

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Relação do conforto humano com métricas de cobertura arbórea

Gustavo Torquatro Oliva

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2016

Gustavo Torquatro Oliva
Bacharel em Gestão Ambiental

Relação do conforto humano com métricas de cobertura arbórea

Orientador:
Prof. Dr. **DEMÓSTENES FERREIRA DA SILVA FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Oliva, Gustavo Torquato

Relação do conforto humano com métricas de cobertura arbórea / Gustavo Torquato Oliva. - - Piracicaba, 2016.

99 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Conforto ambiental urbano 2. Arborização urbana 3. Microclima urbano
4. Cobertura arbórea 5. IFU 6. PET 7. UTCI 8. Rio de influência 9. RayMan I.
Título

DEDICATÓRIA

À minha querida e amada mãe,
Maria Aparecida,
Por seu amor incondicional,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me dar o privilégio da vida e de usufruí-la conforme o SEU querer, permitindo com que as minhas ações, por mais pequenas que sejam, O exaltem e O engrandçam, além de ter a absoluta certeza de que com ELE todas as coisas são possíveis;

À minha mãe, Cida, por todo apoio, amor incondicional, incentivo e dedicação em todas as etapas da minha vida;

Ao meu orientador, prof. Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho, pela confiança, pela grande amizade, incentivo, oportunidade e contribuição essencial para a realização deste estudo;

Ao Dr. Jefferson Lordello Polizel, pela amizade e pelo indispensável auxílio na execução das atividades de coleta de dados, esclarecimentos em diversas dúvidas referentes à execução dos softwares de geoprocessamento e, sobretudo, por sua paciência de Jó, sem os quais nada disto seria possível de ser realizado!;

Ao Mateus de Oliveira Ismael, pela rica ajuda na execução de mapas, processamento de imagens e dados em diferentes softwares: gratidão!;

Aos 43 residentes dos espaços cedidos à esta pesquisa, tenham o meu muito obrigado!;

À toda equipe do CMQ – ESALQ/USP, mestrandos, doutorandos, estagiários e funcionários pela boa convivência e pelos necessários momentos de descontração, em especial: Bruna (Judas), Rafinha (Mudinha), Flávio, Claudinha, Renata, Diorny, Mariana, Helena, Isadora e Cella (*in memoriam*);

À disciplina de Conforto Ambiental em Ambientes Urbanos Abertos (AUT2358), em especial: à Dr.^a Denise Helena Silva Duarte e ao Dr. Leonardo Marques Monteiro da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP), pelos indispensáveis ensinamentos que me foram muito úteis;

À Léa Y. Dobbert, por sua solícita ajuda e contribuição acadêmica neste trabalho;

À Helena Cristina Padovani Zanlorenzi, pela amizade, ótimas dicas ao trabalho e por ter me indicado a tantos locais que me seriam inacessíveis por muitos bairros de Piracicaba/SP;

Aos quatro proprietários das residências que me permitiram monitorar a parte de conforto ambiental urbano desta pesquisa, em especial: Dona Yvonne Casale Padovani (Cidade Alta), Eliana Aparecida Rodrigues (Vila Fátima), André Marcelino (São Jorge) e Roberto Gustinelli (Campestre);

Ao proprietário do Centro Meteorológico Piracicabano (CMP), Rodrigo Possebom, por ter me ajudado a divulgar minha pesquisa e conseguir pessoas que me cedessem suas residências em bairros distantes e inacessíveis para mim;

À Fundade de Amparo À Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processo 09/53931-6) pela aquisição dos equipamentos meteorológicos, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo 473376/2010-5) e à CAPES pela bolsa concedida;

Aos meus queridos amigos da 9ª turma de Gestão Ambiental pelos bons e maus momentos que me permitiram desenvolver habilidades indispensáveis para a minha vida acadêmica e profissional;

À minha eterna e adorável GLORIOSA, ESALQ/USP, sinto-me privilegiado de pertencer a este local tão mágico e único que me permitiu crescer intelectualmente, profissionalmente e pessoalmente;

Aos funcionários e professores do departamento de Ciências Florestais (LCF/ESALQ/USP);

Aos membros da Banca;

Finalmente, a todos, que de alguma forma, contribuíram para este trabalho e para a minha formação pessoal e acadêmica.

EPÍGRAFE

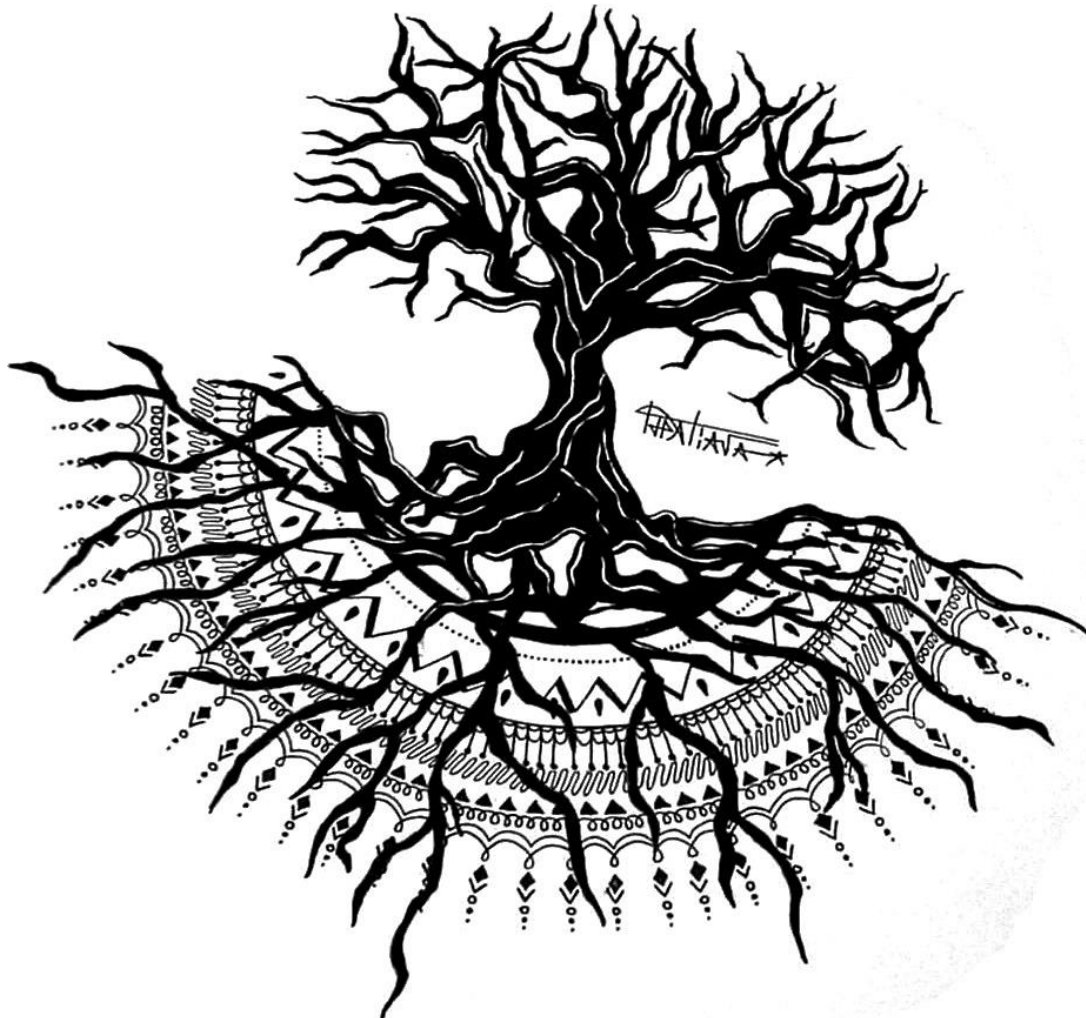


Figura 01: Desenho cedido pela Engenheira Florestal, Thatiana Tominaga Higa, da UTFPR de Dois Vizinhos/PR

“Nesses tempos de céus de cinzas e chumbos, nós precisamos de árvores desesperadamente verdes.” (Mário Quintana).

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO PROPOSTO	13
1.2 HIPÓTESES	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo geral	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NAS CIDADES	15
2.2 A IMPORTÂNCIA DAS FLORESTAS URBANAS E OS BENEFÍCIOS DA VEGETAÇÃO NO CLIMA URBANO	15
2.3 AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	16
2.4 O CLIMA URBANO.....	17
2.4.1 O Clima Regional de Piracicaba/SP	19
2.5 CONFORTO TÉRMICO	19
2.5.1 Fatores que influenciam as trocas térmicas.....	20
2.5.1.1 Temperatura do ar	20
2.5.1.2 Umidade relativa do ar	20
2.5.1.3 Velocidade do ar	21
2.5.1.4 Temperatura radiante média.....	21
2.5.1.5 Resistência térmica da vestimenta	21
2.5.1.6 Temperatura da pele	22
2.5.1.7 Taxa de metabolismo.....	22
2.6 A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS VEGETADAS NO CONFORTO TÉRMICO	22
2.7 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO.....	24
2.7.1 Universal Thermal Climate Index (Índice Termoclimático Universal).....	24
2.7.2 Temperatura Fisiológica Equivalente (PET).....	25
2.8 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS USADOS	26
2.8.1 RayMan	26
2.8.2 MultiSpec	27
2.8.3 Gap Light Analyzer (Analisador de Abertura de Vãos).....	27
2.9 ÍNDICE DE FLORESTA URBANA.....	28
2.10 PESQUISAS IMPORTANTES SOBRE A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NA ATENUAÇÃO DO CLIMA URBANO	29
3. MATERIAIS E MÉTODO	31
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
3.2 LOCAIS DE MONITORAMENTO DO MICROCLIMA URBANO DE PIRACICABA/SP.....	32
3.3 DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE MONITORAMENTO PARA O ESTUDO DE CONFORTO AMBIENTAL	33
3.4 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PIRACICABA/SP	37
3.5 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	38
3.5.1 Coleta de dados e metodologia para a análise dos dados coletados.....	41
3.6 ELABORAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA/SP	43
3.6.1 Elaboração da Classificação Supervisionada dos buffers dos 43 pontos.....	44
3.7 CALIBRAÇÃO DA ESTAÇÃO DAVIS VANTAGE VU COM A DA ESALQ	44
3.8 AJUSTES DOS DIAS DE COLETAS (ESTAÇÃO CHUVOSA E SECA)	45
3.9 ESTATÍSTICAS.....	45
3.10 OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE CONFORTO (PET/UTCI)	46
3.11 APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS COM OS RESIDENTES	47
3.12 IMAGENS TERMOGRÁFICAS.....	47
3.13 MÉTODO PARA OBTENÇÃO DO FATOR DE VISÃO DE CÉU E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	48

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DO TECIDO URBANO DE PIRACICABA/SP	51
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS 04 BAIROS EM ANÁLISE COM RELAÇÃO: CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA, IFU, LAI E SVF	52
4.3 AJUSTE DA ESTAÇÃO DAVIS VANTAGE VU COM A DA ESALQ/USP	57
4.4 ESTATÍSTICA DOS DADOS MICROCLIMÁTICOS DOS 43 PONTOS VERSUS USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	58
4.4.1 Estação Chuvosa.....	60
4.4.2 Estação Seca.....	60
4.5 DADOS MICROCLIMÁTICOS DOS 04 PONTOS DE ANÁLISE.....	62
4.5.1 Comportamento periódico das variáveis temperatura do ar e umidade relativa.....	62
4.6 DADOS DE CONFORTO AMBIENTAL URBANO DOS 04 PONTOS DE ANÁLISE	64
4.6.1 Temperatura do ar (°C).....	64
4.6.2 Umidade relativa do ar (%)	65
4.6.3 Velocidade dos ventos (m/s).....	66
4.6.4 Temperatura Radiante Média (°C).....	67
4.7 ÍNDICES DE CONFORTO GERADOS PARA OS 04 BAIROS PELO SOFTWARE RAYMAN	68
4.7.1 Temperatura Fisiológica Equivalente (PET).....	68
4.7.3 Correlação entre UTCI e PET	72
4.8 QUESTIONÁRIOS.....	73
4.8.1 Percepção dos usuários sobre o conforto ambiental	73
4.8.2 Perfil dos usuários	73
4.8.3 Características gerais	73
4.8.4 Sensação Térmica	75
4.9 IMAGENS TERMOGRÁFICAS.....	80
5. CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS	87
APÊNDICES.....	94
ANEXOS	98

RESUMO

Relação do conforto humano com métricas de cobertura arbórea

A influência benéfica de áreas verdes no conforto humano em áreas urbanas tem sido reconhecida por estudos de diferentes campos do conhecimento. A fim de verificar a relação existente do conforto humano com métricas de cobertura arbórea na cidade de Piracicaba/SP, foram dispostos 43 registradores higrotérmicos microprocessados durante 40 dias de coleta tanto na estação chuvosa e seca dos anos de (2015-2016), bem como uma estação meteorológica móvel, da marca Davis Vantage Vu, de modo a obter as variáveis de conforto humano relacionadas com a sensação térmica relatada pelos residentes. Para tanto, foram utilizados índices de avaliação de conforto térmico (UTCI – Universal Thermal Comfort Index) e (PET- Physiologically Equivalent Temperature) obtidos por meio do modelo RayMan Pro. Questionários aplicados aos residentes das áreas de estudo possibilitaram verificar se os resultados obtidos por meio dos índices UTCI e PET correspondiam à real sensação de conforto térmico relatada pelos entrevistados. O tecido urbano foi caracterizado por meio de classificação supervisionada realizada pelo software MultiSpec feita a partir de imagem multiespectral de alta resolução do satélite WorldView 2 no ano de 2011 para a cidade de Piracicaba/SP. Buffers (áreas de influências dos pontos analisados) de 10, 20 e 500 metros foram gerados ao redor dos pontos de estudo pelo software Quantum Gis, v. 2.4, possibilitando correlacionar a porcentagem de cobertura com os dados microclimáticos obtidos com o objetivo de se obter modelos estatísticos que conseguissem prever o quanto de cobertura arbórea seria necessária para a diminuição de uma dada temperatura média urbana. Foram obtidos valores de Índice de Floresta Urbana (IFU) para os bairros analisados. As estações Davis Vantage Vu foi calibrada com a da ESALQ/USP no intuito de que os dados climáticos tivessem maior veracidade e estivessem condizentes com a sensação térmica relatada pelos entrevistados; além disso, foram feitos ajustes dos dias de coleta na tentativa de padronizá-los. Dentre os resultados obtidos, os valores de IFUs corresponderam aos bairros mais confortáveis. Verificou-se, também, maior correlação dos dados microclimáticos dos 43 pontos com o uso e ocupação do solo para buffers de 20 metros na estação chuvosa e buffers de 500 metros na estação seca. Sendo assim, modelos estatísticos serviram para afirmar que aproximadamente 57% ($R^2 = 0,57$) do valor da temperatura média urbana foi explicado pela quantidade de cobertura arbórea na estação chuvosa e 60% ($R^2 = 0,60$) do valor da temperatura média urbana foi explicado pela quantidade de cobertura arbórea na estação seca. Como resultado precípuo desta pesquisa, os modelos gerados permitiram responder uma resposta ainda inexistente: a quantidade de árvores necessária para diminuir o calor excessivo em determinada área urbana, algo altamente desejável em tempos de alterações climáticas e com cidades em crise de abastecimento de água e energia elétrica. Constatou-se, portanto, que para diminuir 1°C da temperatura média urbana é necessário acrescentar 14,31% de cobertura arbórea na estação seca e 27,70% na estação chuvosa no município de Piracicaba/SP. Como avanço nesta pesquisa e inédito para a cidade, os modelos estatísticos permitem ser adotados por outras cidades com a finalidade de proporcionar maior conforto ambiental urbano para a população e inspecionar e avaliar a situação da arborização urbana nas cidades brasileiras.

Palavras-chave: 1. Conforto ambiental urbano 2. Arborização urbana 3. Microclima urbano 4. Cobertura arbórea 5. IFU 6. PET 7. UTCI 8. Raio de influência. 9. RayMan

ABSTRACT

Relation of human comfort with tree cover

The beneficial influence of green areas on human comfort in urban areas has been recognized by studies from different fields of knowledge. In order to verify the existing relationship of human comfort with tree cover metrics in the city of Piracicaba/SP, 43 microprocessed hygrothermal registers were arranged during 40 days of collection in both rainy and dry season of the years 2015-2016, as well as a mobile weather station of the Davis Vantage Vu brand, in order to obtain the human comfort variables related to the thermal sensation reported by residents. The thermal comfort index (UTCI) and PET (Physiologically Equivalent Temperature) values were obtained using the RayMan Pro model. Questionnaires applied to the residents of the study areas made it possible to verify if the results obtained through the UTCI and PET index corresponded to the real sensation of thermal comfort reported by the interviewees. The urban area was characterized by supervised classification performed by MultiSpec software made from a high-resolution multispectral image of WorldView 2 satellite in 2011 for the city of Piracicaba/SP. Buffers (areas of influence of the analyzed points) of 10, 20 and 500 meters were generated around the points of study by Quantum Gis software, v. 2.4, making it possible to correlate the percentage of coverage with the microclimatic data, obtained with the objective of make statistical models that could predict how much tree cover would be necessary for the decrease of a given urban temperature average. Urban Forest Index (IFU) values were obtained for the neighborhoods analyzed. The Davis Vantage Vu stations were calibrated with ESALQ/USP stations in order to make the climate data more accurate and consistent with the thermal sensation reported by the interviewees; In addition, adjustments of collection days were made in an attempt to standardize them. Among the results obtained, IFU values corresponded to the most comfortable neighborhoods. It was also verified a higher correlation of the microclimatic data of the 43 points with the use and occupation of the soil for buffers of 20 meters in the rainy season and buffers of 500 meters in the dry season. Thus, statistical models served to assert that approximately 57% ($R^2 = 0.57$) of the mean urban temperature was explained by the amount of tree cover in the rainy season and 60% ($R^2 = 0.60$) of the average temperature was explained by the amount of tree cover in the dry season. As a result of this research, the models generated allowed to respond to a still non-existent response: the amount of trees needed to reduce excessive heat in a given urban area, something highly desirable in times of climate change and with cities in crisis of water and energy supply power. It was verified, therefore, that to reduce 1°C of the urban average temperature it is necessary to add 14.31% of tree cover in the dry season and 27.70% in the rainy season in the city of Piracicaba/SP. As an advance in this research and unprecedented for the city, the statistical models allow adoption by other cities with the purpose of providing greater urban environmental comfort for the population and to inspect and evaluate the situation of urban afforestation in Brazilian cities.

Keywords: 1. Urban environmental comfort 2. Urban afforestation 3. Urban microclimate 4. Tree cover 5. IFU 6. PET 7. UTCI 8. Buffer 9. RayMan

1. INTRODUÇÃO

O crescimento contínuo e desordenado das cidades brasileiras tem ocasionado negligência quanto à composição arbórea de suas vias e locais públicos, gerando assim impactos notáveis no microclima urbano. O desenho urbano, a geometria formada pelas construções, as propriedades físicas dos materiais e o calor antropogênico contribuem intensamente para a alteração microclimática e, por conseguinte, para a formação das ilhas de calor (DOUTOS; SANTAMOURIS, 2004). Atualmente, a população não se preocupa apenas com o suprimento de suas necessidades básicas, ela exige muito mais das autoridades públicas principalmente no que diz respeito à busca por qualidade de vida nos centros urbanos.

A população brasileira é essencialmente urbana e carece de melhor qualidade no que diz respeito ao conforto nos espaços abertos públicos e privados, principalmente nos médios e grandes centros urbanos. Neste sentido as árvores e o restante de verde urbano exercem influência positiva e decisiva para condicionar um microclima mais adequado e proteger residências dos diversos efeitos negativos existentes nas áreas urbanas como a poluição e as ilhas de calor. Além disso, as árvores amenizam a diferença entre a escala humana e outros componentes arquitetônicos como altos prédios, muros e grandes avenidas (SILVA FILHO, 2004).

Os centros urbanos, locais em que a maioria da população mundial vive atualmente, passaram por inúmeras transformações e apresentam características singulares, inclusive nos aspectos climáticos. Nota-se características peculiares no tocante ao clima urbano, caracterizando-se por temperaturas mais altas, baixa umidade do ar, alterações no fluxo dos ventos e aumento considerável da precipitação. Estes fatores contribuem para o surgimento de eventos extremos, recorrentemente assistidos por todos nós, a saber: tempestades severas, chuva ácida, inversão térmica e as tão abordadas ilhas de calor urbano.

As árvores do meio urbano proporcionam diversos benefícios ao homem, como bem estar psicológico, sombra para pedestres e veículos, direcionam o vento, reduzem a poluição sonora, reduzem o escoamento superficial da água da chuva, reduzem a temperatura, o conforto térmico das áreas urbanas e melhoram a qualidade do ar, servem como habitat para algumas espécies de animais e possuem grande efeito estético (PIVETTA; SILVA FILHO, 2002).

Diversos estudos comprovam que a vegetação tem grande influência no controle do clima (GOMES e AMORIM, 2003; SILVA et al., 2011; MONTEIRO e ALUCCI, 2007), porém é de extrema importância que sua abundância e distribuição espacial na malha urbana sejam considerados, pois se não são bem distribuídas seus benefícios locais tornam-se limitados (McPHERSON, NOWAK e ROWTREE, 1994; SACAMANO et al., 1995). Entretanto, existem poucos estudos que relacionem os benefícios da floresta urbana em função do seu gradiente de distância e o quanto isso influi no efeito da alteração higrótérmica do entorno.

De acordo com Possebon et al. (1999), se por um lado, é inegável o valor acrescentado à qualidade de vida quando se arboriza uma cidade, por outro a inserção desses vegetais no meio urbano não é tão simples, já que esse meio não é o habitat mais apropriado para as plantas. Deste modo, arborizar uma cidade exige de seus administradores muita responsabilidade e bom senso, quer dizer, requer um planejamento, pois fazê-lo sem critérios pode trazer prejuízos substanciais tanto ao poder público quanto à população.

Apesar da grande importância das florestas urbanas e da realização de trabalhos significativos quantificando os benefícios obtidos, poucas cidades brasileiras possuem planejamento efetivo para arborização de suas vias públicas e espaços públicos. Além disso, o Brasil carece de uma política nacional de arborização urbana, que estabeleça as diretrizes para esse planejamento. E, como consequência, perde-se a eficácia da arborização em transmitir conforto às pessoas. (SILVA FILHO; BORTOLETO, 2005).

Atualmente não existe resposta para a quantidade de árvores necessária para diminuir o calor excessivo em determinada área urbana, algo altamente desejável em tempos de alterações climáticas e com cidades em crise de abastecimento de água e energia elétrica. Um modelo climático a partir de dados fornecidos por sistema de informações geográficas na escala das árvores e das pessoas seria importante como ferramenta de baixo custo para justificar mudanças nos tecidos urbanos de nossas cidades com intuito de melhorar o ambiente urbano.

Neste contexto, desenvolver pesquisas para entender as questões referentes à influência da cobertura arbórea na atenuação do clima das cidades e no conforto humano da população são vistos hodiernamente como fundamentais, pois estas informações podem ser utilizadas como métodos de avaliação do conforto térmico, dando como resposta a quantidade de árvores necessária para diminuir a média de temperatura na área urbana e auxiliar profissionais no planejamento e readequação das cidades diante aos problemas ambientais, a fim de proporcionar maior qualidade de vida para a população e inspecionar e avaliar a situação da arborização viária no tecido urbano das cidades brasileiras.

1.1 Justificativa e relevância do estudo proposto

Este trabalho de pesquisa é relevante visto que foi a primeira vez que se tiveram medições climáticas contínuas no município de Piracicaba/SP contemplando as estações chuvosa e seca do ano de 2015 e 2016, em diferentes situações urbanísticas, além de se obter a relação entre a quantidade de cobertura arbórea necessária para diminuir a temperatura média urbana da cidade analisada.

1.2 Hipóteses

A presente pesquisa parte das hipóteses que o conforto higrotérmico é diferenciado nos diferentes pontos de coletas microclimáticas do tecido urbano de Piracicaba/SP, assim como foi comprovado por (SILVA, 2012) e (LEAL, 2012) na cidade de Rio Claro/SP e Curitiba/PR, respectivamente, em decorrência dos materiais que a compõem; bem como com um incremento de aproximadamente 10% de cobertura arbórea na área urbana do município pode diminuir de 0,5 a 1,0 °C na temperatura média do ar (DOBBERT, 2015).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa de mestrado foi estudar o microclima urbano da cidade de Piracicaba/SP durante as estações chuvosa e seca de 2015 e 2016, em todas as regiões (Norte, Sul, Centro, Leste e Oeste), por meio de registradores de temperatura e umidade relativa do ar correlacionando esses dados com o uso e ocupação do solo. Além disso, avaliar o conforto humano em quatro locais de distintas características no tocante à composição arbórea por meio da relação de índices de conforto e respostas obtidas sobre sensação térmica pelos entrevistados.

1.3.2 Objetivos específicos

- Correlacionar os dados de temperatura do ar e umidade relativa com a porcentagem dos materiais de cobertura do solo obtidos por classificação supervisionada do tecido urbano de Piracicaba;
- Quantificar as variáveis ambientais (temperatura do ar; umidade relativa; temperatura de globo; temperatura radiante média; velocidade do ar e temperatura superficial de asfalto) por meio de estação meteorológica a fim de se correlacionar com a sensação térmica relatada pelos entrevistados no conforto ambiental urbano;
- Avaliar a correlação entre os índices de conforto PET e UTCI gerados pelo modelo RayMan;
- Desenvolver modelos estatísticos que estimem o percentual de cobertura arbórea necessário para a diminuição de 1°C na temperatura média do ar para as estações chuvosa e seca na melhoria climática do município, servindo como modelo para as outras cidades brasileiras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processo de urbanização nas cidades

A humanidade conseguiu nos últimos tempos ultrapassar os sete bilhões de habitantes trazendo, por conseguinte, inúmeros questionamentos e dúvidas acerca do desenvolvimento sustentável de modo que as necessidades das futuras gerações não venham a ser comprometidas por conta do nosso consumo exacerbado e pelo boom imobiliário vigente nos últimos anos.

Mundialmente há mais pessoas vivendo nas áreas urbanas do que em áreas rurais. Mais de 50% da população do planeta reside em cidades. (ONU, 2015). No Brasil esse número sobe para 84%. (IBGE, 2016). Para 2050 a estimativa é de que 66% da população mundial seja urbana. (ONU, 2015).

O rápido e desordenado processo de urbanização ocorrido no Brasil trouxe uma série de consequências, e em sua maior parte negativas. A falta de planejamento urbano e de uma política econômica menos concentradora tem trazido inúmeras consequências: favelização, violência urbana, poluição, desconforto térmico nas cidades, eventos extremos etc.

A relação de equilíbrio entre a natureza e a urbanização nas cidades, no que se refere aos fatores ecológicos, climáticos, sustentáveis e de bem-estar, é um aspecto universal do planejamento urbano moderno. (RASKOVIC; DECKER, 2015). O crescimento desordenado de grande parte das cidades brasileiras e as ocupações irregulares do solo têm dificultado o planejamento adequado que viabiliza uma conexão da área construída com a vegetada. (BARBOSA et al., 2015).

2.2 A importância das Florestas Urbanas e os benefícios da vegetação no clima urbano

Para Miller (1997) a Floresta Urbana é o conjunto das árvores e a vegetação arbustiva associada, tanto dentro do tecido urbano quanto próxima da cidade, em uma vila rural, até metrópoles. Para Nowak (2001) as florestas urbanas são caracterizadas pela integração entre e recursos naturais, e nessas condições o componente arbóreo apresenta valores pelos serviços ambientais, sociais e até econômicos para as comunidades urbanas. Moll (1995) estendeu a definição de Miller considerando que a Floresta Urbana é a “área dentro e no entorno de onde vivemos que possui ou pode vir a ter árvores” incluindo aí a franja urbana, ou seja, as áreas rurais que poderão ser urbanizadas.

Clark et al. (1997) propõe um modelo para o desenvolvimento de Florestas Urbanas Sustentáveis. Para os autores, a aplicação desta definição de Floresta Urbana requer que se aceite três ideias:

- que a comunidade reconheça que a Floresta Urbana provê uma ampla variedade de benefícios,
- que a Floresta Urbana exige a intervenção humana para a sua regeneração e manutenção,
- que essas florestas existem dentro de fronteiras políticas e geográficas bem definidas.

As áreas verdes na cidade, com a presença de cobertura arbórea, atualmente recebem a denominação de floresta urbana, conceito proveniente de arborização urbana, que abrange o conjunto de áreas verdes e arborização

de ruas. Estes espaços possibilitam a criação de microclimas urbanos diferenciados, por meio do sombreamento, da redução da velocidade dos ventos, da proteção solar às áreas edificadas e da redução das temperaturas (pela evapotranspiração e retenção de umidade do solo e do ar). (BASSO; CORREA, 2014). Tal vegetação pode favorecer a habitabilidade das cidades, melhorando a paisagem, qualidade ambiental, saúde das pessoas e a própria qualidade de vida. (JIM et al., 2015).

A floresta urbana pode, portanto, ser usada como uma medida para esfriar porções de áreas urbanas, reduzindo a intensidade e magnitude dos impactos negativos das ilhas de calor. (CHANG; LI, 2014), mas para isso, são necessárias informações específicas e rigorosas a respeito do enfoque climatológico. (CHANG; LI; CHAN, 2007). É preciso reforçar a necessidade de investigação nesta área, pois ainda não há plena consciência dos benefícios que às árvores podem trazer, embora já tenha um elevado número de investigações sobre o assunto terem sido realizadas nas últimas décadas. (DRAPER; RICHARDS, 2009).

2.3 As Mudanças Climáticas

Mudanças climáticas já estão em voga, em muitas regiões do planeta, com impactos graves também em áreas urbanizadas. As ondas de calor são cada vez mais frequentes e intensas, o que já não é incomum no Brasil.

Além do aumento da temperatura média, um aumento na ocorrência dos eventos extremos é esperado, com a intensificação das chuvas intensas, das ondas de calor, com consequências na saúde e mortalidade. Megacidades como São Paulo são vulneráveis ao aquecimento global e efeitos de aquecimento local, provocados pela urbanização. Mortes decorrentes de ondas de calor estão relacionadas a doenças cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórias e se concentram, principalmente, entre pessoas idosas e indivíduos com doenças preexistentes (SALDIVA, 1994). Na Baixada Santista, no estado de São Paulo, em fevereiro de 2010, as temperaturas atingiram 39°C com a sensação térmica de até 45°C, com registro de morte de mais de 50 pessoas. De acordo com o Departamento de Regulação da Secretaria de Saúde de Santos, provavelmente, essas mortes ocorreram por causa do calor. Essas pessoas, de faixa etária entre 60 e 97 anos, já sofriam de hipertensão, diabetes, cardiopatias e problemas renais que possivelmente foram agravados pelo aumento de temperatura do ar e as limitações termo-regulatórias dos idosos.

Ondas de calor são causadoras de milhares de mortes tanto na Europa como na América do Norte, assim como no oriente. No Brasil não existem estudos específicos sobre saúde e calor, porém eventos de calor podem elevar problemas de saúde associados a falta de saneamento básico e zoonoses como a proliferação de insetos vetores.

Eventos atípicos têm sido recorrentes, vale mencionar o que assolou o Sudeste e outras regiões do Brasil no verão de 2014. Segundo o Posto Meteorológico da ESALQ/USP, sendo de responsabilidade do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), o município de Piracicaba/SP teve o janeiro mais quente desde 1917.

“Desde 1917, quando o Posto Meteorológico da Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (USP/ESALQ) passou a operar, não tínhamos registrado médias de temperatura tão altas”, confirma Fabio Marin, professor do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB).

Segundo Marin, a média das temperaturas diurnas em janeiro ficou, até 29/1, em 33,07°C. “Esses registros são feitos na sombra e podemos afirmar que, diante de média tão alta, os picos passaram facilmente dos

35°C, enquanto que a sensação térmica próxima das áreas altamente urbanizadas e pavimentadas podem ter se aproximado dos 50°C”.

Nas últimas décadas, as mudanças climáticas têm causado impactos sobre os sistemas naturais e humanos em todos os continentes e oceanos. (IPCC, 2014).

Pode-se definir mudanças climáticas como as alterações estatisticamente importantes, tanto no estado médio do clima quanto em suas variações, que permitem observações por um tempo mais extenso (em geral, décadas ou mais). Podem ser provocadas por processos internos naturais, força radioativa externa, mudanças antrópicas persistentes na composição da atmosfera ou pelo uso do solo. (DOW, 2007).

O aumento da temperatura global reconhecido durante as últimas décadas não é apenas uma ideia simples ou abstrata, uma vez que as temperaturas mais elevadas contribuem para ondas mais intensas de calor, secas e tempestades, elevação do nível do mar e inundações destrutivas, afetando a segurança alimentar e a habitabilidade de regiões litorâneas, além da composição de espécies nos ecossistemas locais. (HEINL et al., 2015).

Segundo a previsão do último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, a mudança do clima ao longo do século 21 poderá reduzir significativamente os recursos hídricos renováveis, superficiais e subterrâneos; prejudicar os sistemas costeiros e áreas baixas com os impactos adversos - submersão, inundações e erosão costeiras; afetar todos os aspectos da segurança alimentar, incluindo o acesso à alimentação e estabilidade dos preços; exacerbar os problemas de saúde que já existem – com maior probabilidade de lesão, doenças e mortes devido as ondas de calor mais intensas; dentre outros. (IPCC, 2014).

Espera-se, portanto, que esse aumento nas temperaturas, nas ondas de calor intensas, precipitações extremas, inundações e deslizamentos de terra intensifiquem os desafios já existentes das doenças transmissíveis, além da insegurança alimentar e da pobreza.

Por mais que a possibilidade de prever os impactos das mudanças climáticas em escala global ainda seja incerta, os efeitos locais da urbanização no clima já têm sido amplamente documentados. (GRIMMOND, 2007).

As áreas urbanas concentram muitos dos riscos globais das mudanças climáticas, como estresse por calor, precipitações extremas, inundações costeiras e no interior, deslizamentos de terra, poluição do ar, seca e escassez de água. (IPCC, 2014). Ainda, segundo os relatórios do IPCC, os riscos são maiores para aqueles que não possuem infraestruturas e serviços essenciais ou que vivem em moradias de baixa qualidade e em áreas expostas.

Muitos habitantes das cidades em todo o mundo sofrem de problemas de saúde e desconforto causados por sobreaquecimento das zonas urbanas, e há evidências convincentes de que esses problemas serão intensificados pela mudança climática global. (BROWN et al., 2015).

Sem dúvidas, os problemas relacionados ao calor são uma questão importante em muitas áreas urbanas do mundo, principalmente porque deve reduzir a demanda de energia para aquecimento e aumentar a demanda de energia para refrigeração nos setores residenciais e comerciais. (IPCC, 2014). Por isso, para garantir a sobrevivência da vida na terra é preciso que as cidades trabalhem unidas na proteção do ambiente, pois essa tarefa de responsabilidade planetária, só pode ser atingida em conjunto, através de um trabalho de cooperação. (NASCIMENTO, 2011).

2.4 O Clima Urbano

A cidade atua como fator modificador do clima regional e cria condições especiais concretas que se pode definir como clima urbano. A atividade antrópica no contexto urbano somado a outros fatores de grande relevância, a saber: intensidade de veículos, concentração industrial, o adensamento de edificações, processo de verticalização, presença de asfalto de ruas e avenidas e diminuição de áreas verdes criam condições específicas de padrões de uso do solo urbano. Estas características influem diretamente na composição química da atmosfera, como também no balanço térmico e hídrico; portanto, essa gama de fatores acarreta na dinâmica existente dentro das cidades o que explica o clima das cidades, tendo sempre em consideração as características topográficas presente nas cidades.

A definição global de clima segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), sendo: “o conjunto flutuante das condições atmosféricas, caracterizado pelos estados e evolução do tempo no curso de um período suficientemente longo para um domínio espacial determinado” (OMM, 1959).

O clima é o resultado de complexas interações entre elementos climáticos (temperatura, umidade, precipitação, evaporação, entre outros) e processos físicos que envolvem a atmosfera, oceano e superfícies sólidas (vegetadas ou não), neve e gelo e apresenta enorme variabilidade no espaço e no tempo. (GOLDREICH, 1995).

Diante da interação de alguns fatores, a natureza pode apresentar reações diversas, de forma que é difícil prever qual comportamento será apresentado (CONTI, 2000; VIANELLO; ALVES, 1991).

Em estudos climáticos é imprescindível identificar a escala climática a ser estudada. De acordo com Oke (2006), três escalas horizontais podem ser definidas:

Microescala: Estende-se de menos de um metro a centenas de metros, onde a temperatura da superfície e a temperatura do ar podem ser influenciadas em distâncias muito curtas pelas dimensões de edifícios individuais, árvores, estradas, ruas, pátios, jardins, etc.

Escala local: Pode estender-se de um a vários quilômetros. Ele exclui efeitos de microescala e inclui recursos de paisagem como topografia. Nesta escala, pode relacionar o clima de bairros com tipos similares de urbanismo (cobertura superficial, tamanho e espaçamento dos edifícios, atividade).

Mesoescala: uma cidade influencia o clima e clima na escala de toda a cidade, tipicamente dezenas de quilômetros de extensão. Uma única estação não é capaz de representar esta escala.

Oke (1981) também descobriu que as correntes de ar que chegam das áreas rurais para a cidade encontram uma atmosfera diferente e estratificada com suas próprias características. Assim, ele propôs dividir a atmosfera urbana em duas camadas, que é amplamente aceito como escalas verticais:

Oke (1976) propôs uma divisão no conceito de Camada Limite para o estufo de áreas urbanas, distinguindo dois níveis: um chamado Camada Limite de Dossel Urbano (corresponde à expressão Urban Canopy Layer) que se estende desde o solo até aproximadamente o nível médio das coberturas das edificações, ou seja, as interações que ocorrem em microescala, pelos processos que operam nas ruas e nos “canyons” entre os edifícios até a média altura dos prédios, nível dos telhados).

A camada limite urbana (da expressão Urban Boundary Layer) é uma camada limite internas da escala mesoclimática, cujas características são determinadas pelo menos parcialmente, pela presença da malha urbana. Estende-se acima do nível das construções. Tem uma maior representatividade, com características produzidas pela natureza da superfície urbana, cuja aspereza proporcionada pela presença de edifícios relativamente altos, causa uma particular aerodinâmica. A velocidade do vento é reduzida, mas há um aumento da turbulência e do arrasto produzido pela fricção do ar. Em outras palavras, a UCL representa a camada de ar abaixo do nível das construções. É produzida por processos de microescala em nível de rua, entre edifícios, etc. A natureza ativa desta superfície produz a complexidade considerável dos fatores que agem na atmosfera.

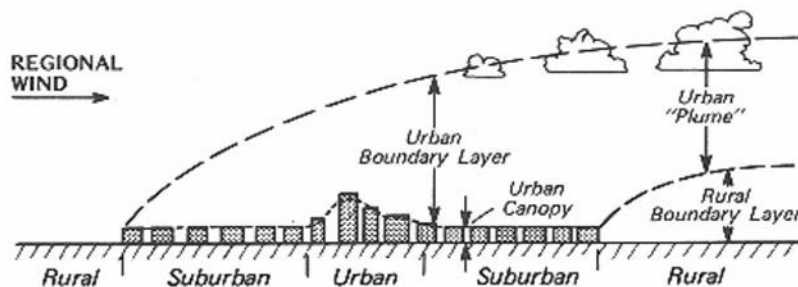


Figura 02: A atmosfera urbana mostrando a camada limite urbana (UBL) e a camada de cobertura urbana (UCL). Fonte: Oke (1981).

2.4.1 O Clima Regional de Piracicaba/SP

A área de Piracicaba, situada em um ponto crítico de transição das correntes da circulação geral, apresenta características climáticas variadas. Essa variabilidade ocasiona dois períodos distintos: um mais quente e chuvoso e outro menos quente e mais seco (COSTA, 2004) o que dificulta enquadrar a área do Município numa classificação climática estável. No entanto, muitos pesquisadores utilizam a classificação de “Köppen” para descrever o clima da cidade de Piracicaba. Segundo essa classificação, o clima local é do tipo “Cwa”, ou seja, tropical úmido, com três meses mais secos (junho, julho e agosto). A temperatura média do mês mais quente ultrapassa 22°C e a do mês mais frio não é inferior a 16°C, com média anual de 21,1°C. A precipitação média é de 1.253 mm/ano, com ventos que atingem uma velocidade média de 2,2 m/s. A umidade relativa do ar varia em torno de 74% e insolação mensal média é de 201,5 horas (2.418 lux ano-1).

Vale mencionar que conforme Barretto (2006), o município de Piracicaba apresenta depressão na parte central de seu território que segue o sentido leste-oeste do curso do Rio Piracicaba. A declividade média foi calculada em 7,8%, com predominância de valores baixos: 42% da área apresenta declives menores do que 5%. A amplitude é de 360m: as regiões mais baixas estão a 420 m do nível do mar e as mais altas a 780 m, com altitude média de 528 m.

Ranzani (1996) afirma que na região há uma tendência para tropicalidade, ou seja, as temperaturas médias anuais variam em torno de 20°C, atingindo, nos meses mais quentes do ano (de novembro a março), uma temperatura média de 23°C e, nos meses mais frios (de maio a agosto), 17 °C.

Piracicaba é hoje uma cidade-pólo de uma região de quase três milhões de habitantes, dentro de uma bacia que abrange uma área de 12.400 km², 50 municípios paulistas e 8% da população do Estado de São Paulo. Constitui-se, depois de Campinas, a cidade mais populosa dessa bacia. Sua importância regional se deve, principalmente, à extensa produção de cana-de-açúcar (BARRETO et al, 2006).

Segundo Barretto et al. (2006) o uso e ocupação do solo do município, divide-se, basicamente, em 9 classes: cana-de-açúcar, pasto, floresta remanescente, áreas em regeneração natural, floresta exótica, urbano, água, área de preservação permanente (APP).

2.5 Conforto Térmico

Definir conforto térmico é bastante difícil, pois, além dos fatores físicos, envolve uma gama de fatores pessoais que tornam sua definição bastante subjetiva. Assim, segundo o departamento de ciências atmosféricas da Universidade de São Paulo, o conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois pontos de vista: pessoal ou ambiental. Se formos considerar apenas o ponto de vista pessoal, define-se conforto térmico como sendo uma condição mental que expresse satisfação com o ambiente térmico. Do ponto de vista físico, confortável é o ambiente cujas condições permitam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termorreguladores, ou seja, é necessário que o organismo humano se encontre em balanço térmico com o meio ambiente.

Segundo Brown e Gillespie (1995) assim, em linhas gerais, o conforto térmico é obtido por trocas térmicas que dependem de vários fatores, que são governados por processos físicos, como convecção, radiação, evaporação e eventualmente condução.

De acordo com estes autores o conforto térmico humano e sua resposta fisiológica, ao estresse térmico, dependem da produção de calor metabólico, do nível de fatores ambientais (velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa e temperatura média radiante) e do tipo de vestimenta que o indivíduo estiver usando. Além disso, devem-se considerar ainda fatores psicológicos e comportamentais. O efeito conjugado dos mesmos é que definirá o grau de conforto ou desconforto térmico sentido pelas pessoas.

O conforto térmico ao ar livre proporciona menores índices de doenças (fadiga, exaustão, desidratação), melhor entrosamento social e maior rendimento no trabalho.

Segundo Brown e Gillespie (1986) de acordo com os aspectos fisiológicos, uma pessoa na paisagem pode ser considerada termicamente confortável quando a energia recebida é aproximadamente igual à energia perdida.

2.5.1 Fatores que influenciam as trocas térmicas

O conforto térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para manter a temperatura interna do corpo. Os fatores que atuam nos processos de troca de calor do corpo com o ambiente devem ser estudados, pois influenciam no trabalho do sistema termorregulador bem como na sensação de conforto térmico. A seguir apresentam-se esses fatores:

2.5.1.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar afeta a perda de calor convectivo do corpo humano e a temperatura do ar expirado. Quando a temperatura do ar é inferior à da pele, a remoção de calor por convecção será tanto maior quanto menor for a temperatura do ar. Se o ar estiver a uma temperatura superior à da pele, ele cederá calor para o corpo por convecção. Quanto à evaporação, a influência da temperatura do ar dependerá da umidade relativa e da velocidade do ar (RUAS, 1999).

2.5.1.2 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é a comparação entre vapor d'água presente no ar com a quantidade de vapor d'água necessário para a saturação em determinada temperatura e pressão. A umidade relativa afeta a remoção de calor por evaporação. Uma baixa umidade relativa do ar absorve mais rapidamente a umidade da pele, resfriando-a em um menor intervalo de tempo (BUENO, 2003). Quando a umidade é muito alta a evaporação representa uma porcentagem muito pequena da energia perdida por um indivíduo (BROWN; GILLESPIE, 1995).

2.5.1.3 Velocidade do ar

A capacidade de contribuição da ventilação na remoção de calor do corpo humano depende da temperatura do ar e da pele e da umidade relativa. Quando a temperatura do ar é inferior a da pele e o ar não está saturado, os processos de evaporação e convecção aumentam diretamente com o aumento da velocidade do ar. Entretanto, em casos em que a temperatura da pele é inferior a temperatura do ar, o aumento da ventilação pode provocar um ganho de calor por convecção (BROWN; GILLESPIE, 1995).

2.5.1.4 Temperatura radiante média

A temperatura radiante média (T_{rm}) pode ser definida como a temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme (RUAS, 1999; XAVIER, 1999; LAMBERTS; XAVIER, 2002; BARTHOLOMEI, 2003). Segundo Xavier (1999), pode ser medida com um termômetro de globo negro, radiômetro de duas esferas, sensor esférico ou elipsoidal à temperatura do ar constante, através das temperaturas das superfícies ao redor do corpo humano, ou ainda das temperaturas riantes planas determinadas nas seis direções ao redor do indivíduo. No entanto, o termômetro de globo negro é o dispositivo mais usual na determinação dessa variável.

Segundo Bartholomei (2003), quando o globo está em equilíbrio térmico com o ambiente, o calor trocado por radiação entre o globo e as superfícies próximas é igual ao calor trocado por convecção entre o globo e o ar. A temperatura do ar, confinado no globo é aproximadamente igual à temperatura da superfície do globo. Lima (2009) afirma que a temperatura radiante média de um ambiente em relação a uma pessoa, pode ser determinada a partir da temperatura superficial do globo, acrescidos dos valores de temperatura e velocidade do vento.

2.5.1.5 Resistência térmica da vestimenta

A resistência térmica da vestimenta é de grande importância na sensação de conforto térmico do homem. Quanto maior a resistência térmica da roupa menor é a troca de calor com o meio. De acordo com Campbell (1998), uma vestimenta para ambientes internos tem condutância de aproximadamente $0.4 \text{ mols m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em uma situação sem movimentação de ar. Com vento, a condutância é drasticamente aumentada. Na ausência de medições dos

valores de condutância para um determinado tipo de roupa, esses podem ser estimados baseando-se: na velocidade do vento, permeabilidade da roupa, espessura e ventilação.

2.5.1.6 Temperatura da pele

Segundo Marioux e colaboradores (1987), a temperatura da pele é um fator fundamental das trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente. A temperatura da pele afeta diretamente a energia transferida por convecção e radiação. Além disso, as perdas de calor através do suor são influenciadas pela temperatura da pele, que é um dos condicionantes da pressão de saturação de vapor na superfície da pele.

2.5.1.7 Taxa de metabolismo

No processo metabólico o homem produz energia interna a partir da transformação dos alimentos. Essa energia é consumida na manutenção das funções fisiológicas vitais, na realização de trabalhos mecânicos externos (atividade muscular) e o restante é liberado na forma de calor. A produção de calor é contínua e aumenta com o esforço físico executado (RUAS, 1999).

2.6 A importância das áreas vegetadas no conforto térmico

Estudos recentes têm demonstrado que a vegetação é benéfica na redução do ar temperaturas, pelo fornecimento de sombra e na melhoria do conforto térmico. Medições de campo por Shashua-Bar e Hoffman (2005) mostrou que algumas ruas e avenidas na área de Tel-Aviv, Israel de árvores alinhadas, teve temperaturas do ar 1- 2.5 ° C mais baixos do que as ruas não vegetadas na parte mais quente do dia (15:00 h).

A característica do dossel de árvores pode influenciar diretamente os resultados de conforto térmico, por conseguinte, o comportamento do indivíduo arbóreo em microclima pode ser modificado de acordo com o tipo, altura, idade, estação, e disposição em espaços exteriores urbanos (PEIXOTO et al., 1995; BROWN; GILLESPIE, 1995).

Segundo Brown e Gillespie (1995), as ferramentas disponíveis para modificar a radiação em uma paisagem são praticamente ilimitadas e quase todas as coisas em uma paisagem podem modificar a radiação de alguma forma pois todos os elementos refletem, absorvem ou transmitem radiação. No entanto, os mais importantes elementos a considerar são plantas e estruturas sólidas bem como seu tamanho, transmissividade, capacidade de estocar calor, sua localização e orientação. Foram sugeridas ferramentas padrão disponíveis para a modificação da radiação solar como segue:

- i. Interceptação da radiação antes que este toque a superfície
- ii. Reflexão da radiação por alterar a cor ou o material dos objetos
- iii. Diminuição da quantidade de radiação absorvida pela alteração do material dos objetos.

Ainda de acordo com esses autores, em relação aos quatro elementos microclimáticos (vento, radiação, umidade do ar e temperatura do ar) que afetam o curso de energia interno e externo em uma pessoa, somente a radiação e o vento podem ser alterados, significativamente, pela configuração da paisagem. Esses são os elementos-chaves para o planejamento e desenho de ambientes externos, que visam o conforto térmico humano. Nesse sentido, as árvores podem ser utilizadas, por exemplo, como quebra-ventos ou elementos de sombreamento.

Conforme cita Miller (1988), um espaço arborizado, dependendo de sua área, densidade e composição de espécies, canaliza ar fresco, reduz enchentes nas áreas próximas mediante retenção temporária das águas da chuva, reduz o calor emitido por edificações próximas, melhora a qualidade do ar, aumenta a umidade relativa do ar (evapotranspiração), previne ou atenua riscos naturais, conserva energia e recursos e contribui para a composição da paisagem.

De acordo com Matzarakis e Endler (2010), as pequenas modificações de condições meteorológicas nas estruturas urbanas, como adicionar sombra de plantio e fornecimento de grandes árvores de folhas, resultam na possibilidade de grandes modificações bioclimáticas.

Segundo Ayres et al (2005), o sombreamento se constitui num dos elementos fundamentais para a obtenção de conforto em climas tropicais. No ambiente urbano as espécies de grande porte são mais eficientes no controle e minimização dos efeitos do clima, se comparadas com a atuação das espécies de menor porte. A temperatura do ar é amenizada pela vegetação através do controle da radiação e pela umidade que é liberada pelo vegetal através de suas folhas. A radiação solar causa muitos efeitos nos centros urbanos e a vegetação é um dos elementos que pode ser utilizado para bloquear sua incidência e contribuir para o equilíbrio do balanço de energia nas cidades.

Rivero (1986) afirma que a vegetação absorve 90% da radiação visível e 60% da infravermelha, sendo o restante transmitido entre as folhas ou refletido.

O desempenho de cada indivíduo arbóreo varia conforme a densidade de sua folhagem (ciclo fenológico de cada espécie), as condições de transparência do céu e a posição relativa do Sol. Segundo Brown e Gillespie, 1995, primeiramente deve-se considerar que existem normalmente dois tipos de árvores disponíveis em médias latitudes as decíduas (que perdem as folhas no inverno e coníferas que mantêm a maioria das folhas no inverno). Em consideração as decíduas, deve-se lembrar que mesmo quando estas perdem suas folhas, pode-se ainda contar com os galhos que embora não pareça muito importante a princípio, enquanto as folhas deixem passar quase toda a radiação de infravermelho próximo, troncos e galhos não.

Ainda segundo Brown e Gillespie (1995), as espécies arbóreas tem transmissividade que variam entre 1/4 (no verão) e 3/4 (no inverno).

A quantidade de radiação interceptada depende da densidade dos galhos e ramos e da cobertura foliar, onde esses elementos influenciam o caráter global da forma de árvore e densidade (BROWN; GILLESPIE, 1995; SCUDO, 2002; ABREU; LABAKI, 2011).

Para uma elaboração efetiva de estratégias de planejamento urbano sustentável faz-se necessário considerar a presença de árvores na contribuição para a mitigação da intensidade da ilha de calor urbana e estresse por calor. Uma das estratégias para a mitigação da ilha de calor urbano é o sombreamento de árvore em parques urbanos e calçadas (GRIMMOND, 2007).

2.7 Índices de Conforto Térmico

A American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE, 1992) define conforto térmico como "condição da mente que expressa satisfação com o meio térmico em que a pessoa está inserida". A sensação de conforto térmico relaciona-se não apenas a uma série de fatores físicos relativos à configuração urbana, mas também a fatores subjetivos ao considerar as preferências individuais (NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003; NIKOLOPOULOU; LIKOUDIS, 2006; LABAKI et al., 2012).

Alguns índices de conforto térmico como o PMV (Predicted Mean Vote), o PET (Physiological Equivalent Temperature), o SET (Standart Effetive Temperature), o OUT_SET (Out_Standart Effetive Temperature) e o UTCI (Universal Thermal Comfort Index) vêm sendo utilizados para avaliar as condições de conforto no ambiente urbano. No Brasil, a calibração desses índices se torna indispensável devido à vasta diversidade climática regional. Monteiro (2008) destaca inclusive a necessidade de calibração para determinada população por estarem adaptadas a variadas condições climáticas. Nesta pesquisa, daremos enfoque a dois índices de conforto largamente utilizados, o UTCI e o PET que serão descritos a seguir.

2.7.1 Universal Thermal Climate Index (Índice Termoclimático Universal)

Sociedade Internacional de Biometeorologia, no ano de 2000, criou uma comissão (ISB Commission 6) para desenvolver um índice universal de conforto térmico, denominado Universal Thermal Climate Index (UTCI), com o objetivo principal de avaliar as condições térmicas de ambientes externos por meio da resposta fisiológica do corpo humano. A referida comissão definiu que o índice deveria ser termo fisiologicamente válido, aplicável a todos os tipos de clima e independente das características pessoais dos indivíduos (INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY (ISB), 2003).

O índice foi elaborado com base no modelo termo regulatório multimodal desenvolvido por Fiala, Lomas e Stohrer (2001). Foram considerados neste modelo: o comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico a partir de estudos de campo desenvolvidos na Europa; a distribuição da roupa em diferentes partes do corpo e; a redução da resistência térmica e evaporativa da roupa, causada pelo vento e pelo movimento da pessoa andando a 4 km/h em superfície plana.

Segundo Bröde et al. (2010), o UTCI segue o conceito da temperatura equivalente. De acordo com esse conceito, a igualdade das condições fisiológicas é baseada na equivalência da resposta fisiológica dinâmica prevista pelo modelo para os ambientes real e de referência. Como essa resposta dinâmica é multidimensional (temperatura corporal, taxa de sudorese, temperatura da pele e outras, em diferentes tempos de exposição), um índice unidimensional foi calculado através da análise dos componentes principais. Assim, a temperatura UTCI equivalente para uma dada combinação das variáveis climáticas (vento, radiação, umidade e temperatura do ar) é definida como a temperatura do ar do ambiente de referência, que produz o mesmo valor de estresse térmico.

Têm-se para o ambiente de referência as seguintes definições: 50% de umidade relativa (UR), com pressão de vapor não excedendo 2 kPa (quilopascal); temperatura do ar (T_a) igual à temperatura radiante média (T_{rm}) e; velocidade do vento de 0,5 m/s, medida a 10 metros de altura (BRÖDE et al., 2010). Deste modo, segundo Rossi, Krüger e Bröde (2012), o índice abrange as seguintes faixas climáticas:

- a) $-50\text{ °C} \leq T_a \leq 50\text{ °C}$;
- b) $-30\text{ °C} \leq T_{rm}-T_a \leq 70\text{ °C}$;
- c) velocidade do vento entre 0,5 e 30,3 m/s;
- d) UR de 5% a 100% (pressão de vapor máxima 5 kPa).

Os valores de UTCI entre 9 °C e 26 °C podem ser caracterizados como confortáveis. Valores mais altos indicam uma possibilidade crescente de estresse térmico para o calor, ao passo que valores menores indicam condições muito frias para conforto.

2.7.2 Temperatura Fisiológica Equivalente (PET)

O índice PET, introduzido por Höppe (1999), de um determinado ambiente (interno ou externo) refere-se a temperatura equivalente à temperatura do ar de um ambiente interno padrão (com ausência de vento e radiação), sendo mantido o balanço de calor do corpo humano com temperaturas do centro e da pele do corpo iguais às do ambiente de referência.

A variável climática que mais afeta o equilíbrio energético humano em dias de sol e tem grande influência sobre índices preditivos termo fisiológicos como PET ou PMV é a temperatura radiante média (T_{rm}) (MATZARAKIS et al., 2007; COHEN et al., 2012); sendo considerada o fator mais importante para o cálculo do PET (LIN et al., 2010).

A Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) é obtida por meio do cálculo das condições térmicas do corpo, utilizando-se equações do modelo de balanço de energia de Munique para pessoas (MEMI). O modelo MEMI é baseado na equação do balanço termo fisiológico do corpo humano e leva em conta parâmetros como temperatura superficial média da vestimenta e temperatura média da pele ou a taxa de suor, afetadas pelas condições do ambiente (HÖPPE, 1999). Esta análise de avaliação de conforto inclui fatores meteorológicos de temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, além da radiação de ondas curtas e longas, que afetam os seres humanos termo fisiologicamente em ambiente interno e ao ar livre.

Calibração proposta para o índice PET para a cidade de São Paulo (SP)	
Sensação térmica	PET (°C)
Muito calor	Acima de 43
Calor	31 - 43
Pouco calor	26 - 31
Neutra	18 - 26
Pouco frio	12 - 18
Frio	04 - 12
Muito frio	menos de 4

Figura 03: Calibração proposta para o PET para a cidade de São Paulo. Fonte: Monteiro (2008)

No ambiente de referência adotado no cálculo do PET estão estabelecidos os seguintes parâmetros: o metabolismo de trabalho (80W), o isolamento térmico da vestimenta (0,9 clo = unidade de medida da resistência

térmica da vestimenta), a velocidade do vento (0,1 m/s), a temperatura radiante média igual à temperatura do ar (a ser aferida), a pressão de vapor de 12 hPa, que corresponde a 50% de umidade relativa a 20°C (HÖPPE, 1999).

2.8 Programas computacionais usados

RayMan (MATZARAKIS et al., 2007, 2010) foi desenvolvido para dar suporte a estudos ambientais permitindo fazer uma análise da qualidade do espaço urbano. Diversos pesquisadores utilizam-se desse programa para avaliar e prever situações relacionadas a fatores como: conforto térmico urbano, análise de insolação, acústica, eficiência energética, iluminação, ventilação, entre outros.

2.8.1 RayMan

O RayMan é um modelo computacional capaz de simular densidades de fluxo de radiação de ondas curtas e longas em ambientes simples e complexos, que usa um número limitado de dados meteorológicos para determinar a condição térmica fisiológica das pessoas. É um modelo que avalia o bioclima urbano por meio de índices térmicos tais como: Voto Médio Predito (PMV), Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), Índice Termo Climático Universal (UTCI) e o Nova Temperatura Efetiva Padrão (SET), sendo adequado para o cálculo do fluxos de radiação, uma vez que considera fatores como a topografia e morfologia urbana (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2007).

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

Category	Parameter	Value
Date and time	Date (day.month.year)	8.4.2016
	Day of year	99
	Local time (h:mm)	8:00
Geographic data	Location	Piracicaba (SP), Brazil
	Geogr. longitude (°E)	-47°38'
	Geogr. latitude (°N)	-22°43'
	Altitude (m)	527
	Timezone (UTC + h)	-3.0
	Current data	Air temperature Ta (°C)
Current data	Vapour pressure VP (hPa)	20.1
Current data	Rel. humidity RH (%)	64.0
Current data	Wind velocity v (m/s)	0.9
Current data	Cloud cover N (octas)	0.0
Current data	Surface temperature Ts (°C)	
Current data	Global radiation G (W/m²)	
Current data	Mean radiant temp. Tmrt (°C)	28.7
Personal data	Height (m)	1.60
	Weight (kg)	70.0
	Age (a)	48
	Sex	f
Clothing and activity	Clothing (clo)	0.90
	Activity (W)	80.0
	Position	standing
Thermal indices	PMV	<input checked="" type="checkbox"/>
Thermal indices	PET	<input checked="" type="checkbox"/>
Thermal indices	SET*	<input checked="" type="checkbox"/>
Thermal indices	UTCI	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 04: Dados de entrada do modelo RayMan
Fonte: Matzarakis et al. (2010)

Para o cálculo do PET e do UTCI, o modelo RayMan, versão 2.1, direitos autorais 1999 – 2010, baseia-se nos seguintes parâmetros ambientais: temperatura do ar (T_a), umidade relativa do ar (RH), temperatura radiante média (T_{rm}), velocidade do vento (V), e em parâmetros pessoais: resistência térmica da vestimenta (clo) e taxa de metabolismo (met) (LIN et al., 2010). Entretanto, o modelo considera valores fixos para o clo (0.90) e met (80 W), que equivalem a uma pessoa parada e com vestimenta consideravelmente quente e inadequada para algumas ocasiões,

podendo interferir de forma considerável nos valores de PET e UTCI. Os dados de entrada do programa podem ser observados na (Figura 03).

O programa, por ser de simples aplicação, tem sido bastante utilizado em estudos relacionados ao conforto térmico em áreas urbanas, a saber: Dobbert (2015) utilizou esse modelo a fim de obter os índices PMV e PET para correlacionar com a sensação relatada pelos usuários em quatro áreas localizadas na cidade de Campinas, São Paulo. Assim como Abreu e Labaki (2010), que avaliaram interferências da vegetação no microclima urbano. As análises feitas por esse modelo podem ser realizadas em diferentes escalas de tempo e espaço considerando a diversidade de microclimas em áreas urbanas.

2.8.2 MultiSpec

A classificação supervisionada baseia-se no uso de algoritmos para determinar os pixels, os quais representam valores de reflexão característicos para uma determinada classe. É o método mais utilizado na análise quantitativa de dados de sensoriamento remoto. O programa MultiSpec® 3.4 é utilizado para a classificação supervisionada, e opera a partir da seleção de campos de treinamento e de testes para classes específicas de áreas conhecidas. A área da imagem que o usuário identifica como representativa de uma das classes é chamada área de treinamento. Nesse programa, o operador estabelece diferentes tipos de classe de acordo com as áreas de interesse, utilizando para isso imagens de satélite, que permitem elaborar classificações supervisionadas do mosaico e das imagens dos locais em análise. As imagens possuem valores de pixel que podem variar de 0 a 255 para uma imagem de 8 bits, sendo que cada pixel é associado a uma classe temática por meio do algoritmo selecionado.

As análises são baseadas em algoritmos que reconhecem padrões espectrais dos alvos terrestres. As classes definidas determinam valores e variabilidade para cada banda e classe. Um dos algoritmos disponíveis para uso neste programa é o Extraction and Classification of Homogeneous Objects classifier (ECHO), criado com objetivo de melhor separação das classes (floresta e pasto) segundo Kettig e Landgrebe (1976).

Segundo Fitz (2008), formas diferenciadas de interpretação são definidas de acordo com a percepção por parte do usuário do programa para quantificação, qualificação e análise espacial dos componentes de uso e ocupação do solo.

A eficácia do processamento da imagem foi avaliada estatisticamente por meio do Índice Kappa de precisão (desejável acima de 80%), segundo Landis e Koch (1977), comprovando a exatidão dos mapeamentos temáticos por meio da confecção de matrizes de erro, dendrogramas por distância euclidiana, propostas por Congalton e Kass (2009).

A classificação supervisionada identifica e quantifica os diferentes tipos de uso do solo por meio de classes temáticas como área construída, área de cobertura de copa, área de relvado, área de solo exposto, áreas impermeáveis - asfalto, calçadas e outros (SILVA FILHO, 2004).

2.8.3 Gap Light Analyzer (Analisador de Abertura de Vãos)

O Gap Light Analyzer (GLA), versão 2.0, é um software canadense executado para o Windows projetado para Importar, exibir e analisar fotografias digitais de copa hemisférica (fisheye). Foi desenvolvido a partir de um programa anterior de imagens de cores verdadeiras, GLI / C, criado pelo Dr. Charles Canham do Instituto de

Estudos de Ecossistemas (IES), Millbrook, Nova Iorque (Canham 1995). O GLI / C – agora Chamado GLA - foi completamente reformulado para incluir 1) um novo Documento Múltiplo de Interface (MDI), 2) um modelo de radiação solar que leva em consideração as influências da topografia e padrões sazonais de nebulosidade, 3) novos métodos espaciais para extrair transmissão de feixe e Dados de distribuição de freqüência de sunfleck, 4) uma variedade de utilitários autônomos que permitem ao usuário Explorar, extrair e exibir a fração de abertura, abertura do dossel e as informações de transmissão de intervalo de luz, 5) conformidade TWAIN para adquirir dados digitais diretamente de scanners e câmeras, e 6) um conjunto de ferramentas de processamento de imagem para modificação de imagem.

O GLA calcula a porcentagem da abóboda celeste, porcentagem de abertura do dossel da árvore, porcentagem da abertura do local analisado, o índice de área foliar (LAI) e radiação solar. Na pesquisa, os dados de maior interesse foi o do Índice de Área Foliar (LAI) dos pontos de interesse.

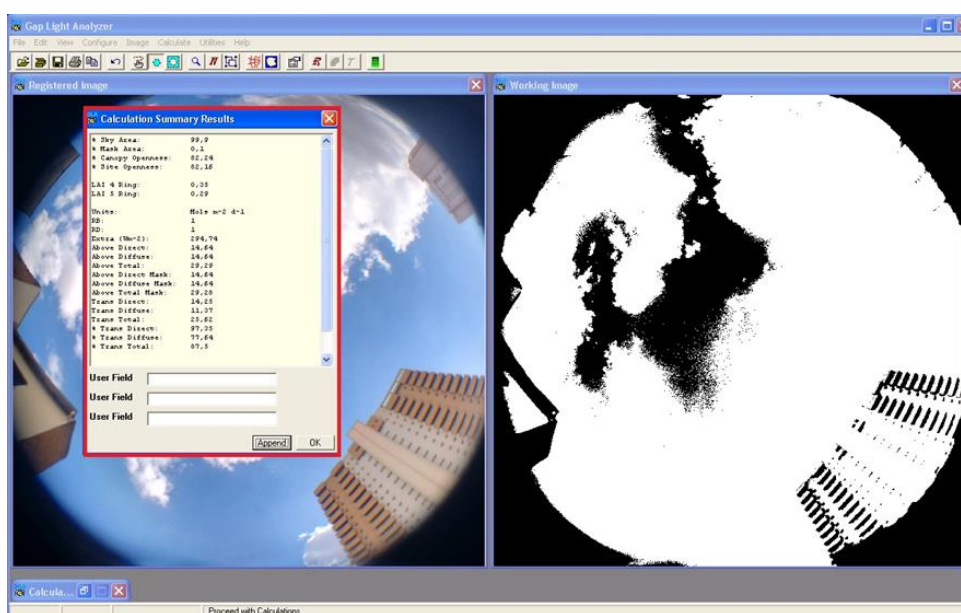


Figura 05: Planilha com o resultado do Índice de Área Foliar (LAI) do ponto 08 na Cidade Alta no software GLA. Fonte: O autor (2016).

2.9 Índice de Floresta Urbana

O Índice de Floresta Urbana (IFU), proposto por Silva Filho et al. (2005), permite classificar áreas de acordo com a quantidade de cobertura arbórea por meio da utilização de imagem de alta resolução multiespectral como a do World View-2, processadas com 50cm de resolução espacial. Estudo realizado na cidade de Tampa (Florida/EUA) comparou dois tipos de imagem de alta resolução espacial (IKONOS e WorldView-2) para verificar a eficácia na identificação e mapeamento de espécies arbóreas. Concluiu-se que a imagem WV2 aumenta significativamente a acurácia na classificação de imagens, ao aumentar a precisão do mapeamento e identificar espécies arbóreas (PU; LANDRY, 2012).

O IFU pode ser considerado um indicador para valorização e qualificação de espaços arborizados, relacionados com outros elementos construtivos e equipamentos urbanos como ruas, calçadas, pátios, casas, edifícios, presentes no meio urbano e colaboradores para melhoria do meio ambiente (SILVA FILHO et al., 2005).

Esse índice, com valores de 0 a 2, constitui um indicador para valorização de áreas arborizadas, sendo que quanto mais próximo de 2 mais valorizada se encontra a área analisada. Entretanto, Viana (2012) destaca a necessidade de acrescentar a esse índice um fator que reflita melhor a distribuição da cobertura arbórea a fim de valorizar áreas onde a vegetação se encontra mais bem distribuída.

Viana (2013) observou em sua pesquisa que a cidade de São Carlos apresenta um bom Índice de Floresta Urbana, porém o fato de existirem maciços de vegetação condensados em áreas distantes do centro da cidade, não beneficiando as áreas centrais, dificultou a análise da condição de arborização da cidade como um todo. Sendo assim, a proposta de um ajuste ao Índice de Floresta Urbana, apresentada por Dobbert (2015), leva em consideração essa nova variável (a distribuição da vegetação inserida no meio urbano), possibilitando assim qualificar de forma mais eficaz a arborização existente nas cidades.

2.10 Pesquisas importantes sobre a influência da vegetação na atenuação do clima urbano

O papel da vegetação urbana na adaptação às alterações climáticas tem sido foco de uma série de estudos publicados. (KENDAL; McDONNELL, 2014; PÖTZELBERGER et al., 2015). Pesquisas têm sido dedicada à avaliação da vegetação urbana, especialmente no contexto de sustentabilidade, aceleração da urbanização e qualidade de vida. (RASKOVI; DECKER, 2015). As várias funções que as árvores desempenham nas cidades, seu valor, custos, benefícios e a própria influência diversificada que exerce em áreas urbanas têm sido amplamente discutidas. (DONOVAN; BUTRY, 2010).

Leal (2012) ao analisar o clima local da cidade de Curitiba verificou que nas regiões com maior quantidade de áreas permeáveis, concentração de remanescentes florestais ou presença de áreas verdes públicas ocorreram menores temperaturas e aumento da umidade relativa do ar, atuando como “Ilhas de Frescor Urbano”.

Dobbert (2015) ao estudar as interferências proporcionadas pela arborização urbana no conforto térmico e bem-estar dos usuários de quatro áreas localizadas na cidade de Campinas, São Paulo, teve como conclusões que as interferências no microclima como queda de temperatura do ar e aumento da umidade relativa foram comprovadas por meio de simulações feitas pelo programa ENVI-met e por comparações entre as diferentes áreas de estudo, em que foram quantificadas a cobertura arbórea e relacionadas aos índices (PMV e PET), comprovando que, em áreas mais arborizadas, esses índices apresentam-se com valores mais próximos da faixa de neutralidade térmica.

Outro estudo, realizado por Silva (2012), sobre os efeitos do uso e cobertura do solo sobre o conforto higrotérmico na cidade de Rio Claro/SP objetivou-se por analisar três diferentes arranjos espaciais de floresta urbana e de que modo estes possuem um comportamento diferenciado na variação da temperatura e umidade relativa do ar e até que ponto pode contribuir para o arrefecimento do entorno. Dentre suas conclusões, podem-se destacar: os aglomerados arbóreos contribuem para o arrefecimento do entorno, entretanto comportam-se de maneira diferenciada devido às características inerentes a cada local como a densidades de árvores, arranjo, configuração espacial e cobertura do solo; além disso, o fator distância é preponderante na análise do conforto ambiental urbano, já que à medida que a distância aumenta em relação ao maciço arbóreo, a temperatura também aumenta e a umidade decresce isso se não houver outros elementos afetando as variáveis de temperatura e umidade no percurso. Curioso que a análise estatística geral corrobora que o efeito do aglomerado arbóreo é perceptível somente até 40 m, após esta distância a sua influência já não é tão notória.

Segundo Bartholomei e Labaki (2002), analisou-se a função da vegetação na atenuação da radiação solar, contribuindo para a melhoria do conforto térmico na cidade de Campinas/SP. Nesta pesquisa, foi analisada a influência de seis espécies arbóreas em relação ao conforto térmico. A pesquisa concluiu que o índice de conforto varia ao longo do dia e que as espécies, através das diferentes atenuações da radiação, apresentam um índice de conforto diferente. Observou-se também que as espécies que apresentaram o melhor índice de conforto são aquelas que proporcionam maior extensão de sombra sob sua copa.

Duarte e Maiteli (1999) também realizaram medições de temperatura e umidade relativa do ar na superfície, em alguns pontos fixos da cidade de Cuiabá/MT. O objetivo da pesquisa foi detectar a correlação entre o uso e ocupação do solo e as variáveis de conforto térmico. Os resultados mostraram diferenças de temperaturas de até 6°C entre os pontos de baixa ocupação e as áreas densamente construídas. Ainda, constatou-se que a área mais aquecida é o centro da cidade e as mais secas são aquelas que apresentam alto índice de pavimentação.

Martini (2013) ao estudar e avaliar a influência da arborização de ruas no microclima urbano e no conforto térmico da população de Curitiba/PR, concluiu que o microclima da rua arborizada apresentou valores menores de temperatura e maiores de umidade relativa do ar do que a rua sem arborização. O comportamento periódico e os valores extremos das variáveis meteorológicas apresentaram valores menores de temperatura e maiores de umidade relativa. A análise dos valores extremos de temperatura permitiu verificar ainda, que a amplitude de variação foi menor na rua arborizada. A diferença microclimática entre as ruas apresentou maior diferença de temperatura na estação do verão (2,5 °C) e a menor no inverno (1,2 °C). Para a umidade relativa, os valores ficaram entre 6,4% (primavera) e 5,6% (inverno). A maior diferença para a velocidade do vento foi encontrada no inverno (0,17 m/s).

Kurbán et al. (2002), na cidade de San Juan (Argentina), demonstraram que o efeito da arborização resultou em uma diminuição de 2,1 °C na temperatura e em um aumento de 5,2% na umidade relativa. Em Freiburg (Alemanha), a diferença entre a área com árvores e sem árvores foi de 2,2 °C para a temperatura e de 5 a 7% para a umidade relativa. (STREILING; MATIZASKI, 2003).

Diversos estudos, portanto, comprovam que a vegetação tem grande influência no controle do clima (GOMES e AMORIM, 2003; SILVA et al., 2011; MONTEIRO e ALUCCI, 2007), porém é de extrema importância que sua abundância e distribuição espacial na malha urbana sejam considerados, pois se não são bem distribuídas seus benefícios locais tornam-se limitados (McPHERSON, NOWAK e ROWTREE, 1994; SACAMANO et al., 1995). Entretanto, existem poucos estudos ainda que relacionem os benefícios da floresta urbana em função do seu gradiente de distância e o quanto isso influi no efeito da alteração higrótérmica do entorno.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Localização e caracterização da área de estudo

A pesquisa tem como área de estudo a cidade de Piracicaba (Figura 06), está localizada entre as coordenadas geográficas de 22°42'30"S e 47°38'01"W, com altitude média de 554 metros. A área total do município é de 1.378,069 km² (IBGE, 2016) e área urbana de 210 km², IPPLAP. A população total estimada é de 391.449 habitantes (IBGE, 2016).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima do município de Piracicaba é classificado como Cwa, ou seja, tropical de altitude, com precipitação média anual de 1.328 mm e temperaturas médias anuais entre 14.8°C e 28.2°C, com estiagem no inverno (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI, 2014).

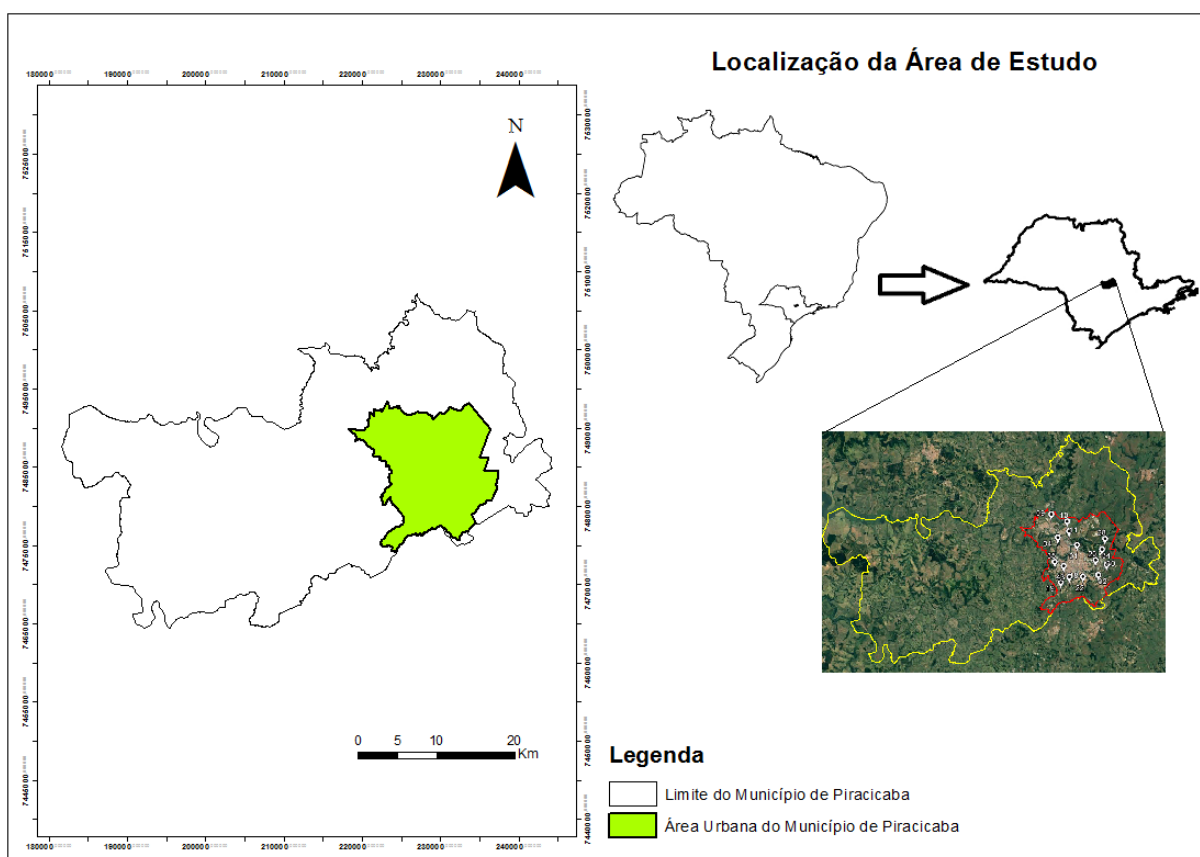


Figura 06: LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA CIDADE DE PIRACICABA
Fonte: O autor (2016)

3.2. Locais de monitoramento do microclima urbano de Piracicaba/SP

A presente pesquisa foi realizada nas 05 regiões (Norte, Sul, Leste, Oeste e Centro) do município de Piracicaba/SP, sendo que foram instalados uma rede de sensores meteorológicos com 43 registradores de temperatura do ar e umidade relativa (Figura 07), com cerca de 08 por região, dentro de estabelecimentos residenciais (quintais) durante 40 dias nas estações chuvosa e seca dos anos de 2015-2016. O motivo pelo qual se resolveu executar a instalação desses equipamentos em residências deve-se, em grande parte, por estes serem de valor e despertarem certa curiosidade aos transeuntes; sendo assim, caso fossem fixados em postes de ruas ou de avenidas tal ação poderia dar margem a furtos e danos aos mesmos além, claro, de comprometer a execução da pesquisa.

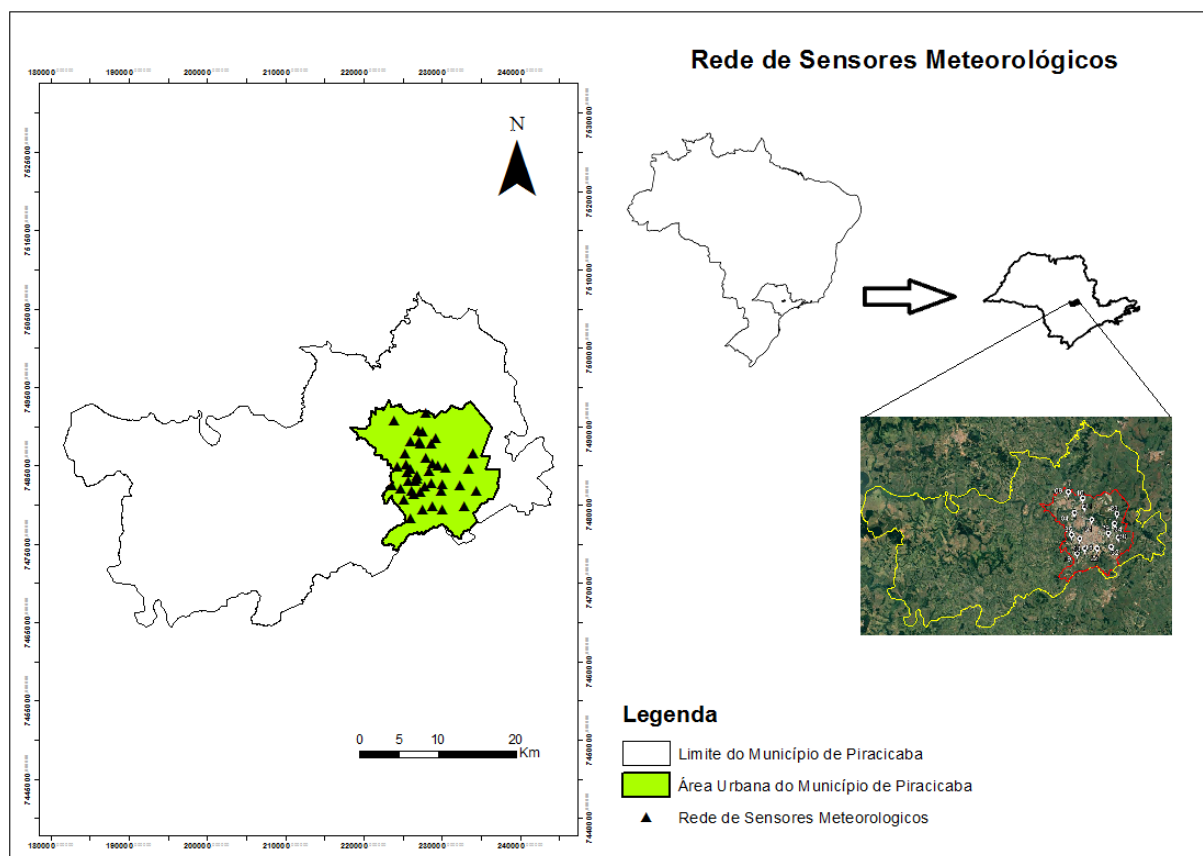


Figura 07: LOCALIZAÇÃO DA REDE DE SENSORES PELA CIDADE DE PIRACICABA

Fonte: O autor (2016)

A escolha dos 43 pontos priorizou estabelecimentos cuja área externa fosse propícia à instalação dos registradores de temperatura e umidade relativa, sendo que esses locais não poderiam ter a influência direta de parede e de outros materiais, além de serem em locais totalmente abertos. Sendo assim, foi preciso que o responsável pelo local desse sua anuência para que o registrador coletasse os dados de interesse à pesquisa durante o período de coleta estabelecido. Com o intuito de formalizarmos o procedimento de instalação, redigiu-se um Termo de Consentimento Livre-Esclarecido (TCLE), sob orientação do Comitê de Ética em Pesquisa da ESALQ/USP, (Apêndice B), no qual constava a natureza da pesquisa, explicando ao responsável que a instalação não traria nenhum dano à saúde humana e ao imóvel cedido, já que seriam apenas termômetros que analisariam o conforto ambiental urbano no município de Piracicaba/SP.

Tabela 01: Pontos da rede de sensores meteorológicos espalhados por Piracicaba/SP. Fonte: O autor (2016)

UTMX	UTMY	Ponto	Registrador	Estabelecimento
228840,49	7485284,17	1	5	Residência Helena Padovani (ESALQ)
226924,96	7483774,56	2	7	Residência Regina/Helena
228015,15	7486019,94	3	41	Residência Lia Moretti (PG/ESALQ)/Helena
225269,58	7486589,35	4	39	Restaurante Dourados's
225421,32	7485162,35	5	27	Clínica Veterinária (Domicílio) Residência
226072,38	7484560,13	6	37	Casa Genaro/Marisa
229524,62	7485008,48	7	44	Residência Cella (Márcia irmã)
228337,00	7484332,00	8	3	Residência Ivone/Helena
223977,86	7490837,34	9	26	Marcos Aurélio/Cella/Elisa
226934,09	7489571,42	10	24	Paulo/Márcia (Irmão Marcos Aurélio/Cella
227329,01	7487789,56	11	40	Residência Rita/Sandra Pissinato
227601,16	7489402,75	12	45	Residência KLEBER
226074,92	7488057,37	13	13	Residência Sandra
227084,16	7488145,44	14	49	Residência Eliana/ Prof, Sandra Pissinato
227965,53	7491772,65	15	60	Residência Giovana (PG/ESALQ)
229284,04	7488556,38	16	57	Residência Marisa/Rita, Sandra Pissinato
228621,35	7487767,62	17	58	Luiz Fernando/ESALQ
227528,59	7479382,37	18	32	Vera/Helena
225963,62	7478348,02	19	16	Roberto Gustinelli/Helena/Sandra (esposa)
227348,59	7481723,76	20	55	Comércio - Madeiraço/Helena
230010,63	7481755,75	21	6	Residência Mari GA
230044,32	7479468,27	22	17	Residência Matheus Fernandes CMQ
226831,54	7483372,84	23	35	Residência Cipó/Roberta
228761,55	7479885,79	24	43	Residência Tiago Felix (Viscar)
227831,03	7482391,91	25	21	Residência Jamil/Denise
228692,89	7482823,11	26	29	Residência Gustavo Venturini ESALQ
233960,92	7486550,87	27	14	Residência Profa, Teresa Magro/Frans (Marido)
233997,07	7486534,53	28	18	Residência Profa, Teresa Magro/Frans (Marido)
232323,28	7482544,70	29	51	Chácara Tanno (Conceição/Moacir)/Helena
234403,95	7481753,94	30	1	Chácara Dilma do Açogue/Helena
230118,00	7482677,32	31	47	Residência Dona Laura/Sandra Zambetta
232888,83	7479820,58	32	36	Residência Alcemira/Sandra Pissinato
230532,31	7484752,85	33	59	Residência Francisco Veterinário/Lu Cavalcante
233493,28	7484555,46	34	25	Varixx (Karen Piedade)
224783,54	7482107,81	35	54	Residência André Marcelino (Cláudia Coleoni)
223673,92	7482477,27	36	38	Sônia/Rodabem/Gilberto
226563,66	7483101,41	37	50	Residência Juliana Arthuso
225621,50	7484146,41	38	2	Residência Vitor Paschoalino/Juliana Arthuso
225775,94	7483117,65	39	46	Residência Nalva/Juliana Arthuso
225140,81	7480655,55	40	8	Residência Elaine/Diego Tavares
224280,93	7484927,37	41	20	Residência Maurício
226153,40	7481848,48	42	34	Residência Sidnei Pereira
226447,95	7481372,24	43	33	Residência Inês/Juliana Arthuso

3.3. Descrição dos locais de monitoramento para o estudo de conforto ambiental

Nesta pesquisa, dentre os 43 pontos espalhados pelo tecido urbano de Piracicaba/SP, foram escolhidos apenas quatro pontos de maior interesse para o estudo de conforto ambiental urbano e análise amostral microclimática dos 43 pontos estudados. Os motivos pelos quais foram priorizados em detrimento dos outros pontos, deve-se: à acessibilidade para o monitoramento com estação meteorológica móvel; à disponibilidade dos residentes em nos receber durante um dia inteiro de campanha nas duas estações estudadas e à diferença existente entre os quatro pontos com relação ao uso e ocupação do solo urbano a fim de se inferir o conforto entre essas áreas.

O ponto amostral 08, uma residência, (Figura 08), está localizado na Rua São José, 1214, na região central da cidade de Piracicaba/SP, altitude de 530 m, mais precisamente na Cidade Alta. Esta área possui característica predominantemente comercial com a presença de edifícios, com pouca permeabilidade do solo, devido às ruas asfaltadas, piso cimento e densa área construída. Apresenta intenso tráfego de veículos automotores e grande circulação de pedestres ao longo do dia. Em geral, possui poucos fragmentos florestais normalmente encontrados nas praças, e número reduzido de árvores nas vias públicas.

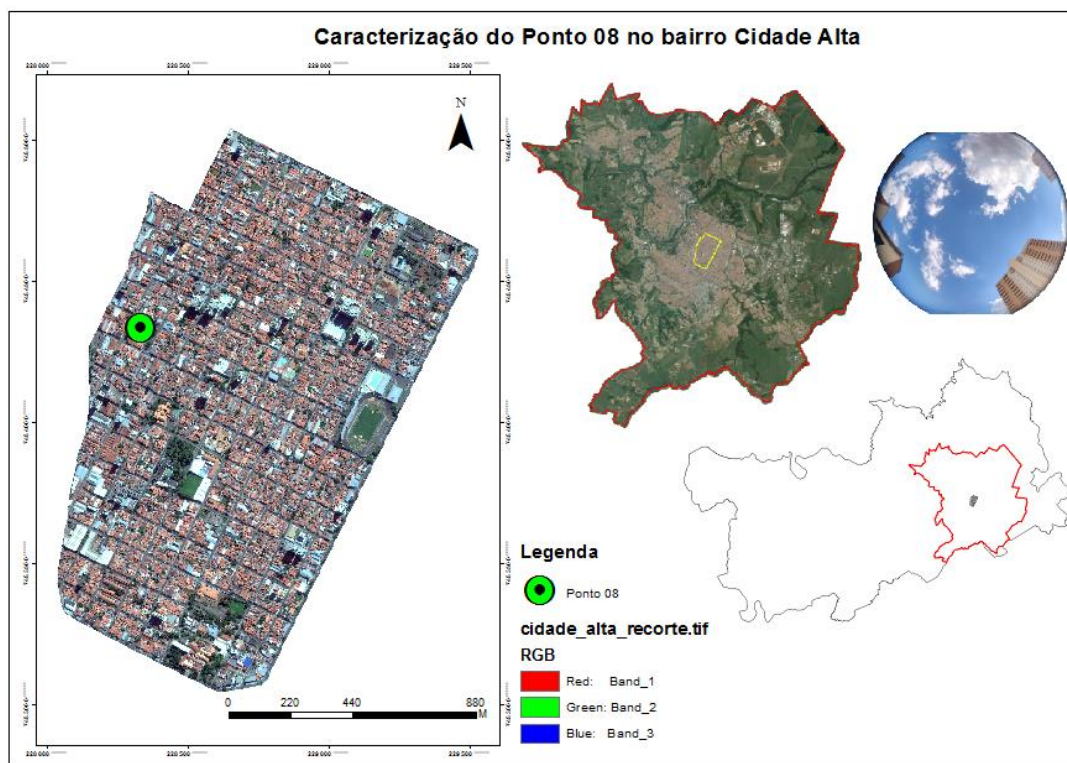


Figura 08: Caracterização do Ponto 08 no bairro Cidade Alta em Piracicaba/SP.
Fonte: O autor (2016)

O ponto amostral 14, uma residência, (Figura 09), está localizado na Rua Amadeu Castanho, 13, altitude de 533 metros, na região norte da cidade de Piracicaba/SP, no bairro Vila Fátima. Esta área possui característica predominantemente residencial com a presença de casas térreas, árvores nas ruas de uma forma mais homogênea, quase inexistência de edifícios e poucos comércios, com maior permeabilidade do solo. Apresenta de moderado a

baixo tráfego de veículos automotores e média circulação de pedestres ao longo do dia. Em geral, possui notáveis fragmentos florestais normalmente encontrados nas praças, e número significativo de árvores nas vias públicas.

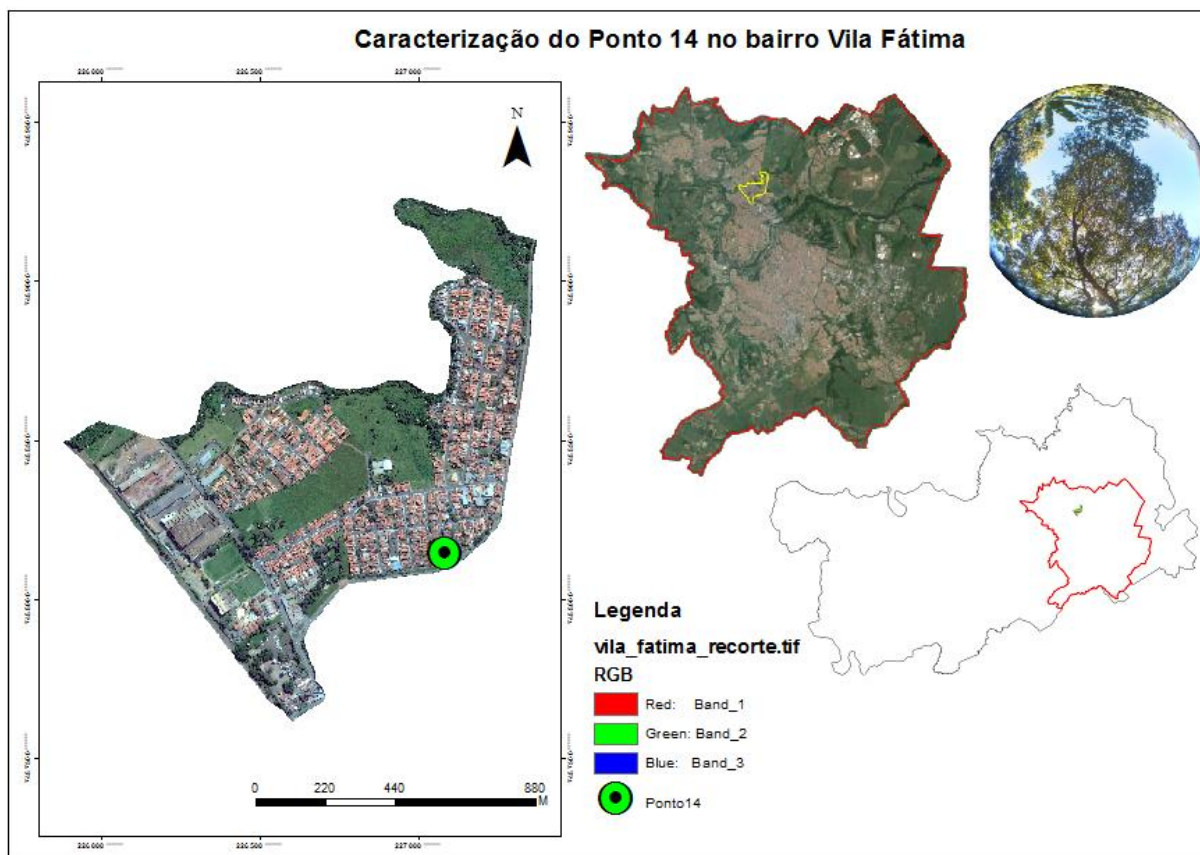


Figura 09: Caracterização do Ponto 14 no bairro Vila Fátima em Piracicaba/SP.
Fonte: O autor (2016)

O ponto amostral 19, uma residência, (Figura 10), está localizado na Avenida Laranjal Paulista (Condomínio Residencial Bonne Vie), 3397, altitude de 594 metros, na região sul da cidade de Piracicaba/SP, no bairro Campestre. Esta área possui característica predominantemente rural, no entanto, ainda pertence à área urbana do município com a presença de casas térreas, árvores nas ruas distribuídas homogeneamente, inexistência de edifícios, com maior permeabilidade do solo. Apresenta de moderado a baixo tráfego de veículos automotores e baixa circulação de pedestres ao longo do dia. Em geral, possui notáveis fragmentos florestais normalmente encontrados nas praças, chácaras e condomínios de alto padrão e número alto de árvores nas vias públicas.

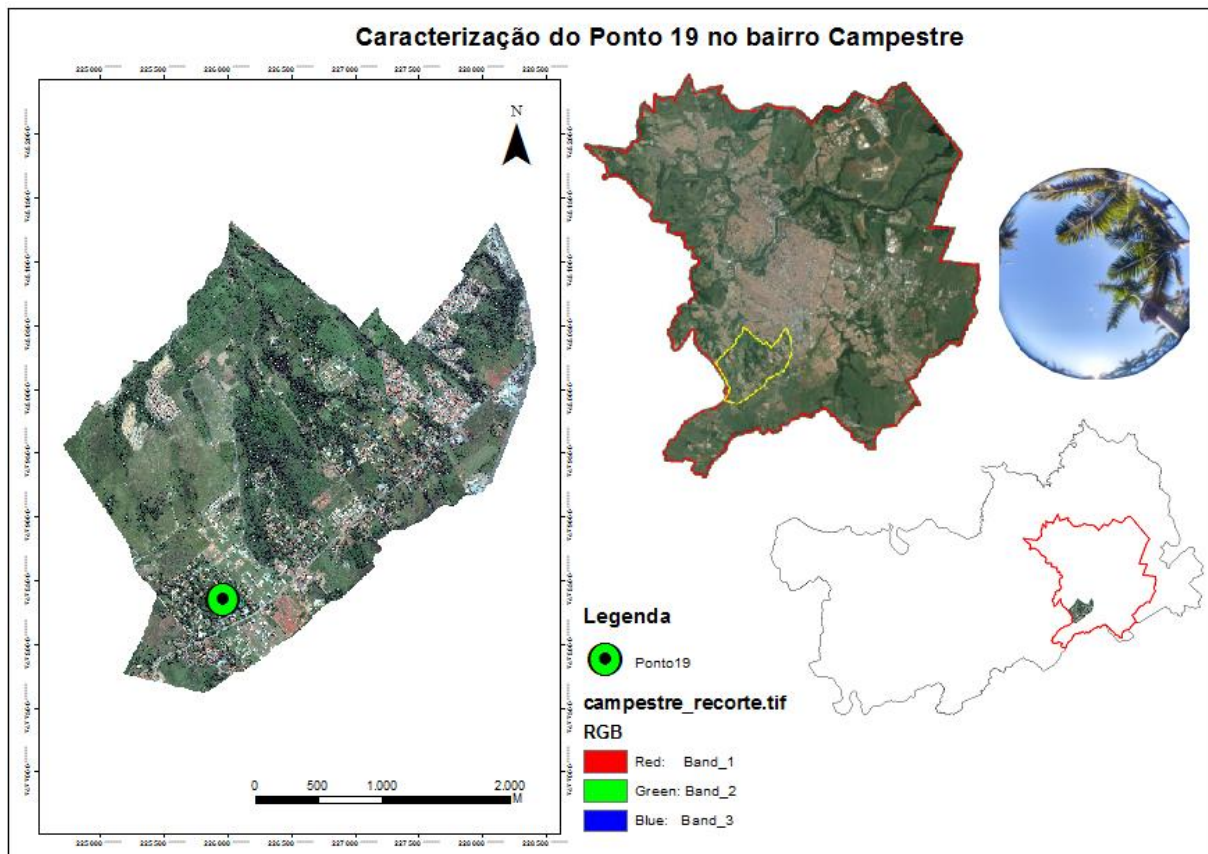


Figura 10: Caracterização do Ponto 19 no bairro Campestre em Piracicaba/SP.
Fonte: O autor (2016)

O ponto amostral 35, uma creche e residência, (Figura 11), está localizado na Rua Bofete, 40, altitude de 540 metros, na região oeste da cidade de Piracicaba/SP, no bairro São Jorge. Esta área está na parte urbanizada do bairro, no entanto, é um bairro com características mais rurais, há poucas árvores nas ruas com distribuição irregular, inexistência de edifícios, com baixa permeabilidade do solo. Apresenta de moderado a baixo tráfego de veículos automotores e baixa circulação de pedestres ao longo do dia. Em geral, possui notáveis fragmentos florestais, mas geralmente encontrados fora da parte urbanizada do bairro.

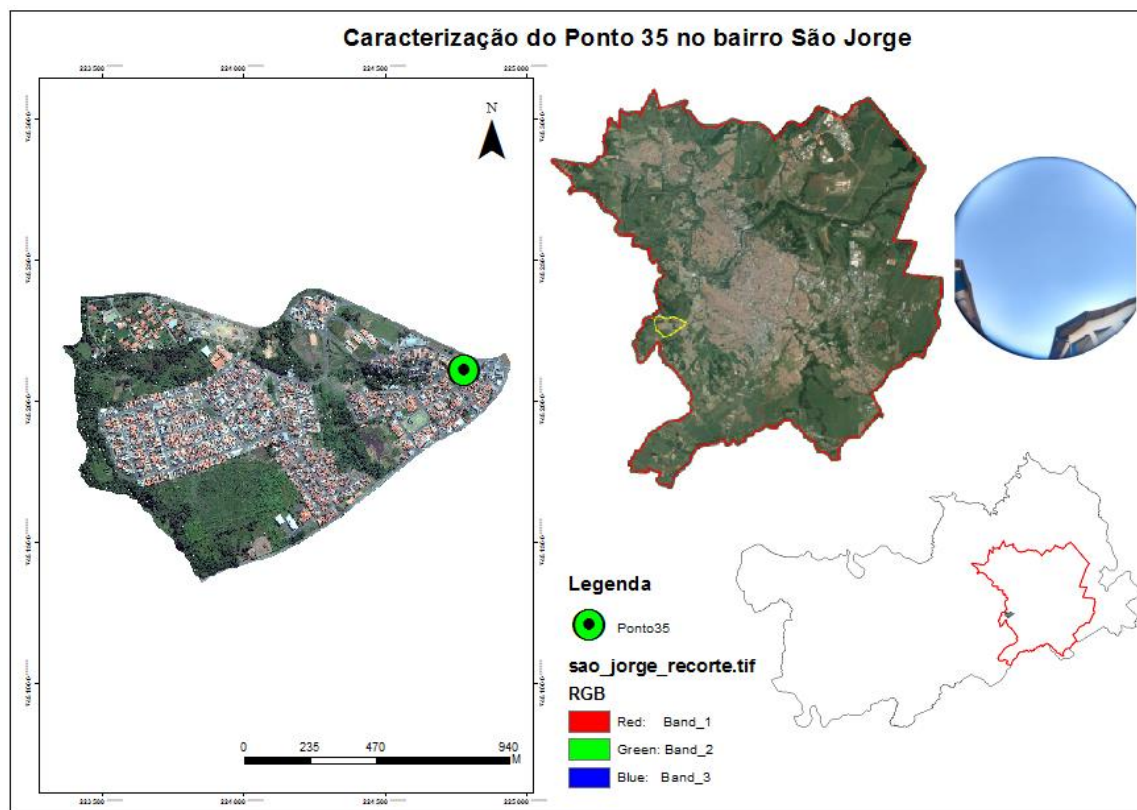


Figura 11: Caracterização do Ponto 35 no bairro São Jorge em Piracicaba/SP.
Fonte: O autor (2016)

3.4 Caracterização climática de Piracicaba/SP

O clima de Piracicaba é tropical de altitude (tipo Cwa segundo Köppen), com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 23,9 °C, tendo invernos secos e amenos (raramente frios de forma demasiada) e verões chuvosos com temperaturas moderadamente altas. O mês mais quente, fevereiro, conta com temperatura média de 24,7 °C, sendo a média máxima de 30,3 °C e a mínima de 19,1 °C. E o mês mais frio, julho, com média de 17,7 °C, sendo 25,3 °C e 9,6 °C as médias máxima e mínima, respectivamente. Outono e primavera são estações de transição.

A precipitação média anual é de 1 273,3 mm, sendo julho o mês mais seco, quando ocorrem apenas 28,2 mm. Em janeiro, o mês mais chuvoso, a média fica em 229,5 mm. Nos últimos anos, entretanto, os dias quentes e secos durante o inverno têm sido cada vez mais frequentes, não raro ultrapassando a marca dos 30 °C, especialmente entre julho e setembro. Durante a época das secas e em longos veranicos em pleno período chuvoso também são comuns registros de queimadas em matagais, principalmente na zona rural da cidade, o que contribui com o desmatamento e com o lançamento de poluentes na atmosfera, prejudicando ainda a qualidade do ar. Estas queimadas são muitas vezes propositais, sendo usadas para limpeza do terreno dos canaviais, porém elas foram proibidas.

Segundo dados coletados pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ) entre 1917 e 2015, a temperatura mínima registrada na cidade foi de -2,6 °C, no dia 2 de agosto de 1955. Já a temperatura máxima foi de 40,2 °C, observada em 18 de novembro de 1985. O maior acumulado de chuva em menos de 24 horas foi de 139,1 mm, registrado no dia 25 de maio de 2004, e o menor índice de umidade relativa do ar (URA) foi de 23%, em 29 de agosto de 1963.

3.5 Equipamentos utilizados

Para coleta dos dados microclimáticos foram utilizados 43 registradores de temperatura e umidade relativa com sensores protegidos da marca ETI, modelo ThermaData com display (Figura 12A), adquiridos e utilizados por Silva (2012) na cidade de Rio Claro/SP, e um “Kit ThermaData” contendo um cabo USB para transpor os dados do sensor para o computador e um Software ETI para configuração do dispositivo e visualização dos dados. Todos estes equipamentos foram adquiridos pelo Laboratório de Silvicultura Urbana no ano de 2009, para realização de pesquisas antecessoras a esta.

Este tipo de aparelho possui sensores Termistor e Capacitivo, muito sensíveis (Tabela 3) e se expostos diretamente ao sol ou à chuva apresentam grandes chances de erro ao registrar os dados, não condizendo com a realidade. Por este motivo foram utilizados também 43 abrigos meteorológicos (solar shields) de madeira pintados de branco (30cm X 20cm) tipo veneziana para promover a circulação do ar, sobre um pé de madeira entre 1,5 m e 2 m de altura acima do nível do solo. Em geral considera-se a esta altura a temperatura representativa das condições experimentadas pelos seres humanos que vivem à superfície do globo terrestre (RETALLACK, 1979 apud ALCOFORADO, 1992; CRUZ, 2009) (Figura 12B).



Figura 12: (A) Registrador de temperatura e umidade relativa do ar ThermaData. (B) Abrigo meteorológico confeccionado de madeira tipo veneziana, pintado de branco com pé de 1,5m a partir do solo

No intuito de se obter todas as variáveis ambientais de conforto urbano, foi utilizada também, nos quatro bairros supracitados, a estação meteorológica portátil da marca DAVIS Vantage Vue, cujos sensores estão especificados logo abaixo (Figura 13A).

O conjunto de Sensores Integrados Vantage Vue contém coletor de chuva, sensor de umidade/temperatura, anemômetro e sensor de direção do vento. O sensor de umidade/temperatura é montado em um anteparo contra radiação passivo para minimizar o impacto da radiação solar nas leituras do sensor.

A fim de se obter as variáveis ambientais: temperatura de globo e o cálculo da temperatura radiante média (TRM) posteriormente para se obter os índices de conforto (UTCI e PET) pelo RayMan, utilizou-se ainda o termômetro de globo (Testo 175 T2, Figura 13B) em que estão descritos o Teste de Conformidade e Precisão no (Anexo B).



Figura 13: (A) Estação meteorológica DAVIS Vantage Vu. (B) Termômetro de globo da marca TESTO 175T2, ambos instalados a 1,5 m a partir do solo



Figura 14: Disposição da estação meteorológica DAVIS Vantage Vu, câmera FLIRSC660 e termômetro de globo da marca TESTO 175T2, instalados no bairro Cidade Alta a 1,5 m do solo

Tabela 02: Características do registrador de temperatura e umidade relativa do ar ThermaData.

Registrador de temperatura e umidade ThermaData		
Modelo: Registrador ThermaData – HTB com display LCD		
Marca ETI		
Especificações:		
	TEMPERATURA	UMIDADE
FAIXA	- 20 a + 85°C	0 a 100 % Rh
RESOLUÇÃO	0,1 °C	0,1 % Rh
PRECISÃO	+/- 0,5 °C (0 to + 45 °C)	+/- 2 %rh (25 % to 90% rh)
	+/- 1 °C (- 20 to + 70 °C)	
	+/- 1,5 °C (+ 70 to + 85 °C)	
Histeresis	n/a	+/- 1% Rh
Tipo sensor	Termisor	Capacitivo
Memória	2 x 8.000 leituras	
Intervalo de coleta	0.1 to 255 minutos	
Bateria	3.6 volt ½ AA lithium	
Vida bateria	2 anos	
Display	10 mm LCD	
Dimensão	Ø 76 x 23 mm	
Peso	80 gramas	

Para a obtenção dos valores de Fator de Visão do Céu (SVF) e Índice de Área Foliar (LAI) foram utilizadas fotografias olho de peixe, em que as imagens foram tomadas próximas à estação meteorológica em cada unidade amostral representativa das 05 regiões do município de Piracicaba/SP. A fotografia foi tirada no nível do solo com uma lente LieQi Universal Clip Lens – LQ001, de olho de peixe, de 08 milímetros (ângulo de imagem de 180°, f/2.8) acoplada ao celular.

A pesquisa teve por base, ainda, a análise comparativa entre os dados coletados de temperatura e umidade pelos instrumentos utilizados que foram confrontados, a posteriori, com as observações dos dados do Posto Agrometeorológico do Departamento de Biosistemas (LEB) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) (Figura 15). Para a análise, contamos com duas estações: (i) Estação Convencional, operando desde 1917, mas somente em 1943 com medições de vento, umidade relativa do ar e pressão atmosférica e (ii) Estação Automática, desde 1997, com sensores de precipitação, temperatura, umidade, radiação, evapotranspiração, velocidade e direção do vento.

Antes de cada período de coleta, os registradores passaram por processo de aferição. Neste processo os equipamentos foram programados para coletar dados simultaneamente com a estação meteorológica Davis Vantage Vu e termômetro de globo da marca Testo, em intervalo de 22 em 22 minutos, durante 04 dias consecutivos seguindo o mesmo princípio metodológico executado por Kachanoski e De Jong (1988) e Rocha (2004) na calibração de um Tensiômetro., nas dependências internas do Laboratório de Silvicultura Urbana da ESALQ/USP.



Figura 15: Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP

3.5.1 Coleta de dados e metodologia para a análise dos dados coletados

Foram instalados 43 registradores meteorológicos ThermoData Humidity-Temperature Logger, espalhados nas cinco regiões supracitadas, dentro de estabelecimentos comerciais ou residências durante 40 dias nas estações chuvosa e seca dos anos de (2015-2016).

Os suportes foram fixados a uma altura de 1,5 metros do solo, segundo recomendações feitas por Oke (2006). As medições foram realizadas de 22 em 22 minutos durante 40 dias sem precipitação para ambas as estações. A fim de se padronizar as datas estudadas na estação chuvosa para todos os sensores, foi escolhido o intervalo de tempo de novembro a janeiro como o período de coleta, descritos na Tabela 03; e quanto à estação seca, de abril a junho descritos em detalhes na Tabela 03.

No intuito de se obter todas as variáveis ambientais de conforto urbano, foi utilizada também, em quatro bairros da cidade, a estação meteorológica portátil da marca DAVIS Vantage Vue, a câmera FLIRSC660 e o termômetro de globo da marca TESTO175T2 para ambas as estações (chuvosa e seca). Estabeleceram-se, assim, as seguintes datas para o monitoramento da estação chuvosa, (08/04/2016), e (02/07/2016) para a estação seca, descritos na Tabela 03.

Como metodologia para a análise dos dados microclimáticos, após a coleta dos dados, foram selecionados os melhores dias de coleta sem precipitação para as duas estações em análise. Para isso, recorremos aos dados do Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP, Base de Dados da Estação Automática, e vimos os dias em que não havia precipitação. Após a seleção dos dias de interesse, tabulamos os dados no Microsoft EXCEL e fizemos as médias de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) para os 43 sensores, bem como máxima temperatura, mínima temperatura, máxima umidade, mínima umidade, amplitude da umidade e amplitude da temperatura para

cada sensor. Após a execução de todos esses procedimentos, criamos uma planilha na qual constavam os dados microclimáticos, separados por estação, com o uso e ocupação do solo urbano para buffers de 10, 20, 250 e 500 metros para ambas as estações.

Esses dados foram submetidos ao software estatístico R e foram gerados modelos estatísticos a fim de se prever a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) julgada ideal tendo como variável preditora a Cobertura Arbórea (Figuras 30 e 31).

Nos resultados e discussão, como forma de termos uma visão amostral de todos os dados microclimáticos de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do (%), optamos por demonstrar os mesmos locais que foram estudados na parte de conforto ambiental urbano, no caso: os pontos 08, 14, 19 e 35 situados nos bairros supracitados.

Como método para a análise dos dados de conforto, após a coleta dos dados de interesse: temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%), velocidade dos ventos (m/s) e temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$), dos quatro pontos selecionados, nos bairros citados acima, calculou-se a Temperatura Radiante Média ($^{\circ}\text{C}$) e esses dados foram tabulados de forma a serem inseridos no software Rayman, versão 2.1, para se obter os índices de conforto ambiental: UTCI ($^{\circ}\text{C}$) e PET ($^{\circ}\text{C}$).

Após a obtenção dos índices de conforto, foram gerados os gráficos de todas as variáveis ambientais descritas para se comparar as regiões mais confortáveis do estudo e fazermos uma extrapolação para as demais áreas do tecido urbano de Piracicaba/SP.





Para a análise dos dados coletados, foram consideradas as temperaturas e umidades relativas correspondentes dos 04 bairros para os 40 dias de coleta aos seguintes horários: 07h00, 09h00, 12h00, 15h00 e 21h00. Sendo que, durante o verão, foram consideradas as variáveis correspondentes às 08h00, 10h00, 13h00, 16h00, 22h00, devido ao acréscimo de 01h00 ao horário normal.

Tabela 03: Calendário da parte de campo da pesquisa de mestrado. Fonte: O autor (2016)

Novembro (2015)							Dezembro (2015)							Janeiro (2016)						
Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
1	2	3	4	5	6	7			1	2	3	4	5						1	2
8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7	8	9
15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19	10	11	12	13	14	15	16
22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26	17	18	19	20	21	22	23
29	30						27	28	29	30	31			24	25	26	27	28	29	30
														31						

Fevereiro (2016)							Março (2016)							Abril (2016)						
Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
	1	2	3	4	5	6			1	2	3	4	5						1	2
7	8	9	10	11	12	13	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7	8	9
14	15	16	17	18	19	20	13	14	15	16	17	18	19	10	11	12	13	14	15	16
21	22	23	24	25	26	27	20	21	22	23	24	25	26	17	18	19	20	21	22	23
28	29						27	28	29	30	31			24	25	26	27	28	29	30

Maio (2016)							Junho (2016)							Julho (2016)						
Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4						1	2
8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11	3	4	5	6	7	8	9
15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	15	16
22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25	17	18	19	20	21	22	23
29	30	31					26	27	28	29	30			24	25	26	27	28	29	30
														31						

Legenda	
	Período de 40 dias de coleta microclimática das variáveis: TAR (°C) e UR (%) durante a Estação Chuvosa (2015-2016)
	Período de 40 dias de coleta microclimática das variáveis: TAR (°C) e UR (%) durante a Estação Seca (2016)
	Data estabelecida para o monitoramento da Estação Chuvosa (2016) com a Estação DAVIS Vantage Vu (Parte Conforto)
	Data estabelecida para o monitoramento da Estação Seca (2016) com a Estação DAVIS Vantage Vu (Parte Conforto)

3.6 Elaboração da Classificação Supervisionada do município de Piracicaba/SP

Foram utilizadas imagens de altíssima resolução do satélite WorldView-2 (pancromática de 0,5 m e multiespectrais de 2 m), de 22 de abril de 2011, com presença das bandas RGB e infravermelho próximo. A realização da classificação supervisionada foi feita por meio do software MultiSpec 3.4, versão 2016, com as seguintes classes temáticas: fundo, copa de árvore, relvado, solo exposto, asfalto, sombra, rio/lago, piscina, telha clara, telha escura, telha cinza e telha cerâmica e piso cinza. Anteriormente à classificação, as imagens sofreram tratamento do filtro Kuwahara desenvolvido em (HAMAMURA, 2013). Foram colhidas cento e noventa e duas amostras de treinador/auditor para o processamento via algoritmo ECHO Spectral-Spatial.

O algoritmo ECHO necessita de três parâmetros de entrada mais importantes, que foram calibrados por algoritmos genéticos de forma automática. Devido à eficiente funcionalidade do algoritmo ECHO, a calibração se faz de forma bem mais rápida, levando menos de 10 minutos com parâmetros de população idênticos aos usados para algoritmo de classificação orientado a objeto (HAMAMURA, 2013).

3.6.1 Elaboração da Classificação Supervisionada dos buffers dos 43 pontos

Uma vez realizada a classificação supervisionada no MultiSpec, no Quantum Gis v. 2.4 foram recortadas 43 áreas de influência (buffers) de 10, 20 e 500 m no entorno de cada registrador, com intuito de avaliar a influência de cada classe temática no microclima urbano.

3.7 Calibração da Estação DAVIS VANTAGE VU com a da ESALQ

No dia 18/03/2016 a estação meteorológica DAVIS VANTAGE VU foi calibrada com a da ESALQ/USP (Figura 17A) de modo que se pudesse utilizá-la para o estudo de conforto ambiental urbano. A estação DAVIS foi instalada no Departamento de Ciências Florestais da ESALQ USP (Figura 17B) a partir das 10h00 e ficou em funcionamento até às 16h00. Os dados coletados foram confrontados com o do Posto Agrometeorológico da ESALQ e obtivemos a seguinte equação de regressão (Figura 16).

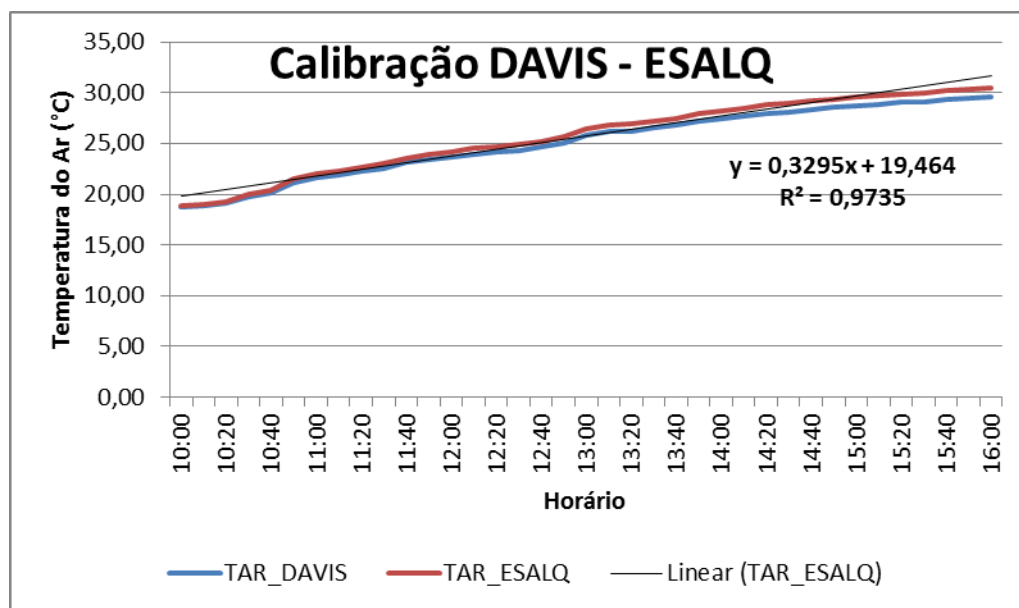


Figura 16: Calibração da estação Davis Vantage Vu com a da ESALQ/USP.

Dado o R^2 de 0,9735, pôde-se constatar que a estação Davis está bem calibrada para o estudo pois a diferença entre as linhas é ínfima o que corrobora a veracidade dos dados coletados.



Figura 17A: Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP e Figura 17B: Estação DAVIS VANTAGE VU instalada no Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP

3.8 Ajustes dos dias de coletas (Estação Chuvosa e Seca)

A fim de se padronizar todos os dias de coleta dos dados de conforto ambiental urbano, utilizando a estação meteorológica DAVIS, foi preciso fazer os ajustes dos dias de coleta, pois o Laboratório de Silvicultura Urbana da ESALQ/USP dispõe apenas de uma estação meteorológica móvel e como fomos fazer o período de campanha para os quatro bairros supracitados, tanto na estação chuvosa como seca, foi estabelecido um dia apenas para cada estação de coleta. Os dias de coleta foram: 08/04/2016 (Campestre), 18/04/2016 (Cidade Alta), 21/04/2016 (Vila Fátima) e 25/04/2016 (São Jorge) na estação chuvosa e 02/07/2016 (Campestre), 03/07/2016 (Cidade Alta), 10/07/2016 (São Jorge) e 11/07/2016 (Vila Fátima). Desses dias citados para a estação chuvosa, todos os dias foram ajustados em referência ao dia 08/04/2016 de acordo com os dados do Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP. Do mesmo modo, definiu-se o dia 02/07/2016 como o dia de coleta de dados de conforto para a estação seca e os demais dias, por consequência, foram ajustados a partir deste.

3.9 Estatísticas

A análise dos dados microclimáticos foi realizada por meio do software estatístico R versão 3, onde foram geradas análises de variância (ANOVA), para confirmar ou refutar a hipótese e modelos estatísticos para se inferir o quanto de IFU e de Cobertura Arbórea seriam necessários para diminuir em 1°C da Temperatura Média do Ar para as estações chuvosa e seca, tendo como variável preditora o Índice de Floresta Urbana (IFU) e Cobertura Arbórea (em porcentagem). Parte dos dados gerados na análise de regressão (**complemento de análise de dados**) do Microsoft EXCEL.

3.10 Obtenção dos índices de conforto (PET/UTCI)

O software RayMan versão 2.1, direitos autorais 1999 – 2010, foi utilizado para calcular os índices UTCI e PET. Foram empregados os dados da estação meteorológica, a saber: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade dos ventos e temperatura radiante média (Figura 18).

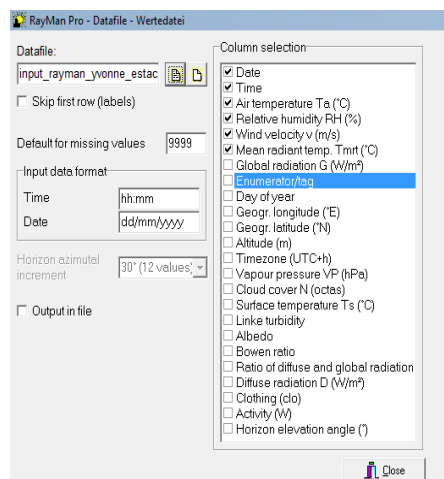


Figura 18: Dados de entrada do software RayMan antes de se gerar os índices de conforto (UTCI e PET) para os quatro bairros em análise

Para as análises dos índices de conforto, foram correlacionados UTCI e PET, assim como Dobbert (2015) o fez com os índices PMV e PET. Além disso, os valores calculados para o UTCI foram comparados no mesmo nível do PMV proposto por (Fanger, 1973) de acordo com a sensação térmica relatada dos entrevistados nos dias de campo da pesquisa, numa escala de 07 valores (-3 a +3), assim como Baptista (2013) o fez em seu estudo em Piracicaba/SP (Figura 17). Os níveis extremos para o frio (Extremamente frio, muito frio e frio) foram considerados muito frios, bem como altos níveis de calor (Extremamente quente e muito quente) foram considerados muito quentes. Os valores de PET não foram calibrados para a condição de Piracicaba/SP, mas foram equiparados à calibração realizada do PET por Monteiro (2008) para a cidade de São Paulo/SP (Figura 19).

UTCI		Fanger	
<-40	Extremely cold	-3	Very cold
-40 a -27	Very cold	-2	Cold
-27 a -13	Cold	-1	Slightly cold
-13 a 0	Cool	0	Comfortable
0 a 9	Slightly Cool	1	Slightly hot
9 a 26	Comfortable	2	Hot
26 a 32	Warm	3	Very hot
32 a 38	Hot		
30 a 46	Very hot		
>46	Extremely hot		

Figura 19: Comparação entre os índices de conforto (UTCI) com a sensação térmica dos entrevistados. Fonte: Baptista (2013)

3.11 Aplicação de questionários com os residentes

Por se tratar de uma pesquisa envolvendo seres humanos, foram respeitados os preceitos da ética em pesquisa de acordo com a Resolução N° 196/96 do Conselho Nacional da Saúde. A presente pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) obtendo aprovação (Anexo A).

Os questionários aplicados aos residentes de Piracicaba/SP, (Apêndice A), basearam-se nos questionários aplicados por (DOBBERT, 2015), por (SILVA, 2012) e pelo projeto RUROS (Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces) cuja adaptação foi executada para esta pesquisa. Dividido em duas partes: a primeira contendo aspectos de identificação dos entrevistados, tais como: idade, gênero, grau de escolaridade, peso, vestimenta, tipo de atividade realizada momentos antes da entrevista; e a segunda, contendo dados referentes às sensações térmicas e percepções no tocante à arborização urbana e ao clima urbano. Aplicados em quatro residências durante a estação chuvosa e seca do ano de 2016, especificamente no começo de abril, 08/04/2016, e no dia 02/07/2016, no período das 08h00, 12h00, 15h00 e 18h00, com os mesmos residentes, simultaneamente à coleta das variáveis climáticas (Figura 19). Foram aplicados 120 questionários no total do estudo, 60 por estação. Os dados foram tabulados em planilha Excel e foram posteriormente analisados. As entrevistas foram feitas com homens e mulheres durante os dias de campo. Os entrevistados foram os próprios residentes das casas que me cederam espaço para a instalação dos equipamentos meteorológicos entre 18 e 80 anos conforme exigido pelo Comitê de Ética (Apêndice A).



Figura 20: Ato em que foi registrada a aplicação do questionário com um dos moradores dos quatro bairros em análise. Fonte: O autor (2016).

3.12 Imagens Termográficas

As imagens termográficas foram tiradas no nível do solo a fim de analisar as temperaturas superficiais dos materiais que caracterizam e compõem os bairros em estudo. Uma câmera de infravermelho, modelo FLIR SC660, foi utilizada para a captura das imagens, que foram tiradas de 05 em 05 minutos das 08h00 até as 20h00 nos quatro

bairros nas estações chuvosa e seca (Figura 21). As imagens foram processadas no software FLIR Quick Report, versão 1.2, sendo que a temperatura do asfalto foi usada como parâmetro para contrastar entre as diferentes áreas estudadas.



Figura 21: Câmera termográfica (marca FLIR modelo SC660)

Tabela 04: Característica da câmera termográfica utilizada no estudo

Descrição FLIR 660 SC
<30 mk Sensibilidade, precisão + / - 1% de leitura
Padrão de 12 °, 24 ° ou 45 ° de lente.
Zoom digital 8 x
Funções avançadas de medição
Apontador a Laser avançado
Definir alarmes de temperatura
Gravação em sequência na câmera
GPS Embutida
Otimizador de contraste

A metodologia seguida nesta pesquisa foi a captura de imagens com emissividade radiante em microescala urbana-climática, em diferentes momentos do dia nos quatro locais do estudo durante às 08h00 até as 20h00, simultaneamente a coleta da temperatura e umidade e das entrevistas.

3.13 Método para obtenção do Fator de Visão de Céu e Índice de Área Foliar

O fator de visão do céu (Sky View Factor - SVF), expressa a razão entre a radiação recebida por uma superfície plana e toda a energia irradiada neste hemisfério ao meio ambiente (Watson & Johnson, 1987). O SVF é um valor adimensional compreendido entre 0 e 1 e se aproxima da unidade em terreno perfeitamente plano, enquanto locais com obstruções, tais como edifícios e árvores fará com que o SVF venha a diminuir proporcionalmente (Oke 1993). O SVF é, nesse sentido, uma medida da abertura do céu para transporte radiativo

em relação a um local específico, em que um valor de 0 (obstrução completa) significa que toda radiação de saída serão interceptados por obstáculos e um valor de 1 (sem obstrução) significa que toda a radiação irá propagar livremente para o céu (BROWN; GRIMMOND, 2001).

Segundo Oke (1978) e Givoni (1998), outros fatores alteram a temperatura do ar a nível do solo: a menor perda de calor do ambiente devido à redução da velocidade do vento e a menor perda de radiação de onda longa pela redução do Fator de Visão do Céu - SVF (Sky View Factor). Em locais com pouca sombra, quanto maior o SVF, maior o desconforto térmico (LIN et al., 2010).

Para a obtenção dos valores de SVF utilizou-se fotografias olho de peixe, onde as imagens foram tomadas próximos a estação meteorológica em cada unidade amostral do nível do solo com uma lente LieQi Universal Clip Lens – LQ001, de olho de peixe, de 08 milímetros (ângulo de imagem de 180°, f/2.8) acopladas ao celular (Figura 22).



Figura 22: Lente LieQi Universal Clip Lens – LQ001, de olho de peixe, de 08 milímetros (ângulo de imagem de 180°, f/2.8) acoplada ao celular

O SVF foi calculado pelo software Sky View Factor Calculator 1.1, a partir das imagens da câmera com lente do tipo “olho de peixe”, onde se encontra os valores de 0.60 para a Cidade Alta, 0.32 para a Vila Fátima, 0.44 para o Campestre e 0.78 para o São Jorge.

Para a obtenção dos valores de LAI, por seu turno, utilizou-se fotografias olho de peixe em que as imagens foram tomadas próximos a estação meteorológica em cada unidade amostral do nível do solo com a mesma lente e as fotos foram inseridas no software GLA, versão 2.0. Para o presente estudo, a área com menor fator de visão do céu corresponde à área com maior densidade de cobertura arbórea.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Classificação supervisionada do tecido urbano de Piracicaba/SP

A classificação supervisionada da imagem do município de Piracicaba/SP obteve índice kappa igual a 97,1%, apresentando ótima acurácia. Esse resultado possibilita utilizar dados das coberturas quantificadas e relacionar com os dados microclimáticos posteriormente, (Figura 23 e 24).

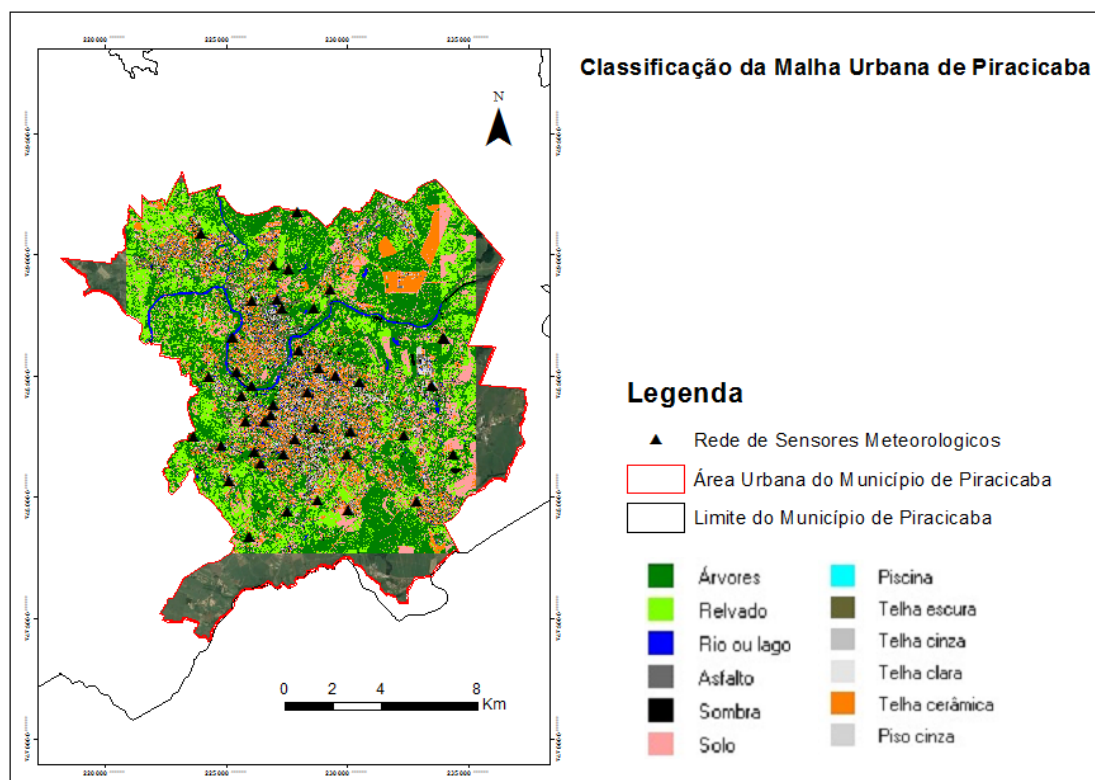


Figura 23: Classificação da malha urbana de Piracicaba por meio da imagem de satélite WorldView 2 de 2011 e em triângulos as áreas de influências totalizando os 43 sensores

TRAINING CLASS PERFORMANCE (Resubstitution Method)															
Project Class Name	Reference Class Number	Accuracy+ (%)	Number of Samples in Class												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			Árvore	Relvado	Rio/lago	Asfalto	Sombra	Solo	Piscina	Telha escura	Telha cinza	Telha clara	Telha cerâmica	Piso cinza	
Árvore	1	97.3	2137	2080	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Relvado	2	89.7	4782	491	4291	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rio/lago	3	100	3824	0	0	3824	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asfalto	4	98.5	649	0	0	0	639	0	0	6	4	0	0	0	0
Sombra	5	99.7	312	1	0	0	0	311	0	0	0	0	0	0	0
Solo	6	100	5709	0	0	0	0	0	5707	0	0	0	0	2	0
Piscina	7	100	246	0	0	0	0	0	0	246	0	0	0	0	0
Telha escura	8	100	1269	0	0	0	0	0	0	0	1269	0	0	0	0
Telha cinza	9	97.8	4654	0	0	0	1	0	0	0	0	4550	0	0	103
Telha clara	10	98.9	844	0	0	0	0	0	0	0	0	835	0	9	
Telha cerâmica	11	99.8	1328	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1325	0
Piso cinza	12	99.9	1084	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1083
TOTAL			26838	2572	4348	3824	640	311	5710	252	1273	4551	835	1327	1195
Reliability Accuracy (%)*				80.9	98.7	100	99.8	100	99.9	97.6	99.7	100	100	99.8	90.6
OVERALL CLASS PERFORMANCE (26160 / 26838) = 97.5%															
Kappa Statistic (X100) = 97.1%. Kappa Variance = 0.000001.															
+ (100 - percent omission error); also called producer's accuracy.															
* (100 - percent commission error); also called user's accuracy.															

Figura 24: Matriz de erro contendo a exatidão de cada classe temática, índice Kappa e exatidão geral, obtidos por meio de classificação supervisionada da área urbana de Piracicaba/SP

4.2 Caracterização dos 04 bairros em análise com relação: Classificação Supervisionada, IFU, LAI e SVF

A partir da classificação supervisionada de Piracicaba/SP, recortaram-se os quatro bairros supracitados (Figuras 25, 26, 27 e 28) e obtiveram-se os seguintes resultados dos materiais que compõem o uso e ocupação do solo para cada bairro e para cada ponto em buffers de 20 metros, os respectivos Índices de Floresta Urbana (IFUs) e seus Índices de Área Foliar (LAIs) e os Fatores de Visão de Céu (SVF) (Tabela 09).

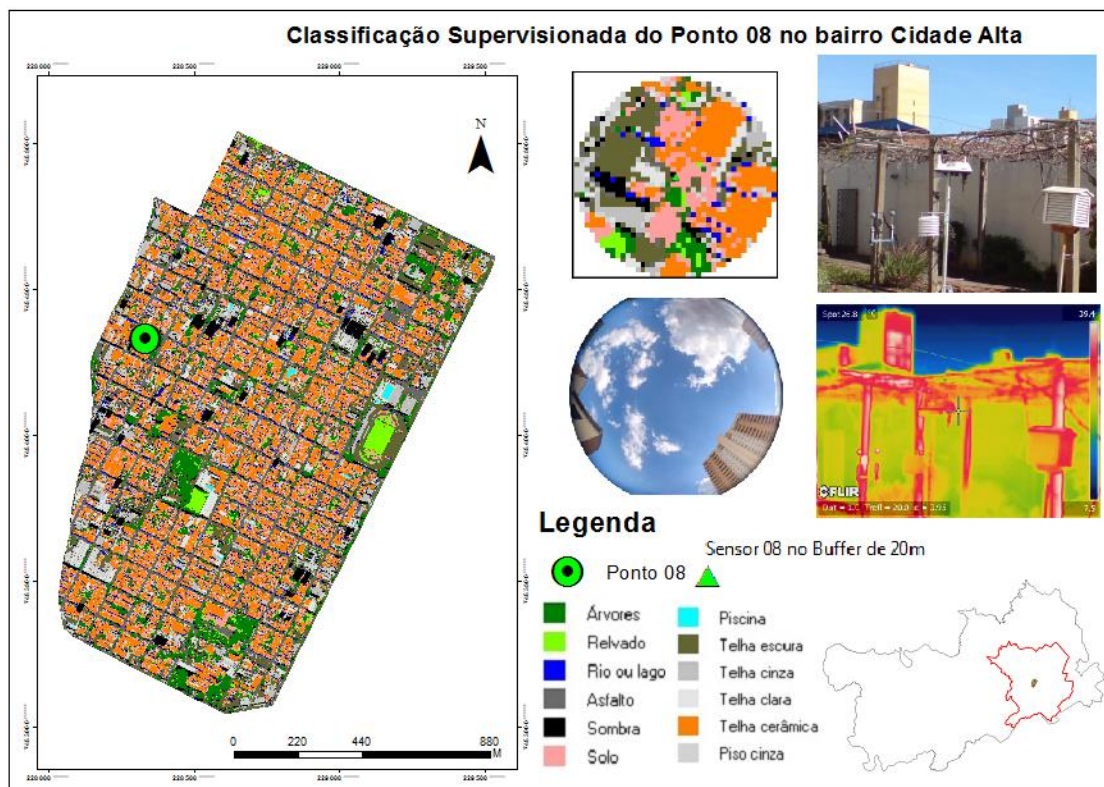


Figura 25: Classificação supervisionada do ponto 08 no bairro Cidade Alta em Piracicaba/SP. Fonte: O autor (2016)

Tabela 05: Distribuição das classes temáticas selecionadas por área do bairro Cidade Alta em Piracicaba/SP

Cidade Alta										
CLASS DISTRIBUTION FOR SELECTED AREA										
Thematic	Number									
Image Class	Samples	Percent	Area (Sq. meters)	Percent AREA (%)	ELI	EC	ELA	PAI	PAC	IFU
Árvores	69.188,00	5.21	155.673,00	8,67	20,58	48,35	8,67	0,30	0,15	0,45
Relvado	16.585,00	1.25	37.316,25	2,08						
Rio ou lago	29.604,00	2.23	66.609,00	3,71						
Asfalto	92.569,00	6.98	208.280,25	11,60						
Sombra	53.159,00	4.01	119.607,75	6,66						
Solo	77.322,00	5.83	173.974,50	9,69						
Piscina	2.016,00	0.15	4.536,00	0,25						
Telha escura	128.826,00	9.71	289.858,50	16,15						
Telha cinza	31.395,00	2.37	70.638,75	3,94						
Telha clara	27.694,00	2.09	62.311,50	3,47						
Telha cerâmica	197.826,00	14.91	445.108,50	24,80						
Piso cinza	71.584,00	5.39	161.064,00	8,97						
Total	797.768,00	100.00	2.985.765,75	100,00						

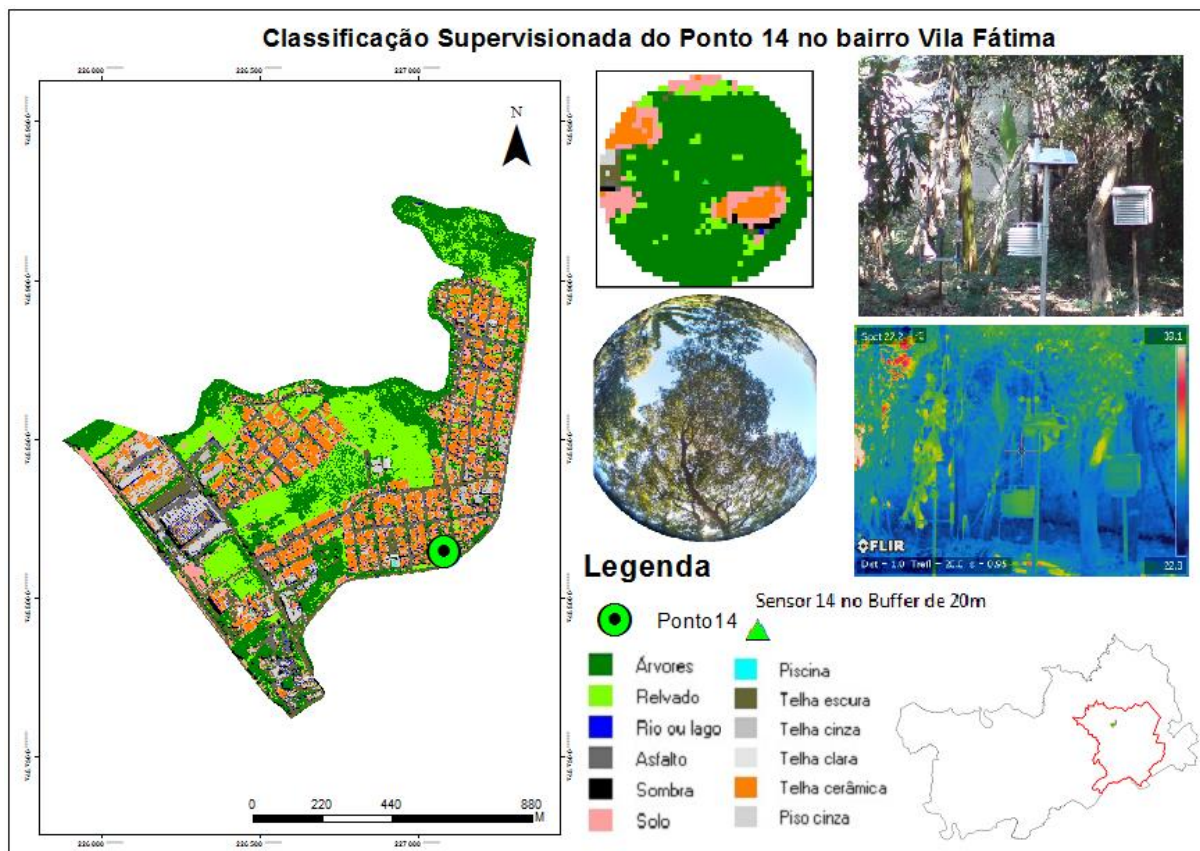


Figura 26: Classificação supervisionada do ponto 14 no bairro Vila Fátima em Piracicaba/SP. Fonte: O autor (2016)

Tabela 06: Distribuição das classes temáticas selecionadas por área do bairro Vila Fátima em Piracicaba/SP

Vila Fátima											
CLASS DISTRIBUTION FOR SELECTED AREA											
Thematic	Number					ELI	EC	ELA	PAI	PAC	IFU
Image Class	Samples	Percent	Area (Sq. meters)	Percent AREA (%)							
Árvores	110.206	10.098	247.963,50	25,65	13,97	27,83	25,65	0,65	0,48	1,13	
Relvado	80.192	7.348	180.432,00	18,67							
Rio ou lago	7.310	0.670	16.447,50	1,70							
Asfalto	31.640	2.899	71.190,00	7,37							
Sombra	14.933	1.368	33.599,25	3,48							
Solo	37.226	3.411	83.758,50	8,67							
Piscina	160	0.015	360	0,04							
Telha escura	52.201	4.783	117.452,25	12,15							
Telha cinza	4.126	0.378	9.283,50	0,96							
Telha clara	3.250	0.298	7.312,50	0,76							
Telha cerâmica	59.988	5.496	134.973,00	13,96							
Piso cinza	28.362	2.599	63.814,50	6,60							
Total	429.594	100.000	2.455.677,00	100,00							

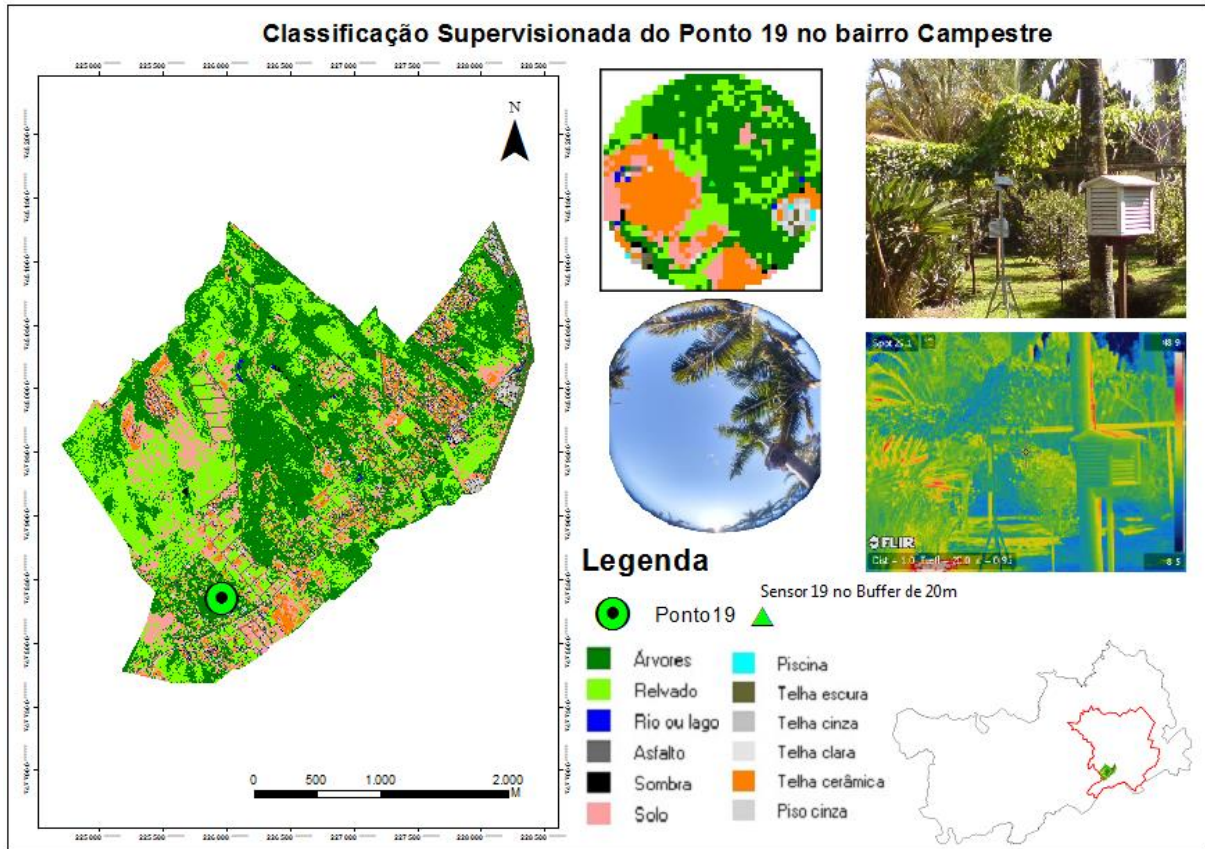


Figura 27: Classificação supervisionada do ponto 19 no bairro Campestre em Piracicaba/SP. Fonte: O autor (2016)

Tabela 07: Distribuição das classes temáticas selecionadas por área do bairro Campestre em Piracicaba/SP

Campestre										
CLASS DISTRIBUTION FOR SELECTED AREA										
Thematic	Number									
Image Class	Samples	Percent	Area (Sq. meters)	Percent AREA (%)	ELI	EC	ELA	PAI	PAC	IFU
Árvores	1.336.502	21.871	3.007.129,50	39,66	3,30	10,84	39,66	0,92	0,79	1,71
Relvado	1.073.171	17.562	2.414.634,75	31,84						
Rio ou lago	16.433	0.269	36.974,25	0,49						
Asfalto	47.279	0.774	106.377,75	1,40						
Sombra	39.090	0.640	87.952,50	1,16						
Solo	426.456	6.979	959.526,00	12,65						
Piscina	2.041	0.033	4.592,25	0,06						
Telha escura	154.899	2.535	348.522,75	4,60						
Telha cinza	15.453	0.253	34.769,25	0,46						
Telha clara	21.183	0.347	47.661,75	0,63						
Telha cerâmica	173.901	2.846	391.277,25	5,16						
Piso cinza	63.851	1.045	143.664,75	1,89						
Total	3.370.259	100.000	13.749.153,75	100,00						

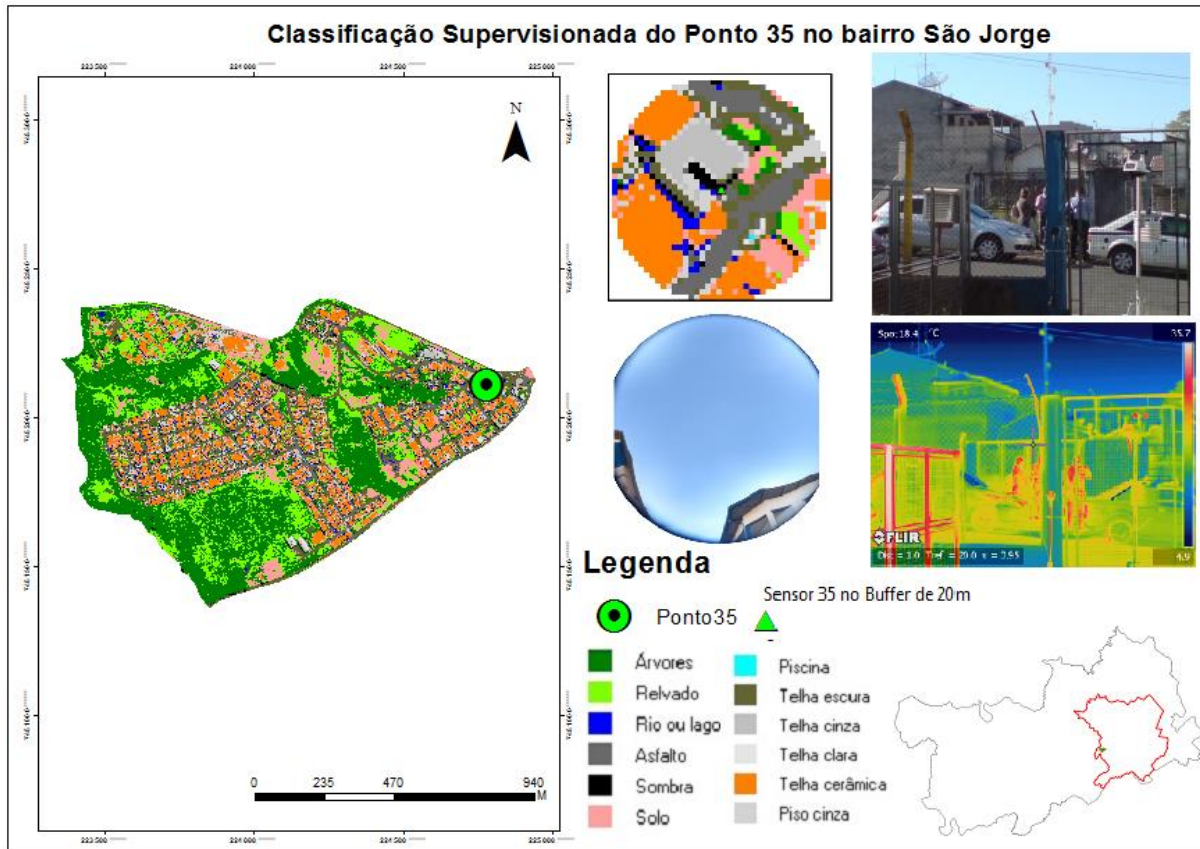


Figura 28: Classificação supervisionada do ponto 35 no bairro São Jorge na cidade de Piracicaba/SP. Fonte: O autor (2016)

Tabela 08: Distribuição das classes temáticas selecionadas por área do bairro São Jorge em Piracicaba/SP

São Jorge											
CLASS DISTRIBUTION FOR SELECTED AREA											
Thematic	Number					ELI	EC	ELA	PAI	PAC	IFU
Image Class	Samples	Percent	Area (Sq. meters)	Percent AREA (%)							
Árvores	152.146,00	20.742,00	342.328,50	33,89	8,28	27,40	33,89	0,80	0,55	1,36	
Relvado	70.145,00	9.563,00	157.826,25	15,62							
Rio ou lago	6.012,00	0,820	13.527,00	1,34							
Asfalto	17.414,00	2.374,00	39.181,50	3,88							
Sombra	11.347,00	1.547,00	25.530,75	2,53							
Solo	48.970,00	6.676,00	110.182,50	10,91							
Piscina	164,00	0,022	369,00	0,04							
Telha escura	62.025,00	8.456,00	139.556,25	13,81							
Telha cinza	3.654,00	0,498	8.221,50	0,81							
Telha clara	7.159,00	0,976	16.107,75	1,59							
Telha cerâmica	50.183,00	6.841,00	112.911,75	11,18							
Piso cinza	19.781,00	2.697,00	44.507,25	4,41							
Total	449.000,00	100.000,00	1.650.420,00	100,00							

Tabela 09: Comparações entre os elementos urbanos (materiais) e índices para os quatro bairros em análise

Buffers 20 m				
Elementos urbanos/Índices	Cidade Alta	Vila Fátima	Campestre	São Jorge
Cobertura_arb	5,84	73,11	43,79	2,74
Cobertura_arb_m2	161,57	2016,24	1263,75	77,46
Relvado	2,40	6,98	20,71	2,43
Solo_exposto	16,16	9,47	9,66	10,02
Asfalto	4,56	0,40	0,23	15,88
Asfalto(m ²)	126,15	11,07	6,64	449,28
Sombra	4,56	0,96	0,77	3,29
Piscina	0,00	0,00	0,31	0,08
RioLago	3,04	0,08	0,54	3,52
Telhaclara	4,24	0,00	0,77	1,17
Telhaescura	20,00	1,77	1,00	14,63
Telhacinza	4,80	0,00	0,69	8,06
Telhaceramica	24,48	6,42	20,17	28,25
Pisocinza	9,92	0,80	1,38	9,94
ELI	14,48	1,20	1,61	25,82
EC	53,52	8,19	22,62	52,11
ELA	5,84	73,11	43,79	2,74
PAI	0,29	0,98	0,96	0,10
PAC	0,10	0,90	0,66	0,05
IFU	0,39	1,88	1,62	0,15
LAI	0,36	1,23	0,52	0,20
SVF	0,60	0,32	0,44	0,78

A partir da classificação realizada foi possível visualizar e quantificar a cobertura arbórea e o total de vegetação existente em cada uma das áreas para buffers de 20 metros, correspondentes ao entorno dos pontos de monitoramento. Segundo Silva Filho (2004), as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são métodos eficientes e econômicos para se conseguir informações referentes à visualização e quantificação da arborização urbana e sua estrutura.

Com isso, a cobertura arbórea em porcentagem encontrada entre os bairros: Cidade Alta, Vila Fátima, Campestre e São Jorge foi de, respectivamente, **5,84**, **73,11**, **43,79** e **2,74** (Tabela 09). Tais dados evidenciam que os bairros Vila Fátima e Campestre são os mais arborizados nos seus entornos imediatos em que foram colocados os sensores meteorológicos. No que diz respeito à porcentagem de asfalto para buffers de 20 metros, o bairro São Jorge é o que lidera com 15,88%, muito embora esteja num bairro com notáveis fragmentados florestais que estão distribuídos, em sua maior parte, longínquos da área urbana do bairro.

Com relação à área construído dos pontos em análise, percebeu-se que o Campestre e a Vila Fátima foram os que apresentaram menor percentual de área impermeabilizada e os maiores Índice de Floresta Urbana (IFU) (Tabela 09). Em contraste, a Cidade Alta e o São Jorge foram os que apresentaram menores IFU e maiores Espaços Construídos (Tabela 09).

A recomendação para as cidades é que nas áreas comerciais e demais locais onde se desenvolvem atividades principalmente durante o dia, os parques e outras áreas verdes apresentem menos de 50% de área pavimentada e pelo menos 30% de árvores e arbustos. (CHANG; LI, 2014). Diversos estudos comprovam que a vegetação tem grande influência no controle do clima (GOMES e AMORIM, 2003; SILVA et al., 2011; MONTEIRO

e ALUCCI, 2007), porém é de extrema importância que sua abundância e distribuição espacial na malha urbana sejam considerados, pois se não são bem distribuídas seus benefícios locais tornam-se limitados (McPHERSON, NOWAK e ROWTREE, 1994; SACAMANO et al., 1995). Entretanto, existem poucos estudos que relacionem os benefícios da floresta urbana em função do seu gradiente de distância e o quanto isso influi no efeito da alteração higratérmica do entorno.

Conclui-se, portanto, que em estudos de conforto ambiental urbana e estudos microclimáticos o arrefecimento do entorno está intrinsecamente relacionado com o Fator de Visão de Céu, Índice de Área Foliar e, para o presente estudo, a área com menor fator de visão do céu corresponde à área com maior densidade de cobertura arbórea e com menores porcentagens de telhas e espaços impermeabilizados.

4.3 Ajuste da estação Davis Vantage Vu com a da ESALQ/USP

Deste ajuste, resultou no gráfico de dispersão com a equação de regressão para esses coeficientes (Figura 29A), além da análise do resíduo (Figura 29B). Vale ressaltar que, com a equação de regressão gerada, pôde-se ajustar os dados de temperatura do ar (°C) da Estação DAVIS Vantage Vu de acordo com o dia de referência para cada estação estuda nesta pesquisa.

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,981491
R-Quadrado	0,963325
R-quadrado ajustado	0,962544
Erro padrão	0,635543
Observações	49

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	498,640706	498,6407	1234,519761	2,15831E-35
Resíduo	47	18,98399194	0,403915		
Total	48	517,624698			

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interseção	0,371518	0,830594892	0,447291	0,656719355	-1,299423432	2,0424593	-1,299423432	2,0424593
2º DIA	0,985766	0,028055946	35,13573	2,15831E-35	0,929324952	1,042207516	0,929324952	1,042207516

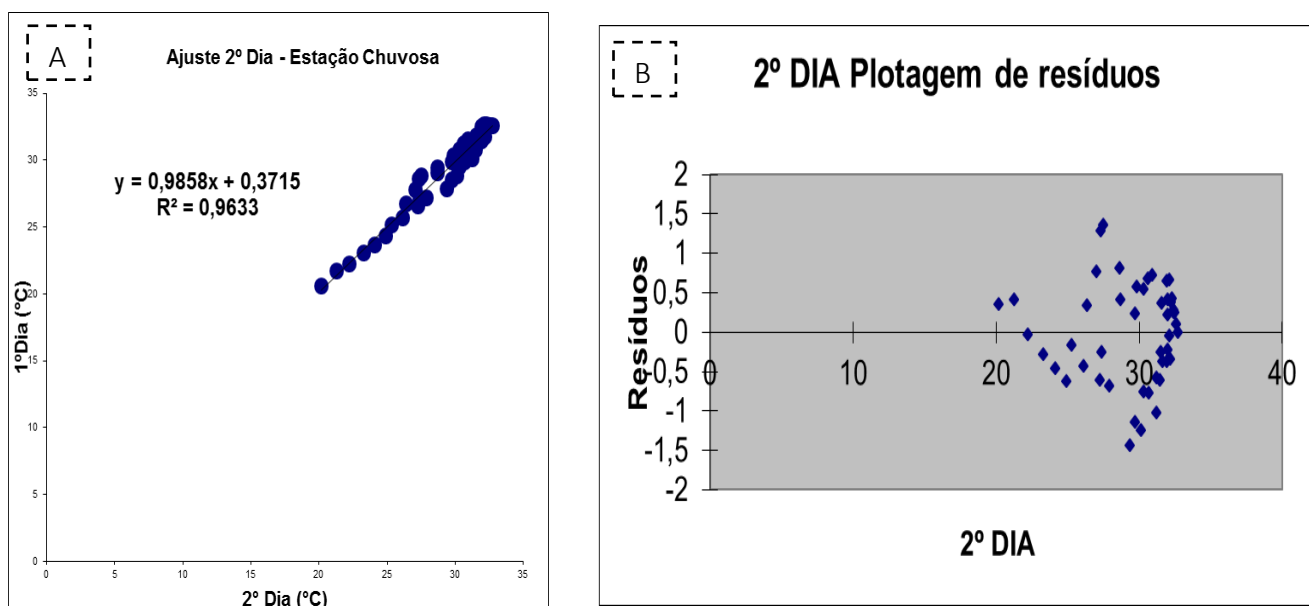


Figura 29A: Resumo dos resultados da regressão para a Variável 2º Dia – Estação Chuvosa, para o ajuste do 2º Dia, deve-se ajustá-lo ao modelo gerado julgado ideal. Figura 29B: Análise de Resíduos para o 2º Dia

Também foram obtidos diversos valores estatísticos de regressão relacionando as duas variáveis (Resumo dos Resultados)). O R^2 Ajustado, significativo a 5%, chegou a 0,9625, o que indica alta correlação e confere maior confiabilidade à qualidade do ajuste de modelo.

De acordo com o Resumo dos Resultados, a análise de regressão foi para o nível de confiança de 95%. Portanto, o valor de p do teste F deve ficar abaixo de 0,05 e está em $2,15 \cdot 10^{-35}$, evidenciando a existência de uma forte relação entre as variáveis e conferindo mais consistência ao modelo.

Na Figura 114B encontra-se a distribuição dos resíduos obtidos e nota-se uma variância homogênea do 2º Dia em relação ao 1º Dia.

Salienta-se que os ajustes foram feitos para todos os dias em ambas as estações, geraram-se equações de regressão e análise de resíduos para cada dia de coleta.

4.4 Estatística dos dados microclimáticos dos 43 pontos versus Uso e Ocupação do Solo

4.4.1 Estação Chuvosa

Verificou-se maior correlação dos dados microclimáticos dos 43 pontos com o uso e ocupação do solo para buffers de 20 metros na Estação Chuvosa conforme se pôde verificar nos modelos gerados abaixo pela análise de regressão realizada no software R, versão 3, tendo como variável preditora a Cobertura Arbórea e variável dependente (Temperatura Média do Ar).

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,756972984
R-Quadrado	0,573008099
R-quadrado ajustado	0,560808331
Erro padrão	0,474619795
Observações	37

ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	10,58037019	10,58037019	46,96876786	5,91155E-08
Resíduo	35	7,88423826	0,22526395		
Total	36	18,46460845			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Interseção	26,32438691	0,113874725	231,1697083	2,54432E-57	26,09320893	26,55556489	26,09320893	26,55556489
Cobertura_arb	-0,036142085	0,005273617	-6,853376384	5,91155E-08	-0,046848098	-0,025436073	-0,046848098	-0,025436073

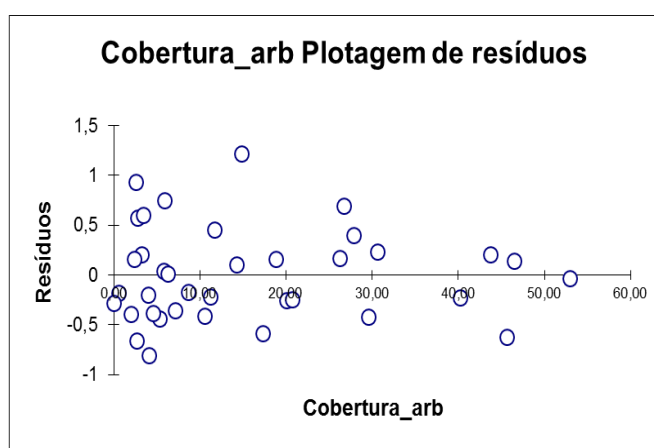
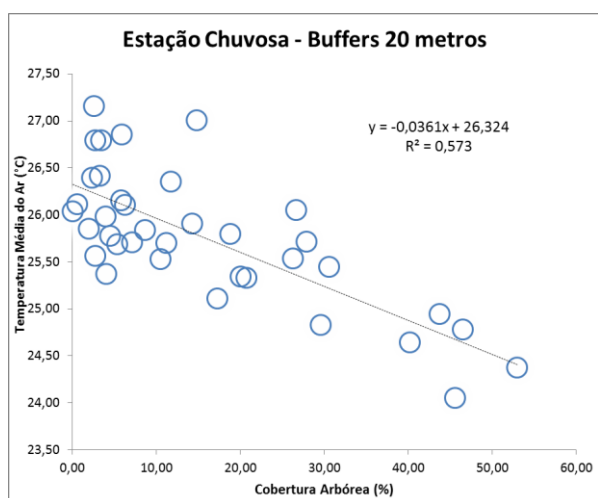


Figura 30: Resumo dos resultados da regressão para a variável Cobertura Arbórea para obtenção da Temperatura Média do Ar (°C) para se atingir determinada temperatura julgada ideal e gráfico de dispersão com relação entre as variáveis cobertura arbórea (%) por temperatura média do ar (°C)

Também foram obtidos diversos valores estatísticos de regressão relacionando as duas variáveis (Resumo dos Resultados). O R^2 Ajustado, significativo a 5%, chegou a 0,5608, o que indica significativa correlação e confere maior confiabilidade à qualidade do ajuste de modelo.

De acordo com o Resumo dos Resultados, a análise de regressão foi para o nível de confiança de 95%. Portanto, o valor de p do teste F deve ficar abaixo de 0,05 e está em $5,91 \cdot 10^{-8}$, evidenciando a existência de uma forte relação entre as variáveis e conferindo mais consistência ao modelo.

Na Figura 30, encontra-se a distribuição dos resíduos obtidos e nota-se uma variância homogênea da cobertura arbórea em relação à temperatura média do ar (°C).

Tabela 10: Valores dos parâmetros para o modelo gerado para a Estação Chuvosa e seus respectivos erros padrão.

Estação	β_0	β_1
Chuvosa	26,32	-0,036
Erro padrão	0,113	0,005

Pode-se inferir, portanto, que aproximadamente 57% do valor da temperatura média urbana é explicado pela quantidade de cobertura arbórea por esse modelo de regressão linear. Estes resultados enfatizam e quantificam o que a arborização urbana exerce um papel substancial no balanço do clima urbano, uma vez que é o indicador mais influente na mudança da temperatura e da umidade relativa, além de ser a única variável capaz de satisfazer as exigências de cada estação climática.

Assim, podemos verificar o comportamento das variáveis de acordo com os parâmetros. É importante que tais critérios sejam levados em consideração para as cidades da região sudeste do Brasil que apresentam características climáticas semelhantes a cidade de Piracicaba e o tipo de composição do tecido urbano, assim como relevo e clima. A análise do resíduo mostra a adequação do modelo com padrão homocedástico. Desse modo, pode-se escolher uma temperatura cujo conforto se queira atingir e calcular quanto de cobertura arbórea deve ser ampliada para se obter tal conforto. O modelo em questão teve a seguinte equação:

$$TempMédia = 26,32 * \beta_0 - 0,0361\beta_1 X$$

Se quisermos diminuir a temperatura média urbana de Piracicaba em 1°C, aplicando o referido modelo, supondo que na estação chuvosa a temperatura média urbana em uma situação climática estável seja de 26°C e quisermos diminuir a temperatura em 1°C, aplicando o modelo acima, teremos:

Tabela 11: Cálculo para aplicação do modelo para a estação chuvosa

Estação Chuvosa	
TempMédia (°C)	Cobertura Arbórea
26	8,86
25	36,56

No tecido urbano de Piracicaba seria necessário o plantio de **27,7 % (36,56-8,86)** de cobertura arbórea para diminuir 1°C na temperatura média urbana do município para uma situação de clima quente e úmido, no entanto, esse plantio de árvores teria que ser de uma forma homogênea e bem distribuída. Segundo Silva (2012), no estudo para Rio Claro, o arrefecimento do entorno sentiu-se até 40 metros. Sendo assim, não basta arborizar o município num único fragmento, pois os seus efeitos serão locais e poucos sentidos.

4.4.2 Estação Seca

Verificou-se maior correlação dos dados microclimáticos dos 43 pontos com o uso e ocupação do solo para buffers de 500 metros na Estação Seca conforme se pôde verificar nos modelos gerados abaixo pela análise de regressão realizada no software R, versão 3, tendo como variável preditora a Cobertura Arbórea e variável dependente (Temperatura Média do Ar).

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,774643968
R-Quadrado	0,600073277
R-quadrado ajustado	0,588964201
Erro padrão	0,570327835
Observações	38

ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	17,57015116	17,57015116	54,01649028	1,14814E-08
Resíduo	36	11,7098582	0,325273839		
Total	37	29,28000936			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Interseção	19,90651293	0,256107004	77,72732724	1,06744E-41	19,38710385	20,425922	19,38710385	20,425922
Cobertura_arb	-0,069895663	0,009510143	-7,349591164	1,14814E-08	-0,089183127	-0,050608199	-0,089183127	-0,050608199

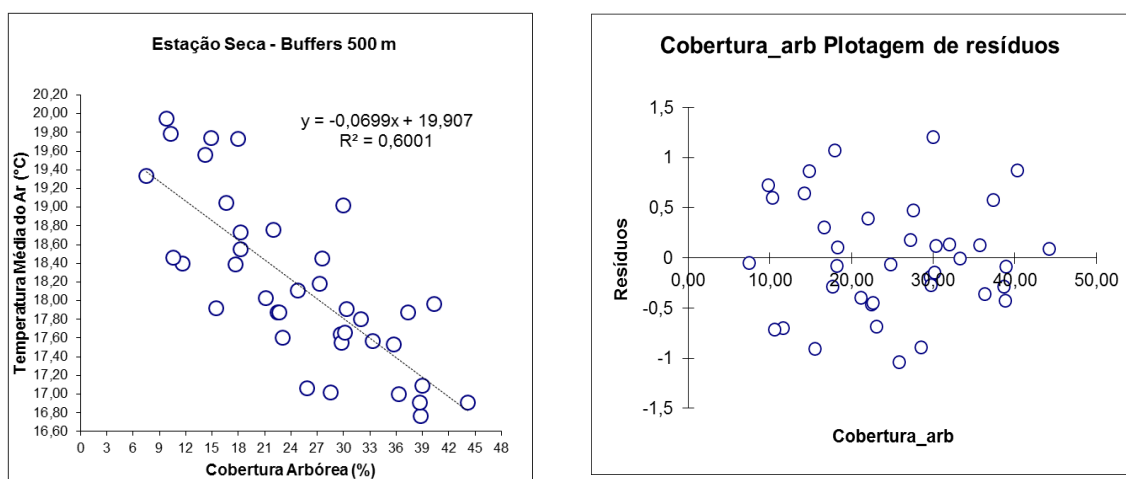


Figura 31: Resumo dos resultados da regressão para a variável Cobertura Arbórea, para obtenção da Temperatura Média do Ar (°C) para se atingir determinada temperatura julgada ideal e gráfico de dispersão com relação entre as variáveis cobertura arbórea (%) por temperatura média do ar (°C)

Também foram obtidos diversos valores estatísticos de regressão relacionando as duas variáveis (Resumo dos Resultados). O R^2 Ajustado, significativo a 5%, chegou a 0,5889, o que indica significativa correlação e confere maior confiabilidade à qualidade do ajuste de modelo.

De acordo com o Resumo dos Resultados, a análise de regressão foi para o nível de confiança de 95%. Portanto, o valor de p do teste F deve ficar abaixo de 0,05 e está em $1,15 \cdot 10^{-8}$, evidenciando a existência de uma forte relação entre as variáveis e conferindo mais consistência ao modelo.

Na Figura 31, encontra-se a distribuição dos resíduos obtidos e nota-se uma variância homogênea da cobertura arbórea em relação à temperatura média do ar (°C).

Tabela 12: Valores dos parâmetros para o modelo gerado para a Estação Seca e seus respectivos erros padrão.

Estação	β_0	β_1
Seca	19,91	-0,069
Erro padrão	0,256	0,09

Pode-se inferir, portanto, que aproximadamente 60% do valor da temperatura média urbana é explicado pela quantidade de cobertura arbórea por esse modelo de regressão linear. A análise do resíduo mostra a adequação do modelo com padrão homocedástico. Desse modo, pode-se escolher uma temperatura cujo conforto se queira

atingir e calcular quanto de cobertura arbórea deve ser ampliada para se obter tal conforto. O modelo em questão teve a seguinte equação:

$$TempMédia = 19,91 * \beta_0 - 0,069\beta_1 X$$

Se quisermos diminuir a temperatura média urbana de Piracicaba em 1°C, aplicando o referido modelo, supondo que na estação seca a temperatura média urbana em uma situação climática estável seja de 19°C e quisermos diminuir a temperatura em 1°C, aplicando o modelo acima, teremos:

Tabela 13: Cálculo para aplicação do modelo para a estação seca

Estação Seca	
TempMédia (°C)	Cobertura Arbórea
19	12,97
18	27,28

No tecido urbano de Piracicaba seria necessário o plantio de **14,31%** (27,28-12,97) de cobertura arbórea para diminuir 1°C na temperatura média urbana do município para uma situação de clima frio e seco, no entanto, esse plantio de árvores teria que ser de uma forma homogênea e bem distribuída.

4.5 Dados microclimáticos dos 04 pontos de análise

Seguem abaixo dados referentes aos 40 dias de coleta da estação chuvosa e seca para os quatro bairros estudados. As variáveis abordadas nesta seção foram a temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%). A proposta foi demonstrar o comportamento periódico dessas duas variáveis e extrapolá-las para o tecido urbano com os 39 registradores remanescentes desta pesquisa. Se observarmos as quatro áreas, nota-se que os valores de temperatura do ar foram menores para os locais mais arborizados e a umidade relativa teve valores mais altos para esses locais.

4.5.1 Comportamento periódico das variáveis temperatura do ar e umidade relativa

A temperatura do ar é o parâmetro meteorológico mais fácil de relacionar com o conforto humano. É diretamente influenciado pela radiação e, conseqüentemente, pelo tipo de superfície nas áreas circundantes. A umidade relativa comporta-se, no geral, inversamente à temperatura.

Na tabela 14, são mostrados os resultados da média e desvio padrão para cada área em diferentes estações para essas duas variáveis estudadas (chuvosa/seca).

Tabela 14: Resultado da análise estatística para os quatro bairros nas estações chuvosa e seca durante 40 dias de coleta para as variáveis Tar (°C) e UR(%)

Bairro	Estação	Média_TEMP	Desvio Padrão_TEMP	Média_UR	Desvio Padrão_UR
Vila Fátima	Chuvosa	24,71	3,42	79,91	11,85
Vila Fátima	Seca	17,61	5,38	75,79	15,57
Cidade Alta	Chuvosa	26,15	3,84	65,63	7,40
Cidade Alta	Seca	19,34	5,39	64,62	12,48
Campestre	Chuvosa	24,94	3,90	82,14	11,44
Campestre	Seca	17,64	5,63	76,06	16,16
São Jorge	Chuvosa	25,56	4,53	74,39	14,19
São Jorge	Seca	17,57	5,99	72,19	15,78

Os gráficos elaborados com os valores médios de temperatura ar, a cada hora, permitem observar detalhadamente as diferenças de comportamento das variáveis meteorológicas em cada bairro estudado (Figura 32 e 33).

Para a variável temperatura, é possível notar que a curva do bairro Vila Fátima sempre esteve abaixo das demais assim como ocorreu com a curva de temperatura do bairro Campestre. De modo geral, acima desta curva encontra-se a do bairro São Jorge e do bairro Cidade Alta para ambas as estações analisadas. No entanto, ao longo do período foi possível observar variações no comportamento dos quatro bairros.

Crow et al. (2016), ao analisar as diferentes paisagens do Jardim Botânico de Singapura, também constatou que a curva referente ao comportamento periódico da variável temperatura na área com floresta mais densa sempre esteve abaixo das demais áreas, com menos vegetação.

O comportamento da variável umidade relativa foi o inverso ao da temperatura (Figura 34 e 35), nesta, a curva do bairro Vila Fátima e do Campestre estiveram sempre acima das demais. Estudos anteriores já relataram esta situação, maiores valores de umidade relativa nas áreas mais vegetadas em relação às com pouca vegetação. (FONTES; DELBIN, 2001; LIMA; ROMERO, 2005). Segundo Silva Filho et al. (2005), as árvores funcionam como bombas de água auto-reguláveis, pois abrem os estômatos quando existe disponibilidade de água e calor, refrescando o ambiente através da evapotranspiração e as fecham quando situações adversas ocorrem, preservando condições agradáveis e condicionando o clima urbano.

A diferença de comportamento entre os bairros analisados é mais acentuada entre às 11h até as 17h para a variável temperatura, em decorrência de maior radiação nesse período, sempre com menores valores para os bairros Vila Fátima e Campestre nas duas estações analisadas. Segundo Ochoa de La Torre (1999), as oscilações de temperatura são menores nas áreas mais arborizadas do que nas áreas com menor cobertura arbórea, principalmente porque a radiação emitida pelo solo durante a noite é refletida de novo até o solo pela folhagem das árvores e, durante o dia a vegetação impede que a radiação direta chegue até o solo.

Amorim e Leder (2012), analisando a influência climática de um remanescente de Mata Atlântica em João Pessoa-PB verificaram que a maior variação entre os valores registrados nas áreas de estudos ocorreu exclusivamente às 13h. Não se estendendo no restante da tarde, como visto no presente estudo.

O pico mais alto das curvas geralmente ocorreu às (14h) para a estação chuvosa e às (13h) para a estação seca pelo fato do acréscimo de uma hora a mais no horário de verão. Percebe-se que o pico de temperatura para os bairros mais arborizados ocorreu uma hora antes do que os demais bairros, com variações de horários em que esses ocorreram.

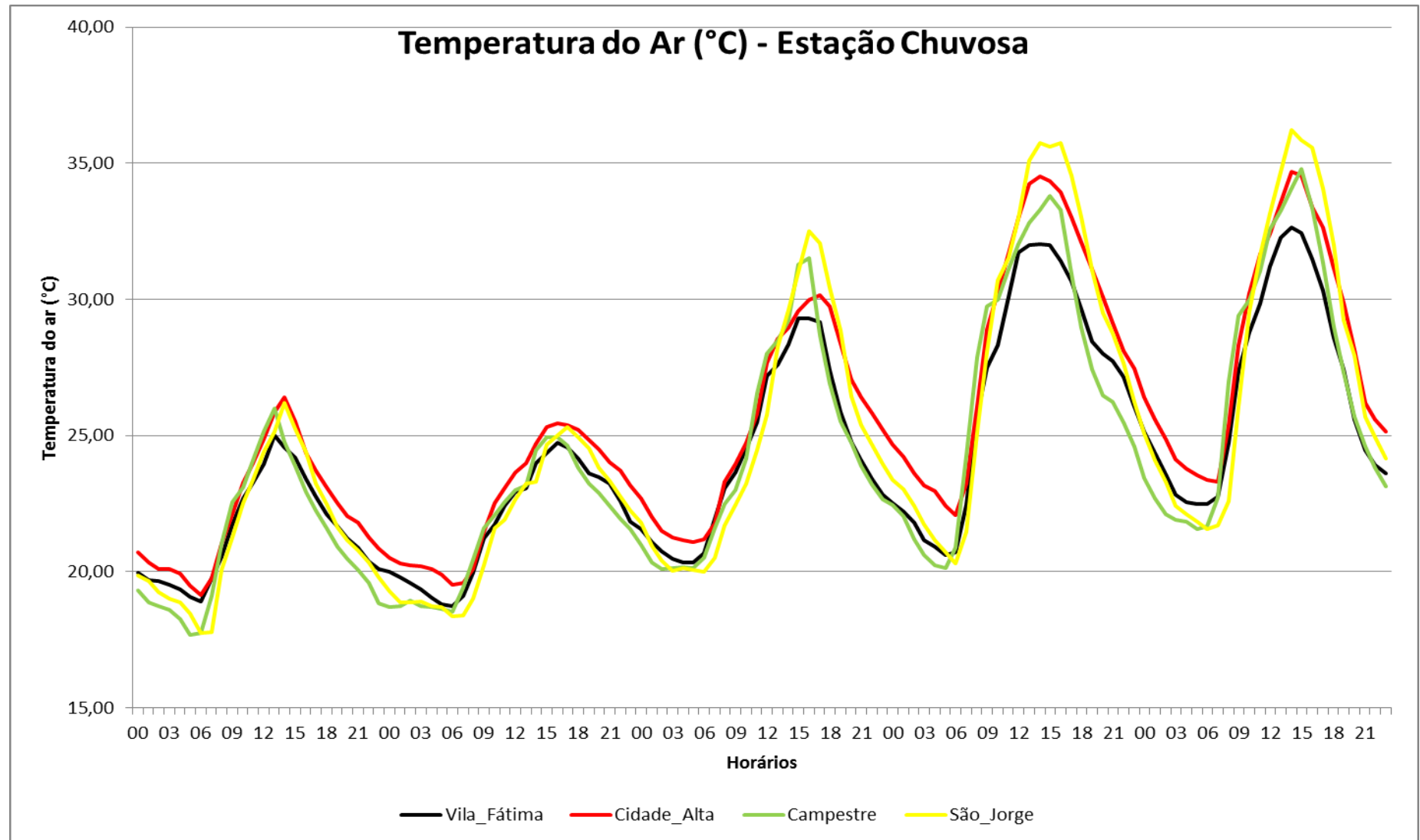


FIGURA 32: COMPORTAMENTO PERIÓDICO DA VARIÁVEL TEMPERATURA DO AR (°C) PARA CADA BAIRRO ESTUDADO NA ESTAÇÃO CHUVOSA

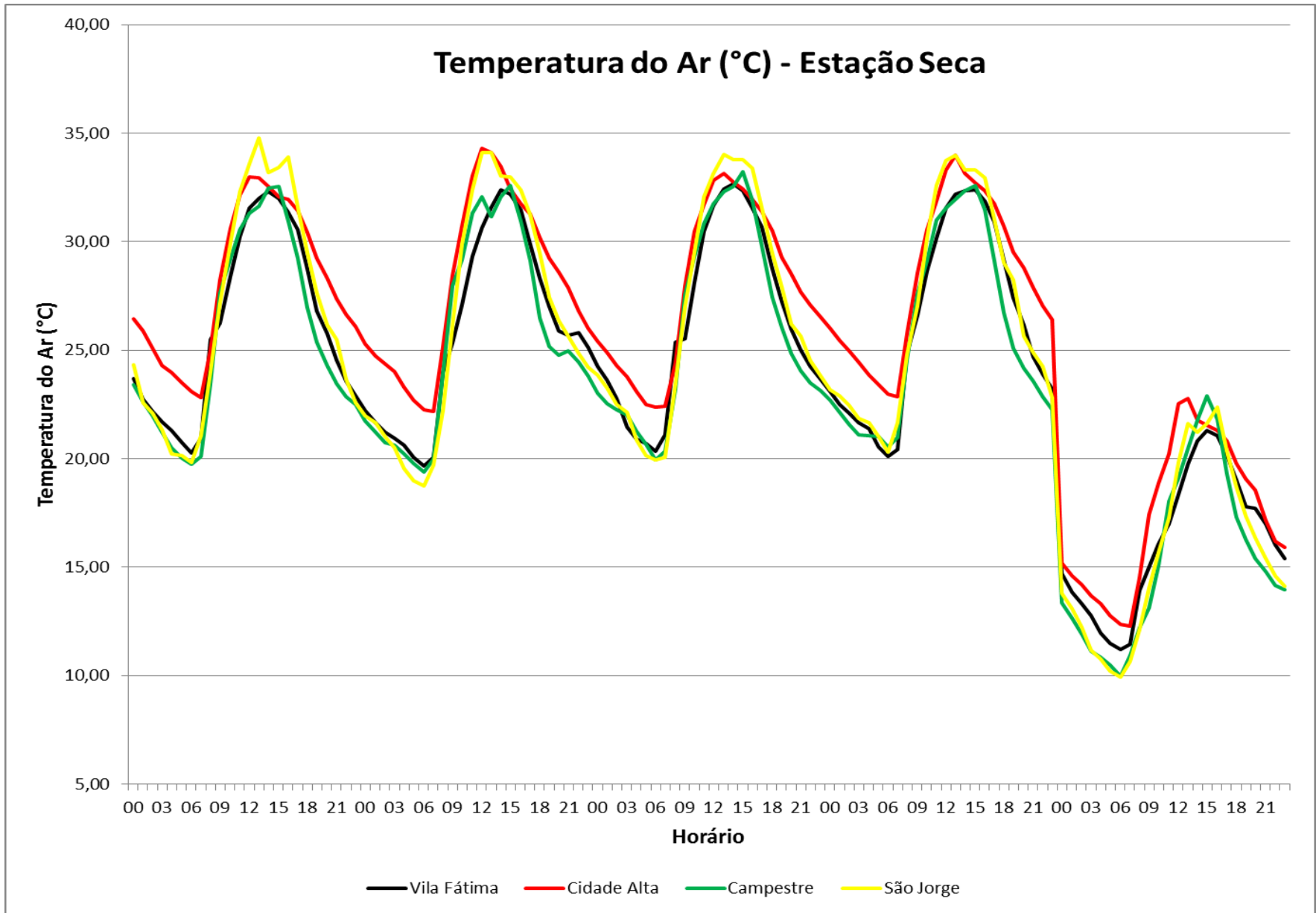


FIGURA 33: COMPORTAMENTO PERIÓDICO DA VARIÁVEL TEMPERATURA DO AR (°C) PARA CADA BAIRRO ESTUDADO NA ESTAÇÃO SECA

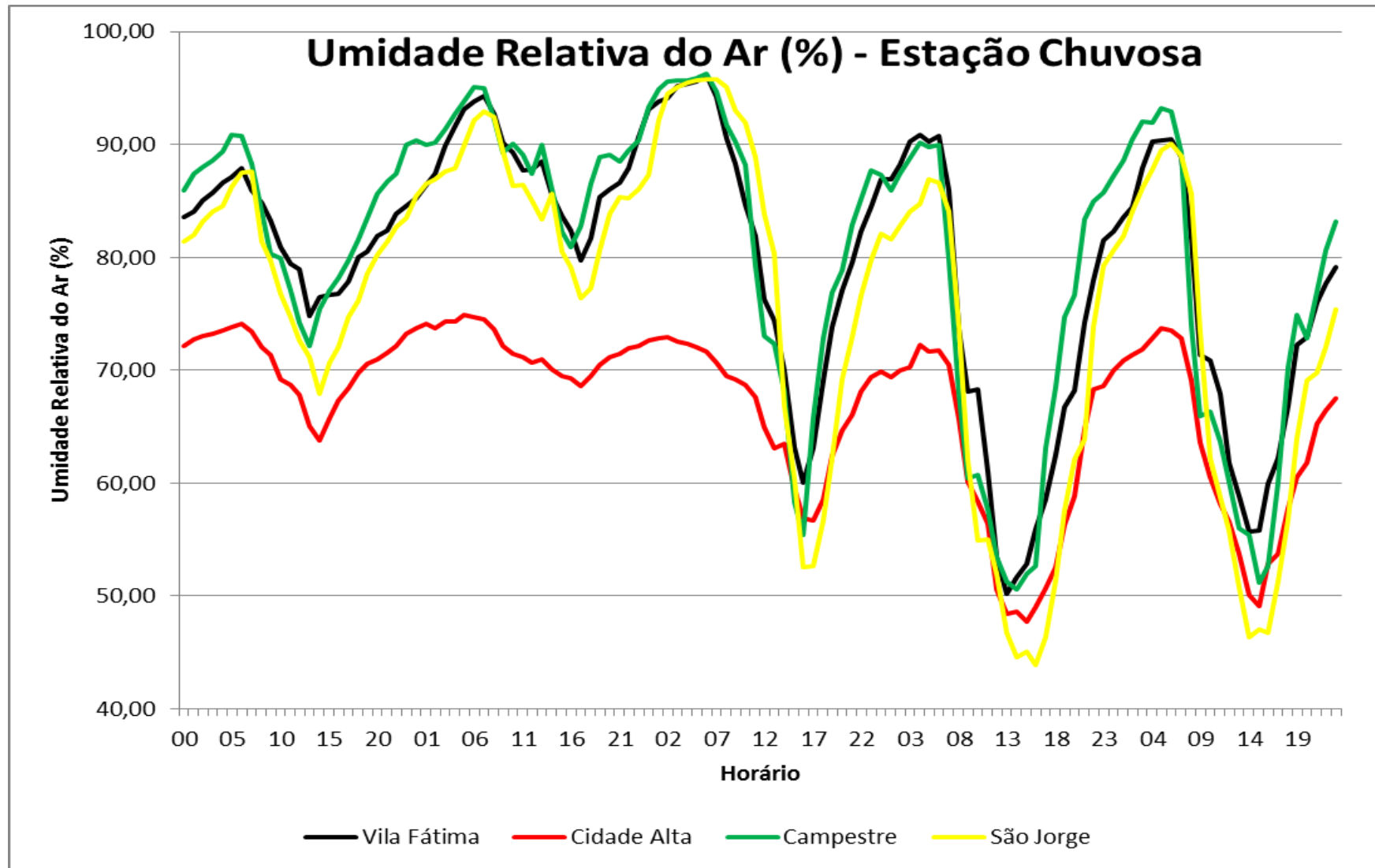


FIGURA 34: COMPORTAMENTO PERIÓDICO DA VARIÁVEL UMIDADE RELATIVA DO AR (%) PARA CADA BAIRRO ESTUDADONA ESTAÇÃO CHUVOSA

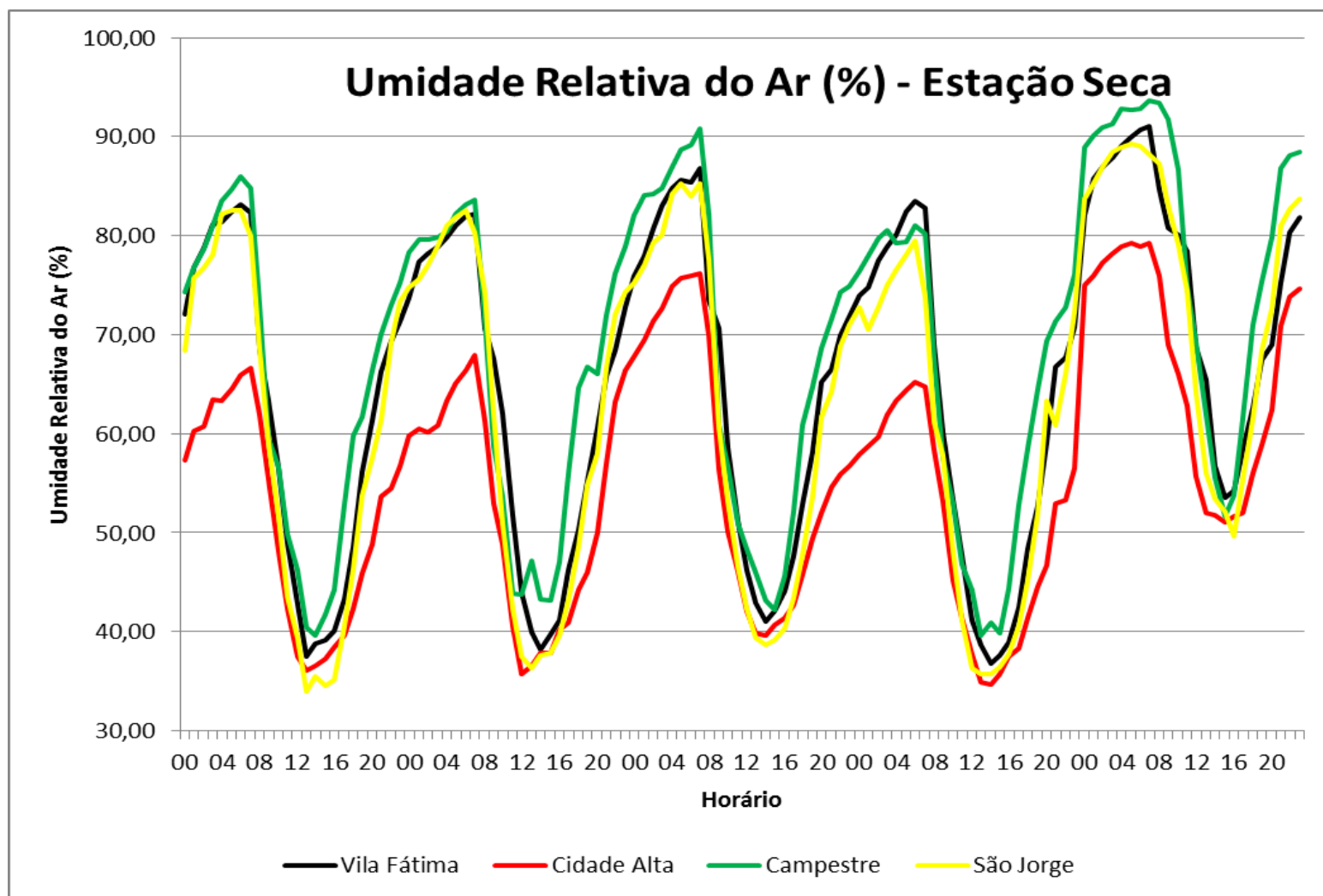


FIGURA 35: COMPORTAMENTO PERIÓDICO DA VARIÁVEL UMIDADE RELATIVA DO AR (%) PARA CADA BAIRRO ESTUDADO NA ESTAÇÃO SECA

4.6 Dados de conforto ambiental urbano dos 04 pontos de análise

Para avaliarmos o conforto dessas áreas, tanto na estação chuvosa quanto seca, foram coletados dados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), velocidade dos ventos (m/s) e temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$) a fim de gerarmos os índices de conforto UTCI e PET abordados na próxima seção.

4.6.1 Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

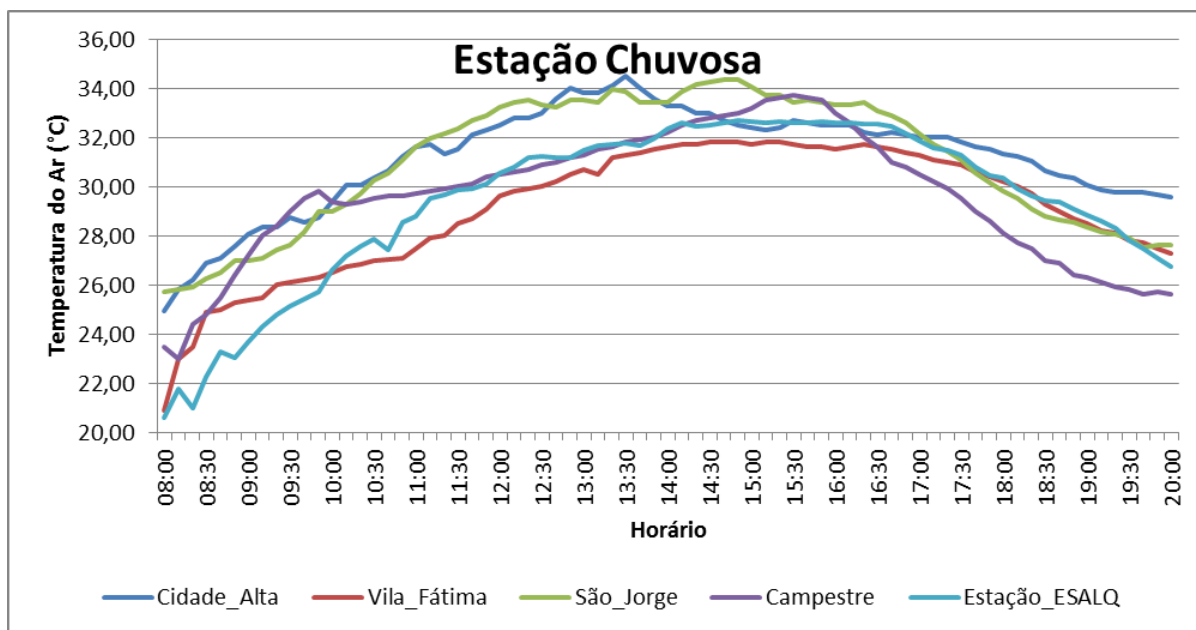


Figura 36: Comportamento da variável de conforto: temperatura do ar na estação chuvosa coletada pela estação meteorológica DAVIS

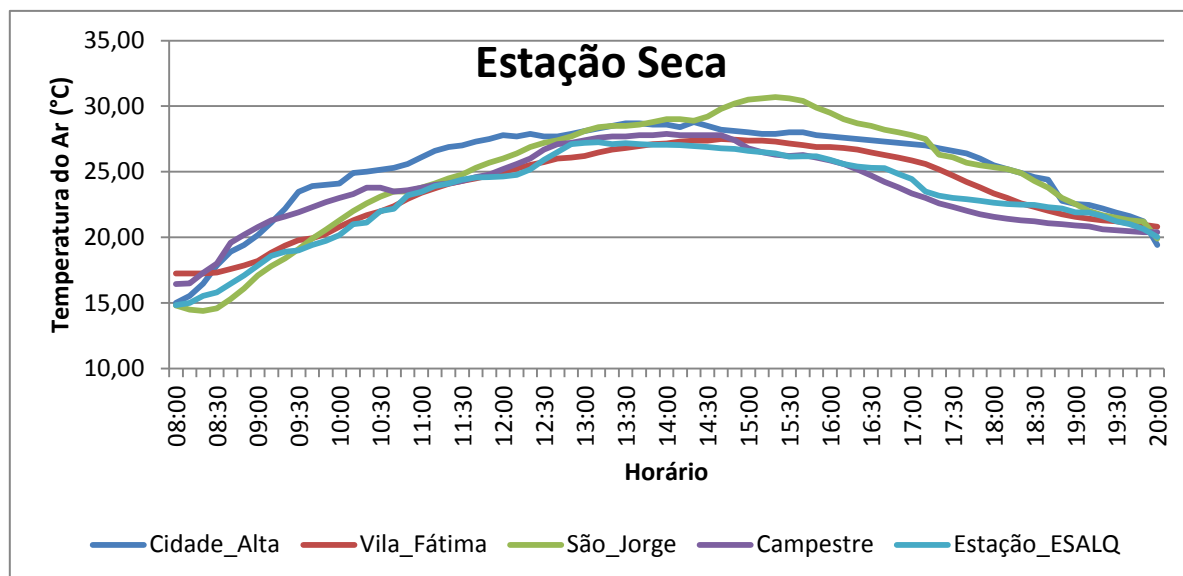


Figura 37: Comportamento da variável de conforto: temperatura do ar na estação seca coletada pela estação meteorológica DAVIS

Para a variável temperatura, analogamente como se verificou com os dados microclimáticos da seção 4.5, é possível notar que a curva do bairro Vila Fátima sempre esteve abaixo das demais, assim como ocorreu com a

curva de temperatura no bairro Campestre e com a curva do Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP. De modo geral, acima desta curva encontra-se a do bairro São Jorge e do bairro Cidade Alta para ambas as estações analisadas. No entanto, ao longo do período, foi possível observar variações no comportamento dos quatro bairros.

4.6.2 Umidade relativa do ar (%)

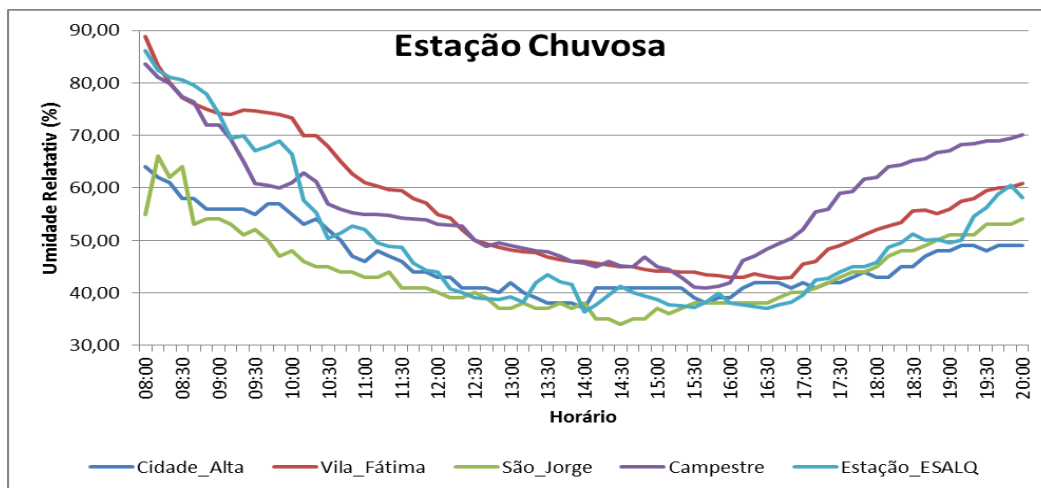


Figura 38: Comportamento da variável de conforto: umidade relativa do ar na estação chuvosa coletada pela estação meteorológica DAVIS

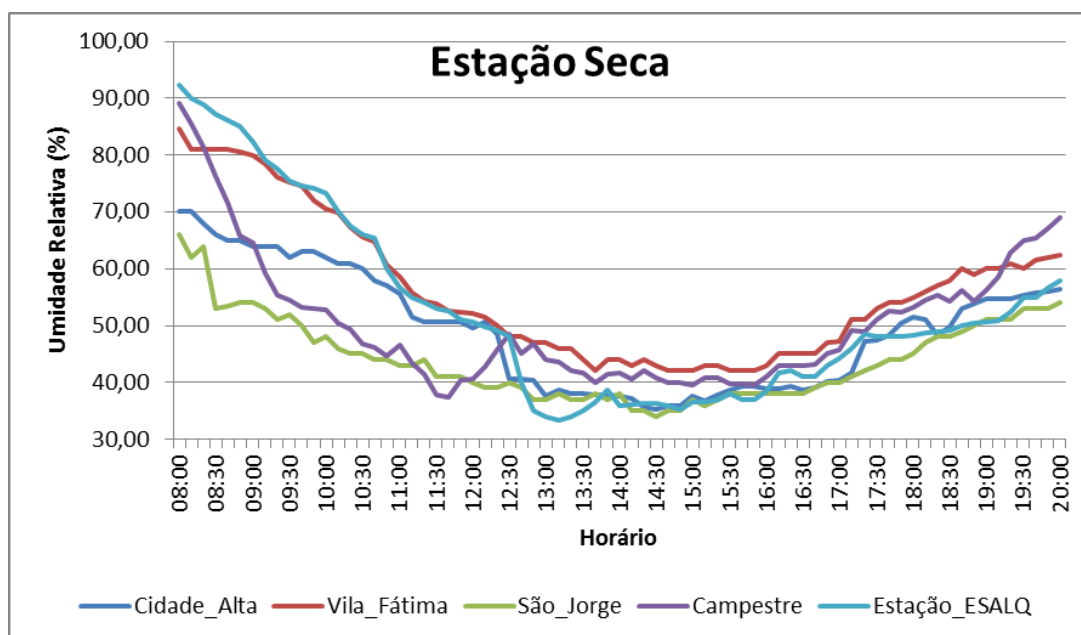


Figura 39: Comportamento da variável de conforto: umidade relativa do ar na estação seca coletada pela estação meteorológica DAVIS

Conforme se pode constatar nos gráficos acima, para a variável umidade relativa (%), a curva do bairro Vila Fátima e do Campestre estiveram sempre acima das demais (São Jorge e Cidade Alta) o que corrobora o comportamento evidenciado pelos dados microclimáticos da seção anterior, sempre com o comportamento inverso ao da temperatura.

4.6.3 Velocidade dos ventos (m/s)

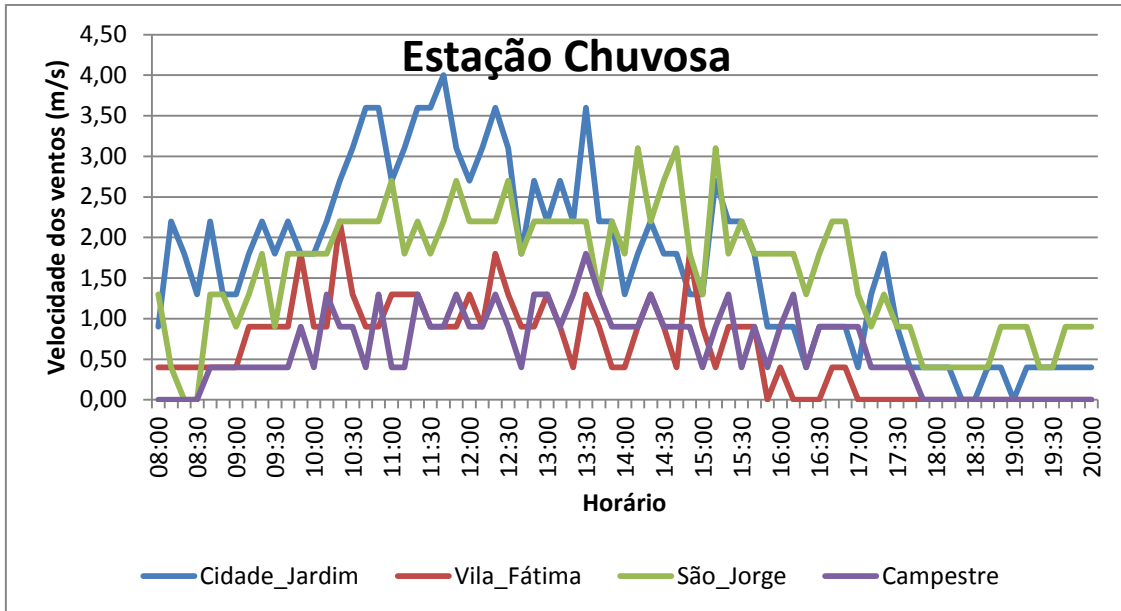


Figura 40: Comportamento da variável de conforto: velocidade do vento (m/s) na estação chuvosa coletada pela estação meteorológica DAVIS

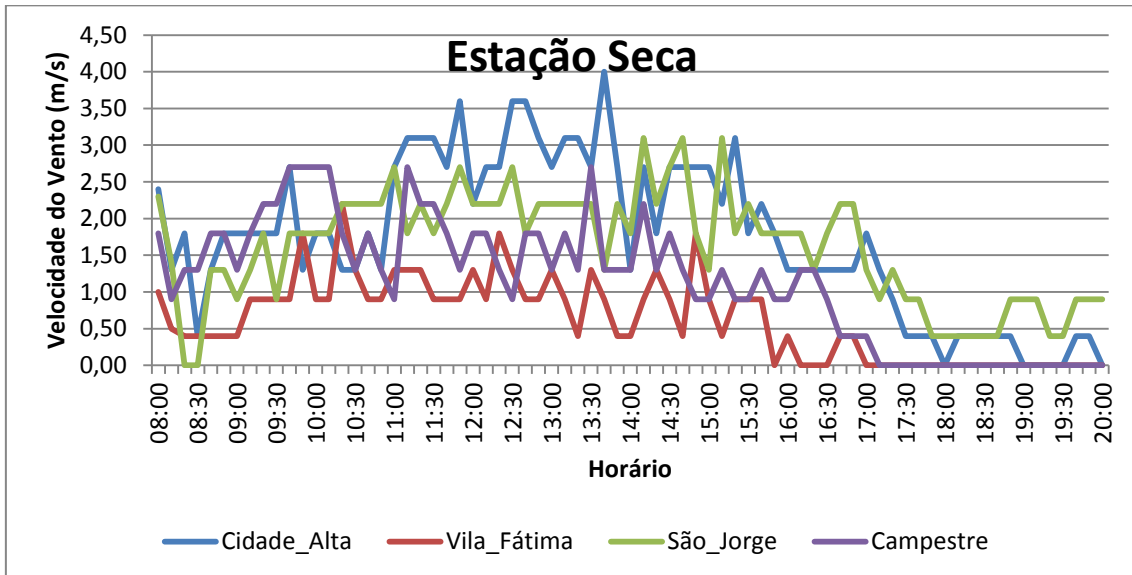


Figura 41: Comportamento da variável de conforto: velocidade do vento (m/s) na estação seca coletada pela estação meteorológica DAVIS

A velocidade do vento é um componente complexo dos parâmetros climáticos e é influenciada por muitas características ambientais. Portanto, é difícil de interpretar. No entanto, sabe-se que as árvores podem reduzir a velocidade do vento, dependendo do seu tamanho, forma e posicionamento.

Nas Figuras 32 e 33, observamos valores mais baixos de velocidade do vento na maior parte do tempo para os bairros Vila Fátima e Campestre. A velocidade média do vento para Cidade Alta, Vila Fátima, São Jorge e Campestre é de, respectivamente: **1,72**, **0,62**, **1,59** e **0,62** m/s durante o período chuvoso. Na estação seca, os valores

médios foram 1,75, 0,63, 1,62 e 1,15, respectivamente. Constata-se, portanto, que em ambas as estações, as velocidades dos ventos (m/s) foram maiores para os bairros Cidade Alta e São Jorge.

Destaca-se que na estação seca e fria os bairros Vila Fátima e Campestre apresentaram menores valores desta variável em análise, o que é desejável nesta estação.

Em Teresina-PI, Lopes (2006) também constatou que os espaços com vegetação arbórea reduzem a velocidade dos ventos ao nível do usuário.

4.6.4 Temperatura Radiante Média (°C)

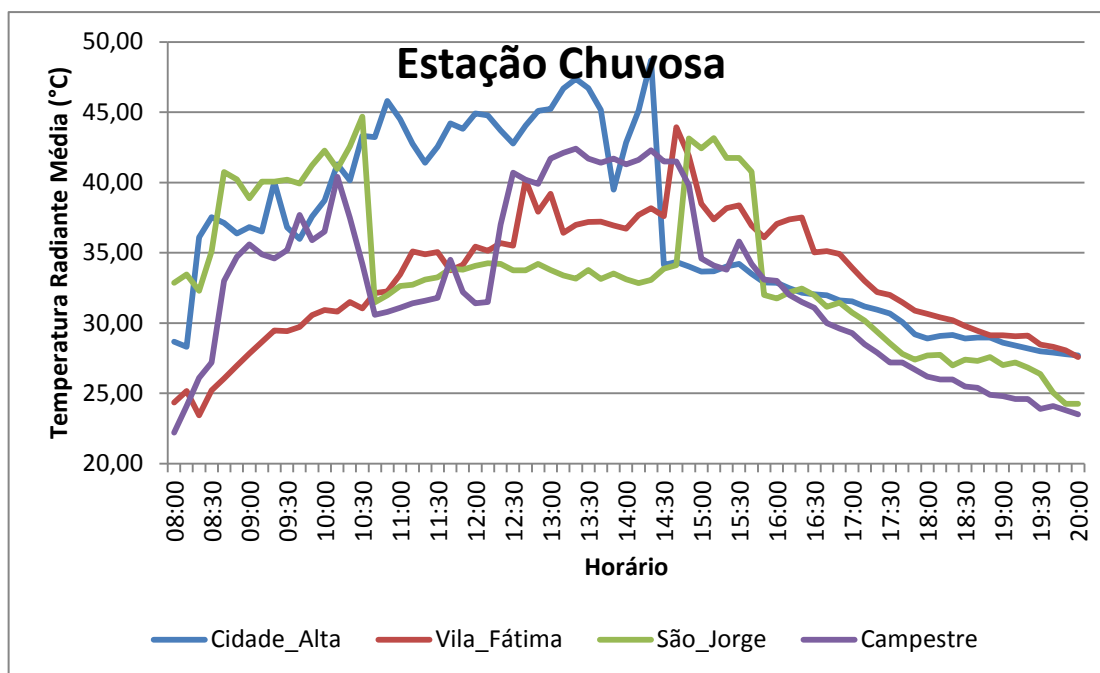


Figura 42: Comportamento da variável de conforto: temperatura radiante média (°C) na estação seca coletada pela estação meteorológica DAVIS

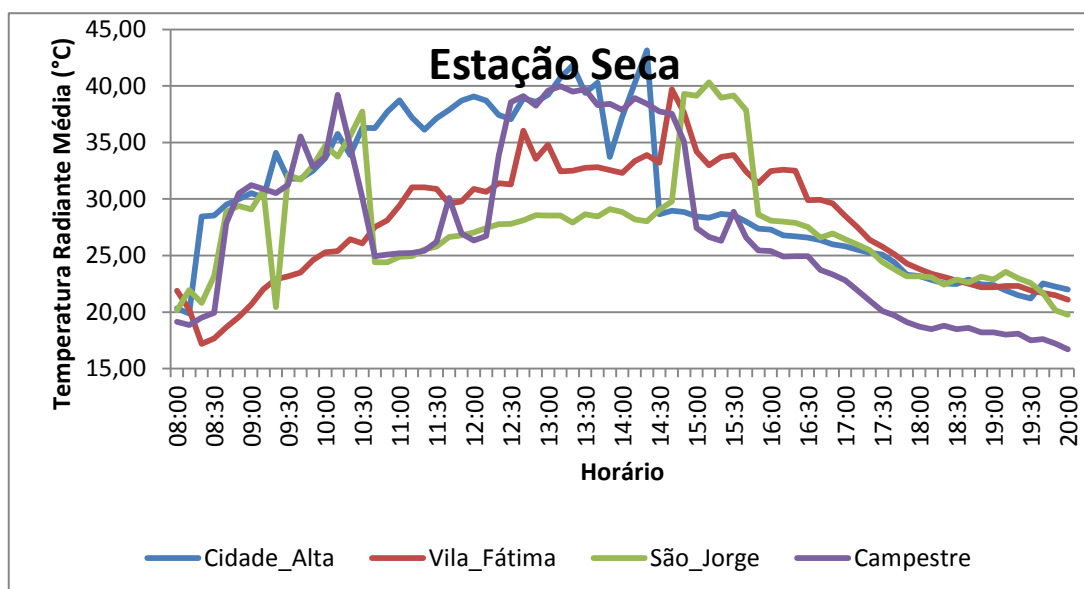


Figura 43: Comportamento da variável de conforto: temperatura radiante média (°C) na estação seca coletada pela estação meteorológica DAVIS

Observa-se que a curva da temperatura radiante média (°C) foi a menor para os bairros Vila Fátima e Campestre em ambas as estações. O fato desses dois pontos terem os maiores índice de área foliar (LAI) e o menor fator de visão de céu (SVF) (Tabela 09) fizeram com que a radiação incidente fosse menor se comparada com a dos bairros São Jorge e Cidade Alta.

4.7 Índices de conforto gerados para os 04 bairros pelo software RayMan

4.7.1 Temperatura Fisiológica Equivalente (PET)

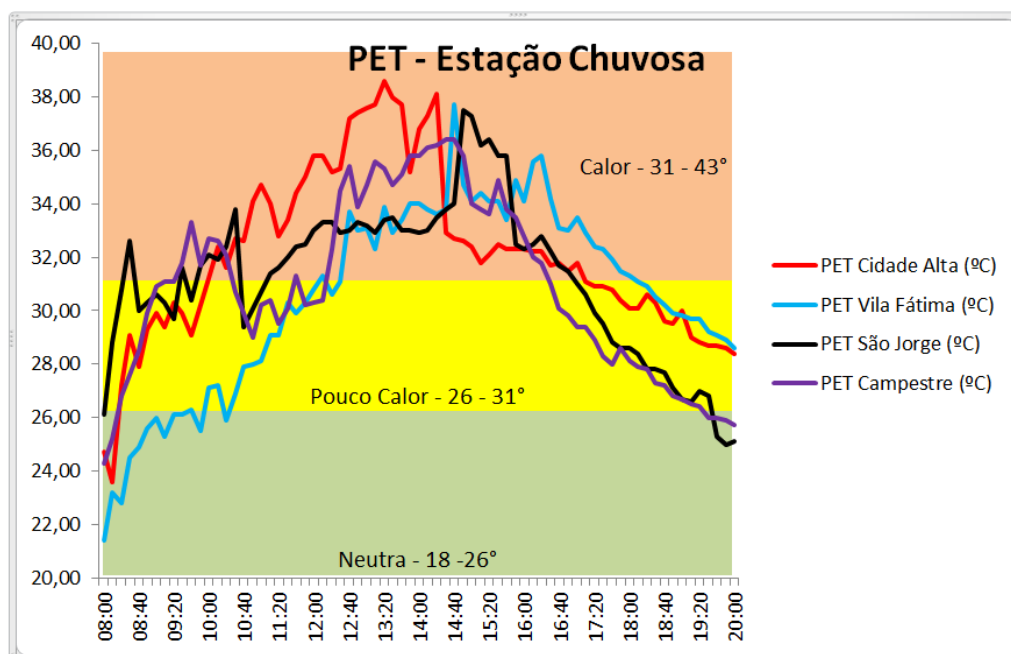


Figura 44: Índice PET gerado pelo software RayMan para a estação chuvosa para os quatro bairros analisados

Ao analisarmos a Figura 44, constata-se que a Vila Fátima é o único bairro que na estação chuvosa consegue ter duas horas de neutralidade (18°C – 26°C) no período das 08h00 até às 10h20 as temperaturas ficaram de 21,40°C a 25,90°C na escala de sensação térmica do PET proposto por Monteiro (2008). Somente a partir das 12h30 a Vila Fátima manifestou calor de 31,10°C e saiu da escala de calor a partir das 18h00. Percebe-se, portanto, que houve um atraso de praticamente 02h00 para esse ponto sentir um pouco de calor em relação aos demais pontos que a partir das 08h20 todos, exceto Vila Fátima, já sentiam um pouco de calor. Se formos considerar a quantidade de horas em desconforto térmico de acordo com a escala de sensação térmica proposto por Monteiro (2008), Cidade Alta fica com 07h10 de desconforto (10h00 até as 17h10), Vila Fátima com 04h40 de desconforto (12h40 até as 17h20), São Jorge fica com 06h50 de desconforto (08h20 até as 17h10) e Campestre com 03h50 de desconforto (12h20 até 16h10). Conclui-se, portanto, que os bairros mais arborizados são os que têm a maior faixa de neutralidade e de pouco calor e são os que passam as menores horas de calor do dia.

Ressalta-se que o município de Piracicaba/SP ainda não possui uma calibração para os valores do índice de conforto PET, o que foi feito neste trabalho foi utilizar a calibração realizada por Monteiro (2008) para a cidade de São Paulo (2008) e aplicar aos dados de PET calculados pelo RayMan para a realidade piracicabana.

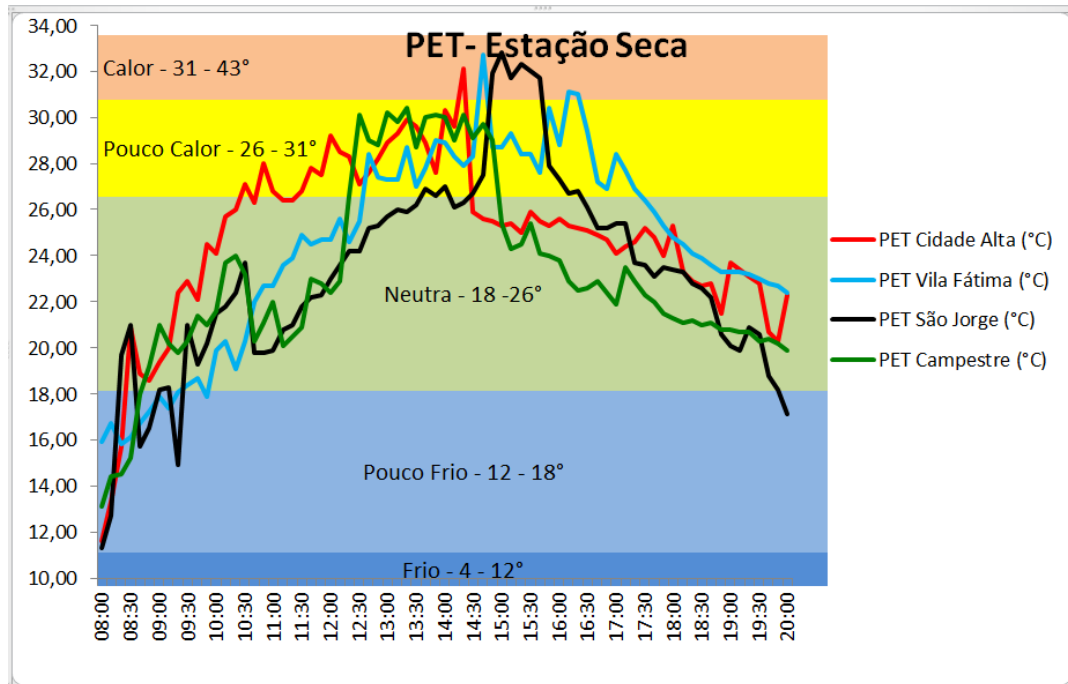


Figura 45: Índice PET gerado pelo software RayMan para a estação seca para os quatro bairros analisados

Ao analisarmos a Figura 45, constata-se que a Vila Fátima das 08h00 até as 09h50 teve um pouco de frio ($12^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C}$) e a sua maior faixa corresponde à faixa de sensação térmica neutra ($18^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$) no período das 09h50 até às 12h40 e a partir 17h30 em diante manteve-se na mesma faixa. Somente a partir das 12h40 a Vila Fátima manifestou pouco calor que foi até as 17h40. Percebe-se, portanto, que houve um atraso de praticamente 03h00 para esse ponto sentir um pouco de calor em relação ao ponto da Cidade Alta que atingiu a temperatura de $27,10^{\circ}\text{C}$ às 10h30 ao passo que a Vila Fátima foi sentir a mesma temperatura somente 12h40. O bairro Campestre teve um comportamento análogo ao da Vila Fátima, bem como São Jorge foi o ponto que teve maior faixa na escala térmica de calor com aproximadamente 50 minutos (14h40 até às 15h50). Se formos considerar a quantidade de horas em desconforto térmico de acordo com a escala de sensação térmica proposto por Monteiro (2008), Cidade Alta fica com 07h00 de desconforto (10h30 até as 17h30), Vila Fátima com 04h50 de desconforto (12h40 até as 17h30), São Jorge fica com 02h50 de desconforto (13h20 até as 16h30) e Campestre com 02h40 de desconforto (12h20 até 15h00). Conclui-se, portanto, que os bairros mais arborizados são os que têm a maior faixa de neutralidade e de pouco calor e são os que passam as menores horas de calor do dia na estação seca. Vale mencionar que embora o bairro São Jorge tenha tido 02h50 de desconforto, o que é visto de pouca duração, a maior parte deste desconforto foi de calor com 50 minutos de duração.

4.7.2 Índice Termoclimático Universal (UTCI)

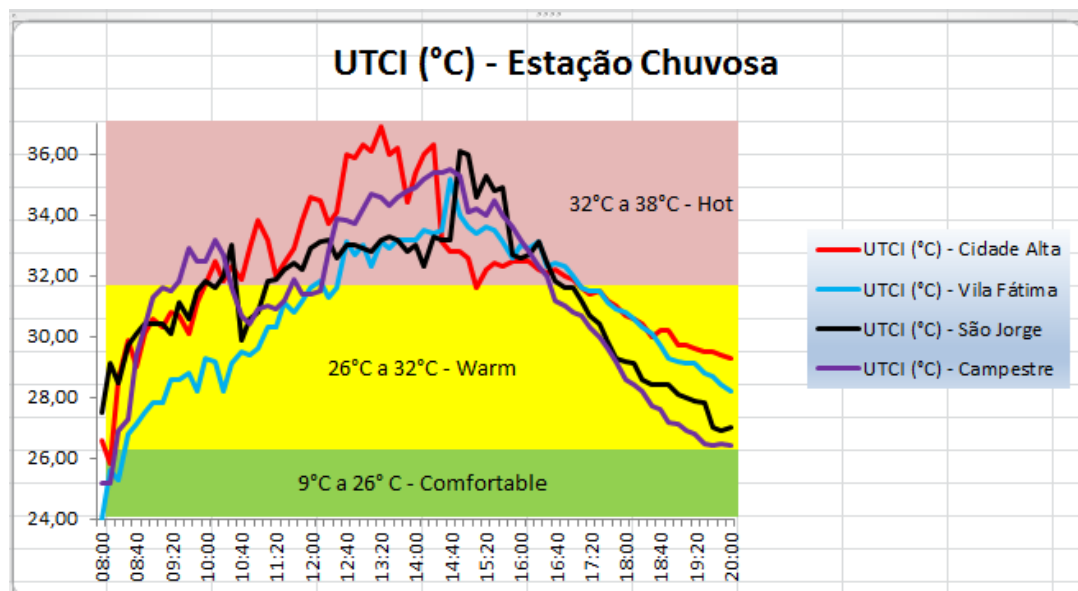


Figura 46: Índice UTCI gerado pelo software RayMan para a estação chuvosa para os quatro bairros analisados

Ao analisarmos a Figura 46, constata-se que a Vila Fátima e o Campestre foram os únicos bairros que na estação chuvosa conseguiram ter a escala de neutralidade térmica segundo os valores de sensação térmica do índice de conforto UTCI, isto ocorreu das 08h00 até às 08h20 (09°C – 26°C). De modo geral, o comportamento dos valores de UTCI gerados pelo RayMan foram análogos ao de PET, ambos têm alta correlação que será demonstrado na próxima seção. Se formos considerar a quantidade de horas em desconforto térmico de acordo com a escala de sensação térmica do UTCI, a Cidade Alta fica com 07h10 de desconforto (10h00 até as 17h10), Vila Fátima com 04h40 de desconforto (12h30 até as 17h10), São Jorge fica com 05h30 de desconforto (10h40 até as 16h10) e Campestre com 04h00 de desconforto (12h20 até 16h20). Conclui-se, portanto, que os bairros mais arborizados, Vila Fátima e Campestre, são os que têm a maior faixa de neutralidade térmica e são os que passam as menores horas de calor do dia.

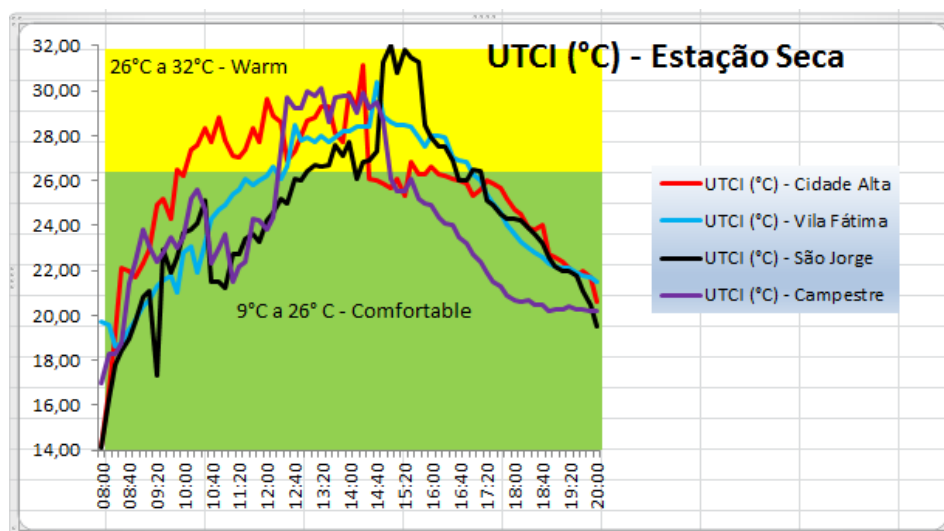


Figura 47: Índice UTCI gerado pelo software RayMan para a estação seca para os quatro bairros analisados

Ao analisarmos a Figura 45, diferentemente do que se vê na Figura 36 no gráfico de PET para a estação seca, os valores de UTCI não tiveram uma faixa de pouco frio e frio no dia (02/07/2016), isto se deve ao fato de ser um índice universal e da mesma forma como o PET foi calibrado, é necessária uma calibração desse índice para a realidade local de estudo.

Se formos considerar a quantidade de horas em desconforto térmico de acordo com a escala de sensação térmica do UTCI, Cidade Alta fica com 08h10 de desconforto (09h30 até as 17h40), Vila Fátima com 06h30 de desconforto (11h00 até as 17h30), São Jorge fica com 04h10 de desconforto (12h40 até as 16h50) e Campestre com 02h40 de desconforto (12h20 até 15h00). Conclui-se, portanto, que o Campestre foi o bairro com maior neutralidade térmica e a Cidade Alta foi o local mais desconfortável.

4.7.3 Correlação entre UTCI e PET

É relevante ressaltar que os dois índices PET e UTCI foram verificados quanto à correlação de Pearson (forte correlação) e mostraram-se semelhantes com coerência e concordância, indicando que tanto o PET quanto o UTCI são equivalentes para a avaliação do conforto térmico das regiões estudadas (Tabela 15).

Tabela 15: Resultado da análise estatística para a correlação entre PET e UTCI nos quatro bairros nas estações chuvosa e seca

Correlação entre PET e UTCI		
Bairro	Estação Chuvosa	Estação Seca
Cidade Alta	r = 0,98	r = 0,92
Vila Fátima	r = 0,92	r = 0,90
São Jorge	r = 0,94	r = 0,95
Campestre	r = 0,96	r = 0,90

Apesar do índice PET e UTCI terem sido desenvolvidos para ambientes externos, houve forte correlação acima de ($r=0,90$), outra consideração a ser feita é a necessidade de se calibrá-los para a realidade de cada região a ser avaliada, principalmente no Brasil, por ser um país com grandes diferenças climáticas em sua extensão geográfica. Nesse sentido, são necessários mais estudos para que se possa melhor avaliar a situação de conforto em ambientes externos. Dobbert (2015), também correlacionou dois índices de conforto para quatro bairros de Campinas/SP e também obteve forte correlação entre os índices PET e PMV, embora o PMV seja um índice desenvolvido para ambientes internos.

Em relação à aplicação dos índices UTCI e PET, ambos se comportaram de forma semelhante, aconselha-se que uma calibração desses índices para o Brasil se faz necessária ou, até mesmo, um índice de ajuste que possa aproximar a sensação predita da real sensação de conforto. Entretanto, devido à grande diversidade regional, cultural, morfológica e climática existente nesse país há que se considerar as idiossincrasias de cada população a fim de se estabelecerem diferentes parâmetros para análise de conforto térmico.

A complexidade da avaliação do conforto térmico, por não ser puramente fisiológica, reforça a necessidade de se observar as peculiaridades de cada região a ser avaliada e verificar a origem do entrevistado, bem como o tempo de moradia no local. Além disso, deve-se considerar o clo (resistência térmica da vestimenta) e o met (taxa de metabolismo) para cada indivíduo em particular, na tentativa de aproximar o valor de conforto calculado com a sensação relatada pelos entrevistados.

O modelo RayMan, utilizado para o cálculo do UTCI e PET neste estudo, considera valores pré fixados

para clo e met, desconsiderando as particularidades de cada indivíduo, fato que pode ter influenciado nos resultados obtidos, assim como concluiu Dobbert (2015). Além disso, mais experimentos devem ser realizados a fim de se adequar os índices de conforto térmico utilizados à realidade de cada região ou área estudada, podendo, assim, avaliar o conforto térmico no meio urbano de forma mais eficaz, dando subsídios para diretrizes de planejamento urbano e ações por meio de políticas públicas.

4.8 Questionários

4.8.1 Percepção dos usuários sobre o conforto ambiental

A percepção ambiental consiste na consciência das sensações decorrentes da interação entre o homem e o espaço. Ela ocorre de maneira individualizada, visto que depende de experiências anteriores relacionadas às informações sensoriais, bem como à memória e à cultura.

Nesse sentido, a percepção do microclima varia de acordo com as experiências climáticas já vividas pelo indivíduo e ocorre comparando-se o presente (espaço e tempo em que o corpo está presente) ao passado (mesmo espaço, porém em um tempo anterior) e a outros espaços (o aqui e o ali). Um encadeamento de perguntas pode conduzir o entrevistado a um processo dedutivo, conscientizando-o sobre a percepção do corpo em relação ao ambiente no momento presente, de maneira que os resultados de pesquisas em conforto térmico e sensação térmica sejam consistentes, minimizando a influência de fatores psicológicos.

4.8.2 Perfil dos usuários

Segundo Giralt (2006) a idade e o gênero dos indivíduos influenciam diretamente na preferência térmica, pois pessoas do gênero feminino possuem uma taxa metabólica mais lenta que as do gênero masculino; assim, as temperaturas ideais para mulheres geralmente apresentam-se 1°C acima das temperaturas ideais para homens.

Na relação idade e gênero verifica-se que o metabolismo de uma pessoa idosa é mais lento que o de uma pessoa jovem e, portanto, as pessoas mais velhas preferem temperaturas mais elevadas, e as mulheres durante o período de climatério tem preferência por temperaturas mais baixas.

Nesta pesquisa foram aplicados 120 questionários no total do estudo, 60 por estação, sendo que houve 15 pessoas envolvidas de quatro residências diferentes, no período das 08h00, 12h00, 15h00 e 18h00, com os mesmos residentes, simultaneamente à coleta das variáveis climáticas.

O questionário foi dividido em duas partes: a primeira contendo aspectos de identificação dos entrevistados, tais como: idade, gênero, grau de escolaridade, peso, vestimenta, tipo de atividade realizada momentos antes da entrevista; e a segunda, contendo dados referentes às sensações térmicas e percepções no tocante à arborização urbana e ao clima urbano. Por residência foram aplicados: 16 questionários na Cidade Alta, 40 no Campestre, 24 na Vila Fátima e 40 no São Jorge para as duas estações envolvidas.

4.8.3 Características gerais

Dos 15 entrevistados, 05 eram homens (33%) e 10 mulheres (67%). Dentro dos grupos entrevistados, verificou-se uma gama diversa quanto às faixas etárias em que a idade dos usuários variou dos 18 chegando até aos

80 anos de idade, como pode ser observado na Figura 49.

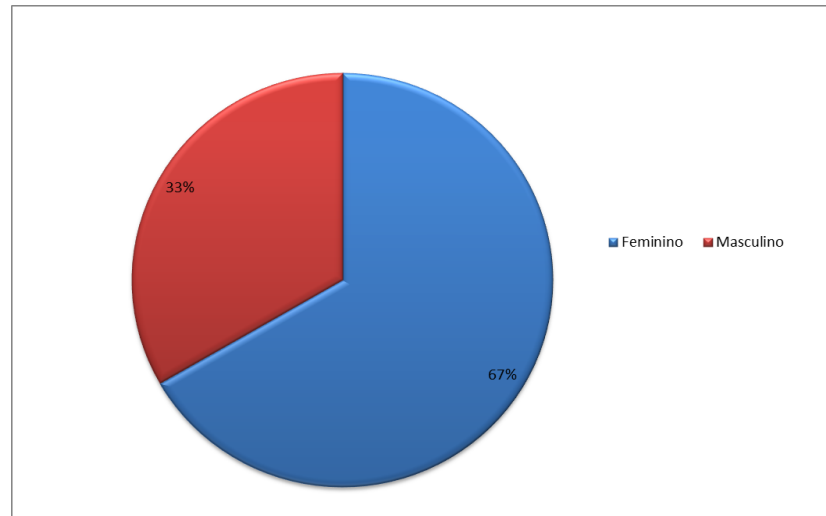


Figura 48: Distribuição do gênero entre os entrevistados

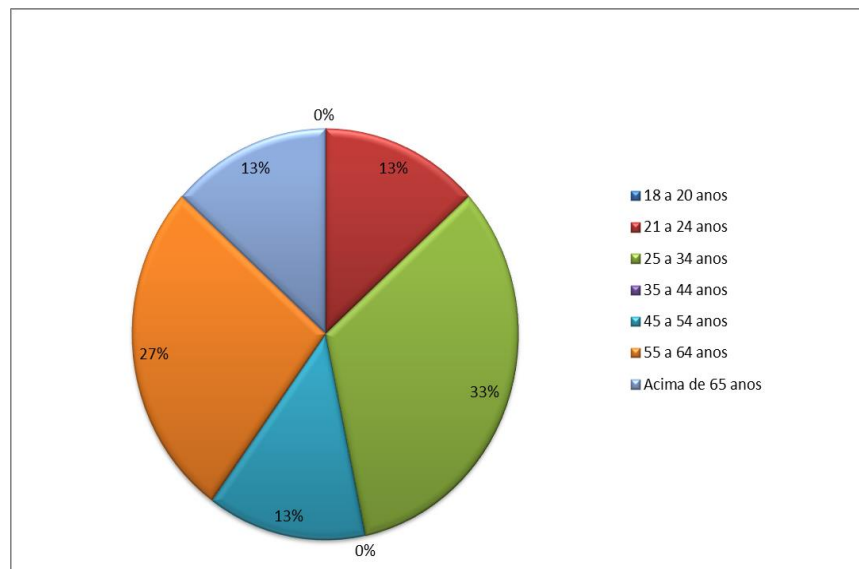


Figura 49: Distribuição da faixa etária dos entrevistados no geral

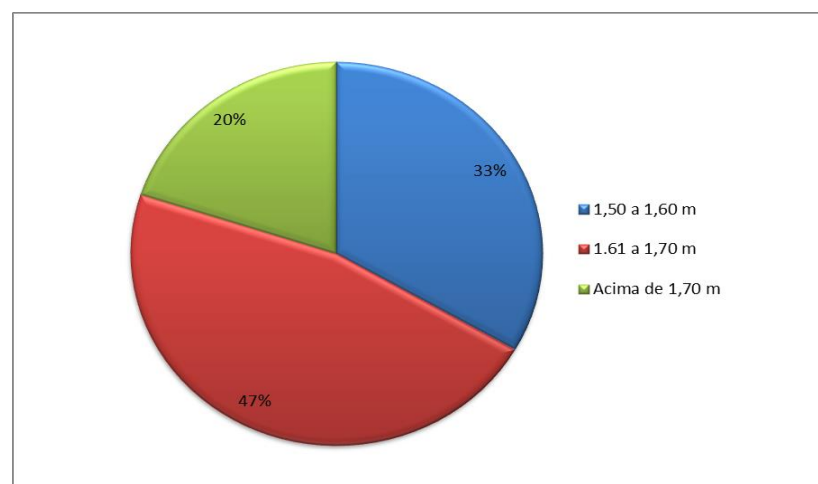


Figura 50: Distribuição da altura dos entrevistados (em metros)

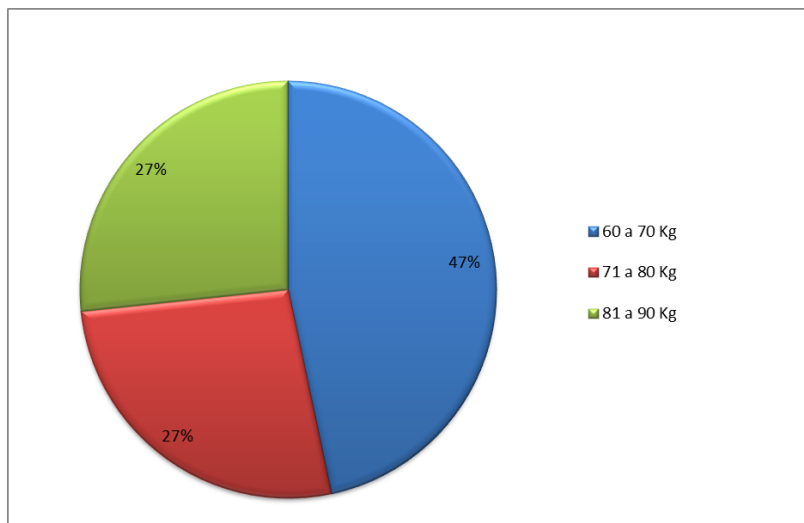


Figura 51: Distribuição da altura dos entrevistados (em metros)

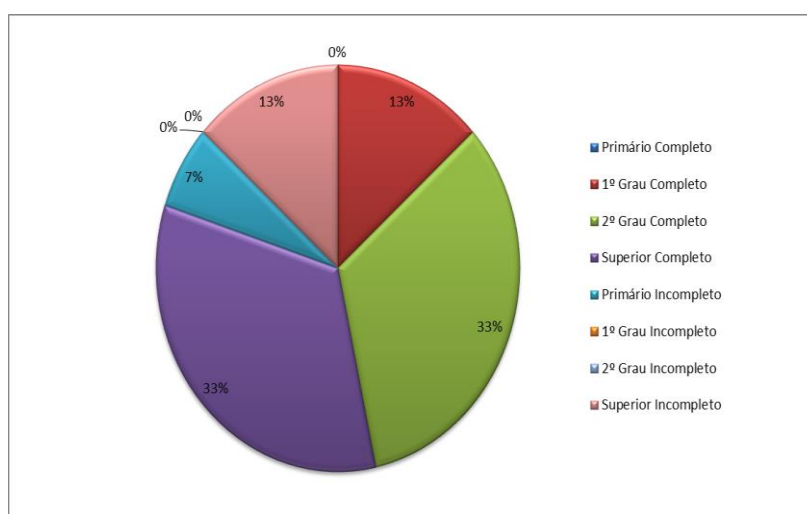


Figura 52: Distribuição do grau de escolaridade dos entrevistados

4.8.4 Sensação Térmica

Os dados de sensação térmica foram analisados para cada tempo e bairros diferentes. A Figura 53 mostra a sensação térmica relatada pelos pedestres durante a estação chuvosa e seca, em cada um dos bairros (Cidade Alta, Vila Fátima, São Jorge e Campestre).

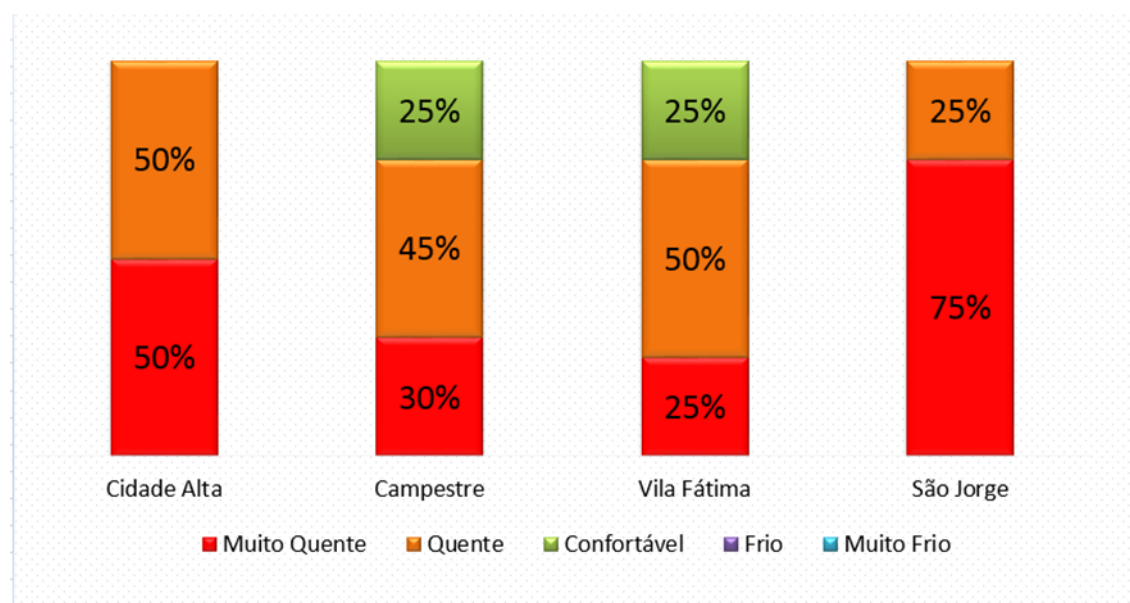


Figura 53: Sensação térmica relatada pelos entrevistados na estação chuvosa

Como já esperado, as respostas de desconforto “Quente ou Muito Quente” dos entrevistados estavam em sua maioria relacionadas à condição de exposição solar (Figura 53) corroborando com trabalhos de Nagara Shimoda e Mizuno (1996), Pezutto (2007) e Silva (2012). Indivíduos que responderam o questionário a pleno sol disseram estar desconfortáveis em relação ao clima, diferente dos entrevistados submetidos ao questionário à sombra. Já a maioria das respostas “Quente ou Muito quente” dos entrevistados submetidos ao questionário na sombra, estava relacionada ao período do dia onde a carga térmica é maior, entre 11h00 e 03h00. Constata-se, portanto, que os entrevistados dos bairros Campestres e Vila Fátima foram os únicos que relataram que em algum momento se sentiram confortáveis em relação ao clima durante o dia de coleta e foram os que entrevistados que relataram as menores porcentagens de “Muito Quente” e “Quente”. Os entrevistados dos bairros São Jorge e Cidade Alta em nenhum momento na estação chuvosa relataram algum momento de conforto mesmo em condições de sombra, sendo que no bairro São Jorge 75% das respostas foi de o clima naquele momento estar “Muito Quente”.

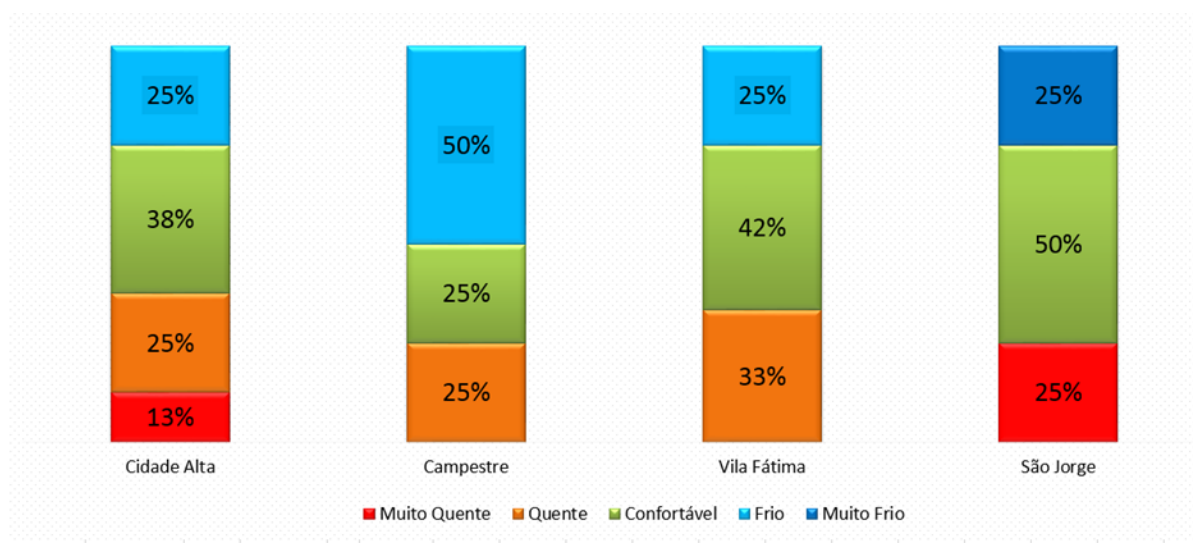


Figura 54: Sensação térmica relatada pelos entrevistados na estação seca nos quatro bairros de estudo

Na estação seca analisada constatou-se, por meio das entrevistas, que houve maior relato de conforto em todos os bairros, isto se deve, em grande parte, às condições climáticas da estação seca no Sudeste do Brasil ser mais amena com dias de menor incidência solar. Embora os entrevistados tenham relatado sensação de conforto, a Cidade Alta e o São Jorge foram os únicos bairros que apresentaram condições térmicas “Muito Quente” identificadas nos horários de maior incidência solar (11h00 até as 15h00). Outro fato curioso é que o Bairro São Jorge foi o único também em que os entrevistados relataram condições de “Muito Frio” nas primeiras horas do dia (08h00 até às 09h30), já que a ausência de vegetação explica a maior incidência de ventos o que faz com que a sensação térmica seja mais intensa do que em áreas vegetadas.

A sensação relatada pelo residente foi transformada numa escala de 07 pontos (-3 a +3) em que vai de “Muito Frio” até “Muito Quente” e os valores foram comparados com os resultados dos índices UTCI e PET gerados e calculados pelo software RayMan. Nas Figuras 46 e 47, os coeficientes de correlação entre eles são mostrados ($R^2 = 0,8209$) para UTCI e ($R^2 = 0,8429$) para PET, bem como as equações. Em Martini (2013), Baptista (2013) e Dobbert (2015) o coeficiente de correlação R^2 da sensação relatada pelos entrevistados com o conforto calculado foi igual a **0,43**, **0,41** e **0,42** (PMV), **0,42** (PET), respectivamente, evidenciando uma fraca correlação entre os mesmos, muitas vezes não havendo equivalência entre o conforto calculado e o relatado pelos entrevistados.

A justificativa dos valores de R^2 encontrados nesta pesquisa terem dado maior correlação do que nas pesquisas citadas acima, deve-se, em partes, ao fato dos questionários terem sido aplicados com os próprios residentes daqueles locais analisados e terem sido mais de uma vez ao dia o que justifica maior correlação com a sensação térmica relatada com os índices de conforto calculados.

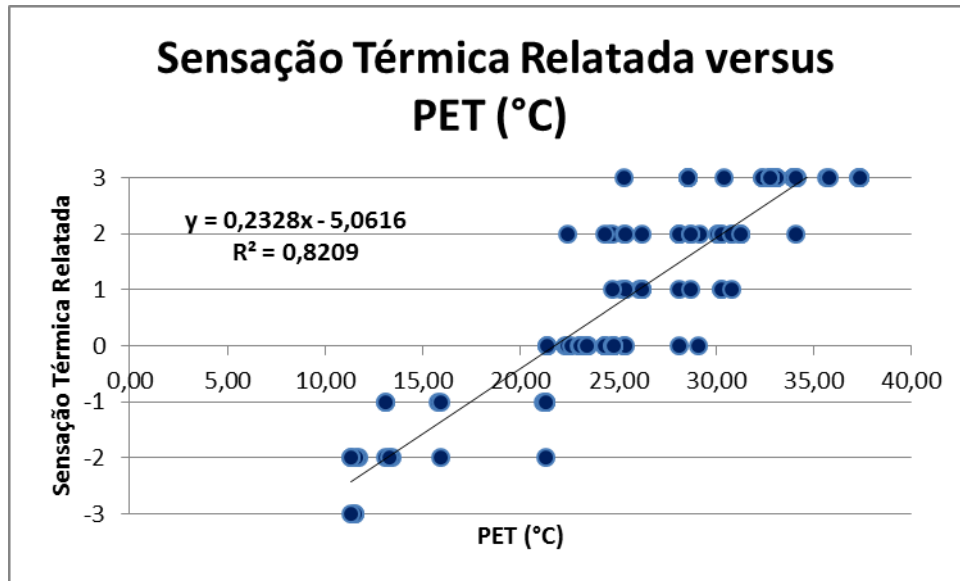


Figura 55: Correlação da Sensação Térmica Relatada versus PET (°C)

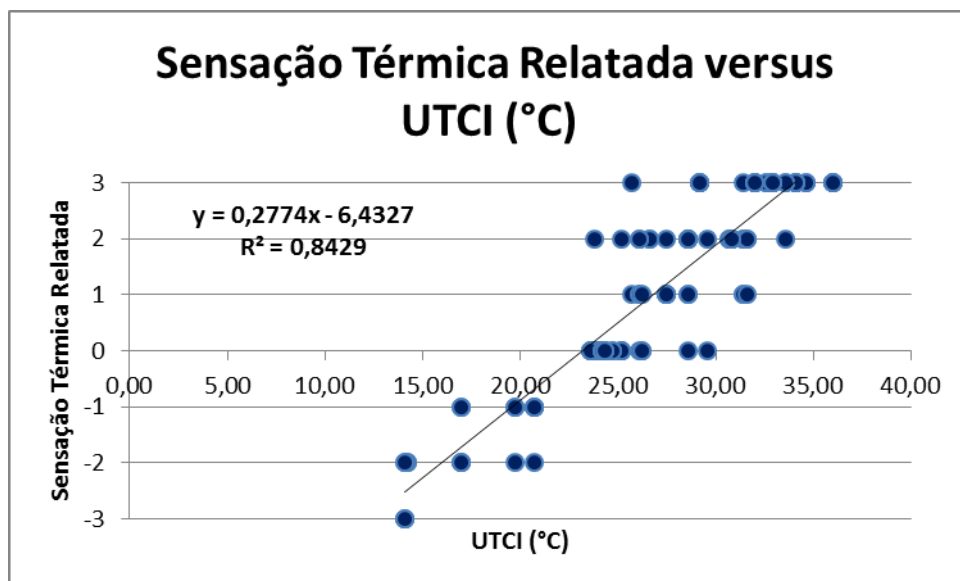


Figura 56: Correlação da Sensação Térmica Relatada versus UTCI (°C)

Na questão “Você está se sentindo confortável em relação ao clima neste momento?” 60% dos entrevistados relataram momentos de desconforto.

Os residentes percebem as áreas verdes como locais confortáveis, agradáveis, o que é atribuído à presença da natureza. No entanto, notam problemas relacionados à falta de árvores na cidade e ao desconforto de áreas vegetadas. O microclima específico de bairros mais arborizados, o ar fresco e a percepção de ar puro foram citados e podem ser relacionados ao conforto ambiental.

O significado de áreas urbanas arborizadas para os residentes está relacionado à conservação da natureza e à possibilidade de entrar em contato com ela, encontrando nesses espaços oportunidades para lazer, recreação,

prática de atividades físicas e sociabilidade em ambientes familiares, cujos frequentadores, em geral, se conhecem e têm amizade, já que são moradores do mesmo bairro.

O microclima propiciado pela arborização urbana bem distribuída pela cidade é percebido positivamente pelos usuários, que valorizam o ar puro, o sombreamento e o ar fresco, contrapondo-se com os espaços públicos urbanos (onde há congestionamentos de veículos, poluição do ar, calor, alta taxa de radiação, poluição sonora, etc.). Por outro lado, essas áreas mais arborizadas são também lugar do medo e traz certa insegurança, principalmente à noite, pela baixa permeabilidade visual e presença eventual de pessoas marginalizadas. Fatores positivos como saúde, bem-estar e estética foram associados à arborização, sendo reconhecidos também alguns fatores negativos como queda de árvores, sujeira de folhas, danos na calçada e na rede elétrica, além da redução da segurança por diminuir a visibilidade no local.

Os entrevistados reconhecem problemas tais como a insegurança causada pela presença de estranhos, baixa densidade de usuários, ausência de programas do governo que incentivem a prática de esportes e recreação, falta de manutenção e conservação física dos espaços e dos equipamentos comunitários, e apontam que o desconforto ambiental urbano poderia ser atenuado com ações voltadas à preservação ambiental, tais como: arborização urbana da cidade de Piracicaba/SP, despoluição do Rio Piracicaba, criação de áreas verdes e parques e a criação de incentivos na redução do IPTU com o plantio de árvores dentro de áreas residenciais/privadas.

4.9 Imagens Termográficas

Esta parte do trabalho centrou-se na temperatura superficial do solo das residências estudadas. As análises das imagens termográficas obtidas teve uma avaliação quantitativa da temperatura superficial do solo para três horários de interesse: 09h00, 12h00 e 15h00.

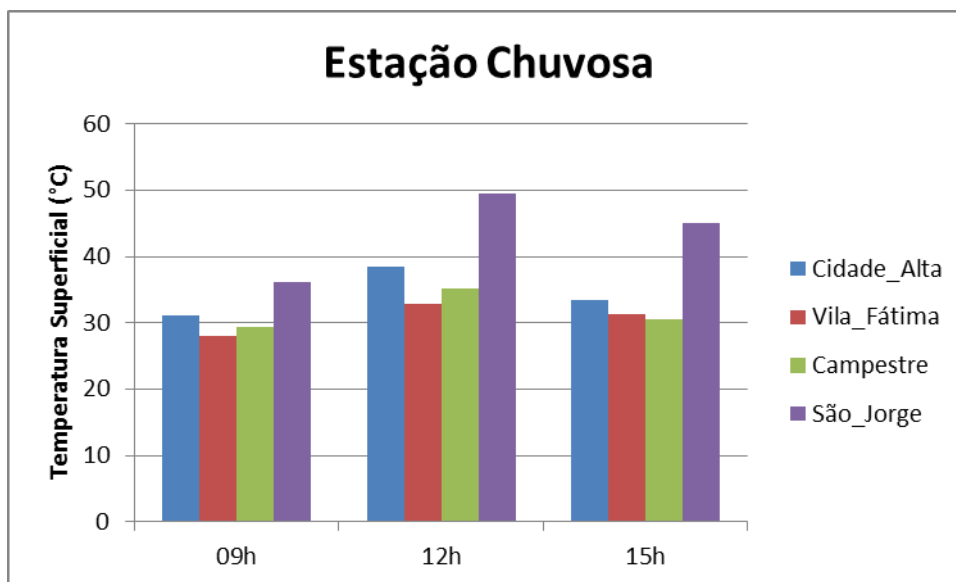


Figura 57: Média da temperatura superficial do asfalto nos bairros em estudo durante a estação chuvosa

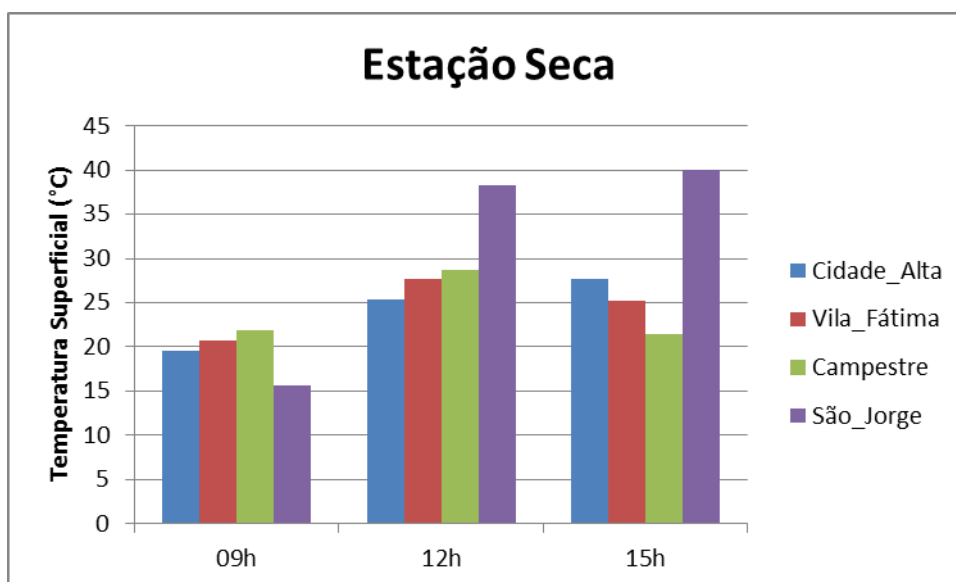


Figura 58: Média da temperatura superficial do asfalto nos bairros em estudo durante a estação seca

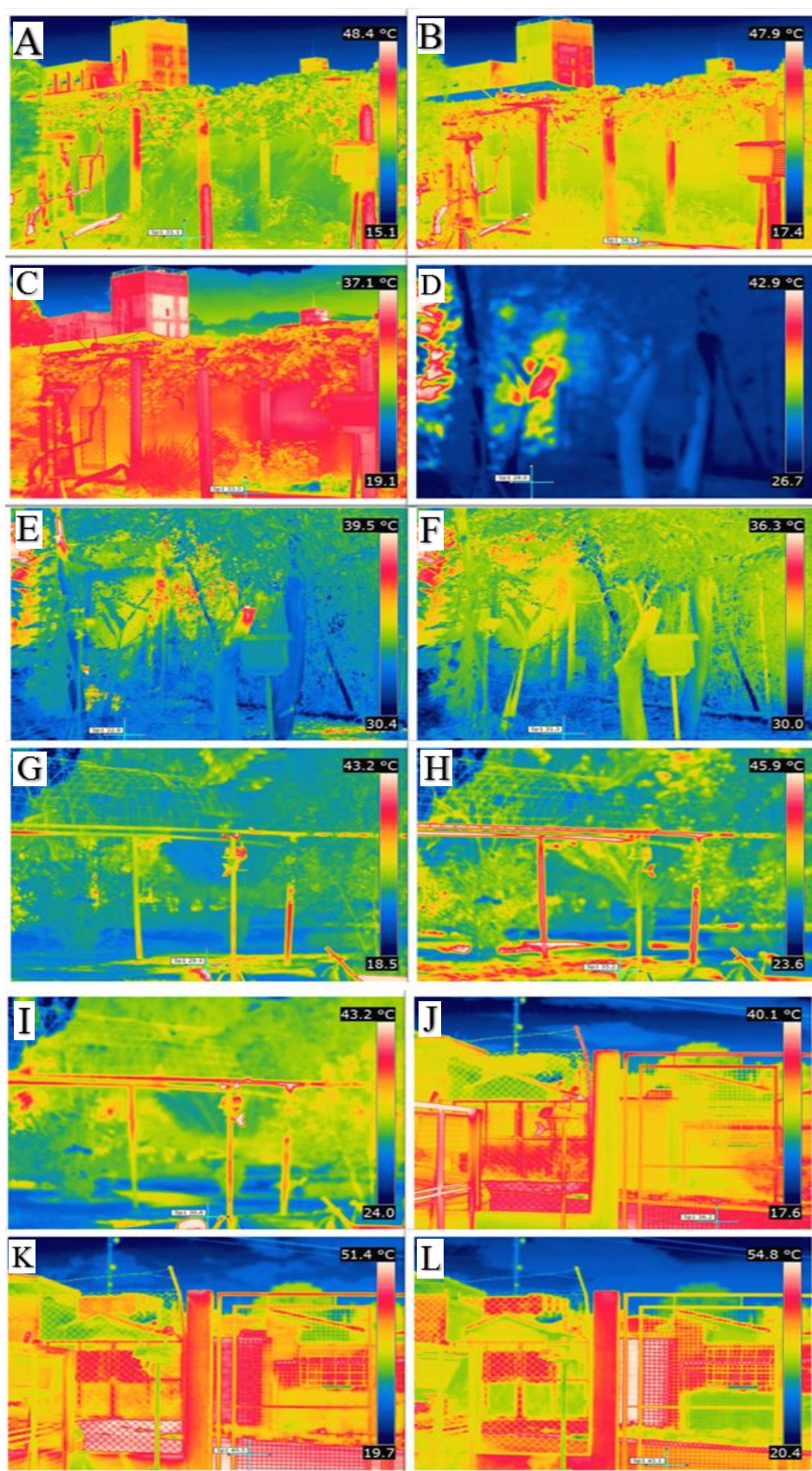


Figura 59: Estação Chuvosa: estão representados os quatro bairros do estudo, na sequência de Cidade Alta, Vila Fátima, Campestre e São Jorge, com três fotos de cada, tiradas nos horários das 09h00, 12h00 e 15h00. As letras A D G J representam o horário das 09h00; as letras B E H K representam o horário das 12h00; e as letras C F I L representam o horário das 15h00. Assim como as letras A B C representam o bairro Cidade Alta; as letras D E F representam o bairro Vila Fátima; as letras G H I representam o bairro Campestre; e as letras J K L representam o bairro São Jorge. Data: 08/04/2016

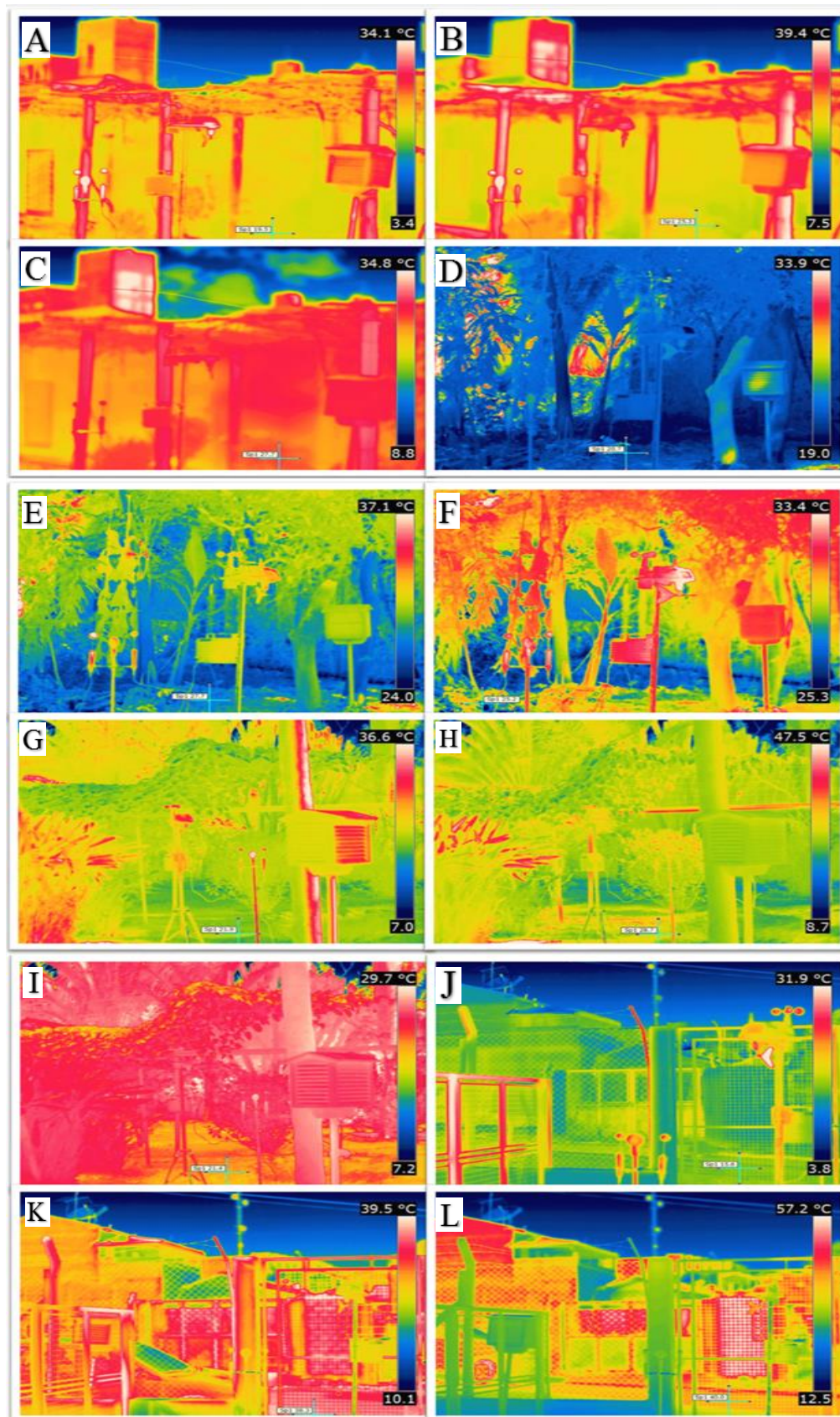


Figura 60: Estação Seca: estão representados os quatro bairros do estudo, na sequência de Cidade Alta, Vila Fátima, Campestre e São Jorge, com três fotos de cada, tiradas nos horários das 09h00, 12h00 e 15h00. As letras A D G J representam o horário das 09h00; as letras B E H K representam o horário das 12h00; e as letras C F I L representam o horário das 15h00. Assim como as letras A B C representam o bairro Cidade Alta; as letras D E F representam o bairro Vila Fátima; as letras G H I representam o bairro Campestre; e as letras J K L representam o bairro São Jorge. Data: 02/07/2016

A temperatura superficial é um fator importante que influencia diretamente as características do microclima e consequentemente o conforto térmico humano. A temperatura da superfície do solo foi analisada para as estações chuvosa e seca em três momentos diferentes.

As imagens processadas no software FLIR Quick Report, versão 1.2, mostraram a diferença entre a temperatura superficial do asfalto para os quatro bairros em estudo.

Tabela 16: Resultado dos valores da Temperatura Média do Asfalto ($^{\circ}\text{C}$) para os quatro bairros de estudo durante as estações chuvosa e seca

Bairros	Estação Chuvosa			Estação Seca		
	Média (Tar) Asfalto			Média (Tar) Asfalto		
	09h00	12h00	15h00	09h00	12h00	15h00
Cidade Alta	31,10	38,50	33,50	19,50	25,30	27,70
Vila Fátima	28,00	32,90	31,30	20,70	27,70	25,20
Campestre	29,40	35,20	30,60	21,90	28,70	21,40
São Jorge	36,20	49,50	45,10	15,60	38,30	40,00

Ao analisarmos a Tabela 16, constata-se que na estação chuvosa os bairros Cidade Alta e São Jorge foram os que lideraram em temperaturas médias do asfalto. Às 12h00 o São Jorge chega a $49,50^{\circ}\text{C}$ de temperatura superficial, cerca de 20°C acima da representada no Vila Fátima no mesmo horário ($32,90^{\circ}\text{C}$). Pode-se notar que a maior diferença entre as temperaturas de superfície do asfalto ocorre às 12h00, devido ao alto nível de radiação incidente a essa superfície. A Figura 59 (B E H K) ilustra este efeito, onde podemos ver mais vermelho e branco na imagem (59 K) do que na imagem (59 E e H). Como se pode constatar, as temperaturas superficiais do solo, quando em superfícies pouco vegetadas, podem passar facilmente dos 50°C nas estações mais quentes do ano, mas quando sombreadas por árvores, caem cerca de 30%. Na estação seca, com menor incidência de radiação direta sobre as superfícies, pode-se depreender que na hora mais fria do dia, às 09h00 para o referido estudo com relação à essa variável em análise, os bairros São Jorge e Cidade Alta apresentaram os menores valores de temperatura superficial do asfalto com, $15,60^{\circ}\text{C}$ e $19,50^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Isto se explica pelo fato de superfícies impermeabilizadas resfriarem drasticamente em condições mais frias e esquentarem excessivamente em condições de alta incidência de radiação sobre elas.

De modo geral, tanto na estação chuvosa quanto seca, constata-se que a Vila Fátima e Campestre são os bairros que representaram menores temperaturas superficiais do solo corroborando, por assim dizer, que essas áreas são mais confortáveis termicamente se comparadas com Cidade Alta e São Jorge.

5. CONCLUSÕES

Áreas arborizadas nas cidades proporcionam em microclimas mais agradáveis, com menores valores de temperatura e maiores valores de umidade relativa, permitindo com que os usuários sintam mais horas de conforto. Em relação às hipóteses iniciais da pesquisa, foi possível verificar o conforto higrotérmico diferenciado nos diferentes pontos analisados em decorrência dos materiais presentes no uso e ocupação do solo das áreas de influências (buffers) de cada ponto; somado a isso, constatou-se que com um incremento de aproximadamente 10% de cobertura arbórea na área urbana do município de Piracicaba/SP é possível diminuir de 0,5 a 1,0°C na temperatura média do ar dependendo da estação climática analisada.

O benefício microclimático proporcionado por áreas com presença de vegetação foi observado tanto para os dados microclimáticos quanto para os dados de conforto ambiental urbano, coletados pela estação meteorológica Davis Vantage Vu.

Foram obtidos os valores do Índice de Floresta Urbana (IFU) para os bairros estudados e constatou-se que a Vila Fátima e Campestre foram os que apresentaram maiores (IFU)s se comparados com a Cidade Alta e o São Jorge, corroborando, por assim dizer, no maior conforto dessas áreas e indicando o IFU como um índice que tem uma grande representatividade da realidade local de estudo, pois melhor representa as classes de cobertura do solo por abrangê-las totalmente.

Verificou-se maior correlação dos dados microclimáticos dos 43 pontos com o uso e ocupação do solo para buffers de 20 metros na Estação Chuvosa e buffers de 500 metros na Estação Seca. Sendo assim, as correlações das equações de regressão geradas pelos modelos serviram para afirmar que aproximadamente 57% do valor da temperatura média urbana foi explicado pela quantidade de cobertura arbórea na estação chuvosa e 60% do valor da temperatura média urbana foi explicado pela quantidade de cobertura arbórea na estação seca.

A equação de regressão gerada pelos modelos apresentados permite afirmar que para diminuir 1°C da temperatura média urbana é necessário acrescentar 14,31% de cobertura arbórea na estação seca e 27,70% na estação chuvosa no município de Piracicaba/SP.

A análise do comportamento periódico da temperatura e umidade relativa para os quatro bairros analisados permitiu verificar que as diferenças entre os bairros foram mais acentuadas durante o dia e menos expressiva à noite. Durante o dia, a Cidade Alta e São Jorge apresentaram maiores valores de temperatura e menores valores de umidade relativa, em contrapartida, a Vila Fátima e o Campestre foram os bairros que apresentaram menores valores de temperatura e maiores valores de umidade relativa para ambas as estações.

A correlação entre os índices de conforto térmico (UTCI e PET) e a sensação térmica relatada pelos entrevistados foi bem significativa, com R^2 acima de 0,80 para ambos os índices, indicando que estudos que monitorem a sensação térmica relatada do mesmo entrevistado continuamente permitem com se tenham melhores respostas que sejam mais condizentes com os valores dos índices calculados.

É relevante ressaltar que os dois índices PET e UTCI foram verificados quanto à correlação de Pearson (forte correlação) e mostraram-se semelhantes com coerência e concordância, R^2 acima de 0,90, indicando que tanto o PET quanto o UTCI são equivalentes para a avaliação do conforto térmico das regiões estudadas.

Nos resultados dos gráficos de PET e UTCI com a escala térmica ilustrada, constata-se que os bairros mais arborizados são os que têm a maior faixa de neutralidade e de pouco calor e são os que passam as menores horas de calor do dia.

Ressalta-se que o município de Piracicaba/SP ainda não possui uma calibração para os valores do índice de conforto PET, o que foi feito neste trabalho foi utilizar a calibração realizada por Monteiro (2008) para a cidade de São Paulo (2008) e aplicar aos dados de PET calculados pelo RayMan para a realidade piracicabana. Salienta-se, também, que o UTCI deveria ter uma calibração, assim como foi realizado com o PET, pois as faixas térmicas seriam mais condizentes com a realidade local do estudo.

A percepção do residente das diferentes áreas de estudo confirmou os benefícios proporcionados pela arborização urbana, principalmente no que se refere ao conforto térmico. Fatores positivos como saúde, bem-estar e estética foram associados à arborização, sendo reconhecidos também alguns fatores negativos como queda de árvores, sujeira de folhas, danos na calçada e na rede elétrica, além da redução da segurança por diminuir a visibilidade no local.

A temperatura de superfície assim como a exposição solar e o período do dia influenciam diretamente no conforto relatado pelos entrevistados. Quando entrevistados em local sombreado e nas horas menos críticas do dia a maioria das pessoas relatou estar confortável.

Como resultado final desta pesquisa, os modelos estatísticos gerados permitiram responder uma resposta ainda inexistente: a quantidade de árvores necessária para diminuir o calor excessivo em determinada área urbana, algo altamente desejável em tempos de alterações climáticas e com cidades em crise de abastecimento de água e energia elétrica.

Neste contexto, desenvolver pesquisas para entender as questões referentes à influência da cobertura arbórea na atenuação do clima das cidades e no conforto humano da população é visto atualmente como fundamental, pois estas informações podem ser utilizadas como métodos de avaliação do conforto térmico, dando como resposta a quantidade de árvores necessária para diminuir a média de temperatura na área urbana e auxiliar profissionais no planejamento e readequação das cidades diante aos problemas ambientais, a fim de proporcionar maior conforto ambiental urbano para a população e inspecionar e avaliar a situação da arborização urbana nas cidades brasileiras.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. V.; LABAKI, L. C.; Evaluation of direct and indirect effects of different arboreal species on microclimate. In: International Conference On Passive And Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, BE. Proceedings... Louvain-la-Neuve, 2011, p. 195-199.
- ALCOFORADO, M.J. O clima da região de Lisboa. 1992. 347 p. Tese (Livre-Docência–Universidade de Lisboa, Lisboa, 1992.
- AMORIM, R. P.; LEDER, S. M. Análise da magnitude da influência climática de um remanescente de Mata Atlântica sobre o seu entorno urbanizado em clima quente-úmido: estudo de caso em João Pessoa-PB. Cadernos PROARQ, Rio de Janeiro, v.18. p. 86-103, 2012.
- ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Disponível em: <<https://www.ashrae.org>>. Acesso em: 14 Nov. 2014.
- AYRES, M.C.R.; TARGA, L.A.; PEIXOTO, P.P.P. Influência do Sombreamento Natural de Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) na temperatura de edificações. Energia Agrícola.Botucatu, v.20, n.1,p. 62-76, 2005.
- BAPTISTA, Mariana Dias. Use of different street trees species and their effect on human thermal comfort. 2014. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. doi:10.11606/D.11.2014.tde-10112014-092618. Acesso em: 2016-11-08..
- BARBOSA, R. P.; PORTELA, M. G. T.; MACHADO, R. R. B. SÁ, A. S. Arborização da Avenida Deputado Ulisses Guimarães, bairro Promorar, Zona Sul de Teresina – PI. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba, v. 10, n. 2, p. 78-89, 2015.
- BARRETO, A.G.O.P.; SPAROVEK, G.; GIANNOTTI, M. Atlas Rural de Piracicaba. Instituto de Pesquisas Florestais (IPEF). 2006. 75p.
Disponível em: http://www.ipef.br/publicacoes/atlasrural/Atlas_Rural_de_Piracicaba_2006.pdf. Acesso em: 06 fev.2016.
- BARTHOLOMEI, C. L .B. Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído. 255 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- BARTHOLOMEI, C. L. B; LABAKI, L. C. Environmental parameters and thermal comfort provided by different tree species. In.: 19th. International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2002. France. Anais...France, 2002. p. 341-344.
- BASE DE DADOS DA ESTAÇÃO AUTOMÁTICA – Posto Meteorológico de Piracicaba, SP – Planilha 2013. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/postoaut.html>. Acesso em: 30 de junho de 2015.
- BASSO, J. M.; CORRÊA, R. S. Arborização urbana e qualificação da paisagem. Paisagem e Ambiente, São Paulo, n. 34, p. 129-148, 2014.2015
- BOLETIM ESALQ NET – INFORMATIVO ELETRÔNICO INTERNO – Piracicaba tem janeiro mais quente desde 1917. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/boletim/node/117>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2016.
- BRÖDE, P.; JENDRITZKY, G.; FIALA, D.; HAVENITH, G. The Universal Thermal Climate Index UTCI in operational use. In: ADAPTING TO CHANGE: NEW THINKING ON COMFORT, 2010, Windsor/UK. Proceedings... London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, 2010. Não paginado.

- BROWN, M., GRIMMOND, S. ; RATTI, C. Comparison of methodologies for computing sky view factors in urban environments. Internal Report Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 66p.2001.
- BROWN, R.D; GILLESPIE, T. Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model. *International Journal of Biometeorology* v.30, n.1, p.43–52, 1986.
- BROWN, R.D.; GILLESPIE, T.J. *Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency*.Canada: John Wiley & Sons, Inc., 193p. 1995.
- BROWN, R. D.; VANOS, J.; KENNY, N.; LENZHOLZER, S. Designing urban parks that ameliorate the effects of climate change. *Landscape and Urban Planning, Amsterdã*, v. 138, p. 118-131, 2015.
- BUENO-BARTHOLOMEI, C.L. A influência da vegetação no conforto térmico urbano no ambiente construído. 2003. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- CAMPBELL, G.S.; NORMAN, J.M. *An introduction to Environmental Biophysics*. 2ª ed. Nova York: Springer-Verlag New York, Inc, 1998. 286p.
- CEPAGRI – CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/>. Acesso em: 20 de outubro de 2015.
- CHANG, C.; LI, M.; CHANG, S. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning, Amsterdã*, v. 80, p. 386-395, 2007..pr
- CHANG, C.; LI, M. Effects of urban parks on the local urban thermal environment. *Urban Forestry & Urban Greening, Amsterdã*, v. 13, p. 672-681, 2014.
- CLARK, J.R., MATHENY, N.P., CROSS G., WAKE, V. A MODEL OF URBAN FOREST SUSTAINABILITY. *Journal of Arboriculture*, v. 23, p. 17-30, 1997.
- COHEN, P.; POTCHTER, O.; MATZARAKIS, A. Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. *Building and Environment, Oxford*, v. 51, p. 285-295, 2012.
- CONTI, J.B. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: NETO, J.L.S.; ZAVATINI, J. A.(Org.). *Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas*. Maringá/PR: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2000. parte 1. p.17-28.
- COSTA, F.P da S. Evolução urbana da cobertura vegetal de Piracicaba – São Paulo (1940- 2000). 2004. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- CHOW, W. T. L.; AKBAR, S. N. A. B. A.; HENG, S. L.; ROTH, M. Assessment of Measured and perceived microclimates within a tropical urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening, Amsterdã*, v. 16, p. 62-75, 2016.
- CRUZ, G.C.F. Clima urbano de Ponta Grossa-PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira. 2009. 366p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- DOBBERT, Léa Yamaguchi. Arborização na cidade de Campinas/SP- percepção e conforto. 2015. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

- DONOVAN, G. H.; BUTRY, D. T. Trees in the city: Valuing street trees in Portland, Oregon. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdã, v. 94, n. 2, p. 77-83, 2010.
- DOUTOS, L. M.; SANTAMOURIS, L. I. Passive cooling of outdoor urban spaces: the role of materials. In.: *Solar Energy*, Número 77, 2004. p. 231-249. Acesso em: 19 de mar. 2016.
- DOW, K.; DOWNING, T. E. O atlas da mudança climática: o mapeamento completo do maior desafio do planeta. São Paulo: Publifolha, 2007.
- DRAPER, D. B.; RICHARDS, P. A. *Dictionary for Managing Trees in Urban Environments*. Collinwood-USA: CSIRO Publishing, 2009.
- DUARTE, D.; MAITELLI, G. T. Clima Urbano e Planejamento em Regiões Tropicais Continentais. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza/CE. ANTAC, 1999. CD-ROM.
- FANGER, P.O. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, London, v. 30, n. 4, p. 313-324, 1973. Disponível em: <<http://oem.bmj.com/content/30/4/313.abstract>>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- FIALA, D.; LOMAS, K. J.; STOHRER, M. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *International Journal of Biometeorology*, Ohio/USA, v. 45, n. 3, p. 143 - 159, 2001.
- FITZ, P.R. *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.
- FONTES, M. S. G. C.; DELBIN, S. A qualidade climática dos espaços públicos urbanos: um estudo de caso na cidade de Bauru - SP. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCOTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5. e 3., 2001, Águas de São Pedro/ SP. Anais... São Paulo: ANTAC, 2001. Não paginado.
- GIRALT, R. P. Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres – RS. 2006, 237 f., Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano), Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.
- GIVONI, B. *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley, 1998. 464 p.
- GOMES, M.A.S; AMORIM, M.C.C.T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 7, n.10, p. 96 - 106.
- GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Israel – a Review. *Atmospheric Environment*, Oxford, v.29, n.4, p.467-478, 1995.
- GRIMMOND, C. S. B.; Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal*, v. 173, p. 83–88, 2007.
- GRIMMOND, S. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *The Royal Geographical Society*, London, v.173, n.1, p. 83-88, 2007.
- HAMAMURA, C. Mapeamento de quintais privados por meio de sensoriamento remoto. 2013. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-12072013-164641/>>. Acesso em: 2016-02-13
- HEINL, M.; HAMMERLE, A.; TAPPEINER, U.; LEITINGER, G. Determinants of urban–rural land surface temperature differences – A landscape scale perspective. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdã, v. 134, p. 33-42, 2015.

- HOPPE, P. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, v.34. n.6, p.661-665, 2002.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (Internet: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=353870&search=sao-paulo%7Cpiracicaba,30/01/2016>) <http://cod.ibge.gov.br/61I,30/01/2016>).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Brasil_tab_1_15.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Mudança do Clima 2014 - Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade: sumário para tomadores de decisão. Tradução de: INICIATIVA VERDE. São Paulo: Iniciativa Verde, 2015. Título Original: Climate Change 2014 - Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Summary for Policymakers.
- INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY (ISB). Commission 6 for the development of a Universal Thermal Climate Index (UTCI). Genebra: ISB Commission 6, 2003. Não paginado.
- IPPLAP – INSTITUTO DE PESQUISAS E PLANEJAMENTO DE PIRACICABA. Disponível em: <http://ipplap.com.br/>. Acesso em: 13 de setembro de 2016.
- JESUS, J. B. de.; VALENÇA JUNIOR, R. R.; MELLO, A. A. de.; FERREIRA, R. A. Análise da arborização de praças do município de Nossa Senhora do Socorro – SE. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba, v. 10, n. 2, p. 61-77, 2015.
- JIM, C.Y.; LO, A. Y.; BYRNE, J. A. Charting the green and climate-adaptive city. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdã, v. 138, p. 51-53, 2015.
- KACHANOSKI, R.G.; DE JONG, E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. *Water Resources Research*, Florida, v. 24, p. 85-91, 1988.
- KENDAL, D., McDONNELL, M. J. Potential consequences for management, urban ecosystems, and the urban public: adapting urban forests to climate change. *Citygreen*, Singapura, n. 8, p. 131-137, 2014.
- KURBÁN, A.; PAPPARELLI, A.; CÚNSULO, M.; MONTILLA, E.; HERRERA C. Aporte de la forestación al control del clima urbano en zona árida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 6, n. 1, p. 43 - 48, 2002.
- LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. de P. Conforto térmico e stress térmico. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - UFSC, Florianópolis, 2002. Apostila de aula.
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, Washington, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977
- LEAL, L. A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR. 2012. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- LIMA, D. C. R.; NUNES, L. A.; SOARES, P. F. Avaliação da influência da vegetação no conforto térmico em espaços livres. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 2009, Maringá. Anais... Maringá: [s.n.], 2009. Não paginado.
- LIMA, F. K. G. M.; ROMERO, M. A. B.; Espaços Residuais Públicos: um estudo morfológico e bioclimático em bairro de renda média-baixa em Teresina. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, VII. e IV., 2005, Maceió, AL. Anais... Maceió, AL: ANTAC, 2005. (CD rom).

- LIN, T.P.; MATZARAKIS, A.; HWANG, R.L. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, Washington, v. 45, n. 1, p. 213-221, 2010.
- LOPES, P. M. O. Obtenção de regimes microclimáticos em regiões montanhosas com dados de sensores orbitais e integração de modelos distribuídos. 230 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.
- MARIOUX, P.;MALCHAIRE, J.;CANDAS,V. Prediction of mean skin temperature in warm environments. *European Journal of Applied Physiology*, Franc, vol. 56, p. 686 – 692, 1987.
- MARTINI, A. Microclima e conforto térmico proporcionado pelas árvores de rua na cidade de Curitiba, PR. 2013. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- MATZARAKIS, A, ENDLER,C. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *International Journal of Biometeorology*, Short Communication. v.54, n.4, p.479-43, 2010
- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments- application the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, Lisse, v. 51, p. 323-334, 2007.
- Meteorologia*, B. J. Retallack, INMG, 1979.
- MILLER, R.W. *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces*. 2 ed. New Jersey, Prentice Hall, 1997. 502p.
- MILLER, R.W. *Urban Forestry: planning and managing urban green space*. New Jersey: Prentice Itall, 1988.
- MOLL, G. *Urban Forestry: A National Initiative*. In: BRADLEY, G.A., (Ed.) *Urban Forest Landscapes: integrating multidisciplinary perspectives*. Seattle and London: University of Washington Press, 1995. p. 12-16.
- MONTEIRO, L.M. Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 2008. 378 p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- MONTEIRO, L.M.; ALLUCI, M. P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas: parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos. In: Encontro nacional, encontro latino americano de conforto no ambiente construído, 5, 2007, Ouro Preto. Anais. Porto Alegre: ANTAC: 2007, p. 1231 - 1240.
- NAGARA, K.; SHIMODA, Y.; MIZUNO, M. Evaluation of the thermal environment in na outdoor pedestrian space. *Atmospheric Environment*, Washington D.C., v. 30, n. 3, p. 497-505, 1996.
- NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. de Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986 - 2010). *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 113-127, 2011.
- NIKOLOPOULOU, M., STREEMERS, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, v.35, p.95-101. 2003.
- NIKOLOPOULOU, M.; LYKOUDIS, S. Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: analysis across different European countries. *Building and Environment*, Oxford, v. 41, n. 11, p. 1455-1470, 2006.
- NOWAK, J.N.; NOBLE, M.H., SISINNI, S.M.; DWYER, J.F. Peole & trees: assessing the US Urban Forest Recourse. *Journal of Forestry*, Washington D.C., v. 99, n. 3, p. 37-42, 2001.

- OCHOA DE LA TORRE, J. M. La vegetación como instrumento para el control microclimático en línea. 1999. Não paginado. Tesis (Doctor en Arquitectura) - Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, 1999.
- OKE, T.R. Boundary layer climates. London: Methuen, 1978. 372 p.
- OKE, T.R. "The distinction between canopy and boundary layer urban heat island". *Atmosphere*, 14 (1976), 268-277.
- OKE, T.R. The micrometeorology of the urban forest. *Philosophical Transactions - Royal Society of London. Series B*, London, v. 324, n. 1223, p. 335-349, 1989. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0024923709&partnerID=40&md5=efa1ca430b02b050691826bb780d8869>>. Acesso em: 14 jul. 2016.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). World urbanization prospects: 2014 revision. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>>. Acesso em: 20 abril 2016.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIE. Disponível em <<http://www.wmo.ch/index>>. Acesso em: 11 maio.2016.
- PEIXOTO, M. C.; LABAKI, L. C; SANTOS, R. F.; Conforto Térmico nas Cidades: Avaliação de Efeitos da Arborização no Controle da Radiação Solar. In: ENTAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUIDO, 1995, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro, RJ: ANTAC, 1995. p. 629-634.
- PEZUTTO, C.C. Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP. 2007. 182 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- PIVETTA, K.F.L.; SILVA FILHO, D.F. Arborização urbana. *Boletim Acadêmico: Série Arborização Urbana*. Jaboticabal: UNESP/FCAV/FUNEP, 2002. 69 p.
- POSSEBON, M. M.; DIAS, M. P. M.; FLORES, A. R. Plano de arborização urbana do município de Vila Nova do Sul/RS – primeira parte. In.: Encontro Gaúcho de Arborização Urbana, I, 1999. Pelotas. Anais... Pelotas/RS, 1999. p. 57-60.
- PÖTZELBERGER, E., WOLFSLEHNER, B., HASENAUER, H. Climate change impacts on key forest functions of the Vienna Woods. *European Journal of Forest Research*, Berlin, v.134, p. 481-496, 2015.
- PU, R.; LANDRY, S.; A comparative analysis of high spatial resolution IKONOS and WorldView-2 imagery for mapping urban tree species. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 124, p. 516–533, 2012.
- RANZANI, G. Subsídios à Geografia de Piracicaba. Piracicaba: Institutos Históricos e Geográficos de Piracicaba, 1996. 26 p.
- RASKOVIC, S.; DECKER, R. The influence of trees on the perception of urban squares. *Urban Forestry & Urban Greening*, Amsterdã, v. 14, p. 237-245, 2015.
- RUAS, A. Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho. FUNDA CENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, 1999. 97p.
- RIVERO, Roberto. *Arquitetura e Clima - Acondicionamento Térmico Natural*. 2º ed. Porto Alegre: D. C. Luzzatto, 1986. 239p.
- ROCHA, G. C.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; CRUZ, A. C. R.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espaço-temporal de propriedades físico-hídricas. Solo e Água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino. Fortaleza, CE: Departamento de Ciências do Solo, UFC, 2004. Ix, 458p.

- ROWNTREE, R.A.; McPHERSON, E.G.; NOWAK, D.J. The hole of vegetation in urban ecosystems. In: McPHERSON, E.G.; NOWAK, D.J.; ROWTREE, R.A. (Ed.) Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project, NE For. Exp. Stn., Radnor, PA, 1994. p.1-2. (USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep., NE-186).
- RUROS. Rediscovering the urban realm and open spaces. Disponível em: <<http://alpha.cres.gr/ruros>>. Acesso em: 01 mar. 2016.
- SACAMANO, P.L.; MCPHERSON, E.G.; MYHRE, J.; STANKOVICH, M.; WEIH, R.C. Describing urban forest cover: na evaluation of airborne videography. *Journal of Forestry*, Bethesda, v.93, p.43-48, 1995.
- SALDIVA, P. H. N. et al., Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environmental Research*, v.65, p.218-25, 1994.
- SCUDO, G., Thermal comfort in green spaces. In: *Green Structures and Urban Planning*, Milan, 2002. Disponível em: <<http://www.greenstructureplanning.eu/COSTC11/comfort.htm>> Acesso em 15 de janeiro de 2016.
- SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E.; TZAMIR, Y.; Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate. *Building and Environment*, v.41, p. 343-354, 2005.
- SILVA FILHO, D.F. Aplicação de videografia aérea multiespectral na avaliação de floresta urbana. 2004. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2004.
- SILVA FILHO, D. F.; BORTOLETO, S. Uso de indicadores de diversidade na definição de plano de manejo da arborização viária de Águas de São Pedro – SP. In: *Revista Árvore*, Viçosa – MG, v. 29, n. 6, 2005. p. 973-982.
- SILVA FILHO, D. F. da; PIVETTA, K. F. L.; COUTO, H. T. Z. do; POLIZEL, J. L. Indicadores de floresta urbana a partir de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 67, p. 88-100, 2005.
- SILVA, I.M. Efeitos do uso e cobertura do solo sobre o conforto higrotérmico. 2012. 171 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- SILVA, I.M.; GONZALES, L.R.; SILVA-FILHO, D.F. Recursos naturais de conforto térmico: um enfoque urbano. *REVSBAU*, Piracicaba-SP, v.6, n.4, p. 35-50, 2011.
- STREILING, S.; MATZARAKIS, A. Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: a case study. *Journal of Arboriculture*, Champaign, v. 29, n. 6, p. 309 - 316, nov. 2003.
- VIANA, S.M. Percepção e quantificação das árvores na área urbana do município de São Carlos, SP. 2013. 211 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- VIANELLO, L.R.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: Imprensa Universitária. 1991. 449 p.
- XAVIER, A. A. Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- World Map of the Köppen-Geiger climate classification. «World Map of the Köppen-Geiger climate classification». Institute for Veterinary Public Health. Arquivado desde o original em 24 de abril de 2011. Consultado em 22 de maio de 2016.

APÊNDICE A.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS RESIDENTES

FORMULÁRIO				
Verificação do nível de satisfação do usuário em relação às áreas arborizadas e ao conforto ambiental urbano				
PARTE I – OBSERVAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DO ENTREVISTADO				
Local:		Estação:	Horário:	
Em qual bairro você está? Região de Piracicaba?		Número do sensor?		
Vestuário:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Peso:		Idade:		altura:
Sexo:	<input type="checkbox"/> Masculino	<input type="checkbox"/> Feminino		
Condições de Céu:	<input type="checkbox"/> Claro	<input type="checkbox"/> Parcialmente encoberto	<input type="checkbox"/> Nublado	
Durante a entrevista o entrevistado encontra-se: local:				
<input type="checkbox"/> Na Sombra	<input type="checkbox"/> No Sol			
Faixa Etária:	<input type="checkbox"/> 18 - 20	<input type="checkbox"/> 21 - 24	<input type="checkbox"/> 25 - 34	
<input type="checkbox"/> 35 - 44	<input type="checkbox"/> 45 - 54	<input type="checkbox"/> 55 - 64	<input type="checkbox"/> 65 - 80	
Grau de Escolaridade:	Primário	<input type="checkbox"/> Completo	<input type="checkbox"/> Incompleto	1º Grau
<input type="checkbox"/> Analfabeto	2º Grau	<input type="checkbox"/> Completo	<input type="checkbox"/> Incompleto	<input type="checkbox"/> Completo
		<input type="checkbox"/> Completo	<input type="checkbox"/> Incompleto	Superior
		<input type="checkbox"/> Completo	<input type="checkbox"/> Incompleto	<input type="checkbox"/> Completo
		<input type="checkbox"/> Incompleto	<input type="checkbox"/> Incompleto	<input type="checkbox"/> Incompleto

PARTE II – SENSAÇÕES

Para você o tempo nesse momento está:

muito frio Frio confortável quente muito quente

O que você acha da Ventilação nesse momento?

há pouco vento está ventilado há muito vento

Para você o tempo está: Úmido seco não sei

Você está se sentindo confortável em relação ao clima? sim não

Para você o ambiente externo está:

muito escuro escuro nem claro nem escuro claro muito claro

O que você vê ao seu redor? Especifique se há presença de árvores, asfalto, local de declive, etc.

E você gosta do que você vê?

Sim Não Indiferente

Por quê?

Você tem jardim ou plantas em sua casa?

Sim Não

Gosta de plantas?

Sim Não indiferente

Onde você mora é arborizado?

Sim Não

Gostaria que fosse?

Sim Não Indiferente

Quanto às áreas verdes, enumere os aspectos positivos e negativos:

Aspectos positivos

Fresco
 Agradável
 Seguro
 Bonito
 Tranquilo

Aspectos negativos

Inseguro
 Escuro
 Problemas com a fiação
 Sujeira

Você acha que é importante ter árvores na cidade?

Sim Não

Em sua opinião, é melhor plantar árvores maiores ou menores na calçada? Por quê?

Você está satisfeito com a quantidade de árvores na cidade de Piracicaba?

Sim Não Não sei

Você tem uma árvore plantada em sua residência?

Sim Não

Se sim, onde ela está plantada? Você sabe qual é a espécie?

Calçada Quintal Sim Não Se souber, nome da espécie

Você acha que estas áreas são benéficas para moradores e outros usuários?

Sim Não indiferente

O que seria, no seu ponto de vista, um local confortável?

Locais abertos ao ar livre, bem arborizados Locais abertos, sem arborização
 Locais fechados ventilados Locais fechados

Por quê?

Mais fresco Mais agradável Mais seguro Mais calmo
 Mais confortável Mais quente

Quais as suas sugestões para melhorar o conforto dessas áreas?

Vestimentas:

A: Camiseta, bermuda/shorts, chinelo/sandálias

B: Camiseta, bermudas/shorts, meias, tênis

C: Camiseta, calças compridas, meias, tênis/sapatos

D: Camiseta, calças compridas, meias, sapatos, blusa



APÊNDICE B.

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O projeto de pesquisa de mestrado: “Conforto humano e uso de métricas de cobertura arbórea”, do Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais da ESALQ/USP, sob a responsabilidade dos pesquisadores Demóstenes Ferreira da Silva Filho e Gustavo Torquato Oliva, de forma a atender os preceitos éticos da referida pesquisa, vem por meio deste termo esclarecer os objetivos, procedimentos a serem seguidos e garantias de isenção de quaisquer ônus que possam advir com a mesma.

A urbanização acelerada nos grandes centros urbanos tem incitado sérios danos à condição ambiental, bem como consideráveis prejuízos econômicos, sociais e de qualidade de vida às comunidades urbanas. Em se tratando de qualidade climatológica, nota-se significativo aumento de temperatura dos centros urbanos em relação às áreas rurais adjacentes, sendo este aumento apontado como efeito desencadeador das alterações climáticas ocasionadas em grande parte, pelo ambiente construído. Sendo assim, este trabalho é de grande relevância pois será a primeira vez que se terão medições climáticas contínuas no município de Piracicaba/SP contemplando as estações chuvosa e seca do ano de 2016.

O objetivo geral deste projeto de mestrado é estudar o conforto ambiental urbano na cidade de Piracicaba/SP durante as estações chuvosa e seca do ano de 2016 em 50 locais privados contemplando todas as regiões do município (Norte, Sul, Centro, Leste e Oeste), por meio de registradores de temperatura e umidade relativa do ar de estação meteorológica móvel correlacionado, assim, a influência de áreas verdes na cidade com o conforto humano por meio de aplicação de questionários aos proprietários dos estabelecimentos cedidos para esta pesquisa.

Os procedimentos a serem seguidos são os seguintes: durante as estações chuvosa e seca na cidade de Piracicaba/SP serão instalados sensores meteorológicos, em diferentes locais do tecido urbano do município, sendo que esses sensores serão fixados dentro do respectivo estabelecimento a uma altura de 1,3 m dentro de abrigos meteorológicos de madeira pintados de branco (30 cm X 20 cm), tipo veneziana, sobre um pé de madeira entre 1,3 m e 2 m de altura acima do nível do solo juntamente com arames a fim de prendá-los com segurança, em que seja possível coletar as variáveis ambientais de interesse. Por meio de contato telefônico buscaremos com antecedência aos moradores quando necessitarmos coletar os dados meteorológicos. Os dados serão transpostos para um tablet e um Software ETI. Serão aplicados dois questionários, um em cada estação, com os 50 moradores, a fim de obtermos as percepções do conforto subjetivas e o uso de uma estação meteorológica móvel que ficará coletando os dados em cinco locais de nossa escolha mediante aprovação dos moradores em questão.

A seguir seguem os preceitos sem os quais não poderíamos dar prosseguimento à pesquisa, a saber:

- Não há nenhum desconforto referente e risco à saúde humana dos 50 moradores que cederão os locais em questão, sendo que os benefícios de eles serem contemplados pela pesquisa são em parte de uma pesquisa climática que será aplicada ao município que eles residem em busca de um ambiente mais confortável;
- O acompanhamento da pesquisa será feito por contato telefônico com os moradores, com aviso prévio, quando precisarmos manusear os equipamentos para coleta de dados e aplicação de questionários. Em caso de quaisquer dúvidas, durante a execução da pesquisa, desde o início até o seu término, nós estamos à disposição para quaisquer esclarecimentos que necessitarem;
- Os participantes da pesquisa podem se recusar a participar em qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer penalidade aos mesmos;
- Garante-se o sigilo de dados confidenciais e/ou dados que, de alguma modo, possam provocar constrangimentos ou prejuízos ao voluntário;
- Não há nenhum tipo de despesa para os participantes e, quaisquer eventos fortuitos que possam ocorrer com os equipamentos, os participantes estarão isentos de indenização;
- Não há riscos previsíveis que os responsáveis pela pesquisa necessitem ressarcir os participantes, tendo em vista que os riscos são desprezíveis e praticamente nulos;
- Uma cópia deste documento será dada a cada participante;
- Ainda que os riscos previsíveis sejam praticamente nulos, em caso de qualquer acidente que possa porventura vir a provocar dano material no imóvel ou vir a ferir alguém, como seria o caso, por exemplo, de alguma pessoa que possa ser atingida por uma eventual quebra no sistema de instalação, prevê-se ressarcimento ao residente em questão por meio de depósito em conta-corrente.

Obrigado!
 Gustavo Torquato Oliva
 Gestor Ambiental – ESALQ/USP
 Mestrando em Recursos Florestais – ESALQ/USP
 E-mail: gustavo.oliva@usp.br

Assinatura do residente

ANEXO A

ANEXO A – CARTA DE APROVAÇÃO DO CEP/ESALQ - USP



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”



Av. Pádua Dias, 11 – Cep 13418-900 – Piracicaba, SP – Brasil
Fone (19) 3429-4110 – Fax (19) 3422-1733
<http://www.esalq.usp.br>

CEP-ESALQ/28/2016

Piracicaba, 06 de outubro de 2016.

Ao
Pesquisador Gustavo Torquato Oliva

Prezado Pesquisador:


Informo que o projeto “Conforto humano e uso de métricas de cobertura arbórea”, sob sua coordenação, foi aprovado na 80.^a Reunião Ordinária do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – CEP/ESALQ, realizada em 18/05/16.

Atenciosamente,

Profa. Dra. Sandra Helena Cruz
Coordenadora da CEP
ESALQ/USP

ANEXO B

ANEXO B – TESTE DE CONFORMIDADE E PRECISÃO (TEXTO 175 T2)



Kalibrier-Protokoll
 Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage
 Protocollo di collaudo • Informe de calibración

Gerät / Module type /
 Modèle / Modelo: **testo 175 T2**

Messbereich / Measuring range /
 Etendue de mesure / Rango de medición : **Temperature: -35...55°C(int.)
 -40...120°C(ext.)**

Serien-Nr. / Serial no. /
 N°. de série / Número de serie: **40105596**

Segmenttest / Display test /
 Test d'affichage / Test del visualizador: **OK**

Messwerte / Measured values / Valeurs mesurées / Valores medidos:		
Sollwert / Reference / Référence / Referencia:	Zulässige Toleranz / Permissible tolerance / Tolérance admise / Tolerancia permitida :	Istwert / Actual Value / Valeur réelle / Valor medido :
Internal:		
25.0 °C	±0.4 °C	24.9 °C
External:		
25.0 °C	±0.3 °C	25.0 °C

J. Young

Prüfer / Inspector /
Responsible / Verificador