da arborização viária, ainda que em menor escala devem ser considerados. Além disso, a compreensão da dinâmica ecossistêmica e seus elementos mostraram-se fundamentais para a constituição de um “clima urbano ideal”.

Palavras-chave: Vegetação Urbana, Vilas e Favelas, Microclima Urbano, Simulação Computacional, Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

The climate of cities is a product of the phenomenon of energy transformations from the interaction in the urban fabric of variables of atmospheric air, vegetation and soil. In particular, the effect of vegetation on the microclimate of urban areas, although it has been extensively described, is still not well understood, in view of the mutual influences between the urban surface, the atmosphere and vegetation. In view of the complexities of these interactions, micrometeorological models have been developed to assist urban planning, among them the ENVI-Met model, which was applied in this work. Therefore, the main purpose of this research was to identify the microclimate influence that vegetation can have in areas of consolidated occupations, such as Conjunto Confisco, in Belo Horizonte. The adopted methodology was based on the process of elaborating models from the inductive method, starting from the characteristics of a case study comparing it with similar cases aiming at the generalization of the phenomenon. The direct extensive observation techniques used were carried out in three stages: data collection, numerical modeling and simulation. The data collected from meteorological stations were used as a base together with two meteorological shelters implemented in the study area. The records by thermohygrometers, in the forest fragment of the Fundação Zoobotânica e Zoológico and in an urbanized area of the Conjunto Confisco, served as a reference for the validation of the calibration and descriptive models. Based on the construction of an exploratory scenario, the hypothesis of applying the current legislation for road vegetation and checking for possible variations in the microclimate were tested. The results found demonstrated that the microclimate changes resulting from the presence of vegetation in a territory have a direct relationship with its arrangement, that meaning, the arrangements with a greater number of tree individuals tend to influence the microclimate variables (air temperature and relative air humidity) in greater proportions, in addition to causing greater stability in the local microclimate. The effects of road vegetation, although were lesser extent, must be considered. In addition, the understanding of ecosystem dynamics and its elements proved to be fundamental for the constitution of an “ideal urban climate”.

Keywords: Urban Vegetation, Slums, Urban Microclimate, Computational Simulation, Climate Change.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fatores de estresse no ambiente e algumas de suas múltiplas inter-relações	28
Figura 2 - Fluxos do movimento de água nos processos solo – vegetação- atmosfera	30
Figura 3 - Alterações no potencial hídrico em resposta ao estresse hídrico.....	31
Figura 4 - Estrutura de um modelo de microclima com o ENVI-Met.....	34
Figura 5 – Parâmetros de descrição da vegetação <i>Simple Plants</i> no ENVI-Met.....	35
Figura 6 – Modelagem da vegetação no módulo Albero do ENVI-Met	36
Figura 7 - Organograma da metodologia proposta.....	40
Figura 8 - Mapa com regionais dos municípios de Contagem e Belo Horizonte (à esquerda); Delimitação da divisa dos municípios (à direita)	41
Figura 9 - Mapa de Declividade do Conjunto Confisco e sua macro região.....	42
Figura 10 - Mapa de Habitação do Conjunto Confisco e sua macro região.....	43
Figura 11 - Mapa de Equipamentos do Conjunto Confisco e sua macro região	44
Figura 12 - Levantamento quantitativo da arborização no espaço público do Confisco.....	45
Figura 13 - Recursos naturais do Conjunto Confisco e região	46
Figura 14 - Primeira aferição dos aparelhos termo-higrômetros.....	49
Figura 15 - Instalação aparelho termo-higrômetro no abrigo meteorológico padrão 5°DISME/INMET (à esquerda); Instalação abrigo meteorológico e <i>data logger</i> no 5°DISME/INMET (à direita)	49
Figura 16 - Especificação dos abrigos meteorológicos de acordo com ASSIS (2010). Especificações técnicas do Abrigo Meteorológico de campo (à esquerda); Abrigos meteorológicos confeccionados pela autora (à direita).....	52
Figura 17 - Localização abrigos meteorológicos no Conjunto Confisco e Região	53
Figura 18 - Localização Abrigo 1 (da esquerda para a direita): (01) Localização do abrigo meteorológico na mata da Fundação de Parques Municipais e Zoológico de Belo Horizonte; (02) vista frontal do abrigo meteorológico; (03) Abrigo Meteorológico aberto para manutenção	54
Figura 19 - Localização Abrigo 2 (da esquerda para a direita): (01) Localização do abrigo meteorológico na Igreja do Evangelho Quadrangular no Conjunto Confisco; (02) vista frontal do abrigo meteorológico; (03) Estudo da trajetória do sol no SketchUp para 12 de julho de 2020 às 15h 54	
Figura 20 - Localização Abrigo 3 (da esquerda para a direita): (01) Localização do abrigo meteorológico na Igreja Adventista do 7° dia no Estrela D’Alva; (02) vista frontal do abrigo meteorológico; (03) Estudo da trajetória do sol no SketchUp para 12 de julho de 2020 às 15h.....	55
Figura 21 - Localização Abrigo 4 (da esquerda para a direita): (01) Localização do abrigo meteorológico no terreno da Comunidade Evangélica Pentecostal no Arvoredo II; (02) vista frontal do abrigo meteorológico; (03) Estudo da trajetória do sol no SketchUp para 12 de julho de 2020 às 15h 55	
Figura 22 - Dados de entrada <i>Full Forcing</i> no ENVI-Met.....	58
Figura 23 - Dados de entrada <i>Preview Radiation</i> no ENVI-Met	59
Figura 24 - Dados de entrada das condições de solo no ENVI-Met	60
Figura 25 - Modelo de calibração no ENVI-Met (à esquerda); 3D árvore a partir de Shinzato <i>et al.</i> (2019) (à direita)	61
Figura 26 - Parâmetros pedológicos utilizados para descrever o perfil de Belo Horizonte	62
Figura 27 - Área do Conjunto Confisco representada no modelo ENVI-Met.....	63
Figura 28 - Modelo do recorte urbano do Conjunto Confisco no ENVI-Met	64
Figura 29 - Parâmetros parede de tijolo cerâmico: material (à direita); perfil da parede (à esquerda) ..	64
Figura 30 - Parâmetros laje de concreto: perfil (à direita); material utilizado no perfil (à esquerda)	65
Figura 31 - 3D árvore porte alto a partir de Shinzato <i>et al.</i> (2019) (à esquerda); árvore médio porte (no centro); arbusto (à direita).....	66
Figura 32 - Solo: asfalto (à esquerda), concreto (centro), laje de concreto 10cm e solo BH (à direita) ..	66
Figura 33 - Mapa com localização da nova arborização inserida no território	68
Figura 34 - Cenário exploratório do Conjunto Confisco no ENVI-Met	68
Figura 35 – Temperatura do ar no Abrigo 1 às 7h	74
Figura 36 – Umidade Relativa do ar no Abrigo 1 às 7h.....	74
Figura 37 – Temperatura do ar no Abrigo 1 às 15h	75

Figura 38 – Umidade relativa do ar no Abrigo 1 às 15h	75
Figura 39 - Temperatura do ar no cenário descritivo do Conjunto Confisco às 7 horas	81
Figura 40 – Umidade relativa do ar no cenário descritivo do Conjunto Confisco às 7 horas	81
Figura 41 - Temperatura do ar no cenário descritivo do Conjunto Confisco às 15 horas	83
Figura 42 - Umidade relativa do ar no cenário descritivo do Conjunto Confisco às 15 horas.....	84
Figura 43 - Temperatura do ar no cenário hipotético do Conjunto Confisco às 7 horas.....	88
Figura 44 - Umidade relativa do ar no cenário hipotético do Conjunto Confisco às 7 horas.....	89
Figura 45 - Temperatura do ar no cenário hipotético do Conjunto Confisco às 15 horas.....	90
Figura 46 - Umidade relativa do ar no cenário hipotético do Conjunto Confisco às 15 horas.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo da Capacidade de Água Disponível para o solo podzólico vermelho-amarelo.....	48
Tabela 2 - Variação da temperatura do ar ao longo do mês de julho de 2020	70
Tabela 3 - Variação da umidade relativa do ar ao longo do mês de julho de 2020.....	71
Tabela 4 - Resultados estatísticos entre dados simulados e dados medidos.....	72
Tabela 5 - Resultados estatísticos entre dados simulados e dados medidos para o Abrigo 1	76
Tabela 6 - Resultados estatísticos entre dados simulados e dados medidos para o Abrigo 2	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperatura do ar monitorada nos abrigos meteorológicos no mês de julho de 2020.....	69
Gráfico 2 - Umidade relativa monitorada nos abrigos meteorológicos no mês de julho de 2020.....	70
Gráfico 3 - Temperatura do ar medida e simulada para o modelo de calibração	73
Gráfico 4 - Umidade relativa do ar medida e simulada para o modelo de calibração.....	73
Gráfico 5 - Temperatura do ar medida e simulada para o Abrigo 1 no modelo descritivo	77
Gráfico 6 - Umidade relativa do ar medida e simulada para o Abrigo 1 no modelo descritivo	77
Gráfico 7 - Temperatura do ar medida e simulada para o Abrigo 2 no modelo descritivo	79
Gráfico 8 - Umidade relativa do ar medida e simulada para o Abrigo 2 no modelo descritivo	80
Gráfico 9 – Dados de temperatura do ar diária para o Abrigo 1	85
Gráfico 10 - Dados de umidade relativa do ar diária para o Abrigo 1	86
Gráfico 11 - Dados de temperatura do ar diária para o Abrigo 2	86
Gráfico 12 - Dados de umidade relativa do ar diária para o Abrigo 2	87
Gráfico 13 – Tratamento estatístico para os dados de temperatura do ar (°C) pelo <i>data logger</i> #904039 e dados da estação padrão do 5°DISME/INMET.....	103
Gráfico 14 - Tratamento estatístico para os dados de umidade relativa do ar (%) pelo <i>data logger</i> #904039 e dados da estação padrão do 5°DISME/INMET.....	103
Gráfico 15 - Tratamento estatístico para os dados de temperatura do ar (°C) pelo <i>data logger</i> #904034 e dados da estação padrão do 5°DISME/INMET.....	103
Gráfico 16 - Tratamento estatístico para os dados de umidade relativa do ar (%) pelo <i>data logger</i> #904034 e dados da estação padrão do 5°DISME/INMET.....	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABA	Ácido Abscísico
AR5	5º Relatório de Avaliação do IPCC
CAD	Capacidade de água disponível
CC	Capacidade de Campo
CFD	Dinâmica de Fluido Computacional
COV	Composto Orgânico Volátil
DAF	Densidade de área foliar
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FVC	Fator de Visão do Céu
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAF	Índice de Área Foliar
ICUC	Conferência Internacional de Clima Urbano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IV	Índice de Vegetação
LBC	<i>Layer Boundary Condition</i>
LST	Temperatura de Superfície do Terreno
m	Unidade em metro
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
PBH	Prefeitura de Belo Horizonte
PM	Ponto de Murcha
PRODABEL	Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte
SPAC	<i>Soil–Plant–Atmosphere Continuum</i>
T	Temperatura do ar
Ur	Umidade Relativa do ar
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	O Clima Urbano	14
2.2	A Vegetação e o Microclima Urbano	16
2.3	Aspectos Biológicos da Arborização	27
2.4	Modelagem microclimática no ENVI-Met	33
3	METODOLOGIA.....	39
3.1	Coleta de Dados	41
3.1.1	Delimitação e descrição da Área de Estudo	41
3.1.2	Instrumentação.....	48
3.1.3	Monitoramento Climático.....	51
3.2	Procedimentos de Simulação.....	56
3.2.1	Calibração do modelo	57
3.2.2	Cenário descritivo	63
3.2.3	Cenário hipotético	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
4.1	Monitoramento da área de estudo	69
4.2	Calibração do modelo.....	72
4.3	Cenário descritivo.....	76
4.4	Cenário hipotético	85
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE	103
	ANEXO.....	104

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, apesar da desaceleração do crescimento populacional, o processo de urbanização continuou em expansão no mundo todo. O ano de 2007 praticamente marcou o momento em que mais da metade da população do planeta passou a viver em cidades (UNFPA, 2007; RITCHIE e ROSER, 2018). Entretanto, no Brasil isso ocorreu já no final dos anos 1960 e, em 2010 de acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o percentual da população urbana brasileira residindo em cidades já era de 84,4% (IBGE, 2010). Para o ano de 2030, estima-se que aproximadamente 60% da população global estará morando em áreas urbanas (UN-HABITAT, 2008), enquanto no Brasil esse percentual deverá ultrapassar os 90% (ONU NEWS, 2016).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), as regiões metropolitanas que mais sofreram com o processo de urbanização foram respectivamente São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. A dificuldade do desenvolvimento sustentável para as cidades brasileiras está associada diretamente à alteração no uso do solo, decorrente do crescimento urbano acelerado e da redução das áreas vegetadas que, consequentemente, promovem alterações no clima local (LOMBARDO, 1985).

Tendo em vista as vulnerabilidades consequentes da expansão das cidades brasileiras, faz-se necessário definir estratégias voltadas para o aumento da resiliência nos territórios urbanos. Diante deste contexto, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte instituiu, em 2006, o Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência (CMMCE), órgão colegiado e consultivo que atua na articulação das políticas públicas e da iniciativa privada para a mitigação e adaptação aos seus efeitos e na conscientização ambiental da sociedade (COMPASSO-UFMG, 2018). No âmbito do CMMCE, entre Julho/2015 e Junho/2016, foi desenvolvido pela empresa WayCarbon um estudo intitulado “Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas no Município de Belo Horizonte” (WAYCARBON, 2016), tendo em vista dois cenários de análise: a situação atual para o ano de 2016 e um cenário hipotético com projeção para o ano de 2030.

O índice de vulnerabilidade de Belo Horizonte foi calculado por meio da média ponderada dos índices de vulnerabilidade por impacto potencial estudado. Neste estudo foram avaliados os impactos climáticos potenciais, de acordo com o nível das ocorrências históricas observadas no Município: i) ondas de calor; ii) inundações; iii) deslizamentos; iv) dengue.

Para o ano de 2030, o número de bairros com alta vulnerabilidade poderá sofrer um acréscimo de 60% (sessenta por cento), totalizando 331 bairros, dos 486 existentes no território belo-horizontino.

Sabe-se, portanto que, muitos destes problemas poderiam ser minimizados se o planejamento urbano incorporasse estudos relativos ao clima. Nesse sentido, Katzschner (2005) enfatiza a importância das interações entre o clima e o uso dos espaços, inclusive, o estudo do clima urbano para definição de recomendações de planejamento visando à preservação das características que constituem o “clima urbano ideal”, cujos principais atributos - qualidade do ar e conforto térmico - estão diretamente relacionados à habitabilidade do ambiente construído.

O clima das cidades é produto de um fenômeno de transformação de energia a partir da interação do ar atmosférico e variáveis envolvidas no balanço de energia local, dentre elas, as interações entre atmosfera, vegetação e solo (OKE, 1973; 1981). Embora seja reconhecida a influência da vegetação no microclima urbano, a maior parte dos estudos de clima urbano nos últimos anos no Brasil teve como foco principal os aspectos descritivos e/ou variáveis do clima urbano influenciadas pela vegetação, por meio de medições fixas e/ou móveis em campo (SILVA *et al.*, 2019). Diferentemente dos países desenvolvidos, que vem se aprofundando na modelização física e numérica desde as últimas décadas do século XX, ainda é tímida a construção de modelos de simulação no cenário brasileiro. No período de 2006 a 2018, cerca de apenas 17,10% das pesquisas adotaram a simulação computacional como método e a grande maioria das pesquisas (75%) propôs a criação de cenários hipotéticos exploratórios utilizando o programa ENVI-Met (SILVA *et al.*, 2019).

Do ponto de vista metodológico, o processo de elaboração de modelos para um planejamento urbano mais consciente das ações humanas sobre a realidade, segundo Echenique (1975), deve ser realizado através da construção de modelos descritivos, preditivos, exploratórios e de planejamento. O modelo descritivo deve ser utilizado para compreensão da realidade, estabelecimento da produção dos fenômenos, descrição das relações entre os fatores relevantes e também para dar base para o modelo exploratório, que busca descobrir através de especulações outras realidades que podem ser logicamente possíveis, variando sistematicamente os parâmetros básicos utilizados no modelo descritivo (ECHENIQUE, 1975).

Sendo assim, diante da relevância da modelagem para exploração de hipóteses que podem servir de subsídio para o planejamento urbano e, tendo em vista a evolução das técnicas de simulação, tornou-se cada vez mais possível representar o espaço através de modelos tridimensionais, descrevendo não só seus elementos e materiais, como também suas características microclimáticas e variação de parâmetros. Neste contexto, o ENVI-Met tornou-se um dos programas com maior destaque utilizado para a modelagem microclimática tridimensional (ALI-TOUDERT, 2005). Este *software*, que tem como base as leis fundamentais da dinâmica dos fluidos e termodinâmica, vem sendo aprimorado em suas novas versões, colocando as pesquisas em um patamar superior de aprofundamento das variáveis que a compõem.

Tendo em vista a urgência de ações que visem o aumento da resiliência das cidades, principalmente, os locais identificados de maior vulnerabilidade no território em função do clima, o **objetivo geral** desta pesquisa consiste em identificar a influência microclimática que a vegetação de porte arbóreo pode ter em uma área de ocupação consolidada no município de Belo Horizonte – MG.

Para além do objetivo geral desta investigação, outros objetivos específicos serão perseguidos no desenvolvimento do tema:

- a) Caracterizar a área de estudo através de medições das variáveis climáticas temperatura do ar e umidade relativa do ar.
- b) Propor cenário hipotético utilizando como estratégia a vegetação de porte arbóreo visando identificar possíveis alterações no microclima local.
- c) Verificar possíveis alterações no microclima em função da aplicação da legislação vigente para a arborização viária na área de estudo.

A organização desta dissertação foi feita em 6 capítulos, além do introdutório.

O **capítulo 2** (Revisão da Literatura e Fundamentação Teórica) apresenta um compilado de investigações sobre o tema nos últimos 10 anos e de métodos e técnicas de abordagem utilizada. Além disso, são descritos os aspectos biológicos da vegetação e as variáveis que compõem o procedimento de simulação computacional no *software* ENVI-Met.

O **capítulo 3** (Metodologia) reúne os métodos de procedimento, abordagem e técnicas empregados no trabalho. Nele é feita a delimitação da área de estudo e descrição dos aspectos

físicos e climáticos, caracterização do solo, uso do solo e vegetação, tendo como referência o município de Belo Horizonte. Este capítulo é dedicado também às etapas de coleta e tratamento de dados, aos procedimentos de aferição da instrumentação, aos procedimentos utilizados para a simulação computacional e a construção dos cenários descritivo e hipotético.

O **capítulo 4** (Resultados Preliminares) reúne os resultados encontrados e as discussões com base nos objetivos do trabalho.

No **capítulo 5** (Considerações Finais) são feitas as considerações da pesquisa, identificando as limitações encontradas colocando recomendações para trabalhos futuros.

O **capítulo 6** (Referências) apresenta as referências bibliográficas utilizadas no decorrer deste trabalho.

Por fim são apresentados o Apêndice da pesquisa que contém os resultados do procedimento de aferição dos termo-higrômetros utilizados na coleta de dados de campo nos abrigos meteorológicos e o e Anexo contendo os dados das estações meteorológicas convencional e automática fornecidos pelo 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (5ºDISME/INMET).

2 REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas últimas décadas, questões ambientais tornaram-se tema de grande relevância, principalmente em relação a possíveis alterações climáticas, em dimensões globais, pela ação antrópica. O 5º Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014a; 2014b) dedica um capítulo especialmente às cidades, trazendo uma avaliação do seu papel sobre as mudanças do clima, além de discutir a necessidade de adaptação do ambiente urbano a riscos climáticos. De acordo com esse relatório, as cidades são atualmente uma das principais fontes de emissões de gases do efeito estufa, em função do seu alto consumo energético (cerca de 2/3 da energia primária produzida mundialmente), pois 80% da matriz energética mundial é, ainda, composta por combustíveis fósseis. Por outro lado, a concentração populacional e de atividades torna as cidades especialmente vulneráveis às mudanças climáticas, principalmente nos países em que, como no Brasil, a expansão da urbanização ocorre de modo precário, gerando deficiências de acesso às infraestruturas básicas, ao saneamento e à habitação adequada.

Nesse contexto, uma das principais causas de aumento da vulnerabilidade das cidades identificadas pelo AR5 (IPCC, 2014a; 2014b) é a supressão de ecossistemas pela expansão da urbanização, que poderiam proteger as áreas urbanas de impactos adversos das mudanças climáticas, provendo acesso à água de boa qualidade, arrefecendo as temperaturas e melhorias a qualidade do ar, contendo processos erosivos e sequestrando carbono da atmosfera. Assim, uma estratégia chave de adaptação urbana para melhorar sua resiliência aos eventos climáticos extremos é a ampliação de suas áreas verdes.

Pesquisas sobre a influência da vegetação no clima urbano demonstram a contribuição desses indivíduos arbóreos na mitigação do fenômeno de ilha de calor (BEZERRA *et al.*, 2018; MUSSETTI *et al.*, 2018), no aumento conforto térmico (ABREU-HARBICH *et al.*, 2015; YANG *et al.*, 2018; SHINZATO E DUARTE, 2018), na redução da temperatura do ar e aumento da umidade relativa do ar (DECLET-BARRETO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2014), além da redução da velocidade dos ventos (TOPARLAR *et al.*, 2018). Embora sejam reconhecidos impactos da vegetação no microclima urbano, primeiramente é necessário entender como ocorre a interrelação da vegetação e o microclima urbano, as escalas de abordagem e metodologias utilizadas, e os elementos que podem influenciar nesta dinâmica.

2.1 O Clima Urbano

O ecossistema urbano é formado pela população de organismos biológicos (fauna, flora e seres humanos) e ambientes abióticos das cidades: a atmosfera urbana, a biosfera, a hidrosfera, a litosfera e o ambiente construído (OKE *et al.*, 2017). Durante o processo de desenvolvimento e transformações urbanas, estes ecossistemas são estruturados e remodelados, provocando modificações no comportamento das variáveis em escala local, que alteram condições atmosféricas definidoras do clima.

As modificações no balanço de energia, induzidas pela massa edificada, pela geometria urbana e pela inércia térmica dos materiais são fatores chave para a caracterização do ambiente atmosférico nas cidades. Oke (1978, p.241) em seus estudos sobre clima urbano, descreve o balanço de energia (Q^*) de um volume de ar em meio urbano, expresso em Watt por metro quadrado (W/m^2), pela seguinte equação:

$$Q^* + QF = QH + QE + \Delta QS + \Delta QA \quad (1)$$

Em que Q^* é o valor da radiação líquida, QF representa o calor produzido pelas atividades humanas, QH corresponde ao fluxo turbulento de calor sensível, QE ao valor de calor latente, ΔQS é a energia líquida armazenada ou liberada por todo o tecido da cidade, incluindo seus materiais de construção, vegetação, solo e ar contidos no volume, ΔQA é o termo de advecção ou transporte horizontal de calor. Com base nessa equação, Oke (1978, p.241) demonstra que o conceito de equilíbrio energético nos permite entender fisicamente, quantificar e modelar as alterações térmicas, de umidade e de precipitação na atmosfera urbana.

Uma revisão bibliográfica sobre os indicadores de projeto urbano que abordam o impacto da geometria urbana e da vegetação no conforto térmico no nível do pedestre foi proposta por Lin *et al.* (2017). Nesta sistematização do conhecimento, os autores categorizam as características geométricas urbanas em cinco grupos. De acordo com os recursos de *design* que envolvem os parâmetros, estão inclusos o uso do solo, formas de construção, geometria do *canyon*, compartimento de espaços e característica descritiva, além da descrição da vegetação urbana e a sua combinação com a geometria da cidade. Observou-se, portanto, que a geometria urbana e a vegetação como os fatores que mais afetaram o microclima externo. Além disso, Lin *et al.* (2017) mostram que os impactos no ambiente térmico variam com o tempo, a estação do ano, o clima local e o contexto urbano a que está inserido, ocorrendo variações entre o dia e a noite.

Em relação à vegetação, as principais características observadas que contribuem para alterações no balanço de energia a nível local são evapotranspiração e sombreamento. A evapotranspiração é uma das variáveis responsável pelo fluxo de calor latente durante a transferência da água do solo para vapor de ar na atmosfera, tendendo a favorecer o armazenamento decrescente e fluxo de calor sensível turbulento. Enquanto o sombreamento pelo dossel da arborização pode interceptar a dissipação de radiação de ondas longas do solo para a atmosfera e, quando estrategicamente posicionada, pode reduzir o fluxo de ar indesejado (LI *et al.*, 2018). Bonan (2015) descreve que algumas das características da vegetação que impactam nestes processos podem variar em função do índice de área foliar, da profundidade de enraizamento e condutância do dossel, além de alterações na classe textural e estrutura do solo.

É importante salientar, além disso, que os biomas se comportam de maneira distinta. Snyder *et al.* (2004) observaram por meio de seis simulações experimentais, substituindo o solo exposto por diferentes biomas, que a floresta tropical é responsável por criar um ambiente mais fresco e clima mais úmido em comparação com o solo descoberto. A redução do albedo de superfície deste bioma leva ao aquecimento da atmosfera, entretanto é compensado pelo aumento do fluxo de calor latente, causando um resfriamento. Além disso, o aumento da taxa de evapotranspiração proveniente da Floresta Tropical contribui para uma maior precipitação anual. Desta forma, de um modo geral, observou-se que o desmatamento deste bioma provoca aumento na temperatura do ar e diminui substancialmente a precipitação.

A Floresta Temperada foi responsável por elevar a temperatura na primavera e no inverno, em função da diminuição do albedo de superfície das áreas cobertas por neve. No período do verão, este bioma tende a resfriar o ambiente. A diminuição do albedo é compensada pelo aumento do fluxo de calor latente, se comparado ao solo exposto. Desta forma, o aquecimento da estação pela Floresta Temperada tende a compensar o arrefecimento no período do verão, de modo que a temperatura média é maior na presença deste bioma do que em relação ao solo descoberto, de acordo com Snyder *et al.* (2004).

Já a Floresta Boreal demonstrou uma maior propensão no aquecimento do clima (SNYDER *et al.*, 2004). A vegetação deste bioma provocou a tendência na redução do albedo de superfície em comparação com o solo coberto por neve. Em relação à Savana e a Pastagem, houve uma predisposição em provocarem o resfriamento do ambiente e aumento da umidade, resultado da diminuição do albedo da superfície e aumento considerável do fluxo de calor latente.

2.2 A Vegetação e o Microclima Urbano

Um levantamento do estado da arte foi proposto por Silva *et al.* (2019) para o período de 2006 a 2018, tendo como objetivo as pesquisas científicas com foco na vegetação e o microclima urbano. Encontrou-se, portanto, na produção brasileira 216 publicações em livros, capítulos de livros, teses, dissertações, artigos e periódicos e em anais de eventos. A partir do mesmo recorte temporal, as autoras propuseram o levantamento da produção internacional utilizando como referência as pesquisas publicadas na Conferência Internacional sobre Clima Urbano (ICUC), sobre o qual foram localizadas 73 publicações.

A partir destes levantamentos, foi possível notar as pesquisas científicas que buscam investigar a relação da vegetação e o microclima urbano mostra grande variabilidade de enfoques, objetivos, escalas e metodologias na abordagem deste tema, ainda que grande parte tenha como foco a descrição das variáveis contribuintes para as alterações climáticas do meio. Além disso, este tema demonstrou ser essencialmente interdisciplinar e passou a ser foco de diversas pesquisas no Brasil e demais países nos últimos 10 anos por grupos de pesquisa de diversas áreas do conhecimento, a exemplo das ciências sociais aplicadas, ciências ambientais e florestais, engenharias, geografias, entre outros (SILVA *et al.*, 2019).

No recorte temporal proposto, entre 2006 e 2018, a produção científica brasileira demonstrou uma tendência de investigações que descrevem os efeitos da vegetação sobre variáveis climáticas como temperatura do ar, umidade relativa, aumento do conforto térmico dos indivíduos e possíveis reduções dos efeitos de ilha de calor. Na produção internacional, apesar de grande parte das pesquisas quantificarem o impacto da vegetação no clima urbano, foi possível encontrar uma tímida, porém crescente, produção que relaciona o comportamento das espécies vegetais em função de condições do meio urbano no potencial de evapotranspiração e crescimento arbóreo (SILVA *et al.*, 2019).

Observa-se em relação ao panorama do estado da arte que, embora a vegetação urbana seja proposta como uma das soluções para atenuação do microclima urbano existe uma lacuna no conhecimento na formação de um constructo conceitual. Os estudos que tratam esse tema variam em função da abrangência e escala dos espaços urbanos, podendo ser encontrado na literatura através de: i) fragmentos florestais e bosques; ii) praças, parques urbanos e pátios; iii) ruas arborizadas; iv) indivíduos isolados.

Sobre **os fragmentos florestais e bosques**, observa-se em geral que a redução da temperatura do ar e aumento da umidade relativa do ar tem relação direta com o número e a densidade de seus indivíduos (MARTINI *et al.*, 2017). As pesquisas que investigam a relação destes fragmentos de vegetação no meio urbano são descritas majoritariamente por diversas técnicas e procedimentos metodológicos que abrangem grandes porções do território, dentre elas por índice de imagens de satélites Landsat e Geoeye, tais como o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), levantamento das variáveis temperatura e umidade do ar por transectos móveis além de monitoramento das variáveis climáticas em pontos fixos.

Em relação à análise de imagens de satélite das porções de vegetação no meio urbano constata-se uma homogeneidade nos objetivos das pesquisas, que buscam relacionar os índices de vegetação do território com as diferenças de temperatura superficiais por método descritivo e comparativo (FEITOSA *et al.*, 2019; GALLO *et al.*, 2013; MARTINI, 2016; TORRESANI *et al.*, 2016). Do ponto de vista qualitativo, observou-se pela análise integrada descritiva que a supressão da vegetação proveniente da expansão da urbanização no período de 20 anos, entre 1989 e 2009, no município de Teresina/PI teve uma relação direta com o aumento de áreas aquecidas na cidade (FEITOSA *et al.*, 2019).

Na cidade de Juiz de Fora/MG foi feita a correlação do índice de vegetação com a temperatura superficial para o período de janeiro de 2015 a junho de 2016. Por meio da análise dos mapas temáticos, o NDVI demonstrou ser um índice importante na identificação da cobertura vegetal e seu vigor, sensível para as estações seca e chuvosa. Além disso, este índice demonstrou ser capaz de fornecer respostas térmicas dos ecossistemas que compõem a área urbana, dentre eles o corpo d'água, a vegetação e a área urbana. Sobre a vegetação propriamente, verificou-se uma relação inversamente proporcional entre os parâmetros, ou seja, quanto maiores os índices de vegetação, menores as temperaturas de superfície observadas (PAULA *et al.*, 2016).

Do ponto de vista quantitativo, na cidade de Curitiba/PR, partir da combinação dos dados de imagem de satélite com o levantamento de dados por transectos móveis, observou-se que o raio de influência da Floresta Urbana sobre seu entorno foi de 200m, enquanto a tipologia Remanescente Florestal chegou a alcançar 250 metros. Além disso, a variação de temperatura média percebida pela influência da Floresta Urbana a 50m de distância foi 0,66°C, a 100m foi 0,45°C, a 150m foi 0,34°C e a 200m foi 0,30°C. É importante salientar, contudo, que o raio

de influência e o comportamento da vegetação tendem a variar em função das tipologias (MARTINI, 2016).

Para além do comportamento das tipologias da vegetação, constatou-se por meio de mapas temáticos gerados a partir do satélite Landsat-8 para a cidade de Belém/PA, que a variação de Temperatura de Superfície do Terreno (LST) tem relação direta com os valores de Índice de Vegetação (IV). As temperaturas dos locais com menores valores de Índice de Vegetação foram mais elevadas, variando entre 30°C a 35°C, com presença de ilhas de calor, enquanto em zonas com maior presença de vegetação entre 23°C a 26°C (MORAES *et al.*, 2018).

Do ponto de vista metodológico, embora diversos estudos demonstrem o potencial da vegetação em reduzir a LST, a investigação da relação entre a LST e a Temperatura do ar (Ta) demonstrou ser importante para investigações do clima em escala urbana e global. Shiflett *et al.* (2017) quantificaram a temperatura do ar em duas alturas (0,1m e 2m) por meio de uma rede de 300 sensores em Los Angeles/CA para três tipologias de cobertura do solo: solo descoberto, grama irrigada e sob a cobertura de citros. A correlação dos dados de Ta foi feita com o cálculo do NDVI e LST. Constatou-se efeitos variáveis de resfriamento no Ta e na LST em função da vegetação, dependendo do contexto espacial e temporal. Os indicadores climáticos Ta e LST demonstraram ser complementares e interligados, variando em função das características da cobertura do solo.

Observa-se, para além do impacto climático, a análise exploratória das fenofases da vegetação através da utilização de dados de resolução NDVI a 250 metros. Grande parte dos estudos fenológicos contempla a escala regional e continental para o acompanhamento das mudanças da vegetação associadas a alterações do clima. Entretanto, o resultado deste estudo demonstrou que o MODIS, processado pelo *software TIMESAT* foi capaz de identificar variações microclimáticas intraurbanas consistentes com as observações *in loco*. As variações microclimáticas da fenologia urbana foram consistentes com diferentes microclimas intraurbanos e uma alternativa para auxiliar o planejamento do aumento do dossel urbano das árvores em função das suas características.

A utilização de transectos móveis e monitoramento de variáveis microclimáticas em pontos fixos demonstraram, em geral, que os fragmentos florestais e bosques tendem a ser favoráveis para a redução da temperatura e aumento da umidade relativa no meio urbano (BIONDI *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014).

O experimento conduzido por transecto móvel para a cidade de Curitiba/PR foi proposta por Biondi *et al.* (2011). O Bosque Capão de Imbuia mostrou diferenças significativas entre o microclima interno e externo à porção vegetada. O levantamento meteorológico foi realizado simultaneamente com duas mini-estações: em um ponto interno ao bosque e através de 21 pontos de amostragem adjacentes ao bosque. Durante a coleta de dados, notou-se no interior do bosque maior estabilidade das variáveis meteorológicas, já no transecto móvel foram observadas variações nestes dados, provavelmente devido à conformação urbanística local. A temperatura na rua ou na área externa ao bosque foi 3,60°C mais elevada e a umidade relativa do ar 13,8% menor.

A replicação da metodologia proposta por Biondi *et al.* (2011) foi conduzida também por Silva *et al.* (2014). No Bosque Gutierrez foi mensurada a temperatura do ar na área externa ao bosque mais elevada em média 4,4°C e a umidade relativa do ar menor em 17,80%.

Em relação à vegetação do sudeste do Brasil, Dodonov (2011) investigou os aspectos de microclima em sete fragmentos através de amostragem em fragmentos de savana e de floresta. A delimitação da poligonal de estudo foi feita por transectos perpendiculares a 14 bordas do cerrado, adjacentes a diferentes conformações como pastagens, estradas, cana-de-açúcar, silvicultura, área urbana e aceiros. O efeito de borda variou de 15 a 80 m para a variável temperatura do ar, 2 a 50 m para a umidade do ar, 2 m para a velocidade do vento e 2 a 20 m para a altura máxima da vegetação. Constatou-se, portanto, o maior efeito de borda em áreas adjacentes à pastagens.

No fragmento florestal da Estação Ecológica da UFMG a relação entre o clima e a vegetação foi analisada por Nascimento *et al.* (2012). Sete pontos de coleta foram distribuídos em diferentes biótopos: cerrado, floresta, bambuzal, trilhas, jardim e limite com a avenida. Os dados de temperatura do ar, temperatura de superfície, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos foram coletados entre as 8:00 e 16:00 horas em 18 de setembro de 2010. A partir de uma análise comparativa entre os pontos foi possível perceber que a média de temperatura do ar no ponto 2 (Mata atrás da Sede do Parque) foi de 27,58°C, no ponto 6 (Bambuzal) foi de 26,10°C e no ponto 7 (Limite da Estação com a Avenida Carlos Luz) foi de 32,13°C. A temperatura do solo na mata apresentou a maior estabilidade, com amplitude térmica de 7,20°C, já o solo exposto do ponto 7 apresentou a maior variação de temperatura, com amplitude térmica de 18,80°C. A intensidade dos ventos apresentou-se mais calma nas matas, variando a velocidade entre 2 a 7km/h em função da barreira arbórea, enquanto na Avenida Carlos Luz variou entre 19 e 26km/h.

Em um estudo na Indonésia, além da descrição da variação microclimática, Dahlan (2016) elencou as tipologias arbóreas mais eficazes para o microclima local. A partir do levantamento das variáveis microclimáticas por termo-higrômetros, *Global Positioning System* (GPS), fator de visão do céu (FVC) e *software* de geoprocessamento, foi possível quantificar as diferenças climáticas dentro e fora do fragmento florestal urbano. A média da temperatura diária do ar obtida na área interna da vegetação foi de 32,30°C e umidade relativa do ar de 74%, enquanto a temperatura diária do ar ao redor da floresta estudada foi de 31,80°C e umidade relativa de 71,10%. A composição de árvores em todos os locais analisados nesta investigação consistiu em 192 indivíduos de 29 espécies e 13 famílias. Dentre o universo arbóreo, calculou-se o valor do indicativo de desempenho chave das árvores a partir de parâmetros como altura, diâmetro dos dosséis, área total foliar. A partir disso foram elencadas as árvores de maior eficácia para a melhoria do microclima, sendo elas: Angsana (*Pterocarpus indicus*), Beringina (*Ficus benjamina*), Flamboyan (*Delonix regia*), Ketapang (*Terminalia catappa*), Mahoni (*Swietenia mogno*) e Trembesi (*Albizia saman*).

Sobre a vegetação presente nos **parques urbanos, praças e pátios** nota-se um consenso sobre a capacidade da arborização em provocar uma redução na temperatura do ar e aumento da umidade relativa (FRANCISCO, 2012; ANTUNES *et al.*, 2017; TOPARLAR *et al.*, 2018). . Em relação à metodologia, as pesquisas utilizam de diversas técnicas e procedimentos descritivos e exploratórios para investigar e quantificar as alterações nas variáveis climáticas.

Do ponto de vista descritivo, um estudo conduzido na cidade de Nitra na Eslováquia, demonstrou que a porção de vegetação e espaços abertos contribui significativamente para as condições microclimáticas do ambiente urbano. Os dados de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de superfície foram monitorados em quatro pontos selecionados de duas localidades urbanas. A distribuição da vegetação foi premissa básica para a seleção dos pontos, sendo estes localizados: i) na vegetação; ii) na borda da vegetação; iii) em espaço aberto; iv) a dois metros de distância de um edifício. A coleta de dados ocorreu três vezes ao dia nos horários locais de 8:00, 15:00 e 22:00 horas através de *data loggers* e termômetro infravermelho. Os resultados demonstram que o parque urbano, ou seja, a localidade com uma porção maior de vegetação que o espaço aberto, possui um microclima mais estável. Além disso, as estruturas de vegetação menores também apresentaram um efeito microclimático importante, ainda que em menores proporções (KERESZTESOVÁ *et al.*, 2014).

Resultados similares foram obtidos por Chen *et al.* (2018) quanto o efeito de resfriamento do parque na cidade de Tainan/TWN. A identificação da diferença de temperatura entre o parque

e as áreas adjacentes foi quantificada em diferentes períodos e através de fatores meteorológicos como radiação solar, vento e FVC. Durante o ano de 2017 foram realizadas medições transversais e fixas duas vezes por mês na área de estudo. Concluiu-se, portanto, que a temperatura do ar no parque foi menor que as áreas circundantes e o efeito de resfriamento ocorreu principalmente no período noturno, sendo influenciado pelo vento. A velocidade do vento em aproximadamente 2-3 m/s ajudou a dispersar o efeito de resfriamento na direção do vento predominante.

No caso do Parque Marinha do Brasil, em Porto Alegre/RS, a identificação da influência da área da vegetação foi mensurada em função da comparação da variabilidade microclimática de cada área amostral. A análise da temperatura, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos em cinco pontos foi monitorada a partir de um transecto a pé durante três dias representativos da primavera, verão e outono. Os pontos escolhidos para amostragem foram: i) estacionamento; ii) quadra poliesportiva; iii) túnel verde; iv) orla do Lago Guaíba; v) área de campo. Os resultados mostram que os ambientes onde se obteve menor temperatura e maior umidade relativa eram arborizados, com solo não concretado e próximo a corpos hídricos. A diferença máxima de temperatura registrada na primavera entre os pontos foi de 2,30°C e 4% de variação de umidade relativa. No verão a diferença variou entre 5,90°C de temperatura do ar e 9% de umidade relativa do ar. No outono, a temperatura do ar variou em 4°C e a umidade relativa em 10% (ANTUNES *et al.*, 2017).

Do ponto de vista exploratório, diversas pesquisas utilizam de simulação computacional para mensurar as variações e criar cenários hipotéticos. Um estudo paramétrico foi conduzido para uma cidade da Holanda tendo como referência diferentes geometrias e orientações de quadras urbanas locais. Foram investigadas, através do *software* ENVI-Met, três estratégias de mitigação de calor urbano: mudança no albedo das fachadas dos blocos urbanos, inclusos espelho d'água e vegetação urbana. Os resultados mostraram que o aumento do albedo das fachadas proporcionou um aumento da temperatura média radiante em um layout urbano fechado, como um pátio. Já a inserção do espelho d'água e da vegetação urbana proporcionou um resfriamento local (TALEGHANI *et al.*, 2014).

Na cidade de Phoenix/EUA, buscou-se investigar os efeitos da vegetação na redução da temperatura do ar através da simulação computacional. Dois cenários foram simulados no *software* ENVI-Met 3.1 para estudo comparativo: o primeiro descritivo das condições existentes representativas dos bairros centrais da cidade e a segunda um cenário exploratório proposto. Decler-Barreto *et al.* (2013) encontraram reduções potenciais significativas de

temperatura do ar e da superfície. O efeito do parque se estendia a superfícies não vegetadas e um resfriamento líquido foi observado abaixo e em torno da vegetação, variando de 0,90°C a 1,90°C durante a hora mais quente do dia, e 0,80° C a 8,40° C em áreas abaixo ou ao redor da vegetação.

O impacto da vegetação na alteração do microclima foi verificado, em Antuérpia/BEL, por meio da comparação de três cenários: i) caso de base com o parque; ii) um caso com uma área quadrada aberta substituindo o parque iii) um caso com edifícios representativos no local do parque. Através da simulação de dinâmica de fluido computacional (CFD) demonstrou-se a capacidade do parque urbano de arrefecimento da temperatura do ar no período diurno em até 3,40°C permanecendo perceptível a um alcance máximo de 498 metros, em linha, na direção predominante do vento (TOPARLAR *et al.*, 2018). Por outro lado, esta mesma área demonstrou um potencial de redução da velocidade do vento, além de aumento de 0,90°C na temperatura no período noturno em função das trocas de calor entre as edificações, vegetação e solo.

Para o município de Belo Horizonte/MG, a verificação da influência da vegetação em uma área de parque foi proposta para o Parque Lagoa do Nado. A metodologia exploratória foi utilizada na criação de cenários hipotéticos no ENVI-Met, utilizando como referência o levantamento quantitativo das variáveis microclimáticas locais. Francisco (2012) propôs a verticalização das edificações do Parque Lagoa do Nado e a substituição da vegetação de porte arbóreo local por grama. O resultado da substituição da vegetação por gramíneas provocou um aumento da temperatura do ar, atingindo o valor máximo de 2,60°C no parque e 1,50°C na área urbana.

Em relação aos pátios, Shashua-Bar *et al.* (2009) propõem uma análise climática de resfriamento do ar para uma região árida do sul de Israel, considerando a eficiência no uso da água. Em dois pátios semi-fechados, seis estratégias foram estudadas durante o verão, utilizando diferentes combinações de árvores, gramado e uma malha para sombreamento. O pátio tratado com árvores e grama produziu uma redução da temperatura do ar em até 2,5K, em comparação com um pátio exposto não vegetado. Contra-intuitivamente, o sombreamento com uma malha de tecido produziu o aumento relativo da temperatura do ar em quase 1K. Em relação ao uso da água, verificou-se que a grama não sombreada causava uma pequena depressão da temperatura do ar e possuía maior necessidade de água, enquanto quando sombreada, pela malha ou por árvores, um efeito sinérgico produzia maior resfriamento e uma redução de até 50% no uso total da água.

Diversos impactos positivos sobre o microclima já foram constatados pela **arborização nas ruas**. Embora seja perceptível a redução da temperatura do ar e aumento na umidade relativa (MARTINI *et al.*, 2013), nota-se na revisão da literatura controvérsias sobre o impacto da vegetação na velocidade do vento (SHASHUA-BAR E HOFFMAN , 2000) e na qualidade do ar em função da ventilação (WANIA *et al.*, 2012).

Para a arborização viária Rantzoudi e Georgi (2017) apontam que algumas particularidades devem ser consideradas, como a largura das ruas, calçadas, altura dos edifícios próximos, orientação da rua e as características morfológicas das árvores escolhidas podem impactar diretamente os efeitos de sombreamento. Para a cidade de Orestiada/GRE a seleção da vegetação para as ruas foi proposta tendo em vista todas estas variáveis e a partir da classificação das ruas, onde os tamanhos das árvores dependem do tamanho e orientação de cada categoria de rua.

Shashua-bar e Hoffman (2000) investigaram o efeito do resfriamento em onze localidades urbanas arborizadas com variadas configurações geométricas: dois jardins, quatro avenidas, uma praça, dois pátios e duas ruas. Um modelo empírico foi desenvolvido para prever o efeito de resfriamento destes locais a partir de análise estatística por 714 observações experimentais da temperatura do ar. Concluiu-se, portanto, que o efeito de sombreamento da arborização nas ruas tem a mesma magnitude que nos outros locais e é majoritariamente determinado pelo dossel. No entanto, o tráfego intenso pode ocasionar um efeito oposto, aumentando a temperatura em cerca de 2K. Em avenidas mais largas (cerca de 40 m) com copas das árvores relativamente altas (10 a 15 m), apesar do tráfego intenso, os efeitos de aquecimento foram imperceptíveis, justificados pela ventilação.

A relação da vegetação com a ventilação nas ruas mostrou impactar negativamente também na qualidade do ar e dispersão de partículas induzidas pelo tráfego (WANIA *et al.*, 2012). Utilizando ENVI-Met, os autores avaliaram os efeitos da ventilação na qualidade do ar. Os resultados revelaram que a vegetação reduz a velocidade do vento, causando a inibição da ventilação no *canyon* urbano e, conseqüentemente, um aumento nas concentrações de particulados. A perda de qualidade do ar, neste caso, está diretamente relacionada com a ventilação e pode aumentar em função da densidade de área foliar da copa das árvores na rua.

No caso brasileiro as variações microclimáticas foram quantificadas através de um experimento comparativo entre ruas com presença e ausência de arborização por Martini *et al.* (2013). Os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento foram coletados repetidamente das 9 às 15 horas nas quatro estações do ano de 2011 para a cidade de Curitiba/PR. Os resultados demonstraram que as ruas arborizadas tiveram a temperatura máxima em média 2,7°C menor do que a rua sem arborização e a temperatura mínima 1,20°C menor. A umidade relativa máxima 5,70% maior e a umidade relativa mínima 7,20% maior.

Sobre os **indivíduos isolados**, é possível encontrar na literatura estudos mais recentes que buscam descrever os índices fisiológicos da vegetação em relação ao microclima (TESHIROGI *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2019), além da relação do IAF para variações microclimáticas e do raio de influência desses indivíduos (SHINZATO e DUARTE, 2012; ABREU, 2008).

Um estudo sobre a evapotranspiração arbórea foi realizado por Teshirogi *et al.* (2018). A medição de longo prazo da taxa de evapotranspiração foi realizada através do método lisimétrico, tendo como referência árvores autônomas e indivíduos arbóreos em florestas urbanas. Foram utilizados três corpos de prova da espécie *Zelkova serrata* nas condições: i) árvore autônoma; ii) dentro de uma floresta; iii) utilizada apenas para medição da evaporação do solo. As medições ocorreram durante três dias consecutivos. A partir desse experimento concluiu-se que a diferença nas taxas de transpiração no verão, entre a floresta e o indivíduo isolado, tem como principal fator a mudança de umidade causada pelo aglomerado de árvores. O volume de transpiração de indivíduos isolados foi 1,7 vezes maior do que aquele circundado por outras árvores. Além disso, a quantidade de transpiração proveniente de árvores isoladas e agrupadas não depende exclusivamente do número de árvores, mas também da densidade da massa vegetal e dos espaços existentes no arranjo.

Utilizando também o método lisimétrico, Asawa e Fujiwara (2018) quantificaram a taxa de transpiração de duas árvores individuais no Japão, associadas às temperaturas foliares mensuradas por termografia infravermelha. Medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram realizadas abaixo da copa das árvores em condição isolada e em ambiente florestal. O método de balanço de calor tornou explícito que durante o verão no dia de sol, quando a árvore foi totalmente irrigada, o fluxo de calor latente foi 400W/m² e o fluxo de calor sensível de 180W/m². Já no período de três dias após a irrigação o fluxo de calor sensível aumentou para 540W/m², ficando quantitativamente próximo ao valor da radiação

solar incidente na copa da árvore. Função disso constatou-se que a árvore sob efeito de estresse hídrico passa a liberar grande fluxo de calor sensível para a atmosfera, proporcionando consequentemente um aquecimento. Em relação à temperatura foliar houve uma diferença de 2°C a mais da folhagem sob condição de estresse hídrico.

A relação entre os índices fisiológicos e o microclima foi quantificada por Chen *et al.* (2019). A transpiração foliar, temperatura de superfície foliar, radiação solar incidente e temperatura do ar foram investigadas para três espécies arbóreas típicas de Guangzhou/CHN ao longo de três anos consecutivos. Observou-se, portanto, que as diferenças sazonais e inter-anuais da transpiração e dos efeitos de resfriamento para as três espécies analisadas têm relação direta com a variação de água no solo. A espécie nativa *S. superba* apresentou um sistema de transporte de água mais eficiente e maiores efeitos de resfriamento por transpiração do dossel. Os autores salientam, contudo, a importância do levantamento quantitativo em longo prazo integrando as investigações da transpiração do dossel com os efeitos de sombreamento, tendo em vista que ambas são variáveis importantes para a avaliação dos efeitos de arrefecimento da temperatura do ar.

Em relação à qualidade do sombreamento, Shinzato e Duarte (2012) propuseram a mensuração para a arborização da cidade de São Paulo a partir do Índice de Área Foliar. As medições do IAF foram feitas para 20 tipos de indivíduos, representativas de cinco espécies brasileiras no Parque Ibirapuera/SP e variaram entre 0,80 a 3. Três categorias de vegetação foram escolhidas para a modelagem no ENVI-Met: i) uma copa de baixa densidade foliar (IAF 1); ii) copa de média densidade foliar (IAF 3); iii) copa de alta densidade foliar (IAF 5). Todas as árvores possuíam 20 metros de altura e a densidade da copa dois metros acima da superfície. Os resultados indicaram a importância do IAF para a qualidade do sombreamento. As diferenças de temperatura de superfície entre a área sombreada e a rua foram medidas em 14,7°C de diferença média para IAF 5, 10°C para IAF 3 e 5°C para IAF 1. Já para a temperatura do ar, a diferença entre a área sombreada e a rua para as árvores densas (IAF 5) variaram em até 1,3°C.

Abreu (2008) avaliou a escala de variação microclimática por diferentes espécies arbóreas na região de Campinas/SP. A metodologia adotada compreendeu o cálculo de atenuação da radiação solar sobre as espécies, da evapotranspiração e mensuração do conforto térmico a diferentes distâncias dos troncos entre 6:00h e 18:00h. A coleta de dados climáticos foi feita, através de dois experimentos, para as espécies isoladas: ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*),

jacarandá (*Jacaranda mimosifolia* D. Don.), jambolão (*Syzygiumcumini* L.), mangueira (*Mangifera indica* L.) e para o agrupamento da espécie chuva de ouro (*Senna siamea* L.). O primeiro experimento correspondeu ao levantamento dos dados de temperatura do ar, temperatura do globo, umidade relativa do ar e velocidade do vento em quatro posições: na sombra, no sol a 10m, 25m e 50m. No segundo levantamento foram coletados os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar em seis posições: a 2,5m, 5m, 7,5m, 10m, 12,5m e 15m. O cruzamento destes dados tornou evidente a contribuição da vegetação para a melhoria do microclima. Em todos os indivíduos isolados, até uma distância em torno de 15m do tronco, as espécies proporcionam conforto térmico. A variação da umidade relativa em torno de 10m do tronco foi mais elevada do que a sombra. Embora tenha sido observada variação microclimática por indivíduos isolados, a maior contribuição foi do agrupamento arbóreo.

2.3 Aspectos Biológicos da Arborização

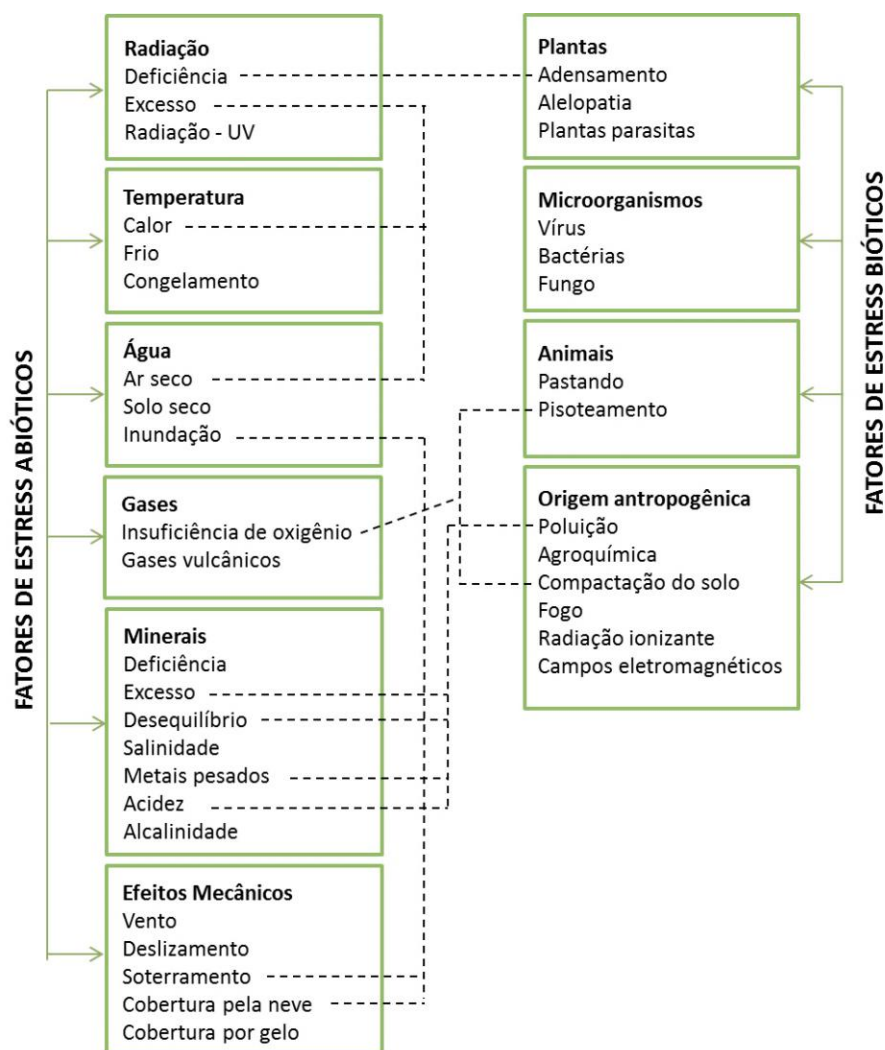
A compreensão sobre a dinâmica ecossistêmica da vegetação urbana ainda é muito limitada e, na maior parte dos casos, o que se sabe sobre a vegetação com base em seu habitat natural ou em áreas rurais não se aplica em áreas urbanas (PATAKI, 2013; ZHAO *et al.*, 2016; SMITH *et al.*, 2019). De acordo com SPIRN (1995), “a cidade contém uma grande variedade de *habitats* dentro do mosaico de edifícios e pavimentação” que exercem inúmeras pressões biológicas, físicas e químicas na vegetação urbana em função de temperaturas muito elevadas ou muito baixas, disponibilidade de água, solos contaminados, pragas e doenças podem levar a vegetação a não sobrevivência e/ou condição de estresse.

De modo geral, estas alterações são responsáveis pela indução a mudanças e respostas em diversos níveis funcionais dos organismos vegetais, através de seu sistema hormonal. Os efeitos do estresse afetam negativamente a saúde da planta, causando aumento nos custos de manutenção para preservar os indivíduos em condições favoráveis (SIMON, 2016). É importante salientar, nesse caso que, segundo Larcher (2004), esses efeitos podem ser reversíveis a princípio, ou tornarem-se permanentes. Num primeiro momento, essas mudanças conseguem interferir diretamente sobre a produtividade do indivíduo que, em caso de estresse temporário, apresenta uma redução no rendimento, mas é capaz de chegar a uma recuperação completa. Já em caso de estresse permanente, a taxa de crescimento é reduzida e a perda em relação à produção é maior, podendo ser irreversível.

No ambiente urbano, os principais fatores abióticos de estresse dos vegetais são: i) a poluição do ar; ii) o acesso à água (em termos de *deficit* de água e/ou inundações); iii) as propriedades do solo (desequilíbrio dos nutrientes e compactação), conforme visto na Figura 1.

De acordo com Mukherjee e Agrawal (2018a; 2018b) a concentração de poluentes, notadamente material particulado e NO₂ acima dos limites-padrão têm efeitos sobre as características funcionais das folhas de espécies tropicais, tanto de porte arbóreo como de porte arbustivo, tais como os pigmentos fotossintéticos, o grau de hidratação da folha e principalmente sobre os antioxidantes não enzimáticos (ácido ascórbico e polifenóis). Para as árvores, o fator de estresse mais importante é o material particulado, seguido pelo O₃. A tolerância à poluição do ar varia entre as espécies e depende das características próprias de cada indivíduo, como sua altura, tamanho da copa, forma e textura da folha. Já no caso das espécies arbustivas, as propriedades do solo, principalmente os níveis de potássio e o uso do solo foram os principais fatores de estresse depois da poluição do ar.

Figura 1 - Fatores de estresse no ambiente e algumas de suas múltiplas inter-relações



Fonte: Larcher (2004) adaptado pela autora

Alguns dos danos causados pela poluição do ar à vegetação podem ser reconhecidos pela acumulação de substâncias tóxicas ou de seus derivados nos tecidos vegetais, aparecimento de hormônios vegetais ligados ao estresse, alteração na abertura e fechamento dos estômatos, entre outros (LARCHER, 2004).

As árvores em áreas urbanas podem também ser importantes fontes de compostos orgânicos voláteis (COVs), possivelmente contribuindo para a formação do O₃ na atmosfera urbana, embora tais emissões sejam bem menores do que as antropogênicas (OWEN *et al.*, 2003). As plantas fazem isso em resposta aos fatores estressantes de altas temperaturas, componentes oxidantes na atmosfera e ataque de patógenos ou de pestes de insetos herbívoros, que se desenvolvem aceleradamente nas condições mais quentes das áreas urbanas e, conseqüentemente, das copas das árvores (CALFAPIETRA *et al.*, 2013; DALE e FRANK, 2014).

O fluxo da água através dos processos solo – vegetação – atmosfera (*soil – plant – atmosphere continuum* - SPAC) é um dos principais componentes no ciclo hidrológico geral. No SPAC estão relacionados diversos processos hídricos, como a interceptação, superfície de escoamento, percolação, drenagem, evaporação, captação de água pela planta, subida de água para a folhagem da vegetação e transpiração da água pelas folhas de volta à atmosfera.

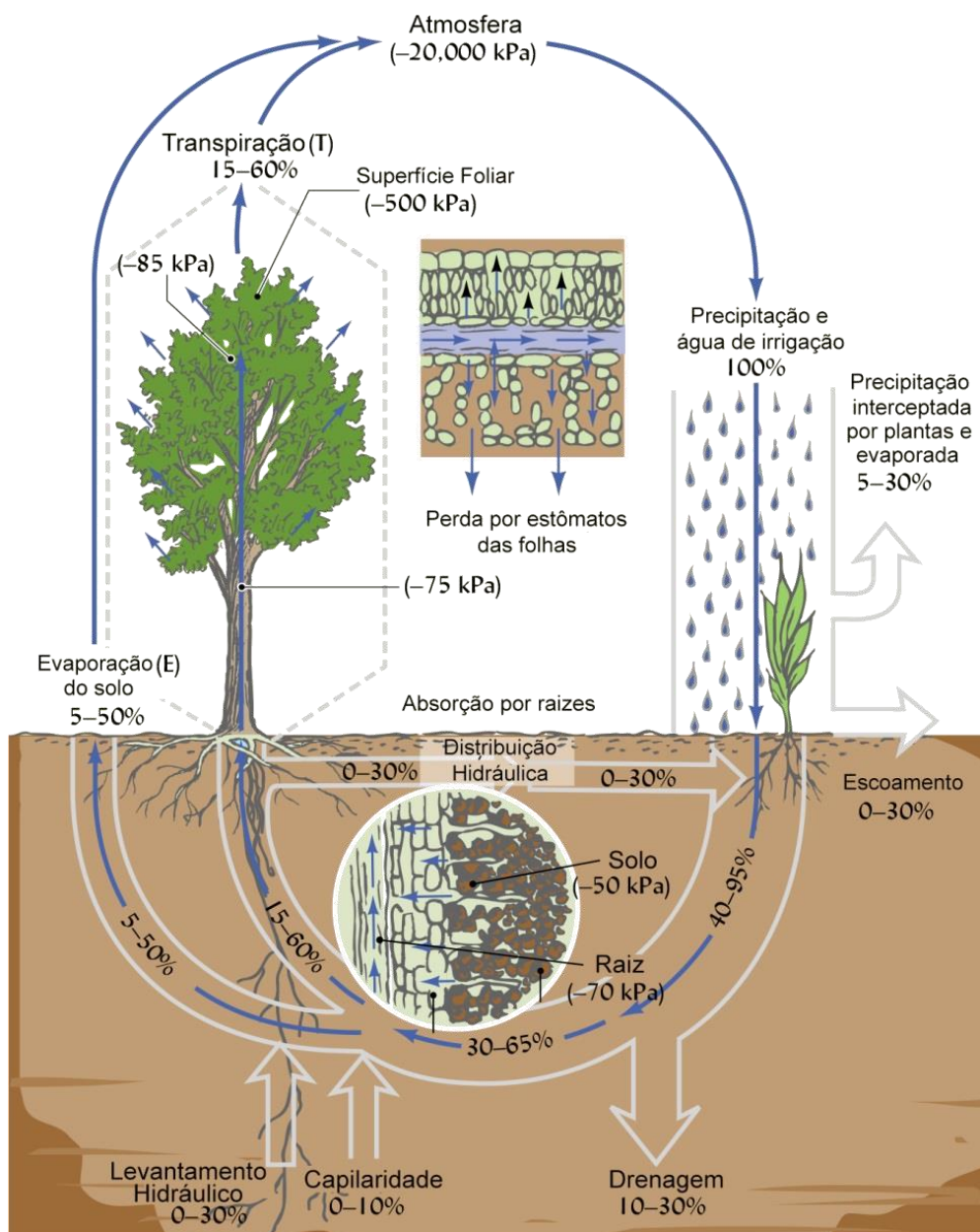
Os princípios que regem a retenção e o movimento da água no solo, na planta e na atmosfera estão diretamente relacionados com o potencial dos níveis de energia, fluindo do maior potencial para o menor (BRADY e WEIL, 2008). Conforme visto em Figura 2, a condição para a vegetação absorver água do solo, o potencial da água deve ser menor na raiz (-70kPa) do que propriamente no solo (-50kPa).

Dentro deste processo de movimentação hídrica, Brady e Weil (2008) relacionam dois pontos de resistência encontrados pela água: ao atravessar membranas celulares na interface raiz-água do solo e na interface folha-atmosfera. Sendo assim, existem dois fatores determinantes para o abastecimento hídrico nas plantas: i) a taxa em que a água é fornecida pelo solo para as raízes que a absorverá e ii) a taxa de transpiração da água pelas folhas da planta.

Uma vez desregulado este abastecimento, o estresse hídrico pode ser suficiente para desencadear a síntese hormonal da planta através do aumento do ácido abscísico (ABA) e do etileno. A regulação hormonal durante o estresse hídrico pode desencadear reações como a redução da abertura estomática, o que significa para a planta um decréscimo da transpiração, entre outras consequências.

Num experimento conduzido em Araras, São Paulo, os picos de queda foliar foram associados com os de maior estresse hídrico, enquanto o brotamento com os picos de maior precipitação, temperatura e radiação solar. O processo da floração da *T. impetiginosa* ocorreu no período de maio a agosto, similar a ocorrência na natureza. Já esta fenofase para a *T. chrysotricha*, nem todos os indivíduos floresceram e o período estendeu-se de agosto a setembro, diferentemente da ocorrência no habitat natural (REBELATTO *et al.*, 2019).

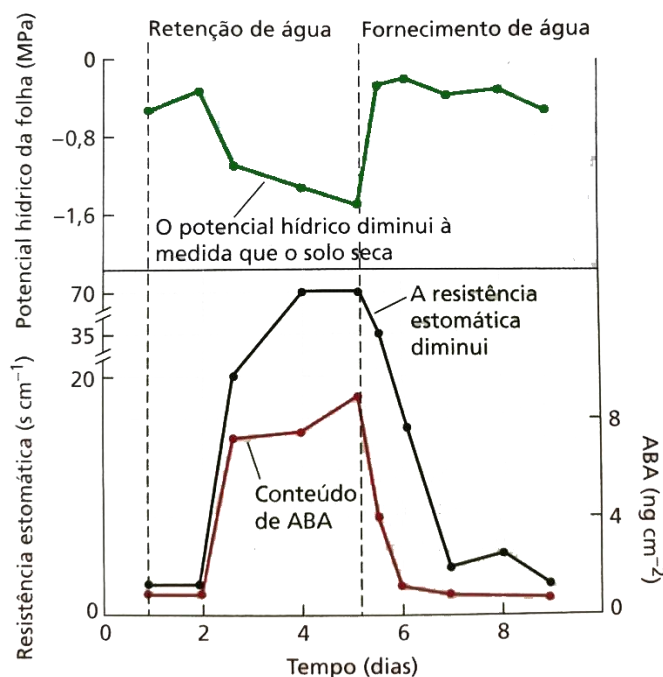
Figura 2 - Fluxos do movimento de água nos processos solo – vegetação- atmosfera



Fonte: Brady e Weil (2008) traduzido pela autora

Resultados semelhantes foram encontrados em experimento feito com folhas de milho, como pode ser visto na Figura 3. A retenção de água pelo estresse hídrico gerou como consequência para a planta a diminuição do potencial hídrico da folha, do conteúdo de ABA e da resistência estomática. Por se tratar de um estresse temporário, ao ser reidratada a planta foi capaz de reverter o processo (TAIZ *et al.*, 2017).

Figura 3 - Alterações no potencial hídrico em resposta ao estresse hídrico



Fonte: Beardsell e Cohen (1975)¹ *apud* Taiz *et al.* (2017) adaptado pela autora

Em relação ao crescimento e saúde das espécies arbóreas, uma pesquisa conduzida em Gotemburgo/SWE por Konarska *et al.* (2018) objetivou quantificar as respostas às diferentes condições de crescimento urbano e impacto de calor e da seca no potencial de resfriamento das árvores. Foram medidas as condutâncias estomáticas, as taxas de transpiração, os potenciais hídricos no período noturno e ao meio dia, o teor de clorofila, a densidade de área foliar, variáveis do microclima e medidas de conforto térmico humano. O experimento contou com três espécies com mecanismos de adaptação ao estresse hídrico. Para cada espécie foram escolhidas árvores de mesma idade, plantadas em locais não pavimentados e pavimentados. Encontrou-se, portanto, redução nas trocas gasosas, no conteúdo de clorofila e na densidade de área foliar das árvores em locais pavimentados quando comparadas às árvores alocadas em áreas de maior permeabilidade na superfície. Tais diferenças foram notadas para ambos os períodos de verão e chuvoso. Além disso, constatou-se também uma diferença do uso da água entre espécies contra o estresse hídrico.

O estresse crônico pela falta de água vem sendo investigado também para a arborização da cidade de Paris/FRA através da dendrocronologia. David *et al.* (2015) avaliam o potencial de resfriamento das árvores em relação ao estresse hídrico e a influência a longo prazo do clima. Esta pesquisa vem sendo implementada no período de três anos para 95 indivíduos de *Tilia*

¹ BEARDSELL, M. F., COHEN, D. Relationships between leaf water status, abscisic acid levels, and stomatal resistance in maize and sorghum. **Plant Physiol.** v. 56, p. 207–212, 1975.

tomentosa Moench nas faixas etárias de 10 a 120 anos. Por meio de uma abordagem comparativa, entre as respostas dos indivíduos arbóreos de diferentes idades, é avaliado se o estresse crônico hídrico está relacionado com a idade da árvore ou pelo histórico climático. Os resultados preliminares sugerem um processo limitado de fotossíntese e fechamento dos estômatos durante o estresse hídrico para árvores plantadas nas ruas. Esse processo, conseqüentemente, reflete em uma menor capacidade de evapotranspiração, o que pode limitar diretamente o potencial de refrigeração e a sobrevivência destes indivíduos arbóreos no meio urbano.

Embora se observe que a efetividade da transpiração esteja diretamente relacionada com a disposição de água para as plantas, Pataki *et al.* (2011) levantaram a hipótese de que a mistura incomum de espécies, inclusive exógenas, em áreas verdes urbanas afeta mais a variabilidade espacial da transpiração vegetal do que as variações climatológicas. As espécies encontradas pelos autores nas áreas verdes da Região Metropolitana de Los Angeles (EUA) variaram grandemente em termos de transpiração, dependendo não apenas da irrigação, mas também da densidade arborizada de cada área.

Em geral, a vegetação também é intensamente afetada pelas propriedades do solo. Os recursos provenientes do meio natural para a manutenção do equilíbrio saudável entre a copa e as raízes incluem níveis adequados de oxigênio, água, nutrientes, baixa resistência de penetração da raiz no solo, equilíbrio de pH e atividade biológica robusta (WATSON *et al.*, 2015). No ambiente urbano, entretanto, a disponibilidade desses recursos é frequentemente alterada pelas atividades antrópicas. Grande parte dos nutrientes é naturalmente encontrada em solos levemente ácidos a neutros (pH entre 5,5 e 7,2), favorecendo o crescimento das árvores. No meio urbano foram observados níveis de pH ácido (abaixo de 5,0) em fragmentos florestais e pH alcalinos (acima de 8,0) atribuídos à remoção da camada superficial (*topsoil*) e ao uso de concreto e materiais calcários no processo de urbanização (DAY *et al.*, 2010). Diante dessa variação, nota-se que alguns nutrientes, como ferro e manganês, se tornam menos disponíveis em solos mais alcalinos (pH acima de 7,2) e há falta de fósforo em solos mais ácidos, com pH abaixo de 5,5. Desta forma, em função do *deficit* de nutrientes, a acidez do solo afeta o crescimento satisfatório da vegetação e a alcalinidade compromete a saúde das plantas.

Já a compactação do solo é um processo de compressão das camadas naturais que conseqüentemente degrada a sua estrutura, diminui a porosidade e aumenta a resistência física do solo à penetração da raiz (DAY *et al.*, 2010). Esse processo diminui a capacidade do

crescimento das raízes (podendo variar entre as espécies) e afeta a sua distribuição, que passa a se desenvolver lateralmente. A interrupção da troca de gases entre o solo e a atmosfera influencia diretamente na sua aeração através da redução da concentração de oxigênio e aumento dos níveis de gás carbônico em profundidade, em função das demandas de oxigênio pelas raízes, fungos e microrganismos (WATSON *et al.*, 2015). Desta forma, os elevados níveis de gás carbônico podem danificar as raízes, e, se aliados à pobre drenagem do solo, podem favorecer a incidência de doenças através da proliferação de fungos danosos.

2.4 Modelagem microclimática no ENVI-Met

O ENVI-Met é um modelo de microclima holístico que pode simular climas em ambientes urbanos e avaliar os efeitos da atmosfera, vegetação, arquitetura e materiais (ENVI-MET, 2020). Para tentar reproduzir a sinergia observada na realidade, os módulos de cálculo deste programa integram os fundamentos baseados nos princípios da mecânica dos fluidos, termodinâmica e as leis da física da atmosférica, além da fisiologia vegetal e ciência do solo. Suas principais variáveis prognósticas são a turbulência e fluxos radiativos, a velocidade e a direção do vento, a temperatura do ar e do solo, a umidade do ar e do solo e a dispersão de gás e partículas (BRUSE, 2004).

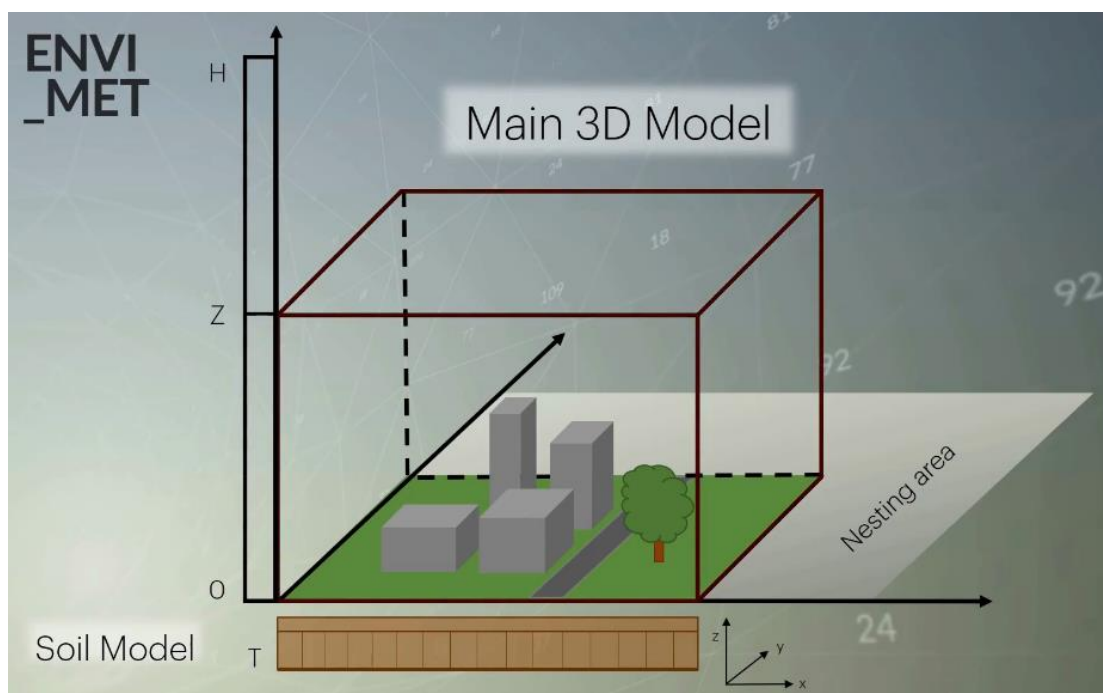
O modelo utiliza a resolução espacial e temporal típica de 0,5 metros a 10 metros e 1segundo a 5 segundos para simular as interações superfície-vegetação-atmosfera no ambiente urbano. A dimensão da área do modelo depende da sua resolução espacial, tendo limite máximo 250x250 células horizontais e 30 células verticais (ENVI-MET,2020). A simulação das condições microclimáticas no ENVI-Met tem como base a interação de três submodelos principais, conforme descreve Simon (2016) e pode ser observado em Figura 4:

i) **Modelo Limite 1D** (*1D Boundary Model*) - define as condições de limite do modelo atmosférico 3D. Tem início no nível do solo ($z=0$) até 2.500 metros acima do nível do solo. Os dados de entrada necessários para criar o perfil vertical deste modelo são a latitude, a longitude, a data e a duração da simulação, a velocidade do vento horizontal a 10 metros de altura, a rugosidade, a temperatura do ar a 2 metros de altura, a umidade específica a 2.500 metros de altitude e a umidade relativa a 2 metros de altura. Para gerar condições de contorno próximas à realidade, esse modelo unidimensional passa a ser integrado ao longo da simulação até os parâmetros dos perfis verticais atingirem um estado quase estacionário.

ii) **Modelo Atmosférico 3D** (*3D Atmospheric Model*) - área tridimensional onde é possível construir o ambiente urbano em sua complexidade (incluindo diferentes superfícies, vegetação, poluentes e edificações) e simular os principais processos do clima urbano, como a ventilação, a temperatura do ar, a distribuição da umidade, as turbulências, os gases e partículas em dispersão, a radiação, os processos de troca no solo e as superfícies de construção. Uma área de aninhamento (*nesting area*) circunda o modelo central e tem o objetivo de criar condições de contorno laterais estáveis para o modelo central, ou seja, evitar efeitos de borda que podem distorcer os dados de saída.

iii) **Modelo de Solo 3D** (*3D Soil Model*) – está conectado à parte inferior do modelo da atmosfera. É dividido verticalmente em 14 camadas que podem ter os parâmetros hidrológicos e termodinâmicos ajustados por nível. O espaçamento destas camadas aumenta com a profundidade a fim de contabilizar mais interações do solo superior com a atmosfera. A profundidade do sistema de solo é de até 5 metros ($z=-5$). Essa extensão vertical visa garantir espaço para o sistema radicular de árvores de grande porte, além de condições constantes de temperatura e teor de água dos solos, para os cálculos dos processos hidrológicos e termodinâmicos dentro de uma simulação típica de 24 horas a 5 dias.

Figura 4 - Estrutura de um modelo de microclima com o ENVI-Met

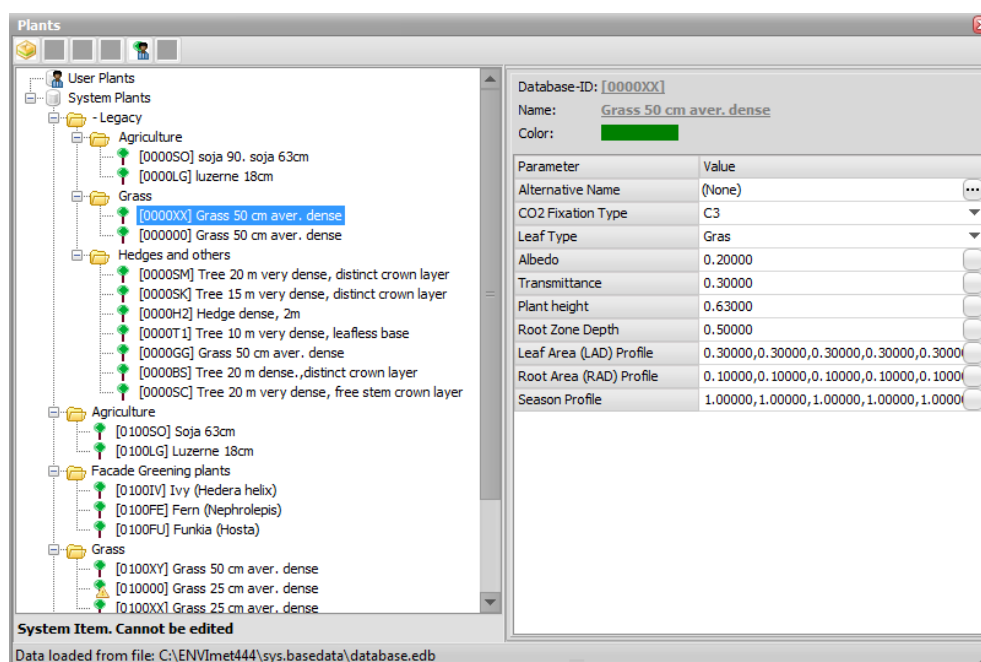


Fonte: ENVI-Met (2020)

É importante destacar sobre a construção do modelo 3D que, de acordo com Simon (2016), o ENVI-Met é até então um dos poucos programas computacionais que permite a modelagem detalhada da vegetação. Neste *software*, que utiliza como base a descrição do sistema radicular e da densidade foliar da copa, as plantas são categorizadas em dois grupos.

A vegetação de estrutura vertical simples, a exemplo das gramíneas, arbustos e cercas vivas compõe o banco de dados denominado “Plantas Simples” (*Simple Plant*), conforme ilustrado em Figura 5. A descrição dessa tipologia de vegetação é feita através dos parâmetros: fixação de CO₂ (C3 ou C4), tipo de folha (grama, conífera ou decídua), albedo (percentual de radiação de onda curta refletida para a superfície), transmitância (média da radiação solar que atravessa a estrutura da vegetação e atinge o solo, determinando a força da sombra projetada pela planta), altura da planta, profundidade do sistema radicular, densidade de área foliar (representada por 10 camadas na atmosfera), densidade de área radicular (10 camadas no modelo de solo) perfil sazonal (percentual de densidade de área foliar disponível ao longo do ano).

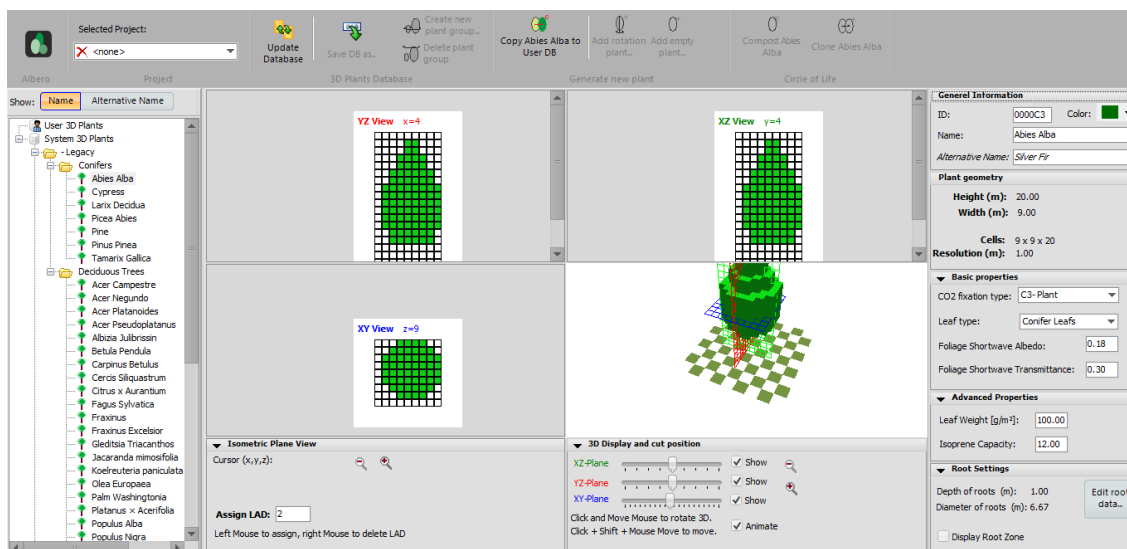
Figura 5 – Parâmetros de descrição da vegetação *Simple Plants* no ENVI-Met



Fonte: ENVI-Met (2020)

Já a vegetação com copa complexa, a exemplo das árvores, deve ser gerenciada no ENVI-Met através do editor Albero. Nesta ferramenta de modelagem tridimensional, os indivíduos arbóreos são representados por grupos de células que possuem uma densidade de área foliar (DAF). Através da resolução de grade de 1m x 1m, as árvores podem ser modeladas em 10 níveis e visualizadas em 3D, conforme se observa em Figura 6.

Figura 6 – Modelagem da vegetação no módulo Albero do ENVI-Met



Fonte: ENVI-Met (2020)

Além da descrição da forma geométrica do dossel através do DAF, é possível também editar a distribuição da área de raiz (DAR) através da profundidade das raízes, extensão horizontal das raízes, distribuição de área de raiz em 10 camadas e a porcentagem total da raiz na superfície (SIMON, 2016). A modelagem do sistema radicular é um dos parâmetros importantes para se definir as características de absorção da água pela planta tendo em vista que o sistema radicular desempenha um papel vital em processos como transpiração e estresse hídrico na planta. No ENVI-Met, a quantidade de água absorvida pelas raízes é determinada pela transpiração da planta (SIMON, 2016).

A simulação das atividades fisiológicas das plantas sob condições ambientais variáveis, no ENVI-Met, é feita a partir do modelo A-gs de Jacobs (JACOBS, 1994). Este modelo se baseia na relação entre a taxa fotossintética (A) e a condutância estomática de uma planta (gs). Esses dois parâmetros são utilizados para representar a estratégia das plantas para equilibrar o uso da água, de forma a maximizar o ganho de CO² e minimizar a perda de água (JACOBS, 1994). Além disso, o modelo A-gs utiliza a relação entre a taxa fotossintética e a proporção de concentração de CO² interna (Ci) e externa (Cs) a folha com o objetivo de estimar a resposta dos estômatos em relação à umidade no modelo (BRUSE, 2004).

A modelagem da condutância estomática, segundo Bruse (2004), é um dos fatores mais importantes para simulação dos fluxos de transpiração das plantas para a atmosfera. O modelo deve ser capaz de incluir os efeitos das variações de curto prazo, como luz e temperatura, bem como mudanças de longo prazo, por exemplo, um possível aumento de CO² na atmosfera.

Embora o modelo A-gs tenha sido validado para uma ampla gama de situações ambientais (BRUSE, 2004), Simon *et al.* (2018) identificaram uma lacuna na sensibilidade do modelo em representar a vegetação sob estresse. Através da comparação de dados empíricos com a modelagem arbórea no ENVI-Met V4, os autores se propuseram a demonstrar a capacidade do ENVI-Met em simular o fluxo da seiva do caule e temperaturas das folhas de duas árvores em diferentes pátios urbanos. O experimento foi realizado considerando quatro situações sinópticas.

O modelo de vegetação no ENVI-Met demonstrou ser capaz de capturar as variações de curto prazo na transpiração da vegetação em condição de cobertura de nuvens locais. Porém, para as condições dos dias mais quente e totalmente nublados, os dados modelados não corresponderam aos dados medidos. Além disso, a subestimação da transpiração foi encontrada durante o período noturno, demonstrando a necessidade de mais pesquisas sobre o tema.

Além disso, Simon *et al.* (2018) identificou algumas limitações sobre a modelagem em geral: i) modelo de solo: não há possibilidade de simular precipitação durante a simulação; ii) modelo de plantas: em telhados verdes não é considerada a perda de água do solo (evaporação), considera-se apenas a transpiração pelas plantas; iii) o uso de fonte antropogênica pode ser aplicada em estudos de fluxos e emissão de gases e partículas de poluição, entretanto não é considerado como um ponto de aquecimento podendo influenciar diretamente a temperatura do ar.

É importante salientar, para o uso deste *software*, que algumas premissas mínimas para a validade das investigações devem ser adotadas, como a calibração do modelo para as condições locais. ASSIS *et al.* (2013) descrevem que inicialização do modelo pressupõe condições de atmosfera neutra, em relação à estabilidade estática, e, portanto é recomendável que a simulação seja iniciada no período noturno, após o por do sol ou antes do nascer do sol.

Tendo em vista que os dados de sondagem atmosférica, que incluem umidade específica a 2.500 metros de altitude no território brasileiro, são coletados apenas às 12h e 21h (horário local), as simulações devem ser iniciadas no período noturno, a fim de minimizar a possibilidade de erro de convergência de radiação de ondas curtas nas primeiras horas de simulação (FRANCISCO, 2012).

Conforme observado por Silva (2016), a falta de dados relativos às espécies nativas brasileiras no banco de dados no ENVI-Met pode gerar resultados incorretos nas simulações. A partir desta lacuna, o processo de calibração e parametrização da vegetação tropical para o ENVI-Met foi realizado por Shinzato *et al.* (2019) através do estudo de caso para a cidade de São Paulo. A metodologia utilizada contou com medições de campo das condições climáticas representativas dentro de um parque urbano e uma área próxima sem vegetação. Com base em medições do índice de área foliar, foram modeladas quatro tipologias de arborização no ENVI-Met com distribuição foliar no interior na copa. Os parâmetros da vegetação que demonstraram influenciar significativamente nos resultados finais foram o albedo das folhas, a densidade de área foliar e a geometria da copa. Além disso, encontrou-se uma alta correspondência para a temperatura do ar entre os dados medidos e simulados. Os autores destacaram que a possibilidade de extrair dados de saída relacionados à saúde dos indivíduos arbóreos, em relação ao estresse hídrico e térmico. A mensuração destes parâmetros demonstrou ser um avanço importante do ENVI-Met e tornou possível que ajustes finos com base na temperatura foliar, fluxo de vapor e absorção de água pelas plantas pudessem ser realizados.

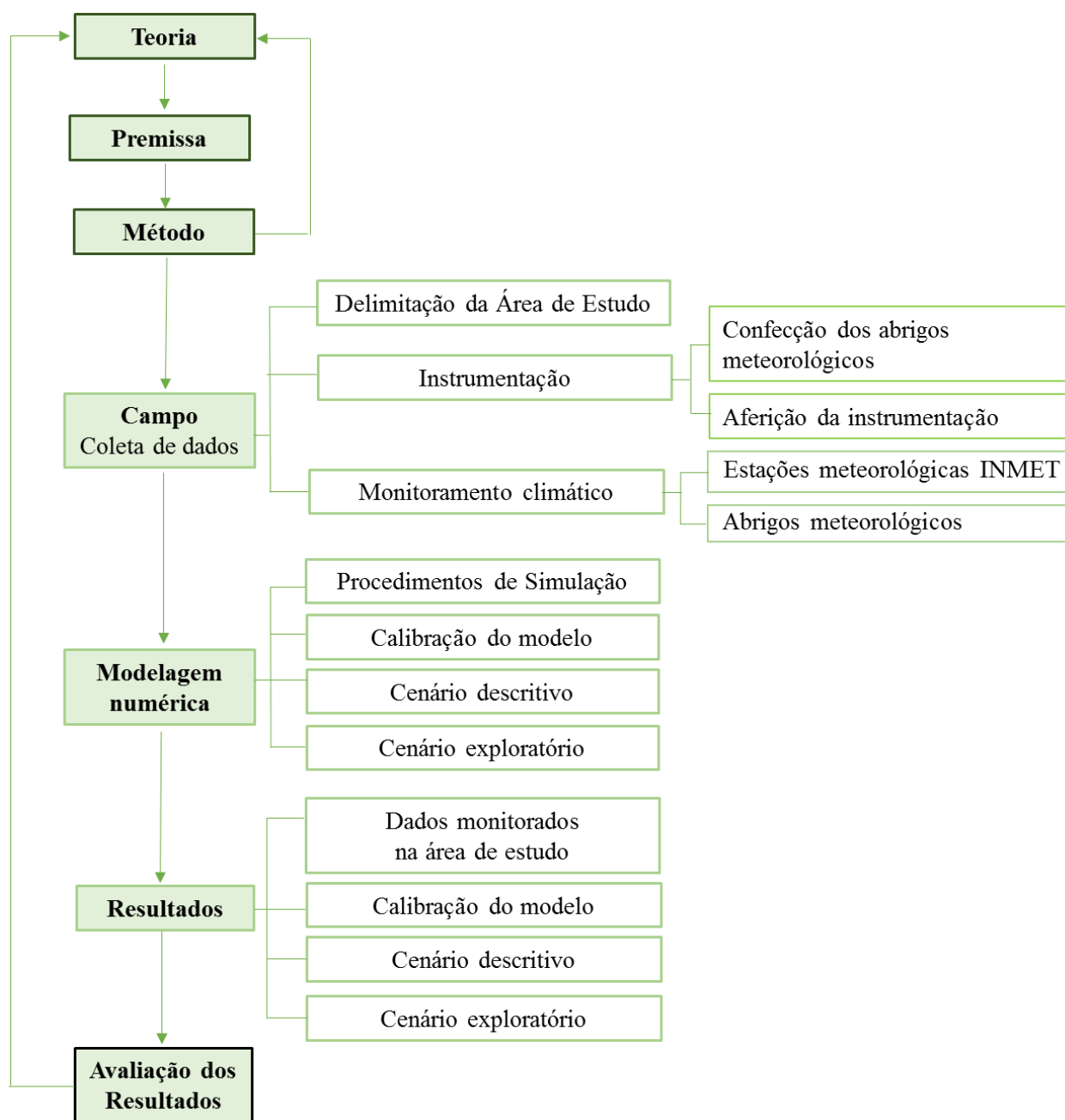
3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia juntamente com os procedimentos metodológicos, que terão como base o processo de elaboração de modelos proposto por Echenique (1975). Partindo da premissa que o planejamento derivado das ações antrópicas sobre o ambiente demanda o desenvolvimento de modelos, o autor classifica-os como descritivos, preditivos, exploratórios e de planejamento, interligando-os num processo temporal, buscando atingir metas de melhorias à realidade apresentada no recorte territorial, dando subsídios à tomada de decisões em planejamento. Sendo assim, os métodos e técnicas para esta investigação devem seguir a sequência apresentada conforme o organograma apresentado na Figura 7.

A abordagem para esta investigação baseia-se no método indutivo, partindo de características particulares de um estudo de caso, incluindo comparações com outros trabalhos produzidos para casos similares, buscando a generalização do fenômeno. Para a aplicação desta abordagem, utilizou-se como método de procedimento o estudo de caso, através de investigações em um recinto representativo aos possíveis impactos das mudanças no clima na cidade de Belo Horizonte, o Conjunto Confisco.

As técnicas de observação extensiva direta, abaixo descritas, foram agrupadas em três categorias: a fase de coleta de dados, a modelagem numérica e a etapa de simulação, tendo como base os três elementos fundamentais para a aplicação do método indutivo, descrito por Lakato e Marconi (2017) a observação dos fenômenos, a descoberta da relação entre eles e a generalização da relação.

Figura 7 - Organograma da metodologia proposta



Fonte: elaborado pela autora

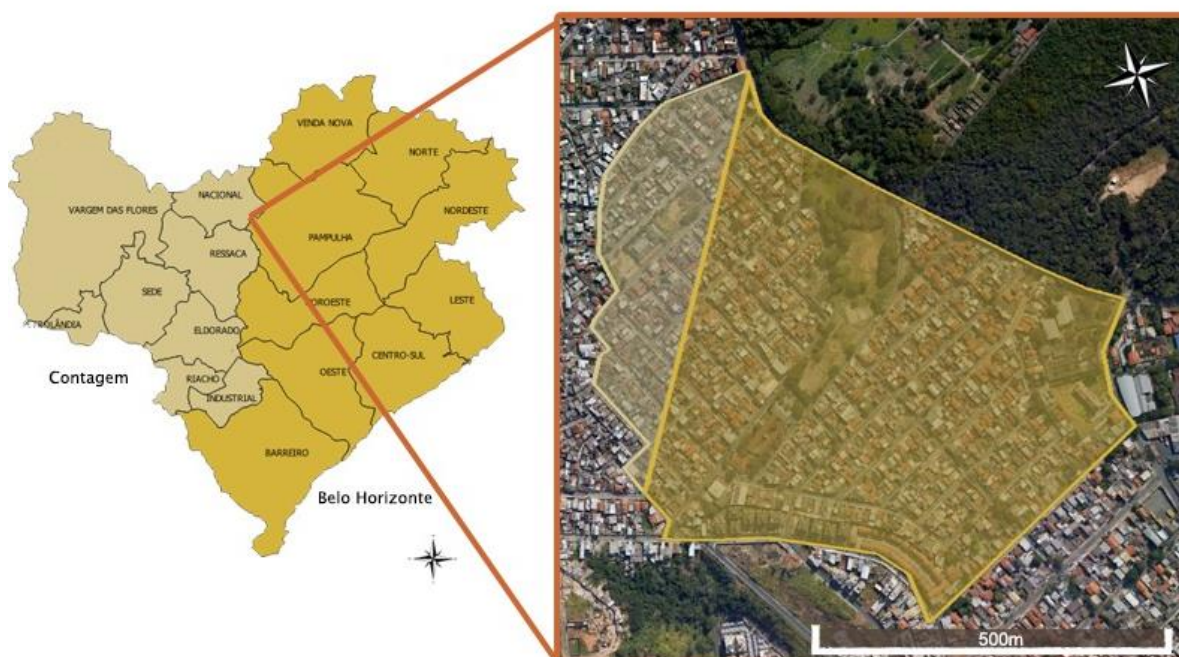
3.1 Coleta de Dados

Neste tópico serão apresentados os elementos que compõem a fase de coleta de dados da pesquisa através da descrição da área de estudo, do monitoramento dos dados climáticos da área de estudo pelo levantamento de dados nas estações meteorológicas do INMET e por abrigos meteorológicos instalados em campo.

3.1.1 Delimitação e descrição da Área de Estudo

A escolha do Conjunto Confisco como área de estudo residuiu em dois aspectos: o primeiro em função do seu reposicionamento no *ranking* de vulnerabilidade em relação às mudanças no clima, deixando a 9º posição no período de 2016 e assume a 3º posição de vulnerabilidade, com base no 4º Relatório do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), projetado para o ano de 2030 (WAYCARBON, 2016). Além disso, este território está situado em uma divisa administrativa entre duas municipalidades, visto em Figura 8. Embora esta área pertença aos municípios de Belo Horizonte e Contagem, o enfrentamento às mudanças climáticas é compreendido nesta pesquisa por uma ação compartilhada, não se restringindo às delimitações físico-administrativas.

Figura 8 - Mapa com regionais dos municípios de Contagem e Belo Horizonte (à esquerda); Delimitação da divisa dos municípios (à direita)

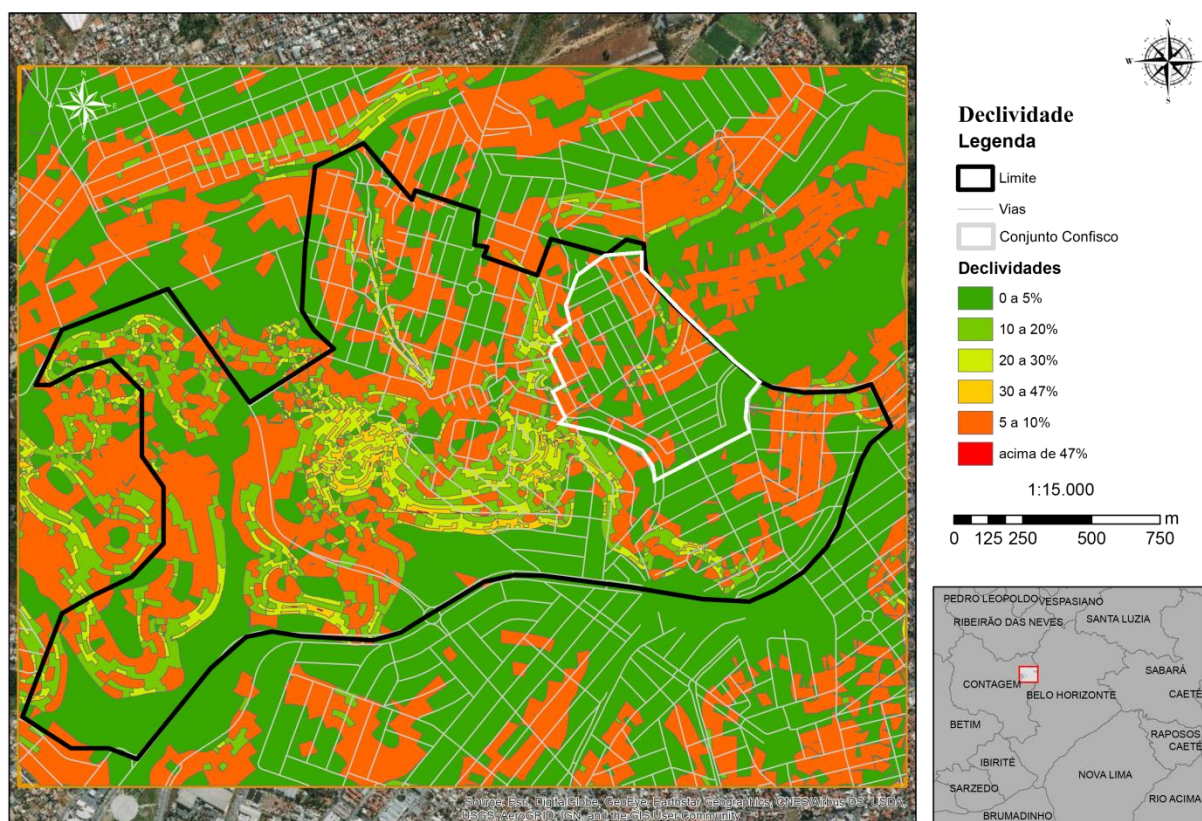


Fonte: elaborado pela autora a partir de BHMap (2020); Boletim de Informações e Dados Urbanos de Contagem (2020); Google Maps (2019)

O Conjunto Confisco surgiu na década de 80 a partir da implantação do Conjunto Habitacional Confisco, pelo governo estadual, em uma área da antiga fazenda do Confisco. Pouco se sabe sobre os critérios utilizados para a distribuição dos lotes, entretanto há relatos sobre a falta de infraestrutura urbana desde sua implantação (MINTZ, 2005). Ao longo das décadas, a mobilização da população local em torno de associações e através dos Orçamentos Participativos da Prefeitura de Belo Horizonte tornou possível a transformação do espaço e a consolidação do Conjunto, vale destacar neste contexto a Praça do Confisco. A existência de uma grande voçoroca, conhecida por “buração” por seus moradores, era utilizada como depósito de lixo e abrigo de animais (MINTZ, 2005), já hoje em dia dá lugar à praça e sedia diversos encontros, além de servir de ponto de encontro, descanso e lazer.

O Conjunto Confisco está situado no limite municipal entre Belo Horizonte e Contagem, a uma altitude de 874 metros. Sua área total de aproximadamente 375 mil m² pertence 82% a regional da Pampulha na porção noroeste do município belo horizontino e 18% a nordeste do município de Contagem. Predominantemente plana, as áreas de maior declividade do território variam entre 5% a 10%, ilustrado em Figura 9.

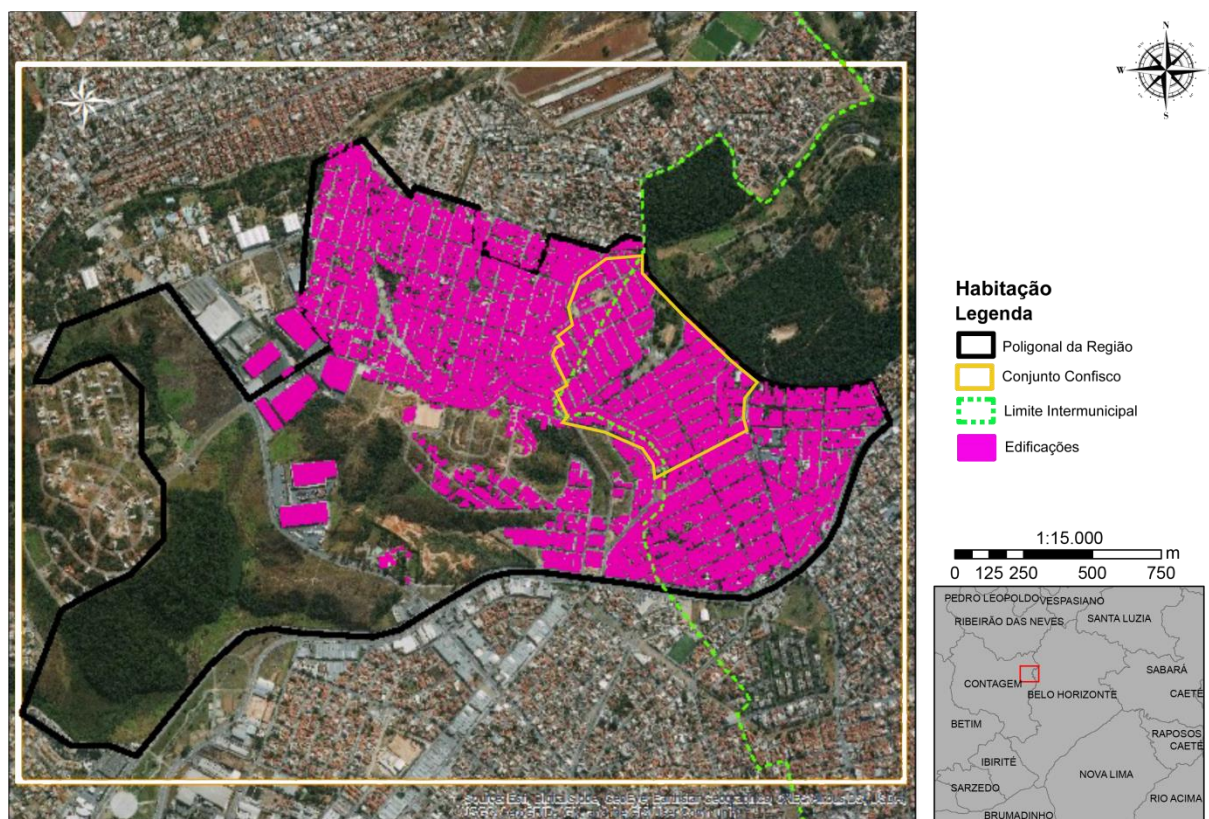
Figura 9 - Mapa de Declividade do Conjunto Confisco e sua macro região



Fonte: LABGEO UFMG (2019) a partir de PRODABEL (2011)

Trata-se de uma região majoritariamente residencial, conforme visto em Figura 10, com gabarito médio de dois pavimentos. De acordo com o último Censo do IBGE (2010), o Conjunto Confisco possui uma população de 4.283 habitantes.

Figura 10 - Mapa de Habitação do Conjunto Confisco e sua macro região

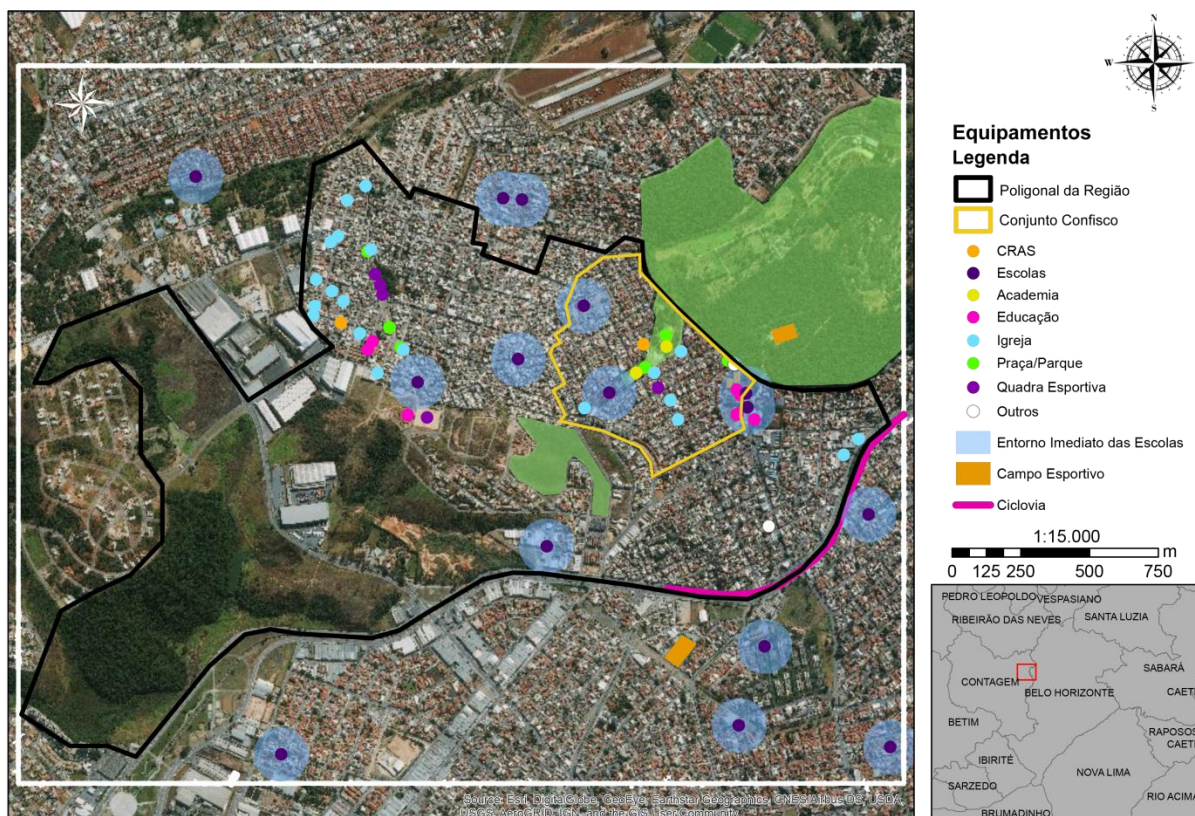


Fonte: LABGEO UFMG (2019) a partir de PRODABEL (2011)

Diversos equipamentos institucionais, culturais e de lazer podem ser encontrados no Conjunto Confisco, como a Escola Municipal Anne Frank, a Escola Municipal Professora Alice Nacif, a Escola Sonia Braga da Cruz Ribeiro Silva, o Centro de Saúde Confisco, o Centro de Referência de Assistência Social (CRAS), diversas igrejas, além de quadras esportivas e comércios locais. Além disso, conforme visto em Figura 11, podem ser encontrados nas imediações do Confisco a Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte, o Centro Cultural Pampulha, a Praça Estrela D'Alva, um trecho de ciclovia na Avenida Professor Clovis Salgado, dentre outros equipamentos e infraestruturas.

É importante destacar que sobre o uso do solo que, por meio de reuniões entre o grupo de pesquisa COMPasso com a comunidade local, foram identificados alguns conflitos de gestão do território função da divisa municipal, dentre eles o atendimento da população por equipamentos urbanos e a coleta de lixo.

Figura 11 - Mapa de Equipamentos do Conjunto Confisco e sua macro região

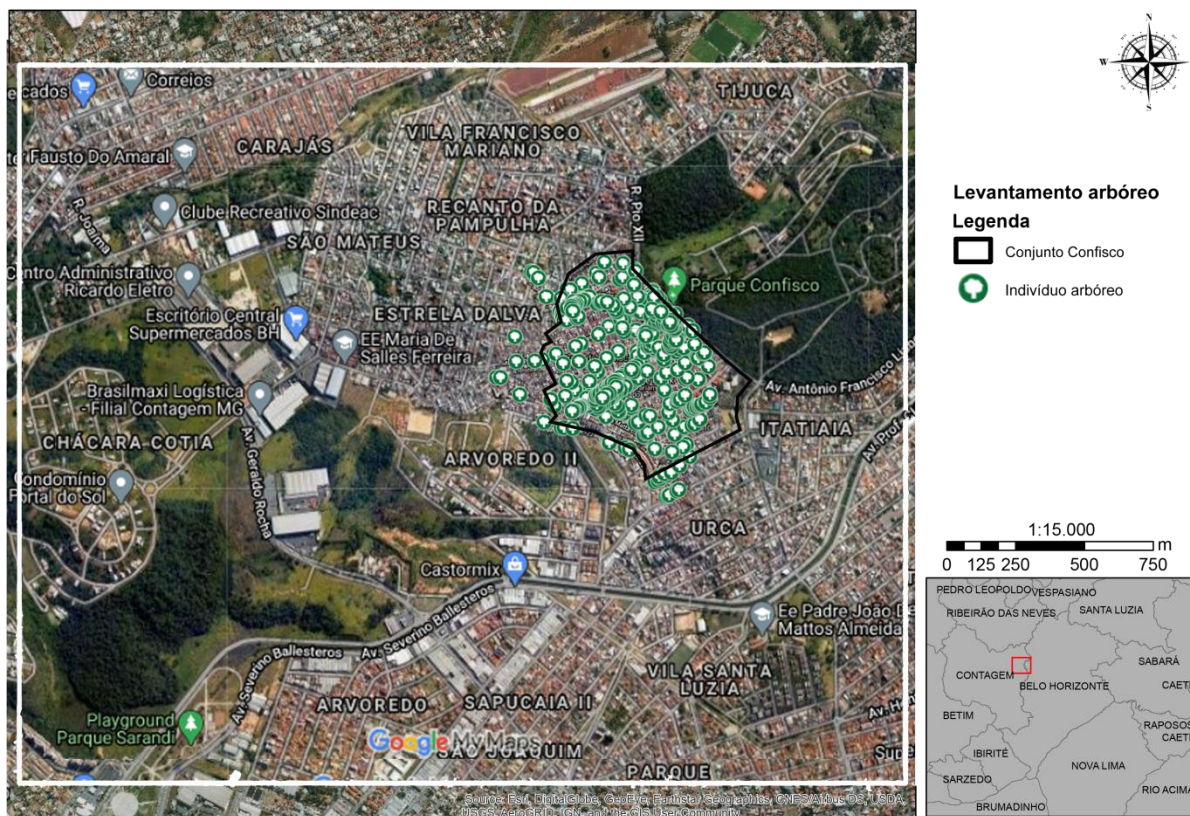


Fonte: LABGEO UFMG (2019) a partir de PRODABEL (2011)

Em relação aos recursos naturais, no Conjunto Confisco e sua região podem ser encontradas três grandes áreas de concentração de vegetação: i) a Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte; ii) a Mata do Confisco; iii) a Praça do Confisco. Sabe-se que no município de Belo Horizonte a distribuição da vegetação está inserida na faixa de transição entre a floresta umbrófila semidecidual (floresta tropical subcaducifólia) e o cerrado, além de vestígios de campo rupestre em algumas áreas da Serra do Curral (ASSIS, 2010).

Tendo em vista a busca por dados mais refinados sobre a arborização local, um levantamento quantitativo arbóreo foi realizado em parceria com o grupo de pesquisa do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais para a região do Confisco. A partir das imagens de satélite disponíveis no *Google Maps* e os percursos registrados no *Google Street View* disponíveis para 22 de junho de 2020, quantificou-se a arborização no espaço público e nos espaço privado, agrupando-as por 3 tipologias: i) alta (acima de 7 metros de altura); ii) média (entre 6 e 4 metros de altura); iii) arbusto (até 3 metros de altura). Encontrou-se, portanto, 332 árvores em espaço público (incluindo parque, praças, trevos e árvores em ruas) observado em Figura 12, e 152 árvores em espaços privativos.

Figura 12 - Levantamento quantitativo da arborização no espaço público do Confisco



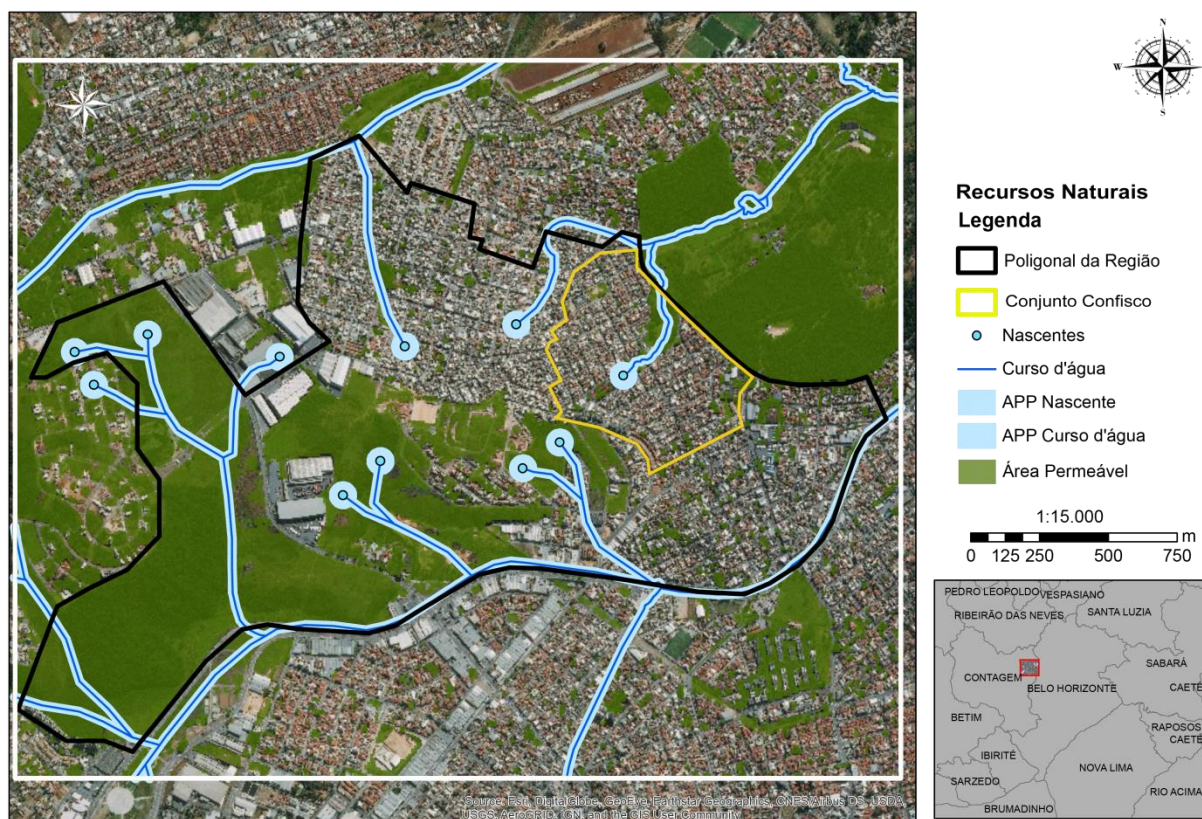
Fonte: Google Maps (2019) adaptado pela autora

Dentre as espécies encontradas nos espaços públicos, foram contabilizados 165 indivíduos de porte alto, 150 de porte médio e 17 arbustos. Dentre as árvores de porte alto, as espécies de maior predominância foram Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*), Oiti (*Licania tomentosa*) e Leucena (*Leucaena leucocephala*). Já para as árvores de médio e pequeno porte houve predominância da espécie Murta (*Myrtus*).

Nos espaços privativos foram encontradas 74 árvores de porte alto e 78 de porte médio. Em função da ausência de dados, não foi possível a identificação detalhada das espécies e, portanto, considerou-se para esta pesquisa as espécies predominantes encontrada no espaço público.

Além da arborização, podem se encontradas também diversas áreas permeáveis na região além de três nascentes com seus respectivos cursos d'água, conforme ilustrado em Figura 13. Uma nascente está localizada na Praça do Confisco e duas próximas a poligonal do Conjunto, na Mata do Confisco.

Figura 13 - Recursos naturais do Conjunto Confisco e região



Fonte: LABGEO UFMG (2019) a partir de PRODABEL (2011)

Utilizou-se como referência para esta pesquisa a caracterização pedológica belo-horizontina, tendo em vista que a partir da Lei Federal Complementar nº 14 de 8 de junho de 1973 (BRASIL, 1973) o município de Contagem passou a pertencer ao vetor oeste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, e a porção majoritária do Conjunto Confisco pertence a capital mineira.

Belo Horizonte é um município brasileiro, capital do estado de Minas Gerais. Ao sudeste do centro geográfico do Estado, a uma altitude média de 852 metros, é delimitada pelas coordenadas de latitude 19°46'35'' e 20°03'34'' Sul, e longitudes 43°51'27'' e 44°03'47'' Oeste de Greenwich. Sua área equivalente é de aproximadamente 331km² setorizada em nove regionais e 148 bairros.

O clima da região pode ser classificado como Aw, de acordo com a classificação climática de Köppen, correspondente ao clima tropical chuvoso com distinto período seco no inverno e temperatura média do mês mais frio acima de 18°C (HIRASHIMA, 2014). A precipitação anual é de 1.602,6mm equivalente a 95 dias com chuva acima de 1mm. A umidade do ar relativa anual média é de 67,2% e a temperatura do ar média compensada anual é de 21,8°C,

de acordo com as Normais Climatológicas tendo como referência o período de 1981 a 2010 (INMET, 2010). A velocidade média dos ventos é de 1,4m/s com predominância na direção leste na maior parte do ano, podendo ocorrer ventos a noroeste e a sul, associados à atuação de sistemas frontais e de linhas de instabilidade (ASSIS, 2010).

A caracterização dos solos de Belo Horizonte, embora pouco detalhada, foi sistematizada por Costa (2002) a partir da variação de predominância na cidade, distinguindo-se em três tipologias, detalhadas por Rosa (2017):

Podzólico Vermelho Amarelo: abrange a porção norte do município (60% da área), distrófico, horizonte A moderado, textura areno-argilosa, típico de relevo ondulado e fortemente ondulado, resultante de alteração de gnaisses e migmatitos, e apresenta condutividade hidráulica saturada média de $1,1 \times 10^{-6}$ m/s.

Latossolo Vermelho Amarelo: abrange a porção sul do município (30% da extensão), distrófico, horizonte A moderado, textura argilosa, resultante da decomposição de xistos, filitos e dolomitos, condutividade hidráulica saturada média de $5,1 \times 10^{-7}$ m/s.

Litólico: abrange os 10% restantes, relacionado com as litologias mais resistentes formadoras da Serra do Curral, pouco profundo, textura arenosa, derivado de quartzitos, condutividade hidráulica saturada média de $6,0 \times 10^{-6}$ m/s (ROSA, 2017 p.60)

A partir da atualização da classificação brasileira de solo feita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no ano de 2006, Rosa (2017) descreve as novas terminologias para as tipologias descritas, sendo respectivamente: argissolo vermelho-amarelo distrófico típico A moderado textura média-argilosa; latossolo vermelho-amarelo distrófico A moderado textura argilosa; e neossolo litólico.

De acordo com Oliveira *et al.* (2007), a área de estudo está geologicamente situada no chamado Complexo Belo Horizonte onde majoritariamente predomina a tipologia de solo argissolo vermelho-amarelo distrófico típico A moderado textura média-argilosa. Segundo a EMBRAPA (2021), este tipo de solo apresenta-se como raso a profundo e bem a moderadamente drenado. Possui horizonte A moderado, textura média-argilosa, textura arenosa no horizonte A (até cerca de 30cm de profundidade) e muito argilosa no horizonte B (abaixo de 50cm), em relevo ondulado a forte ondulado. Essa tipologia de solo é suscetível à erosão e de baixa fertilidade.

As características de retenção de água neste tipo de solo, encontrado na literatura por sua antiga nomenclatura podzólico vermelho-amarelo, foram apresentadas por Moreira e Silva

(1987) para a zona da mata de Pernambuco. Utilizou-se amostras indeformadas para cinco horizontes com profundidades de 0-25cm; 25-46cm; 46-65cm; 65-110cm e 110-115cm para a classificação textural. Até os 46cm de profundidade correspondeu à classe areia-franca e demais profundidades à classe franco-argilo-arenoso. A curva característica, também chamada de curva de retenção de água no solo, foi apresentada pelos autores para diferentes profundidades. O eixo X correspondendo à umidade volumétrica do solo (em % do volume total do solo) e no eixo Y o potencial matricial (em MPa). De acordo com Bonan (2015), o ponto da capacidade de campo (CC) ocorre quando há drenagem gravitacional pelos macroporos do solo, e o ponto de murcha (PM) quando há pressão matricial máxima. A partir da identificação destes pontos, calculou-se a Capacidade de Água Disponível (CAD) para as diferentes profundidades pela seguinte equação:

$$CAD = CC - PM \quad (2)$$

Os valores do CAD para as respectivas camadas do solo podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Cálculo da Capacidade de Água Disponível para o solo podzólico vermelho-amarelo

Profundidade	Classificação	Capacidade de água disponível (CAD = CC - PM)	Capacidade de Campo (CC)	Ponto de murcha (PM)
0-25cm	areia-franca	24%	34%	10%
25-46cm	areia-franca	20%	35%	15%
46-65cm	franco-argilo-arenoso	14%	32%	18%
65-110cm	franco-argilo-arenoso	15%	35%	20%
110-115cm	franco-argilo-arenoso	20%	37%	17%

Fonte: elaborado pela autora a partir de Moreira e Silva (1987)

3.1.2 Instrumentação

Previamente à ida a campo, a instrumentação foi aferida com o objetivo de verificar possíveis oscilações e falhas de funcionamento que pudessem comprometer a confiabilidade dos dados medidos. Este procedimento foi realizado em duas etapas. Primeiramente os cinco termohigrômetros *data loggers* de marca Onset, modelo HOB0 U12-012 foram dispostos em uma sala sem incidência de luz solar e sem ventilação no Laboratório de Conforto da Escola de Arquitetura, conforme Figura 14. No centro de uma mesa de madeira distante aproximadamente 80 centímetros do solo, os *data loggers* permaneceram neste ambiente na ausência de iluminação artificial a partir do dia 12 de março de 2020 às 14:00 horas até o dia 13 de março de 2020 às 15:15 horas. Os equipamentos foram programados para a captura contínua de dados a cada 30 minutos, totalizando neste período 52 registros por aparelho.

Figura 14 - Primeira aferição dos aparelhos termo-higrômetros



Fonte: elaborado pela autora

A partir da maior semelhança nas séries de dados coletadas por cada equipamento, dois termo-higrômetros foram selecionados para a segunda etapa do procedimento. No dia 24 de março de 2020, os *data loggers* #904034 e #904039 foram levados ao 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (5ºDISME/INMET) para uma aferição com os pares psicrométricos, ilustrado em Figura 15.

Figura 15 - Instalação aparelho termo-higrômetro no abrigo meteorológico padrão 5ºDISME/INMET (à esquerda); Instalação abrigo meteorológico e *data logger* no 5ºDISME/INMET (à direita)



Fonte: elaborado pela autora

Seguindo os critérios da Organização Mundial de Meteorologia (*World Meteorological Organization* – WMO) e as normas do Instituto Nacional de Meteorologia, o equipamento #904039 foi alocado no abrigo meteorológico padrão do 5°DISME/INMET respeitando os horários oficiais de medição e o tempo de estabilização da instrumentação de 30 minutos. O *data logger* #904034 foi instalado em um dos abrigos meteorológicos confeccionados para o monitoramento climático proposto nesta pesquisa.

As coletas aconteceram simultaneamente em ambos *data loggers* iniciando no dia 24 de março de 2020 às 13:00 horas até o dia 30 de março de 2020 às 9:40 horas. A partir da captura contínua de dados a cada 30 minutos, coletou-se neste período 281 registros por aparelho. Os dados obtidos nos termohigrógrafos foram comparados aos dados da estação convencional do 5° DISME/INMET tendo como base os três horários oficiais (00 UTC, 12 UTC e 18 UTC). Foram obtidas, portanto, 17 leituras de comparação, excedendo o número mínimo de observações estabelecidas pela WMO em onze leituras. Utilizou-se o coeficiente de determinação (r^2) para verificar a acurácia da instrumentação em medir os dados coletados na estação padrão.

O equipamento #904039 instalado no interior do abrigo padrão do 5°DISME/INMET apresentou para os dados de temperatura o valor de r^2 de 0,9824 e para os dados de umidade relativa e o r^2 de 0,9328 visualizados nos diagramas de dispersão no Apêndice. O equipamento #904034, instalado no abrigo meteorológico confeccionado, apresentou para os dados de temperatura do ar o r^2 no valor de 0,9784 e para os dados de umidade relativa do ar o r^2 no valor de 0,9470 ilustrados nos diagramas de dispersão no Apêndice.

Os alcances de medições para os *data loggers* do modelo HOBO U12-012 podem atingir para a temperatura do ar -20° até 70°C e para a umidade relativa do ar de 5% à 95%. A precisão para a temperatura do ar entre 0°C e 50°C pode variar mais ou menos 0,35°C. Para a umidade relativa do ar entre 10% e 90% típica, a precisão do instrumento pode variar mais ou menos 2,5%, para o máximo de 3,5% em caso de histerese a 25°C. Abaixo de 10% e acima de 90%, a precisão do *data logger* passa a ser mais ou menos 5%. A resolução para a temperatura do ar em 25°C é de 0,03°C e para a umidade relativa do ar é de 0,05% (ONSET, 2020). De acordo com a representatividade encontrada no tratamento estatístico nos dados de temperatura do ar e a variação constante da umidade relativa do ar, optou-se pela não correção dos dados de ambos os termo-higrômetros *data loggers* #904039 e #904034.

3.1.3 Monitoramento Climático

O monitoramento dos dados climático para a região foi feito através de três fontes de dados primários: i) estação automática do INMET localizada na Regional da Pampulha; ii) estação convencional do INMET localizada na região centro-sul de Belo Horizonte; iii) abrigos meteorológicos instalados na região do Confisco.

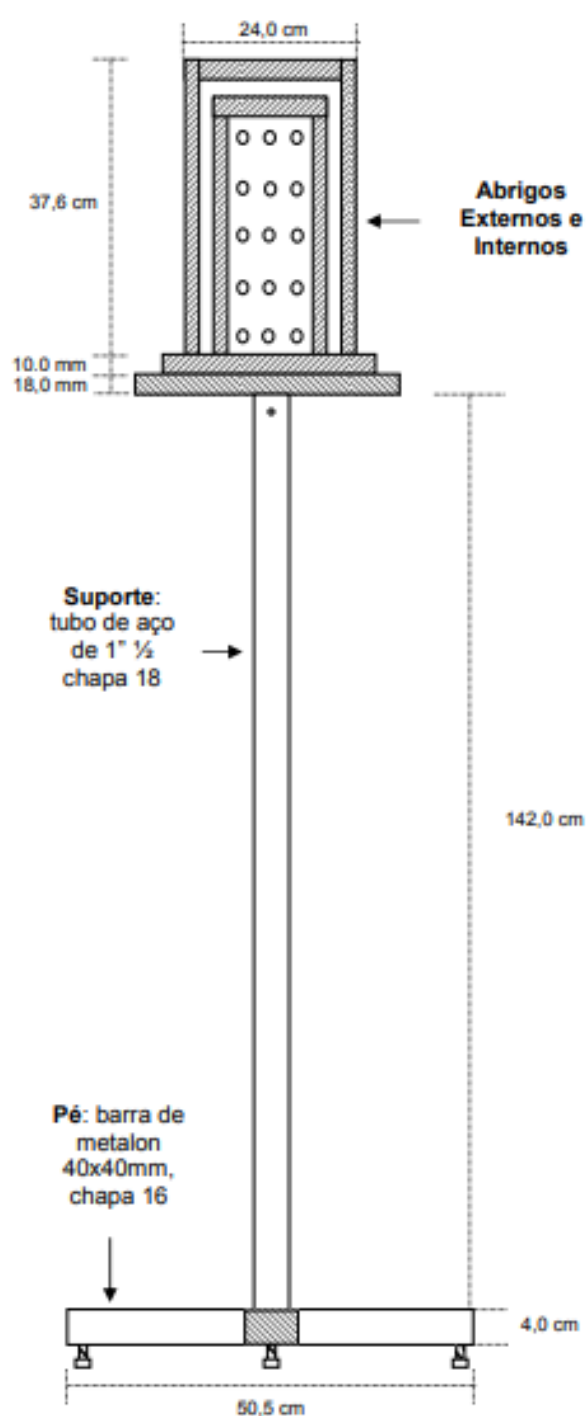
A Estação Automática Pampulha A521 do 5°DISME/INMET está localizada dentro da Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais, no bairro Pampulha, a uma altitude de 854 metros. Código OMM 86800, aberta em 10/10/2006 está a uma latitude de -19.883945°, longitude de -43.969397°.

Nesta estação foram coletados os dados, a cada hora, relativos à temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), ponto de orvalho (°C), pressão (hPa), vento (m/s), radiação (kJ/m²), chuva (mm). Em função da sua proximidade com o Conjunto Confisco, aproximadamente sete quilômetros, optou-se por utilizá-los como principal base para esta pesquisa.

Complementar aos dados obtidos através da estação automática foi coletado para o mesmo período os dados climáticos advindos da estação convencional do 5°DISME/INMET situada aproximadamente 12 quilômetros do Conjunto Confisco. Localizada na região centro-sul do município de Belo Horizonte, foi aberta em 03/03/1910, código OMM 83587 e está localizada na latitude: -19.934382°, longitude: -43.952292° a 915.47 metros acima do mar. A partir desta estação foram fornecidos, para os três horários oficiais (00 UTC, 12 UTC, 18 UTC), os dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), pressão (hPa), velocidade do vento (m/s), direção do vento (°), nebulosidade (décimos), insolação (h), dados diários de chuva (mm), máxima e mínima da temperatura do ar (°C).

Tendo em vista a importância da descrição microclimática da área de estudo, para o levantamento dos dados climáticos no Conjunto Confisco foram confeccionados quatro abrigos meteorológicos de campo com base em ASSIS (2010), visto em Figura 16. Em função das possíveis chuvas, uma estrutura de cobertura foi inserida para o escoamento da água. Para a coleta dos dados foram instalados, portanto, termo-higrômetros *data loggers* devidamente aferidos de marca Onset, modelo HOBO U12-012.

Figura 16 - Especificação dos abrigos meteorológicos de acordo com ASSIS (2010). Especificações técnicas do Abrigo Meteorológico de campo (à esquerda); Abrigos meteorológicos confeccionados pela autora (à direita)



Fonte: ASSIS (2010, p. 277); acervo da autora

O posicionamento dos abrigos meteorológicos para captura de dados microclimáticos no Conjunto Confisco seguiu algumas premissas: i) instalação em áreas institucionais; ii) lotes com quintais; iii) locais representativos das áreas urbanizadas e arborizadas.

A partir das premissas citadas, os locais conforme ilustrado em Figura 17, foram:

- Abrigo 1 - Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte.
- Abrigo 2 - Igreja do Evangelho Quadrangular no Conjunto Confisco.
- Abrigo 3 - Igreja Adventista do 7º dia no Estrela D'Alva.
- Abrigo 4 - Comunidade Evangélica Pentecostal no Arvoredo II.

Figura 17 - Localização abrigos meteorológicos no Conjunto Confisco e Região



Fonte: Google Maps (2019) adaptado pela autora

O Abrigo 1 (Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte) foi instalado em 03/04/2020 a uma altitude de 861 metros e a captura de dados foi finalizada em 17/09/2020. Localizado no interior da mata da Fundação de alta densidade arbórea, em função da altura da vegetação e do abrigo, os dados foram capturados abaixo do dossel da arborização, visto em Figura 18.

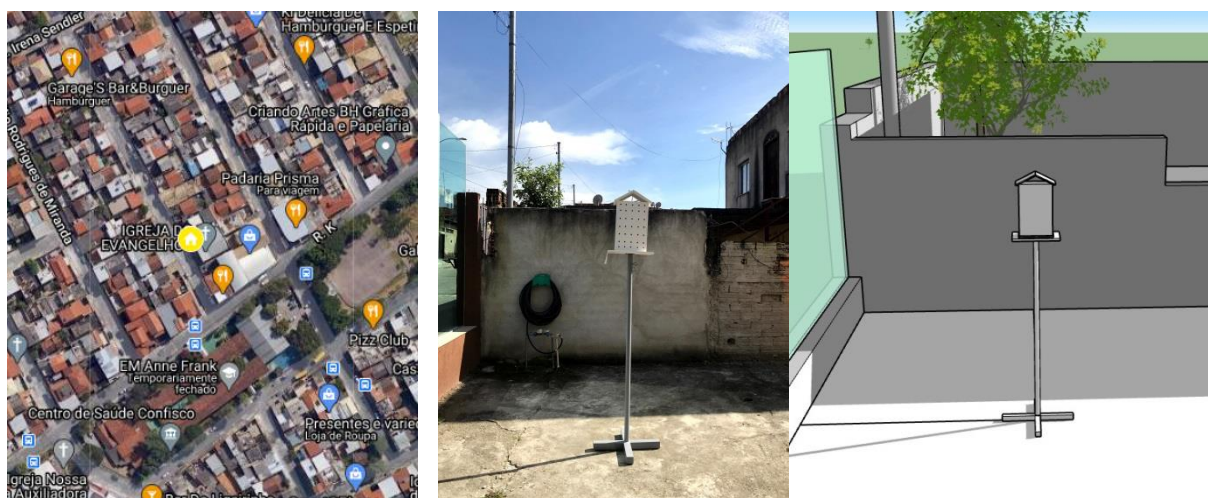
Figura 18 - Localização Abrigo 1 (da esquerda para a direita): (01) Localização do abrigo meteorológico na mata da Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte; (02) vista frontal do abrigo meteorológico; (03) Abrigo Meteorológico aberto para manutenção



Fonte: Google Maps (2019) adaptado pela autora; acervo próprio

O Abrigo 2 (Igreja do Evangelho Quadrangular no Conjunto Confisco) foi instalado em uma área urbanizada representativa do Conjunto Confisco, edificações que variam o gabarito entre 1 e 2 pavimentos e baixa presença arbórea no espaço público, entre 1 e 2 árvores de grande porte no quarteirão. A coleta de dados teve início em 06/05/2020 a uma altitude de 866 metros e removido em 17/09/2020. O estudo da trajetória aparente do sol e incidência de sombras para a implantação do abrigo e coleta de dados foi realizado a partir do modelo digital 3D no programa SketchUp. Não foi observado sombreamento diretamente no abrigo durante o período de coleta de dados, observado em Figura 19.

Figura 19 - Localização Abrigo 2 (da esquerda para a direita): (01) Localização do abrigo meteorológico na Igreja do Evangelho Quadrangular no Conjunto Confisco; (02) vista frontal do abrigo meteorológico; (03) Estudo da trajetória do sol no SketchUp para 12 de julho de 2020 às 15h



Fonte: Google Maps (2019) adaptado pela autora; acervo próprio; elaborado pela autora.

O Abrigo 3 (Igreja Adventista do 7º dia no Estrela D´Alva) foi posicionado para captura de dados a uma altitude de 878 metros no dia 22/05/2020 e removido em 17/09/2020, conforme Figura 20. O estudo da trajetória solar e incidência de sombras elaborado no SketchUp demonstrou não haver impacto de sombreamento diretamente no abrigo durante o período da coleta dos dados. Não há vegetação de porte arbóreo nesta área urbanizada.

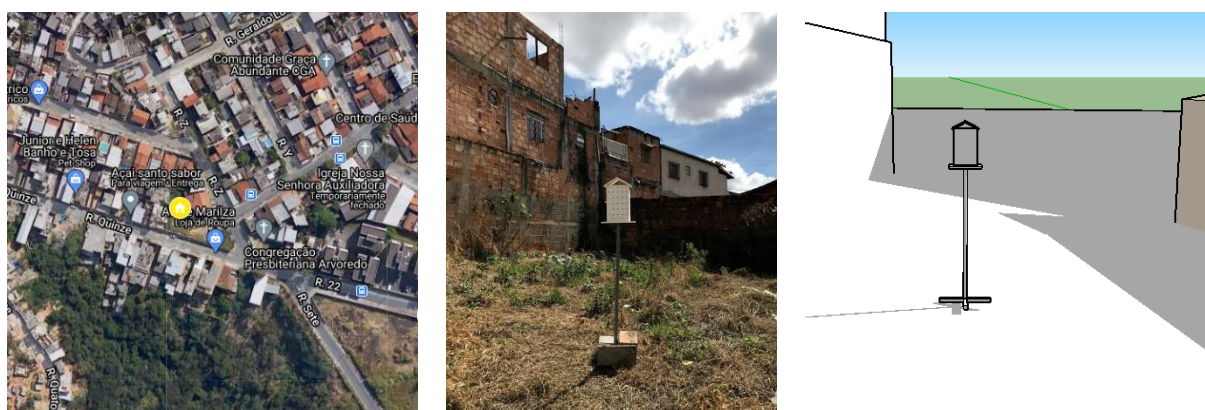
Figura 20 - Localização Abrigo 3 (da esquerda para a direita): (01) Localização do abrigo meteorológico na Igreja Adventista do 7º dia no Estrela D´Alva; (02) vista frontal do abrigo meteorológico; (03) Estudo da trajetória do sol no SketchUp para 12 de julho de 2020 às 15h



Fonte: Google Maps (2019) adaptado pela autora; acervo próprio; elaborado pela autora

O Abrigo 4 (Comunidade Evangélica Pentecostal no Arvoredo II) foi instalado em um terreno próximo à área altamente arborizada da Mata do Confisco, a uma altitude de 892 metros no dia em 22/05/2020 e removido em 17/09/2020. O estudo da trajetória do sol foi elaborado previamente à instalação e optou-se por um posicionamento do abrigo onde não houvesse a incidência solar no equipamento durante todo o período da coleta, ilustrado em Figura 21.

Figura 21 - Localização Abrigo 4 (da esquerda para a direita): (01) Localização do abrigo meteorológico no terreno da Comunidade Evangélica Pentecostal no Arvoredo II; (02) vista frontal do abrigo meteorológico; (03) Estudo da trajetória do sol no SketchUp para 12 de julho de 2020 às 15h



Fonte: Google Maps (2019) adaptado pela autora; acervo próprio; elaborado pela autora

3.2 Procedimentos de Simulação

Simulação por definição “é a representação do comportamento ou características de um sistema por meio do uso de outro sistema, especialmente um programa de um computador projetado para este propósito” (GROAT E WANG, 2013 p. 350). Este termo pode ainda ser entendido como um processo de transposição de um modelo real (ou preditivo) e sua experimentação, a fim de avaliar resultados e possíveis comportamentos (SHANNON, 1975).

Segundo Groat e Wang (2013), existem vantagens no uso de modelo de simulação computacional em relação à experimentação direta em um sistema real. A simulação fornece conhecimento sobre as possíveis condições da realidade sem barreiras éticas, perigos físicos eminentes ou despesas financeiras das condições reais, já que a utilização desta ferramenta pode se tornar consideravelmente menos onerosa.

Alguns desafios podem ser observados na tentativa de reprodução da realidade nas simulações. A primeira limitação, observada por Groat e Wang (2013), é a coleta e inserção de dados na modelagem, uma vez que independente da tecnologia utilizada, toda a simulação depende prioritariamente da acurácia dos dados de entrada. Chwif (1999) complementa que um problema frequentemente enfrentado é o considerável tempo despendido, já que modelos complexos tendem a ser criados em função dos diversos elementos existentes na realidade. Salt (1993) alerta, neste caso que é possível a criação de modelos complexos e ricos de detalhes que sejam imprecisos na representação da realidade sendo, portanto, necessária a utilização de técnicas de redução e simplificação de modelos.

Sobre os processos de simplificação, Harrel e Tumay (1995) pontuam duas características importantes a serem consideradas: a primeira é a validade dos modelos na representação satisfatória da realidade e a segunda é a representação mínima da realidade que se deseja simular, de forma a serem incluídos na modelagem elementos que influenciam diretamente no problema que se deseja solucionar.

Tendo em vista os objetivos desta pesquisa e as etapas necessárias para a validação de um modelo representativo, os experimentos de simulação foram realizados por meio da modelagem no *software* ENVI-Met em três casos:

CASO 1: Calibração do modelo através do recorte da área de mata da Fundação Zoobotânica

CASO 2: Caso de referência, modelo descritivo do Conjunto Confisco

CASO 3: Cenário hipotético

O caso 1 teve como objetivo principal a validação dos dados de entrada do modelo e a representatividade do comportamento da vegetação no ENVI-Met. O caso 2 foi utilizado como referência para descrever a área urbanizada atualmente. No caso 3 criou-se um cenário hipotético para simular possíveis alterações no comportamento climático urbano em função de alterações quantitativas da arborização na malha urbana de acordo com a legislação vigente.

3.2.1 Calibração do modelo

O procedimento de calibração foi elaborado tendo como premissas: i) a otimização do tempo dispendido na simulação; ii) a simplificação dos modelos; iii) a representação satisfatória da realidade. Optou-se, portanto, por realizar as primeiras simulações para aferição e calibração do modelo utilizando um recorte de uma área da mata pertencente à Fundação Zoobotânica e Zoológico, no Conjunto Confisco. As etapas de calibração foram feitas através da construção do modelo Atmosférico 3D, descrição do modelo Limite 1D e ajustes do modelo de Solo 3D. Este estudo é baseado em um modelo empírico sobre o qual as condições climáticas locais capturadas por medições em campo são associadas a dados simulados através de tratamentos estatísticos. Sendo assim, a acurácia do modelo foi validada por meio de 4 testes estatísticos de concordância: i) pelo cálculo do erro médio de estimativa (MBE); ii) pela raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE); iii) pelo coeficiente de determinação (r^2); iv) pelo índice de concordância de Willmott (d).

No **Modelo Limite 1D** devem ser configuradas as condições de limite do modelo atmosférico (ENVI-MET, 2020). Para esta pesquisa, tendo em vista que a metodologia proposta utiliza tratamentos estatísticos que relacionam dados medidos *versus* dados simulados, a referência inicial para a descrição climática foi o período de instalação dos abrigos meteorológicos em campo, ou seja, entre os meses abril de 2020 a setembro de 2020. Dentro deste período, optou-se por datas próximas ao solstício de inverno, 20 de junho de 2020, visando descrever o distinto período seco no inverno da cidade de Belo Horizonte.

Em sequencia buscou-se selecionar dias em condições de atmosférica ideal para o período de céu claro, tendo como premissa a ausência de precipitação durante 17 dias consecutivos e a variação máxima de 0-3 décimos da nebulosidade. Para esta primeira série climática, em função dos dados de nebulosidade, utilizou-se como referência a Estação convencional do 5°DISME/INMET.

A janela temporal selecionada correspondeu aos dias 4 de julho de 2020 a 20 de julho de 2020. Calculou-se para esse período um dia representativo médio, tendo como referência dados de cinco dias consecutivos a partir do dia 12 de julho de 2020. Utilizou-se neste levantamento os dados climáticos obtidos da Estação Automática Pampulha A521 do 5°DISME/INMET. Foram coletados, portanto, dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), ponto de orvalho (°C), pressão atmosférica (hPa), velocidade e direção do vento (m/s), radiação (kJ/m²) e chuva (mm).

Para gerar condições de contorno próximas à realidade, o modelo unidimensional passa a ser integrado ao longo da simulação até os parâmetros dos perfis verticais atingirem um estado quase estacionário. Sendo assim, a partir do levantamento da série climática, realizou-se uma sistematização dos dados previamente à simulação, conforme formatação exigida no ENVI-Met, ilustrado em Figura 22. O cálculo proporcional para o intervalo de tempo de 30 minutos foi feito para as forçantes temperatura do ar (K) e umidade relativa (%). Por falta de dados de nebulosidade e radiação, optou-se pela não utilização destas forçantes na assimilação de dados no modelo.

Figura 22 - Dados de entrada *Full Forcing* no ENVI-Met

Import From CSV file

Import Measured Data From CSV

Create a CSV of measured data in the following format and adjust the CSV settings according to your file before importing it!
Time interval for measurement data must be 30 minutes!

Date	Time	SW DIR / low clouds	SW DIF / med. clouds	LW / high clouds	Abs. Temperature	Rel. Humidity	WindSpeed	WindDir	Precipitation
[DD.MM.YYYY]	[hh:mm:ss]	[W/m²] / 0-8	[W/m²] / 0-8	[W/m²] / 0-8	[K]	[%]	[m/s]	[°]	[mm]

Data properties

CSV Settings

Value Separator: ;

Decimal Separator: ,

Header exists: ☒

Force radiation or cloud cover

☐ Force radiation (direct, diffuse, longwave)

☐ Force cloud cover

☒ Do not force radiation/clouds

Measurement Height

Air temperature and relative humidity: 2

Wind speed and direction: 10

Roughness length: 0.1

Radiation measured on horizontal surface? ☒

Open CSV...

CSV file:

Import Data to Forcing File

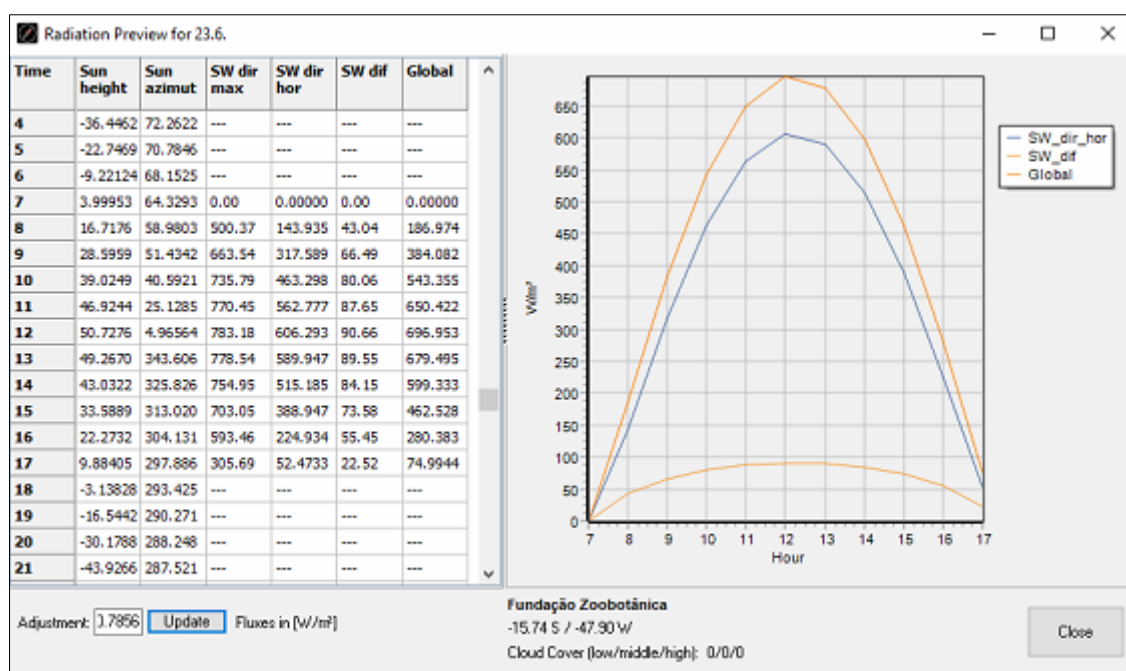
Cancel

Fonte: ENVI-Met (2020) adaptado pela autora

Tendo em vista a importância da forçante radiação, uma tentativa de aproximação da representação do modelo à realidade foi feita através da função *Preview Radiation*, visto em Figura 23. Tendo como referência a latitude e longitude da Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte, os dados de radiação global estimados pelo modelo

apresentaram o coeficiente de determinação (r^2) de 0,9479 em relação ao dia representativo médio calculado para o período. Aplicou-se um fator de ajuste 0.7856 para o fluxo de radiação global (W/m^2) estimado pelo modelo para maior aproximação em relação aos dados medidos pela estação automática do 5° DISME/INMET.

Figura 23 - Dados de entrada *Preview Radiation* no ENVI-Met



Fonte: ENVI-Met (2020) adaptado pela autora

Em relação os dados de vento, observou-se para o respectivo período que a velocidade variou de 0 m/s a 4,3m/s e a direção do vento entre 1° a 354°. Diante destas oscilações, optou-se pelo o cálculo da média de velocidade do vento para o período de 5 dias consecutivos e o cálculo da moda para a direção do vento, que corresponderam respectivamente a 1,46m/s e 113°. Em relação os dados de rugosidade do vento, sabe-se que o valor solicitado pelo modelo corresponde à rugosidade da superfície abaixo do anemômetro. Neste caso, utilizou-se o valor de rugosidade típica de pavimento liso de concreto, ou seja, 0,1.

Os dados de umidade específica para a altitude de 2.500 metros podem ser obtidos por dados de radiossonda para a estação meteorológica do Aeroporto Internacional de Confins na Região Metropolitana de Belo Horizonte, disponível no site da University of Wyoming² pelo número da estação 83566. Sobre este parâmetro é importante destacar que, especificamente para o mês de julho de 2020, a disponibilidade de dados foi apenas para 12Z (UTC), ou seja,

² <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

9:00 horas local. Entretanto, tendo em vista o início da simulação às 21:00 hora local, utilizou-se como referência a média obtida por Francisco (2012) para o mês de agosto de 2011 para Belo Horizonte. A autora utilizou como referência a altura próxima a 1715 metros (diferença entre a altitude do topo do modelo e a altitude do terreno onde foram capturados os dados meteorológicos de campo). A partir do levantamento dos valores da umidade específica para os dias estáveis do mês, encontrou-se uma variação na faixa entre 6 e 8 g/kg.

As condições iniciais do solo devem ser descritas no modelo através dos dados de umidade do solo e da temperatura do solo nas profundidades 0-20cm, 20-50cm, 50-200cm e abaixo de 200cm, conforme observado em Figura 24. A referência para os dados iniciais da umidade do solo foram obtidos a partir do cálculo do CAD segundo Monteiro e Silva (1987) descrito no item 3.1.1. Entretanto, em função das diferentes profundidades, utilizou-se para as camadas do ENVI-Met os respectivos dados por Monteiro e Silva (1987), portanto: i) 0-20cm referência 0-25cm; ii) 20-50cm referência 24-46cm; iii) 50-200cm referência média entre as camadas 46-65cm; 65-100cm e 110-115cm; iv) *below* 200cm dados da camada 110-115cm.

Figura 24 - Dados de entrada das condições de solo no ENVI-Met

Soil Layer	Soil Humidity (%)	Initial temperature (°C)
Upper layer (0-20 cm)	24.00	20.02
Middle layer (20-50 cm)	20.00	19.68
Deep layer (50-200 cm)	16.00	19.85
Bedrock layer (below 200 cm)	20.00	19.85

Set the soil temperature and humidity in the different layers under ground. Soil humidity is given in Usable Field Capacity (Usable Field Capacity = Field Capacity - Wilting Point). If you want to e.g. simulate a day in a long lasting dry period, you should modify the values accordingly.

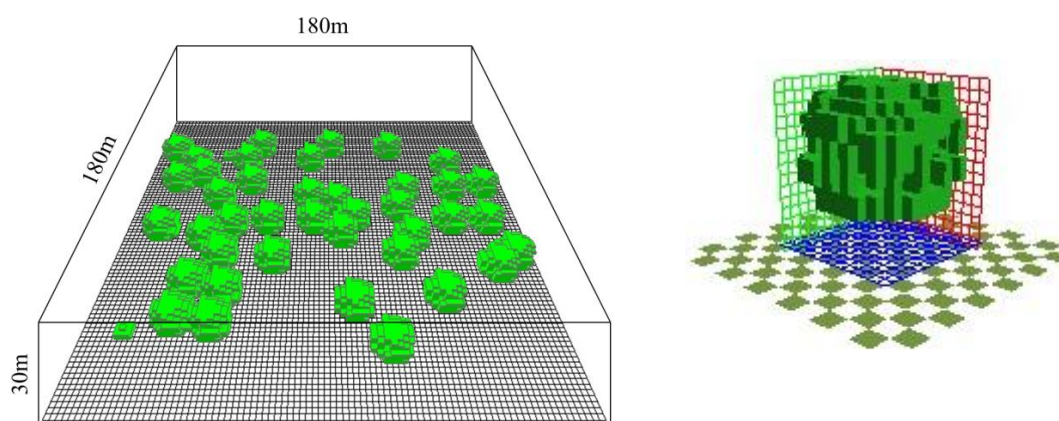
Fonte: ENVI-Met (2020) adaptado pela autora

Os dados de temperatura do solo para as diferentes profundidades foram obtidos no Sistema Nacional de Dados Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a partir de Francisco (2012). Por falta de dados para Belo Horizonte, a autora tomou como referência o município de Santa Maria Madalena/RJ pela proximidade com a capital mineira em cerca de 300km e pela semelhança na tipologia do solo. Calculou-se, portanto, uma média dos valores obtidos para o dia 12 de agosto às 21 horas nos anos de 2006 a 2011. O dado de temperatura abaixo de 200cm foi mantido constante em relação à camada anterior (50-200cm).

No ENVI-Met a descrição da área tridimensional, onde é possível construir o ambiente urbano e seus elementos, deve ser feita no **Modelo Atmosférico 3D**. Neste módulo do programa é possível propor simulações em diferentes escalas e versões de grade. A versão gratuita (*Lite*) do ENVI-Met 4.4.5 impõe uma restrição da dimensão de grade de até 50x50x40, valores que correspondem respectivamente à largura x comprimento x altura do modelo em pontos de grade. Já na versão acadêmica (*Science*), utilizada nesta pesquisa, é possível trabalhar com um tamanho de grade superior. É importante salientar em relação a modelagem de grandes poligonais que, o tempo dispendido no processamento do modelo pode durar entre 24 horas a dias.

O modelo de calibração teve como objetivo principal simular o comportamento da vegetação no ENVI-Met. A área tridimensional escolhida foi um recorte de alta densidade arbórea internamente à área de mata da Fundação de Parques Municipais e Zooobotânica (latitude: -19.864099° e longitude: -44.013468° a 861 metros de altitude) onde foram coletados os dados de temperatura do ar e umidade do ar através do Abrigo 1. Para este modelo optou-se por utilizar as dimensões 180x180m na versão de grade 90x90x30 e tamanho das células da grade de 2x2x1, ilustrado em Figura 25. Tendo em vista a falta de disponibilidade de espécies tropicais no banco de dados do ENVI-Met, utilizou-se como referência a modelagem arbórea calibrada por Shinzato *et al.* (2019) para a espécie *Tipuana tipu* conhecida popularmente por Amendoim-acácia.

Figura 25 - Modelo de calibração no ENVI-Met (à esquerda); 3D árvore a partir de Shinzato *et al.* (2019) (à direita)



Fonte: elaborado pela autora

Utilizou-se no modelo 3D um arranjo de 42 indivíduos arbóreos de grande porte e dois de médio porte. Estimou-se uma média para altura das árvores da respectiva mata e ajustou-se a

modelagem das árvores para a altura de 15m. Para a captura de dados a altura de 1,5m do solo (altura aproximada da instalação do *data logger* no abrigo meteorológico) um receptor foi posicionado centralizado no modelo na célula 45x45. Afim criar condições laterais estáveis para o modelo central e evitar possíveis efeitos de borda e turbulência, utilizou-se uma área de aninhamento de 10 células circundando o modelo.

Sabe-se que as equações prognósticas do modelo não podem ser aplicadas aos pontos de grade nas bordas do modelo e, portanto, as condições de limite lateral definem como o ENVI-Met trata os limites do modelo (ENVI-MET, 2020). Três tipos diferentes de *Layer Boundary Condition* (LBC) podem ser especificados: i) LBC aberta: os valores do próximo ponto de grade próximo à borda são copiados para as células da borda ao longo da simulação; ii) LBC forçado ou fechado: os valores do modelo unidimensional são copiados para a borda; iii) LBC cíclico: os valores da borda do modelo à jusante são copiados para a borda do modelo à montante. Utilizou-se para o processo de calibração as condições de borda do modelo cíclico.

Tendo em vista a falta de dados na literatura para a modelagem das camadas de solo da área de estudo, o **Modelo de Solo 3D** foi testado a partir das tipologias pedológicas existentes no banco de dados do ENVI-Met. O solo argilo arenoso (*sandy clay*) demonstrou reproduzir com maior acurácia as interações entre solo – vegetação – atmosfera para a região estudada. O parâmetro condutividade hidráulica saturada foi ajustado, de acordo com Rosa (2017), para o valor de $1,1 \times 10^{-6}$ m/s. Os demais parâmetros foram mantidos conforme as configurações iniciais do solo argilo arenoso (*sandy clay*) do banco de dados do programa, conforme Figura 26.

Figura 26 - Parâmetros pedológicos utilizados para descrever o perfil de Belo Horizonte

Database-ID: [PVA001]		Database-ID: [PVA001]	
Name: Solo BH		Name: Solo BH	
Color: 		Color: 	
Parameter	Value	Parameter	Value
Typ of material	Natural soil	z0 Roughness Length	0.01500
Water content at saturation	0.42500	Albedo	0.20000
Water content at field capacity	0.31000	Emissivity	0.98000
Water content at wilting point	0.21900	ExtraID	0
Matrix potential	-0.15300	Surface is irrigated	True
Hydraulic conductivity	1.10000	Additional Value 1	0.00000
Volumetric heat capacity	1.17500	Additional Value 2	0.00000
Clapp & Hornberger Constant	10.40000		
Heat Conductivity	0.00000		
Additional Value 1	0.00000		
Additional Value 2	0.00000		

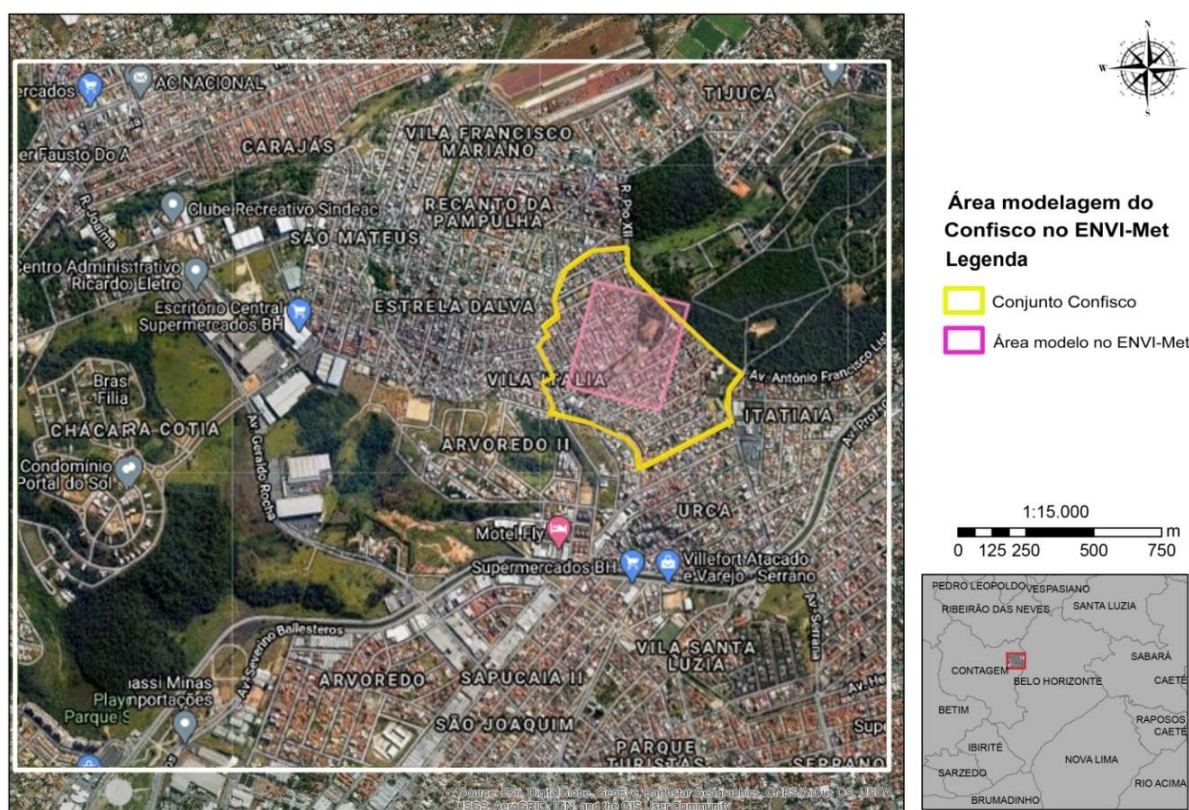
Fonte: ENVI-Met (2020) adaptado pela autora

3.2.2 Cenário descritivo

O procedimento de simulação do modelo descritivo do Conjunto Confisco foi realizado através da configuração de três modelos no ENVI-Met: i) modelo limite 1D; ii) modelo atmosférico 3D; iii) modelo de solo 3D. As condições de limite do modelo atmosférico configuradas no **Modelo Limite 1D** seguiram as mesmas especificações de *input* descritas no modelo de calibração da Fundação Zoobotânica e Zoológico no item 3.2.1, exceto o fator de ajuste da radiação, corrigido para 0.9000.

Um novo **Modelo Atmosférico 3D** foi elaborado para a descrição de uma porção do território do Conjunto Confisco, ilustrado em Figura 27. Utilizou-se como referência para definição deste recorte urbano a localização do Abrigo 2 no território e uma área representativa de mata da Fundação Zoobotânica e Zoológico, onde foram coletados dados climáticos através do Abrigo 01. Definiu-se, portanto, uma malha de 490 metros por 490 metros com resolução da grade de 245x245x30 e dimensão das células de 2x2x1, conforme Figura 28.

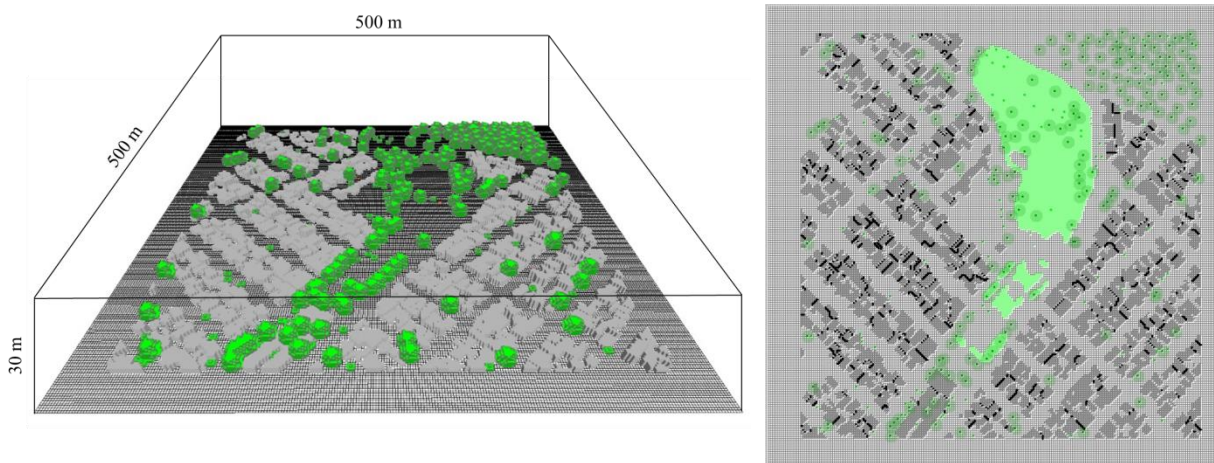
Figura 27 - Área do Conjunto Confisco representada no modelo ENVI-Met



Fonte: Google Maps (2019) adaptado pela autora

A resolução da grade e a dimensão das células no modelo tiveram como premissa o objetivo principal desta pesquisa em identificar a influência microclimática que a vegetação de porte arbóreo pode exercer sobre o microclima local.

Figura 28 - Modelo do recorte urbano do Conjunto Confisco no ENVI-Met

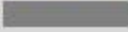


Fonte: elaborado pela autora

A altura das edificações no modelo foi especificada tendo como referência o levantamento por Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) realizado pela equipe do Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da UFMG em 23 de março de 2019. A altura média considerada por pavimento foi de 3 metros. Para as paredes envoltórias das edificações, adotou-se uma composição simplificada constituente de tijolo cerâmico e ar, sem revestimento, observado em Figura 29.

Figura 29 - Parâmetros parede de tijolo cerâmico: material (à direita); perfil da parede (à esquerda)

Database-ID: [0100TJ]	
Name: Tijolo Parede (Default Brick: burned)	
Color: 	
Parameter	Value
Default Thickness	0.30000
Absorption	0.60000
Transmission	0.00000
Reflection	0.40000
Emissivity	0.90000
Specific Heat	650.00000
Thermal Conductivity	0.90000
Density	1500.00000
Extra ID	0

Database-ID: [010TAT]	
Name: Parede TAT (Brick wall burned)	
Color: 	
Parameter	Value
Thickness of Layers	0.02800,0.06000,0.02800
Possible Usage	Wall or Roof
Roughness Length:	0.02000
Can be greened	True
Picture	False
Additional Value 1	0.00000
Additional Value 2	0.00000

Fonte: elaborado pela autora

Todas as paredes das edificações foram representadas pelos mesmo materiais e, portanto, apresentam o mesmo albedo. Os valores para a transmitância térmica (U) das paredes tiveram como referência a Norma Brasileira NBR-15220 - desempenho térmico de edificações.

Ainda através do levantamento por VANT, percebeu-se um predomínio de laje de concreto nas edificações da área estudada. Por isso, utilizou-se o perfil utilizado nas edificações em laje de concreto de 15cm composto pelos parâmetros que descrevem o concreto existente no banco de dados do programa, visto em Figura 30.

Figura 30 - Parâmetros laje de concreto: perfil (à direita); material utilizado no perfil (à esquerda)

Database-ID: [\[000001\]](#)

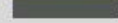
Name: [Laje concreto](#)

Color: 

Parameter	Value
Thickness of Layers	0.05000,0.05000,0.05000
Possible Usage	Roof only
Roughness Length:	0.02000
Can be greened	True
Picture	False
Additional Value 1	0.00000
Additional Value 2	0.00000

Database-ID: [\[0000CO\]](#)

Name: [Default Concrete](#)

Color: 

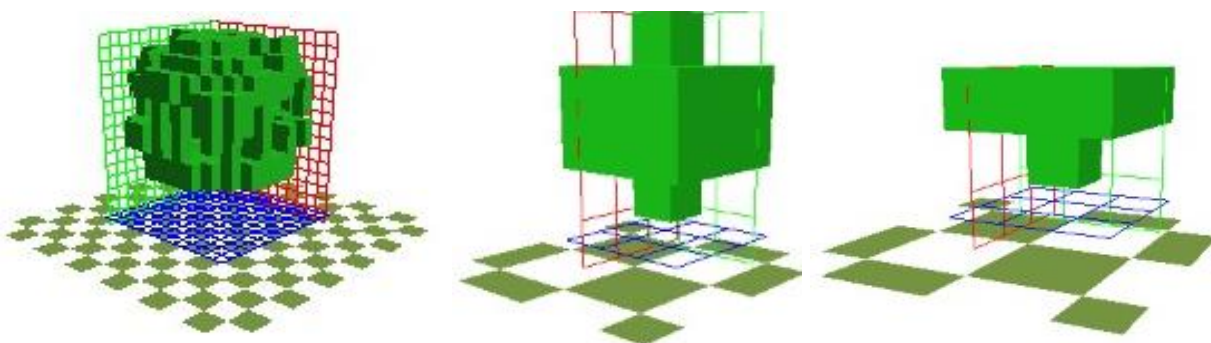
Parameter	Value
Default Thickness	0.01000
Absorption	0.50000
Transmission	0.00000
Reflection	0.50000
Emissivity	0.90000
Specific Heat	850.00000
Thermal Conductivity	1.60000
Density	2220.00000
Extra ID	0

Fonte: elaborado pela autora

A representação da vegetação local foi feita por quatro tipologias distintas: grama e três espécies arbóreas 3D, ilustradas em Figura 31. Utilizou-se para o gramado uma modelagem existente no banco de dados do ENVI-Met denominada por *Grass 25cm aver, dense*. Para representar a espécie arbórea de porte alto predominante no local, a Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*), utilizou-se a modelagem elaborada por Shinzato *et al.* (2019) para a Amendoim-acácia (*Tipuana tipu*), escalonando-a para uma altura média considerada de 15 metros.

As árvores de médio porte e arbustos tiveram como pressupostos o tipo de porte, densidade e formato da copa da espécie de maior predominância no local, a Murta (*Myrtus*). Optou-se pela utilização de uma árvore genérica já existente no banco de dados do ENVI-Met caracterizada por *Deciduous Tree, LAD high, Cylindric, medium trunk, dense, small* (5m). A partir destes modelos os indivíduos arbóreos foram escalonados respectivamente para 8 metros e 5 metros de altura.

Figura 31 - 3D árvore porte alto a partir de Shinzato *et al.* (2019) (à esquerda); árvore médio porte (no centro); arbusto (à direita)



Fonte: elaborado pela autora

Os tipos de pavimentação de toda a área de estudo foram definidos no **Modelo de Solo 3D**. Optou-se por desconsiderar a declividade do terreno. A partir disto, utilizou-se em toda a modelagem materiais já existentes no banco de dados do programa, visto em Figura 32, exceto o tipo de solo natural. Para o sistema viário aplicou-se o material asfalto (*Asphalt Road*). As calçadas receberam a textura do concreto cinza (*Concrete Pavement Gray*). Um perfil de solo foi criado para ser aplicado abaixo das edificações, sendo composto por 10 centímetros de concreto (*Cement Concrete*) próximo à superfície e solo natural (argissolo vermelho – amarelo) nas demais profundidades, visto em Figura 32. Nas demais áreas em que se observou solo exposto e na área de aninhamento, aplicou-se o material correspondente ao solo de Belo Horizonte, previamente em Figura 26.

Figura 32 - Solo: asfalto (à esquerda), concreto (centro), laje de concreto 10cm e solo BH (à direita)

Database-ID: [00005T] Name: Asphalt Road Color:		Database-ID: [0000PG] Name: Concrete Pavement Gray Color:		Database-ID: [010CTP] Name: Concreto laje + solo BH Color:	
Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
z0 Roughness Length	0.01000	z0 Roughness Length	0.01000	z0 Roughness Length	0.01000
Albedo	0.20000	Albedo	0.50000	Albedo	0.50000
Emissivity	0.90000	Emissivity	0.90000	Emissivity	0.90000
ExtraID	0	ExtraID	0	ExtraID	0
Surface is irrigated	False	Surface is irrigated	False	Surface is irrigated	False
Additional Value 1	0.00000	Additional Value 1	0.00000	Additional Value 1	0.00000
Additional Value 2	0.00000	Additional Value 2	0.00000	Additional Value 2	0.00000

Fonte: elaborado pela autora

A partir do modelo descritivo, tendo em vista a metodologia proposta, um cenário foi construído para a exploração e mensuração dos possíveis efeitos da arborização no contexto urbano.

3.2.3 Cenário hipotético

A partir do cenário descritivo, tendo em vista a natureza exploratória desta pesquisa, estabeleceu-se o cenário hipotético tendo como premissas a legislação vigente que estabelece normas para o plantio de árvores em logradouros públicos, a Deliberação Normativa N° 69 de 30 de Agosto de 2010 (BRASIL, 2010), a partir das seguintes configurações:

Porte da árvore

A Deliberação Normativa do COMAM (2010) estabelece as seguintes normas para o Plantio:

- “I – árvore de pequeno porte: com altura até 5,0 m;
- II – árvore de médio porte: com altura entre 5,0 e 10,0 m;
- III – árvore de grande porte: com altura superior a 10,0 m.” (COMAM, 2010, p.1)

Considerou-se no modelo a altura de 5 metros para árvores de pequeno porte, 8 metros para médio porte e 15 metros para indivíduos de grande porte.

Restrição de uso

Segundo o COMAM (2010), fica proibida a utilização das seguintes espécies em logradouros públicos, por condições de toxidade, alto potencial biológico invasor ou porte inadequado:

- “I – Casuarina (*Casuarina equisetifolia*);
- II – Ipê de jardim (*Tecoma stans*);
- III – Leucena (*Leucaena leucocephala*);
- IV – Pinheiro (*Pinus elliottii*);
- V – Pinheiro amarelo (*Pinus taeda*);
- VI – Cinamomo (*Melia azedarach*);
- VII – Pau doce (*Hovenia dulcis*);
- VIII – Cássia manjo (*Acacia mangium*);
- IX – Guapuruvu (*Schizolobium parahyba*);
- X – Murta (*Murraya paniculata*);
- XI – Árvores da família das *Euphorbiaceas* (leiteiro, cróton, neve da montanha, cabeça de velho, etc.).” (COMAM, 2010, p.2)

Segundo o levantamento arbóreo realizado na área, encontrou-se um maior predomínio da espécie Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*) para as árvores de grande porte e da espécie murta (*Myrtus*) para as árvores de médio e pequeno porte. Em função da restrição de utilização da Murta, optou-se pela modelagem da Sibipiruna para o cenário hipotético tendo em vista que: i) a espécie já demonstrou estar adaptada a área de estudo; ii) A modelagem da árvore tropical calibrada no ENVI-Met (*Tipuana tipu*) e a Sibipiruna pertence ambas à família Fabaceae.

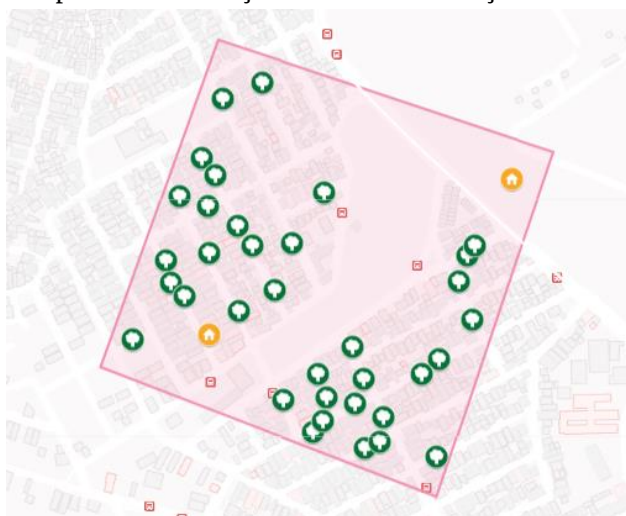
Pontos de Plantio

O COMAM (2010) regulamenta o que os pontos de plantio devem considerar as seguintes distâncias mínimas:

- “I – 7 m, em relação a esquinas;
- II – 5 m, em relação a postes;
- III – 1,5 m, em relação a entradas de garagens;
- IV – 1,5 m, em relação a bueiros e bocas de lobo;
- V – 0,6 m, em relação a tubulações subterrâneas de água ou esgoto;
- VI – 1,5 m, em relação a hidrantes.” (COMAM, 2010, p. 2)

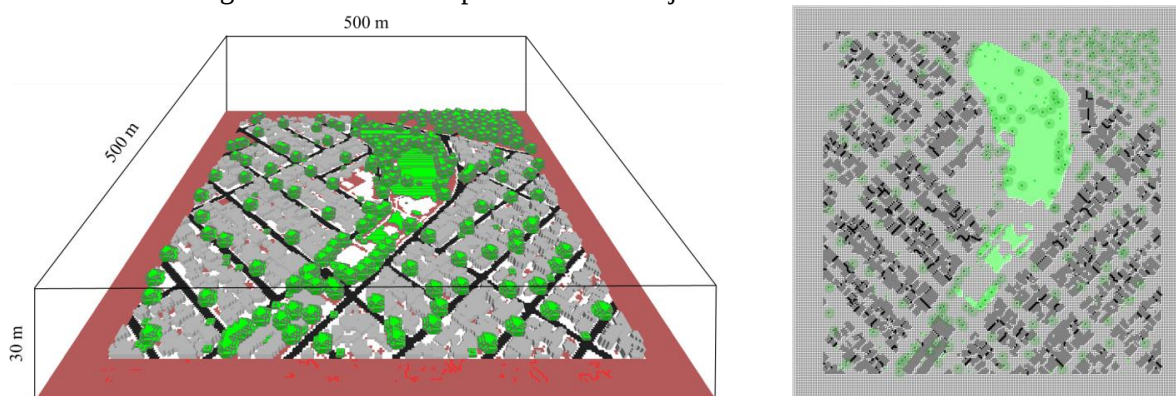
Concomitantemente à deliberação normativa do COMAM (2010), considerou-se também a hierarquia viária local e o levantamento arbóreo previamente elaborado, visto em Figura 12. No total foram inseridas 40 novas árvores de grande porte nas vias públicas, conforme visto em Figura 34. As condições atmosféricas de entrada do modelo e os dados do solo foram mantidos conforme o cenário descritivo do Conjunto Confisco, descritos no item 3.2.2.

Figura 33 - Mapa com localização da nova arborização inserida no território



Fonte: Google Maps (2019) adaptado pela autora

Figura 34 - Cenário exploratório do Conjunto Confisco no ENVI-Met



Fonte: elaborado pela autora

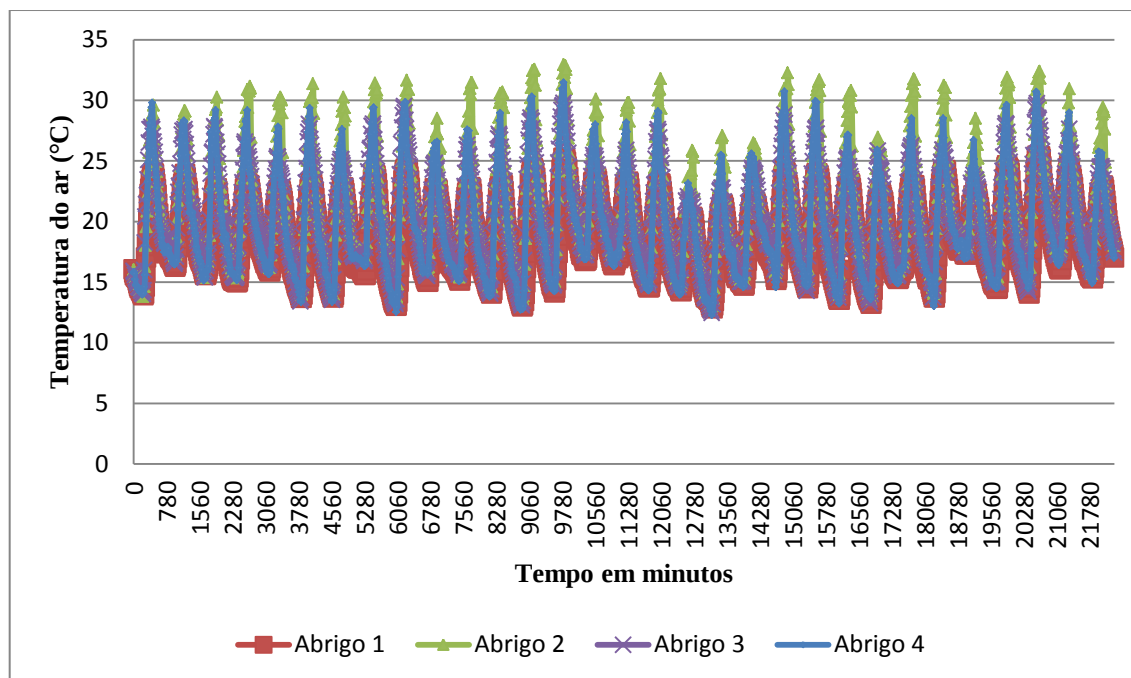
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados das simulações computacionais. Primeiramente será apresentado o monitoramento da área de estudo através dos abrigos meteorológicos para o mês de julho de 2020, em seguida a calibração do modelo, o cenário descritivo do Conjunto Confisco e, por fim, o cenário hipotético com a proposição do aumento da arborização viária seguindo a legislação vigente do município de Belo Horizonte.

4.1 Monitoramento da área de estudo

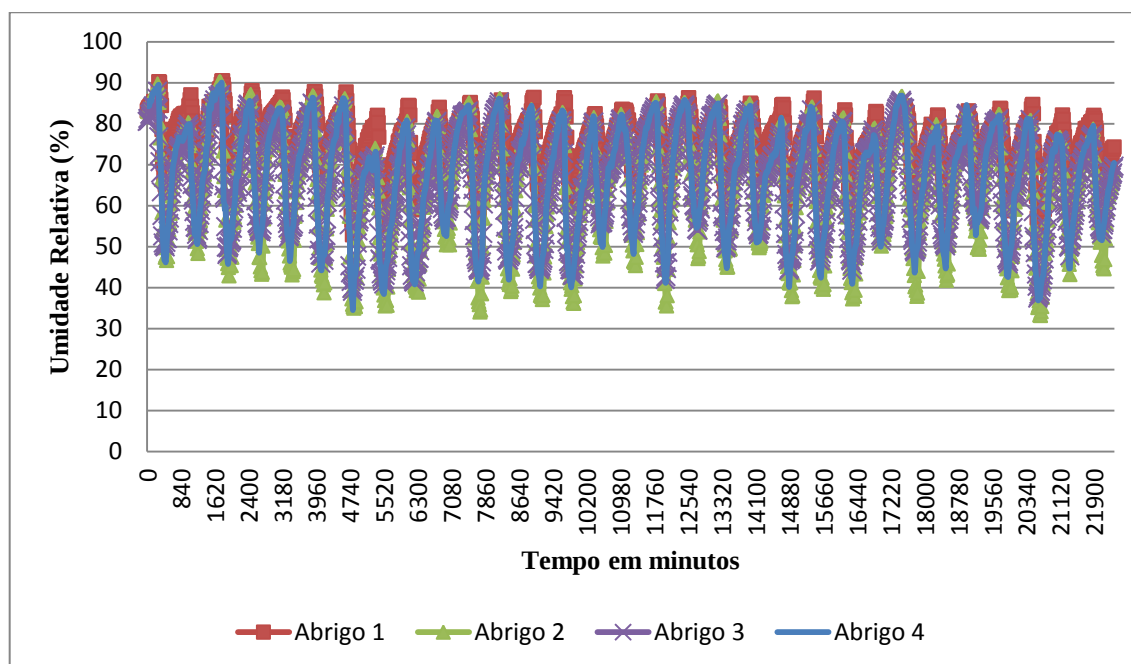
O monitoramento das variáveis microclimáticas na área de estudo foi feito através de quatro termo-higrômetros instalados em abrigos meteorológicos, conforme visto no item 3.1.3. A captura dos dados teve início no mês de maio e duração até setembro do ano de 2020. De um modo geral, conforme visto nos Gráficos 1 e 2, nos quatro pontos medidos ao longo do mês de julho de 2020 a temperatura média mensal foi acima de 18,5°C e a umidade relativa do ar média foi de aproximadamente 68%, com períodos secos atingindo a mínima de 33%.

Gráfico 1 - Temperatura do ar monitorada nos abrigos meteorológicos no mês de julho de 2020



Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 2 - Umidade relativa monitorada nos abrigos meteorológicos no mês de julho de 2020



Fonte: elaborado pela autora

É importante observar, para este período, as diferenças encontradas nos dados de temperatura do ar e umidade relativa entre os pontos medidos. Conforme visto em Tabela 2, a menor temperatura do ar média no mês foi medida na área altamente arborizada da mata da Fundação Zoobotânica e Zoológico (Abrigo 1) e a maior temperatura do ar média na área urbanizada do Conjunto Confisco (Abrigo 2).

Tabela 2 - Variação da temperatura do ar ao longo do mês de julho de 2020

Abrigos	N	Máxima	Mínima	Média
Abrigo 1	1488	25,42	12,82	18,57
Abrigo 2	1488	32,94	12,79	20,99
Abrigo 3	1488	29,76	12,46	20,09
Abrigo 4	1488	31,45	12,26	19,86

Fonte: elaborado pela autora

Os maiores valores mensais de temperatura do ar foram obtidos nos Abrigos 2 e 4, localizados respectivamente no Conjunto Confisco e Arvoredo II. Já e o menores valores foram medidos nos Abrigos 3 e 4, localizados no Estrela D'Alva e Arvoredo II. Neste caso é importante destacar que, embora tenham sido encontrados os menores valores da temperatura do ar em áreas urbanizadas, os dados medidos na área de mata pelo Abrigo 1, apresentou uma maior estabilidade no microclima ao longo do período, com a menor amplitude térmica mensal de 12,60°C.

Um ponto importante deve ser observado em relação ao Abrigo 4, localizado no Arvoredo II. Apesar de estar localizado em uma área urbanizada próxima à mata do Confisco, este abrigo apresentou a segunda maior temperatura do ar registrada (31,45°C), ou seja, 6°C maior que a máxima encontrada no Abrigo 1 (localizado na Fundação Zoobotânica). Segundo Chen *et al.* (2018), a velocidade do vento é uma forte responsável pela dispersão do efeito do resfriamento na direção do vento predominante. A moda calculada para a direção do vento no período de coleta dos dados foi de 113°, correspondente à predominância de vento leste no município de Belo Horizonte para o período estudado. Neste caso pode-se justificar a ausência do efeito da vegetação na malha urbana em função da sua localização ao sul, conforme visto em Figura 21.

Observou-se também a variação em relação à umidade relativa do ar para o mês de Julho de 2020, conforme apresentado em Tabela 3. Em geral, nota-se que há pouca variação na umidade relativa máxima nos quatro locais de medição. Por outro lado, pode-se perceber uma diferença significativa nos percentuais de umidade relativa mínima medidos. O menor valor encontrado para a umidade relativa do ar no Abrigo 1 (Fundação Zoobotânica) foi de aproximadamente 52%, já a umidade relativa mínima para os demais abrigos localizados na malha urbana variou entre 33% e 37%.

Tabela 3 - Variação da umidade relativa do ar ao longo do mês de julho de 2020

Abrigo	N	Máxima	Mínima	Média
Abrigo 1	1488	90,46	51,92	74,45
Abrigo 2	1488	90,23	33,22	65,80
Abrigo 3	1488	87,93	37,41	66,30
Abrigo 4	1488	90,07	34,49	66,84

Fonte: elaborado pela autora

De acordo com Biondi *et al.* (2011), as variáveis microclimáticas tendem a apresentar uma maior estabilidade no interior de um bosque. As medições na área altamente arborizada (Abrigo 1) apresentaram a maior média (74,45%) em relação às oscilações identificadas na malha urbana que variaram entre aproximadamente 65% e 67%. Além disso, as medições feitas através do Abrigo 1 apresentaram a menor amplitude em relação a umidade relativa do ar para o período analisado, ou seja, esta área apresentou uma maior estabilidade microclimática do que as demais. Percebe-se, portanto, que a temperatura do ar máxima foi aproximadamente 4°C a 7,5°C menor dentro da área altamente arborizada em relação à malha urbanizada. Além disso, a umidade relativa do ar máxima foi aproximadamente 14% a 18% a mais na área arborizada.

4.2 Calibração do modelo

O processo de calibração do modelo foi feito primeiramente a partir de um recorte de uma área da mata pertencente à Fundação Zoobotânica e Zoológico no Conjunto Confisco, contento o Abrigo 1, conforme descrito no item 3.2.1. Após a configuração do Modelo Limite 1D e do Modelo Atmosférico 3D, diversas simulações foram feitas a partir da alteração de tipologias de solo no Modelo de Solo 3D. Durante os testes, o solo argilo arenoso (*Sandy clay*) demonstrou reproduzir com maior acurácia as interações do modelo em relação aos dados medidos. A partir das configurações iniciais existentes no banco de dados do ENVI-Met para essa tipologia pedológica, ajustou-se o parâmetro de condutividade hidráulica para o valor de $1,1 \times 10^{-6} \text{m/s}$, de acordo com Rosa (2017), e rodou-se o modelo durante 24 horas.

A validação entre os dados empíricos e a simulação foi feita a partir de 4 testes estatísticos de concordância, observado em Tabela 4. O coeficiente de determinação (r^2) para os dados de temperatura do ar foi de 0,8962 e para os dados de umidade relativa correspondeu a 0,8278. Para o cálculo do erro médio de estimativa (MBE) obteve-se para temperatura do ar -1,5474 e umidade relativa do ar -5,4788. A raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) para temperatura do ar foi de 2,0504 e umidade relativa do ar 7,6069. O índice de concordância de Willmott (d) para temperatura do ar correspondeu a 0,9114 e umidade relativa do ar 0,8372.

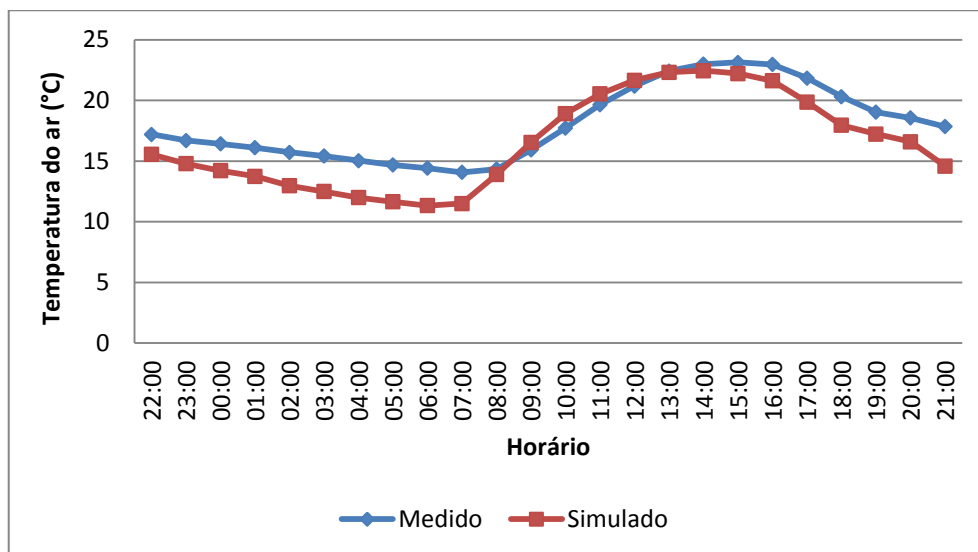
Tabela 4 - Resultados estatísticos entre dados simulados e dados medidos

Tratamento estatístico	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar
r^2	-0,8962	0,8278
MBE	-1,5474	-5,4788
RMSE	2,0504	7,6069
d	0,9114	0,8372

Fonte: elaborado pela autora

A partir da validação estatística entre o simulado *versus* medido, realizou-se uma análise mais detalhada sobre a variação dos dados do modelo. No Gráfico 3 é possível observar a evolução da temperatura do ar ao longo das 24h simuladas em comparação com os dados medidos para este dia. Em geral o modelo demonstrou uma alta aproximação em reproduzir a simulação em relação os dados medidos, principalmente no período diurno no horário de maior intensidade de radiação (15h). A temperatura do ar máxima foi de 23,13°C medida e 22,45°C no modelo. Já a temperatura do ar mínima medida foi de 14,07°C e 11,32°C simulada. Além disso, o modelo reproduziu a amplitude térmica diária medida de 9,06°C em 11,13°C no modelo.

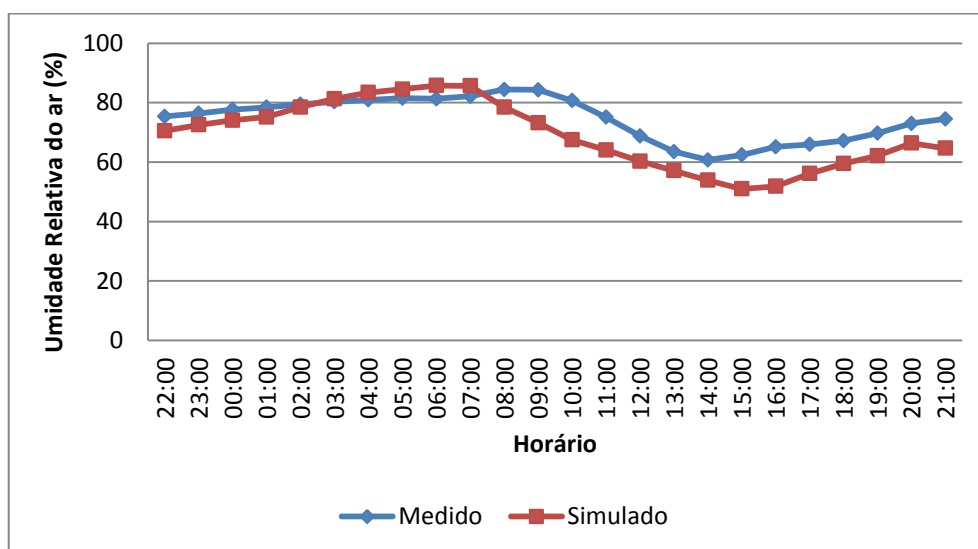
Gráfico 3 - Temperatura do ar medida e simulada para o modelo de calibração



Fonte: elaborado pela autora

O modelo também demonstrou ser capaz de reproduzir o comportamento da vegetação em relação a umidade relativa do ar. Observa-se no Gráfico 4 a alta concordância na representação desta variável ao longo das 24h. A umidade relativa máxima medida foi de 84,4% e simulada correspondeu a 85,74%. Já a mínima medida foi de 60,69% e simulada 50,97%. A amplitude diária para esta variável medida foi equivalente a 23,70%, enquanto simulada correspondeu a 34,77%. Neste caso o modelo apresentou uma tendência em subestimar capacidade da vegetação em perder água para o meio no período diurno, e superestimar a umidade relativa do ar nas últimas horas antes da incidência de radiação solar.

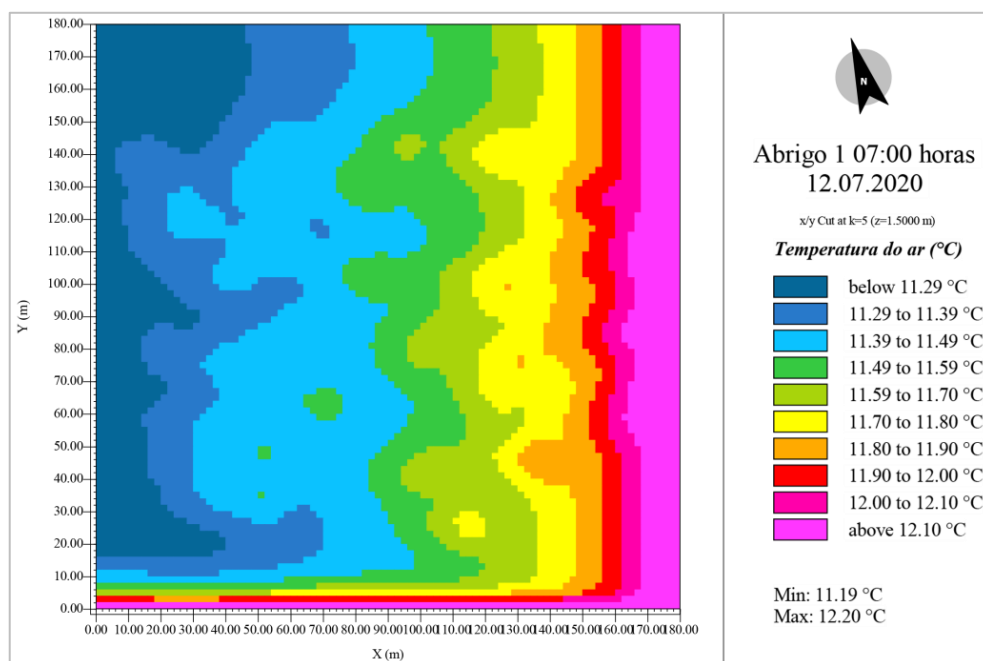
Gráfico 4 - Umidade relativa do ar medida e simulada para o modelo de calibração



Fonte: elaborado pela autora

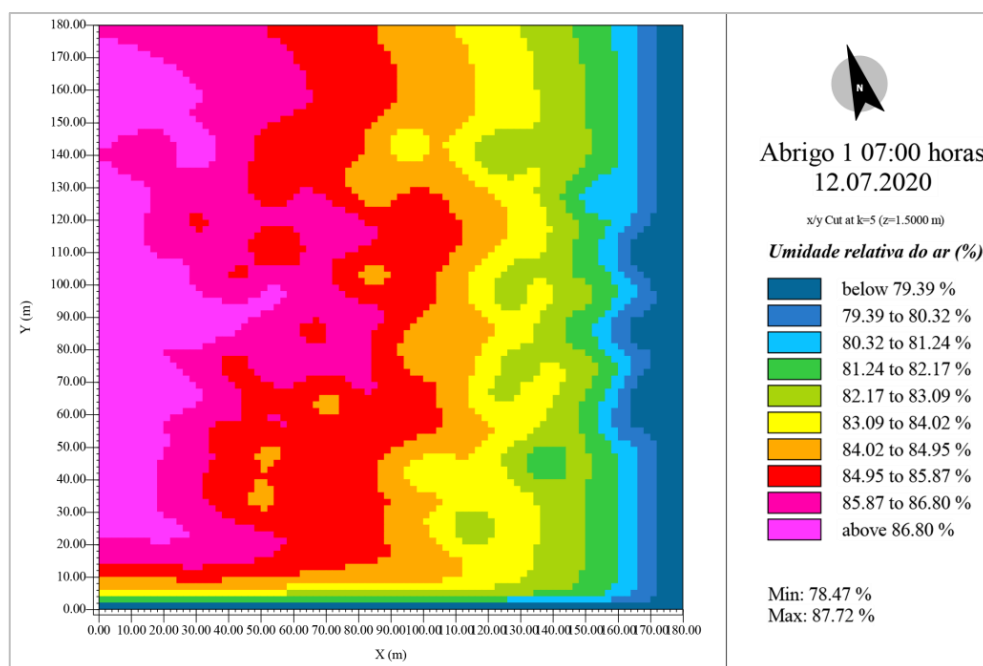
Nas Figuras 35 e 36 são apresentados os mapas gerados na ferramenta Leonardo do ENVI-Met com corte no eixo Z na altura de 1,5 metros para o dia 12 de julho de 2020 às 7 horas da manhã. Observa-se que a máxima temperatura do ar foi de 12,20°C e mínima de 11,19°C. A máxima umidade relativa do ar foi de 87,72% e mínima 78,57%.

Figura 35 – Temperatura do ar no Abrigo 1 às 7h



Fonte: elaborado pela autora

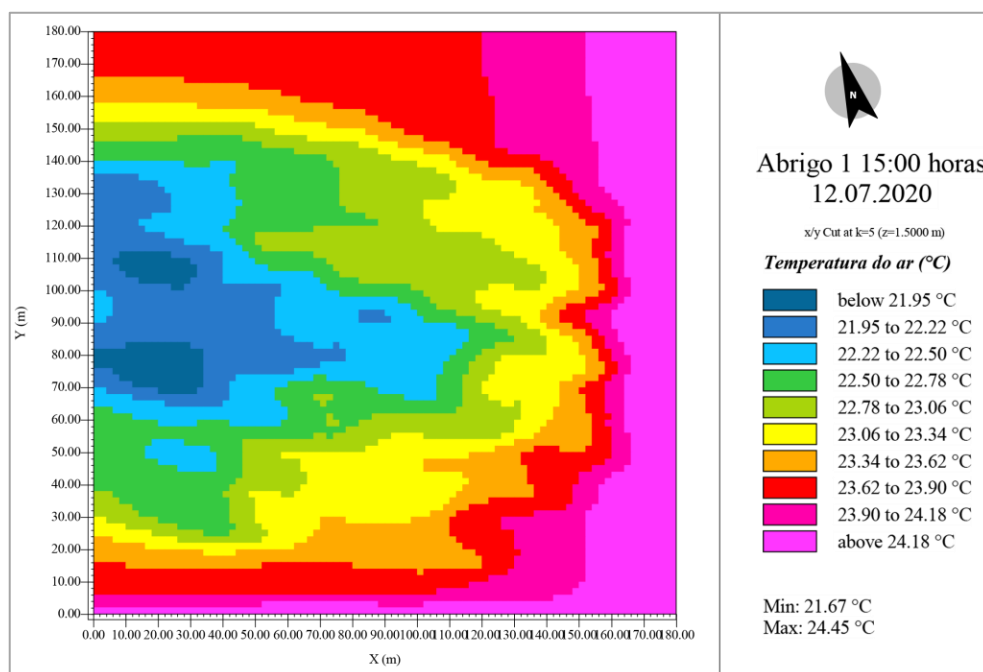
Figura 36 – Umidade Relativa do ar no Abrigo 1 às 7h



Fonte: elaborado pela autora

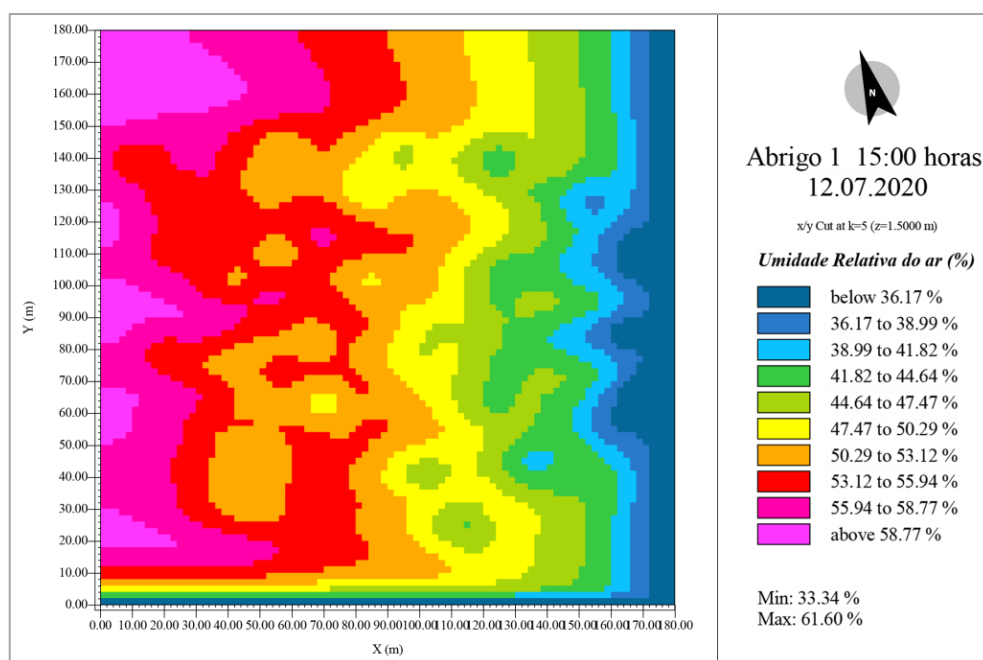
Nas Figuras 37 e 38 são exibidos os mapas gerados na ferramenta Leonardo do ENVI-Met com corte no eixo Z na altura de 1,5 metros para o dia 12 de julho de 2020 às 15 horas. Observa-se que a máxima temperatura do ar foi de 24,45°C e mínima de 21,67°C. A umidade relativa do ar máxima foi de 61,60% e mínima 33,34%.

Figura 37 – Temperatura do ar no Abrigo 1 às 15h



Fonte: elaborado pela autora

Figura 38 – Umidade relativa do ar no Abrigo 1 às 15h



Fonte: elaborado pela autora

4.3 Cenário descritivo

A partir da validação dos dados do Modelo Limite 1D e do Modelo de Solo 3D pelo processo de calibração, um novo Modelo Atmosférico 3D foi criado para representar um recorte representativo do Conjunto Confisco. Utilizou-se como referência para o processo de validação do modelo 4 testes estatísticos de concordância a partir das medições realizadas no Abrigo 1 (localizado na Fundação Zoobotânica e Zoológico) e no Abrigo 2 (localizado no Conjunto Confisco).

Os resultados encontrados no tratamento dos dados do **Abrigo 1 (Fundação Zoobotânica e Zoológico)**, visto em Tabela 5, demonstram a validação do modelo através da concordância dos dados simulados em relação ao dados medidos para os dados de temperatura do ar e para os dados de umidade relativa do ar. Encontrou-se, portanto, o coeficiente de determinação (r^2) para os dados de temperatura do ar de 0,9155 e para os dados de umidade relativa do ar este mesmo coeficiente foi de 0,8177. O cálculo do erro médio de estimativa (MBE) para os dados de temperatura do ar correspondeu a -1,6197 e para os dados de umidade relativa do ar -5,0483. A raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) foi de 2,0010 para a temperatura do ar e 7,2139 para a umidade relativa do ar. Já o índice de concordância de Willmott (d) para a temperatura do ar foi de 0,9123 e para a umidade relativa do ar 0,8487.

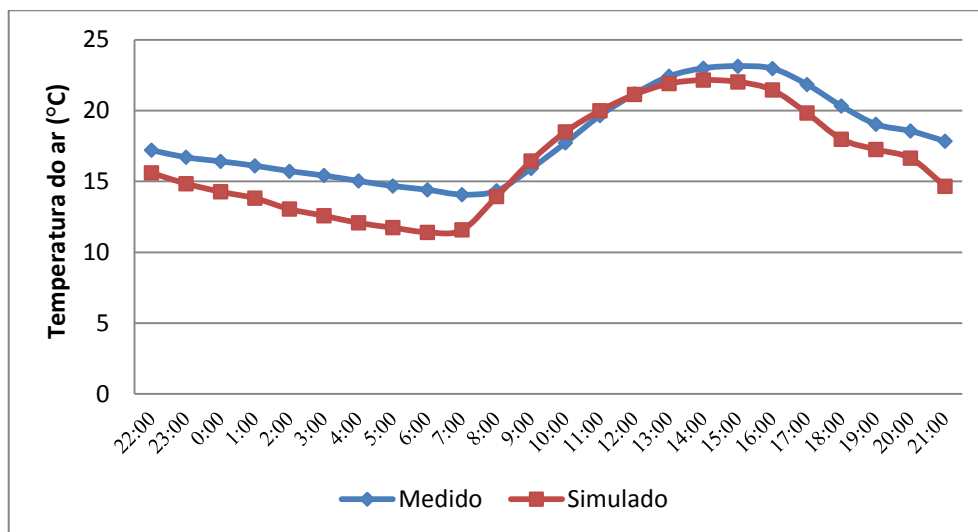
Tabela 5 - Resultados estatísticos entre dados simulados e dados medidos para o Abrigo 1

Tratamento estatístico	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar
r^2	0,9155	0,8177
MBE	-1,6197	-5,0483
RMSE	2,0010	7,2139
d	0,9123	0,8487

Fonte: elaborado pela autora

Analisando a alteração da temperatura do ar ao longo do dia, ilustrado em Gráfico 5, pode-se notar que há concordância na variação entre os dados medidos e simulados no Abrigo 1. O modelo foi capaz de simular o sombreamento proveniente do dossel arbóreo nas primeiras horas do dia e nos horários de maior radiação global, variando a temperatura entre 0,41°C e 1,51°C em relação aos dados medidos. No período noturno, observa-se uma tendência do modelo em subestimar a temperatura do ar. Nas primeiras horas da simulação a temperatura do ar simulada foi até 3°C abaixo da medida e na última hora da simulação, às 21h, o modelo apresentou um pico de 3,18°C inferior à medição.

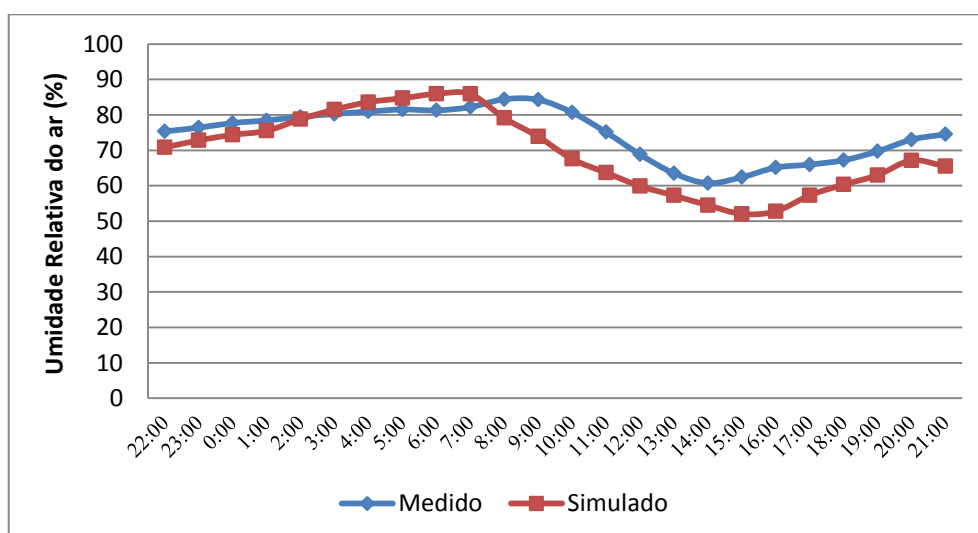
Gráfico 5 - Temperatura do ar medida e simulada para o Abrigo 1 no modelo descritivo



Fonte: elaborado pela autora

Em relação aos dados de umidade relativa do ar, conforme visto em Gráfico 6, em geral os resultados simulados se aproximaram das medições feitas no Abrigo 1. Contrário ao comportamento observado nos dados de temperatura do ar, o modelo demonstrou maior acurácia em simular os dados de umidade do ar no período noturno. Embora tenha sido encontrada uma maior variação para o período diurno, modelo foi capaz de reproduzir satisfatoriamente o comportamento da vegetação, apresentando a maior diferença dos dados às 10h da manhã em 13,15% de umidade do ar inferior ao dado medido.

Gráfico 6 - Umidade relativa do ar medida e simulada para o Abrigo 1 no modelo descritivo



Fonte: elaborado pela autora

Os resultados encontrados no tratamento dos dados do **Abrigo 2 (Conjunto Confisco)**, visto em Tabela 6, demonstram acurácia na representação dos dados empíricos por meio da simulação computacional. O resultado encontrado para o coeficiente de determinação (r^2) para os dados de temperatura do ar foi de 0,9760 e para os dados de umidade relativa do ar foi de 0,9479. O cálculo do erro médio de estimativa (MBE) para os dados de temperatura do ar correspondeu a -2,5925 e para os dados de umidade relativa do ar equivaleu a -10,9193. A raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) foi de 2,7807 para a temperatura do ar e 11,4974 para a umidade relativa do ar. Já o índice de concordância de Willmott (d) para a temperatura do ar foi de 0,9962 e para a umidade relativa do ar 0,9939.

Tabela 6 - Resultados estatísticos entre dados simulados e dados medidos para o Abrigo 2

Tratamento estatístico	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar
r^2	0,9760	0,9479
MBE	-2,5925	-10,9193
RMSE	2,7807	11,4974
d	0,9962	0,9939

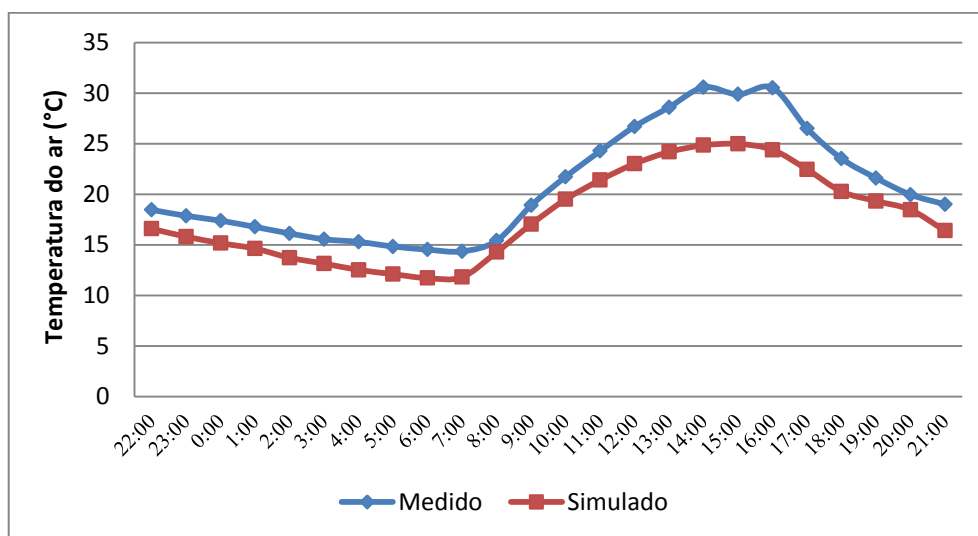
Fonte: elaborado pela autora

É importante notar que, embora tenha sido encontrada uma alta compatibilidade estatística de representação do modelo em relação à realidade, analisando a variação por hora do período simulado, o modelo apresentou uma tendência em subestimar a temperatura do ar, visto em Gráfico 7. Pode-se justificar este comportamento do programa em função da falta de dados de entrada da radiação global nas configurações de entrada no *full forcing*. Neste caso, o modelo estima a variação da radiação global em função da geolocalização informada no Modelo Atmosférico 3D.

Diversas tentativas de correção foram feitas aplicando o fator de ajuste, conforme visto em Figura 23, e sobre este procedimento é importante ressaltar que: i) embora seja possível aproximar quantitativamente o dado de maior radiação global no dia aplicando um fator de ajuste, o modelo demonstrou uma tendência em subestimar as amplitudes diárias da área urbanizada, notado também por Emmanuel *et al.* (2007) e Francisco (2016); ii) ao longo das diversas tentativas de ajuste, observou-se que a variação da radiação global teve relação direta não só com a temperatura do ar, como também com a umidade relativa do ar. O aumento da radiação global provocou aumento na temperatura do ar e redução na umidade relativa do ar, portanto, optou-se por um fator de ajuste que melhor representasse ambos os parâmetros.

A temperatura do ar máxima medida no período correspondeu a 30,57°C enquanto no modelo foi de 25,88°C. A mínima foi de 14,36°C medido e 11,76°C simulado. A amplitude térmica diária de 16,21°C medida e 14,12°C encontrada no modelo. A maior variação de temperatura do ar encontrada foi às 16h, sendo 30,52°C medido e 25,08°C simulado.

Gráfico 7 - Temperatura do ar medida e simulada para o Abrigo 2 no modelo descritivo

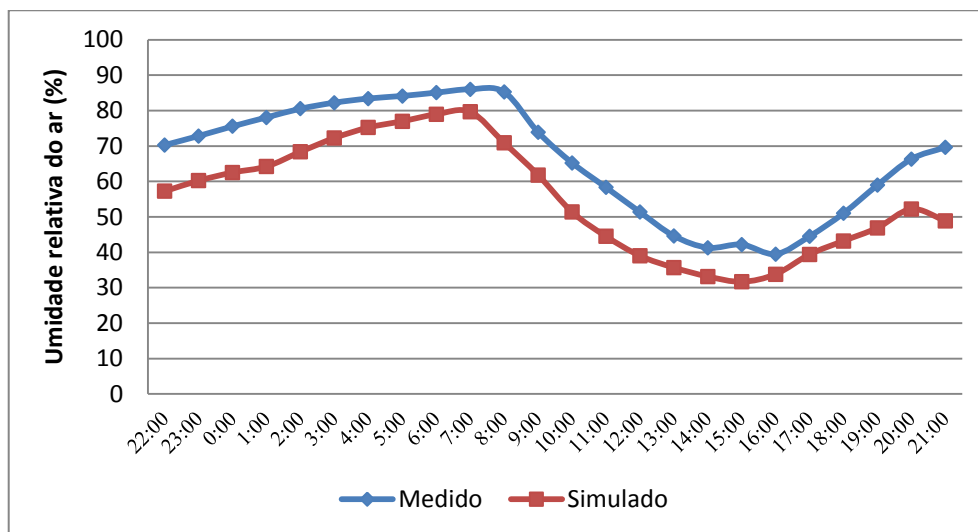


Fonte: elaborado pela autora

Uma maior precisão foi encontrada em relação aos dados de umidade relativa na malha urbana no período seco para o Abrigo 2. Sabe-se, de acordo com Simon *et al.* (2018), que o modelo de vegetação no ENVI-Met possui baixa acurácia para as variações de curto prazo na transpiração da vegetação em dias quentes e demonstrou uma tendência em subestimar a transpiração durante o período noturno. Conforme ilustrado em Gráfico 8, nota-se uma aproximação entre os dados medidos e simulados, no entanto, o programa demonstrou uma tendência em subestimar a variação da umidade relativa do ar no meio urbano em ambos período noturno e diurno.

A umidade máxima registrada no Abrigo 2 para este período foi de 86,03% enquanto no modelo correspondeu a 79,64%. A mínima medida foi de 39,50% e simulada 31,67%. Nota-se através do Gráfico 8 que a maior aproximação entre os dados medidos e simulados é para o período diurno, entre 6 horas e 17 horas, sendo a maior diferença encontrada neste período às 8h da manhã, 85,23% dado medido e 70,88% dado simulado. A variação diária da umidade do ar foi de 46,52% medida e 47,96% simulada. Para o horário de 21 horas, ao final da simulação, o modelo demonstrou uma tendência em subestimar consideravelmente a umidade relativa do ar, apresentando um erro de -20,73% no dado simulado em relação ao medido.

Gráfico 8 - Umidade relativa do ar medida e simulada para o Abrigo 2 no modelo descritivo



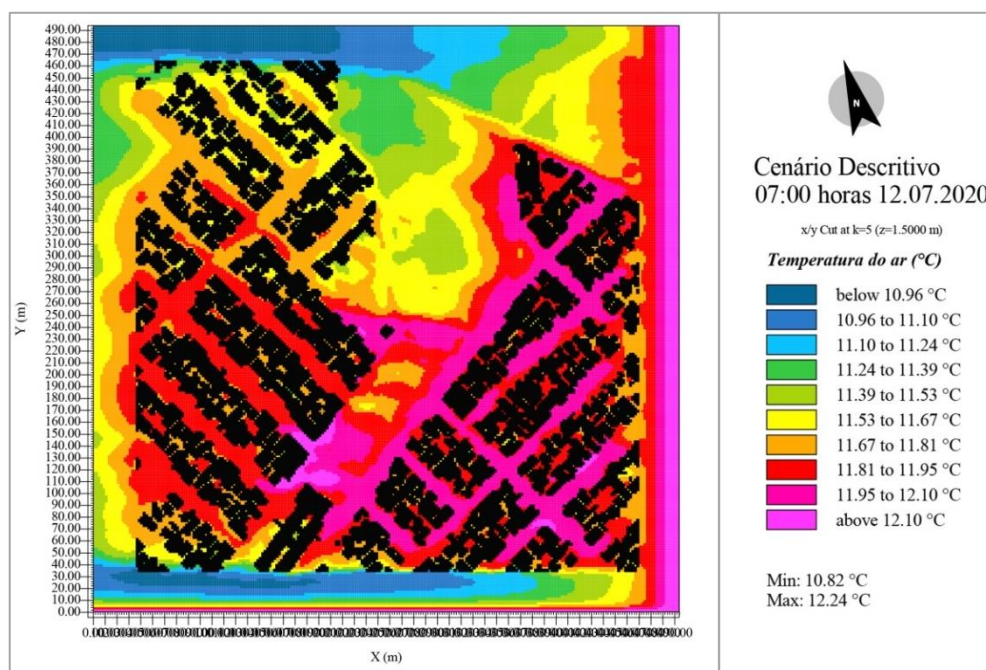
Fonte: elaborado pela autora

É importante observar em relação às medições em ambos os abrigos os efeitos da vegetação e da urbanização nas variáveis climáticas. A temperatura do ar máxima registrada no Abrigo 1 (Fundação Zoobotânica e Zoológico) foi 7,43°C menor do que no Abrigo 2 (Conjunto Confisco). A temperatura do ar mínima diária no Abrigo 1 foi de 0,28°C menor que no Abrigo 2. A umidade relativa do ar máxima para o período de 24 horas foi 1,63% menor no Abrigo 1 em relação ao Abrigo 2. A umidade relativa do ar mínima foi 21,20% maior no Abrigo 1 em comparação ao Abrigo 2.

Neste caso é importante destacar que o modelo demonstrou ser capaz de reproduzir a diferença climática encontrada entre a área urbanizada e a área altamente vegetada. A temperatura do ar máxima registrada no Abrigo 1 (Fundação Zoobotânica e Zoológico) no modelo foi 3,73°C menor do que no Abrigo 2 (Confisco). A temperatura do ar mínima diária no Abrigo 1 foi de 0,35°C menor que no Abrigo 2. A umidade relativa do ar máxima para o período de 24 horas foi 6,29% maior no Abrigo 1 em relação ao Abrigo 2. A umidade relativa do ar mínima foi 20,36% maior no Abrigo 1 em comparação ao Abrigo 2.

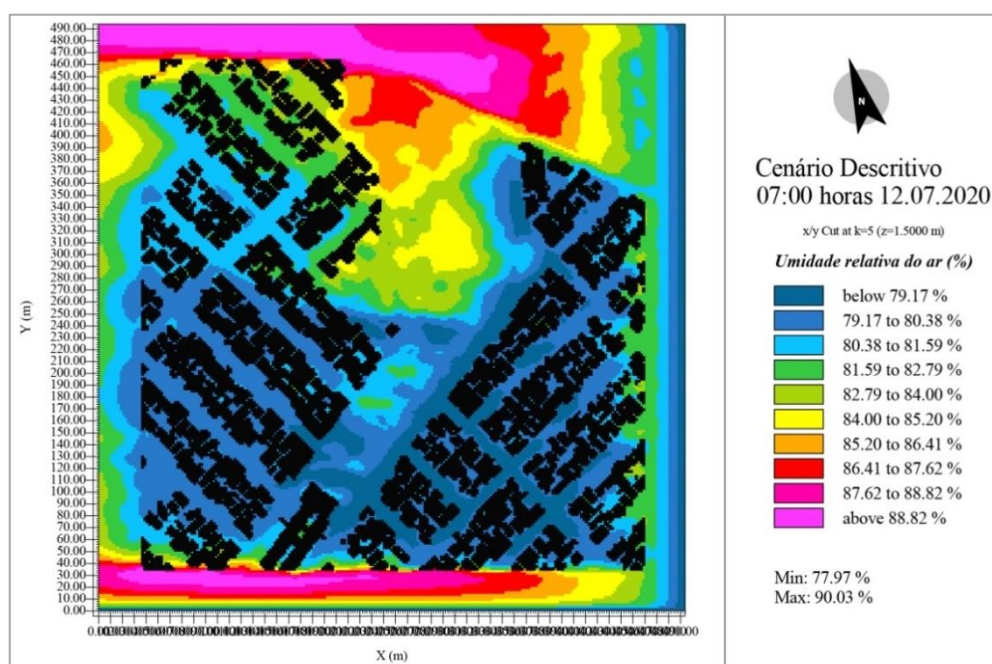
Nas Figuras 39 e 40 são apresentados os mapas do Conjunto Confisco gerados na ferramenta Leonardo do ENVI-Met com corte no eixo Z na altura de 1,5 metros para o dia 12 de julho de 2020 às 7 horas da manhã. A máxima temperatura do ar registrada foi de 12,24°C e mínima de 10,82°C. A umidade relativa do ar máxima foi de 90,03% e mínima de 77,97%.

Figura 39 - Temperatura do ar no cenário descritivo do Conjunto Confisco às 7 horas



Fonte: elaborado pela autora

Figura 40 – Umidade relativa do ar no cenário descritivo do Conjunto Confisco às 7 horas



Fonte: elaborado pela autora

É possível observar às 7 horas da manhã os efeitos da urbanização e da vegetação na variação da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. No que se refere ao comportamento microclimático da região, visto em Figura 39 e 40, os locais com temperaturas mais amenas e maior umidade relativa do ar foram consequentemente áreas com maior índice de vegetação, o fragmento florestal da Fundação Zoobotânica e Zoológico. De fato, segundo Martini *et al.* (2017), a redução da temperatura do ar e aumento da umidade relativa do ar tem relação direta com o número e a densidade de indivíduos arbóreos.

Do ponto de vista quantitativo, o fragmento florestal da Fundação Zoobotânica e Zoológico, se comparado à área urbanizada do seu entorno, apresentou menores valores para a temperatura do ar e maiores valores para umidade relativa do ar. A diferença média de temperatura encontrada para o horário de 7 horas da manhã, entre a área do fragmento florestal e da área urbanizada, foi aproximadamente 1,42°C e 12,06% de umidade relativa do ar.

Além disso, sabe-se que fragmentos florestais e bosques tendem a ser favoráveis para a redução da temperatura e aumento da umidade relativa no meio urbano (BIONDI *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014). De fato é possível observar, em Figura 39 e 40, a influência desta área florestal em relação ao seu entorno urbanizado. Segundo Martini (2016), o raio de influência da Floresta Urbana sobre seu entorno é de aproximadamente 200m. No Conjunto Confisco, esse fenômeno foi observado até uma extensão de aproximadamente 240 metros, possivelmente sendo influenciada pelo vento predominante de direção leste e pela densidade arbórea presente no Parque do Confisco.

A Praça e Parque do Confisco apresentaram comportamento microclimático similar à área da Fundação Zoobotânica e Zoológico, ilustrado em Figuras 39 e 40. As regiões do Parque do Confisco (próximo à Fundação Zoobotânica e Zoológico) apresentaram menor temperatura do ar e maior umidade relativa do ar em relação às áreas urbanizadas, em torno de 1°C e aproximadamente 4% para 7 horas da manhã. Justifica-se essa variação por um possível efeito de borda advindo do fragmento florestal e pela alta presença de arborização de grande porte nesta área.

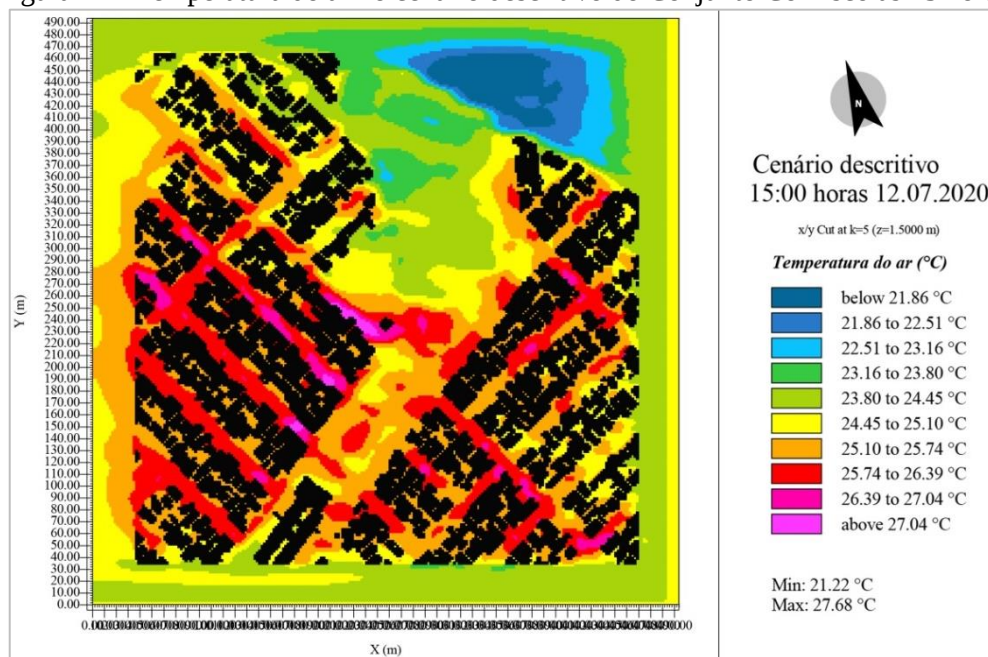
Na Praça do Confisco a variação da temperatura do ar foi em torno de 0,71°C e a umidade relativa do ar aproximadamente 8,44% em relação à máxima registrada na área urbana às 7h da manhã. Embora a diferença microclimática tenha sido relativamente baixa, segundo

Keresztesová *et al.* (2014), as estruturas de vegetação menores também apresentam um efeito microclimático importante, ainda que em menores proporções.

Em relação à arborização viária, sabe-se, de acordo com Rantzoudi e Georgi (2017), que estas podem impactar diretamente os efeitos de sombreamento. Nota-se, nas Figuras 39 e 40, um efeito microclimático local pela presença destes indivíduos nas ruas do Conjunto Confisco através do arrefecimento da temperatura do ar em aproximadamente 0,5°C e aumento em 2,5% na umidade relativa do ar em relação à máxima registrada para o horário de 7 horas da manhã no tecido urbano com ausência de vegetação.

Nas Figuras 41 e 42 são apresentados os mapas do Conjunto Confisco gerados na ferramenta Leonardo do ENVI-Met com corte no eixo Z na altura de 1,5 metros para o dia 12 de julho de 2020 às 15 horas. Observa-se que a temperatura do ar máxima registrada foi de 27,68°C e mínima de 21,22°C. A umidade relativa do ar máxima na região foi de 70,97% e mínima 29,15%.

Figura 41 - Temperatura do ar no cenário descritivo do Conjunto Confisco às 15 horas

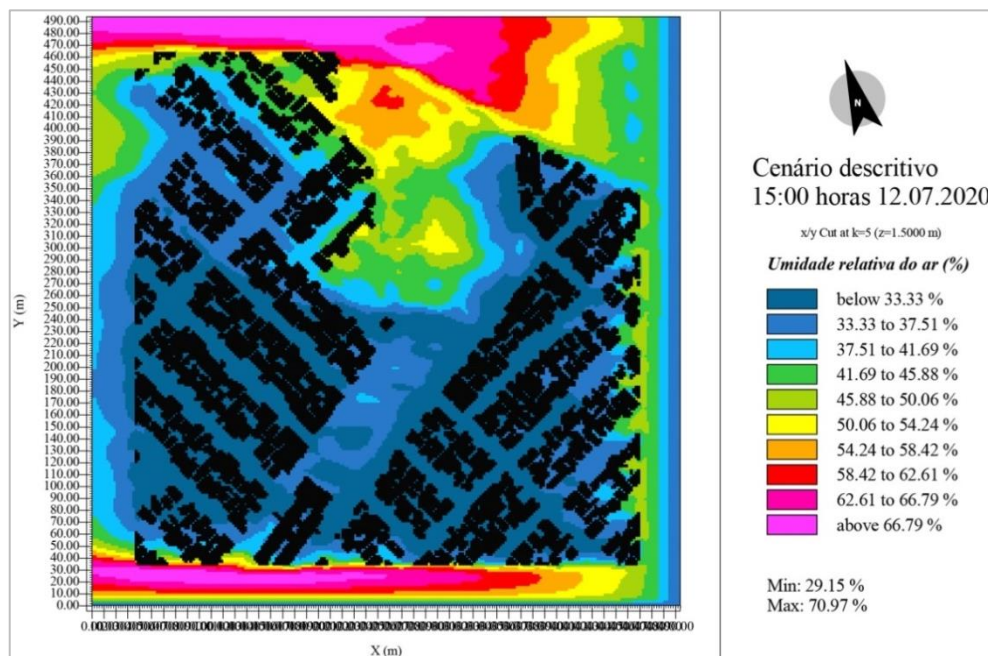


Fonte: elaborado pela autora

A diferença de temperatura do ar encontrada entre o Fragmento Florestal pertencente à Fundação Zoobotânica e Zoológico e a máxima registrada na área urbana para foi de aproximadamente 6,5°C e em torno de 34% de umidade relativa do ar. Este mesmo fenômeno foi observado por Moraes *et al.* (2018) em relação aos fragmentos florestais e bosques. Os autores identificaram que locais com maiores valores de Índice de Vegetação apresentaram

temperaturas menores, variando entre 7°C até 9°C em relação aos locais com ausência de vegetação.

Figura 42 - Umidade relativa do ar no cenário descritivo do Conjunto Confisco às 15 horas



Fonte: elaborado pela autora

Já no estudo feito por Silva *et al.* (2014) para o Bosque Gutierrez, em Curitiba, a temperatura do ar na área externa ao bosque mais elevada em média 4,4°C e a umidade relativa do ar menor em 17,8%. Em Belo Horizonte, no estudo feito por Nascimento *et al.* (2012), na Estação Ecológica de Belo Horizonte, a diferença de temperatura do ar média entre a área da mata e a área urbanizada foi de 4,55°C.

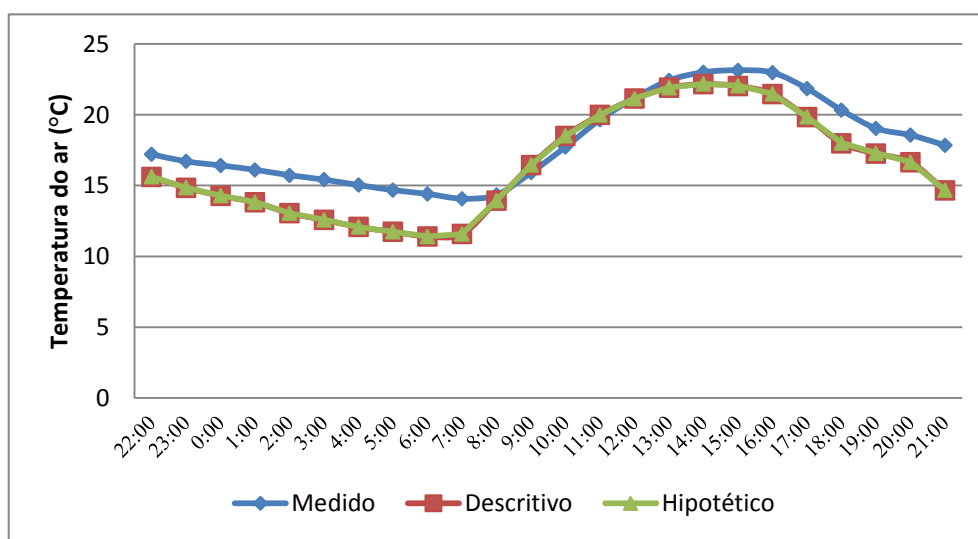
Na área do Parque do Confisco a temperatura do ar para o respectivo horário variou entre 22,51°C e 24,45°C e a umidade relativa do ar entre 62,61% e 50,06%. Na Praça do Confisco a temperatura do ar para o respectivo horário variou entre 23,16°C e 26,39°C e a umidade relativa do ar entre 62,61% e abaixo de 33%. No sistema viário a variação da temperatura do ar foi entre 27,04°C e 24,45°C e a umidade relativa do ar abaixo de 33% e 37,51%. As ruas identificadas com temperatura mais baixas e umidade mais alta foram aquelas com presença de vegetação, detectado também por Martini *et al.* (2013).

4.4 Cenário hipotético

Este cenário é dedicado a apresentar os resultados correspondentes ao aumento da arborização no sistema viário do Conjunto Confisco previamente descrito no item 3.2.3, tendo em vista os objetivos almejados nesta pesquisa. Através dos Gráficos 9, 10, 11 e 12 são exibidas as variações no período de 24 horas para os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar para o cenário hipotético, juntamente com os resultados encontrados no cenário descritivo e nas medições em campo.

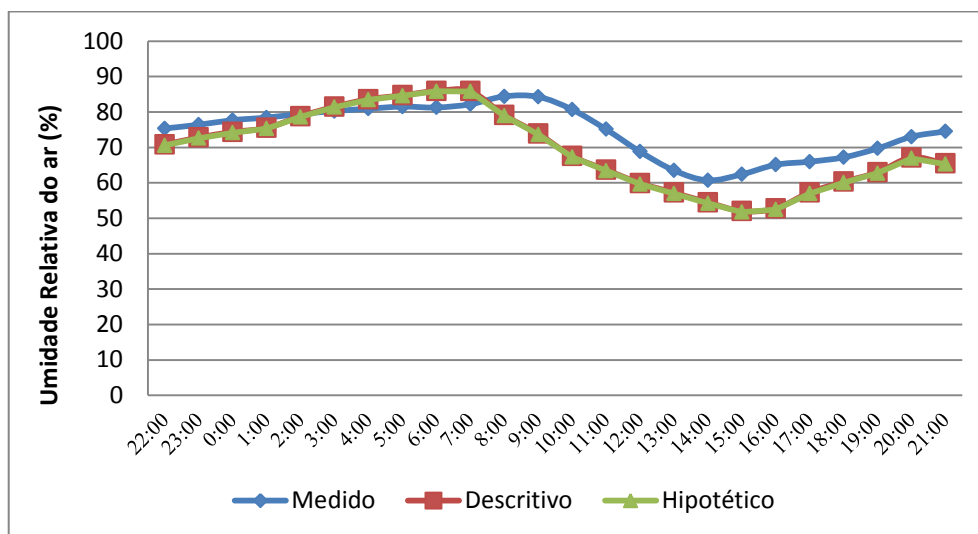
Percebe-se em relação ao Abrigo 1 (Fundação Zoobotânica e Zoológico), visto nos Gráficos 9 e 10, que os possíveis efeitos microclimáticos da inserção de arborização viária na área de estudo não tiveram influencia direta com a área de mata altamente adensada da Fundação Zoobotânica e Zoológico. A variação diária encontrada para os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar do cenário hipotético foram similares às variações encontradas para o cenário descritivo desta mesma referência.

Gráfico 9 – Dados de temperatura do ar diária para o Abrigo 1



Fonte: elaborado pela autora

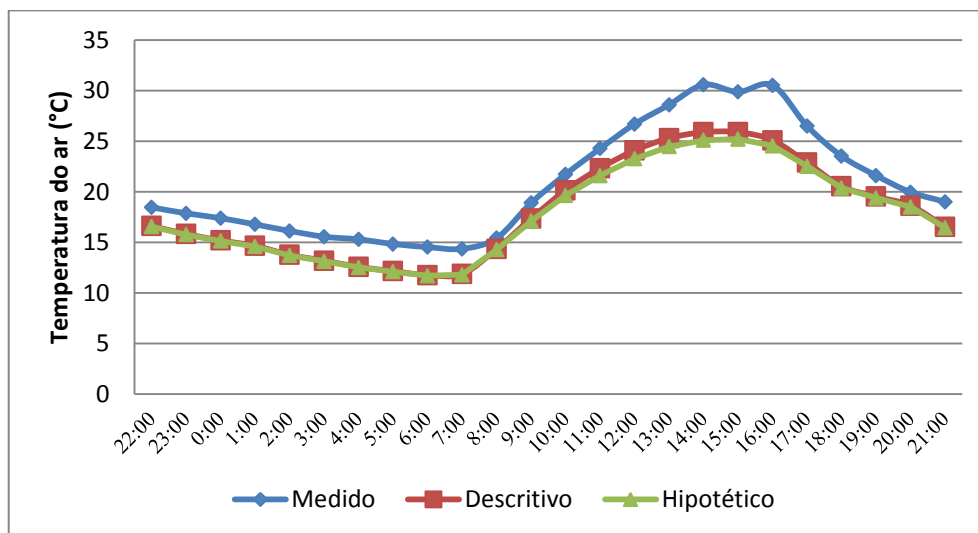
Gráfico 10 - Dados de umidade relativa do ar diária para o Abrigo 1



Fonte: elaborado pela autora

Em relação ao Abrigo 2 (Conjunto Confisco), uma pequena variação microclimática pode ser notada no período diurno, principalmente nos horários de maior radiação global entre 13 horas e 15 horas. Neste período, conforme apresentado em Gráfico 11, a temperatura do ar no cenário hipotético neste ponto de controle sofreu uma leve depressão de aproximadamente 1°C em relação ao Abrigo 2 no cenário descritivo.

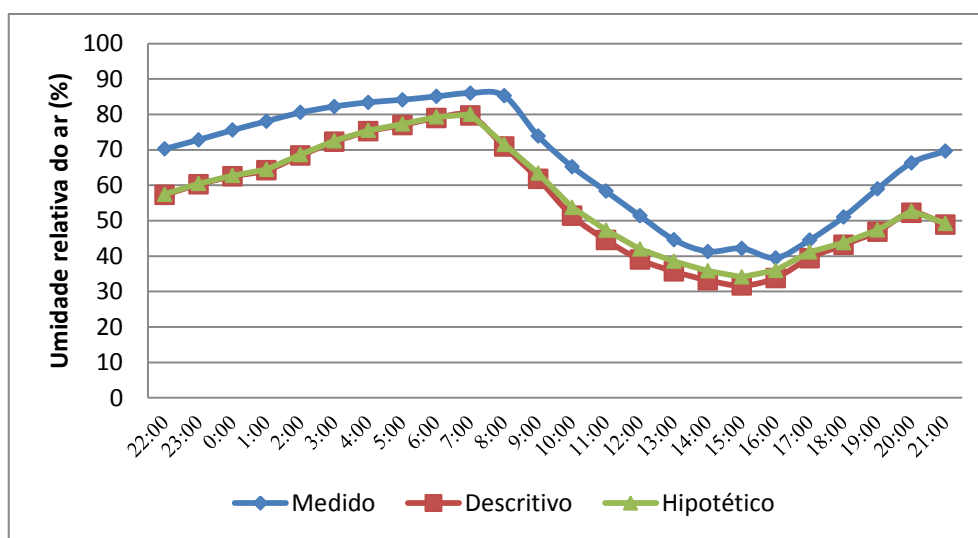
Gráfico 11 - Dados de temperatura do ar diária para o Abrigo 2



Fonte: elaborado pela autora

A umidade relativa do ar para o mesmo período apresentou uma pequena variação entre os cenários descritivo e hipotético nas horas de maior radiação solar no período diurno. A umidade relativa do ar nos períodos de maior radiação global, entre 13 horas e 15 horas, sofreu um aumento de até 3% no cenário hipotético em relação ao cenário descritivo.

Gráfico 12 - Dados de umidade relativa do ar diária para o Abrigo 2



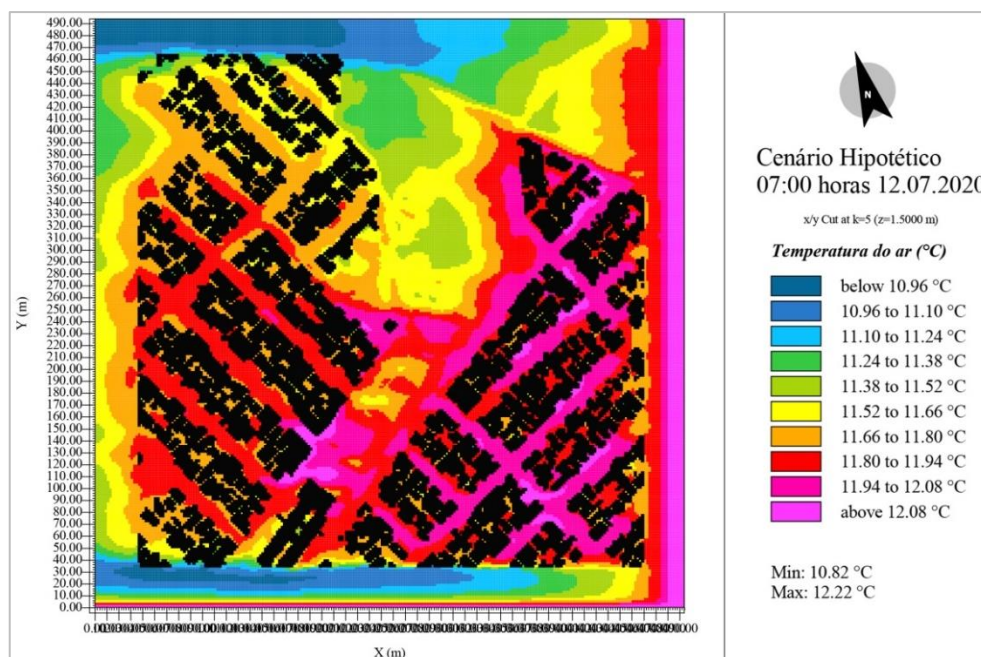
Fonte: elaborado pela autora

Os mapas da simulação hipotética gerados na ferramenta Leonardo do ENVI-Met com corte no eixo Z na altura de 1,5 metros para o dia 12 de julho de 2020 às 7 horas da manhã podem ser vistos nas Figuras 43 e 44. Nota-se, de um modo geral, que não há diferença significativa para os dados climáticos entre o cenário descritivo e a hipótese testada para este horário. A temperatura do ar máxima no cenário descritivo às 7h foi de 12,24°C e mínima 10,82°C. No cenário hipotético a máxima registrada foi de 12,22°C e mínima 10,82°C.

É possível perceber, a partir da hipótese testada, que as menores temperaturas registradas para o horário de 7 horas da manhã foram consequentemente áreas com maior índice de vegetação, o fragmento florestal pertencente à Fundação Zoobotânica e Praça e Parque do Conjunto Confisco. Assim como no cenário descritivo, na região sudeste e na região central do modelo podem ser encontrados os maiores valores para a temperatura do ar no modelo, conforme visto em Figura 43. Na região oeste do modelo observa-se uma tendência de menores valores para temperatura do ar próximo às edificações.

Em relação à arborização viária não foram encontradas alterações térmicas para este horário, exceto em locais onde foram inseridas arborizações de grande porte na região sudeste do modelo onde a temperatura do ar declinou em torno de 0,5°C.

Figura 43 - Temperatura do ar no cenário hipotético do Conjunto Confisco às 7 horas



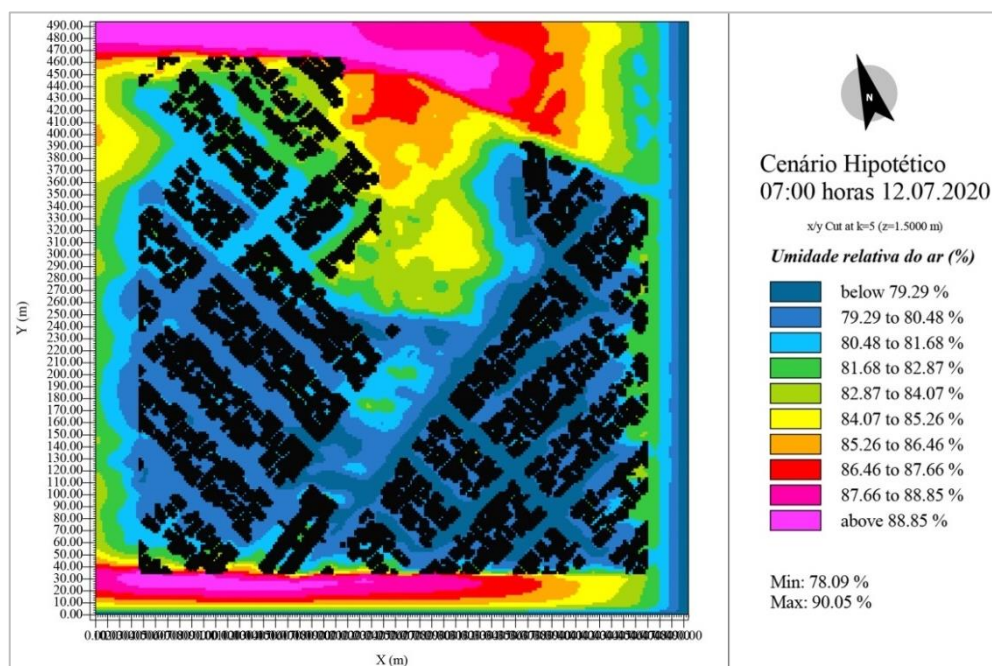
Fonte: elaborado pela autora

A variação da umidade relativa do ar no cenário exploratório no eixo Z na altura de 1,5 metros para o dia 12 de julho de 2020 às 7 horas da manhã está ilustrado em Figura 44. A umidade relativa do ar máxima no cenário descritivo foi de 90,03% e mínima 77,97%. No cenário hipotético a máxima registrada foi de 90,05% e mínima de 78,09%.

Assim como o comportamento da temperatura do ar a partir da hipótese testada, não se encontrou alterações em relação à umidade relativa do ar para as regiões do fragmento florestal pertencente à Fundação Zoobotânica e Zoológico.

Um pequeno aumento da umidade relativa do ar, em torno de 3%, pode ser observado no centro do modelo no Parque do Confisco, embora neste local não tenham sido inseridas novas espécies arbóreas. Este fenômeno pode ser justificado pela inserção de novas árvores nas ruas próximas a esta área associada à ventilação predominantemente leste, tendo em vista que, de acordo com Chen *et al.* (2018), a velocidade do vento pode ajudar a dispersar o efeito de resfriamento na direção do vento predominante.

Figura 44 - Umidade relativa do ar no cenário hipotético do Conjunto Confisco às 7 horas



Fonte: elaborado pela autora

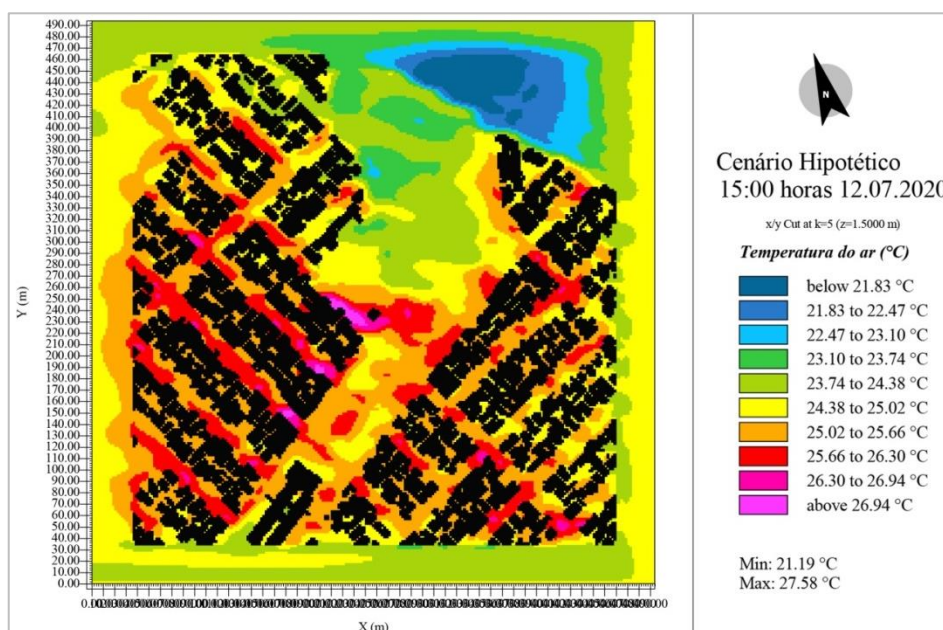
Nas ruas onde foram inseridos novos indivíduos arbóreos, para o horário de 7h da manhã, as condições microclimáticas variaram em aproximadamente 0,5°C de redução na temperatura do ar e aumento de 3,6% na umidade relativa do ar.

Os mapas da simulação hipotética para o horário de 15h com corte na altura de 1,5m podem ser vistos nas Figuras 45 e 46. No cenário descritivo, a temperatura do ar no respectivo horário foi máxima de 27,68°C e mínima 21,22°C. No cenário hipotético a máxima registrada foi de 27,58°C e mínima 21,19°C. Neste caso é importante destacar que, embora as diferenças de temperatura máxima e mínima registradas nos modelos sejam relativamente baixas, em comparação ao cenário descritivo, observa-se que a presença da arborização provocou redução na temperatura do ar e aumento da umidade relativa do ar em diversas áreas do território.

Assim como no cenário descritivo para o horário de 15 horas, a maior estabilidade das variáveis microclimáticas correspondeu ao interior do fragmento florestal, fenômeno constatado também por Biondi *et al.* (2011). A variação da temperatura do ar ao longo do dia foi de aproximadamente 9°C para a área de alta densidade arbórea enquanto na área urbanizada foi de 16°C. A umidade do ar variou em 23% no fragmento florestal e 46% no meio urbano.

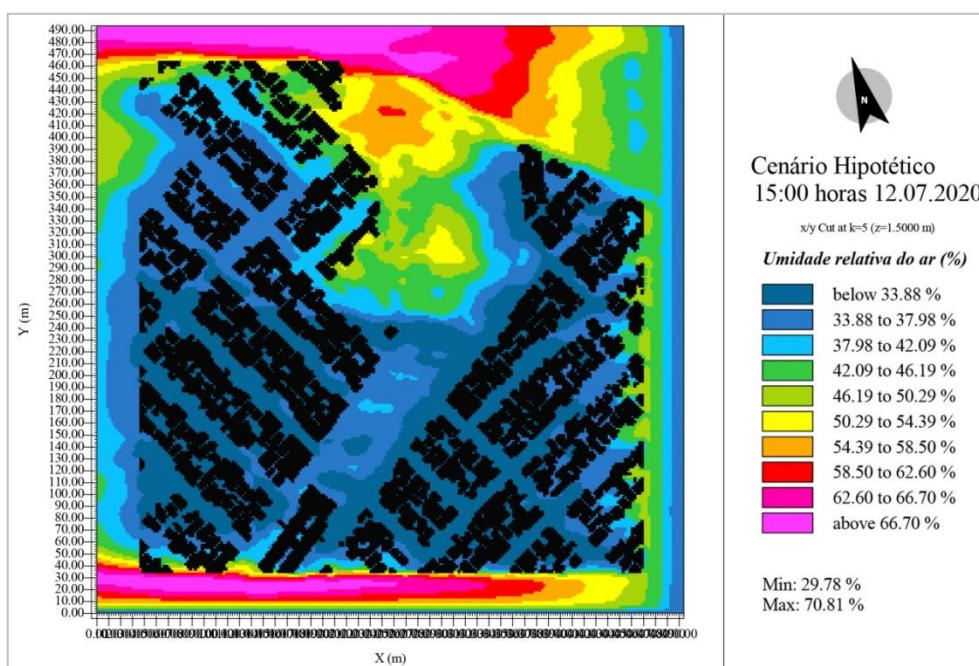
Diferentemente do comportamento identificado para 7 horas da manhã, o raio de influência do fragmento florestal da Fundação Zoobotânica e Zoológico para 15 horas demonstrou exercer menor influência na área urbanizada do seu entorno e maior relação com áreas mais arborizadas e menos adensadas adjacentes no Parque do Conjunto Confisco.

Figura 45 - Temperatura do ar no cenário hipotético do Conjunto Confisco às 15 horas



Fonte: elaborado pela autora

Figura 46 - Umidade relativa do ar no cenário hipotético do Conjunto Confisco às 15 horas



Fonte: elaborado pela autora

Os efeitos térmicos provocados pela presença da vegetação no sistema viário variaram em torno de 2°C nas proximidades dos indivíduos arbóreos. Sabe-se, segundo Li *et al.* (2018), que a arborização quando posicionada estrategicamente pode interceptar a extinção da radiação, em função do seu sombreamento, e provocar como consequência redução na temperatura do ar.

Em relação a umidade relativa, os valores encontrados no cenário descritivo para 15 horas foram de 70,97% máxima e 29,15% mínima. No cenário hipotético a máxima registrada para este respectivo horário foi de 70,81% e mínima de 29,78%.

Um comportamento similar à variação da temperatura do ar pode ser visto com o aumento de arborização na área de estudo em relação à umidade relativa do ar. Não foram observados aumentos relevantes em relação à essa variável no fragmento florestal assim como no Parque e Praça do Confisco. Observa-se, no entanto, na Figura 46, o aumento quantitativo em relação à umidade relativa do ar em alguns pontos focais na área urbanizada, principalmente no sistema viário na região sudeste e central em até 8%. Estas alterações no modelo sobre a umidade relativa do ar podem ser compreendidas em função de algumas justificativas: i) em função do processo de evapotranspiração arbórea; ii) a direção do vento predominante leste; iii) a conformação da malha urbana orientada a favor da ventilação; iv) o arranjo arbóreo nas ruas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal identificar influência microclimática da vegetação de porte arbóreo em uma ocupação consolidada vulnerável às mudanças climáticas no município de Belo Horizonte. A metodologia utilizada teve como base o processo de elaboração de modelos a partir do método indutivo, partindo de características de um estudo de caso comparando-o com casos similares, visando a generalização do fenômeno. As técnicas de observação extensivas diretas utilizadas foram agrupadas em três categorias que serviram de base para a caracterização microclimática local e construção de modelos de simulação representativos: a fase de coleta de dados, a modelagem numérica e a etapa de simulação.

Primeiramente foram realizadas coletas das séries climáticas nas estações convencional e automática do 5°DISME/INMET que serviram como arcabouço teórico para a caracterização de um dia médio de céu claro para o período seco do município de Belo Horizonte e também como dados de entrada no ENVI-Met. Concomitante à este processo foram realizadas coletas de dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar por termo-higrômetros em abrigos meteorológicos que serviram para a caracterização microclimática local e para validação da representatividade dos modelos de calibração e descritivos no ENVI-Met.

A partir dos dados monitorados em campo por abrigos meteorológicos, pode-se perceber a variação microclimática encontrada no meio urbanizado e em uma área altamente arborizada, que demonstrou ser significativa e relevante para a compreensão do ecossistema local e suas variações climáticas. Em comparação com as medições realizadas na área urbanizada do Conjunto Confisco, os dados encontrados na área de fragmento florestal da Fundação Zoobotânica e Zoológico demonstraram maior estabilidade microclimática ao longo do período, além de menores valores em relação à temperatura do ar máxima de 7,43°C a menos do que na área urbanizada, e umidade relativa do ar máxima de 21,20% a mais na área arborizada. A análise do território a partir destas variáveis demonstrou estar em congruência em relação à literatura publicada sobre o tema.

Além da compreensão do território a partir de variáveis microclimáticas foi feito também um levantamento das características físicas e morfológicas para a elaboração da modelagem numérica por meio de cenários representativos da área. O primeiro cenário foi construído a partir de um recorte de uma área de mata pertencente à Fundação Zoobotânica e Zoológico,

visando validar os três principais módulos para a simulação utilizando o ENVI-Met: o Modelo Limite 1D, o Modelo Atmosférico 3D e o Modelo de Solo 3D. Diversos ajustes foram feitos nos respectivos módulos para uma maior representatividade dos dados simulados em relação à realidade.

Tendo validado os dados empíricos e a simulação a partir de testes estatísticos de concordância, realizou-se o mesmo procedimento em uma área física mais ampla que fosse representativa da área de estudo, o Conjunto Confisco. Uma nova rodada de simulações foi feita utilizando como referência a elaboração de um novo Modelo Atmosférico 3D e o Modelo Limite 1D e o Modelo de Solo 3D previamente calibrados.

As simulações no ENVI-Met mostraram que as alterações microclimáticas consequentes da presença da vegetação em um território tem relação direta com o seu arranjo. Observou-se que os arranjos de vegetação com o maior número de indivíduos arbóreos tendem a influenciar as variáveis climáticas (temperatura do ar e umidade relativa do ar) em maiores proporções, além de apresentarem maior estabilidade microclimática. No geral, a variação da temperatura do ar ao longo do dia foi de aproximadamente 9°C para a área de alta densidade arbórea do fragmento florestal da Fundação Zoobotânica e Zoológico, enquanto na área urbanizada foi de 16°C. A umidade do ar média variou no período diário em 23% no fragmento florestal e 46% no meio urbano.

Para o horário de 7h da manhã o fragmento florestal apresentou uma diferença de aproximadamente 1,42°C na temperatura do ar e 12,06% de umidade relativa do ar. O Parque e Praça do Confisco tiveram uma diferença microclimática em relação à área urbanizada, para o horário de 7h da manhã, de 1°C na temperatura do ar e 4% na umidade relativa do ar. Ainda que em menor proporção, o arranjo da arborização com menor número de indivíduos apresentou tendências em influenciar ao microclima em escala local, até 0,5°C na temperatura do ar e 2,5% na umidade relativa do ar, esse podendo variar em função das espécies.

Para o horário de 15 horas, a diferença encontrada foi de 6,5°C na temperatura do ar e em torno de 20% na umidade relativa do ar entre o fragmento florestal e a área urbanizada. No Parque do Confisco a diferença média em relação à área urbanizada foi de 4,2°C para a temperatura do ar e 27,18% em relação à umidade relativa do ar. Na Praça do Confisco a diferença média encontrada em comparação à área urbanizada foi de 2,9°C para a temperatura do ar e 18% em relação à umidade relativa do ar. No sistema viário a variação da temperatura

do ar foi entre 27,04°C e 24,45°C e a umidade relativa do ar abaixo de 33% e 37,51%.

Percebeu-se também que o comportamento da vegetação e do seu potencial de evapotranspiração dependem diretamente das características do solo e da disponibilidade hídrica. Sobre este ponto é importante ressaltar que o ENVI-Met mostrou-se útil em representar a dinâmica entre solo – superfície – atmosfera, conforme visto nos resultados discutidos no item 4.3 e 4.4, no entanto este mesmo *software* apresentou pouca acurácia em representar os efeitos da urbanização, como a impermeabilidade do solo, subestimando seu potencial. Neste caso, além do avanço da ferramenta de simulação micrometeorológica, para estudos mais aprofundados do comportamento da vegetação, sugerem-se investigações mais detalhadas sobre a variação do comportamento da vegetação em função de ações antropogênicas. Além disso, sobre esta lacuna identificada no *software* deve-se perseguir também uma descrição mais detalhada dos parâmetros de solo do município de Belo Horizonte através da coleta de dados em campo para descrição pedológica e da capacidade de água disponível nos horizontes do solo em diversas profundidades.

A relação da vegetação com o microclima urbano demonstrou ter relação direta também com os parâmetros de radiação solar e da caracterização do vento predominante. Do ponto de vista térmico, a vegetação tendeu a provocar reduções na temperatura do ar por meio do sombreamento. Já a ventilação demonstrou gerar impacto no raio de influência da vegetação no território através da condução da umidade relativa do ar em função da velocidade e direção predominante dos ventos.

Em relação ao procedimento de simulação, observou-se que esta se mostrou útil não apenas como forma de compreensão da influência da arborização em seus diversos arranjos, mas também se mostrou igualmente valiosa como base para simulações hipotéticas que podem servir de subsídio para o planejamento urbano. A partir do cenário exploratório testou-se as possíveis alterações do clima em função da legislação sobre a arborização viária.

Para o horário de 7h da manhã, não se encontrou diferenças microclimáticas significativas na hipótese testada para as regiões do fragmento florestal pertencente à Fundação Zoobotânica e Zoológico em relação ao cenário descritivo. No Parque do Confisco houve um aumento de 3% na umidade relativa do ar em relação ao cenário descritivo. No sistema viário, nas ruas onde foram inseridos novos indivíduos arbóreos, notou-se uma redução na temperatura de 0,5°C e um aumento de 3,6% na umidade relativa do ar em relação às mínimas encontradas

em toda poligonal do modelo.

Já para o horário de 15h, não foram encontradas diferenças significativas entre o cenário hipotético em relação ao cenário descritivo na área do Fragmento Florestal, Praça e Parque do Confisco. Notou-se, no entanto, que o raio de influência do fragmento florestal da Fundação Zoobotânica e Zoológico para esse horário tendeu a exercer menor influência sobre a área urbanizada do seu entorno e maior relação com as áreas mais arborizadas e menos adensadas do Parque do Confisco. Os efeitos térmicos encontrados a partir da inserção de arborização viária foi em torno de 2°C nas proximidades destes novos indivíduos arbóreos. Sobre a umidade relativa do ar, notou-se um aumento de até 8% no sistema viário nas regiões sudeste e central da poligonal do modelo em relação às máximas registradas para o respectivo horário.

Os resultados obtidos chamaram atenção para duas questões de igual importância. A primeira é para a interrelação da vegetação com o meio urbano e seus efeitos. Ainda que em menor escala, esta deve ser considerada. O segundo é para os arranjos da vegetação do território associada à conformação da malha urbana para se criar o “clima urbano ideal”. Sobre este ponto nota-se que embora a influência microclimática dos arranjos da vegetação propostos pela aplicação da legislação tenham tido ação majoritariamente local, estes foram em alguns casos potencializados em função da conformação da malha urbana e da dinâmica ecossistêmica através da integração dos recursos naturais. Neste caso, para níveis de desenho e planejamento urbano deve-se ressaltar a compreensão da dinâmica entre as diversas escalas do território em relação ao clima urbano, associado à sua camada urbanizada.

Diante do exposto, sugere-se os seguintes pontos norteadores para que sejam conduzidos novos estudos futuros: analisar o território a partir de índices de conforto térmico urbano; realizar estudos sobre as espécies tropicais visando complementar o banco de dados de arborização no ENVI-Met; explorar a análise do clima local a partir de outras escalas, contemplando a área da Mata do Conjunto Confisco; realizar estudos preditivos com a simulação de cenários hipotéticos como auxílio para a análise dos possíveis efeitos da verticalização neste território em relação ao clima urbano.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Loyde Vieira de. **Avaliação da escala de influencia da vegetação no microclima por diferentes espécies arboreas**. 2008. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. **Landscape and Urban Planning**, v. 138, p. 99-109, 2015.
- AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Argissolos Vermelho-Amarelos. **EMBRAPA**, Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn0pzmhe02wx5ok0liq1mqk4130gy.html>. Acesso em 29 jan. 2021.
- ALI-TOUDERT, Fazia. **Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate**. 2005. 224p. Dissertation - Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, Freiburg, 2005.
- ANTUNES, G. A. *et al.* Estudo dos microclimas do Parque Marinha do Brasil, Porto Alegre–RS. **Scientia Tec**, v. 4, n. 2, p. 36-48, 2017.
- ASAWA, T.; FUJIWARA, K. A Novel Estimation of Sensible and Latent Heat Fluxes from the Whole-Tree Crown of an Isolated Tree in Japanese Summer. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings...**New York: IAUC, 2018.
- ASSIS, Wellington Lopes. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial**. 2010. 299f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- 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 LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Brasília, 2013. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2013.
- BEZERRA, P. E.; MORAES, E. T.; SOARES, I. Análise da temperatura de superfície e do índice de vegetação no município de Belém na identificação das ilhas de calor. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 803-818, 2018.
- BHMAP. **Mapa de divisão regional do município de Belo Horizonte, 2019**. Disponível em: <<http://bhmap.pbh.gov.br>>. Acesso em: 02 set. 2019.
- PMC. **Boletim de Informações e Dados Urbanos de Contagem**. Disponível em: <<https://is.gd/mA227j>>. Acesso em 20 de maio de 2020;
- BIONDI, D. *et al.* O efeito microclimático do bosque Capão da Imbuia na cidade de Curitiba-PR, Brasil. In: V Congresso Forestal Latino americano, Peru, 2011. **Anais...**Lima: Facultad de Ciencias Forestales La Molina, 2011.
- BONAN, Gordon. **Ecological climatology: concepts and applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. 754 p.
- BRADY, Nyle; WEIL, Ray. **The nature and properties of soils**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008. 1104p.

BRASIL. **Lei Federal Complementar nº 14 de 8 de junho de 1973**. Brasília: Senado Federal, 1973.

BRASIL. **Deliberação Normativa Nº 69 de 30 de Agosto de 2010**. Estabelece normas para o plantio de árvores em logradouros públicos, em substituição à Deliberação Normativa nº 09, de 08 de julho de 1992. Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. 3p.

BRUSE, Michael. **ENVI-met implementation of the Jacobs A–gs Model to calculate the stomata conductance**. 2004. Disponível em <http://www.envi-met.net/documents/new_a_gs.pdf> Acesso em 02 set. 2019.

CALFAPIETRA, C. *et al.* Role of biogenic volatile organic compounds (BVOC) emitted by urban trees on ozone concentration in cities: a review. **Environmental Pollution**, v. 183, p. 71-80, 2013.

CHEN, Y. C. *et al.* Measurement and Analysis of the Cooling Effect on Urban Green Space in Tainan—a Case Study. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings...**New York: IAUC, 2018.

CHEN, X. *et al.* Canopy transpiration and its cooling effect of three urban tree species in a subtropical city-Guangzhou, China. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 43, p. 126368, 2019.

CHWIF, Leonardo. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. 1999. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

COMPASSO-UFMG. **Relatório Técnico: Memória e História do Conjunto Confisco em Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 2018.

COSTA, Walter Duarte. **Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte-MG**. 2002. 435f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DAHLAN, Endes. Physical characters of trees and their effects on microclimate (Case Study at Urban Forest and Green Open Space at Semarang City). **Forum Geografi**, v. 28, n. 1, p. 83-90, 2016.

DALE, Adam; FRANK, Steven. Urban warming trumps natural enemy regulation of herbivorous pests. **Ecological Applications**, v. 27, n. 7, p. 1596-1607, 2014.

DAVID, A. *et al.* Longterm impact of climate on tree-growth patterns in Paris street trees and its consequences on tree cooling potential: a dendroclimatic approach. In: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, France, 2015. **Proceedings...**Toulouse: IAUC, 2015.

DAY, S. D. *et al.* Tree root ecology in the urban environment and implications for a sustainable rhizosphere. **Journal of Arboriculture**, v. 36, n. 5, p. 193-205, 2010.

DECLÉT-BARRETO, J. *et al.* Creating the park cool island in an inner-city neighborhood: heat mitigation strategy for Phoenix, AZ. **Urban Ecosystems**, v. 16, n. 3, p. 617-635, 2013.

DODONOV, Pavel. **Influência de borda sobre vegetação e microclima no cerrado paulista**. 2011. 88f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

ECHENIQUE, M. **Modelos: una discusión**. In: MARTIN, L. MARCH, L. ECHENIQUE, M. La estructura del espacio urbano. Barcelona: G. Gili, p. 235-248, 1975. ISBN 10: 8425208300 ISBN 13: 9788425208300

EMMANUEL, R.; ROSENlund, H.; JOHANSSON, E. Urban shading – a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 1995-2004, 2007.

ENVI-MET. **DECODING URBAN NATURE**. Companie Journal. 2020. Disponível em: <<https://www.envi-met.com>>. Acesso em 20 set. 2019.

FRANCISCO, Rubia Cecilia Augusta. **Clima urbano: um estudo aplicado a Belo Horizonte, MG**. 2012. 122f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) –Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

FEITOSA, S. M. R. *et al.* Consequências da Urbanização na Vegetação e na Temperatura da Superfície de Teresina–Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 2, p. 58-75, 2019.

GALLO, B. C.; ALVAREZ, I. A.; GARÇON, E. A. M. Comparação entre temperatura de superfície e presença de vegetação viária em dois bairros de Campinas-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013.

GROAT, Linda N.; WANG, David. **Architectural research methods**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013. 468 p.

HARREL, Charles; TUMAY, Kerim. **Simulation Made Easy: A Manager's Guide**. Inst of Industrial Engineers: Engineering and Norcross. 1995. 331 p.

HIRASHIMA, Simone Queiróz da Silveira. **Percepção sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços urbanos abertos do município de Belo Horizonte-MG, Brasil**. 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos demográficos 2000 e 2010**. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=destaques>>. Acesso em 25 ago. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. IPCC Working Group II Contribution to AR5. 2014a.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. IPCC Working Group II Contribution to AR5. 2014b.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas** de 1981 a 2010. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária- Departamento Nacional de Meteorologia, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Consulta ao banco de dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Belo Horizonte (MG). Disponível em: <<http://inmet.gov.br>>. Acesso em: 2 set. 2020.

JACOBS, Cornelis Maria Johannes. **Direct impact of atmospheric CO2 enrichment on regional transpiration**. Dissertation (Meteorology and Air Quality), Agricultural University Wageningen, Wageningen, 1994.

KATZSCHNER, Lutz. The contribution of urban climate studies to a new urbanity. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VI ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Alagoas, 2005. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.

KERESZTESOVÁ, S.; KLEIN, J.; RÓZOVÁ, Z. Evaluation of microclimatic data on localities with different ratio of vegetation in urban environment. **Ekologia**, v.33, n.4, p.301-306, 2014.

KONARSKA, J. *et al.* Tree health, growth and cooling effects at contrasting urban sites in Gothenburg, Sweden. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings...**New York: IAUC, 2018.

LARCHER, Walter. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, Artes e Textos, 2004. 550p.

LAKATOS, Eva Maria. MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**, v. 8, 2017. 333p.

LI, Y. *et al.* Spatial and temporal patterns of microclimates at an urban forest edge and their management implications. **Environmental monitoring and assessment**, v.190, n.2, p.93, 2018.

LIN, P.*et al.* The impact of urban design descriptors on outdoor thermal environment: a literature review. **Energies**, v.10, n.12, p.2151, 2017.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucited. 1985. 244p.

MARTINI, Angeline. **Análise quantitativa das variáveis meteorológicas em diferentes tipologias de floresta urbana de Curitiba-PR**. 2016. 130f. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2016.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Influência da arborização de ruas na atenuação dos extremos meteorológicos no microclima urbano. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.1685-1695, 2013.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Urban forest components influencing microclimate and cooling potential. **Revista Árvore** [online], v. 41, n. 6, 2017.

MINTZ, Vania. A Educação Ambiental Na Pampulha: Entre o discurso e a prática. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina, São Paulo, 2005. Anais... São Paulo: USP, 2005.

MORAES, E. T. I. *et al.* Análise da temperatura de superfície e do índice de vegetação no município de Belém na identificação das ilhas de calor. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 803-818, 2018.

MOREIRA, José Aloísio Alves; SILVA, Clemente José Carneiro Gusmão. Características de retenção de água de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Goiana, Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, n. 4, p. 411-418, 1987.

MUKHERJEE, Arideep .; AGRAWAL, Madhoolika. The influence of urban stress factors on responses of ground cover vegetation. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.36, p.36194-36206, 2018a.

MUKHERJEE, Arideep .; AGRAWAL, Madhoolika. Use of GLM approach to assess the responses of tropical trees to urban air pollution in relation to leaf functional traits and tree characteristics. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.152, p.42-54, 2018b.

MUSSETTI, G. *et al.* Modeling the citywide impact of urban vegetation: an application to Zurich and Singapore. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings...**New York: IAUC, 2018.

NASCIMENTO, D. D. *et al.* Microclimas na Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais. In: XVII Encontro Nacional de Geógrafos, Minas Gerais, 2012. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2012.

OKE, Timothy Richard. Evapotranspiration in urban areas and its implications for urban climate planning. In: CONFERENCE TEACHING THE TEACHERS ON BUILDING CLIMATOLOGY, 1973. **Proceedings ...**Estocolm: The National Swedish Institute for Building Research, 1973.

OKE, Timothy Richard. **Boundary layer climates**, London: Methuem& Co. LTD, 1978. 372p.

OKE, T. R. *et al.* **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 542 p.

OLIVEIRA, M. T.; CALIJURI, M. L.; MARQUES, E. A. G. Automação Automação Digital Dos Estudos Geológicos, Hidrogeo-Lógicos, Geotécnicos E Geoambientais Integrados No Município De Belo Horizonte, MG. In: 6º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, Minas Gerais, 2007. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2007, p. 202.

ONSET. **HOBO U12-012 Data Logger Specifications**. Disponível em: <https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/13128-C%20U12-012%20Manual.pdf>. Acesso em: 10 março 2020.

ONU NEWS. **Mais de 90% da população brasileira viverá em cidades em 2030**. Outubro 2016. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2016/10/1566241-mais-de-90-da-populacao-brasileira-vivera-em-cidades-em-2030#:~:text=Mais%20de%2090%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o%20brasileira%20deverem%20viver%20em%20cidades,%2C%20no%20Brasil%2C%20Rayne%20Ferretti>>. Acesso em 25 ago. 2020.

OWEN, S. M. *et al.* Biogenic volatile compound (VOC) emission estimates from an urban tree canopy. **Ecological Applications**, v. 13, n. 4, p. 927-938, 2003.

PATAKI, Diane. Urban greening needs better data. **Nature** [Correspondence], v. 502, n. 7473, p. 624, 2013.

PATAKI, D. *et al.* Transpiration of urban forests in the Los Angeles metropolitan area. **Ecological Applications**, v. 21, n. 3, p. 661-677, 2011.

PAULA, I. F. M.; PIMENTEL, F. O.; FERREIRA, C. C. M. Correlação Entre A Temperatura De Superfície E O Índice Vegetativo No Perímetro Urbano De Juiz De Fora/MG. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 6, n. 4, 2016.

RANTZOU, E. C.; GEORGI, J. N. Correlation between the geometrical characteristics of streets and morphological features of trees for the formation of tree lines in the urban design of the city of Orestiada, Greece. **Urban ecosystems**, v. 20, n. 5, p. 1081-1093, 2017.

REBELATTO, D.; LEAL, T. S.; MORAES, C. P. Fenologia de duas espécies de ipê em área urbana do município de Araras, São Paulo, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2019.

RITCHIE, H.; ROSER, M. **Urbanization**. September 2018. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/urbanization>>. Acesso em 11 mar. 2019.

ROSA, Deyvid Wavel Barreto. **Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana-Bacia do Córrego do Leitão, Belo Horizonte, Minas Gerais**. 2017. 220f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)- Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SALT, John D. Simulation should be easy and fun! In: 25th CONFERENCE ON WINTER SIMULATION (WSC '93). 1993. **Proceedings...** New York: Association for Computing Machinery, 1993.

SHANNON, Robert. **Systems simulation; the art and science**. New Jersey: Prentice - Hall, 1975. 397 p.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and buildings**, v. 31, n. 3, p. 221-235, 2000.

SHASHUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, D.; ERELL, E. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. **Landscape and Urban Planning**, v. 92, n. 3-4, p. 179-186, 2009.

SHIFLETT, S. A. *et al.* Variation in the urban vegetation, surface temperature, air temperature nexus. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 495-505, 2017.

SHINZATO, Paula; DUARTE, Denise Helena Silva. Microclimatic effect of vegetation for different leaf area index-LAI. **PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE**, 2012.

SHINZATO, Paula; DUARTE, Denise Helena Silva. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 197- 215, 2018.

SHINZATO, P. *et al.* Calibration process and parametrization of tropical plants using ENVI-met V4– Sao Paulo case study. **Architectural Science Review**, v. 62, n. 2, p. 112-125, 2019.

SILVA, D. A. *et al.* Influência microclimática do Bosque Gutierrez na cidade de Curitiba-PR, Brasil. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19, p. 2327 - 2338, 2014.

SILVA, M. S.; ASSIS, E. S.; MUZZI, M.R.S. A Influência da Vegetação no Clima Urbano: Visão Preliminar e uma Questão. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E XI ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Paraíba, 2019. **Anais...** João Pessoa: ANTAC, 2019.

SILVA, Wilton Dias da. **Arborização de vias urbanas: potencial de sombreamento das espécies**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

SIMON, Helge. **Modeling Urban Microclimate. Development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met**. 2016. These (Dokortitel in Fachbereich Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften), Universitat Mainz, Mainz, Deutschland, 2016.

SIMON, H. *et al.* Modeling transpiration and leaf temperature of urban trees – A case study evaluating the microclimate model ENVI-met against measurement data. **Landscape and urban planning**, v.174, p. 33-40, 2018.

SMITH, I. A.; DEARBORN, V. K.; HUTYRA, L. R. Live fast, die young: accelerated growth, mortality and turnover in street trees. **PLoS ONE**, v. 14, n. 5, 2019.

SPIRN, Anne Whiston. **O Jardim de granito a natureza no desenho da cidade**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995. 3445p.

SNYDER, P. K.; DELIRE, C.; FOLEY, J. A. Evaluating the influence of different vegetation biomes on the global climate. **Climate Dynamics**, v.23, p. 279-302, 2004.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.888p.

TALEGHANI, M. *et al.* Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. **Solar Energy**, v. 103, p. 108-124, 2014.

TESHIROGI, J.; ISHIDA, Y.; MOCHIDA, A. Study on Long-term Measurement of Transpiration from Multiple Urban Vegetation for Grasping Latent Heat Consumption under Various Conditions. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, United States of America, 2012. **Proceedings...**New York: IAUC, 2018.

TOPARLAR, Y. *et al.* The effect of an urban park on the microclimate in its vicinity: a case study for Antwerp, Belgium. **International Journal of Climatology**, v. 38, p. 303-322, 2018.

TORRESANI, B. D. C. G. *et al.* Análise da cobertura arbórea no município de guarulhos (sp), como um dos indicadores da variação de temperatura superficial e da qualidade ambiental. **Revista Geociências**, v. 15, n. 2, p. 94-105, 2016.

UNITED NATIONS, Population Fund (UNFPA). **Earlier UN estimates indicated that this urban transition would occur in 2007**. 2007. In: UN-HABITAT. State of the World's Cities 2008/9: Harmonious Cities. London: Earthscan, 2008.

UNITED NATIONS, Population Fund (UNFPA). Human Settlements Programme. **State of the World's cities 2008/2009: Harmonious Cities**. London: Earthscan, 2008.

WANIA, A. *et al.* Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. **Journal of environmental management**, v. 94, n. 1, p. 91-101, 2012.

WATSON, G. W. *et al.* The management of tree root systems in urban and suburban settings: a review of soil influence on root growth. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 40, n. 4, p. 193 - 217 ,2015.

WAYCARBON. **Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas no Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, Vol 1, 2016. Disponível em: <<http://conteudo.waycarbon.com/resumo-para-os-tomadores-de-decisao-estudo-de-vulnerabilidade-as-mudancas-climaticas-de-belo-horizonte>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

YANG, W.; LIN, Y.; LI, C. Effects of landscape design on urban microclimate and thermal comfort in tropical climate. **Advances in Meteorology**, v. 2018, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2809649>.

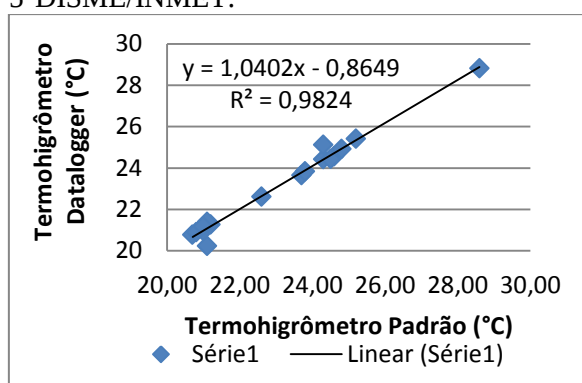
ZHAO, S.; LIU, S.; ZHOU, D. Prevalent vegetation growth enhancement in urban environment. **PNAS**, v. 113, n. 22, p. 6313-6318, 2016.

APÊNDICE

Resultado do procedimento de aferição dos termo-higrômetros

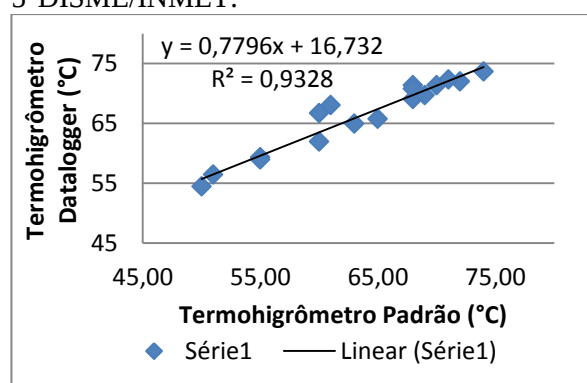
O procedimento de aferição da instrumentação usada na coleta de dados para esta pesquisa foi realizado conforme descrito no item 3.1.2. A comparação entre os dados obtidos nos termo-higrômetros #904039 e #904034 em relação aos pares psicrométricos do 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (5ºDISME/INMET) demonstraram uma forte correlação. Os tratamentos estatísticos das medições realizadas no termo-higrômetro #904039 podem ser observadas nos Gráficos 13 e 14 e os dados do termo-higrômetro #904034 foram exibidos nos Gráficos 15 e 16. Os resultados encontrados em ambos termo-higrômetros demonstraram uma alta precisão e exatidão, portanto, optou-se pela não correção dos valores.

Gráfico 13 – Tratamento estatístico para os dados de temperatura do ar (°C) pelo *data logger* #904039 e dados da estação padrão do 5ºDISME/INMET.



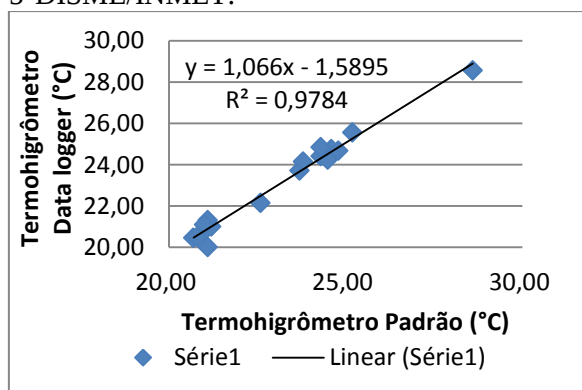
Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 14 - Tratamento estatístico para os dados de umidade relativa do ar (%) pelo *data logger* #904039 e dados da estação padrão do 5ºDISME/INMET.



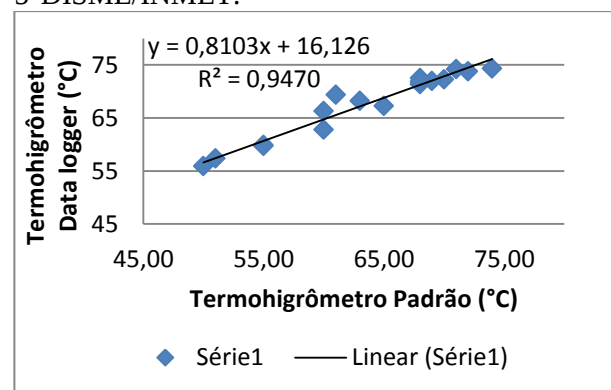
Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 15 - Tratamento estatístico para os dados de temperatura do ar (°C) pelo *data logger* #904034 e dados da estação padrão do 5ºDISME/INMET.



Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 16 - Tratamento estatístico para os dados de umidade relativa do ar (%) pelo *data logger* #904034 e dados da estação padrão do 5ºDISME/INMET.



Fonte: elaborado pela autora

ANEXO

Dados das estações meteorológicas

Dados da Estação Convencional Lourdes 5°DISME/INMET

Data	Hora	Temperatura	Umidade	Pressão	Vento		Nebulosidade	Insolação	Dados Diários		
	UTC	(°C)	(%)	(hPa)	Vel. (m/s)	Dir. (°)	(Décimos)	(h)	Temperatura Máx. (°C)	Temperatura Mín. (°C)	Chuva (mm)
04/07/2020	0	19,5	67	914	0	0		2 9	26,4		
04/07/2020	12	19,9	71	916,3	0,8	5		3		16,4	0
04/07/2020	18	25,1	43	913,9	0,8	36		6			
05/07/2020	0	20,1	72	916,4	1,6	9		0 8,8	24,7		
05/07/2020	12	19,5	65	918,3	2	36		3		16,8	0
05/07/2020	18	24,1	44	915,9	1,6	5		5			
06/07/2020	0	18,9	68	916,2	0,5	9		0 8,9	27,3		
06/07/2020	12	19,3	67	916,6	0,3	27		0		15,1	0
06/07/2020	18	26,2	33	914	1,8	36		3			
07/07/2020	0	20,2	64	915,3	0,8	36		0 9	25,1		
07/07/2020	12	19,7	65	916,3	0,8	5		0		15,2	0
07/07/2020	18	24	31	915,1	1,6	36		0			
08/07/2020	0	19,1	58	914,1	0,5	5		0 9,1	26,8		
08/07/2020	12	21,1	55	915,1	0,8	36		2		17	0
08/07/2020	18	25,7	31	912,6	1,8	18		2			
09/07/2020	0	20,3	54	914	0,5	27		2 8,5	27,9		
09/07/2020	12	21,4	51	916,8	0,8	36		0		14,9	0
09/07/2020	18	27	39	915,5	1,5	36		3			
10/07/2020	0	21,4	57	916,3	0	0		2 6,5	23,7		
10/07/2020	12	20,7	59	917,1	1,3	5		5		17,2	0
10/07/2020	18	20,9	59	916,1	2	9		10			
11/07/2020	0	18,7	71	918,1	0,5	36		0 9	26,4		
11/07/2020	12	19,4	65	918,4	1,6	5		3		16,5	0
11/07/2020	18	25,3	33	915,2	0,8	36		3			
12/07/2020	0	19	67	916,1	0,5	36		0 9	26,5		
12/07/2020	12	19	66	916,5	1,1	36		3		14,9	0
12/07/2020	18	25,4	37	914,1	1,6	27		3			
13/07/2020	0	19,6	66	915,8	0	0		0 8,7	28,2		
13/07/2020	12	17,7	70	916,2	0,5	36		2		15	0
13/07/2020	18	26,3	36	914	1	5		2			
14/07/2020	0	21,3	60	914,7	0	0		0 8,6	28,7		
14/07/2020	12	22,2	55	918,1	0,7	32		0		16,3	0
14/07/2020	18	26,6	39	914,1	1,3	32		3			
15/07/2020	0	22,7	55	916,2	1,3	32		5 8,4	24,8		
15/07/2020	12	20,6	66	917,2	1,6	5		4		18,4	0
15/07/2020	18	23,5	54	915,8	0,8	36		6			
16/07/2020	0	20,1	65	918,9	0,8	36		8 8,7	24,6		
16/07/2020	12	20,2	65	919,8	1,6	36		3		17,4	0
16/07/2020	18	24	49	917,4	2,6	36		2			
17/07/2020	0	18,8	69	918,4	3,3	36		0 8	26,6		
17/07/2020	12	19,6	61	919,9	0,8	36		1		15,3	0
17/07/2020	18	25,3	37	916,7	0,7	36		3			
18/07/2020	0	19,7	68	918	1,6	36		0 8,2	22,4		
18/07/2020	12	18,1	71	919,2	1,3	5		3		14,6	0
18/07/2020	18	21,4	48	918,9	1,6	5		6			
19/07/2020	0	18,3	62	919,2	1,6	5		0 8,7	22,8		
19/07/2020	12	16,4	68	919,5	1,6	5		2		13,9	0
19/07/2020	18	21,3	48	918,2	1,8	36		6			
20/07/2020	0	18,5	63	918,2	1,6	36		8 6,2	24,6		
20/07/2020	12	19,5	67	919,5	0,7	5		2		15,9	0
20/07/2020	18	23,4	49	917,3	1,6	5		4			

Fonte: 5° DISME/INMET

Dados da Estação Automática Pampulha 5°DISME/INMET

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
	UTC	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Vel,	Dir, (°)	Raj,	(kJ/m²)	(mm)
07/07/2020	0	15,6	16,5	15,6	39	42	38	922,6	922,6	922,3	1,5	240	5,5	-3,54	0
07/07/2020	1	14,4	15,8	14,4	43	43	39	922,8	922,9	922,6	0,2	182	3,8	-3,54	0
07/07/2020	2	14,2	14,7	13,5	43	45	42	922,9	922,9	922,8	0,7	217	2,4	-3,54	0
07/07/2020	3	13,1	14,5	12,9	46	46	41	922,6	922,9	922,5	0,8	154	2,4	-3,54	0
07/07/2020	4	11,9	13,5	11,9	50	50	44	922,4	922,6	922,4	1,2	161	2	-3,54	0
07/07/2020	5	11,2	12,1	10,9	54	54	49	922,3	922,5	922,3	0,2	10	1,8	-3,54	0
07/07/2020	6	10,1	11,9	9,9	69	69	54	922,4	922,4	922,3	0,6	354	1,7	-3,54	0
07/07/2020	7	9,5	10,2	9,2	69	70	67	922,7	922,7	922,4	0,4	255	1,6	-3,54	0
07/07/2020	8	8,4	9,6	8,3	74	74	68	923	923	922,7	0,1	64	2,1	-3,54	0
07/07/2020	9	7,7	8,9	7,7	76	76	73	923,3	923,3	923	0,4	322	1,7	-3,54	0
07/07/2020	10	7,7	8	7,3	76	77	75	924	924	923,3	0,6	309	1,4	9.566	0
07/07/2020	11	12	12,1	7,7	60	76	59	924,6	924,6	924	2,3	132	4	316,1	0
07/07/2020	12	14,6	14,7	12	50	60	50	925,2	925,2	924,6	1,7	131	4,5	1087	0
07/07/2020	13	16,8	16,8	14,2	45	51	43	925,7	925,8	925,2	1,4	80	4,1	1766	0
07/07/2020	14	18,4	18,6	16,5	38	45	37	925,4	925,7	925,4	3,1	85	7,2	2264	0
07/07/2020	15	19,5	20,5	18,2	37	42	36	924,7	925,4	924,7	2,1	102	6,2	2554	0
07/07/2020	16	20,8	21,1	19,1	34	41	34	923,6	924,7	923,6	1,8	133	5	2593	0
07/07/2020	17	21,8	22,8	20,6	29	34	27	922,8	923,6	922,8	1,6	113	4,5	2427	0
07/07/2020	18	22,4	23,2	21,4	26	30	23	922,1	922,8	922	1,3	63	4	2023	0
07/07/2020	19	21,7	22,8	21,6	31	32	25	922	922,1	921,8	1,7	98	4,3	1396	0
07/07/2020	20	20,1	22,2	20,1	36	37	30	922,6	922,6	922	2,5	92	4,4	654,8	0
07/07/2020	21	17,8	20,1	17,7	49	49	35	923,3	923,3	922,6	3,1	95	6,1	40,71	0
07/07/2020	22	16,8	17,8	16,8	52	53	49	923,9	923,9	923,3	3,4	122	6,9	-3,54	0
07/07/2020	23	15,6	16,8	15,6	53	54	51	924,5	924,5	923,9	3,8	142	7,5	-3,54	0
08/07/2020	0	14,6	15,6	14,5	52	54	51	925	925	924,5	3,7	150	8,3	-3,54	0
08/07/2020	1	14,2	14,6	14,1	52	53	51	925,6	925,6	924,9	4,8	144	10,2	-3,54	0
08/07/2020	2	13,4	14,2	13,4	55	55	52	925,9	925,9	925,6	2,7	137	9,3	-3,54	0
08/07/2020	3	13,1	13,6	13,1	56	56	54	926	926,1	925,8	1,6	124	5,6	-3,54	0
08/07/2020	4	12,8	13,1	12,6	57	58	56	926,1	926,2	926	1,6	107	4,5	-3,54	0
08/07/2020	5	12,3	12,8	12,1	60	61	57	926	926,1	925,9	2,7	125	5,9	-3,54	0
08/07/2020	6	11,7	12,4	11,7	63	63	60	926	926,1	925,9	2,7	133	5,8	-3,54	0
08/07/2020	7	11,6	11,9	11,5	65	65	63	926,2	926,2	926	2,1	123	5,8	-3,54	0
08/07/2020	8	11	11,6	10,4	69	71	65	926,1	926,3	926,1	1,9	105	4,5	-3,54	0
08/07/2020	9	11,3	11,4	11	70	71	69	926,1	926,1	926	3	113	6,4	-3,54	0
08/07/2020	10	11,9	11,9	11,2	70	71	69	926,8	926,8	926,1	2,6	105	6,4	8.352	0
08/07/2020	11	13,1	13,1	11,8	65	70	65	927,3	927,3	926,8	2,8	91	6,3	331,1	0
08/07/2020	12	14,5	14,7	13	61	65	59	927,7	927,8	927,3	3,7	95	9,2	1080	0
08/07/2020	13	16,6	16,8	14,5	54	61	54	927,9	927,9	927,7	3,7	96	8,8	1751	0
08/07/2020	14	18,6	18,7	16,2	49	56	49	927,8	927,9	927,8	3,3	109	8,8	2221	0
08/07/2020	15	20	20,5	17,9	43	50	42	927,1	927,8	927,1	2,8	92	7,3	2531	0
08/07/2020	16	20,5	20,8	19	42	46	40	926,4	927,1	926,4	3,1	82	7,5	2580	0
08/07/2020	17	20,7	20,9	19,5	40	44	38	925,8	926,4	925,8	2,6	100	7,5	2403	0
08/07/2020	18	20,1	21,4	19,9	39	43	38	925,4	925,8	925,4	2,7	101	7,6	2002	0
08/07/2020	19	20,3	21	19,9	42	42	38	925	925,4	925	2,8	67	6,4	1404	0
08/07/2020	20	18,6	20,3	18,6	46	46	40	925,1	925,1	924,9	3,3	59	6,7	678,7	0
08/07/2020	21	17,2	18,5	17,2	50	50	46	925,3	925,3	925,1	3	84	6,5	42,8	0
08/07/2020	22	16,3	17,2	16,2	54	54	50	925,5	925,5	925,2	2,5	116	6	-3,54	0
08/07/2020	23	15,9	16,4	15,8	53	54	53	925,9	925,9	925,5	1,8	100	6	-3,54	0

Fonte: 5° DISME/INMET

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
	UTC	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Vel,	Dir, (°)	Raj,	(kJ/m²)	(mm)
09/07/2020	0	15	15,9	15	56	56	53	926,4	926,4	925,9	1,9	100	4,9	-3,54	0
09/07/2020	1	14,4	15,3	14,4	57	57	55	926,5	926,6	926,4	1,8	120	5,2	-3,54	0
09/07/2020	2	14,8	14,9	14,4	55	57	55	926,2	926,5	926,2	2,2	109	4,7	-3,54	0
09/07/2020	3	13,9	14,8	13,9	58	58	55	926,3	926,4	926,2	2,5	110	5,3	-3,54	0
09/07/2020	4	13,7	14,2	13,6	58	59	57	926,1	926,3	926,1	2,2	114	4,7	-3,54	0
09/07/2020	5	13,5	13,8	13,3	59	59	58	925,7	926,1	925,7	2,1	105	4,1	-3,54	0
09/07/2020	6	12,1	13,6	12,1	65	65	59	925,5	925,7	925,5	1,6	77	5,3	-3,54	0
09/07/2020	7	12,3	12,5	11,8	65	67	65	925,5	925,5	925,4	2,7	110	5,5	-3,54	0
09/07/2020	8	11,9	12,5	11,9	68	68	65	925,7	925,7	925,5	1,9	120	5,5	-3,54	0
09/07/2020	9	11,1	12	11,1	73	73	68	926,6	926,6	925,7	1,4	80	3,5	-3,54	0
09/07/2020	10	11,3	11,3	10,5	74	76	73	927	927	926,6	2,5	121	5	8.581	0
09/07/2020	11	13,5	13,5	11,3	69	74	69	927,4	927,4	927	2,9	100	7,1	337,7	0
09/07/2020	12	15,6	15,6	13,3	62	70	62	928,1	928,1	927,4	3,5	91	7,1	1084	0
09/07/2020	13	16,3	16,8	14,7	59	65	58	928	928,1	928	3,3	115	8,3	1756	0
09/07/2020	14	19,1	19,2	16,1	51	59	48	927,6	928	927,6	2	71	6,8	2235	0
09/07/2020	15	19,4	20,2	17,6	47	52	45	927	927,7	927	2,2	118	6,7	2502	0
09/07/2020	16	20,9	21,1	19,1	40	47	40	926,2	927	926,2	2,6	126	5,7	2565	0
09/07/2020	17	20,9	21,6	20	39	42	38	925,4	926,2	925,3	2	120	6,8	2404	0
09/07/2020	18	21,6	22,3	20,6	35	41	32	924,8	925,4	924,8	1,9	91	6,3	2019	0
09/07/2020	19	21	21,9	20,9	38	39	35	924,4	924,8	924,4	2,1	77	7	1422	0
09/07/2020	20	19,3	21,2	19,3	46	46	38	924,6	924,6	924,4	2,5	81	7	696,5	0
09/07/2020	21	17,3	19,3	17,3	54	54	46	925,1	925,1	924,6	2,3	77	6,7	41,52	0
09/07/2020	22	16,8	17,5	16,6	57	58	54	925,4	925,4	925	2,6	89	6,2	-3,54	0
09/07/2020	23	16,1	16,8	16	59	59	57	925,9	925,9	925,4	2,5	87	5,3	-3,54	0
10/07/2020	0	15,2	16,1	15,2	63	63	59	926,5	926,5	925,9	1,9	96	5,5	-3,54	0
10/07/2020	1	14,6	15,5	14,6	64	64	62	926,5	926,5	926,4	2,2	86	6,7	-3,54	0
10/07/2020	2	14,1	14,9	13,9	66	66	62	926,6	926,6	926,5	0,8	89	5,2	-3,54	0
10/07/2020	3	13,7	14,1	13,2	67	69	66	926,6	926,7	926,5	1,8	119	3,3	-3,54	0
10/07/2020	4	13,4	13,8	13,4	67	68	66	926,2	926,6	926,2	2,3	113	4,2	-3,54	0
10/07/2020	5	13,3	13,5	13,1	66	68	66	925,8	926,2	925,8	1,9	122	4,2	-3,54	0
10/07/2020	6	13,4	13,4	13,2	65	66	65	925,5	925,8	925,5	1,8	113	3,6	-3,54	0
10/07/2020	7	13,1	13,4	12,8	66	67	65	925,4	925,5	925,4	1,8	115	3,1	-3,54	0
10/07/2020	8	12,5	13,1	12,5	68	68	66	925	925,4	925	1,6	117	3,3	-3,54	0
10/07/2020	9	11,9	12,5	11	71	75	68	925,2	925,3	925	1,7	130	3,3	-3,54	0
10/07/2020	10	12,4	12,4	11,9	69	71	69	925,5	925,6	925,2	2	106	3,9	7.840	0
10/07/2020	11	13,6	13,7	12,4	64	69	64	926,1	926,1	925,5	1,8	104	5,9	340,3	0
10/07/2020	12	15,9	16	13,6	58	64	57	926,6	926,6	926	3,2	93	6,3	1087	0
10/07/2020	13	18	18,5	15,9	49	58	49	926,5	926,7	926,5	2,5	81	6,4	1757	0
10/07/2020	14	19,7	20	17,3	46	54	46	925,7	926,5	925,7	2,3	107	7	2240	0
10/07/2020	15	20,5	20,6	19,2	42	48	42	924,9	925,7	924,9	2,2	89	7	2513	0
10/07/2020	16	21,1	21,5	20,1	40	45	39	924	924,9	924	2,3	129	5,6	2575	0
10/07/2020	17	21,6	22	20,5	35	43	35	923,2	924	923,2	1,7	108	5,2	2395	0
10/07/2020	18	21,8	22,8	21,6	36	38	33	922,6	923,2	922,6	1,7	44	5,2	2004	0
10/07/2020	19	22	22,4	21,3	37	39	34	922,6	922,7	922,5	1,3	99	4,4	1413	0
10/07/2020	20	20,2	22,5	20	43	43	37	922,8	922,8	922,6	1,2	59	4,4	673	0
10/07/2020	21	18,3	20,2	18,2	50	50	42	923,1	923,1	922,8	1,8	102	4,9	39,23	0
10/07/2020	22	16,9	18,3	16,9	55	55	50	923,5	923,5	923,1	0,9	87	3,6	-3,54	0
10/07/2020	23	16,3	17	16,1	59	59	55	923,6	923,6	923,5	2,3	88	5,1	-3,54	0

Fonte: 5° DISME/INMET

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
	UTC	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Vel,	Dir, (°)	Raj,	(kJ/m²)	(mm)
11/07/2020	0	15,8	16,3	15,8	60	60	59	923,7	923,7	923,6	2,1	90	5	-3,54	0
11/07/2020	1	15,2	15,8	14,9	63	64	60	924	924	923,7	1,9	99	4,7	-3,54	0
11/07/2020	2	14,8	15,3	14,7	65	65	63	923,8	924,1	923,8	2,1	106	4,9	-3,54	0
11/07/2020	3	14,4	15	14,3	67	67	64	923,5	923,8	923,5	1,6	109	4,8	-3,54	0
11/07/2020	4	14,1	14,4	14	68	68	67	923,1	923,5	923,1	1,5	108	4,6	-3,54	0
11/07/2020	5	12,5	14,1	12,5	72	72	68	922,7	923,1	922,7	0,8	96	3,2	-3,54	0
11/07/2020	6	12,6	13,2	12,4	74	74	71	922,5	922,7	922,5	0,4	116	2,2	-3,54	0
11/07/2020	7	11,6	12,7	11,6	78	78	73	922,1	922,5	922,1	0,6	160	1,1	-3,51	0
11/07/2020	8	11,2	12	11,1	79	79	77	922,3	922,3	922,1	0,6	163	1,3	-3,39	0
11/07/2020	9	10,5	11,6	10,5	82	82	77	922,6	922,6	922,2	0,1	29	1,1	-3,49	0
11/07/2020	10	10,3	10,6	9,8	84	86	82	923	923,1	922,6	0,4	176	1,1	10,01	0
11/07/2020	11	14,3	14,5	10,3	65	85	63	923,4	923,4	923	0,5	104	2,1	332,1	0
11/07/2020	12	17,2	17,4	14,3	55	66	53	923,8	923,8	923,4	1,6	94	3,6	1064	0
11/07/2020	13	19,2	19,2	17,1	48	56	47	924	924	923,8	1,4	89	4,8	1753	0
11/07/2020	14	19,7	20,5	18,6	42	48	41	923,6	924,1	923,6	1,2	23	3,9	2243	0
11/07/2020	15	20,5	21,7	19,7	34	44	33	922,8	923,6	922,8	1,6	272	4,7	2554	0
11/07/2020	16	22,4	22,8	20,4	30	37	29	921,8	922,8	921,8	1,6	347	4,4	2614	0
11/07/2020	17	23,8	24,2	22,1	26	31	25	921	921,8	921	1,6	336	4,1	2430	0
11/07/2020	18	23,7	24,4	22,8	25	27	24	920,5	921	920,5	1,1	80	3,5	2019	0
11/07/2020	19	24,4	24,7	23,6	23	26	23	920,1	920,5	920	0,2	121	2,2	1398	0
11/07/2020	20	22	24,4	21,9	34	40	23	920,3	920,3	920	0,7	3	2,6	619,4	0
11/07/2020	21	19,5	22,1	18,6	32	36	29	920,7	920,7	920,3	1,1	21	3	36,13	0
11/07/2020	22	18,9	19,9	18,9	33	33	32	921	921	920,7	0,4	201	1,8	-3,54	0
11/07/2020	23	17	18,9	17	54	54	33	921,4	921,4	921	0,2	72	3	-3,54	0
12/07/2020	0	16,4	17,7	16,4	59	59	54	921,7	921,7	921,4	0,7	109	3,3	-3,54	0
12/07/2020	1	15,3	16,8	15,3	63	63	58	921,7	921,8	921,7	0,5	136	2	-3,54	0
12/07/2020	2	13,9	15,4	13,9	68	68	63	921,7	921,8	921,6	0	4	1,8	-3,54	0
12/07/2020	3	13,8	14,3	13,5	68	69	67	921,6	921,9	921,6	0,6	147	1,2	-3,54	0
12/07/2020	4	13,9	14,3	13	67	72	67	921,4	921,6	921,4	0,3	157	1,4	-3,54	0
12/07/2020	5	12,2	13,9	12,1	76	76	67	921,3	921,5	921,3	0	113	1,2	-3,53	0
12/07/2020	6	12	12,6	11,8	76	78	75	921	921,3	921	0	123	0,7	-3,53	0
12/07/2020	7	10,6	12	10,5	82	82	76	920,9	921	920,8	0,6	347	1,3	-3,54	0
12/07/2020	8	10,6	10,9	10,4	83	83	81	920,9	920,9	920,9	0,1	58	1,3	-3,53	0
12/07/2020	9	10,8	10,8	9,6	84	86	82	921	921	920,9	0,4	169	1,7	-3,53	0
12/07/2020	10	11,8	12	10	79	86	79	921,6	921,6	921	1,4	128	3,1	9.136	0
12/07/2020	11	15,4	15,4	11,6	69	79	69	922,3	922,3	921,6	2,2	115	4,3	341,8	0
12/07/2020	12	17,5	17,9	15,4	63	69	62	922,9	923	922,3	2,7	104	5,4	1092	0
12/07/2020	13	19,9	20,2	17,5	54	64	53	923,1	923,2	922,9	3,2	81	7	1784	0
12/07/2020	14	21,8	21,9	19,4	48	56	48	922,9	923,2	922,9	2,1	117	7	2276	0
12/07/2020	15	23,2	23,7	21,6	41	48	37	922,2	922,9	922,2	1,9	59	5,7	2561	0
12/07/2020	16	24,4	25,2	22,9	35	41	33	921,2	922,2	921,2	1,2	64	4,7	2602	0
12/07/2020	17	25,5	25,8	23,6	32	35	31	920,3	921,2	920,3	1,1	316	4	2395	0
12/07/2020	18	25,7	26,2	25	29	32	29	919,7	920,3	919,7	0,6	352	4,3	1989	0
12/07/2020	19	25,3	26,2	25,2	30	31	27	919,6	919,7	919,6	1	47	2,7	1367	0
12/07/2020	20	24,1	25,5	24	33	37	28	919,9	920	919,6	0,4	356	2,4	600,7	0
12/07/2020	21	20,7	24,8	20,7	39	41	30	920,5	920,5	919,9	1,1	16	2	41,81	0
12/07/2020	22	20	20,9	19,1	47	48	39	921	921	920,5	0,2	69	2,5	-3,54	0
12/07/2020	23	18,9	20,3	18,7	56	56	47	921,4	921,4	921	1,4	125	3,6	-3,54	0

Fonte: 5° DISME/INMET

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
	UTC	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Vel,	Dir, (°)	Raj,	(kJ/m²)	(mm)
13/07/2020	0	18,2	19,3	17,9	58	59	55	921,6	921,6	921,4	1,2	116	3,8	-3,54	0
13/07/2020	1	17,7	18,4	17,6	62	62	58	921,8	921,8	921,6	0,6	78	3,4	-3,54	0
13/07/2020	2	16,8	17,8	16,5	66	67	62	921,7	921,9	921,7	0,1	145	2,9	-3,54	0
13/07/2020	3	15,6	16,8	15,6	70	70	66	921,6	921,7	921,6	0,4	152	1,1	-3,54	0
13/07/2020	4	15,3	16,1	15,3	71	71	68	921,6	921,7	921,6	0	143	0,8	-3,54	0
13/07/2020	5	13,9	15,4	13,9	78	78	71	921,1	921,6	921,1	0,4	62	0,8	-3,54	0
13/07/2020	6	12,9	14,3	12,9	83	83	78	920,9	921,1	920,9	0,2	331	0,9	-3,53	0
13/07/2020	7	12,6	13	12,5	85	85	83	920,9	921	920,9	0,3	313	1	-3,54	0
13/07/2020	8	12,1	12,6	12,1	86	87	85	921	921	920,8	0,1	343	1	-3,29	0
13/07/2020	9	11,5	12,1	11,5	88	88	86	921,4	921,4	921	0,1	50	0,5	-3,35	0
13/07/2020	10	12	12	11,5	88	89	86	922	922	921,4	0	65	0,9	10,69	0
13/07/2020	11	14,7	15,1	12	75	88	73	922,5	922,5	922	0,2	12	1	318,3	0
13/07/2020	12	18,3	18,4	14,7	59	76	58	923,2	923,2	922,5	0,9	41	1,5	1022	0
13/07/2020	13	21,8	22,1	18,3	45	60	44	923,4	923,5	923,2	1	38	2,2	1688	0
13/07/2020	14	23,8	24,1	21,7	38	47	33	923	923,4	922,9	1,1	7	2,5	2179	0
13/07/2020	15	25,9	26,2	23,8	30	38	28	922,3	923	922,3	1,5	345	3,9	2460	0
13/07/2020	16	26,4	27,2	24,7	28	31	28	921,1	922,3	921,1	1,7	1	4,2	2471	0
13/07/2020	17	28,1	28,3	26,2	24	30	24	920,1	921,1	920,1	1,7	189	5,2	2345	0
13/07/2020	18	28,2	28,9	27,7	19	25	19	919,3	920,1	919,3	1,9	254	4,7	2001	0
13/07/2020	19	27,7	28,7	27,6	22	25	19	919,3	919,3	919,3	2,2	281	5,7	1404	0
13/07/2020	20	25,8	27,8	25,8	31	32	22	919,6	919,6	919,3	1,4	289	4,5	542,2	0
13/07/2020	21	22,1	25,8	22,1	37	38	29	919,9	919,9	919,6	1,6	287	3	44,83	0
13/07/2020	22	22,1	22,1	21,6	37	38	37	920	920	919,9	1,1	279	2,1	-3,53	0
13/07/2020	23	20,5	22,3	20,4	49	49	36	920,8	920,8	920	0,2	18	3	-3,53	0
14/07/2020	0	19,5	20,9	19,5	54	54	48	921	921	920,8	0,9	185	2	-3,54	0
14/07/2020	1	18,6	19,6	18,6	58	58	54	921,3	921,3	921	0,4	47	1,6	-3,54	0
14/07/2020	2	18,3	19	18	60	61	57	921,2	921,3	921,2	0,3	157	1,3	-3,54	0
14/07/2020	3	17,5	18,9	17,5	63	63	57	921	921,2	921	0,4	145	1,8	-3,54	0
14/07/2020	4	16,9	17,6	16,3	66	69	63	920,6	921	920,6	0,1	190	1,3	-3,51	0
14/07/2020	5	15,7	16,9	15,5	71	72	66	920,2	920,6	920,2	0	107	0,6	-3,32	0
14/07/2020	6	15,3	15,7	14,9	73	75	71	919,9	920,2	919,9	0,2	162	0,8	-3,38	0
14/07/2020	7	13,9	15,3	13,9	81	81	73	919,6	919,9	919,6	0,3	7	0,8	-3,52	0
14/07/2020	8	13,7	14,3	13,6	81	83	79	919,9	919,9	919,6	0,4	306	1,4	-3,44	0
14/07/2020	9	13,6	13,9	13,4	81	82	80	920,3	920,3	919,9	0,2	144	1,4	-3,38	0
14/07/2020	10	13,5	14	13,3	82	82	79	920,7	920,7	920,3	0	28	0,9	10,84	0
14/07/2020	11	17,3	17,3	13,3	66	82	66	921,4	921,4	920,7	0,1	68	0,7	311,2	0
14/07/2020	12	20,5	20,6	17,1	58	69	57	921,7	921,7	921,3	0,5	37	1,7	991,8	0
14/07/2020	13	23,1	23,5	20,5	44	58	43	922,1	922,1	921,7	1,3	47	2,8	1658	0
14/07/2020	14	24,8	25,4	23	34	45	33	921,8	922,1	921,8	1,2	345	2,9	2152	0
14/07/2020	15	27,3	27,4	24,7	27	35	25	921	921,8	921	1,1	285	3,5	2438	0
14/07/2020	16	28,1	28,5	26,6	27	28	25	919,9	921	919,9	0,9	15	3,4	2514	0
14/07/2020	17	27,9	28,9	27	25	28	24	919	919,9	919	2,5	269	6,7	2310	0
14/07/2020	18	28,1	28,9	27,2	25	27	23	918,4	919	918,4	3	286	6,5	1890	0
14/07/2020	19	27,2	28,5	27	27	27	23	918,3	918,4	918,3	3,1	307	6,8	1385	0
14/07/2020	20	25,4	27,5	25,4	31	33	25	918,5	918,5	918,2	1,7	293	6,8	579,1	0
14/07/2020	21	22,2	25,4	22,2	38	38	31	918,6	918,6	918,5	0,9	307	3,1	44,48	0
14/07/2020	22	21,5	22,3	21,5	40	40	37	919,1	919,1	918,6	1,3	297	1,8	-3,45	0
14/07/2020	23	21,7	22,2	21,3	40	40	39	919,6	919,6	919,1	0,3	271	1,6	-3,5	0

Fonte: 5° DISME/INMET

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
	UTC	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Vel,	Dir, (°)	Raj,	(kJ/m²)	(mm)
15/07/2020	0	20,6	22,3	20,3	45	46	39	920	920	919,6	1,4	172	1,8	-3,52	0
15/07/2020	1	19,1	20,7	19,1	51	51	45	920,1	920,1	920	0,4	91	1,8	-3,49	0
15/07/2020	2	17,8	19,1	17,7	57	57	51	920,1	920,2	920,1	0,6	147	2,6	-3,53	0
15/07/2020	3	17,6	18,5	17,3	56	58	54	919,9	920,2	919,9	0,2	221	1,3	-3,54	0
15/07/2020	4	17,1	17,6	16,6	57	60	56	919,6	919,9	919,6	0,4	180	1,4	-3,44	0
15/07/2020	5	16,2	17,2	15,7	64	65	57	919,4	919,6	919,3	0,3	217	1,3	-3,52	0
15/07/2020	6	15	16,5	14,8	70	70	63	919,2	919,4	919,1	0,4	207	1,6	-3,54	0
15/07/2020	7	14,9	15,6	14,4	71	72	68	918,9	919,1	918,9	0,3	117	1,3	-3,54	0
15/07/2020	8	14,8	15,5	14,2	72	74	69	919	919,1	918,9	0	94	1,7	-3,54	0
15/07/2020	9	14	15,1	14	75	75	71	919,3	919,3	919	0,2	67	1,2	-3,46	0
15/07/2020	10	13,5	14,2	13,3	80	80	75	919,7	919,7	919,3	0,1	329	0,9	12,43	0
15/07/2020	11	16,2	16,3	13,5	67	80	67	920,2	920,2	919,7	0,6	315	2,1	315,8	0
15/07/2020	12	19,9	20	16,2	55	70	53	920,6	920,6	920,2	0,7	36	2,1	925,3	0
15/07/2020	13	23,8	24	20	38	57	38	920,8	920,8	920,6	0,9	41	2,7	1708	0
15/07/2020	14	25,3	25,9	23,4	32	40	31	920,5	920,8	920,5	0,9	81	3,9	2181	0
15/07/2020	15	26,8	27,1	25,3	29	33	26	919,7	920,5	919,7	1,1	333	4,2	2460	0
15/07/2020	16	27,1	28,4	26,5	25	29	24	918,7	919,7	918,7	1,7	301	5,6	2557	0
15/07/2020	17	26,7	28,1	25,8	27	30	25	918,1	918,6	918,1	0,5	247	6,1	1493	0
15/07/2020	18	28,5	28,5	26,5	23	32	22	917,8	918,1	917,8	1,7	279	6,6	1437	0
15/07/2020	19	27,5	28,6	27,5	23	24	21	917,8	917,9	917,7	1,8	257	6,7	1418	0
15/07/2020	20	24,9	27,7	24,9	29	30	23	918,1	918,2	917,8	2,1	279	4,7	496,4	0
15/07/2020	21	23,3	24,9	23,3	31	31	29	918,4	918,4	918,1	1,1	286	3,9	38,81	0
15/07/2020	22	22,3	23,6	22,3	34	34	31	918,3	918,4	918,3	0,7	297	1,9	-3,54	0
15/07/2020	23	22,3	22,3	21,5	37	37	34	918,8	918,8	918,3	0,1	176	1,9	-3,23	0
16/07/2020	0	20,8	22,4	20,3	41	42	37	919,1	919,1	918,8	0,4	194	1,3	-3,5	0
16/07/2020	1	19	20,6	19	48	48	42	919,3	919,3	919,1	1	155	1,3	-3,48	0
16/07/2020	2	18,3	19,2	18	51	52	48	919,3	919,3	919,3	0,6	148	1,4	-3,53	0
16/07/2020	3	18	18,8	18	52	52	49	918,9	919,3	918,9	0,8	165	1,3	-3,51	0
16/07/2020	4	17,1	18,4	17,1	56	56	52	918,6	918,9	918,6	0,2	191	1,2	-3,54	0
16/07/2020	5	16,2	17,1	16,2	61	61	56	918,3	918,6	918,3	0	146	0,7	-3,52	0
16/07/2020	6	16,3	16,4	15,9	63	64	60	917,9	918,3	917,9	0,2	178	1,2	-3,07	0
16/07/2020	7	15	16,3	14,7	71	72	62	917,3	917,9	917,2	0,1	308	1,9	-3,52	0
16/07/2020	8	15,2	15,5	14,9	67	71	66	917,8	917,8	917,3	0,3	200	1,4	-3,45	0
16/07/2020	9	14,6	15,2	14,5	69	69	67	918,3	918,3	917,8	0,5	156	1,9	-3,4	0
16/07/2020	10	14,5	15	14,1	71	73	68	918,7	918,7	918,3	0	330	1,1	15,16	0
16/07/2020	11	18,2	18,2	14,4	57	72	56	919,3	919,3	918,7	0,3	145	1,4	337,7	0
16/07/2020	12	21,4	21,4	18,2	50	57	46	920	920	919,3	0,6	12	1,9	982,3	0
16/07/2020	13	23,9	23,9	21	34	50	33	920,3	920,5	920	1	354	2,7	1555	0
16/07/2020	14	24,8	25,1	23,6	32	35	32	920,1	920,4	920,1	1,7	315	6,2	2086	0
16/07/2020	15	26,7	27,1	24,8	28	34	27	919,4	920,1	919,4	4,3	277	9	2309	0
16/07/2020	16	27,4	28,3	26,5	29	29	26	918,7	919,4	918,7	3,5	285	11,2	2497	0
16/07/2020	17	27,5	28,3	25,8	29	32	27	918	918,7	918	2,8	266	10,7	2123	0
16/07/2020	18	27,2	28	26,9	29	30	27	917,9	918	917,8	3	274	8,7	1848	0
16/07/2020	19	26,7	27,7	26,3	32	32	28	918,1	918,1	917,8	2,3	233	7,9	1325	0
16/07/2020	20	24,8	26,7	24,8	37	38	32	918,5	918,5	918	1,7	238	6,5	592,2	0
16/07/2020	21	22,7	24,8	22,7	43	43	36	919,1	919,1	918,5	0,9	195	4,2	74,44	0
16/07/2020	22	21,7	22,8	21,7	48	48	43	919,4	919,4	919	0,3	192	2,9	-3,54	0
16/07/2020	23	20,7	21,7	20,7	52	52	48	920	920	919,4	0,9	182	2,3	-3,54	0

Fonte: 5° DISME/INMET

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
	UTC	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Inst,	Máx,	Mín,	Vel,	Dir, (°)	Raj,	(kJ/m²)	(mm)
17/07/2020	0	20	21	20	54	54	51	920,3	920,3	920	0,3	187	2,3	-3,53	0
17/07/2020	1	20	20,6	19,7	54	55	52	920,7	920,8	920,3	0,8	203	1,8	-3,53	0
17/07/2020	2	18,3	20,3	18,1	61	61	53	920,9	921	920,7	0	153	1,8	-3,53	0
17/07/2020	3	17,5	18,6	17,4	68	68	61	921,2	921,2	920,8	0	239	1,3	-3,54	0
17/07/2020	4	16,7	17,7	16,6	71	71	68	921	921,2	921	0,8	179	1,7	-3,39	0
17/07/2020	5	15,3	17,6	15,3	77	77	67	921	921,1	920,9	0,9	329	1,7	-3,54	0
17/07/2020	6	14,7	15,4	14,7	80	81	77	920,8	921	920,8	0	10	1,7	-3,54	0
17/07/2020	7	14,3	14,8	14,1	81	82	79	920,9	920,9	920,7	0,6	332	1,3	-3,54	0
17/07/2020	8	13,8	14,3	13,4	85	85	81	921,3	921,3	920,9	0,3	14	1,4	-3,53	0
17/07/2020	9	14,2	14,6	13,6	83	86	82	921,7	921,7	921,3	1,4	142	2,5	-3,48	0
17/07/2020	10	15,3	15,4	14,2	78	83	78	922,5	922,5	921,7	2,3	121	4,9	0	0
17/07/2020	11	16,4	16,4	14,1	73	82	73	923,5	923,5	922,4	2,2	110	4,9	321	0
17/07/2020	12	17,7	17,8	16,4	68	74	68	924,8	924,8	923,5	3,7	88	7,9	1052	0
17/07/2020	13	18,2	18,4	17,2	63	69	63	925,2	925,2	924,7	3,5	139	7,9	1770	0
17/07/2020	14	18,8	19,5	17,7	59	65	57	925	925,2	924,9	3,6	134	8	2135	0
17/07/2020	15	19,8	20,4	18,8	56	60	54	924,6	925	924,6	3,5	111	8,2	2567	0
17/07/2020	16	21,6	21,8	19,1	50	57	49	923,8	924,6	923,8	2,8	110	8,7	2651	0
17/07/2020	17	22,4	22,7	20,8	46	52	46	922,9	923,8	922,9	2,9	96	7,4	2461	0
17/07/2020	18	21,7	22,6	21,5	46	48	44	922,9	923	922,7	3,5	116	8,1	2004	0
17/07/2020	19	20,6	22,1	20	49	51	45	923,1	923,1	922,8	3,4	109	8,3	1302	0
17/07/2020	20	18,5	20,7	18,5	54	54	48	923,5	923,5	923	3,5	92	8,4	574,3	0
17/07/2020	21	17,5	18,6	17,5	58	58	53	923,9	923,9	923,4	2,5	106	7,6	66,74	0
17/07/2020	22	16,8	17,6	16,7	60	60	58	924,2	924,3	923,9	2,1	94	6	-3,54	0
17/07/2020	23	16,5	16,8	16,2	62	63	60	924,9	924,9	924,2	1,9	108	5,6	-3,54	0

Fonte: 5° DISME/INMET