

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**JULIANA LEÃO SOZA**

**MODELO PARA PREVISÃO EXPEDITA DE ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO  
EM ÁREA URBANA A PARTIR DO FATOR DE VISÃO DO CÉU**

**JULIANA LEÃO SOZA**

**MODELO PARA PREVISÃO EXPEDITA DE ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO  
EM ÁREA URBANA A PARTIR DO FATOR DE VISÃO DO CÉU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", câmpus de Bauru, como requisito final para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof.Dr. João Roberto Gomes de Faria

BAURU  
2019

SOZA, Juliana Leão.

MODELO PARA PREVISÃO EXPEDITA DE ÍNDICE DE CONFORTO  
TÉRMICO EM ÁREA URBANA A PARTIR DO FATOR DE VISÃO DO  
CÉU / Juliana Leão Soza, 2019

80 f.

Orientador: João Roberto Gomes de Faria

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual  
Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e  
Comunicação, Bauru, 2019

1. Arquitetura. 2. Clima Urbano. 3. PET. 4.  
Conforto térmico urbano. I. Universidade Estadual  
Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e  
Comunicação. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JULIANA LEÃO SOZA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 22 dias do mês de março do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Auditório da Seção Técnica de Pós-graduação da FAAC, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. JOAO ROBERTO GOMES DE FARIA - Orientador(a) do(a) Departamento de Arq Urb e Paisagismo / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. RENATA CARDOSO MAGAGNIN do(a) Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação de Bauru - UNESP, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> CLÁUDIA COTRIM PEZZUTO do(a) PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA / PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JULIANA LEÃO SOZA, intitulada **Modelo para previsão expedita de índice de conforto térmico em área urbana a partir do fator de visão do céu**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO.

Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. JOAO ROBERTO GOMES DE FARIA



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. RENATA CARDOSO MAGAGNIN



Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> CLAUDIA COTRIM PEZZUTO

## **AGRADECIMENTOS**

Durante esses anos de mestrado foi necessário muita dedicação, esforço e empenho para essa conquista. Gostaria de agradecer em palavras às pessoas que estiveram comigo durante esse processo para a realização de mais um sonho.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Celso e Cristina, por terem me acompanhado desde o início, por me incentivar, apoiar e ter paciência comigo nos momentos mais difíceis. À minha mãe Cristina, por me acompanhar nas viagens todas as vezes, me esperar sem hora para acabar, eterna gratidão. Ao meu companheiro de vida Marcelo, por estar sempre comigo me auxiliando neste trabalho e por me aguentar nos momentos mais difíceis. E aos meus irmãos por me acompanharem nessa etapa importante para mim.

Agradeço imensamente ao Prof. João Roberto Gomes de Faria, pela oportunidade de desenvolver este projeto, pelas contribuições e correções com todo o trabalho e pelo conhecimento transmitido.

À todos os funcionários da Unesp de Bauru pela atenção e auxílio.

Aos demais professores doutores por transmitirem conhecimentos, conselhos, sugestões e interesse em contribuir para o desenvolvimento deste projeto.

SOZA, Juliana Leão. **Modelo para previsão expedita de índice de conforto térmico em área urbana à partir do fator de visão do céu.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2019.

## **RESUMO**

Os microclimas urbanos são determinados pelo balanço de energia entre o ar atmosférico, o ambiente construído e planejamento urbano. No entanto, a identificação do microclima é trabalhosa, exige trabalho extensivo em campo. O objetivo da pesquisa foi elaborar um modelo para caracterização expedita de microclimas urbanos na escala de bairro. Este modelo será importante para reduzir o tempo de levantamento em estudos futuros. Ele usa o programa RayMan com dados de estações meteorológicas locais e imagens hemisféricas da área para prever diferenças de distribuições de temperatura fisiológica equivalente (PET) nas diversas áreas de uma cidade. O estudo foi realizado na cidade de Araçatuba (SP). O modelo feito foi desenvolvido a partir de dados da estação, medições nas áreas e de dados das imagens captadas pelo olho de peixe, e com os resultados adquiridos do PET constatou-se que as temperaturas do local é igual ao da estação meteorológica.

**Palavras-chave:** Microclimas urbanos, RayMan, PET.

SOZA, Juliana Leão. **Modelo para previsão expedita de índice de conforto térmico em área urbana à partir do fator de visão do céu.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2019.

## **ABSTRACT**

Urban microclimates are determined by balance of energy between atmospheric air and the built environment, and may be a parameter for urban planning. However identification of the microclimates is laborious, requiring extensive work in field. The aim of the research was to elaborate a model for expeditious characterization of urban microclimates in the neighborhood scale. This model will be important to reduce the time of surveys in future studies. It uses the RayMan software with local meteorological station data and hemispheric images from the place, to distinguish differences of equivalent physiological temperature (PET) distributions in different areas of a city. The study was carried out in the urban area of Araçatuba (SP). The model was developed from data of the station, measurements in the areas and data of the images captured fisheye, and with the acquired results of the PET it was verified that the temperatures of the place is equal to the one of the meteorological station.

**Keywords:** Urban microclimates, RayMan, PET.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> -Esquema das escalas climáticas e das camadas verticais nas áreas urbanas.....	20
<b>Figura 2</b> - Fotografia olho de peixe na área de estudos(a) e o tratamento para o FVC(b).....	25
<b>Figura 3</b> - Janela de entrada do Rayman e o relevante valores para o cálculo de TRM e índices térmicos.....	30
<b>Figura 4</b> -Exemplos de radiação na edificação e seu entorno.....	31
<b>Figura 5</b> -Exemplos de entrada de dados: A-imagem hemisférica; B-desenho dos elementos da área urbana .....	32
<b>Figura 6</b> - Fluxograma do método utilizado.....	33
<b>Figura 7</b> - Localização de Araçatuba no estado de São Paulo.....	35
<b>Figura 8</b> - Mapa de Rodovias em Araçatuba.....	36
<b>Figura 9</b> - Mapa do perímetro urbano em Araçatuba.....	37
<b>Figura 10</b> - População de Araçatuba (período 1970 a 2017).....	38
<b>Figura 11</b> - Localização das áreas de estudo sem escala.....	41
<b>Figura 12</b> - Perspectiva da área central com os respectivos pontos.....	42
<b>Figura 13</b> - Perspectiva da área residencial Bandeiras com os respectivos pontos...43	
<b>Figura 14</b> - Perspectiva da área fundo de vale com os respectivos pontos.....	44
<b>Figura 15</b> - Perspectiva Condomínio Alta Vista com os respectivos pontos.....	45
<b>Figura 16</b> - Características dos equipamentos móveis.....	46
<b>Figura 17</b> - Equipamentos instalados no tripé.....	47
<b>Figura 18</b> - Imagem registradas e tratadas com a câmera olho de peixe.....	48
<b>Figura 19</b> - Modelo de desenvolvimento do PET.....	50
<b>Figura 20</b> - Software ZBBR.....	53
<b>Figura 21</b> - Software ZBBR - Valparaíso .....	54
<b>Figura 22</b> - Software ZBBR - José Bonifácio.....	55
<b>Figura 23</b> - Software ZBBR- Lins .....	55
<b>Figura 24</b> -TBS do ponto e da estação em relação ao horário – Alta Vista (MRV)....	62



<b>Figura 25-</b> TBS do ponto e da estação em relação ao horário Baguaçu.....	62
<b>Figura 26-</b> TBS do ponto e da estação em relação ao horário Bandeiras.....	63
<b>Figura 27-</b> TBS do ponto e da estação em relação ao horário Centro.....	63
<b>Figura 28-</b> Temperatura horária de bulbo seco.....	65
<b>Figura 29-</b> Gráficos de radiação pelo horário.....	65
<b>Figura 30-</b> Umidade relativa horária.....	66
<b>Figura 31-</b> Velocidade do vento horária.....	66
<b>Figura 32-</b> Dados de PET com os horários nas áreas de estudo.....	68

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Escalas horizontais do clima urbano.....	19
<b>Tabela 2</b> - Comprimentos de rugosidade ( $Z_0$ ) representativo nos terrenos urbanizados.....	26
<b>Tabela 3</b> - Caracterização das zonas climáticas das áreas de estudo.....	39
<b>Tabela 4</b> - Critérios para a definição da paisagem.....	40
<b>Tabela 5</b> - Valores de k e a para diferentes características do entorno.....	52
<b>Tabela 6</b> –Diferentes recortes territoriais de Araçatuba.....	58
<b>Tabela 7</b> - Testes de normalidade da TRM.....	59
<b>Tabela 8</b> - Teste de médias iguais para TRM em pares de pontos. Distribuições normais (Teste t de Student).....	60
<b>Tabela 9</b> - Distribuições não normais (Teste de Mann- Whitney).....	61
<b>Tabela 10</b> -Tabela de tratamentos e comparações entre a TRM e PET.....	64
<b>Tabela 11</b> -Comparações entre as áreas no dia mais quente do ano típico de 2008(11/09, 14hs).....	67
<b>Tabela 12</b> -Tabela com resultados baseados em estudos de PET E TRM e de Araçatuba.....	68

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

**CA-** Coeficiente de Aproveitamento

**CAD-** *Computer Aided Design* (Desenho Auxiliado por Computador)

**CIAGRO** - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas

**D** - Índice de concordância de Willmott

**DOE** - *Department of Energy United States of America* (Departamento de Energia dos Estados Unidos)

**FVC** - Fator de Visão do Céu

**GIS** - *Geographical Information System* (Sistema de Informação Geográfica)

**GOES** - *Geostationary Operational Environmental Satellite* (Satélite Ambiental Operacional Geostacionário)

**IBGE-** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**ICU-** Ilha de Calor Urbana

**INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia

**LCZ** - *Local Climate Zone* (Zona climática Local)

**MAE** - *Mean Absolute Error* (Erro absoluto médio)

**MEMI** - *Munich energy balance model for individuals* (Modelo de balanço de energia para indivíduos de Munique)

**BEM** - *Mean vies error* (Erro de vies médio)

**ME** - *MEDIUM ERROR* (Erro médio)

**OMM** - Organização Mundial de Meteorologia

**OUT\_SET** - *Standard Effective Temperature* (Temperatura Efetiva Padrão)

**PBL-** *Planetary Boundary Layer* (Camada Limite Planetária)

**PET-** *Physiological Equivalent Temperature* (Temperatura Fisiológica Equivalente)

**PMV-** *Predicted Mean Vote* (Voto médio predito)

**R-** Quadrado do Coeficiente de correlação do momento do produto de Pearson

**RMSE-** *Root Mean Squared Error* (Erro médio quadrático)

**RMSEs-** *Root Mean Squared Error Systematic* (Erro médio quadrático sistemático)

**RMSEu-** *Root Mean Squared Error non-systematic* (Erro médio quadrático não sistemático)

**RSM-** *Rural Station Model* (Modelo de Estação Rural)

**SCU** - Sistema de Clima Urbano

**SET**- *Standard Effective Temperature* (Temperatura efetiva padrão)

**TA** - Temperatura do ar

**TBU** - Temperatura de bulbo úmido

**TO** - Taxa de Ocupação

**TRM** - Temperatura Radiante Média

**TSI** - *Thermal Sensation Index* (Índice de sensação térmica)

**UBL**- *Urban Boundary Layer* (Camada Limite Urbana)

**UCL**- *Urban Canopy Layer* (Camada do dossel Urbano)

**US EPA** - Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos

**UTCI** - *Universal Thermal Climate Index* (Índice Universal de Clima Termal)

**WUDAPT**- *World Urban Database and Access Portal Tools* (Banco de dados urbanos mundiais e portal de acesso)

**Z<sub>0</sub>** - Comprimento de rugosidade

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Estrutura da dissertação.....</b>	<b>15</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - CLIMA E MORFOLOGIA URBANA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Clima Urbano.....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Ambiente térmico urbano.....	17
2.1.2 Escalas do clima urbano.....	18
2.1.3 Variáveis do clima urbano.....	21
2.1.3.1 Fator de visão do céu (FVC).....	24
2.1.3.2 Rugosidade e velocidade do ar.....	25
<b>2.2 Índices de conforto em ambiente externo.....</b>	<b>26</b>
2.2.1 Temperatura Efetiva Padrão (Out_SET*).....	26
2.2.2 Índice de Sensação Térmica (TSI).....	27
2.2.3 Índice Universal de Clima Termal (UTCI).....	27
2.2.4 Índice Temperatura Fisiológica Equivalente (PET).....	28
<b>2.3 RayMan.....</b>	<b>29</b>
2.3.1 Modelando fluxo de radiação pelo modelo.....	32
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 A cidade de Araçatuba.....</b>	<b>34</b>
3.1.1 Características climáticas.....	38
<b>3.2 Caracterização das áreas de estudo.....</b>	<b>39</b>
3.2.1 Área central.....	41
3.2.2 Bairro das Bandeiras.....	42
3.2.3 Baguaçu (Fundo de Vale).....	43
3.2.4 Alta Vista (MRV).....	44

<b>3.3 Instrumentação e levantamento de dados.....</b>	<b>45</b>
3.3.1 Teste de homogeneidade dos microclimas no entorno dos pontos.....	48
<b>3.4 Desenvolvimento do modelo de cálculo de PET à partir de dados de estação metereológicas.....</b>	<b>49</b>
3.4.1 Desenvolvimento do modelo.....	49
3.4.1.1 Aplicação do modelo de PET para o dia mais quente do ano.....	53
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
4.1 Planilha das áreas.....	57
4.2 Teste de homogeneidade das áreas.....	59
4.3 Dados medidos nas áreas.....	61
4.4 Tratamentos e comparações do modelo de PET à partir de dados de estação meteorológica.....	63
4.5 Aplicação do modelo para a cidade.....	65
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>77</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cidade representa um organismo que interage com a atmosfera e, juntas, formam um sistema complexo, que envolve trocas de radiação através de reflexão, absorção e armazenamento térmico. Diversas outras variáveis, como ventilação, umidade e propriedades dos materiais, também participam desse sistema chamado clima urbano. Nele os fluxos naturais de energia são alterados pelos variados tipos de construções e modificações desenvolvidas pelo homem através de suas atividades.

O solo natural é modificado e trocado por materiais de construções, tais como concreto e asfalto, com condutividades e capacidades térmicas maiores que do solo original. Isso acarreta maiores armazenamentos de calor durante o dia que será liberado lentamente, à noite. Dessa forma, os diversos tipos de uso e ocupação do solo, juntamente com as condições do sítio urbano, condicionam o surgimento de diversos microclimas ao longo da área urbanizada.

Os microclimas intra-urbanos criam condições positivas ou negativas aos pedestres. Dessa forma, eles são um fator de qualidade do espaço urbano e vem sendo utilizado como uma das variáveis para as novas propostas de planejamento urbano. Há um consenso quanto à importância deles no planejamento dos espaços abertos da cidade e há diversos métodos empregados em sua caracterização (FARIA; SOUZA, 2004).

A incompatibilidade do uso do solo, problemas viários, diminuição das áreas verdes, diversas formas de poluição são exemplos de aspectos que devem ser relevantes e passíveis de estudo. Cada problema é específico de cada lugar pela dinâmica natural e socioeconômica das áreas. Sendo assim, o clima urbano tem a necessidade de ser cada vez mais estudado.

O estudo de microclimas urbanos parte, em geral, do reconhecimento do comportamento térmico da área de estudo, através de levantamentos de campo e de seu uso e ocupação e características morfológicas, através de técnicas diversas. Estudos posteriores buscam a associação entre essas duas características (ASSIS, 2005).

Stewart e Oke (2012) propuseram um modelo de classificação de áreas urbanas com microclimas homogêneos, nas quais padrões complexos de uso e

ocupação do solo são compostos a partir de padrões básicos, e os associam a características geométricas para formar Zonas de Clima Local (*Local Climate Zone – LCZ*). Essas, por sua vez, passam a compor uma base de dados para estudos de microclimas.

De acordo com Lamberts e Xavier (2013), conforto térmico no ambiente externo é a neutralidade térmica percebida pelas pessoas presentes no local analisado, não havendo necessidade de acréscimo ou decréscimo de calor. Além dos aspectos climáticos, o conforto térmico também é influenciado por aspectos comportamentais e fisiológicos, como o isolamento das roupas e a taxa metabólica dos indivíduos, respectivamente (Gobbo, 2016).

E também a ausência de vegetação no espaço urbano vem sendo decorrente do uso indevido da cidade pelo homem. O conforto térmico é influenciado pelas condições ambientais, que vem sendo ameaçadas, principalmente pela ausência de vegetação. Com a falta de vegetação, materiais sendo utilizados sem planejamentos tem alterado significativamente o clima dos agrupamentos urbanos, devido a incidência direta da radiação solar nas construções. Em consequência, as cidades vêm se tornando verdadeiras estufas e o consumo de energia para resfriar os ambientes internos vem aumentando consideravelmente nos últimos anos.

A sensação de conforto depende do nível de importância da temperatura, da umidade e da ventilação, que não pode ser desvinculada dos demais elementos climatológicos: a temperatura alterada de uma cidade leva a variação na ventilação da cidade, que interfere na condensação e precipitação.

A presente pesquisa tem por objetivo reduzir o levantamento térmico em campo: modelo para previsão da Temperatura Fisiológica Equivalente (*Physiological Equivalent Temperature – PET*) (HÖPPE, 1999) a partir de arquivos climáticos da localidade, do Fator de Visão do Céu (FVC) característico da área e de um programa computacional amplamente difundido em estudos de microclimas, o RayMan (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2007) e acelerar o processo do trabalho inicial para pequenos estudos de casos.



## 1.1 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é desenvolver um modelo de previsão expedita de índice de conforto térmico em áreas urbanas a partir do fator de visão de céu.

Seus objetivos específicos são:

- a) Caracterizar as áreas de estudo;
- b) Elaborar um modelo preditivo de PET a partir de informações básicas e com o uso de ferramentas de fácil acesso;
- c) Relacionar variações de PET com características morfológicas na escala de bairro;

## 1.2 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada da seguinte forma:

**-Capítulo 1-** Introdução, na qual o problema é apresentado e contextualizado estudado, e definição de objetivos;

**-Capítulo 2-** Engloba a revisão bibliográfica utilizada para fundamentar os conceitos abordados;

**-Capítulo 3-** Descreve os materiais e os métodos do trabalho, com a caracterização com as áreas de estudo, as ferramentas, a coleta de dados a partir das medições in loco e de medidas da estação meteorológica, e o tratamento dos resultados;

**-Capítulo 4-** Apresentação dos resultados a partir dos dados obtidos, desenvolvimento e aplicação do modelo de previsão de PET e discussão dos resultados em relação a literatura;

**-Capítulo 5-** Considerações finais as conclusões, limitações e perspectiva de continuidade;

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – CLIMA E MORFOLOGIA URBANA

### 2.1 Clima Urbano

O estudo do clima urbano se baseia em uma linha da climatologia responsável pela compreensão do clima da cidade, enfocando inicialmente uma análise espacial de clima local que se estende a níveis regionais e globais, destacando-se, em cada escala, a influência urbana (COLTRI, 2006).

O clima urbano é gerado ou influenciado pela urbanização que se encontra sempre em processo contínuo de transformação de energia e massa a partir da interação entre o ar atmosférico e o ambiente urbano construído. As frequentes transformações sofridas pelos vários processos de urbanização modificam os aspectos climáticos de um determinado local, por vários fatores como: rugosidade, permeabilidade e ocupação do solo, orientação solar e entre outros.

Pelas diversas transformações, as condições climáticas afetam, por sua vez, o conforto humano e o uso de energia nas edificações.

Monteiro (1976) trabalha com base na definição de Sorre (1955), que aponta a ideia do caráter dinâmico e variado do clima. Nesse conceito, o clima é característico de uma região e depende dos aspectos geomorfológicos. A teoria de Monteiro, Sistema de Clima Urbano (SCU), vem sendo estudada e ampliada para os estudos de clima no Brasil, pois ele integra o clima com a cidade.

Oke (1981) listou características que levam a alterações de trocas de energia e condições térmicas:

- Poluição do ar: aumenta a radiação de ondas-longas emitidas pela atmosfera, devido a maior absorção da radiação de ondas-curtas que chegam e saída de ondas-longas pelos poluentes;

- Calor antropogênico: calor liberado no processo de combustão;

- Superfícies 'impermeáveis': diminuição do fluxo de calor latente, favorecendo, assim, o calor sensível;

- Propriedades térmicas dos materiais: o aumento da admitância térmica das superfícies favorece à absorção e armazenamento de calor diurno e sua emissão noturna para a atmosfera;

- Geometria da superfície: aumento de absorção de ondas curtas devido à interceptação dentro dos cânions; diminuição da perda de calor pela turbulência devido à estagnação do ar em cânions profundos; diminuição da perda de radiação de ondas longas de cânions, devido à redução do fator de visão do céu (FVC).

A ação ecológica natural, associada aos fenômenos urbanos, constitui o conjunto complexo de inter-relações que produzem tipos de clima urbano, sendo um sistema que abrange dados específicos do espaço terrestre e sua urbanização (LOMBARDO, 1985).

O clima urbano é a consequência da profunda alteração das propriedades meteorológicas do ar imediatamente acima das cidades (CHANDLER, 1976). Essas alterações relacionam-se com as características térmicas da superfície, ventilação e a poluição atmosférica.

As modificações do espaço urbano, seja pela taxa de ocupação, rugosidade, taxa de aquecimento urbano, permeabilidade ou pelos materiais, ocorrem a partir das condições particulares de cada lugar de acordo com cada transformação urbana.

Devido a essa transformação urbana, questões ligadas ao meio ambiente ganharam maior atenção em cidades, principalmente no que diz respeito ao microclima, pois o conforto térmico está ligado tanto no interior como no exterior das edificações.

### 2.1.1 Ambiente térmico urbano

O microclima dos espaços urbanos é influenciado por diversos aspectos como altura, forma e tamanho das edificações, que fazem parte do ambiente urbano, que confere características térmicas distintas e específicas de cada local.

Ambos os autores, Givoni (1989) e Oke (2006), descrevem as propriedades de áreas urbanas que afetem a atmosfera, em função das escalas que são dimensionadas pelas características que compõem uma paisagem urbana. São apontadas como características básicas mais importantes à estrutura e geometria urbana (dimensões dos edifícios e dos espaços entre eles, as larguras das vias, espaçamento entre ruas, orientação das ruas), a cobertura urbana (áreas construídas, pavimentadas, solo, vegetação, água), o tecido urbano (materiais de construção e

naturais), metabolismo urbano (água, calor e poluentes devido às atividades humanas), afetando diretamente na escala do pedestre, gerando ganhos de calor.

Uma das condições térmicas que se alteram pela geometria urbana é o vento. Ele pode ser modificado de acordo com o desenho urbano, considerando todas as propriedades físicas do local, podendo ser favorável ou desfavorável, principalmente aos processos de transporte de calor (convecção) e de umidade (evaporação), bem como na direção e separação da poluição (OKE,2006).

Para Unger e Pongrácz (2008), é necessária a distribuição de temperatura dentro de uma cidade para evitar acúmulo de calor durante o dia e dispersando-o durante a noite.

### 2.1.2 Escalas do Clima Urbano

Para fornecer dados e suporte às necessidades do projeto e planejamento urbano, o estudo do conceito de escalas em clima urbano é importante para análise de medições (BARBIRATO, 2007). Estas são determinadas pelas características morfológicas das áreas urbanas, por possuírem influência na atmosfera.

Segundo Oke (2004), existem quatro grupos importantes que compõe as características básicas:

- A estrutura urbana (dimensões dos edifícios e dos espaços entre eles, a largura das ruas e o espaçamento das ruas),
- A cobertura urbana (construída, pavimentada, vegetativo, solo nu, água),
- O tecido urbano (construção e materiais naturais),
- Metabolismo urbano (calor, água e poluentes devido à atividade humana).

Além desses grupos importantes das características básicas, Oke (2004) propõe uma estrutura para classificar estas áreas. Existem duas escalas, uma espacial (horizontal e vertical) e outra denominado escala temporal.

As escalas espaciais são determinadas pelas dimensões e características dos fenômenos. Elas subdividem-se em:

- Escalas horizontais (tabela 01):

- Micro-escala: cada superfície e objeto tem seu próprio microclima sobre ele e sua vizinhança. Escalas típicas dos microclimas urbanos relacionados às dimensões são: edifícios individuais, árvores, estradas, jardins, ruas e pátios.

- Escala local: onde as estações climáticas são projetadas para monitorar. Inclui características paisagísticas como a topografia, cobertura de superfícies, tamanhos e espaçamento de edificações, tudo em escala de bairro, excluindo os efeitos da micro-escala.

- Meso-escala: situa-se imediatamente acima da camada intra-urbana (*canopy-layer*) e, por isso, recebe toda sua influência térmica. Consiste na cidade como um todo, sendo assim uma única estação não pode representar esta escala.

Tabela 1 – Escalas horizontais do clima urbano

ESCALAS HORIZONTAIS DO CLIMA URBANO		
ESCALA	NÍVEL URBANO	ESCALA HORIZONTAL
Micro	Cânions urbanos, praças e edifícios	< 200 m à 300 m
Local	Bairros	De 100 m à 10 km
Meso	Cidades	>10 km

Fonte: Elaborado por Vilela (2007) baseado em Oke, 2004.

- Escala vertical:

Oke (2004) propõe a divisão PBL (Planetary Boundary Layer) ou camada limite atmosférica, camada foco dos estudos do clima urbano, em dois níveis:

- a UCL (Urban Canopy Layer), ou camada intra-urbana abrange a extensão do solo até o nível das coberturas das edificações (nível microclimático);

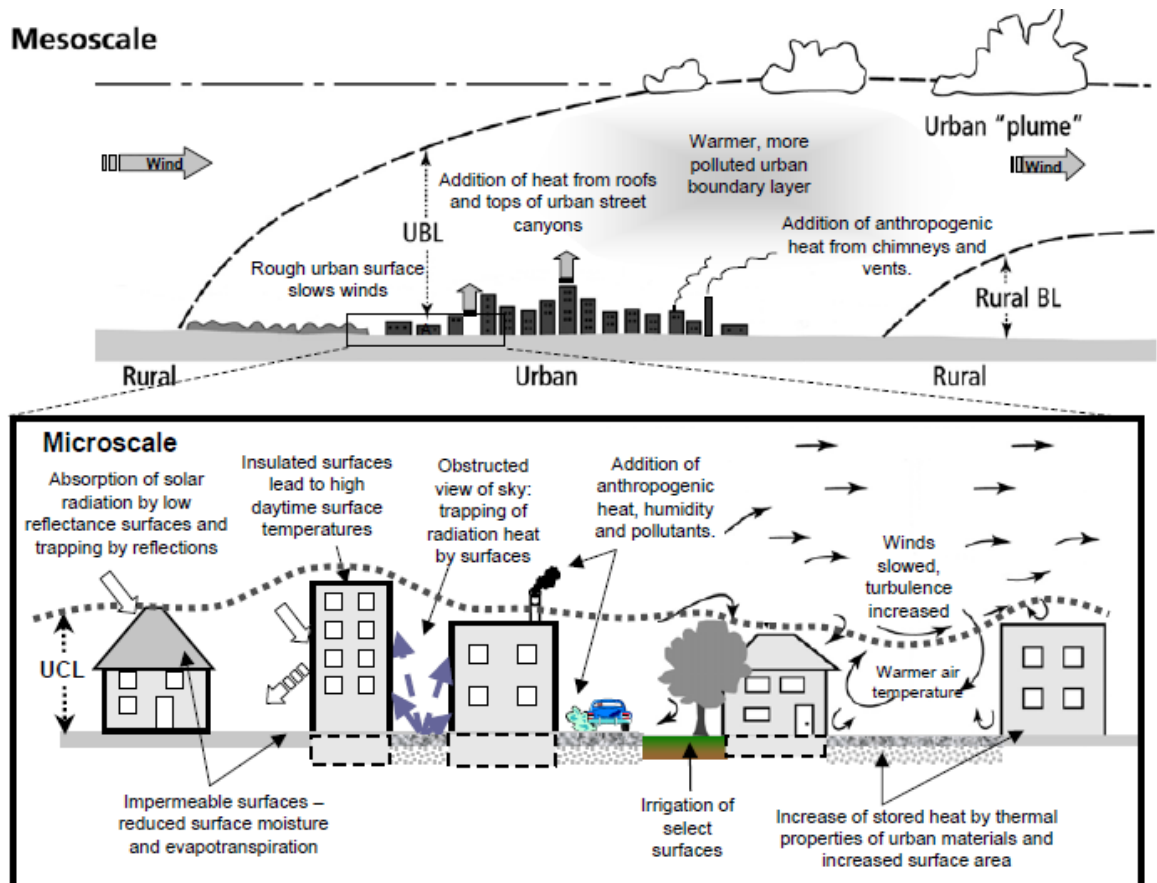
- e a UBL (Urban Boundary Layer), ou camada limite urbana abrange desde a camada adjacente à superfície do solo até o nível onde a influência do atrito é nula, ou seja, acima da camada de cobertura urbana (nível mesoclimática);

A figura 01 apresenta a divisão destas camadas e a sua relação com as escalas climáticas propostas por Oke (2004).

Enquanto a camada limite urbana é um fenômeno de escala local (meso escala), a camada de cobertura urbana conta com os processos de microescala, presentes na camada das ruas, que formam os cânions entre as edificações (BARBIRATO, 2007).

As escalas temporais são determinadas pelo “tempo de vida” ou período dos fenômenos em escalas diferentes. A definição dessas escalas do clima urbano é fundamental para estabelecer os métodos e técnicas no estudo do clima urbano.

Figura 01: Esquema das escalas climáticas e das camadas verticais nas áreas urbanas



Fonte: OKE, 2004.

Stewart e Oke (2012) classificaram as classes de paisagem urbana que são chamadas de “zonas climáticas locais” (LCZs). O nome é apropriado porque as classes são em escalas locais de natureza climática. Eles definiram formalmente zonas climáticas como regiões de cobertura da superfície, estrutura, material e atividade humana que abrangem centenas de metros a vários quilômetros na escala

horizontal. Cada LCZ tem características microclimáticas que são mais aparentes sobre superfícies secas.

Esses regimes microclimáticos persistem durante todo o ano e estão associados com os ambientes homogêneos ou ecossistemas de cidades (por exemplo, parques, núcleos comerciais), biomas naturais (por exemplo, florestas, desertos) e terras agrícolas (por exemplo, pomares, campos cortados). Cada LCZ é nomeado individualmente e ordenada por um (ou mais) distinguindo propriedade de superfície, que na maioria dos casos é a altura e rugosidade.

As variáveis que compõem essas fichas, são, FVC, aspecto de raio, altura e largura dos edifícios, a rugosidade, áreas permeáveis e impermeáveis e superfície do albedo, sendo estas determinadas pela morfologia de cada local.

Essa proposta considera uma nova classificação da paisagem, dividindo-a de acordo com as propriedades que influenciam o plano de altura da camada atmosférica, ou seja, a estrutura de superfície (altura e espaçamento de edifícios e árvores) e a cobertura de superfície (permeável ou impermeável).

Para cada tipo de material, têm-se características físicas de superfície e da área local construída. Tipos de cobertura do solo podem ser classificados em sazonal ou propriedades efêmeras, como gramas, neves, chão seco e molhado.

Essa descrição de Stewart e Oke facilita a identificação e descrição das classificações de superfícies das áreas urbanas e o processo de seleção das áreas de estudo.

A forma de descrever e classificar cada área conforme seus aspectos físicos objetivou a sugestão de um sistema, seja para áreas urbanas ou rurais, um modo prático de representação de ambientes térmicos, a serem comparados para a obtenção da magnitude da ilha de calor urbana (<http://www.wudapt.org/>).

### 2.1.3 Variáveis dos microclimas urbanos

Segundo Barbirato (2007), os elementos climáticos sofrem influência do ambiente urbano e atuam de forma integrada, tais como:

1. Temperatura do ar (TBS): resulta no aquecimento e resfriamento das superfícies da Terra. Nas cidades essa temperatura tende a aumentar mais do que na área rural, pois depende das tipologias das edificações e dos equipamentos de climatização artificial.
2. Umidade do ar (UR): O componente atmosférico mais importante, pois ela interfere na variação das temperaturas, nas precipitações e no conforto térmico humano.
3. Radiação (Rad): A maior parte da energia inserida no SCU é emitida pelo sol (onda curta) e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. É parcialmente absorvida pelas superfícies terrestres e reemitidas ao meio urbano pelas ondas longas, produzindo aumento na temperatura do ar.
4. Ventos (V): gerado através de fenômenos naturais como, por exemplo, os movimentos de rotação da Terra ou por diferenças de pressão atmosférica em partes dela. Nas cidades a rugosidade da superfície edificada e o desenho do sistema viário, contribuem para a mudança da velocidade e da direção dos ventos.
5. Precipitações: a evaporação da água leva à formação de chuva e outras precipitações, em formas líquidas e congeladas de água, como chuva, neve, granizo e geada. As precipitações reduzem o calor excessivo nos espaços urbanos e são importantes, pois constitui um ciclo hidrológico, formando entre a água do solo e a água da atmosfera.
6. Temperatura média radiante (TRM): é o conjunto da temperatura do ar, da radiação e dos ventos. É responsável pelas trocas de calor nos espaços urbanos. A TRM resume todos os fluxos de radiação de ondas curtas e longas (ambos diretos e refletidos), ao qual o corpo humano está exposto é um dos parâmetros meteorológicos mais importantes tendo equilíbrio energético humano e o conforto térmico do homem (LINDBERG, 2007).

Ainda segundo Barbirato (2007), além dos elementos climáticos citados acima, existem outras características da morfologia urbana, paisagem e da forma urbana que são condicionantes do clima urbano, sendo:



- Rugosidade: é o desenho da geometria da superfície, que esta relacionada com altura, forma e distribuição nas malhas urbanas.
- Porosidade: é o espaçamento entre as edificações, altura das edificações e os índices das áreas construídas que conferem maior ou menor permeabilidade aos ventos no tecido urbano.
- Densidade de construção: correspondem aos aspectos relacionados a taxas de ocupação da área construída, distâncias entre as edificações e altura dos edifícios.
- Tamanho da cidade (horizontal e vertical): o tamanho influi na quantidade de fontes produtoras de calor e de poluentes.
- Uso e ocupação do solo: de acordo com as atividades em determinadas áreas influencia na temperatura dentro da área urbana e a distribuição na cidade de áreas verdes.
- Orientação solar: de acordo com a influência da insolação e da direção dos ventos, na modificação na morfologia do solo.
- Permeabilidade do solo: é a relação da quantidade de áreas cobertas por edificações e construções e as áreas livres permeáveis.
- Propriedades termodinâmicas dos materiais: são as propriedades físicas como, albedo e seu inverso, absorvância da radiação solar, que dependem da refletividade de cada material utilizado nas construções urbanas e da geometria do cânion urbano.
- Geometria urbana: também chamada como cânions urbanos, é utilizada para caracterizar conjunto de vias que cortam blocos densos de edificações.
- Fator de visão do céu (FVC): é uma medida mais apropriada para a geometria de radiação de determinado local. Este índice é definido como a razão entre a fração de céu visível visto de um determinado ponto e o céu disponível para a troca de calor. Ele varia de 0 (zero) até 1, sendo que o valor 1 corresponde a uma área sem obstáculo entre o ponto escolhido e o céu.

A relação das variáveis morfológicas são exatamente, o FVC, geometria urbana, rugosidade, permeabilidade, uso e ocupação do solo e rugosidade, que são necessários para um estudo sobre o clima urbano.

O entendimento dessas variáveis climáticas faz parte de um processo do desenho urbano, pois servem para amenizar as sensações de desconforto em situações de realidades diferentes de clima e garantir ao usuário um conforto térmico urbano em diferentes atividades.

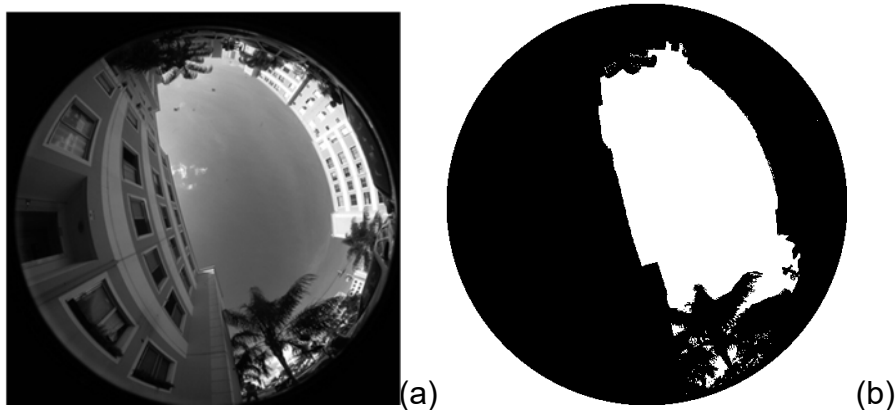
#### 2.1.3.1 Fator de visão do céu (FVC)

O FVC é uma medida mais conveniente para relacionar a geometria de determinado local, a radiação, pois representa a fração de céu disponível para a troca de calor. É uma estimativa da área visível do céu a partir de um ponto de observação na malha urbana e está relacionado com diversos processos ambientais urbanos (OKE, 1981). O valor do fator de visão do céu varia de 0 (zero) até 1, sendo que o valor 1 corresponde a uma área sem qualquer obstáculo no ponto escolhido e o céu.

Em uma cidade existem ruas com diferentes orientações e geometrias, acarretando em cânions com diferentes microclimas, como resultado das diferenças no ângulo de incidência solar e de recebimento do vento. Os estudos dos efeitos térmicos das diferentes configurações urbanas nos centros da cidade geralmente realizam levantamentos de dados climáticos e usam modelos numéricos e ferramentas computacionais para simulações. Para utilizar a geometria urbana como parâmetro de entrada, é preciso fazer a escolha de um método de cálculo.

Uma das formas utilizadas para o cálculo de FVC é através de fotografia realizada com lente olho-de-peixe (Figura 2), que demonstra a projeção da abóbada celeste com base em um ponto. Com base nessa fotografia, pode-se utilizar um filtro de forma a delimitar a área do céu visível da área obstruída pelas edificações, vegetação e outros elementos urbanos.

Figura 2: Fotografia olho de peixe na área de estudo (a); e tratamento para o FVC (b).



Fonte: Autora, 2018.

### 2.1.3.2 Rugosidade e velocidade do ar

Osaki (2016) apud Kanda e Moriizumi (2009) investigou a influência da rugosidade na transferência de calor e dinâmica de fluxo para as superfícies urbanas. Suas análises mostraram que os coeficientes de transferência de calor tiveram o seu valor aumentado com as variações de altura dos blocos, mas não por alongamento desses, e que as variações de alturas dos blocos aumentaram a dinâmica de fluxo significativamente, mas causou pouca mudança no fluxo de calor sensível.

Considerando que os edifícios são os principais elementos de rugosidade, a equação representa o cálculo de  $Z_0$  que, inicialmente, era utilizado para medir a rugosidade de uma superfície de vegetação para a análise do perfil do vento sobre essa (Oke, 1987).

$$Z_0 = 0,5h (A^*/A'') \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$Z_0$ : comprimento da rugosidade (m);

$h$ : altura de rugosidade dos elementos média (m);

$A^*$ : área da face do lado do vento média ( $m^2$ );

$A''$ : área média ocupada por cada elemento ( $m^2$ )

Oke (1987) apresentou uma forma de classificação dos terrenos urbanizados com base em valores de comprimento de rugosidade (Tabela 2).

Tabela 2: Comprimentos de rugosidade ( $Z_0$ ) representativos nos terrenos urbanizados.

<b>Terreno</b>	<b><math>Z_0</math> (m)</b>
<b>Aberto</b>	
(Fazendas, vilas, árvores)	0,2 - 0,6
<b>Suburbano</b>	
- Residência de baixa densidade e jardins	0,4 - 1,2
- Alta densidade	0,8 - 1,8
<b>Urbano</b>	
- Alta densidade, <5 edifícios em bloco e andares	1,5 - 2,5
- Alta densidade urbana com blocos de vários andares	2,5 - 10

Fonte: Adaptado de Oke, 1987.

## 2.2 Índices de conforto em ambientes externos

Existem mais de 100 índices desenvolvidos para representar o conforto térmico em condições quentes e frias. Muitas destas são versões simplificadas da temperatura do ar combinadas com um parâmetro secundário, embora a complexidade desses índices tem aumentado nos últimos anos (JENDRITZKY et al., 2012; JOHANSSON et al., 2014).

Alguns dos modelos de conforto térmico usados para determinar índices de sensação térmica, temperatura efetiva padrão, índices de clima urbano, entre outros para ambientes externos, conforme descrito a seguir:

### 2.2.1 Temperatura Efetiva Padrão (Out\_SET\*)

Também desenvolvida para ambientes internos, a Temperatura Efetiva Padrão (SET\* - *Standard Effective Temperature*) é um modelo para calcular a temperatura do bulbo seco que relaciona as condições reais de um ambiente à temperatura (efetiva) assumindo roupa padrão, taxa metabólica e umidade relativa de 50% (BLAZEJCZYK et al., 2012). Esta avaliação fornece uma medição de temperatura

do ar equivalente para comparar as sensações térmicas em um intervalo de condições e disto a temperatura efetiva pode ser relacionada a um conforto térmico.

OUT\_SET\* é o derivado do SET\*, com a temperatura radiante média simplificada, e com as condições de temperatura radiante média com todas as outras variáveis mantidas como em SET\* (PICKUP; de DEAR, 2000; JENDRITZKY et al., 2012). Utilizado para atividades ao ar livre com os valores de vestuários.

### 2.2.2 Índice de Sensação Térmica (TSI)

O Índice de Sensação Térmica (TSI- *Thermal Sensation Index*) determina uma medida entre 0 e 7, sendo 4 a condição mais confortável (GIVONI et al., 2003). O TSI foi desenvolvido a partir de pesquisas no Japão através de testes formalizados de indivíduos posicionados em ambientes externos por períodos definidos de tempo. Os sujeitos foram solicitados a preencher um questionário de sensação térmica indicando desconforto, condições neutras e prazerosas. Estes experimentos foram conduzidos sob várias condições solares e de vento para quantificar a experiência de variáveis climáticas externas em relação à experiência do sujeito. Os dados desta experiência levaram ao desenvolvimento de uma equação que expressa a sensação térmica em função de cinco variáveis, incluindo temperaturas da superfície de materiais circundantes e umidade. Isso foi posteriormente analisado para produzir uma equação simplificada para ser usada como uma fórmula preditiva levando em consideração a temperatura do ar, a radiação solar e velocidade do vento (GIVONI et al., 2003). As principais variáveis de entrada são temperatura do ar, radiação solar e velocidade do vento.

### 2.2.3 Índice Universal de Clima Termal (UTCI)

Em 2000, o Índice Universal de Clima Termal (UTCI – *Universal Thermal Climate Index*) foi desenvolvido por uma comissão estabelecida pela Sociedade Internacional de Biometeorologia. O objetivo principal era criar um índice que fosse preciso em todos os climas, estações e escalas fosse independente de características

personais como idade, gênero, atividades específicas e roupas (JENDRITZKY et al., 2012).

O UTCI é definido como a temperatura do ar na condição de referência (50% de umidade, ar parado e sombra total) que causa a mesma resposta fisiológica que as condições reais observadas.

Segundo Krüger et al. (2011), o UTCI permite comparações adequadas de condições climáticas e confirma novamente a simplificação da abordagem adotada pela UTCI para desenvolver uma escala de avaliação com base nas respostas às condições de referência. O UTCI parece ser aplicável a homens e mulheres, para jovens e adultos, bem como para os idosos, embora se deva notar que a população do estudo era restrita para residentes sãos e permanentes, isto é, aclimatados. Com isso sugere que adequação razoável e não defende a necessidade de calibração do procedimento UTCI, que foi desenvolvido principalmente a partir de dados europeus, para regiões subtropicais.

#### 2.2.4 Índice Temperatura Fisiológica Equivalente (PET)

Para Höpfe (1999), os modelos de trocas de calor de aplicação mais universais são aqueles que permitem a estimativa dos valores de temperatura da pele, temperatura interna, taxa de suor, ou de pele úmida do corpo humano, considerando-se para isso os processos termorregulatórios básicos como a vasodilatação e a taxa de suor psicológica. Essa é a fundamentação do *Munich Energy-balance Model for Individuals* (MEMI), que foi desenvolvido por Höpfe em 1984 e que originou o índice denominado Temperatura Fisiológica Equivalente (PET - *Physiological Equivalent Temperature*).

O PET, expresso em graus Celsius, é definido como a temperatura fisiológica equivalente, em determinado ambiente (interno ou externo), à temperatura do ar de um ambiente interno de referência, no qual o balanço térmico humano é mantido com a temperatura da pele e do centro do corpo iguais àquelas das condições em avaliação (HOPPE, 1999). Nesse sentido, o índice PET permite ao indivíduo a comparação dos

efeitos integrais das complexas condições externas com a sua própria experiência no ambiente interno (LAMBERTS; ANDREASI, 2003).

Para a obtenção do PET, os dados climáticos do ambiente de referência e os dados individuais são estabelecidos da seguinte forma:

- (a) velocidade do ar de 0,1 m/s;
- (b) temperatura radiante média igual à temperatura do ar; pressão de vapor de água de 12 hPa (umidade relativa de 50% a uma temperatura do ar de 20 °C);
- (c) metabolismo de 80 W (atividade leve); e
- (d) vestimenta de 0,9 clo.

Conforme Mayer e Matzarakis (1998), o conforto térmico para um ambiente padrão seria próximo dos 21 °C (HÖPPE, 1999), ou correspondente a uma faixa entre 18 °C e 23 °C. Krüger et al. (2011), é necessário calibrar o PET no local, para contemplar diferenças devido a aclimação, dentre outros fatores que afetam a percepção térmica.

### **2.3 RayMan**

É um programa que simula modelos de fluxo de radiação de ondas curtas e longas a partir do ambiente tridimensional.

Estudos de validação mostram que os dados simulados apresentam grande similaridade em relação aos dados medidos (MATZARAKIS, 2010).

Os resultados do modelo são os índices térmicos: previsto votação média (PMV), temperatura fisiológica equivalente (PET) e temperatura efetiva padrão (SET), que fazem parte do modelo RayMan, assim como fluxos de energia e parâmetros do corpo humano para o *Munich Energy-balance Model for Individuals* (MEMI), conforme figura 3. A TRM pode ser um dado de entrada ou uma variável calculada a partir da radiação global horizontal ou do FVC; da mesma forma, a radiação global horizontal pode ser também calculada a partir do FVC.

Figura 3 - Janela de entrada do RayMan para o cálculo de temperatura radiante média e índices térmicos.

The screenshot shows the RayMan Pro software interface with the following data entered:

Section	Parameter	Value
Date and time	Date (day.month.year)	19.6.2005
	Day of year	170
	Local time (h:mm)	22:31
Geographic data	Location	1st location - erster Ort
	Geogr. longitude (°.′.″ E)	7°51′
	Geogr. latitude (°.′.″ N)	48°0′
	Altitude (m)	323
	Timezone (UTC + h)	1.0
	Height (m)	1.75
	Weight (kg)	75.0
Personal data	Age (a)	35
	Sex	m
	Activity (W)	80.0
Clothing and activity	Clothing (clo)	0.9
	Position	standing
Current data	Air temperature Ta (°C)	20.0
	Vapour pressure VP (hPa)	12.5
	Rel. humidity RH (%)	53.5
Current data	Wind velocity v (m/s)	1.0
	Cloud cover N (octas)	0.0
	Global radiation G (W/m²)	
	Mean radiant temp. Tmrt (°C)	
	Thermal indices	<input checked="" type="checkbox"/> PMV <input checked="" type="checkbox"/> PET <input checked="" type="checkbox"/> SET*

Fonte: Programa RayMan, adaptado pela autora, 2018.

Os dados meteorológicos do programa são:

- temperatura do ar;
- pressão de vapor (a qual pode ser calculada pelo programa pelo programa a partir da umidade relativa do ar);
- velocidade do vento;
- temperatura radiante média;

Os parâmetros do corpo usados pelo MEMI são:

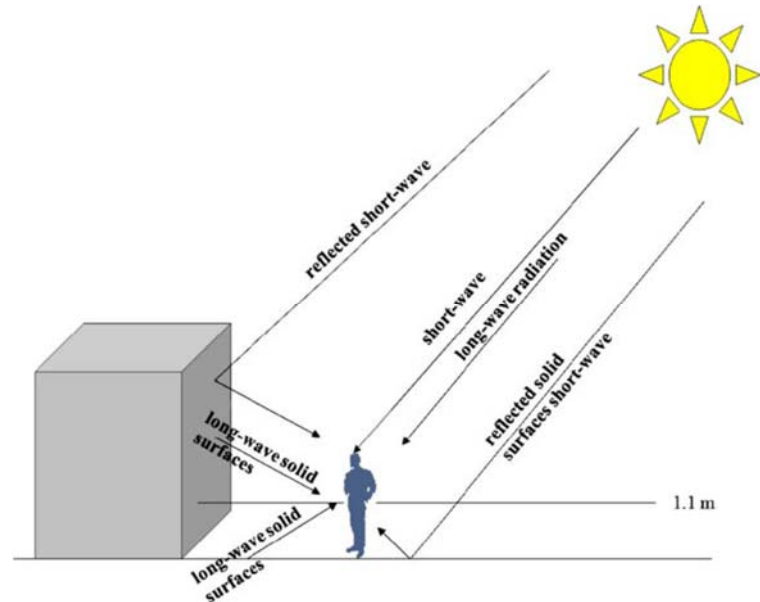
- altura, peso, idade e sexo do indivíduo;
- posição do corpo (em pé ou sentado);
- atividade humana e produção de calor corporal;
- resistência à transferência de calor de roupas;

Segundo Matzarakis (2009), para a aplicação do modelo em situações simples, são necessárias a radiação solar direta, radiação solar difusa, reflexão da radiação, reflexão da radiação de ondas curtas, radiação atmosférica (onda longa) do céu



aberto, radiação de ondas longas de superfícies sólidas (hemisfério inferior e limitação de horizonte), conforme figura 4.

Figura 4 – Exemplos da radiação na edificação e seu entorno.



Fonte: Matzarakis, 2009.

Os parâmetros que descrevem os arredores do corpo humano são compostos pelos seguintes elementos:

- fator de visão do céu - por causa da limitação do horizonte e a influência do fluxo de radiação de ondas curtas e longas;
- fator de forma das diferentes superfícies sólidas - por causa a modificação da radiação refletida de ondas curtas (calculado internamente pelo programa); Essa variável é calculada a partir de imagens hemisféricas zenitais ou de modelos tridimensionais do entorno inseridos como entrada do programa;
- albedo das diferentes superfícies sólidas - por causa da influência da radiação de ondas curtas;
- emissividade das diferentes superfícies sólidas - devido a influência na temperatura da superfície.

Com base nos resultados comparativos dos estudos de Matzarakis (2009), Hammerle (2011), Kruger e Minella (2014), Lee e Mayer (2016), pode-se concluir que

o programa RayMan é uma ferramenta adequada para a simulação de TRM e de índices de conforto externos de conforto térmico.

No entanto, o programa possui duas possíveis fontes de erros (ou desvios):

- A entrada de emissividade e de albedo é únicas para uma dada entrada de dados, não contemplando heterogeneidade dessas propriedades no entorno;
- O algoritmo não contempla a radiação refletida ou emitida pelo piso.

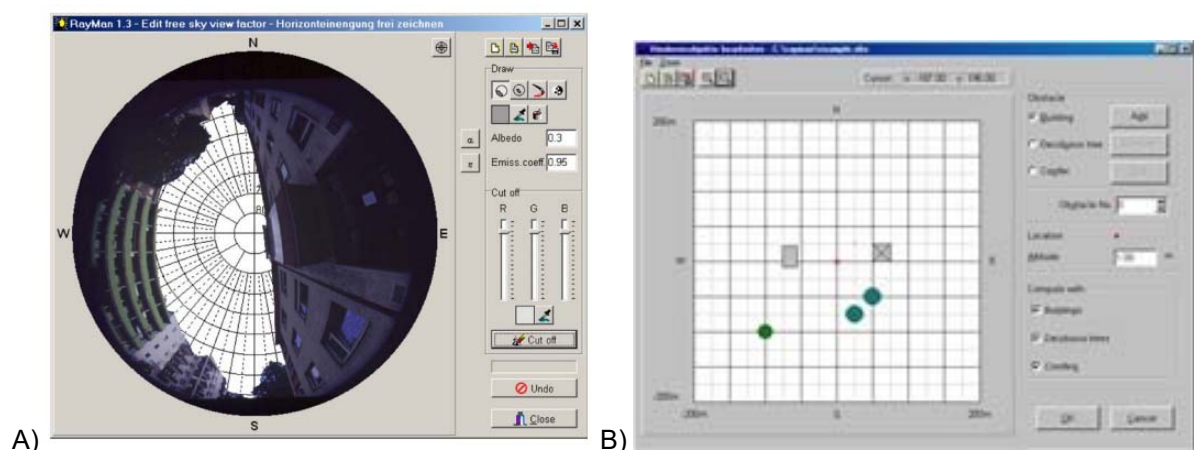
Dessa forma, são necessárias calibrações locais para as variáveis resultantes do balanço de radiação, particularmente da TRM (LEE; Mayer, 2016).

### 2.3.1 Modelando os fluxos de radiação pelo modelo

Para modelar os fluxos de radiação proposto pelo modelo, deve-se entrar com dados medidos no local, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento, alternativamente pode-se entrar com temperatura radiante média, radiação líquida medida no ponto da imagem para cálculo do fator de visão do céu. Quando são usados os dois últimos parâmetros a radiação pode ser corrigida pela cobertura de nuvens.

Outra forma de entrada da geometria da área é desenhando-a (figura 5).

Figura 5 – Exemplos de entrada de dados: A- imagem hemisférica; B- Desenho dos elementos da área urbana



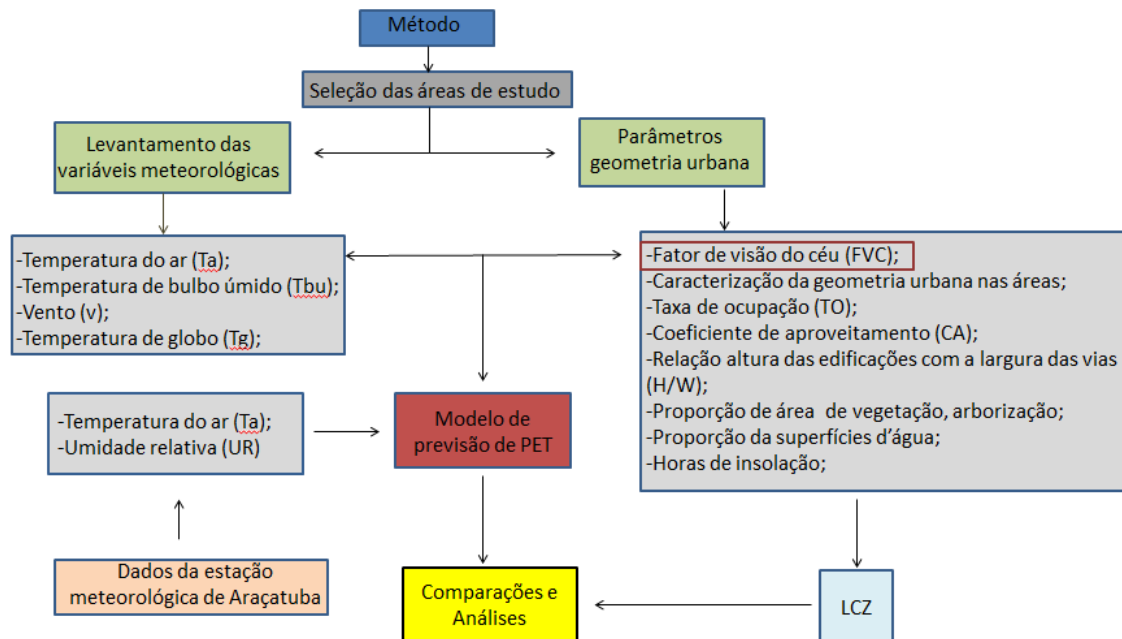
Fonte: Matzarakis, 2006.

Os fluxos de radiação e os índices urbanos são calculados segundo modelo descrito por Matzarakis et al (2010).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados os materiais e métodos conforme fluxograma (figura 6).

Figura 6 – Fluxograma do método utilizado.



Fonte: Autora, 2018.

A base para o desenvolvimento da pesquisa teve como suporte o material bibliográfico disponível em sites, livros na biblioteca da Unesp e levantamentos de dados em campo.

Foram empregados dados da estação meteorológica na cidade de Araçatuba e arquivos climáticos TRY disponíveis no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da USFC, para as análises espaciais foram utilizados os mapas de uso e ocupação do solo, mapa de áreas verdes e praças e mapas de planialtimetria urbana. Para o estudo das áreas foram feitos levantamentos e a utilização do Google Earth para as atualizações da cidade.

A pesquisa seguiu as seguintes etapas:

- (a) Seleção da área de estudo foi baseada nas diferentes configurações morfológicas de cada área, sendo:
  - área fundo de vale com bastante arborização e sem edificações ao redor;

- centro da cidade com prédios de 5m á 15m de altura com pouca vegetação;
  - casas térreas arborizadas;
  - edifícios com altura de 12 m sem área permeável;
- (b) Levantamento de variáveis meteorológicas: temperatura do ar (TA), temperatura de bulbo úmido (TBU), velocidade do vento (V), temperatura de globo (TG);
- (c) Levantamento de fator de visão do céu (FVC);
- (d) caracterização da geometria urbana na área de estudo;
- (e) Mapeamento da vegetação, arborização e superfícies d'água;

Posteriormente, os dados foram organizados em gráficos e planilhas, comparados e analisados estatisticamente.

### **3.1 A cidade de Araçatuba**

As áreas urbanas selecionadas para o levantamento de dados pertencem à cidade de Araçatuba, localizada na região Noroeste do Estado de São Paulo cerca de 530 km de distância da capital (figura 7).

A cidade de Araçatuba está situada a 21 11'55" Sul e 50 25'53" Oeste, tendo abundância de luz, altas temperaturas e bons índices de chuva.

Possui altitude média de 359.1 m, variando na área urbana de 340 m a 415 m aproximadamente. A população é de 194.874 habitantes (Estimativa do IBGE, 2017), área total de 1.167,126 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016) e densidade demográfica de 155,54 hab/km<sup>2</sup> e cerca de 60,4 km<sup>2</sup> de malha urbana (IBGE, 2016).

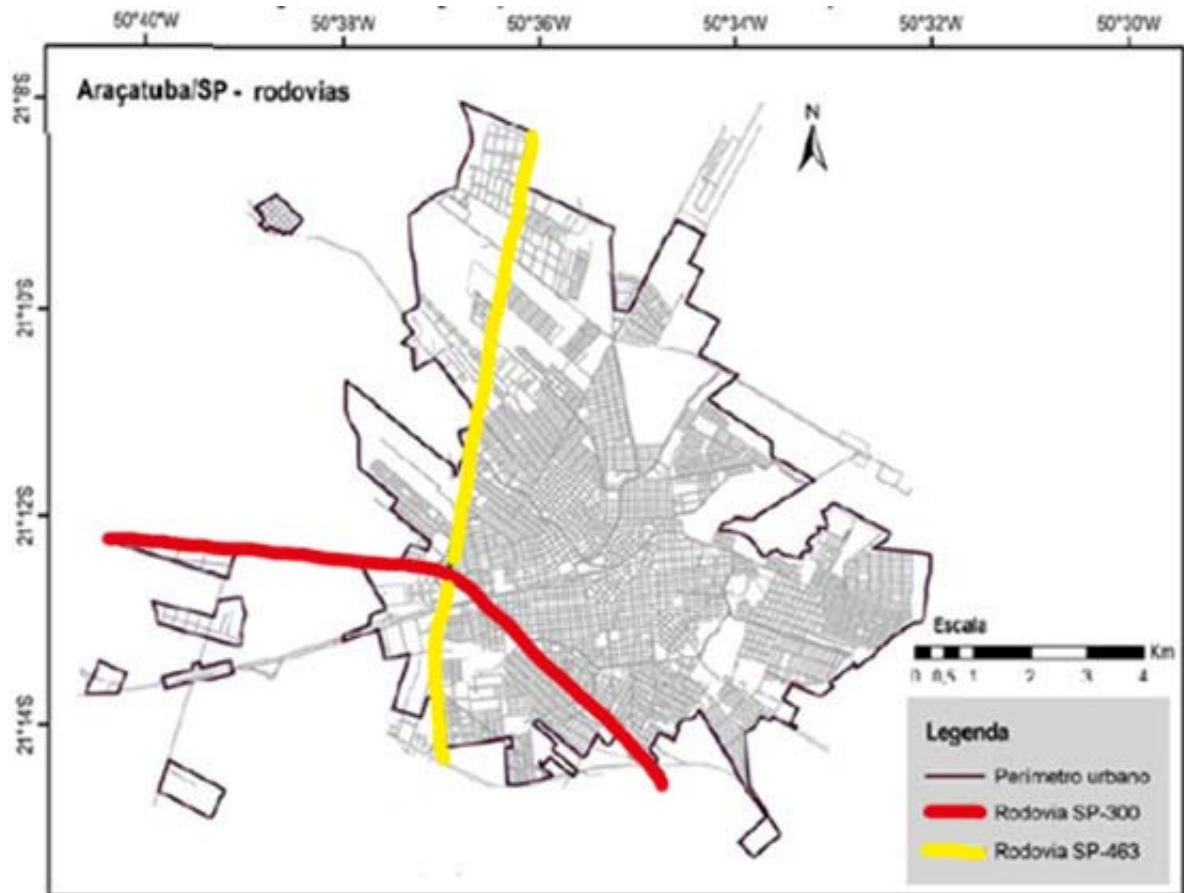
Figura 7: Localização de Araçatuba no Estado de São Paulo



Fonte: Mapa do plano diretor de Araçatuba, 2006.

A formação da cidade de Araçatuba se deu pelo traçado planejado, mas posteriormente, ocorreu sem a orientação inicial, gerando problemas que afetam a qualidade ambiental. Esse crescimento alcançou os limites de duas importantes rodovias estaduais, a Marechal Cândido Rondon (SP-300) e a Dr. Elyeser Montenegro Magalhães (SP-463), como pode ser observado na disposição da malha urbana na figura 8.

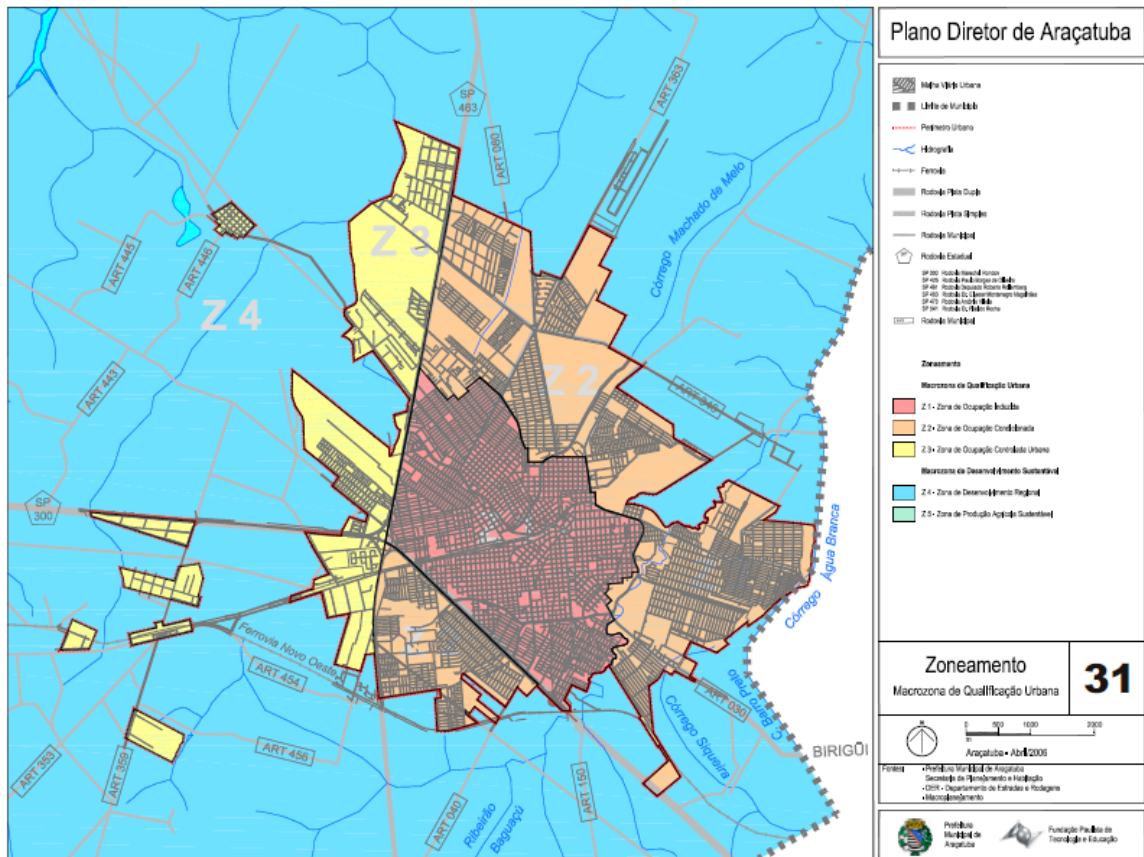
Figura 8: Mapa de Rodovias em Araçatuba



Fonte: Plano diretor de Araçatuba, 2006.

Foram feitos estudos nas áreas da cidade com base nos mapas e de acordo com a delimitação do perímetro urbano, conforme figura 9, considerando as três zonas da cidade.

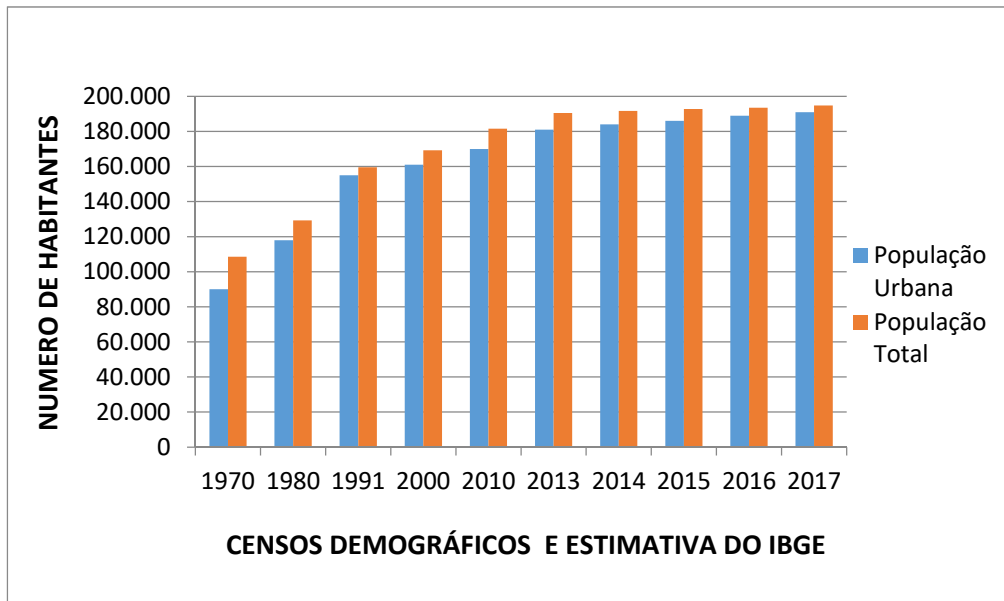
Figura 9: Mapa do perímetro urbano em Araçatuba



Fonte: Plano diretor de Araçatuba, 2006.

A Ferrovia Ouroeste é um dos limites da área urbana no extremo sul, adotado pelo Zoneamento Municipal, devendo ser controlado em termos de ocupação. De acordo com os Censos de 1970 ao de 2010 ocorreu o aumento da população (figura 10), mas o percentual do crescimento demográfico diminuiu nos últimos dois levantamentos. Isso porque houve uma diminuição do ritmo de crescimento populacional do país, afetado pela queda da taxa de fecundidade e da mortalidade.

Figura 10 – População de Araçatuba (período de 1970 a 2017)



Fonte de dados: IBGE, 2018.

Organização: Autora, 2018.

A cidade faz divisa com Rio Tietê, Santo Antônio do Aracanguá (norte), Birigui (leste), Bilac (sudeste), Gabriel Monteiro (sul), Guararapes (oeste).

O solo é caracterizado por ser sílico argiloso, com depósitos de húmus nas baixas de terreno. Arenitos e siltitos nas partes carbonáticas, conglomerados e folhelos.

### 3.1.1 Características Climáticas

O clima de Araçatuba é Aw (tropical, com chuvas no verão) pela classificação de Köppen-Geiger. As temperaturas máximas estão sempre acima de 25 graus e a média das temperaturas estão acima dos 29 graus. Com média máxima de 36°C e mínima de 17°C.

A pluviosidade média anual é 1206 mm. No mês de agosto a precipitação é de 18mm, o mês mais seco. O mês de Janeiro é o mês com maior precipitação, apresentando uma média de 219 mm. Há muito mais pluviosidade no verão que no inverno.



### 3.2 Características da área de estudo

A partir dos parâmetros como, ocupação do solo, áreas permeáveis e impermeáveis, recuos entre as edificações, relação de distância entre altura dos edifícios e largura, vegetações, o território foi delimitado levando em consideração os conceitos estruturadores “tipos de materiais de cobertura” das Zonas Climáticas Locais (LCZ) e Unidades de Paisagem, elaborados por Oke e Stewart (2012).

Na tabela 3, está caracterizada através dos elementos estruturadores os quatro tipos de zona climáticas locais que podem existir na área urbana. E na tabela 4, os critérios de definição da paisagem através de forma de parcelamento do solo e espaços livres de edificações.

Tabela 3: Caracterização das Zonas climáticas das áreas de estudo

ZCL Tipos	Elementos Estruturadores: “tipos de materiais de cobertura”
Tipo 1	Paisagem densamente arborizada. Cobertura do solo na maior parte permeáveis. Zonas com florestas naturais, cultivos de árvores ou parque urbano. Zonas de fundo de vale com presença de corpo hídrico. Aspecto de raio: >1. Altura dos elementos de rugosidade 3-30. Classe de rugosidade do terreno 7.
Tipo 2	Área aberta em expansão com edifícios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvores. Cobertura do solo parcialmente permeável. Materiais de construção: telha, pedra, tijolo, concreto, aço. Aspecto de raio: 0,30-0,75. Altura dos elementos de rugosidade 3-10. Classe de rugosidade do terreno 5.
Tipo 3	Área mista de edifícios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvores. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção: asfalto, pedra, telha de diferentes tipos, concreto. Aspecto de raio: 0,75-1,5. Altura dos elementos de rugosidade 3-10. Classe de rugosidade do terreno 6.
Tipo 4	Área mista de edifícios com altura média (2-9 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvores. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção: asfalto, pedra, telha de diferentes tipos, concreto. Aspecto de raio: 0,75-2,00. Altura dos elementos de rugosidade 6-25. Classe de rugosidade do terreno 6-7.

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos conceitos de Stewart e Oke, 2016

Tabela 4: Critérios para definição das paisagens

ITEM		SUBITEM
1	Formas de parcelamento	Constituição de vias
		Dimensões das quadras
		Mapeamento das vegetações
2	Tipos de usos e ocupações	Padrão de edificações
		Número de afastamentos e existências de recuos
		Tamanho dos lotes
		Altura e largura dos edifícios
3	Espaços livres de edificações	Padrão viário
		Dimensões das calçadas
		Tipos de cercamentos dos lotes

Fonte: Autora, 2016

Assim, após cada delimitação das zonas climáticas locais e critérios para a definição das paisagens, foram coletados dados a partir do levantamento de campo feito através de visitas nas áreas de estudo, caracterização da geometria de construção e medições in loco.

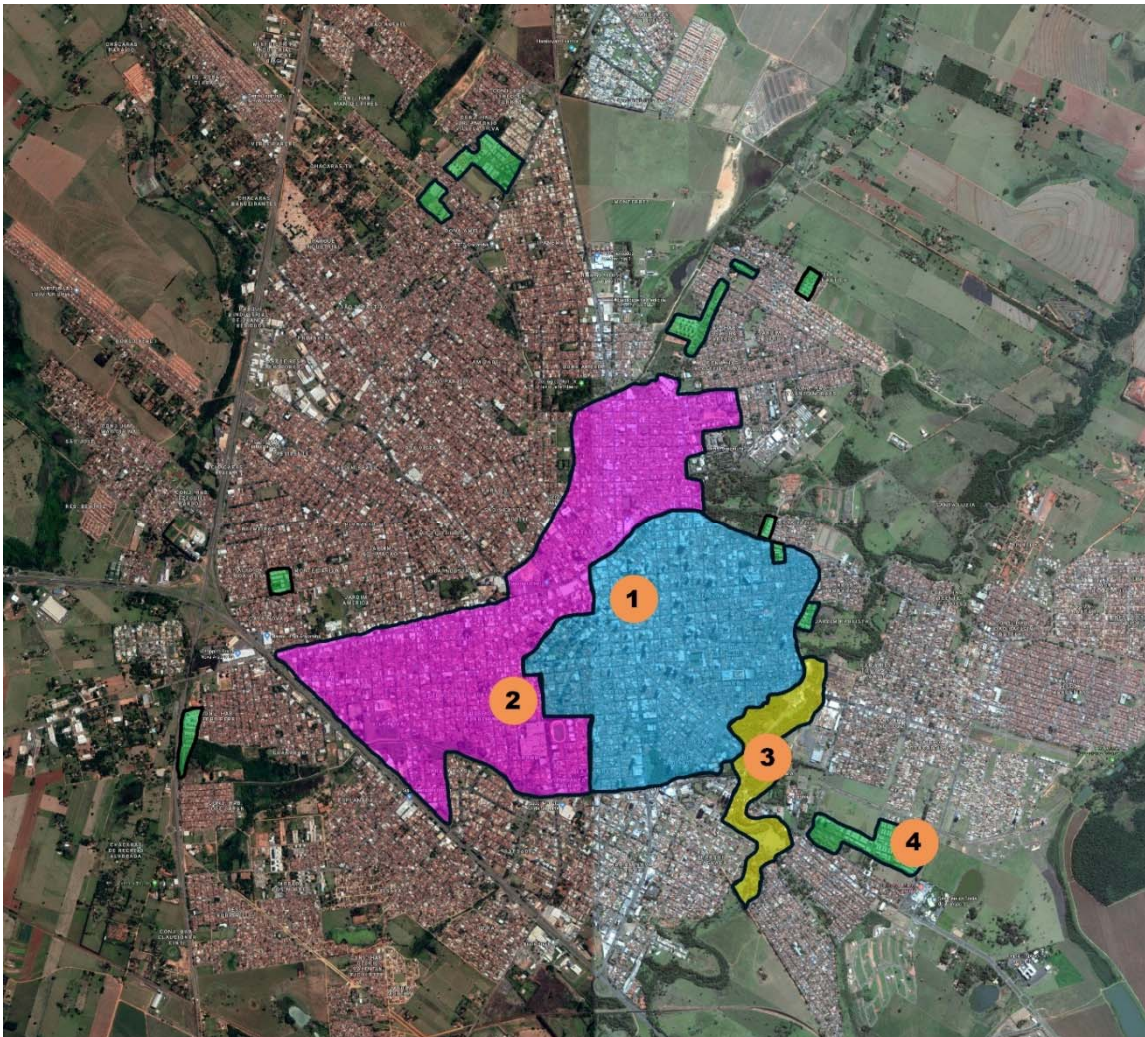
O objetivo de utilizar esta metodologia foi reunir parâmetros para caracterização de áreas locais e pontos com diferentes zonas térmicas. A identificação das zonas inicialmente foi uma hipótese de comportamento térmico.

Ainda para analisar as áreas de estudo, foram feitas sua caracterização considerados os seguintes itens:

- a classe de rugosidade do terreno;
- a altura dos elementos de rugosidade;

Para o estudo foram escolhidas quatro áreas a partir de suas caracterizações e tipologias urbanas diferentes, com base nas LCZs, conforme figura 11.

Figura 11 – Localização das áreas de estudo sem escala



Fonte: Autora, a partir de dados do plano diretor da cidade atualizados em campo, sobre imagem do Google Earth. Acesso em 23 nov. 2016.

### 3.2.1 Área central

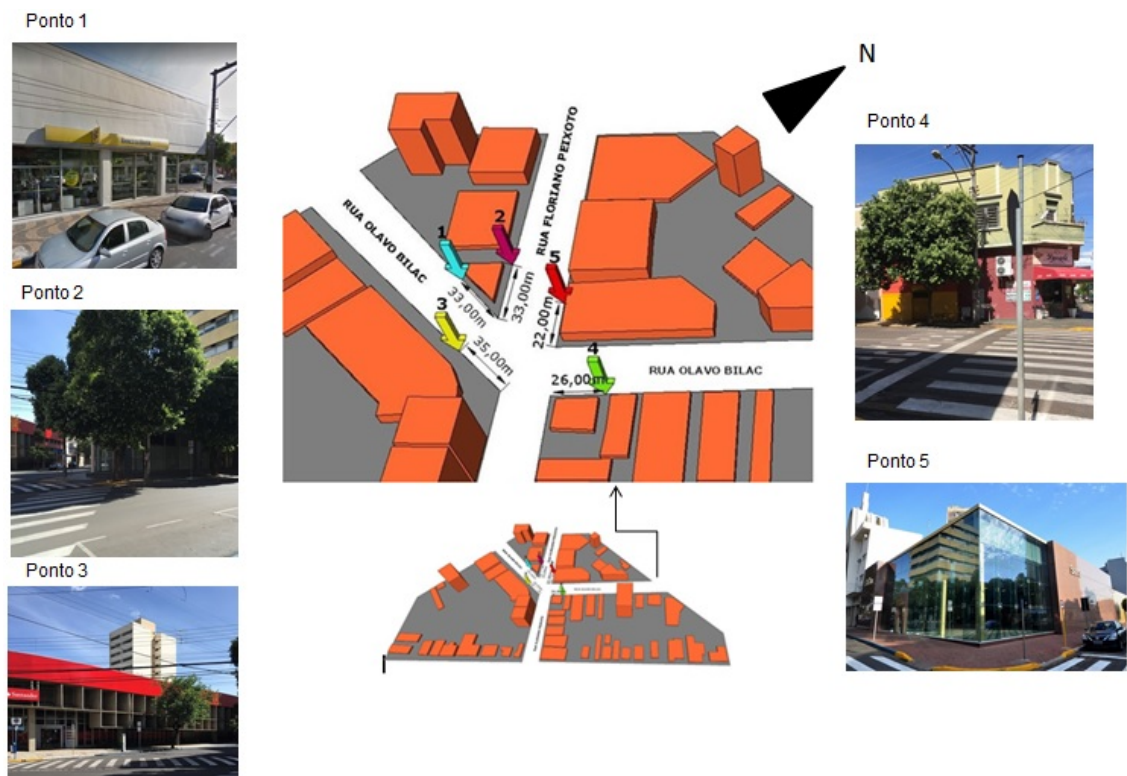
A cidade de Araçatuba nasceu a partir da Praça do Boi Gordo que fica localizada na área central da cidade, servindo de ponto de convergência para oito ruas que determinaram o arruamento na época. Assim, ao redor desta praça, foram construindo edifícios, igrejas, comércios e serviços.

A geometria urbana central é bem variada, possuindo edifícios de 3 à 20 pavimentos. É onde se concentra a maior parte dos edifícios altos da cidade. O centro é pouco arborizado, a topografia é plana, sendo o ponto mais alto da cidade. Nesta

área, o recorte espacial para as medições, é composto por quatro quadras urbanas para a concentração dos edifícios altos.

Os pontos escolhidos foram em áreas densamente urbanizadas, com presença de edifícios altos, com materiais de diferentes características. Os pontos 1,3 e 5 são áreas que não tem arborização e os pontos 2 e 4 já tem a presença de grandes árvores, conforme figura 12.

Figura 12: Perspectiva da área central com os respectivos pontos



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

### 3.2.2 Bairro das Bandeiras

Este bairro é classificado como residencial, a geometria urbana predomina edificações térreas e assobradadas. A topografia é plana e há predominância de arborização.

Os pontos 1,2,4 e 5 tem grande arborização no entorno, conforme figura 13.

Figura 13: Perspectiva área residencial Bandeiras com os respectivos pontos



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

### 3.2.3 Bagaçu (Fundo de vale)

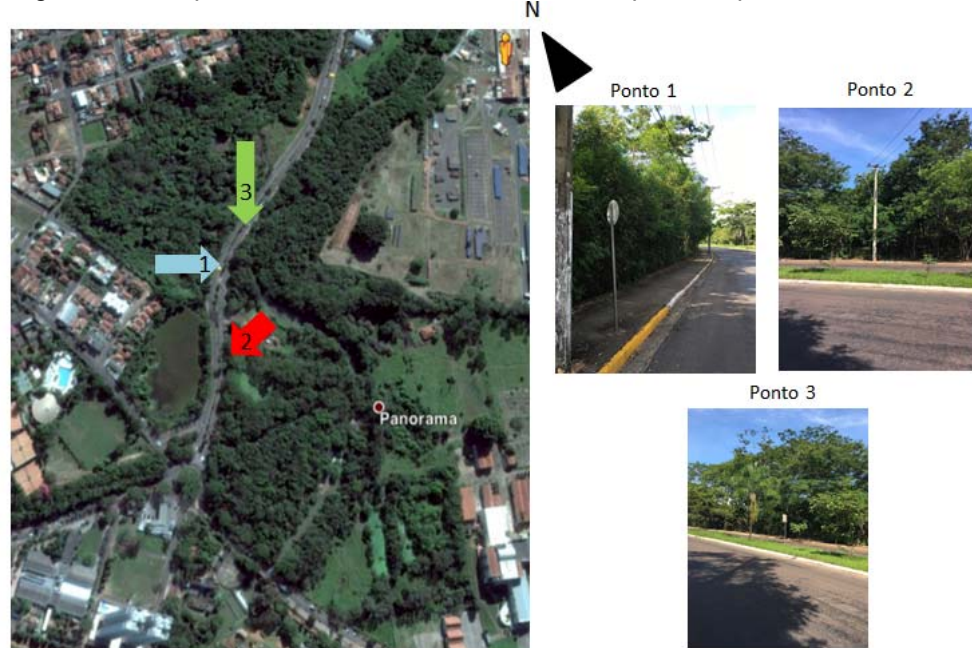
A localização desta área fica na parte mais baixa da cidade, em torno do rio Bagaçu, que atravessa toda a cidade.

Como não existem edificações nesta área, a altura das árvores foi analisada para fazer uma caracterização da geometria urbana, e variam entre 10 a 12 metros. Uma área mais fresca e com predominâncias de vento.

Os pontos foram determinados para a verificação do comportamento das temperaturas naquela área que por ser fundo de vale, deveria ser mais amena em todos os pontos.

O ponto 1 fica localizado na avenida com uma vasta vegetação de uns 50 metros até chegar no lago. O ponto 2 fica localizado do outro lado da avenida, e possui uma vasta vegetação mais de 100 metros, passando um córrego. E por último o ponto 3, fica localizado no canteiro central da avenida, onde não tem arborização e nem a projeção das copas das árvores existentes no local, conforme figura 14.

Figura 14: Perspectiva área fundo de vale com os respectivos pontos



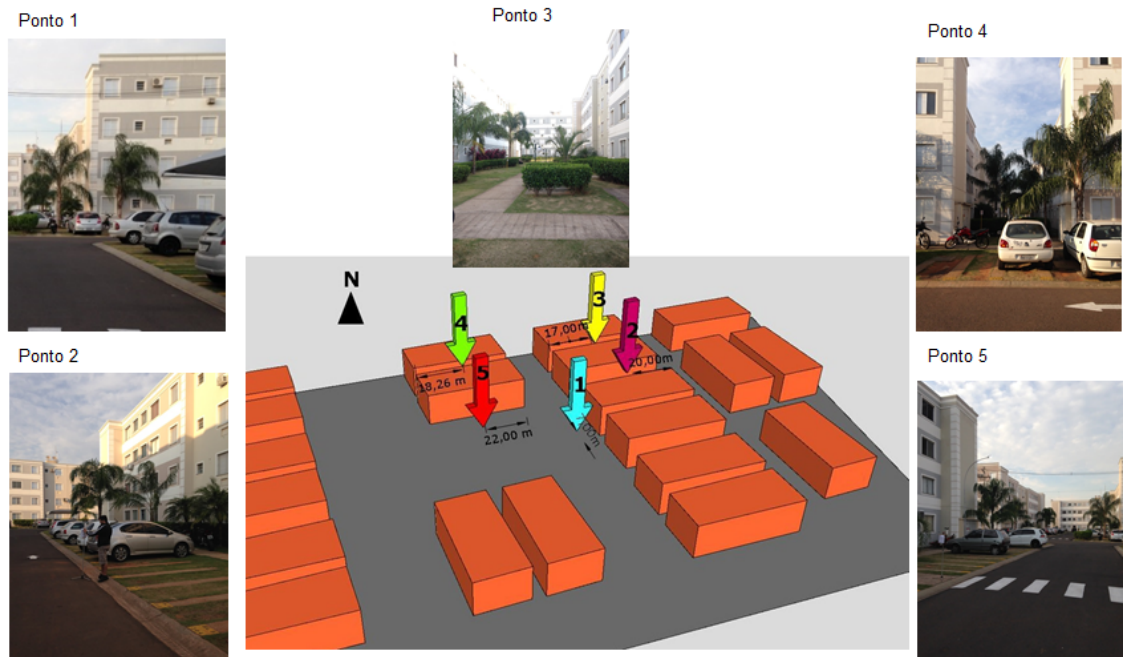
Fonte: Adaptado pelo autora do Google Earth, 2017.

### 3.2.4 Alta Vista (MRV)

Esta área foi amplamente urbanizada com programas como Minha Casa, Minha Vida, através de condomínios de edifícios. Tais edifícios foram distribuídos de forma a centralizar a área de lazer para os moradores, sem pensar na insolação e nos ventos predominantes do local. A geometria urbana conta com uma altura de 12 metros cada edificação e um espaço de 9 metros entre eles e sem arborização.

O ponto 1 fica localizado em frente a um edifício com uma ampla área de lazer; o ponto 2, fica localizado entre dois edifícios com uma rua de acesso de 40m entre os edifícios; os pontos 3 e 4, ficam localizados entre edifícios, onde possuem sombra entre eles e uma área de circulação com 20m de distância; o ponto 5 possui quase a mesma localidade do ponto 1, possuindo diferenças do comprimento da fachada dos edifícios, conforme figura 15.

Figura 15: Perspectiva Condomínio Alta Vista com os respectivos pontos



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

### 3.3 Instrumentação e Levantamento de dados

Para a realização das coletas de dados nas áreas foram feitos registros de temperatura, umidade e vento, através de sensores data-loggers e anemômetros posicionados em locais estratégicos. Os equipamentos utilizados foram do Laboratório Didático de Conforto Ambiental (LADICA) do Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo da Unesp/ Bauru.

A figura 16 mostra as características de cada equipamento.

Figura 16: Características dos equipamentos móveis

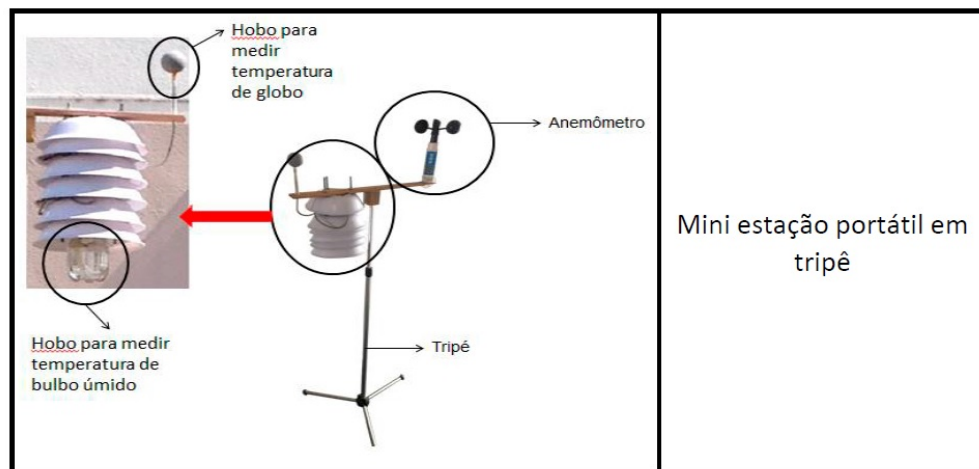
ILUSTRAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS
	<p>Sensores data-loggers (ONSET HOBO H8 Pro Series Temp/External) ; com sensores de temperatura do ar (de -30° a 50°C) e externa/superficial (-40° a 100°C), com resolução de 0,02°C a 21°C em modo de alta resolução; Tal equipamento realiza registros da Ta, Tg e temperatura de bulbo úmido.</p>
	<p>Anemômetro digital tipo concha Lutron AM- 4220 (Robinson);</p>
	<p>Câmera digital Nikon Coolpix 4500 acoplada a um FC-E8 <i>Fisheye Converter</i> ;</p>

Fonte: Autora, 2018.

Os equipamentos foram instalados em uma mini estação móvel (figura 17), feito com tripé e estrutura de madeira a 1,10m do piso. Os sensores de TA e TBU ficaram protegidos da radiação solar.



Figura 17: Equipamentos instalados no tripé



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O termômetro de globo foi montado com uma bola de tênis de mesa pintada de cinza recobrindo um sensor externo do Hobo (conforme NIKOLOPOLOU; BAKER; STEMEERS, 1999). De forma análoga, o termômetro de bulbo úmido foi composto por um sensor externo do Hobo recoberto por uma mecha de algodão, cuja extremidade oposta ficava imersa em água. Posteriormente, os dados de TA e TBU foram convertidos em umidade relativa a partir das equações apresentadas por Moreira (1995).

A velocidade do vento foi medida através de anemômetro digital da marca tipo concha Lutron AM- 4220 (Robinson), que ficou fixada na parte superior da estrutura de madeira.

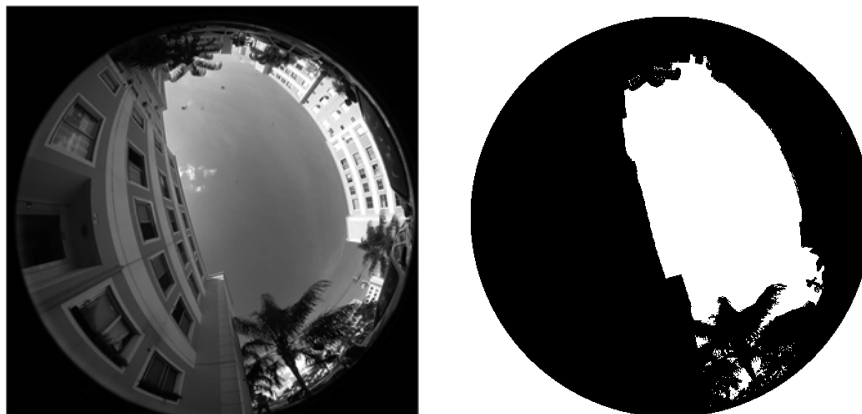
Paralelamente as medições foram coletados dados disponibilizados pela estação meteorológica CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas) nos horários medidos. O intervalo de aquisição da estação CIIAGRO é de 20 min; assim, os dados de horários intermediários foram interpolados linearmente a partir dos dados do intervalo para comparação com os dados medidos nos pontos.

Foram escolhidos cinco pontos num raio de 50 a 100 m no interior de cada área para verificar a homogeneidade dos dados. O tripé era deixado em cada ponto 10 min para estabilização dos instrumentos e a seguir transferido para o próximo ponto da sequência.

As medições foram realizadas em dois períodos: das 6 h 30 min às 10 h e das 12 às 18 h 30 min. Não foram realizadas medições no período noturno por questões de segurança. Os levantamentos foram feitos entre novembro de 2016 a novembro de 2017, mas algumas sequências de dados foram inutilizadas devido a chuvas e nebulosidade elevada. Por fim, foram utilizados somente os dados dos meses de agosto (dias 08 e 31) e setembro (dias 11 e 13) de 2017.

Foram obtidas imagens dos pontos com a câmera digital Nikon Coolpix 4500 acoplada a um FC-E8 *Fisheye Converter* em um tripé a uma altura de 1,10 m, as quais foram tratadas para eliminar o céu e processadas pelo software RayMan (MATZARAKIS, 2010) (figura 18), para determinar o FVC.

Figura 18: Imagens registradas e tratadas com a câmera olho de peixe



Fonte: Elaborado pela autora a partir do programa Rayman, 2018.

### 3.3.1 Teste de homogeneidade dos microclimas no entorno dos pontos

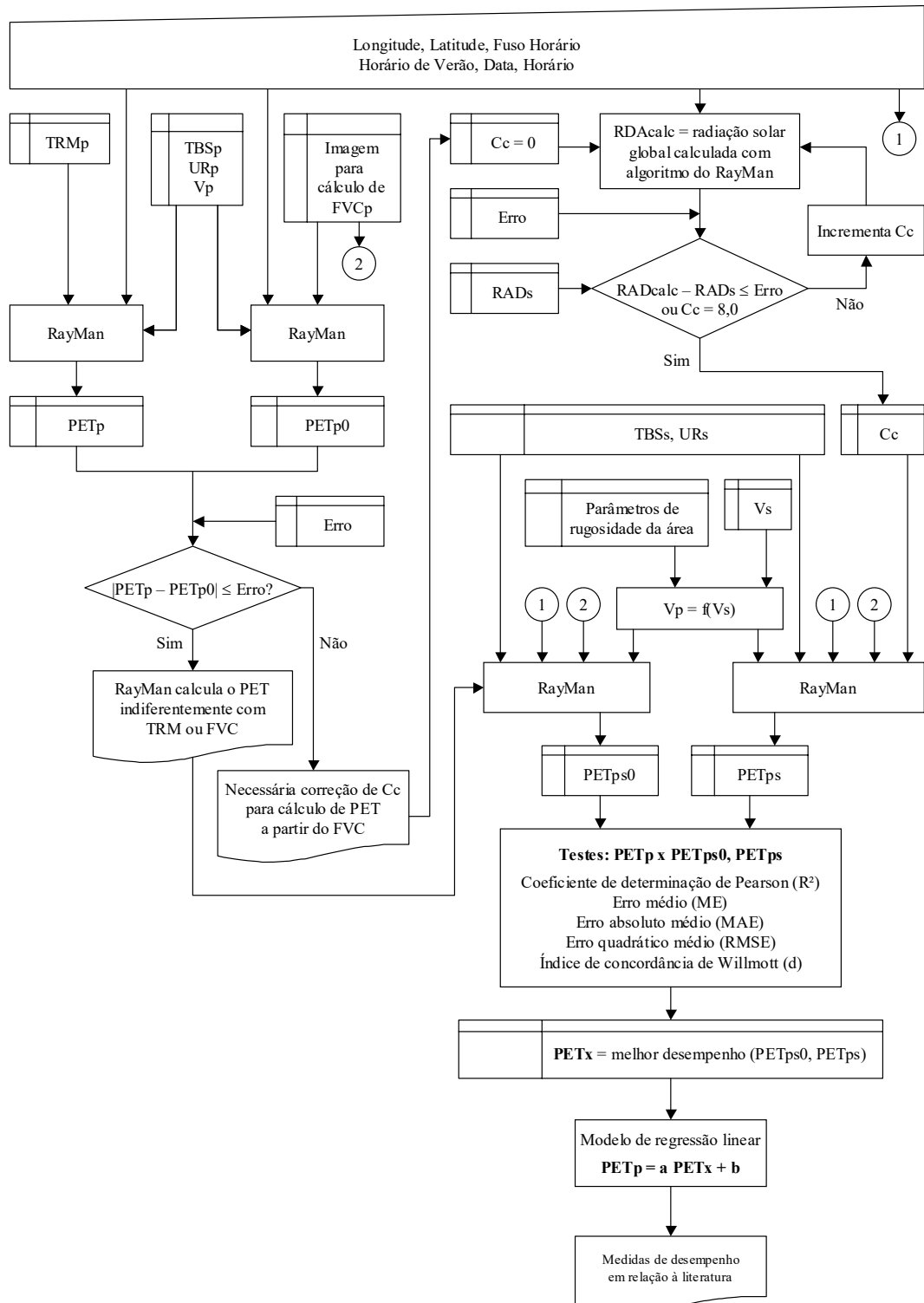
A similaridade das médias das séries foi verificada com o Teste  $t$  de Student para as distribuições normais e como teste de Mann-Whitney para as distribuições não normais. Foi adotado o nível de confiança de 95% e as séries consideradas similares quando  $p > 0,05$ .

### **3.4 Desenvolvimento do modelo de cálculo de PET à partir de dados de estações climatológicas**

#### 3.4.1 Desenvolvimento do modelo

O modelo foi desenvolvido segundo o fluxograma da figura 19.

Figura 19: Modelo de desenvolvimento do PET



Onde: 0- com correção de nuvem  
 p- dados do ponto  
 s- dados da estação

Fonte: Elaborado pela Autora, 2018.

Inicialmente calcularam-se no RayMan os PETs com os dados medidos nos pontos: TBSp, URp, Vp e TrMp, os quais foram usados como referência (PETp). A seguir calcularam-se no mesmo programa os PET com TBSp, URp e Vp, mas com FVCp em substituição a TRMp, para verificação da coerência dos resultados do programa. Da mesma forma, calcularam-se no RayMan os PET com TBSs, URs, mas Vp e FVCp, como uma primeira aproximação da variável para os pontos, com dados parciais da estação meteorológica (PETps0). Nesses cálculos, assim como nos demais, assumiram-se os valores padrão do RayMan para dados pessoais, roupa e atividade.

Na sequência, empregando o equacionamento de cálculo da radiação global no plano horizontal do RayMan (MATZARAKIS et al., 2010), foi calculado a cobertura de nuvem (Cc) a partir do valor mais próximo aos da radiação da estação. Com isso, calcularam-se os valores de cobertura de nuvens horários de forma a reproduzir os valores de radiação solar global no plano horizontal medida na estação meteorológica (RADs) com erro relativo menor que 1%. Os valores de Cc foram inseridos no RayMan juntamente com os dados da estação, TBSs, URs, Vp e FVCp para a aproximação final do PET nos pontos com dados da estação meteorológica corrigidos (PETps).

Depois de todos os estudos e comparações de dados, chegou-se a um modelo de previsão expedita de PET, conforme a equação 02.

(Eq.2)

$$\mathbf{PETp' = PETpx * a + b}$$

Onde: a = inclinação linear

b= interceptação

PETp' = estimado no ponto de medição

PETpx = calculado a partir de dados do ponto e da estação meteorológica

Os valores de Vp, no caso, correspondem aos valores de Vs corrigidos pela equação apresentada por Bittencourt (2005) para alturas e condições de rugosidade distintas das da estação meteorológica (Eq.  $Vp=f(Vs)$ ).

$$V/V_m = k z^a \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

$V$  = velocidade média do vento na altura da abertura de entrada de ar (m/s).

$V_m$  = velocidade média do vento da estação meteorológica medida a uma altura padrão de 10m (m/s).

$z$  = altura da abertura (m)

$k, a$  = coeficientes de acordo com a rugosidade do terreno de acordo com a tabela 5.

Tabela 5: Valores de  $k$  e  $a$  para diferentes características do entorno

Coeficientes do terreno	K	a
Área aberta plana	0,68	0,17
Campo com obstáculos esparsos em relação a vento	0,52	0,20
Área urbana (subúrbio)	0,35	0,25
Centro da cidade	0,21	0,33

Fonte: Bittencourt, 2005.

As séries de PETps0 e de PETps foram submetidas a testes de correlação linear (resultados apresentados pelo coeficiente de determinação de Pearson,  $R^2$ ), erro médio (*mean error* - ME), erro absoluto médio (*mean absolute error* - MAE), erro quadrático médio (*root square mean error* - RMSE) e índice  $d$  de concordância de Willmott (*Willmott's index of agreement*) em relação às séries de PETp para selecionar o melhor deles como forma de estimar valores de PET na escala de bairro a partir de dados de estações meteorológicas locais.

Finalmente, foi estabelecido um modelo de regressão linear:

$$PETp' = PETx * a + b$$

Onde: PETx é o índice de melhor desempenho nos testes, cujo desempenho foi comparado a outros resultados de cálculo de PET expostos na bibliografia.

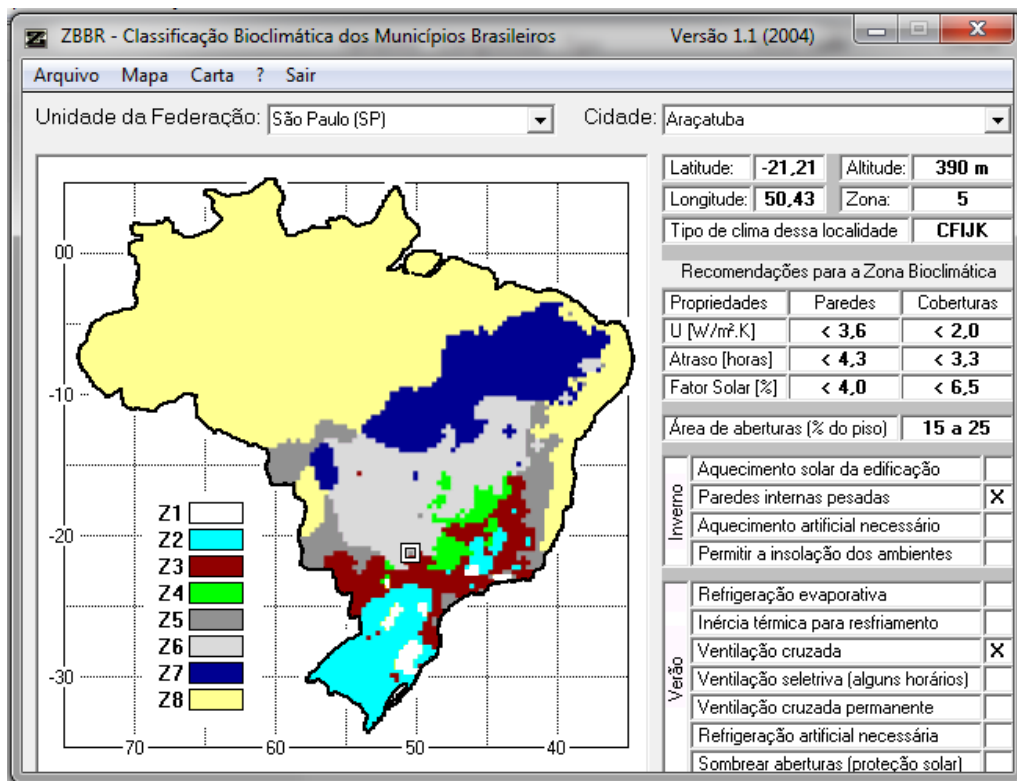
O modelo foi posteriormente aplicado nas diferentes zonas mapeadas em Araçatuba para o dia mais quente do ano.

A TRM de cada ponto foi calculada pela a equação de  $t_{rmt}$  que são os valores medidos da TBS, TG e velocidade dos ventos.

### 3.4.1.1 Aplicação do modelo de PET para o dia mais quente do ano

Para testar a eficiência do modelo em detectar as variações de PET na cidade, foi feito um estudo no dia mais quente do ano. Como a cidade de Araçatuba não dispõe de arquivos climáticos foi feito um levantamento para saber quais são as estações meteorológicas mais próximas da cidade. Foi utilizado o índice de concordância de Willmott (d), levando em conta também o zoneamento bioclimático brasileiro com o auxílio do software de Zoneamento Bioclimático do Brasil (ZBBR- (<http://www.labeee.ufsc.br/antigo/software/zbbr.html>) (Figura 20).

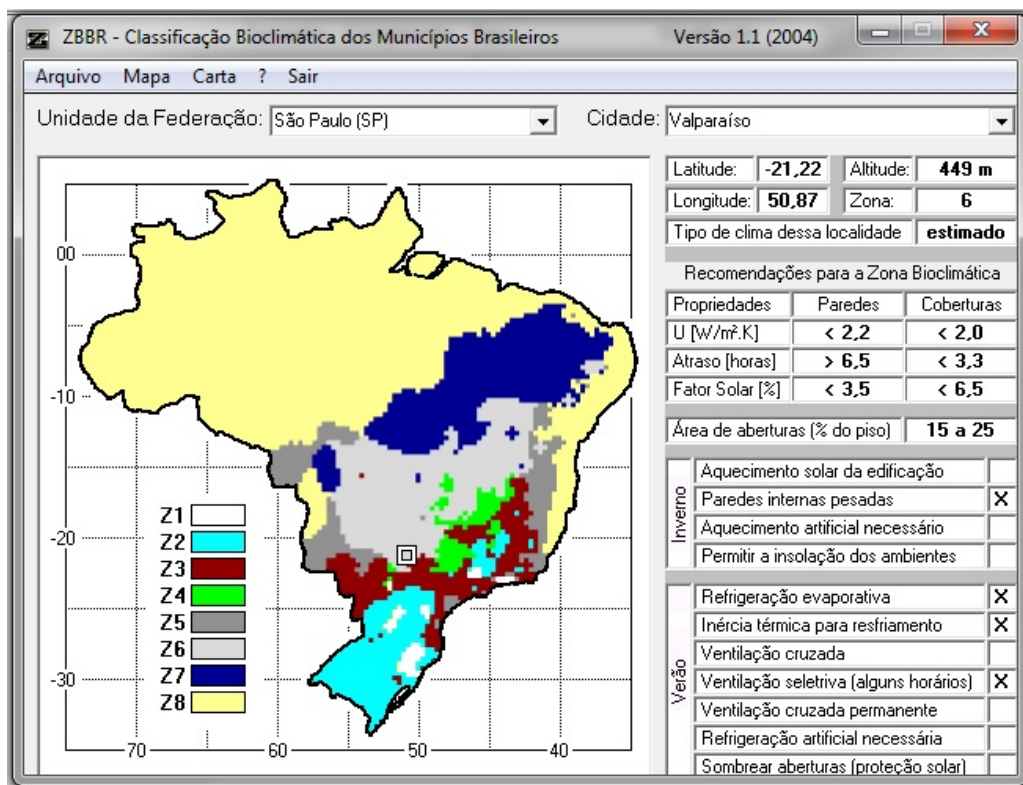
Figura 20: Software ZBBR - Araçatuba



Fonte: Autora, 2018.

Araçatuba fica numa área de transição entre Z3 e Z6. Assim, resolveu-se testar a semelhança de dados climáticos de três cidades próximas: Valparaíso (Z6), José Bonifácio (Z3- Z6) e Lins (Z3) (Figuras 21,22,23). Os arquivos do ano típico de referência (Typical Reference Year – TRY) foram obtidos no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina.

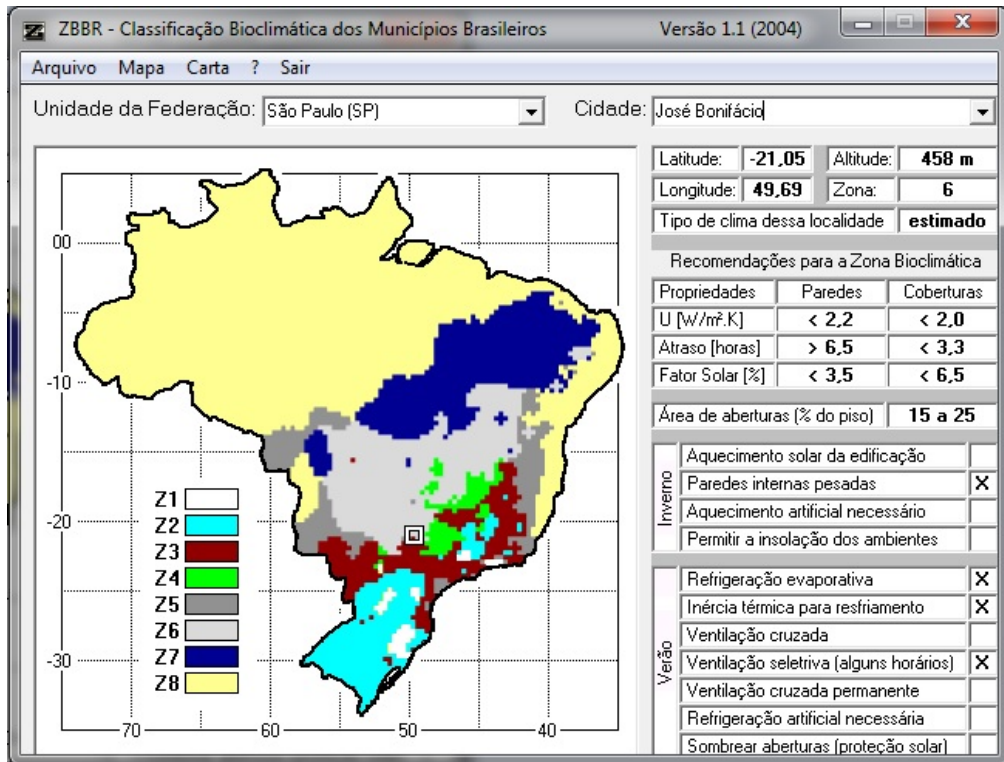
Figura 21: Software ZBBR - Valparaíso



Fonte: Autora, 2018.

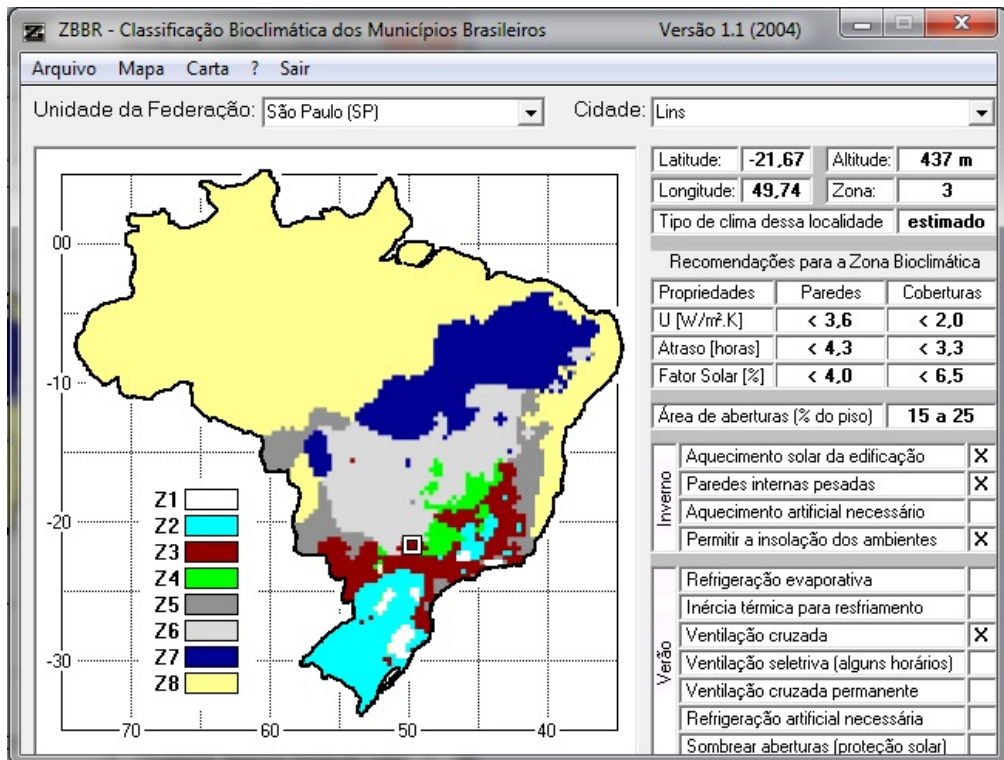


Figura 22: Software ZBBR – José Bonifácio



Fonte: Autora, 2018.

Figura 23: Software ZBBR – Lins



Fonte: Autora, 2018.

Foi feita uma tabela de comparação da TBS entre as três cidades e foi possível verificar a semelhança entre os dados (índice d de concordância de Willmott  $> 0,95$ ). Sendo assim, a cidade de referência utilizada foi a de Valparaíso pela proximidade com a cidade de Araçatuba e pela altitude mais próxima.

O dia mais quente do ano foi escolhido pelo fato do clima predominante da cidade ser quente. Além disso, o estudo foi feito no horário mais quente desse dia, uma vez que, nessas condições, as temperaturas do ar nas diversas áreas são mais semelhantes. Essa estratégia reduz o erro do modelo, cujas diferenças de PET se devem fundamentalmente a diferenças de FVC.









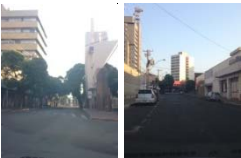
## **4 RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados os resultados gerados através dos métodos e técnicas utilizados nos trabalhos de campo com levantamento das variáveis urbanas (FVC) e climáticas (temperatura, umidade relativa e ventos).

### **4.1 Planilhas das áreas**

Conforme apresentado na parte da bibliografia, a tabela 6 apresenta os principais recortes territoriais das áreas de estudo, identificando os tipos de usos, altura das edificações e imagens dos locais.

Tabela 6 : Diferentes recortes territoriais de Araçatuba

Grupos	Recorte espacial	Tipos de uso	Gabarito de altura	Fotos locais
Tipo 1		Glebas não urbanizadas. Inexistência de quadras e lotes.	Elemento estruturador: tipos de materiais de cobertura. Paisagem monótona de grama, vegetação. Muitas árvores e fundo de vale. Zona de pastagens, agricultura ou parque urbano.	 
Tipo 2		Glebas urbanizadas por grandes empreendimentos. Quadras grandes (acima de 200 m.). Lotes médios. Processo de ocupação em consolidação.	Elemento Estruturador: altura, espaçamento das edificações e não há presença de vegetação. Área aberta em expansão com edifícios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvores. Cobertura do solo parcialmente permeável.	 
Tipo 3		Casas horizontais. Quadra fora de padrão (entre 200 e 400 m). Lotes pequenos e médios. Algum espaço livre intraquadra. Processo de ocupação consolidado.	Elemento Estruturador: altura, espaçamento das edificações e presença de vegetação. Área mista de edifícios Baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvores. Cobertura do solo principalmente pavimentada.	 
Tipo 4		Casas horizontais e edifícios verticais. Quadra padrão (menor que 100m). Lotes médios. Pouco espaço livre intraquadra. Processo de Verticalização em curso.	Elemento estruturador: altura, espaçamento das edificações e presença de vegetação. Área mista de edifícios com altura média (2-12 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvores. Cobertura do solo principalmente pavimentada.	 

Fonte: Autora, 2019.

#### 4.2 Teste de homogeneidade das áreas

Foram aplicados os testes estatísticos de normalidade das distribuições das TRM medidas em cada ponto e da similaridade dos valores dessa variável nos pontos de uma mesma área, conforme tabela 7.

Tabela 7: Testes de normalidade da TRM

Alta Vista					
Ponto	1	2	3	4	5
N	12	12	12	12	12
Shapiro-Wilk W	0,880	0,927	0,969	0,906	0,933
p(normal)	0,087	0,353	0,899	0,187	0,412
Baguaçu					
Ponto	1	2	3		
N	21	21	20		
Shapiro-Wilk W	0,916	0,938	0,935		
p(normal)	0,073	0,203	0,190		
Bandeiras					
Ponto	1	2	3	4	5
N	12	12	12	12	12
Shapiro-Wilk W	0,878	0,785	0,845	0,769	0,873
p(normal)	0,083	0,006	0,032	0,004	0,071
Centro					
Ponto	1	2	3	4	5
N	12	12	12	12	12
Shapiro-Wilk W	0,868	0,949	0,948	0,803	0,782
p(normal)	0,0622	0,628	0,603	0,010	0,006

Em vermelho, as distribuições não-normais ( $p < 0,05$ )

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 8: Teste de médias iguais para TRM em pares de pontos. Distribuições normais (teste *t* de Student)

<b>Alta Vista</b>				
<b>Pares de pontos</b>	<b>1 x 2</b>	<b>1 x 3</b>	<b>1 x 4</b>	<b>1 x 5</b>
N	12	12	12	12
t	-0,578	0,149	-1,109	-0,484
p(mesma média)	0,569	0,883	0,279	0,633
<b>Baguaçu</b>				
<b>Pares de pontos</b>	<b>1 x 2</b>	<b>1 x 3</b>		
N	21	21		
t	0,182	-1,336		
p(mesma média)	0,857	0,189		
<b>Bandeiras</b>				
<b>Pares de pontos</b>	<b>1 x 5</b>			
N	12			
t	-0,103			
p(mesma média)	0,919			
<b>Centro</b>				
<b>Pares de pontos</b>	<b>1 x 2</b>	<b>1 x 3</b>		
N	12	12		
t	-0,383	0,255		
p(mesma média)	0,705	0,801		

Fonte: Autora, 2019.

Tabela 9: Distribuições não-normais (teste de Mann-Whitney)

<b>Bandeiras</b>			
<b>Pares de pontos</b>	<b>1 x 2</b>	<b>1 x 3</b>	<b>1 x 4</b>
N	12	12	12
z	-0,983	-0,376	-0,377
p(mesma média)	0,325	0,707	0,706
<b>Centro</b>			
<b>Pares de pontos</b>	<b>1 x 4</b>	<b>1 x 5</b>	
N	12	12	
z	-1,735	-1,564	
p(mesma média)	0,083	0,118	

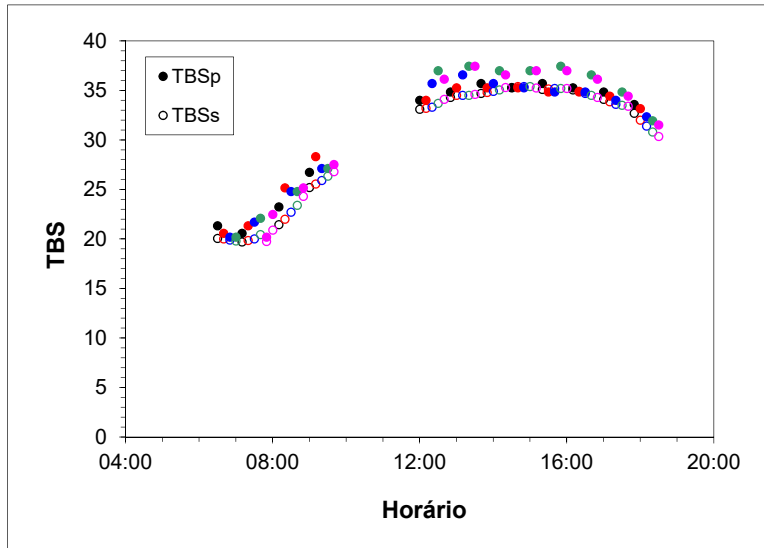
Fonte: Autora, 2019.

Os testes t-student e de Mann-Whitney (tabelas 8 e 9) demonstram que as TRMs medidas em pontos diferentes em uma mesma área podem ser considerados similares ( $p > 0,05$ ). Dessa forma todos os valores medidos nos pontos de uma mesma área podem ser considerados como representativos dessa área.

### 4.3 Dados medidos nas áreas

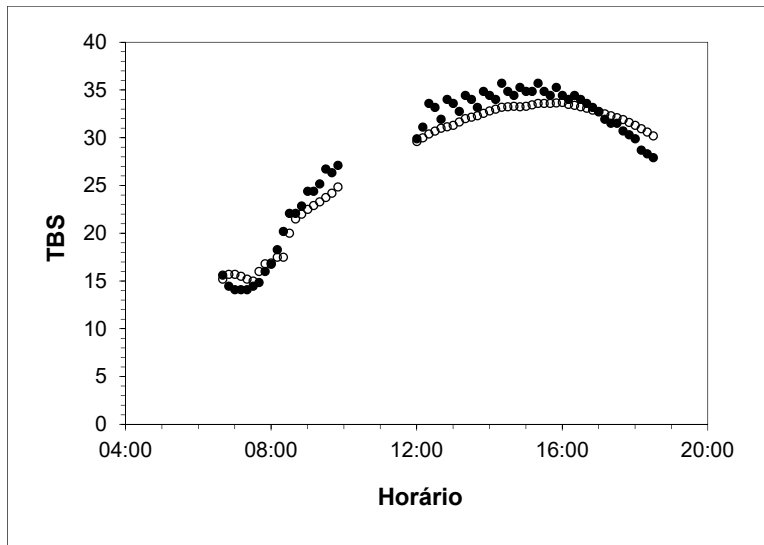
Nas figuras 24,25,26 e 27, foi feita análise com o TBSp e TBSs em função dos horários e observou-se que as temperaturas do ponto não tem grandes variações pelas medidas na estação.

Figura 24: TBS do ponto e da estação em relação ao horário - Alta Vista (MRV)



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

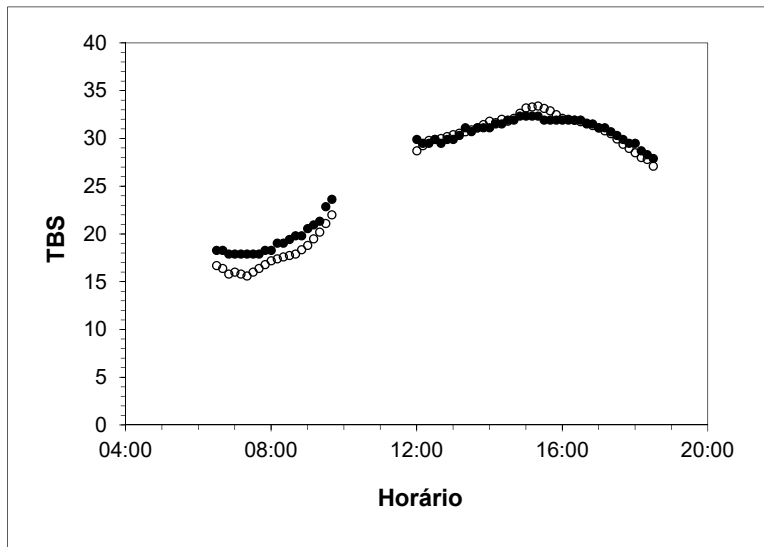
Figura 25: TBS do ponto e da estação em relação ao horário -Baguaçu



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

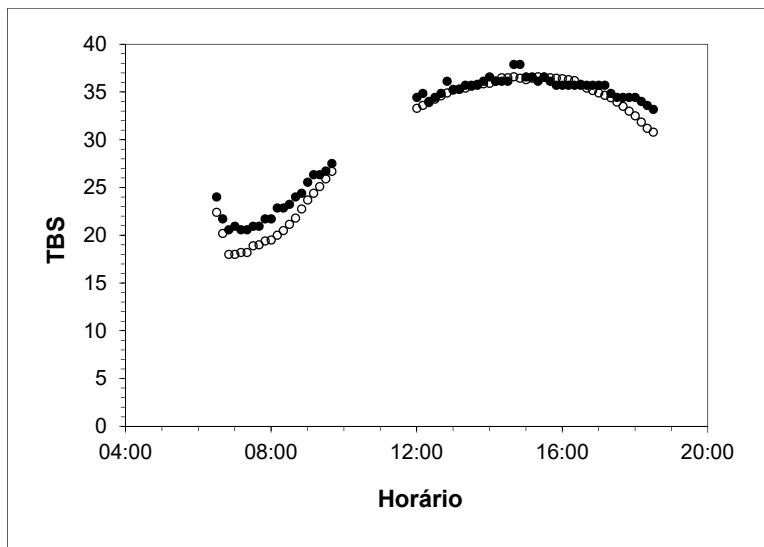


Figura 26: TBS do ponto e da estação em relação ao horário -Bandeiras



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 27: TBS do ponto e da estação em relação ao horário -Centro



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

#### 4.4 Tratamento e comparações de modelo de PET a partir de dados de estação meteorológica

Para extrair os dados e verificar a possibilidade dos PET e TRM serem válidos, foi feita uma comparação em planilha eletrônica para entre PETs e TRMs do ponto e

da estação com algumas correções com os índices  $R^2$ , ME, MAE, RMSE, RMSEs, RMSEu e d, conforme tabela 10.

Tabela 10: Tabela de tratamentos e comparações entre TRM e PET.

Horário	06:30 às 18:30	
VARIÁVEIS	PETps0 x PETp	PETps x PETp
Inclinação (a)	0,640	0,670
Intercepção (b) (k)	8,390	8,330
$R^2$	0,803	0,817
ME (K)	3,510	2,390
MAE (K)	4,580	3,860
RMSE (K)	10,690	12,330
RMSEs (K)	3,920	2,860
RMSEu (K)	4,470	4,190
d	0,880	0,910
Horário	06:30 às 18:30	
VARIÁVEIS	TRMps0 x TRMp	TRMps x TRMp
Inclinação (a)	0,540	0,560
Intercepção (b) (k)	10,350	10,790
$R^2$	0,620	0,617
ME (K)	7,400	5,270
MAE (K)	8,800	7,210
RMSE (K)	15,790	15,845
RMSEs (K)	10,730	5,330
RMSEu (K)	8,950	7,720
d	0,760	0,800

Onde os subscritos correspondem a:

p – valor medido no ponto

s – valor medido na estação meteorológica

0 – cálculo da grandeza sem correção por  $C_c$

ps – cálculo da grandeza com TBS e UR medidos na estação meteorológica e V e FVC medidos no ponto

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Considerando o desempenho da tabela 10, o modelo final ficou expresso como:

$$\mathbf{PETp' = PETps*0,67+8,33}$$

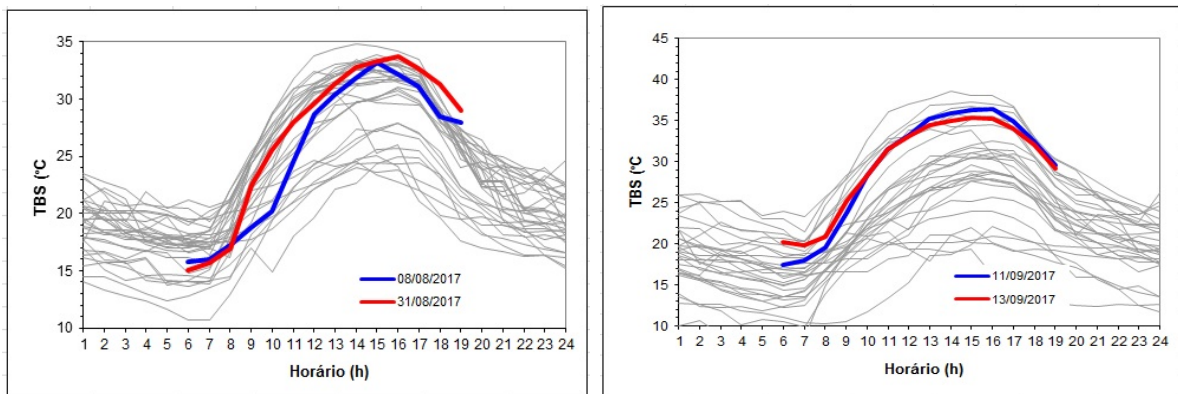
Ou seja, o PET estimado para um determinado ponto (PETp') corresponde ao PET calculado no RayMan tendo como entradas a temperatura e a umidade relativa do ar medidas na estação meteorológica, a velocidade do vento medida na estação corrigida para a rugosidade da área do ponto pela estação de Bittencourt (2005) e a

cobertura de nuvens calculada pela razão entre a radiação solar global horizontal medida na estação e a equivalente calculada pelo RayMan. Esse PET é corrigido posteriormente por coeficientes de uma equação de regressão linear.

#### 4.5 Aplicação do modelo para a cidade

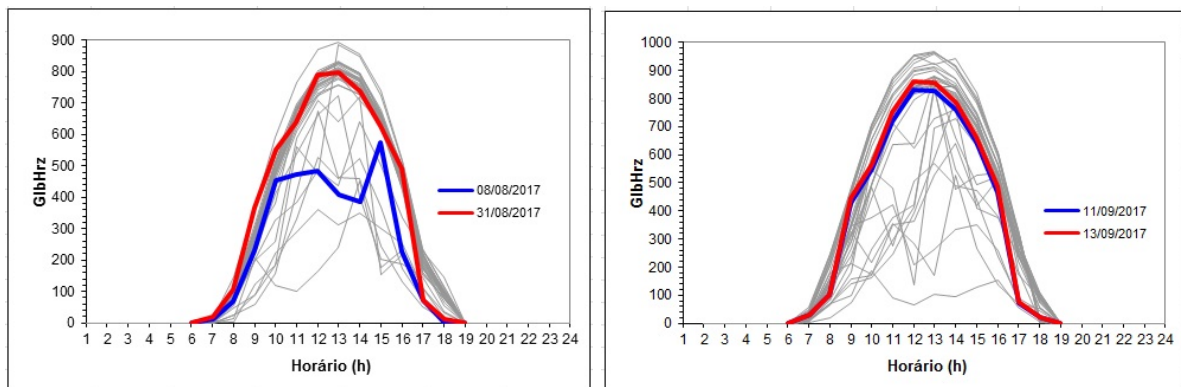
Os gráficos mostram os dados dos meses do ano típico de agosto e setembro do arquivo de Valparaíso e dos dados da estação meteorológica- CIIAGRO, em cinza e os demais datas em 2017 em azul e vermelho. Verifica-se que dados da estação meteorológica estão dentro do intervalo dos dados do ano típico da cidade de Valparaíso, conforme figuras 28,29,30 e 31.

Figura 28: Temperatura horária de bulbo seco



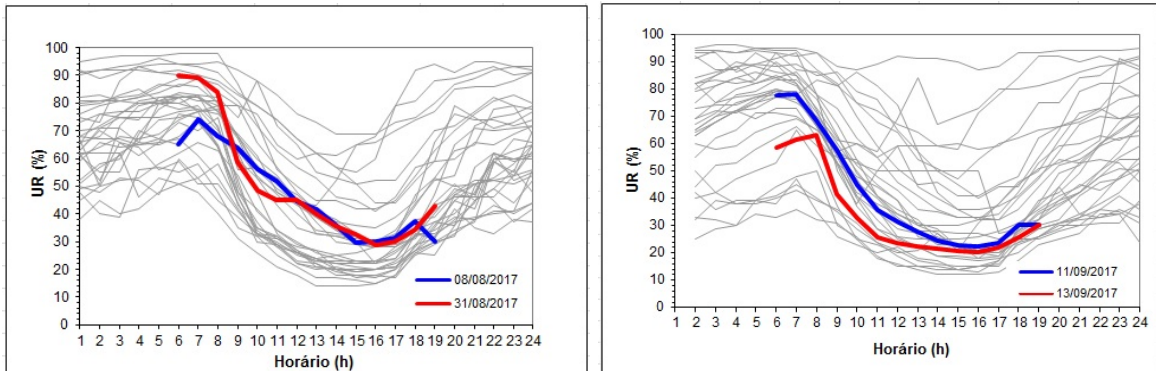
Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Figura 29: Gráficos de radiação pelo horário



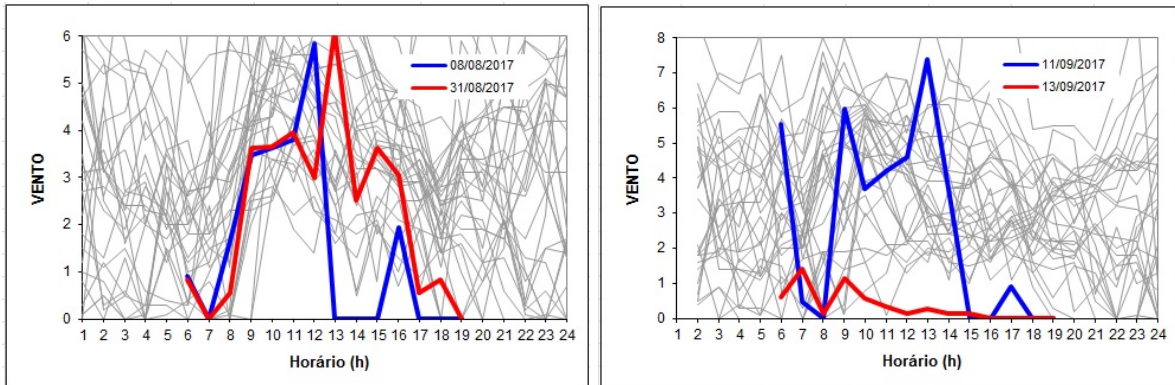
Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Figura 30: Umidade relativa horária



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Figura 31: Velocidade do vento horária



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

A estação meteorológica do CIIAGRO não mede dados de vento. A velocidade do vento horária foi estimada pelo inverso da equação apresentada por Bittencourt (2005).

Foram feitas imagens com a câmera olho de peixe nas áreas (Apêndice) e foi utilizada apenas uma foto de cada área para obter resultados da TRMps, PETps e FVC pelo programa Rayman. Para determinar as temperaturas, umidades e vento foi utilizado o dia mais quente do ano típico.

Para comparar as áreas foi aplicado na equação os dados do dia mais quente do ano típico de 2008, às 14h e foi inserido o PETps na equação do modelo de previsão para gerar o PETp' estimado, conforme tabela 11.

Tabela 11: Comparação entre as áreas no dia mais quente do ano típico de 2008 (11/09, 14hs)

COMPARAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DE ARAÇATUBA DIA MAIS QUENTE DO ANO TÍPICO DE 2008 – 11/09/2008 as 14hs								
Áreas	TBSs	URs	Vp*	Cc	FVC	TRM	PETps	PETp'
Área central	38,6	12	1,5	0,3	0,278	56,8	46,30	39,35
Bairro das Bandeiras	38,6	12	2,4	0,3	0,227	53,5	45,00	38,48
Baguaçu (fundo de vale)	38,6	12	2,4	0,3	0,297	53,0	44,80	38,34
Alta vista (MRV)	38,6	12	4,7	0,3	0,400	52,2	44,50	38,14

**Vp\* = calculado de acordo com a rugosidade de cada área e calculada com o vento da estação**

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Como o modelo não considera as variáveis locais de TBS e UR, as diferenças do PET ocorrem apenas em função do FVC.

Sendo assim, os PETs encontrados nos bairros de estudos são coerentes, mesmo quando em locais que não tenha vegetação o PET ser menor devido a influência dos ventos, como no Alta Vista. No bairro Industrial, o PET foi o menor, mesmo com o FVC alto, isso pode ter ocorrido em função de sombras do próprio edifício que fez com que a temperatura diminuísse. A forma como o programa trabalha não importa o tipo de superfície e o quanto ela reflete e isso influencia nos resultados do PET. Uma possível solução, seria entrar com dados sobre a topografia do programa ao invés de entrar com o FVC.

Em comparação com o estudo de Lee e Mayer (2016) os valores de regressão de TRM calculado pelo RayMan em relação aos medidos, variam de 0,4 a 0,92. Assim, o resultado do trabalho foi 0,617 dentro da faixa de estudo. Os RMSE variam de 0,7 a 12,9, sendo as medidas mais baixas do trabalho do próprio autor do programa. Os valores do estudo feito em Araçatuba, estão acima com 15,84, por se tratar de uma extrapolação da cidade e não de um único espaço, conforme tabela 12 adaptada de Lee e Mayer (2016).

Tabela 12: Tabela com os resultados baseados em estudo de PET e TRM e de Araçatuba

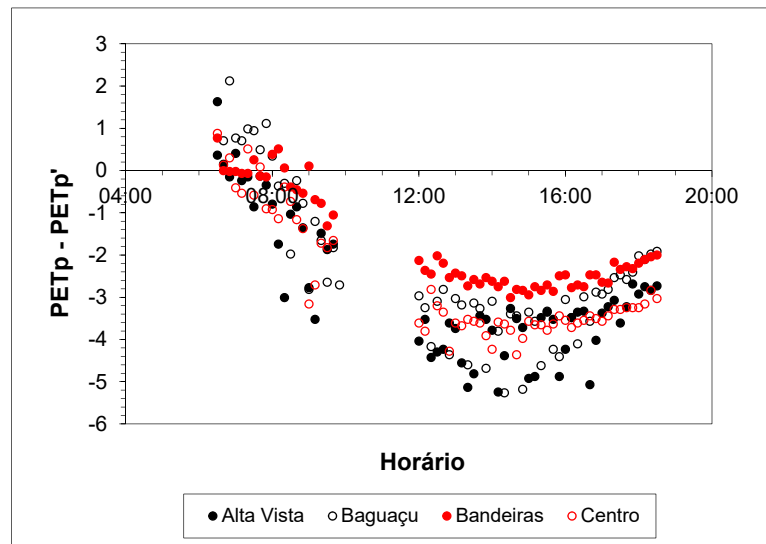
	TRM	PET	TRM (Araçatuba)	PET (Araçatuba)
<b>R<sup>2</sup></b>	0.40 à 0,92	0.50	0.617	0.817
<b>RMSE</b>	0,70 à 12.9K	6.4 K	15.84 K	12.33 K
<b>RMSE<sub>s</sub></b>	12.0 K	6.1 K	5.33 K	2.86 K
<b>RMSE<sub>u</sub></b>	4.1 K	1.9 K	7.72 K	4.19 K
<b>d</b>	0.64	0.60	0.80	0.91

Fonte: Elaborado pela autora, 2018, a partir de dados compilados por Lee e Mayer (2016) e de resultados do presente trabalho.

O PET<sub>p</sub> foi o escolhido para fazer a equação pois os dados são melhores, conforme tabela 11, com menores erros. A equação obtida funciona nos horários mais quentes do dia onde as temperaturas são semelhantes, e se for o caso de mudar para outro horário menos quente do dia, a chance de erro pode aumentar.

Foi feita uma comparação dos dados de PET em função dos horários com as áreas de estudo. Verificou-se que quando a temperatura aumenta as medidas aumentam negativamente. A distribuição dos pontos não é uma dispersão aleatória (conforme figura 32).

Figura 32: Dados de PET com os horários nas áreas de estudo



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa envolve definições a respeito de alguns itens como: a base de dados físicos da cidade, que fornece os dados de características superficiais, a forma de levantamento de dados e finalmente a forma de tratamento dos dados, para comprovar resultados obtidos.

Devido ao fato de uma cidade apresentar vários microclimas como consequência do desenho urbano, além de realizadas muitas vezes sem planejamento e sem qualidade, viu-se a necessidade de desenvolver um modelo de previsão de PET climático que auxilie na medição dos dados do lugar de estudo reduzindo o tempo de pesquisa e de levantamentos que envolvam o microclima para o aprimoramento do ambiente urbano.

Este trabalho teve como objetivo analisar as diferenças de temperaturas de microclimas em áreas diferentes, através do desenvolvimento de uma relação entre os parâmetros climáticos (variáveis de temperatura, umidade relativa e ventos) e os parâmetros urbanísticos (fator de visão do céu, TO, CA, H/W), avaliada em cenários diferentes, como perspectiva de integração entre o planejamento urbano e a climatologia.

Além disso, desenvolveu-se um modelo de previsão de PET a partir de dados de uma estação meteorológica e FVC local, à partir de parâmetros de morfologia urbana e de variáveis meteorológicas medidas em estações meteorológica convencionais, sendo capaz de simular as alterações das variáveis climáticas em função da alteração das variáveis urbanas, integrando assim, o estudo do clima urbano. Tal ferramenta poderá diminuir o tempo das medições nas áreas estudadas para o aprimoramento da análise e previsão das condições do microclima local.

Assim para pesquisas futuras, a melhor maneira por otimizar tempo, é utilizar o modelo de geometria do RayMan, ao invés do FVC. Sabe-se que existem ainda algumas limitações, pois estudos comparativos não leva as pequenas variações de temperatura, sempre a temperatura mais elevada, pois elas são as mais semelhantes entre si em todas as áreas.

Espera-se que este estudo tenha contribuído para mostrar a importância em unir o estudo da climatologia ao planejamento urbano e que no futuro os planejadores

passam agregar valores a modelos que possam ajudar cada vez mais os pesquisadores, possuindo ferramentas mais eficientes e capazes de avançar nos estudos de forma rápida.

O modelo foi elaborado para uma caracterização expedita de microclimas urbano na escala de bairro e permite reduzir o tempo desses levantamentos e medições para futuros estudos na cidade de Araçatuba.

O modelo aqui desenvolvido apresenta duas limitações básicas:

1 – É paramétrico. Assim, sua aplicabilidade a outras áreas com morfologias distintas e faixa de FVC maiores teria que ser testada;

2 – A dispersão de erros mostra claramente uma tendência inversa à marcha horária da temperatura do ar. O estudo sobre esse fenômeno deve ser aprofundado para reduzir o RMSE sistemático.



## REFERÊNCIAS

ANDRADE, H. **O clima urbano-natureza, escalas de análise e aplicabilidade.** Finisterra, XL, 80,2005,p. 67-91.

ASSIS, E. S. de. **A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória.** In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. *Anais*, ANTAC, 2005. p.92-101.

ASSIS, E. S. de; FERREIRA, D.G. **A relação entre a ocupação urbana e a circulação dos ventos: uma contribuição para o planejamento.** In: Forum Patrimônio- Ambiente construído e Patrimônio Sustentável.

ASSIS, E. S. de. **Aplicações da climatologia urbana no Planejamento da cidade: Revisão dos estudos brasileiros,** 2006.

ASSIS, E. S. de. **Impacto da forma urbana na mudança climática : método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano.** 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BARBIRATO, G.M; SOUZA, L.C.L.de; TORRES, S.C. **Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos.** Maceió: EDUFAL, 2007.164p.

BITTENCOURT, L. CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural.** Maceió: EDUFAL, 2005.147p.

BLAZEJCZYK, K., EPSTEIN, Y., JENDRITZKY, G., STAIGER, H. and TINZ, B. (2012) **Comparison of UTCI to selected thermal indices.** International Journal of Biometeorology, 56(3), 515-535.

CARVALHO; M. M. de. **Clima urbano e vegetação: Estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal.** 1990. 283f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2001.

**CIAGRO.** Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Disponível em: < <http://www.ciiagro.org.br/ema/>>. Acesso: 10 maio de 2017.

CORSO, G. **Visualização e Representação do Espaço Urbano.** In: SIGRADI – Unisinos, São Leopoldo, 2004, pag. 326-328.

DUARTE, D. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental .** 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DUARTE, D. SERRA, G. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental. Correlações e proposta de um indicador.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 17-30, abr./jun. 2003

FANGER, P. O. **Thermal Comfort.** Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.

FARIA, J. R. G.; MENDES, J. F. G. **Sobre o uso e ocupação do solo urbano e a temperatura do ar.** *Ambiente Construído* (São Paulo), Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 7-17, 2004.

FROTA, B. A.; SCHIFFER, R.S. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo.** 5. ed. — São Paulo : Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. **Climatic aspects of urban design in tropical climates.** *Atmospheric Environment*, Oxford, v.26B, n.3, p.397-406, 1992.

GIVONI, B., NOGUCHI, M., SAARONI, H., POCHTER, O., YAACOV, Y., FELLER, N. and BECKER, S. (2003) **Outdoor comfort research issues**, *Energy and Buildings*, 35(1), 77-86.

GRIMMOND, C.S.; CLEUGH, H.A; OKE, T.R. (1991). **Na objective heat storage model and its comparison with other schemes**, *Atmospheric Environment* 25B: 311-326.

HÄMMERLE, M. et al. **Comparison of Models Calculating the Sky View Factor Used for Urban Climate Investigations.** *Theoretical and Applied Climatology*, v. 105, n. 3–4, p. 521–527, 6 fev. 2011.

HÖPPE, P. **The Physiological Equivalent Temperature: a index for the biometeorological assessment of the thermal environment.** *International Journal of Biometeorology*, n. 43. p. 71-75, 1999.

HOUNG, Michael. **Naturaleza y ciudad.** Barcelona: Gili, 1998. 315p. Revisado por Editor do Webartigos.com

JENDRITZKY, G., de DEAR, R. and HAVENITH, G. (2012) **UTCI—Why another thermal index**, *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 421-428 (2012).

JOHANSSON, E.; **Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco.** *Building and Environment*. vol.41.2006.pg.1326-1338.

Disponível:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132305001952>. Acesso em 10 nov. 2017.

JOHANSSON, E., THORSSON, S., EMMANUEL, R. and KRÜGER, E. **Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies—the need for standardization**, *Urban Climate*, 10, 346-366 (2014).

KANDA, M. **Progress in the scale modeling of urban climate: Review**. Theoretical and Applied Climatology 84: 23-33. 2006.

KONYA, A. **Diseño en climas calidos: manual práctico**. Madrid: H. Blume, 1981. 153p.

KRÜGER, E. L.; MINELLA, F. O.; MATZARAKIS, A. **Comparison of Different Methods of Estimating the Mean Radiant Temperature in Outdoor Thermal Comfort Studies**. International Journal of Biometeorology, v. 58, n. 8, p. 1727–1737, 1 out. 2014.

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Arquivos climáticos. Disponível em: [http:// www.labeee.ufsc.br/downloads/downloadaclim.html](http://www.labeee.ufsc.br/downloads/downloadaclim.html)>. Acesso em: nov. 2018.

LANDSBERG, H.E. **The Urban Climate**. Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich, 1981.

LEE, H.; MAYER, H. **Validation of the Mean Radiant Temperature Simulated by the RayMan Software in Urban Environments**. International Journal of Biometeorology, v. 60, n. 11, p. 1775–1785, nov. 2016.

LIMA, B. R. O.; NERY, J. T. **Clima Urbano no município de Ourinhos**. Ourinhos: FAPESP - Relatório Parcial de Iniciação Científica, jan. 2008.

LOIS, E.; LABAKI, L. C. **Conforto Térmico em Espaços Externos: uma revisão**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro. Anais... São Pedro: ANTAC, 2001.

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

MATZARAKIS, A.; MATUSCHEK, O. **Sky view factor as a parameter in applied climatology – rapid estimation by the SkyHelios model**. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20, No. 1, 039-045, february, 2010.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments: application of the RayMan model.** International Journal Biometeorology, v. 51, p. 323-334, 2007.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments: basics of the RayMan model.** International Journal Biometeorology, v. 54, p. 131-139, 2009.

MENDONÇA, F. ; MONTEIRO, C. A. F. **Clima Urbano.** São Paulo: Contexto, 2002.

MINAKI, C. **O clima urbano como indicador de qualidade ambiental: estudo de caso da paisagem urbana de Araçatuba/SP.** Presidente Prudente, 2014 266 f.

MINELLA, F. O. **Avaliação da Influência de Aspectos da Geometria Urbana Sobre Níveis de Conforto Térmico em Ruas de Pedestres de Curitiba.** 2009. 163 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MINELLA, F.O.; ROSSI, F.O.; KRUGER, E.L. **Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal.

MOIN, U. M.; TSUTSUMI, J. **Rapid Estimation of Sky View Factor and Its Application to Human Environment.** Journal of the Human-Environment System, v. 7, n. 2, p. 83-87, 2004.

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F (Org.). **Clima Urbano.** São Paulo: Editora Contexto, 2003.

MOREIRA, J. R. S. **Programa simplificado para cálculos psicrométricos.** In: **Seminário Modelos de Simulação de Ambientes.** São Paulo, NUTAU/FAUUSP, 1995. **Anais....** São Paulo: NUTAU/FAUUSP, 1995. p. 101-115.

NAKATA, C. M.; SOUZA, L. C. L. de. **Contribuição Térmica da Geometria Urbana e da Arborização em um Bairro Residencial.** In: Encontro Nacional sobre Conforto no ambiente construído, 9.; Latinoamericano sobre conforto no ambiente construído, 5., 2007. **Anais...** ANTAC: Ouro Preto, 2007.

NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S. **Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 73-87, jul./set. 2016.

NAKATA-OSAKI, C. **Adaptação de um modelo simplificado para verificação da influência da geometria urbana na formação de ilha de calor noturna.** Tese(Doutorado em Engenharia Urbana). Departamento de Engenharia Civil. Pós-

Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. **Improvements to the globe thermometer for outdoor use**. *Architectural Science Review*, v. 42, n. 1, p. 27–34, mar. 1999.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London & New York, Methuen, 1987.

OKE, T. R. **Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: comparison of scale model and field observations**. *Journal of Climatology*, v. 1, n. 1/4, p. 237-254, 1981.

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

OKE, T. R. **Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Sites**. In.: *Instruments and Observing Methods Report n. 81*. WMO, 2006.

OKE, T. R. **The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands**, *Atmosphere* 14: 268-277, 1976.

OKE, T. R. **The Energetic Basis of the Urban Heat Island**. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 108, p. 1-24, 1982a.

OKE, T. R. **Overview of Interactions Between Settlements and Their Environments**. In: **WMO EXPERT MEETING ON URBAN AND BUILDING CLIMATOLOGY**, Genebra, 1982. *Proceedings...* Genebra: WCP-37, 1982b.

PEZZUTO, C.; SILVA, J.M.P.da. **Métodos de análise do recorte territorial por meio da zona climática local e unidade de paisagem: Estudo de caso no município de Campinas**. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto No Ambiente Construído, 2013, Brasília. ENCAC E ELACAC, 2013.

PICKUP, J.; Dear, R. **An outdoor thermal comfort index (OUT\_SET\*)-part I-the model and its assumptions**, *Biometeorology and urban climatology at the turn of the millennium*. Geneva: *WCASP*, 50, 279-283 (2000).

RATTI, C. F.; RICHENS, P. **Urban Texture Analysis with Image Processing Techniques**. In: **CAADFUTURES 99**, Atlanta, 1999. *Proceedings...* Atlanta: GE, 1999.

RAYDAN, D.; STEEMERS, K. **Environmental Urban Design**. In: SANTAMOURIS, M. (Ed.) *Environmental Design of Urban Buildings*. London: Earthscan Publications, 2006. p. 1-35.

ROMERO, M.A.B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. CopyMarket.com, 2000.

SILVA, Francisco A. Gonçalves da. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído. Uma aplicação do nordeste do Brasil. 1999**. Tese (Doutorado em Arquitetura) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

STEWART, I.D.; OKE, T.R.; **Local climate zones for urban temperature studies**. American Meteorological Society, december 2012.

TAHA, Haider. **Night Time Air Temperature and the Sky-View Factor : a Case Study in San Francisco, California**. Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory, 1988. (LBL- 24009).

UGEDA, J., J.C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales- SP / Presidente Prudente: 2012. 383f.**

UNGER, J.; PONGRÁCZ, R; **Urban climate research in Hungary. Urban Climate News**. Quarterly Newsletter of the IAUC. International Association for Urban Climate. ISSUE n.28. Jun. 2008. 26 p. Disponível: [www.urban-climate.org](http://www.urban-climate.org). Acesso em 15 Jun 2016.

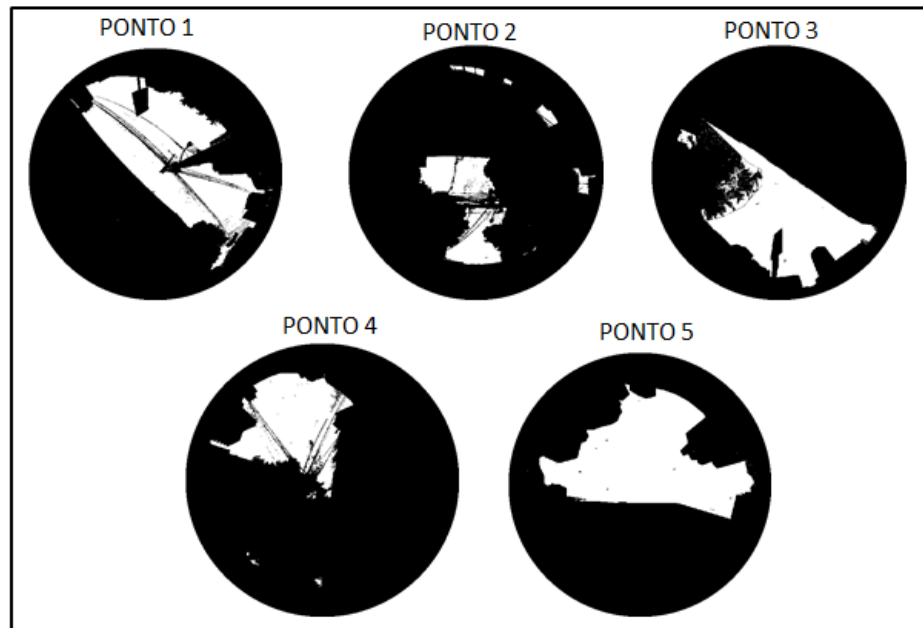
VASCONCELOS, J. S. **Índices Urbanísticos e o ambiente térmico: estudo em uma fração da cidade de São Carlos- SP- São Carlos: UFSCAR, 2014.102f.**

VILELA, J. A. **Variáveis do clima urbano : análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III**, Belo Horizonte, MG / 2007. 213 f.

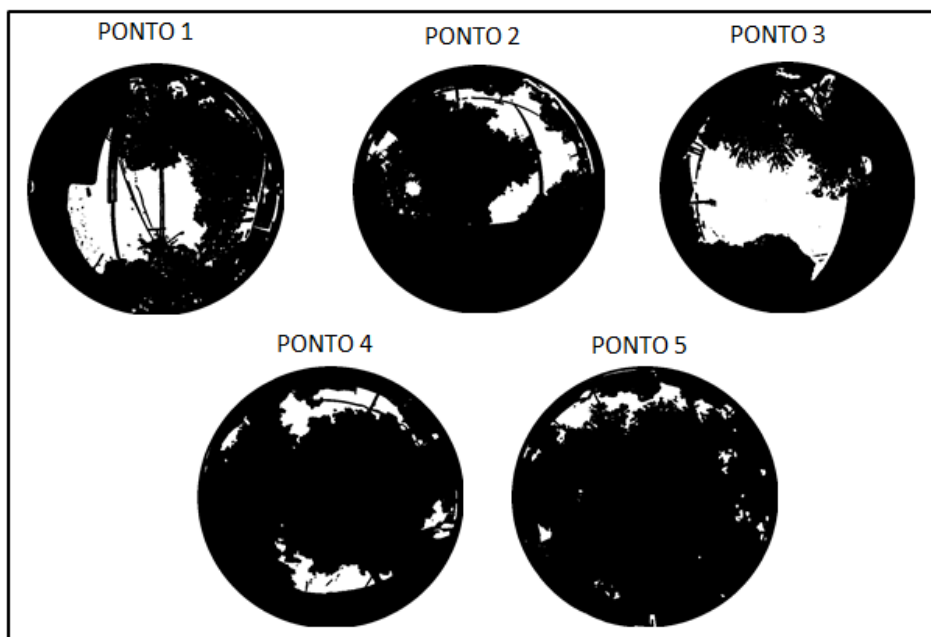
## APÊNDICE

Fotos olho de peixe e manipuladas pelo programa RayMan.

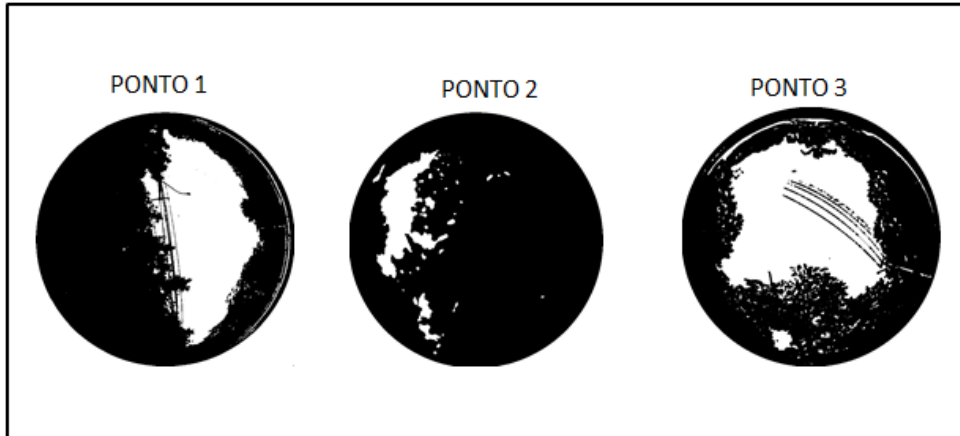
### 1- Área Central



### 2- Bairro Bandeiras



### 3- Bagaçu – Fundo de Vale



### 4 – Alta Vista (MRV)

