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

Avaliação do efeito de florestas urbanas e áreas vegetadas no conforto higrotérmico

Diorny da Silva Reis

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

Piracicaba
2014

Diorny da Silva Reis
Bacharel em Gestão Ambiental

Avaliação do efeito de florestas urbanas e áreas vegetadas no conforto higrotérmico

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Reis, Diorny da Silva
Avaliação do efeito de florestas urbanas e áreas vegetadas no conforto higrotérmico / Diorny da Silva Reis.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.
113 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.
Bibliografia.

1. Conforto Térmico 2. Ilhas de calor 3. Sensoriamento Remoto 4. Perfil térmico urbano 5. Temperatura de superfície 6. Sombreamento 7. Modelo COMFA I. Título

CDD 634.94
R375a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Ao meu querido pai, Raimundo Salviano dos Reis, meu companheiro, meu amigo e meu mestre, que antes de mim mesmo, acreditou no meu potencial, e apoiou, de forma incondicional, minhas escolhas. Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela graça da vida e a proteção que me permitiu chegar até aqui.

À minha mãe, dona Pity e meu pai, Rayd, por ter me ensinado com sabedoria desde os primeiros passos, o valor da família. Obrigado por toda a educação, amor e carinho que fizeram de mim a pessoa o que sou.

À minha irmã, Rainy, minha grande companheira de vida, que sempre esteve ao meu lado nas alegrias e nos momentos mais difíceis me incentivando e me ajudando a nunca desistir.

Aos meus irmãos, Diarlle, Diego e Diogo, pelo companheirismo, amizade e vivencia e por ter tornado minha vida mais leve e menos estressante. Bendito encontro na vida, valeu à pena!

Ao meu sobrinho Maurício Matheus, que chega em um momento vibrante para todos nós, obrigado por trazer a energia da renovação e das novas expectativas.

À minha noiva Luana, por estar presente em minha vida nesses anos todos sempre me ensinando o que é o amor. Obrigado pela paciência. Juntos somos mais fortes!

À família Botelho, pelo acolhimento e amizade.

Ao professor Demóstenes, que me acompanhou desde a graduação, pela confiança e amizade.

Ao Jefferson, por sempre estar à disposição para ajudar e principalmente por todo apoio técnico em todas as etapas da pesquisa.

Professors Jon, Bob and Terry, thanks for the opportunity to work with you. This experience brought great contribution to my research and a lot of learning to my life.

À todo o grupo da Silvicultura Urbana, Isadora, Léa, Mariana, Helena, Mauro, Larissa, Sabrina e Caio, por todo apoio e amizade.

Ao grupo do Centro de Métodos Quantitativos, especialmente à Luciana, Enguia, e Matheus, pela amizade e oportunidade de compartilhar uma vivencia diária.

Ao Àllan (Piloto), por tantos momentos especiais, especialmente durante o último ano, quando dividimos casa, compartilhamos sentimentos e aprendemos mais um do outro.

Aos funcionários e professores do Departamento de ciências Florestais por todo o suporte.

Aos membros da banca, por aceitarem o convite.

Ao CNPq pela bolsa concedida

E ao ELAP *(Emerging Leaders in the Americas Program*) pela bolsa de intercambio concedida.

EPÍGRAFE

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original"

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....11
ABSTRACT.....13
1 INTRODUÇÃO 15
1.1Objetivo Geral.....19
1.2 Objetivos específicos.....19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....21
2.1 Conforto Térmico.....22
2.2 Fatores que influenciam as trocas térmicas.....24
2.3 A importância das áreas vegetadas no conforto térmico.....26
2.4 Fator de visão do Céu.....28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....29
3.1 Localização e característica da cidade de Piracicaba -SP..... 29
3.2 Descrição dos pontos amostrais..... 30
3.3 Classificação supervisionada..... 32
3.4 Dados microclimáticos..... 37
3.5 Modelo COMFA.....39
3.5.1 Modelagem do conforto térmico..... 39
3.6 Utilização do modelo COMFA na previsão da sensação térmica.....46
3.6.1 Avaliação do desempenho do modelo COMFA em condições de clima quente……..48
3.7 Aplicação dos questionários ……49
3.8 Fator de visão do céu (SVF) …….. 51
3.9 Imagens termais ……..…51
3.10 NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)…….. 52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....55
4.1 Avaliação do desempenho do modelo de conforto térmico em ambientes abertos (COMFA) em clima tropical.....55
4.1.3 Análise estatística dos dados……..…56
4.1.3.1 Associação entre as variáveis de escala métrica..... 57
4.2 Distribuição de frequência dos voto real (ATS) por genero e estação do ano.....63
4.3 Análise espacial da cobertura vegetal em relação a outros tipos de cobertura...69

4.3.1 Classificação supervisionada.....69
4.4 Classificação das imagens termais.....74
4.4.1 Sensoriamento remoto dos dados termais.....74
4.5 Relação entre a cobertura do solo e as variações na temperatura do ar.....79
4.5.1 Analise do perfil térmico para o dia 30 de outubro de 2012.....81
4.5.2 Analise do perfil térmico para o dia 4 de junho de 2013.....83
4.5.3 Analise do perfil térmico para o dia 5 de junho de 2013..... 84
4.6 Avaliação do ATS associado à cobertura do solo.....86
4.7 Predição do modelo COMFA para a avaliação do conforto térmico humano em ambientes abertos a partir do balanço energético por pontos amostrais e em situação de exposição ao sol e em sombra de arvore.....90
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 97
6 CONCLUSÃO.....99
REFERÊNCIAS.....101
BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....109
ANEXO.....111

RESUMO

Avaliação do efeito de florestas urbanas e áreas vegetadas no conforto higrotérmico

A referida pesquisa teve como finalidade utilizar ferramentas de geotecnologias para avaliar o comportamento térmico de diferentes tipos de superfícies urbanas e sua consequente contribuição na variação da temperatura do ar e no conforto térmico humano em ambientes abertos. Para o estudo do conforto térmico fez-se necessário avaliar o desempenho do modelo COMFA (modelo de conforto térmico ao ar livre) em prever o conforto térmico em condições de clima quente, uma vez que este modelo, até então, só havia sido testado em países de clima temperado. Assim, esta pesquisa foi realizada em duas etapas distintas: a primeira avaliou o desempenho do modelo COMFA, considerando fatores pessoais de adaptação e aclimatação em situações de clima ameno a calor intenso. De modo a obter o voto real dos individuos (*Actual thermal Sensation - ATS),* foram aplicados ao longo de 5 dias 467 questionários em condições variadas de clima e exposição ao sol. Posteriormente os valores de ATS obtido foram plotados com o conforto térmico previsto (Predict Thermal Sensation- PTS) gerados pelo modelo COMFA. Os dados foram processados e analisados na Universidade de Guelph (Canadá) onde contou –se com a contribuição dos autores do modelo. Comparando - se os resultados de pesquisas similares realizadas no Canadá, o estudo concluiu que há um importante fator de adaptação e aclimatação dos indivíduos, o que sugere a necessidade de ajustes à escala de interpretação da sensação térmica (PTS) correspondente. Assim, dentro das condições climáticas estudadas, o presente trabalho indicou um PTS onde o intervalo mais adequado para determinar a zona de neutralidade térmica seria entre 50 W/m² e 100 W/m² em estações quentes e entre 0 W/m² e 70W/m² para estações frias. Houve um claro ajustamento sazonal, onde a faixa de neutralidade térmica se movimente para mais ou para menos, de acordo com a expetativa e aclimatação das pessoas. Na segunda etapa, avaliou -se a diferença no nível de conforto térmico humano em duas áreas da cidade de Piracicaba- SP, bem distintas quanto a proporção entre a área vegetada e a área costruida. Utilizou-se uma estação meteorológica móvel para o registro da temperatura do ar (TºC), da umidade ralativa do ar (UR), a radiação solar (W/m²) e da velocidade do vento (m/s). Nestas duas áreas amostrais também foram adquiridas imagens de alta resolução da videografia aérea multiespectral e imagens termais (temperatura de superfície) de uma cena de 1km x 1km. A partir disso, com a técnica da classificação supervisionada foram separados por classes as porcentagens dos diferentes tipos das superfícies urbanas. Também obteve-se mapas temáticos com valores da temperatura radiante da superfície urbana da cenas. De acordo com os resultados do trabalho, pôde-se constatar que a influência da cobertura de superfície das áreas monitoradas sobre as condições climáticas é significativa para o conforto térmico humano.

Palavras-chave: Conforto térmico; Ilhas de calor; Sensoriamento remoto; Perfil térmico urbano; Temperatura de superfície; Sombreamento; Modelo COMFA

ABSTRACT

Evaluation of the effect of urban forests and vegetated areas in hygrothermal comfort

This research aimed to use geotechnology tools to evaluate the thermal behavior of different types of urban surfaces and their consequent contribution to the variation of air temperature and human thermal comfort in outdoor environments. To study the thermal comfort was necessary to evaluate the performance of the model COMFA (thermal comfort outdoor model) to predict the thermal comfort in hot weather conditions, since in this model, until then, was only been tested in temperate countries. Thus, this research was conducted in two stages: the first evaluated the performance of COMFA model, considering personal factors of adaptation and acclimatization in situations of mild to intense heat climate. In order to obtain the actual vote of individuals (Actual thermal Sensation - the ATS), were applied over 5 days 467 questionnaires during varied climate and sun exposure. Afterwards the ATS values obtained were plotted with the thermal comfort provided by the model COMFA (Predict Thermal Sensation). The data were processed and analyzed at the University of Guelph (Canada) with contributions from authors of the model. Comparing the results of similar surveys conducted in Canada, the study concluded that there is a significant factor of adapting and acclimatization of the subjects, which suggests the need for adjustments to the scale of interpretation of thermal sensation (PTS) correspondent. Thus, within the climatic conditions studied, this study indicated a PTS where the most appropriate for determining the zone of thermal neutrality would be range between 50 W / m² and 100 W / m² in warm seasons and between 0 W / m² and 70W / m² for cold seasons. There was a clear seasonal adjustment, where the range of thermal neutrality moves more or less, according to the expectation of the people and acclimatization. In the second stage, we evaluated the difference in the level of human thermal comfort in two areas of the city of Piracicaba-SP, distinct as the ratio of vegetated area and built area. We used a mobile station forecast to record the air temperature (T ºC) of relative humidity (RH), solar radiation (W/m²) and wind speed (m / s). These two sites were also obtained high-resolution images of multispectral aerial videography and thermal images (surface temperature) of a 1km x 1km scene. From this, using the technique of supervised classification were separated the percentages of different types of urban surfaces. Also was obtained thematic maps with values of radiant scenes of urban surface temperature. According to the results of the work, it can be stated that the influence of surface coverage of the monitored areas on climate conditions is significant for human thermal comfort.

Keywords Thermal comfort; Heat islands; Remote sensing; Urban thermal profile; Surface temperature; Shading; COMFA model

1 INTRODUÇÃO

O ambiente urbano deveria ser um local onde as necessidades de bem estar para o indivíduo fossem contempladas. Em alguns casos, porém, não oferece condições ambientais adequadas para que seus habitantes tenham uma qualidade de vida satisfatória.

Segundo Carvalho e Prandini (1998), até a década de 50, menos de 40% da população brasileira vivia em áreas urbanas. Neste período, as cidades conseguiam manter seu equilíbrio populacional dentro de uma dimensão aceitável devido à pequena concentração da população. Já por volta da década de 60, as cidades começaram a crescer rapidamente devido à intensificação do êxodo rural, resultando na modificação das relações socioeconômicas entre os meios urbano e rural.

As cidades, atualmente, abrigam aproximadamente a metade da população do planeta e em vários países, entre os quais o Brasil, elas abrigam mais de 84% da população (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010). Essa intensa urbanização cria mudanças significativas no uso e cobertura do solo, afetando a estrutura, padrão e função do ecossistema. Essas alterações vêm ocorrendo sem o suporte de um planejamento adequado o que provoca diversos problemas ambientais e sociais, dentre os quais se destacam o aumento da temperatura global, a ocorrência de ilhas de calor e o desconforto térmico.

Gangloff (1996) ressalta a importância das árvores e áreas verdes urbanas para a qualidade de vida nas cidades. Segundo ele, estas áreas valorizam o ambiente e a estética, além de promoverem um excelente meio para as atividades da comunidade, criando importantes espaços e oportunidades de recreação e educação. Estas áreas também atraem investimentos, turismo e geram empregos, além de representarem uma fonte sustentável de matéria prima.

O desenvolvimento acelerado das cidades brasileiras promove alterações no solo urbano, tais como a construção de edifícios, aumento das áreas pavimentadas, e também redução das áreas vegetadas, o que, consequentemente, modifica as condições do clima urbano (LOMBARDO, 1985; SANTAMOURIS, 2001).

Nesse sentido, Lombardo et al. (1991) explica que o maior aumento da temperatura ocorreu a partir da década de 80 e estas alterações são decorrentes não somente da variabilidade natural, mas também da atividade antropogênica. Os

relatórios do IPCC (“Intergovernamental Panel on Climate Change”) destacam que, nesse século, a temperatura se elevou de 0.3ºC – 0.6ºC.

Como a arquitetura nas cidades foi implantada sem o devido planejamento, é necessário buscar recursos de conforto na própria natureza na tentativa de solucionar ou amenizar o desconforto nas cidades (PAULA, 2004).

Alguns aspectos, como a criação de parques públicos, florestas urbanas e uma eficiente arborização pública podem minimizar os efeitos destas transformações drásticas no ambiente (GREY; DENEKE, 1978, JIM; CHEN, 2003).

A vegetação possui uma importante função na melhoria e estabilidade microclimática devido à redução das amplitudes térmicas, redução da insolação direta, ampliação das taxas de evapotranspiração e redução da velocidade dos ventos (MILANO; DALCIN, 2000). Vários estudos comprovam amenização das temperaturas, aumento da umidade e redução da velocidade do vento pelo elemento arbóreo (GOMES; AMORIM, 2003). As florestas urbanas podem ser definidas como a soma de toda a vegetação lenhosa que circunda, envolve ou está presente dentro dos aglomerados urbanos desde pequenas comunidades rurais até grandes regiões metropolitanas (MILLER, 1997), sendo, portanto, ecossistemas compostos pela interação entre sistemas naturais e sistemas antropogênicos.

Apesar da grande importância dessas florestas poucas cidades brasileiras possuem planejamento efetivo para arborização de suas vias e espaços públicos. Além disso, o Brasil carece de uma política Nacional de Arborização Urbana, que estabeleça as diretrizes para esse planejamento. Como consequência perde-se, a eficácia da arborização em transmitir conforto físico e psíquico às pessoas (SILVA FILHO et al. 2005).

O conforto ambiental pode ser explicado como o conjunto de sensações subjetivas das pessoas, em relação a determinadas características do ambiente. Essas podem ser representadas pelo conforto acústico, luminoso, visual, psicológico, espacial e térmico (CASTRO, 1999).

As chamadas ilhas de calor urbanas resultam da elevação das temperaturas médias nas zonas centrais da mancha urbana ou região metropolitana, em comparação com as zonas periféricas ou com as rurais. Isso ocorre devido às diferenças de irradiação de calor entre as diversas formas de ocupação do solo: regiões com solo exposto, regiões com vegetação e áreas edificadas.

O termo ilha de calor (IC) se refere a uma anomalia térmica onde a temperatura de superfície do ar urbano se caracteriza por ser superior a da vizinhança rural. A IC pode acontecer em diferentes escalas, tanto em localizações dentro da própria cidade – pontos mais quentes que outros – quanto na diferença de temperatura entre a área urbana e rural. Além disso, as IC variam temporal e sazonalmente (POLIZEL, 2009).

Pesquisas apontam que as temperaturas são maiores nas áreas urbanas centrais onde existe um maior adensamento populacional, e uma grande impermeabilização do solo e que a soma desses fatores contribuem para o desconforto humano gerando prejuízos à saúde física e mental dos habitantes (BUENO, 1998).

As cidades apresentam temperaturas médias maiores do que as zonas rurais de mesma latitude. Dentro delas, as temperaturas aumentam das periferias em direção ao centro. O uso de grande quantidade de combustíveis fósseis em aquecedores, automóveis e indústrias transformam a cidade em uma potente fonte de calor (LOMBARDO, 1985).

Considerando a magnitude das IC, muitos são os mecanismos e fatores que contribuem para a sua formação e intensidade (CARNAHAM; LARSON, 1990; KIM; BAIK, 2004), desde sua localização geográfica até as condições climatológicas do dia (CARNAHAM; LARSON, 1990; PEREZ et al., 2001; WENG, 2001).

Em estudos de grandes centros urbanos as estações do ano influenciam significativamente a intensidade das IC, tornando as IC do verão mais intensas (CARNAHAM; LARSON, 1990; OKE et al.,1991).

Em cidades de pequeno e médio porte (como é o caso de Piracicaba, SP), no entanto, a influência das estações não é marcante, já que as condições do entorno da cidade podem influenciar diretamente no microclima local (COLTRI, 2006; CARNAHAM; LARSON, 1990).

Dessa forma, o estudo e documentação dos efeitos das áreas vegetadas sobre o clima das cidades são importantes mecanismos para prover um maior planejamento das florestas urbanas municipais, com incentivos à criação de parques. Um dos indicadores desses efeitos é o estudo do conforto térmico humano, que deve ser considerado no planejamento das áreas urbanas ao ar livre.

A valorização dos espaços abertos e das áreas verdes dentro do planejamento das zonas urbanas constitui um componente essencial no

desenvolvimento destas áreas, e embora a eficácia destes espaços na amenização da ilha de calor urbano esteja estabelecida, algumas barreiras ainda persistem, tais como, conflitos de interesses, economia e a falta de conhecimento (SILVA, 2012).

Uma das principais considerações a ser feita no desenho do espaço público é a criação de microclimas que são termicamente confortáveis para as pessoas em geral. Segundo Brown e Gillespie (1995) uma maneira de fazer isso é através de três passos: (1) compreensão dos mecanismos pelos quais a paisagem afeta o microclima, (2) obtenção de condições microclimáticas consideradas termicamente confortáveis, e (3) cruzamento das informações anteriores para entender como o desenho da paisagem afeta o conforto térmico.

O conforto térmico é um condicionante de atividades ao ar livre em ruas praças e parques urbanos. Além disso, segundo Harris (2004) os benefícios de se ter um desenho urbano baseado no clima estão nos seguintes fatores: Ambiente: melhorias na qualidade da água e do ar; Economia: baixo consumo de energia; Saúde humana: diminuição de doenças transportadas pelo ar, prevenção de doenças relacionadas à temperatura e danos causados pela poluição.

Diversos estudos sinalizam o efeito positivo dos recursos naturais no conforto térmico das cidades, estes trazem, entre outros benefícios, a amenização da temperatura, a manutenção da umidade do ar e a redução do consumo energético.

A silvicultura urbana inserida regularmente na estrutura das cidades é uma boa prática não somente pelo seu potencial de arrefecimento nas áreas de pedestre, mas também por controlar a radiação de onda longa e curta no solo (ASSIS; FROTA, 1999).

Dentro deste contexto, o presente trabalho justifica-se pela avaliação da influência do uso e cobertura do solo no microclima, e a partir do estudo do efeito do sombreamento proporcionado pela floresta urbana na mitigação da formação ilhas de calor, verificar sua importância no conforto térmico humano. Antes, porém, foi necessário avaliar o desempenho do modelo de conforto térmico (COMFA) utilizado, de modo a compatibilizar os resultados previstos pelo modelo com a sensação térmica real das pessoas nestes ambientes.

1.1 Objetivo Geral

Estudar os efeitos do uso e cobertura do solo, na temperatura de superfície, no microclima e no conforto térmico humano em ambientes abertos.

1.2 Objetivos específicos

(a) Avaliação do desempenho do modelo COMFA (*COMfort FormulA*) em predizer o conforto térmico humano em ambientes abertos

(b) Obtenção do voto real do indivíduo (Actual Thermal Sensation), para a avaliação do desempenho do modelo COMFA em situações de clima quente;

(c) Verificar como a cobertura do solo correlaciona – se com a variação higrotérmica dos pontos de medição.

(d) A partir da análise exploratória de questionários aplicados nas unidades amostrais, propor uma interpretação da sensação térmica prevista (*Predict Thermal Sensation*) mais adaptada ao contexto de Piracicaba, SP.

(e) Utilizar geotecnologias para estudar o detalhamento prévio das diferenças do sítio e do uso do solo urbano de Piracicaba, como suporte para a compreensão da dinâmica microclimática, a partir do uso de imagens termais e videografia aérea multiespectral;

(f) Avaliação do comportamento térmico dos diferentes tipos de superfícies urbanas com a utilização de SIG

(g) Análise qualitativa das imagens termais;

(h) Correlação entre a porcentagem de materiais de cobertura obtidos na classificação supervisionada e respectivas variáveis microclimáticas

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

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).

Para alguns autores o clima urbano pode ser definido como um “sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”, embora deve-se evitar a colocação do fator clima urbano em termos definidos (MONTEIRO, 1976).

Segundo Danni-Oliveira (1995), o clima urbano constitui-se como “um sistema de inter-relações complexas do qual faz parte da cidade com todos os seus atributos e os aspectos do espaço em que se insere”.

A interação do tempo e do espaço entre os fluxos de matéria e energia e os condicionantes de sua definição, pode ter três níveis interativos: o macroclimático, o mesoclimático e o microclimático (SILVA; RIBEIRO, 2004).

As interações e fenômenos do clima ainda são pouco conhecidos individualmente (CONTI, 2000), o que faz com que a descrição quantitativa do clima represente um verdadeiro desafio para a ciência (VIANELLO; ALVES, 1991).

Segundo Mendonça (2000), o estudo do clima de cidades deve levar em consideração a abordagem geográfica detalhada tanto do fato urbano quanto da área rural regional contígua.

Para este mesmo autor, a maioria dos trabalhos relacionados aos estudos de climas urbanos foi desenvolvida tomando o corpo da cidade como um todo, sobre o qual são traçadas isolinhas após a identificação de diferenças, sobretudo termo-higrométricas e de poluição, a partir de dados levantados em pontos plotados de diversas maneiras. Poucos estudos, porém, basearam-se no detalhamento prévio

das diferenças do sítio e do uso do solo urbano como suporte para a compreensão da formação do clima derivado dos diferentes arranjos espaciais da cidade.

2.1 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.

Há grandes variações espaciais e temporais de condições microclimáticas (THORSSON, 2007a.), No entanto, os ambientes são freqüentemente avaliadas

apenas em termos de temperatura do ar (Ta) (PARSONS, 2003). Isto pode levar a uma falta de compreensão de outros parâmetros importantes. Os seis parâmetros típicos, inicialmente examinados pelo livro Conforto Térmico (FANGER, 1970), incluem: 1) temperatura do ar (Ta), 2) pressão de vapor (e), 3) a velocidade do ar (Vv), 4) a radiação solar e térmica (R), 5) o calor metabólico (M) e 6) isolamento vestuário (Icl). Em termos destes parâmetros, os pesquisadores prevêem o ambiente térmico que irá resultar em conforto humano, e como efeito podem avaliar estas condições.

Modelagem de conforto humano requer a consideração do ambiente físico e fisiologia humana, bem como as respostas psicológicas associadas (HOPPE, 2002; PARSONS, 2003; HUANG, 2007; KENNY, 2009a).

Em geral, os indivíduos parecem ter uma gama muito maior de aceitabilidade em ambientes térmicos ao ar livre, em comparação com ambientes fechados (JOHANSSON; EMMANUEL, 2006; NIKOLOPOULOU et al., 2001). Em comparação com os ambientes internos, há um elevado grau de complexidade e variabilidade espacial e temporal em espaços ao ar livre. Não só existe uma gama muito mais ampla de condições vividas pelos indivíduos em ambientes ao ar livre, mas a sua percepção psicológica de um ambiente ao ar livre pode afetar significativamente a sua gama de aceitabilidade térmica (NIKOLOPOULOU et al., 2001; NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003; SPAGNOLO; De DEAR, 2003a; NIKOLOPOULOU; LYKOUDIS, 2006; THORSSON et al., 2004, 2007). Isto porque as pessoas esperam que um ambiente ao ar livre possa ser variável no espaço e no tempo, e tendo uma percepção da falta de controle sobre as condições ao ar livre, há uma ampliação subseqüente de sua zona de conforto percebido (SPAGNOLO; De DEAR, 2003a). Além disso, as pessoas muitas vezes podem facilmente adaptar-se a mudanças em seu ambiente térmico exterior, escolhendo um local mais favorável (por exemplo, entrar e sair da sombra / vento), ou alterar o seu comportamento, adicionando ou removendo roupas ou por beber liquidos quente ou frio (THORSSON et al., 2004).

Embora os modelos de conforto térmico forneçam ferramentas valiosas para a avaliação de ambientes térmicos ao ar livre, a abordagem fisiológica adaptada por muitos modelos baseados em balanço energetico é limitada, pois não leva em consideração os fatores psicológicos como a expectativa, o controle percebido, história térmica, tempo de exposição, ambiental estimulação e influências culturais

sobre as avaliações subjetivas de ambientes térmicos (KNEZ; THORSSON, 2006; NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003; THORSSON et al., 2004).

A avaliação do conforto térmico deve levar em consideração fatores que alteram a percepção e causam adaptação psicológica, incluindo variáveis como a época do ano, controle percebido, hora e duração da exposição, a naturalidade, a prontidão para o exercício, e a experiência (NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003).

2.2 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:

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).

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).

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).

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 mols m^{-2} 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.

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.

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).

2.3 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, transmissidade, 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 esta 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 modicações de condições meteorológicas nas estruturas urbanas, como adicionar sombra de plantio e fornecimento de grandes árvores de folhas, resultam na possibilidade de grandes modicações bioclimaticas.

Segundo Ayres et al (2005), o sombreamento se constituí 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 medias latitudes as deciduais (que perdem as folhas no inverno e coníferas que mantém 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 transmissidade que variam entre 1 /4 (no verão) e ¾ (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).

2.4 Fator de Visão do Céu

O fator de visão do céu (*Sky View Factor* -SVF), expressa a razão entre a radiação recebida por uma superficie plana e toda a energia irradiada neste hemisferio 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 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).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e característica da cidade de Piracicaba - SP

A área de estudo foi o município de Piracicaba- SP. Localizado nos paralelos -22.25°S no meridiano -47.22°W. A área é de 1416,5 km² e a altitude varia de 450m a 750m, sendo que 61% do município está entre 500m e 600m (RANZANI, 1976). O clima predominante, de acordo com a classificação de Köeppen, é do tipo Cwa, com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 23,9°C, tendo invernos secos e ameno 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. 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. Uma de suas características é a extensa área rural do município, muito superior à urbana. No entanto, a área urbana, correspondente é apenas 11% de toda a extensão territorial do município. Segundo o IBGE 2010, Piracicaba possui uma população total de 364.571 habitantes sendo 355.136, cerca de 97% da população, vivendo na área urbana. Seu Bioma é o cerrado e a mata atlântica. Na Figura 1 encontra-se o mapa com a localização da cidade de Piracicaba dentro do estado de São Paulo.

A arborização na cidade mostra-se inadequada e insuficiente a que contrasta com problemas ambientais que afetam sua população. De acordo com Rollo e colaboradores (2007), nesta cidade, são encontrados bairros insuficientemente arborizados, em proporção à sua importância econômica e ao seu espaço geográfico.

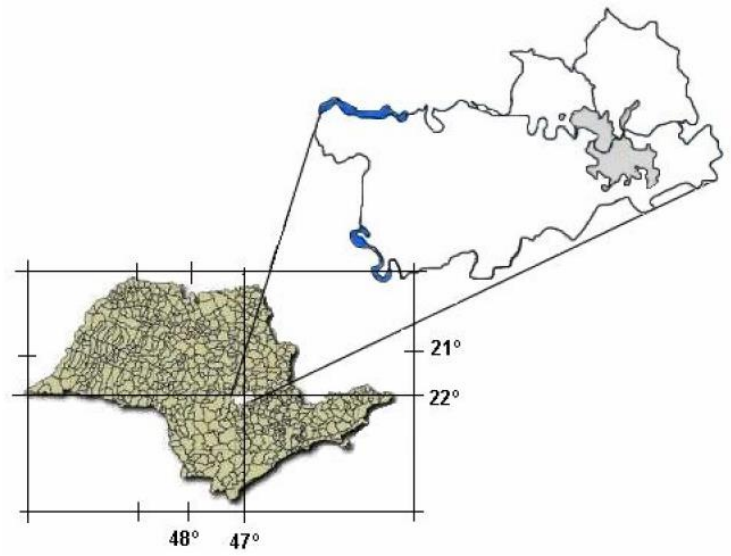


Figura 1 - Localização da cidade de Piracicaba no estado de São Paulo

3.2 Descrição dos pontos amostrais

A partir de agora trata-se as unidade amostrais do estudo como ponto amostral 1 (P1), referindo –se ao ponto de coleta de dados situado no parque da ESALQ em Piracicaba- SP, e Ponto amostral 2 (P2) referindo-se ao ponto de coleta de dados localizados na região central de Piracicaba- SP.

De modo a atender os objetivos desta pesquisa, o principal critério adotado para a escolha das áreas foi o contraste no uso e cobertura do solo com enfoque principal à proporção relativa do índice de cobertura vegetal da área construída.

A escolha das áreas de estudo deu-se visualmente por meio de imagem de satélite e posterior visitação aos locais.

O posicionamento da estação meteorológica foi feito considerando - se a orientação norte- sul, de modo a expor o Net-radiômetro à incidência solar pelo maior período possível, conforme recomenda a literatura.

O ponto amostral 2 (P2) (Figura 2A), está localizado na praça José Bonifácio na zona central da cidade de Piracicaba –SP. Esta área possui característica predominantemente comercial com a presença de edifícios. Com pouca permeabilidade do solo, devido às ruas asfaltadas, piso de 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.

A escolha deste ponto amostral justifica-se pela intensa circulação de pessoas ao longo de todo o dia, o que facilitaria a contribuição do maior número possível de participantes na etapa de entrevistas para a obtenção do ATS *(Actual Thermal Sensation)*, além da questão da segurança dos equipamentos.

Figura 2 - A) ponto amostral 2 (P2) localizado na Praça José Bonifácio em Piracicaba- SP; B) ponto amostral 1 (P1) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) localizado em Piracicaba –SP.

O ponto de coleta 1 (P1) (Figura 2 B) foi o parque da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Segundo Barbin (2006), é o único no estilo inglês de paisagismo existente no Brasil, cujas características, foram parcialmente preservadas. Criado ao redor de 1907, pelo arquiteto paisagista belga, Arsenio Puttemans, compreende aproximadamente 15 ha, sendo, na cidade de Piracicaba - SP, onde está instalado, o segundo maior em dimensões e o mais frequentado dentre os cinco parques existentes. Formado por uma gama de espécies vegetais,

nativas e exóticas, é muito utilizado pelos cursos ministrados na referida escola, para estudos, pesquisas e atividades didáticas, sendo de grande valor histórico e científico. Contribui na amenização do microclima regional e é incluído no cálculo do índice de área verde da cidade de Piracicaba - SP (3,6 m^2/hab.), sendo representado apenas por parte de sua área total (apenas 50.000 m^2), por estar sob a égide do Estado e, não à Prefeitura Municipal de Piracicaba. O parque da ESALQ, com os 50.000 m^2, representa 5,15% do total da área verde utilizada no cálculo do índice de áreas verdes de Piracicaba.

O parque é formado por canteiros de tamanhos e formas variadas, separados por ruas e compostos por cinco gramados e vinte e quatro maciços arbóreo/arbustivos, algumas construções, além de um canteiro que circunda o prédio da administração (Prédio Central), conforme ilustrado no projeto original. Características do estilo inglês de paisagismo, propostas. Do ponto de vista silvicultural, nota-se um grande domínio, em número, de algumas espécies vegetais sobre outras, dentro dos maciços arbóreo/arbustivos.

Dentro desta unidade amostral, para a escolha do ponto de coleta de dados, levou–se em consideração o local de maior circulação de pessoas próximo à porção de significativa área construída no interior do parque, visando a participação do maior número possível de pessoas na entrevista para a obtenção do ATS *(Actual Thermal Sensation).* Desta forma escolheu- se uma área, entre o restaurante universitário e a cantina, onde também se encontram o serviço de copiadora e o centro de vivencia.

3.3 Classificação supervisionada

Como método, utilizou-se a coleta de dados por meio de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução de alvos intra-urbanos com recortes correspondentes aos pontos amostrais P1 e P2. A aquisição das imagens foi feito através de sobrevoo na área urbana de Piracicaba – SP, segundo metodologia descrita em Polizel (2009).

A altitude do sobrevoo foi de cerca de 3.000 (três mil) metros do solo ou 9.800 (nove mil e oitocentos pés). Com essa altitude foi possível gerar imagens de 3000 por 1500 metros e uma resolução espacial de 1.00 m.

O sistema de videografia aérea TerraHawk™ *Aerial Imaging System* da empresa Terra Verde Technologies é acoplado a uma câmera digital multiespectral de alta resolução da empresa Geospatial Systems Inc. modelo MS- 4100.

A câmera possui três conFigurações espectrais: RGB (para imagens coloridas de alta resolução), CIR (infravermelho colorido para aplicações multiespectrais) e a RGB/CIR. O modelo Geospatial Systems MS-4100 é apto para capturar imagens na faixa do espectro visível e do infravermelho próximo (400-1100 nm) (DUNCAN, 2000).

Os dados qualitativo e quantitativo da variável de interesse (cobertura arbórea) e demais uso e ocupação do solo foi analisada no software MultiSpec© versão 3.3.Para averiguação da exatidão dos mapeamentos temáticos, foram confeccionadas matrizes de erro, dendrogramas por distância euclidiana e foi usado o índice de precisão Kappa (LANDIS; KOCH, 1977).

Na Figura 3, encontram-se as imagens aéreas multiespectrais de alta resolução de alvos intra-urbanos da cidade de Piracicaba- SP, com recortes correspondentes às unidades amostrais 1 e 2. As Figuras 3C e 3D referem- se aos bairros onde localizam–se os pontos amostrais (P1 e P2), segundo estabelecido pela prefeitura de Piracicaba, SP. Com o intuito de correlacionar os resultados da classificação supervisionada (Figura 22) e da classificação termal não-supervisionada (Figuras 27, 28 e 29). Utilizou- se um recorte da cena a partir da sobreposição da área correspondente à imagem termal referida (Figura 3 A, B).

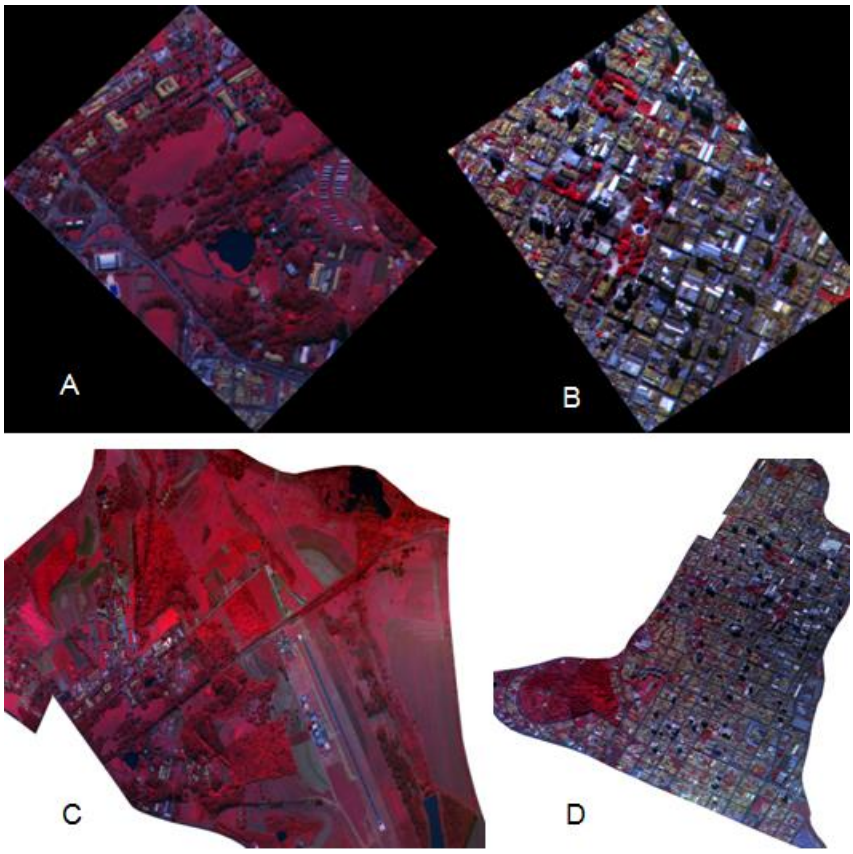


Figura 3 - Imagens aéreas multiespectrais de alta resolução de alvos intra-urbanos correspondentes ás unidades amostrais 1 (A) Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz” e 2 (B) Centro de Piracicaba -SP; (C) e (D) respectivos bairros segundo divisão geográfica da Prefeitura de Piracicaba -SP

Para a identificação, quantificação e qualificação das estruturas urbanas presentes nas áreas de estudo, utilizou-se o método de classificação supervisionada a partir de imagens multiespectrais da área selecionada, com a finalidade de analisar a imagem digital, categorizando cada um de seus pixels em classes de uso de solo por meio de algoritmos baseados em método estatísticos, para, por fim, obter um mapa temático com a representação e distribuição espacial destas (RICHARDS; JIA, 2006; SCHOWENGERDT, 2007; POLIZEL, 2009).

Este processo consiste em duas fases distintas, a de treinamento onde o analista fornece ao algoritmo de classificação, amostras representativas de cada classe de uso do solo, denominadas como treinadores, e o da classificação propriamente dita, onde cada pixel é rotulado conforme a chave de interpretação fornecida ao algoritmo de classificação (LILLESAND et al., 2004; MOREIRA, 2005).

Para verificação da acurácia do mapeamento obtido, foi extraída uma matriz de erro de cada uma das classificações e a estatística Kappa. A partir da primeira são obtidos os valores de acurácia geral, calculado por meio da razão entre os pixels classificados corretamente e o total de pixels amostrados, de acurácia do produtor (*producer´s accuracy*) e a acurácia do usuário (*user´s accuracy*), representados em valores individuais de cada classe, analisados por linha e coluna da matriz, respectivamente (CONGALTON; KASS, 2009).

Para a validação estatística da exatidão da classificação supervisionada das áreas de estudo, utilizou-se o índice Kappa, obtido diretamente pelo mesmo software da classificação, o programa MultiSpec©, que de acordo com o recomendado por Landis e Koch (1977) e Moreira (2003) apresentou qualidade de mapeamento considerada ótima (entre 81% e 100%) conforme mostrado na Tabela 5, sendo de 92,8 % e 89,1 % respectivamente para a ESALQ (1) e para o Centro (P2).

O uso técnica da estatística Kappa no sensoriamento remoto, como proposto por Congalton et al. (1983), mensura a diferença entre a acurácia observada na classificação (Po) e a proporção de concordância esperada ao acaso (Pc), conceitualmente representada pela equação (1):

$$K = \frac{Po - Pc}{1 - Pc} \quad (1) \qquad Po = \frac{\sum_{i=1}^{M} n_{ii}}{N} \quad (2) \qquad Pc = \frac{\sum_{i=1}^{M} n_{i+}\, n_{+i}}{N^2} \quad (3)$$

(**1**)

Sendo:

Po a exatidão geral;

Pc, a proporção de unidades que concordam por casualidade;

M, o número de classes presentes na matriz de erro;

nii, o número de observações na linha i e coluna j;

n i + e n + i, os totais marginais da linha i e da coluna j, respectivamente;

e N, o número total de unidades amostrais contempladas pela matriz (LANDIS; KOCH, 1977).

E formalmente computada como:

$$Khat = \frac{N\sum_{i=1}^{r} n_{ii} - \sum_{i=1}^{r} n_{i+}n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^{k} n_{i+}n_{+i}} \quad (2)$$

Onde:

r = número de colunas na matriz de erro

nii = número de observações na linha i e na coluna i (na maior diagonal)

ni+= total de observações na linha i (total a direita da matriz)

n+i=total de observações na coluna i (total na parte de baixo da matriz)

N= número de observações incluídas na matriz

interpretação deste resultado seguiu a escala adaptada de Landis e Koch (1977), conforme descrito na Figura 4.

Interpretação da qualidade do mapeamento temático, conforme valor do kappa

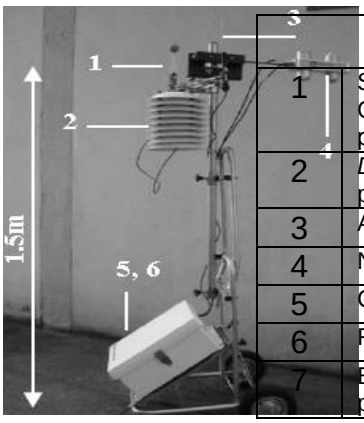
Valor do Kappa	Qualidade do mapeamento
0%	Pobre
0% - 20%	Leve
21% - 40%	Médio
41% - 60%	Moderado
61% - 80%	Boa/Substancial
81% - 100%	Ótima

Figura 4 - Valores de referência do índice Kappa de acordo com a qualidade do mapeamento

Por meio da construção de uma matriz de erro foi possível utilizar-se de técnicas de análise multivariada para determinar a concordância da classificação (classificação temática) com a verdade de campo. Em sensoriamento remoto é comum o uso da estatística Kappa para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático, obtida por meio da confecção de um segundo treinador chamado auditor, que pode ser obtido a partir da interpretação visual das imagens aéreas multiespectrais e de visitas aos locais imageados (verdade terrestre) (POLIZEL, 2009).

3.4 Dados microclimáticos

Consistiu em monitoramentos microclimáticos das áreas utilizando-se a estação meteorológica portátil cujos sensores estão especificados conforme descrição na Figura 5.



	Equipamentos	Modelo
1	Sonda de temperatura ambiente para termômetro de globo. Globo cinza, construído com bola de pingue-pongue oficial, pintado na cor “cinza burguês”.	Texto 0613171
2	*Datalogger* para registros de temperatura e umidade protegidos por pratos, ventilados naturalmente	Texto 177-H1
3	Anemômetro omnidirecional, de esfera aquecida	Texto 0635154
4	Net Radiômetro, piranômetro e pirgeômetro	Kipp &Zonem
5	Coletor de dados	Campbell Science
6	Registrador multicanal	Testo 445
7	Bússola de geografo, para direcionamento do Net radiômetro para o norte	

Figura 5 - Estação meteorológica móvel equipada com sensores e *datalogger*

Para a obtenção de radiação solar sob a copa de árvores (Jequitibá rosa) em P1, utilizou-se o Net radiômetro da estação meteorológica portátil (item 4, Figura 5), para a medição da radiação solar em céu aberto, utilizou-se os dados obtidos pelo posto meteorológico as ESALQ USP, de acordo com a Figura 6. Em campo a estação foi posicionada na orientação norte-sul conforme assinalado na Figura 2.

Figura 6 - Posto meteorológico ESALQ - latitude: 22o 42' 30'' sul - Longitude de 47o 38' 00'' oeste - Altitude de 546 metros - Piracicaba - SP - Brasil

Adotou-se, como base, para este estudo a metodologia de campo utilizada por Shashua-Bar et al. (2000).

A tomada de registros das variáveis microclimáticas foi realizada a uma altura entre 1,5 m e 1,8 m de altura acima do nível do solo com o objetivo de obter dados correspondentes ao nível de altura do peitoral do usuário. Em geral considera-se a esta altura a temperatura (Cº) representativa das condições experimentadas pelos seres humanos que vivem à superfície do globo terrestre (ALCOFORADO, 1992; CRUZ, 2009)

Os dados coletados foram a temperatura do ar (Cº), temperatura de globo (Cº), velocidade do vento (m/s), umidade relativa do ar (%) e radiação solar e terrestre (W/m²).

As amostras foram coletadas utilizando estações meteorológicas portáteis compostas por Termo-Hygrometro, net radiômetro e termo-anemômetro. Os registros foram tomados de maneira sincronizada automaticamente em intervalos de 15 minutos.

As estações meteorológicas foram posicionadas em localidades diferenciadas. Considerou- se a arborização total e o desenho da paisagem como principal variável de interesse, segundo os objetivos da pesquisa em duas situações distintas:

Em situação de sombra sob copa de árvore considerando o comportamento do sombreamento e a taxa de radiação incidente atenuada pela folhagem da vegetação ao longo do dia. Neste caso o equipamento foi posicionado sob a copa de um conjunto de árvores da espécie *Cariniana legalis*, conhecido popularmente no Brasil como Jequetibá rosa, e também em locais com a máxima insolação possível (com mínima ou nenhuma obstrução ao céu) ao longo do dia.

No experimento da primavera utilizou-se apenas uma estação meteorológica alternadamente entre os pontos amostrais (P1 e P2). No experimento de outono foi possível à utilização de duas estações meteorológicas de mesma conFiguração para a coleta simultânea de dados em P1 e P2, o que viabilizou uma comparação em tempo real do comportamento microclimático ao longo do dia.

A fim de obter os dados de radiação solar sem interferência de sombra utilizou-se, também, os dados de radiação global do posto meteorológico da ESALQ-USP Piracicaba–SP (Figura 6) medidos e registrados em intervalos de 15 minutos.

3.5 Modelo COMFA

As análises de conforto térmico foram realizadas com o uso do modelo COMFA desenvolvido por Brown e Gillespie (1986, 1995). Esse modelo consiste em um conjunto de equações que descrevem os fluxos de energia envolvidos no balanço energético de um indivíduo ao ar livre. Dessa forma, obtém-se a equação principal do COMFA (*COMfort FormulA*), representada na equação abaixo:

Balanço energético = M + R abs - Conv - Evap – RT emitida 0 (3)

Onde:
M - energia metabólica de um indivíduo (W/m2);
Rabs - quantidade total de radiações solar e terrestre absorvidas por um indivíduo (W/m2);
Conv - calor ganho ou perdido por convecção (W/m2);
Evap - calor perdido por evaporação da água contida no corpo do indivíduo (respiração ou transpiração) (W/m2);
RTemitida - radiação terrestre emitida (W/m2).

3.5.1 Modelagem de Conforto Térmico utilizando o modelo COMFA (*COMfort FormulA*)

O balanço de energia para cada participante foi calculado a cada 15 minutos, utilizando o modelo COMFA. O modelo COMFA requer os seguintes dados de entrada: temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m / s), isolamento vestuário (m/s), a permeabilidade roupas (L m²/s), atividade metabólica (W/m²) e radiação absorvida de onda longa e onda curta (W/m²).

Produção de calor metabólico. O calor metabólico gerado por uma pessoa (W/m²) foi estimado como: M = (1- f)Ma. (4)

em que Ma é a intensidade metabólica do indivíduo (W/m²) e f é uma correção para a perda de calor consumido através da respiração, que é calculada como:

f = 0.150 – (0.7173*e*) – (0.0014Ta) (5)

Onde Ta é a temperatura do ar (° C) e, *e* é a pressão de vapor ambiente (kPa).

Convecção

Perdas de calor por convecção foram calculados com base em Ohm's de forma analoga à lei em que a taxa de fluxo (W/m²) é igual a diferença de concentração [diferença de temperatura (°C) entre as "superfícies"] divididas pelas resistências do fluxo de energia a partir de um piso para o outro (m/s). No presente estudo, o fluxo de calor por convecção de uma pessoa que foi modificado a partir do modelo original (BROWN; GILLESPIE, 1986). O modelo COMFA não incorpora o fator de área de vestuário (FCL). O fluxo de calor por de uma pessoa (W/m²) foi descrito pela equação:

$$CONV = \rho C_p \left(\frac{T_{sk} - T_a}{r_c + r_a} \right) \tag{6}$$

Onde:

ρCp é a capacidade de calor volumétrica do ar (~ 1212 Jm-3 K-1), Tsk é a temperatura da superfície da pele do indivíduo, rc representa a resistência da roupa (sm-1), e ra é o limite de resistência do ar (s m-1). Tsc foi calculada com base no fluxo de calor através da pele como:

$$T_{sk} = T_c - \left(\frac{Mr_t}{\rho C_p} \right) \tag{7}$$

Onde rt é a resistência ao fluxo de calor de tecido do corpo. A Temperatura interna de um indivíduo foi estimada (Campbell e Norman, 1998):

$$Tc = 36.5 + 0{,}0043M \tag{8}$$

Com base nos dados apresentados por Fanger (1972), Brown e Gillespie (1986) sugerem que a resistência dos tecidos do corpo diminui com Ma como:

rt + -0.1 Ma + 65 (9)

A resistência do ar (sm-1) foi calculada como (Campbell, 1998):

Energia Metabólica (M)

O total de energia metabólica gerada por uma pessoa (M*) é usado pelo corpo de duas maneiras: uma pequena parte (f) é consumida durante a respiração através da evaporação da água e perda de calor sensível nos pulmões, e o restante (M) é conduzido às partes externas da superfície do corpo e perdida por convecção, evaporação e radiação. Para descrever essas perdas de calor, são usadas as equações (3), (4) e (5):

$$f = 0{,}150 - 0{,}0173 \times e - 0{,}0014 \times Tar \quad (10)$$

$$e = \left[\frac{0{,}6108 \times \exp(17{,}629 \times Tar^{*})}{Tar^{*} + 237{,}3} \right] \times UR \quad (11)$$

$$M = (1 - f) \times M^{*} \quad (12)$$

Onde:
f – fração da energia metabólica consumida pela respiração;
e - pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do ar (kPa);
T_{ar} - temperatura do ar (°C);
M* - energia metabólica em função da atividade exercida (W/m^2);
M - energia metabólica de um indivíduo (W/m^2);
UR - umidade relativa (%).

Os valores de M* são dados em função do nível de atividade exercida Radiação total absorvida (R_{abs}).

O modelo utilizado descreve separadamente o balanço de radiação solar e terrestre de uma pessoa. Assim, a radiação total recebida por um indivíduo é a soma de dois componentes: radiação solar total absorvida (Kabs) e radiação terrestre absorvida (Labs).

Brown e Gillespie (1986, 1995) representam um indivíduo na paisagem como um cilindro vertical inserido em uma esfera de influência, conforme a Figura 7. O hemisfério superior é influenciado pelo céu e objetos acima do plano do chão, enquanto o hemisfério inferior é influenciado pela superfície do chão e objetos no chão.

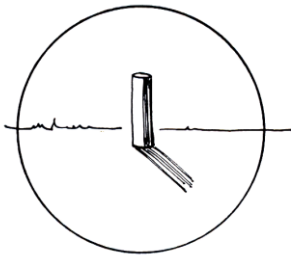


Figura 7- Esfera de influência de um indivíduo na paisagem
Fonte: Brown e Gillespie (1995)

A quantidade de radiação solar absorvida por uma pessoa pode ser estimada ao somarem-se todos os tipos de radiação recebida: a) radiação solar direta transmitida através de uma cobertura qualquer (T); b) radiação difusa recebida diretamente (D); c) radiação difusa refletida pelas árvores ou outros objetos do céu, hemisfério superior (S) e d) radiação refletida pelo chão (R). O somatório das entradas é multiplicado por (1 – albedo), para estimar a quantidade de radiação absorvida por uma pessoa.

A radiação terrestre recebida por uma pessoa pode ser modelada de maneira semelhante à radiação solar. A radiação terrestre recebida do hemisfério superior, LONGS, é o somatório da radiação do céu e a radiação dos objetos do céu. A radiação terrestre recebida pelo hemisfério inferior é, simplesmente, a radiação da superfície. O resultado da soma dessas duas variáveis é multiplicado pela emissividade de uma pessoa, que é aproximadamente 0,98.

A seguir são apresentadas as equações:

$$Rabs = (Kabs + Labs) \times 0{,}8 \tag{13}$$

$$Kabs = (T + D + S + R) \times (1 - A) \tag{14}$$

$$T = \frac{\left(\frac{((1 - DIFFP) \times RS)}{\tan(elevacaosolar \times RAD)} \right)}{\pi} \tag{15}$$

$$D = SVF \times (RS \times DIFFP) \tag{16}$$

$$S = (RS + DIFFD) \times (1 - SVF) \times ALBO \quad (17)$$

$$R = \frac{RS \times t \times ALBGR}{2}$$

$$Labs = (((TOTAL + (SVF \times LONGS)) \times 0{,}5) + (LGRD \times 0{,}5)) \times 0{,}98$$

$$TOTAL = 0{,}98 \times \left(5{,}67 \times 10^{-8} \times \left(T_k^{\,4}\right)\right) \times (1 - SVF) \quad (18)$$

$$LONGS = \left(1{,}2 \times \left(\left(5{,}67 \times 10^{-8}\right) \times \left(T_k^{\,4}\right)\right)\right) - 171 \quad (19)$$

$$LGRD = \left(0{,}98 \times \left(5{,}67 \times 10^{-8}\right) \times T_k^{\,4}\right) \quad (20)$$

Onde:

R_{abs} - a quantidade total de radiações solar e terrestre absorvidas por um indivíduo (W/m^2);

K_{abs} - radiação solar total absorvida (W/m^2);

L_{abs}- radiação terrestre (W/m^2);

T - radiação solar diretamente recebida por um indivíduo (W/m^2);

D - radiação solar difusa recebida diretamente por um indivíduo (W/m^2);

S - radiação solar difusa refletida por árvores ou outros objetos no hemisfério superior de influência (W/m^2);

R – radiação solar refletida pela superfície do chão (W/m^2);

A - albedo da pessoa;

DIFFP - radiação solar difusa (%);

RS – radiação solar (W/m^2);

RAD – 0, 01745329 (conversão de graus para radianos);

SVF - proporção visível do céu em relação a objetos, como, p.ex., edifícios, árvores etc. (Sky view factor) (%);

ALBO - albedo do objeto no hemisfério superior (%);

t - transmissividade do objeto entre o indivíduo e o sol (%);

ALBGR - albedo do chão (%);

TOTAL – radiação total recebida de um objeto no hemisfério superior (céu) (W/m^2);

T_k - temperatura (K) (T(ºC)+273);

LONGS - radiação terrestre recebida do céu (W/m^2)

LGRD - radiação recebida da superfície do chão por um indivíduo (W/m^2).

Multiplica-se o valor obtido da soma das radiações solar e terrestre pelo coeficiente 0,8 na equação (6), pois se assume que 80% da superfície do corpo de um indivíduo está exposta às radiações.

Calor ganho ou perdido por convecção (Conv)

O fluxo de calor de um indivíduo para o ar deve passar pelo interior do corpo, pela roupa e, finalmente, pela camada de ar que envolve o corpo. A equação que descreve esse fluxo é a seguinte:

$$Conv = 1200 \times \frac{(T_{sk} - T_{ar})}{r_a + r_c} \tag{21}$$

$$T_{sk} = T_c - \left(\frac{(1-f) \times r_t \times M}{1200} \right) \tag{22}$$

$$T_c = 36{,}4 + (0{,}0043 \times M) \tag{23}$$

$$r_c = \left(r_{co} \times \left(1 - 0{,}05 \times \left(W_2^{\,0{,}5}\right)\right) \times \left(P^{0{,}4}\right)\right) \tag{24}$$

$$r_t = (-0{,}1 \times M) + 65 \tag{25}$$

$$\mathrm{Re} = 1133 \times W_2 \tag{26}$$

Se Re>40.000, então r_a será:

$$r_a = \frac{204}{0{,}0214 \times 0{,}0266 \times \left(\mathrm{Re}^{0{,}805}\right)} \tag{27}$$

Se Re<4.000, então r_a será:

$$r_a = \frac{204}{0{,}0214 \times 0{,}683 \times \left(\mathrm{Re}^{0{,}466}\right)} \tag{28}$$

Se 40.000>Re>4.000, então r_a será:

$$r_a = \frac{204}{0{,}0214 \times 0{,}193 \times \left(\mathrm{Re}^{0{,}618}\right)} \tag{29}$$

Onde:

Conv - calor ganho ou perdido por convecção (W/m^2);

T_{sk} – temperatura da pele (ºC);

T_{ar} – temperatura do ar (ºC);

r_a – resistência da camada adjacente ao corpo do indivíduo;

r_c – resistência da roupa;

T_c - temperatura do corpo de um indivíduo (ºC);

f – fração da energia metabólica consumida pela respiração;

r_t - resistência ao fluxo de energia da camada da epiderme;

M - energia metabólica de um indivíduo (W/m^2);

r_{co} - valor de absorção da roupa (s/m);

W_2 – velocidade do vento a 2 m de altura (m/s)

P - permeabilidade da roupa;

Re – número de Reynolds.

O calor perdido por evaporação da água contida no corpo de um indivíduo (respiração ou transpiração) (Evap). Perdas por evaporação podem ocorrer por respiração ou transpiração. Perdas por respiração foram tratadas no componente metabolismo (M). A transpiração pode ser dividida em perdas “insensíveis” (E_i), pela pele, e perdas “sensíveis” (E_s) pela transpiração.

$$E_{vap} = E_i + E_s \tag{30}$$

$$E_s = 0{,}42 \times (M - 58) \tag{31}$$

$$Ei = 5{,}24 \times 10^6 \times \frac{\left(0{,}6108 \times \left(\exp\left(\left(\frac{17{,}269 \times \left(T_c - \left(\frac{(1-f) \times r_t \times M}{1200}\right)\right)}{\left(T_c - \left(\frac{(1-f) \times r_t \times M}{1200}\right)\right) + 237{,}3}\right)\right)\right) - e\right)}{(7700 + r_c + (0{,}92 \times r_a)) \times (T_{sk} + 237{,}3)} \tag{32}$$

Onde:

E_i – perda de calor pela pele (“insensível”);

E_s – perda de calor sensível por respiração (“sensível”);

M - energia metabólica de um indivíduo (W/m^2);

T_c - temperatura do corpo de um indivíduo (ºC);

f – fração da energia metabólica consumida pela respiração;

r_t - resistência ao fluxo de energia da camada da epiderme;

e - pressão de saturação do vapor d’água na temperatura do ar (kPa);

r_c – resistência da roupa;

r_a – resistência da camada adjacente ao corpo do indivíduo;

T_{sk} – temperatura da pele (ºC).

Radiação terrestre emitida por um indivíduo ($RT_{emitida}$)

A radiação terrestre emitida por uma pessoa pode ser estimada por meio da equação a seguir:

$$RTemitida = 0{,}8 \times \left(0{,}95 \times 5{,}67 \times 10^{-8}\right) \times \left(T_{ar} + \frac{\left(r_a \times T_c - \left(\left(\frac{(1-f) \times r_t \times M}{1200} \right) - T_{ar} \right) \right)}{r_a + r_c} + 273 \right)^4 \quad (33)$$

Onde:

$RT_{emitida}$ - radiação terrestre emitida (W/m^2);

T_{ar} – temperatura do ar (ºC);

r_a – resistência da camada adjacente ao corpo do indivíduo;

T_c - temperatura do corpo de um indivíduo (ºC);

r_t - resistência ao fluxo de energia da camada da epiderme;

f – fração da energia metabólica consumida pela respiração;

M - energia metabólica de um indivíduo (W/m^2);

e - pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do ar (kPa);

r_a – resistência da camada adjacente ao corpo do indivíduo;

r_c – resistência da roupa.

Este modelo foi amplamente testado e revisado sob várias dinâmicas de condições ao ar livre (BROWN; GILLESPIE, 1986; KENNY et al., 2009a, 2009b; VANOS et al., 2010a).

3.6 Utilização do modelo COMFA para previsão de sensação térmica

O modelo de balanço energetico COMFA (BROWN; GILLESPIE, 1986, 1995) é a base do presente estudo, e aplica-se ao modelo de Fanger 1970 usando dados microclimáticos, vestuário e dados fisiológicos para prever o balanço energetico de um ser humano em ambientes ao ar livre (VANOS et al., 2010b). Os recém-avaliados e melhorada versão do COMFA por Kenny et al. (2009a, 2009b) para uso em indivíduos que exerçam é empregada no estudo para a previsão do orçamento de energia. O modelo COMFA, desenvolvido por Brown e Gillespie (1985) é um modelo para obtenção do conforto térmico humano em ambientes abertos, que funciona, a partir de um conjunto de formulas capazes de estimar o balanço energético de indivíduos ao ar livre. Os valores de balanço energético

(W/m²) obtidos são interpretados em níveis de Conforto Térmico Humano através da Sensação Térmica Prevista (Predict Thermal Sensation - PTS) gerada pelo modelo.

Brown e Gillespie (1986, 1995), a partir de estudos empíricos, propuseram determinadas faixas onde o balanço energético pudesse expressar-se em sensação térmica de acordo com a escala fisiológica segundo a metodologia seguinte:

No início de setembro de 1980 e 1981, estudantes da Universidade de Guelph participaram de um acampamento campo em Manitoulin Ilha no Lago Huron, Ontário. Doze grupos separados de três ou quatro pessoas visitaram 21 locais diferentes em oito dias. Durante as duas viagens e condições variaram de pleno sol a sombra profunda, com velocidade do vento de calmo até 5 m/s e temperaturas de 15 ºC a 25 ºC. Foi arranjado que cada pessoa em um grupo tivesse a roupa e nível de atividade similar, e uma avaliação média de conforto em cada local foi acordado. Estas avaliações foram então plotadas contra O balanço energético da Equação. O método de contabilização votos subjetivas sobre os níveis de conforto térmico foi melhorada para o próximo ensaio, quando em setembro de 1982, quinze estudantes do segundo ano Paisagem Arquitectura da Universidade de Guelph, foram levados para cada um dos sete microambientes que difere principalmente em termos de exposição ao sol e ao vento. Os dados sobre a temperatura e humidade foram realizados com os mesmos instrumentos acima descritos. Os níveis de atividade (taxas metabólicas) e tipos de roupas foram mantidos constantes, e cada pessoa foi solicitada a classificar todos os lugares de acordo com o seguinte conjunto de instruções: "Por favor, responda, em cada ponto de teste, usando o número representativo de uma declaração na lista fornecida que melhor representa o seu nível de conforto térmico”.

O modelo COMFA original basea – se em uma escala prevista de 5 pontos para sensação térmica (Tabela 2).

A fim de aplicar o modelo COMFA de forma mais ampla, uma nova escala de 7 pontos (PTS), com adaptações de Harlan (2006), foram avaliadas neste estudo. Embora seja recomendada pesquisas para confirmar a adequação desta escala numa variedade de ambientes exteriores, kenny et al, 2009, sugere que ela fornece uma representação efetiva para ATS (*Actual Thermal Sensation*) (Tabela 3). No entanto, é preciso saber se uma escala de 7 pontos fornece uma adequada variedade de escolha para usuários de espaços ao ar livre, tal como é aplicado para

ambientes internos, onde os limites de exposição são muito mais estreitas (SPAGNOLO,2003a).

Tabela 2 – Interpretação do modelo baseado nos resultados do experimento

Escala de sensação térmica	Balanço energético (COMFA, W/m²)	Interpretação
-2	≤ 150	Muito frio
-1	-150 à - 50	Frio
0	-50 à +50	Neutro
1	+50 à +150	Quente
2	>150	Muito quente

Fonte: Brown e Gillespie (1986)

3.6.1 Avaliação do desempenho do modelo COMFA em condições de clima quente

O presente estudo teve como um dos objetivos centrais avaliar o desempenho do modelo COMFA em localidades de clima predominatemente quente. Com base nos estudos realizados na província de Ontário no Canadá (BROWN; GUILLESPIE, 1986), fez–se o experimento com o mesmo padrão de entrevistas, utilizando ,inclusive, o mesmo modelo de questionário com pequenas adaptações (ANEXO), no entanto, devido a dificuldades logisticas , não foi possível executa –la com grupos fechados de participantes (conforme descrito em BROWN; GUILESPIE,1985), optando–se por entrevistas aleatórias nos locais de medição climatológicas, uma vez que o trabalho também procurou avaliar o conforto térmico em áreas com diferentes usos e cobertura do solo.

De modo a diminuir o efeito de eventuais discrepâncias nas respostas e melhorar estatisticamente os resultados, aplicou-se tantos questionários quantos foram possíveis no período do experimento.

Também, padronizou-se alguns fatores fisiológicos como atividade metabólica. Os entrevistados foram agrupados segundo o local e condição de aplicação da seguinte forma: se estavam no ponto 1 ou 2, se estavam em situação de sombra ou sol, se eram homens ou mulheres.

Os dados climáticos e as entrevistas foram realizados na cidade de piracicaba, São Paulo, Brasil, e toda a tabulação, processamento, análise dos dados e resultados preliminares foram realizadas na Universidade de Guelph, Ontário, Canadá, onde pode-se contar com treinamento, suporte técnico, e outras contribuições dos autores do modelo COMFA.

3.7 Aplicação dos questionários

O *Actual Thermal Sensation* (ATS) é o voto real do indivíduo que expressa sua sensação térmica em condições climáticas específicas. Para a obtenção do ATS, a presente pesquisa utilizou um modelo de questionário, normalmente aplicado em estudos com esta finalidade (ANEXO)

O questionário foi aplicado simultaneamente ao registro das variáveis microclimáticas, buscando encontrar uma relação entre os valores obtidos nas medições e as respostas (ATS) fornecidas pelos participantes.

O questionário foi composto por questões do tipo fechadas adaptadas de Brown e Gillespie (1986) e Kenny et al. (2009a), sendo composto dos seguintes itens: Parte 1: gênero, idade, altura, peso, exposição ao sol, escolaridade, resistência térmica das vestimentas e Parte 2: sensação térmica e nível de conforto térmico.

Os dados foram tabulados em planilha Excel da Microsoft Office e analisados estatisticamente pelo software “R” (*Action* excel).

O questionário foi aplicado aleatoriamente aos transeuntes em intervalos aproximados de 15 minutos simultaneamente aos registros da estação meteorológica.

Todos os participantes entrevistados apresentavam se em situação de baixa atividade metabolica (sentados ou parados e em pé), e foram solicitados a avaliar sua sensação térmica ao longo de uma taxa de percepção na escala de 7 pontos (FANGER, 1972).

Ao mesmo tempo, eles foram solicitados a avaliar como preferiam se sentir neste momento particular de acordo com uma escala de preferência referenciada na Tabela 2.

Tabela 3 - Escala de sete pontos para a classificação da sensação térmica prevista (PTS) aplicada ao balanço energético gerado pelo COMFA

Escala de sensação térmica	**Balanço energético (COMFA, W/m²)**	**Interpretação**
-3	≤ 201	Muito frio
-2	201 à -121	Frio
-1	-51 à -120	Pouco frio
0	-50 à +50	Neutro
1	51 à +120	Pouco quente
2	+121 à +200	Quente
3	>201	Muito quente

Tabela 4 - Escala de respostas de variação da sensação térmica preferida pelos participantes durante a aplicação do questionário

Escala	**Preferência**
-3	Muito mais quente
-2	Mais quente
1	Pouco mais quente
0	Como está
1	Pouco mais frio
2	Mais frio
3	Muito mais frio

Fonte: Adaptado de Brown e Gillespie (1995)

3.8 Fator de Visão do Céu (SVF)

Para a obtenção dos valores de SVF utilizou – se fotografias olho de peixe, onde as imagens foram tomadas próximos a estação meteorólogica em cada unidade amostral do nível do solo com uma lente de olho de peixe Nikon de 8 milímetros (ângulo de imagem de 180◦, f/2.8).

A Figura 8 mostra a classificação computadas do SVF nas estações meteorólogicas, com as medidas tomadas verticalmente com a câmera (instalada em tripé) a 1 metro do chão.

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 0.77 para a ESALQ e 0.43 para o centro.

Figura 8 - Fotografia olho de peixe ESALQ (a) e (b), centro (c) (d). SKY VIEW FACTOR – SVF, (A) e (B) ESALQ (0.77) e Centro (C) e (D)

Fonte : autor

3.9 Imagens termais

Para captura das imagens termais foi utilizada uma câmera termográfica de infravermelho marca FLIR modelo SC660. Foram utilizadas imagens termais aéreas de alta resolução obtidas por uma câmera termográfica com amplitude espectral de 7,5-13 µm, resolução de 640 x 480 pixels, com uma precisão de +/- 1 °C em suas leituras.

A metodologia seguida nesta pesquisa foi a captura de imagens com emissividade radiante em micro-escala urbana-climática. Utilizaram-se imagens termais e multispectrais aéreas de alta resolução da superfície urbana como ferramenta para mapear o comportamento da temperatura de superfície e sua contribuição para o estudo do conforto térmico em ambientes abertos.

As imagens termais foram carregadas no software, e convertidas em escala de cinza utilizando algoritmos de mínimo e máximo, obtendo os dados de

temperatura em graus célsius. Posteriormente as imagens foram georreferenciadas utilizando uma base de dados conhecida.

Depois de georreferenciadas pelo quantum GIS as imagens termais foram processadas pelo multispec ®, para a classificação e criação do mapa temático de temperatura de superfície na áreas de interesse.

3.10 NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Para análise da distribuição da vegetação na área urbana, além da classificação supervisionada da imagem, também foi extraído o Índice de Vegetação Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI)

O NDVI é uma ferramenta para o monitoramento da vegetação, é utilizado para construir perfis sazonal e temporal das atividades da vegetação, permitindo comparações e correlações futuras.

A equação é usada no cômputo do NDVI é aplicada diretamente sobre cada par de pixel nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, produzindo um valor pertencente ao intervalo [–1, 1]. Quanto mais próximo de 1, maior é a certeza de estar se tratando de um pixel de vegetação. Altos valores do índice indicam maior presença de vegetação.

Moreira (2005) afirma que a principal finalidade dos índices é a de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (intensificando o contraste). O autor cita diversos estudos que atestam que o índice NDVI é um dos mais utilizados, sendo mais sensível à vegetação esparsa. O índice de vegetação NDVI, de acordo com Moreira, 2005), consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo, como segue:

$$\mathbf{NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)}$$

Sendo,

IVP: Infravermelho próximo

V: Vermelho

Este índice de vegetação baseia-se nos princípios do comportamento espectral da vegetação sadia nos comprimentos de onda do visível, especialmente do vermelho e do infravermelho próximo. Nestas duas bandas, a vegetação mostra um evidente contraste em relação às demais características presentes nas imagens (MOREIRA, 2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do desempenho do modelo de conforto térmico em ambientes abertos (COMFA) em clima tropical

4.1.2 Aplicação de questionários

Uns totais de 467 questionários foram aplicados a voluntários (218 do sexo feminino e 249 do sexo masculino). Um total de 187 pessoas participaram do primeiro experimento no periodo das 9h00 às 17h00 nos dias 24 , 25 (ESALQ) e 30 (Centro) de outubro de 2012. Outras 280 pessoas participaram do segundo experimento realizado simultaneamente na ESALQ e no Centro no período das 8h00 às 17h00 nos dias 4 e 5 de junho de 2013. A fim de evitar complicações associadas precipitação, os testes foram realizados em dias de céu aberto com poucas nuvens e sem precipitação. (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição das características dos sujeitos que participaram do estudo (n=467)

Descrição das características dos entrevistados (n= 467)					
	Variável	**Media**	**σ**	**Min**	**Max**
Feminino (n= 218)					
	Idade (anos)	31	12	16	65
	Altura (m)	1.63	0.05	1.5	1.8
	Peso (kg)	61.4	9.2	45	110
Masculino (n= 249)					
	Idade (anos)	31.3	11	17	66
	Altura (m)	1.76	0.09	1.52	1.9
	Peso (kg)	80.9	16.9	49	130

4.1.3 Análise estatística dos dados

Realizou-se uma análise de correlação para a avaliação do desempenho do modelo COMFA (Figura 9). A correlação positiva (0,87) entre o balanço energético (budget) e o ATS foi significativa sendo comprovada pelo p-valor de 0,00 menor que o nível de significância adotado de 5%. Da mesma forma ocorre associação significativa entre o ATS e a preferência térmica dos participantes (-0,74) e P-valor igual a 5,5 e -82 e entre a preferência térmica e o Balanço energético com (-0,60) e p-valor igual a 8.5e-47.

O p-valor ser menor ou igual ao nível de significância α pré-determinado, significa que há correlação significativa entre as variáveis. Através da matriz observa-se que as três variáveis em estudo possuem associação linear entre si, sendo esta ainda, negativa entre PTS e ATS e entre PTS e o Budget (Balanço Energético) e positivas entre o ATS e o balanço energético. Assim, conforme o ATS aumenta o balanço energético também aumenta enquanto o PTS diminui.

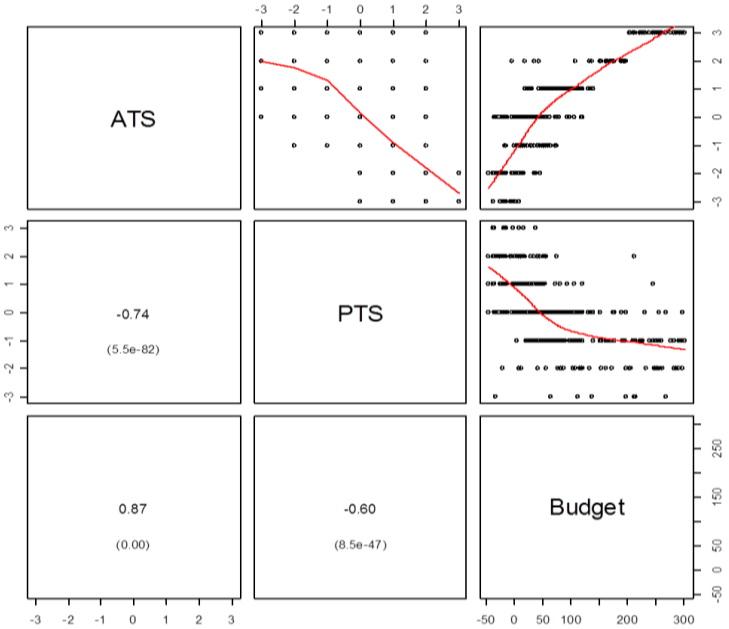


Figura 9 - Gráfico de correlação de Person entre o voto real de sensação térmica (ATS), a sensação térmica preferida (PTS) e o balanço energético (budget)

4.1.3.1 Associação entre as variáveis de escala métrica (ou intervalar).

Observou-se a associação entre as variáveis dos dados da sensação termal. De acordo com a Figura 10, verificou-se qual grupo (estrato) teve uma maior dispersão e conforme o gráfico ilustrado nesta Figura pôde-se ter uma ideia da localização da média de cada grupo.

Observa-se que há uma correspondência entre as concentrações do voto real do indivíduo (*Actual Thermal Sensation*) e o balanço energético gerado pelo modelo COMFA.

Nas Figuras 10 e 11 verificou-se uma relação linear entre o balanço energético e o ATS. Os dados mostram que à medida que o balanço energético aumentou o ATS também aumentou.

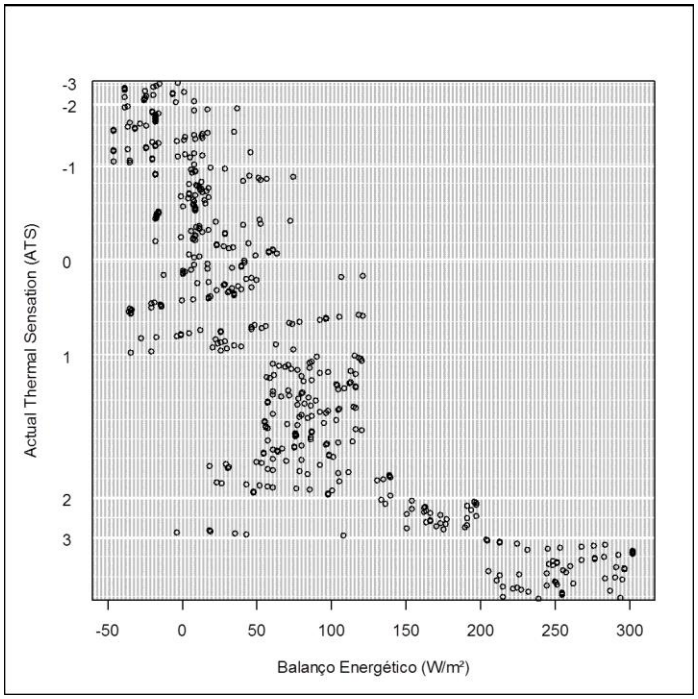


Figura 10 - Dados de disperssão correlacionando o ATS com o balanço energético

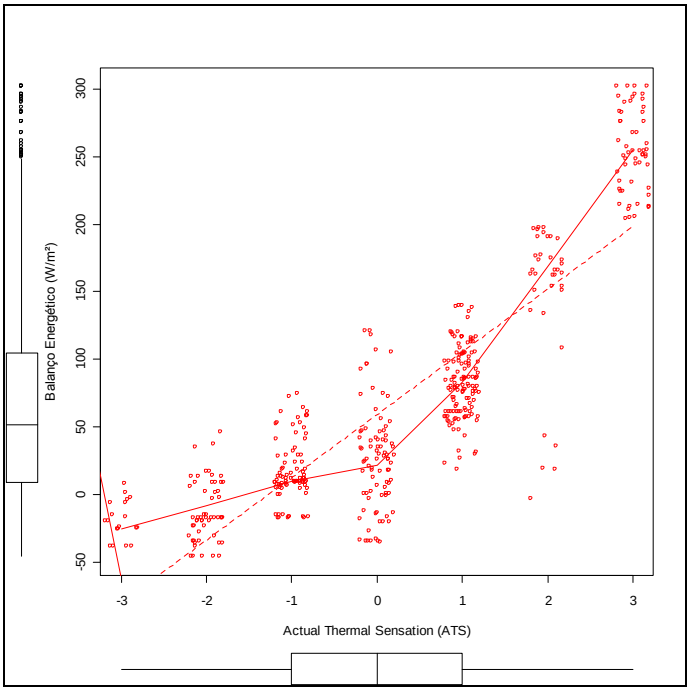


Figura 11 - Dados de dispessão correlacionando o ATS com o balanço energético consederando os respectivos intervalos interquartis (IQR)

As Figuras 12 e 13 mostram o intervalo de valores do balanço energetico fornecido pelo modelo COMFA registada em função de cada uma das categorias ATS (voto real) durante o período do experimento (n = 467 respostas). Esta abordagem permite uma avaliação clara das faixas de balanço energético associado com as respostas para cada uma das categorias ATS.

É útil para examinar o intervalo interquartil (IQR) entre o percentil 75 e 25 (a faixa do meio de 50% dos dados) e a mediana do balanço energético para cada categoria, que são menos afetados por *outliers* ou extremos do que a média aritmética.

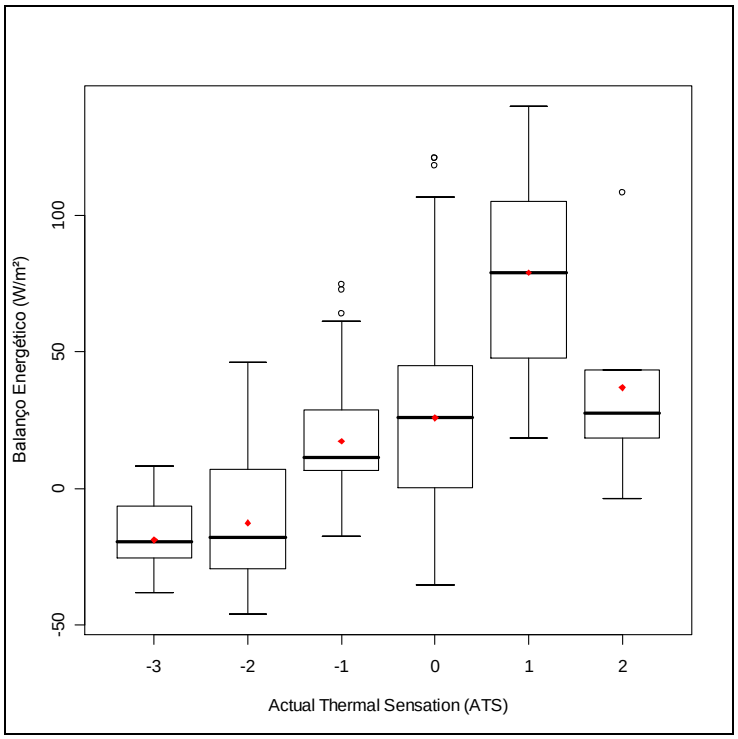


Figura 12 - Gráfico boxplot do experimento de outono, exibindo a gama dos valores do balanço energético gerados pelo COMFA de cada um dos voto real do individuo (Actual Thermal Sensation). O comprimento de cada caixa está indicado pelo intervalo interquartil (IQR) entre o percentil 25 e 75. Outliers (valores 1,5-3 IQRs a partir da extremidade da caixa) são marcadas por dados referentes a estação do ano outono

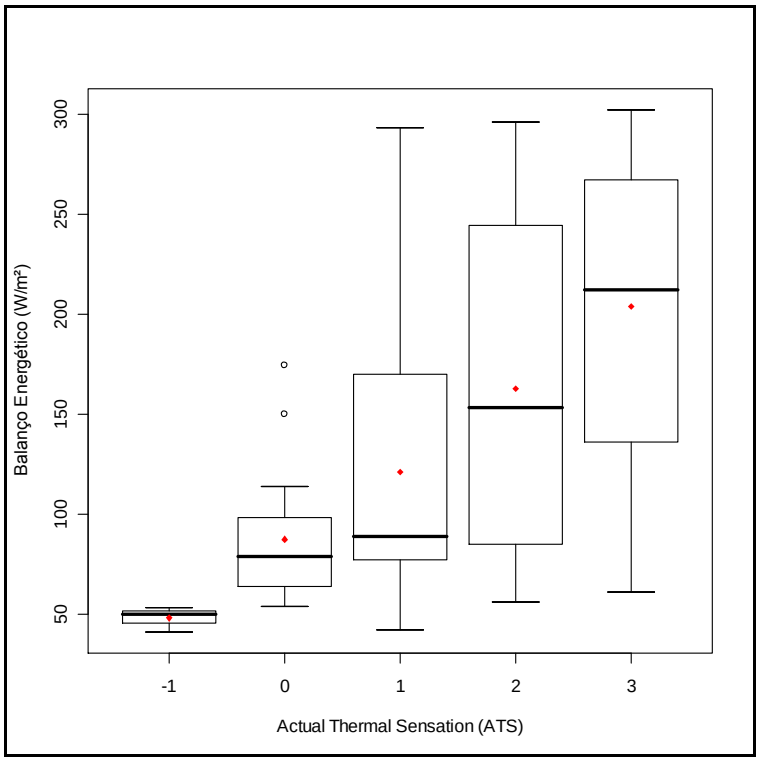


Figura 13 - Gráfico boxplot do experimento de primavera exibindo a gama dos valores do balanço energético gerados pelo COMFA de cada um dos voto real do individuo (Actual Thermal Sensation). O comprimento de cada caixa está indicado pelo intervalo interquartil (IQR) entre o percentil 25 e 75. Outliers (valores 1,5-3 IQRs a partir da extremidade da caixa) são marcadas por °. Dados referentes a estação do ano primavera

Os valores da mediana para o balanço energetico de cada categoria (ATS) no experimento de primavera foi -1 (pouco frio) = 50 W/m²; 0 (neutro) = 79 W/m²; 1 (pouco calor) = 89 W/m²; 2 (calor) 153 W/m² e 3 (muito calor) = 212 W/m². Não houve votos para as categorias -2 (frio) e -3 (muito frio). Deve-se considerar que apenas três votos foram dados à categoria -1 (pouco frio, por tanto, deve-se ter precaução ao avaliar a interpretação dos resultados para esta categoria. Para o experimento de outono os valores de mediana para cada categoria foram -3 (muito frio) = -19 W/m²; -2 (frio) = - 18 W/m²; 0 (neutro) = 26 W/m² e + 1 (pouco calor) = 79 W/m². Não houve votos para as categorias + 2 (calor) e +3 (muito calor). Houve uma clara sobreposição do IQR para todas as categorias, com excessão à categoria -1

(pouco frio) para o experimento de primavera e + 1 (pouco calor) para o experimento de outono.

O Coeficiente de correlação de postos de Spearman (Rho) foi utilizado para avaliar a tendência geral na intensidade da relação entre ATS e PTS foi apropriada, uma vez que é usado para medir associações de dados ordinais com base nas posições da classificação dos dados em vez do real valores numéricos (Isaac e Michael, 1997, Kenny et al, 2009). Os resultados sugerem que os votos da ATS e PTS foram significativamente positivamente correlacionados (coeficiente de correlação = 0,611, P <0,01). Embora a intensidade da relação entre os votos reais previstos para a Sensação térmica ser significativa, houve discrepâncias entre os votos PTS e ATS. O modelo COMFA substancialmente superestimou os votos ATS, como indicado pelo outlier do IQR, na categoria 0 (neutro) para o experimento de primavera e para as categorias 1 (pouco calor), 0 (neutro) e 2 (calor), para o experimento de outono. Segundo Fanger (1972) haverá naturalmente, uma certa variação nas sensações térmicas de um grupo de pessoas expostas ao mesmo ambiente.

Estudo semelhante foi realizado por Kenny (2009), onde foi avaliado o desempenho do COMFA sobre realização de atividade física moderada a vigorosa.

Observa-se na Figura 14 que as três curvas seguem a mesma tendência, aumentando gradativamente até a categoria 3 (muito calor).

O experimento realizado no outono (Piracicaba II), teve valores de medianas menores em todas a categorias, ao contrário, o experimento de verão atingiu os maiores valores de balanço energético. Destaca-se que, há uma tendência de diminuição da diferença das medianas conforme o balanço energetico aumenta.

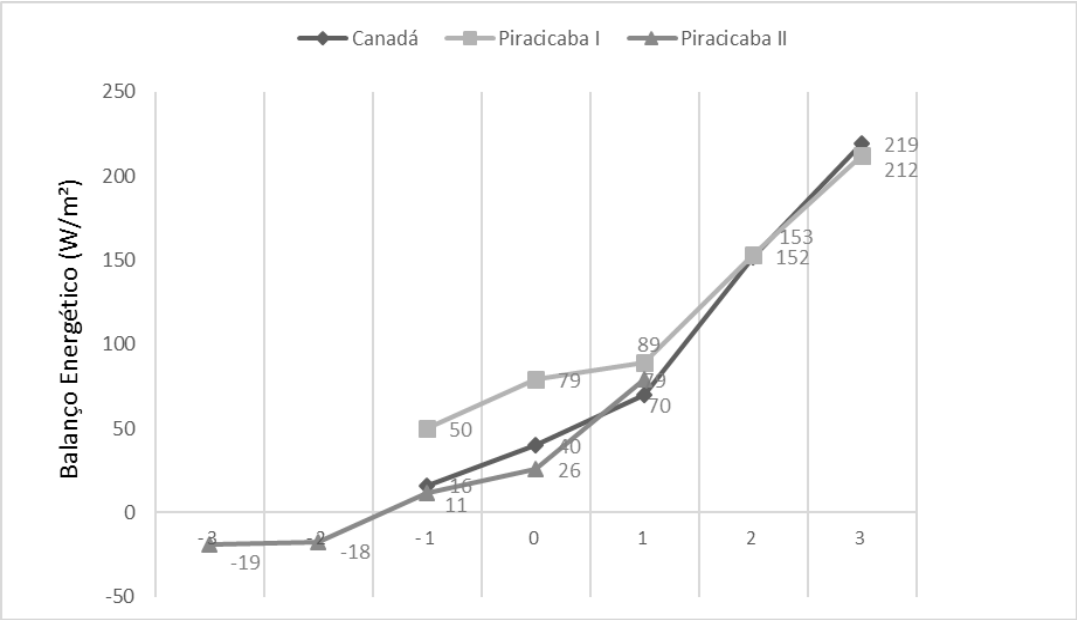


Figura 14 - Comparação dos valores da mediana do balanço energético para cada ATS entre o Canada (2009); e Piracicaba I (primavera) e Piracicaba II (outono) (2012 - 2013).

Observa-se, também, que o balanço energético para cada ATS são muito próximos para o experimento de Piracicaba I (Primavera) e no Canadá, principalmente quando se considera as categorias referentes ao estresse pelo calor (categorias +1, +2 e +3). Pode-se inferir que duas variáveis contribuíram para esta proximidade agindo de maneiras opostas, sendo elas, a taxa metabólica e a temperatura do ar. No Canadá os participantes apresentavam atividade física moderada e vigorosa (média e alta atividade metabólica) enquanto estavam expostos a uma temperatura entre 13,4 ºC e 29, 2 ºC. Em Piracicaba I (primavera), ao contrário, os participantes apresentavam-se em repouso (baixa atividade metabólica) enquanto estavam expostos a uma temperatura entre 23,9 ºC e 39,1 ºC. O esforço físico executado aumentou a produção de calor nos participantes no experimento do Canadá, fazendo com que o balanço energético nos mesmos aumentasse sobrepondo–se aos efeitos da temperatura do ar, fazendo com que a temperatura percebida (sensação térmica) se tornasse mais alta.

Deve – se considerar o fator de aclimatação ao clima mais quente. O gráfico na Figura 14, sugere que os participantes expressaram conforto com o balanço energético de 50W/m², o que pela escala de 7 pontos (Tabela 2) tenderia ao estresse pelo calor (categoria +1), mas no outono eles estão se sentindo bem com um balanço energetico neutro (proxímo de zero).

Determinando – se o intervalo entre +1 e -1 como um próximo ao confortável, eles saem do intervalo no lado frio, com um balanço energetico de cerca de 50 W/m² na Primavera e no lado quente, com um balanço energetico de cerca de 100 W/m².

Desta forma, pode-se inferir que os dados justificam um intervalo entre 50 W/m² e 100 W/m² como a faixa de conforto na Primavera e entre 0 W/m² e 70W/m² para o Outono.

Os dados mostraram que os participantes em Piracicaba mais adaptados ao balanço energético tendendo um pouco sobre o lado quente. Nota – se, também um claro ajustamento sazonal.

4.2 Distribuição de frequência dos votos real (ATS) por gênero e estação do ano

A distribuição de frequência por estação do ano mostra-se bastante coerentes com as expectativas da pesquisa. Sendo estações de climas contrastantes, a primavera recebeu a maioria dos votos referentes ao estresse pelo calor (+1,+2 e +3) , por outro lado, o outono recebeu a maioria dos votos referentes ao estresse pelo frio (-1,-2 e -3).

Deve-se observar, no entanto, que os votos da categoria referente a zona de neutralidade térmica no outono foi maior do que na primavera. Pode-se inferir que este fato se deve as altas temperaturas registradas durante o período de entrevistas para esta estação.

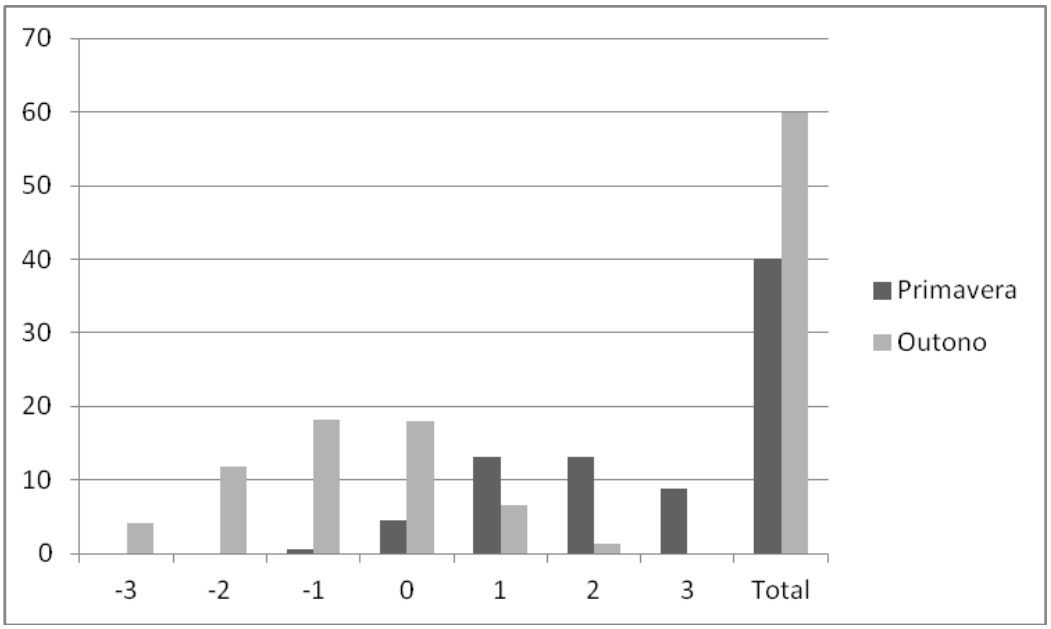


Figura 15 - Distribuição de frequência por estação do ano. Os votos foram tomados ao longo da escala de 7 pontos −3 (muito frio) a +3 (muito quente)

Considerando o total das entrevistas (experimentos 1 e 2) a maioria dos votos (65%) recebido na região -1 (pouco frio) ≤ ATS ≥ +1 (pouco quente). A categoria +1 (pouco quente), recebeu a maioria dos votos (28,1%), enquanto as categorias 0 (neutro) e -1 (pouco frio) foram quase igualmente dividida com 18,2% e 18,4% dos votos, respectivamente. Poucos dos votos foram dados para as categorias - 3 (muito frio) (4,1 %), - 2 (frio) (11,8%),+2 (quente) (7,5%), -2 (11,8%) e +3 (muito quente) (12 %) (Figura 16).

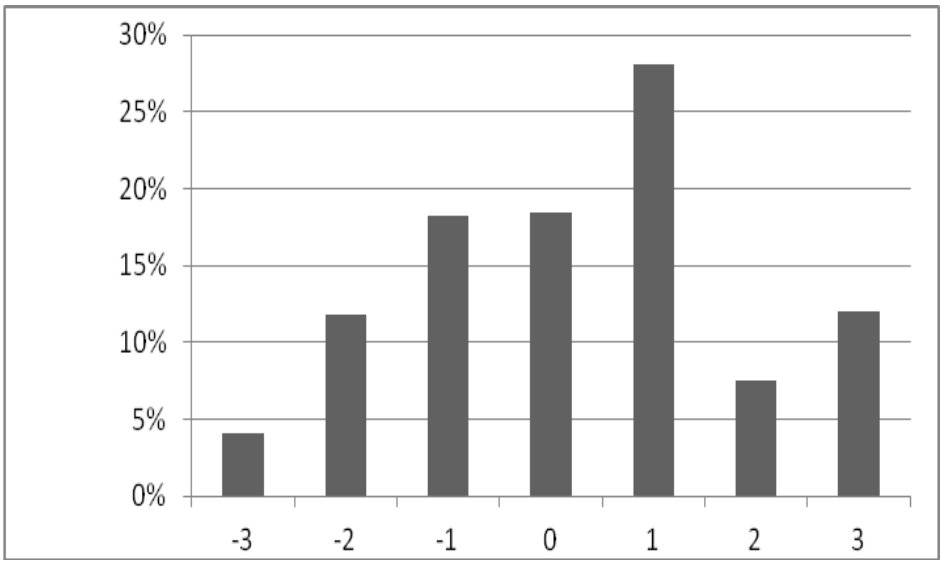


Figura 16 - Voto real de sensação térmica (ATS) dos participantes durante os dois experimento (Piracicaba I e II), os votos foram dados ao longo de uma escala de 7 pontos de -3 (frio) a +3 (quente)

A distriuição total das categorias ATS, considerando-se as entrevistas do experimento de campo 1 e 2, tiveram uma predominância de votos femininos na região correspondente a estresse pelo frio (-3, -2,-1) voltando a apresentar a maioria dos votos na região que corresponde a situação de muito calor (+3). Já o grupo masculino teve a maioria dos votos compreendidos na região correspondente à neutralidade térmica, e estresse pelo calor nas regiões +1 (pouco calor) e +2 (calor).

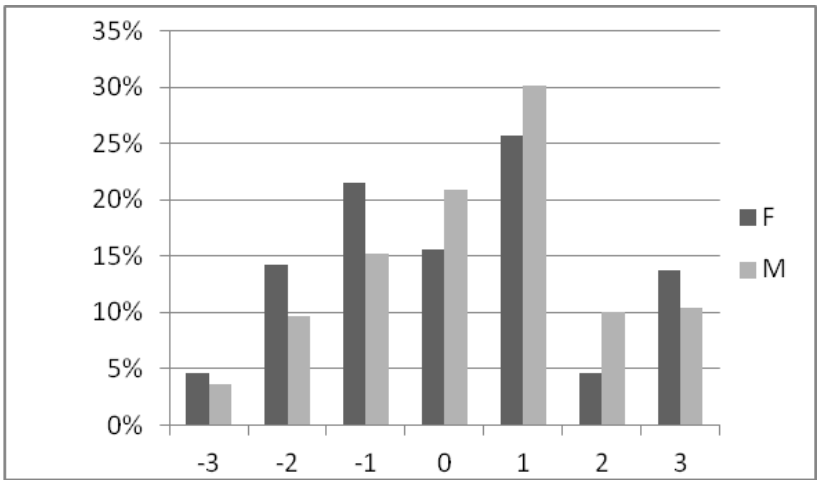


Figura 17 - Distribuição de freqüência do voto real de sensação térmica (ATS) por sexo. Os votos foram dados ao longo de uma escala de 7 pontos de -3 (frio) a +3 (quente)

Considerando a distribuição de frequência do ATS na primavera, obteve-se que a maioria dos votos (87,2%) foi recebida nas categorias +1 (pouco quente), +2 (quente) e +3 (quente) com 32,6%; 32,6% e 21,9% respetivamente, conforme a Figura 18.

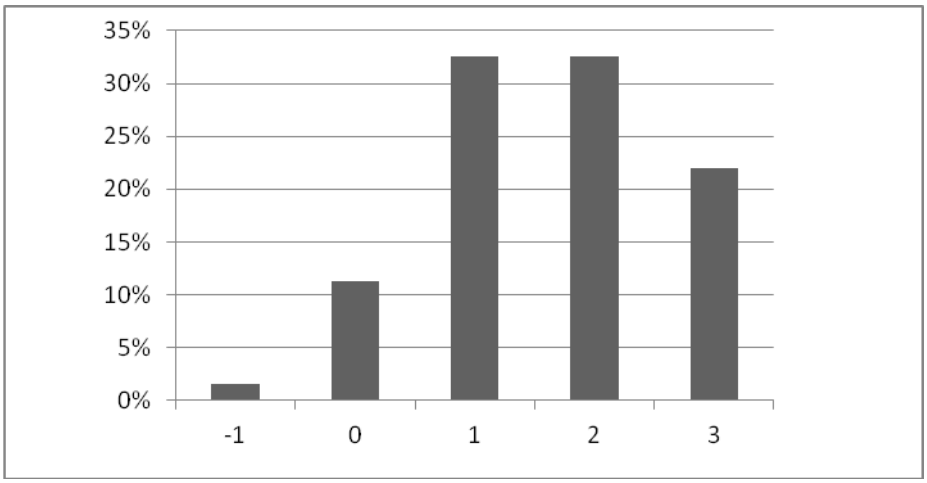


Figura 18 - Voto real de Sensação térmica (ATS) dos participantes durante o experimento da primavera. Os votos foram dados ao longo de uma escala de 7 pontos de -3 (frio) a +3 (quente)

Para o outono a maioria dos votos (80%) recebidos na região - 2 (frio) ≤ ATS ≥ 0 (neutro). Dentre esses a categoria que recebeu maior número de votos foram as categorias -1 e 0 com 30,4 % e 30% respetivamente. A categoria -2 recebeu 19,6% enquanto as categorias -3;+1 e +2 receberam 6,8%; 11,1% e 2,1% respetivamente (Figura 19).

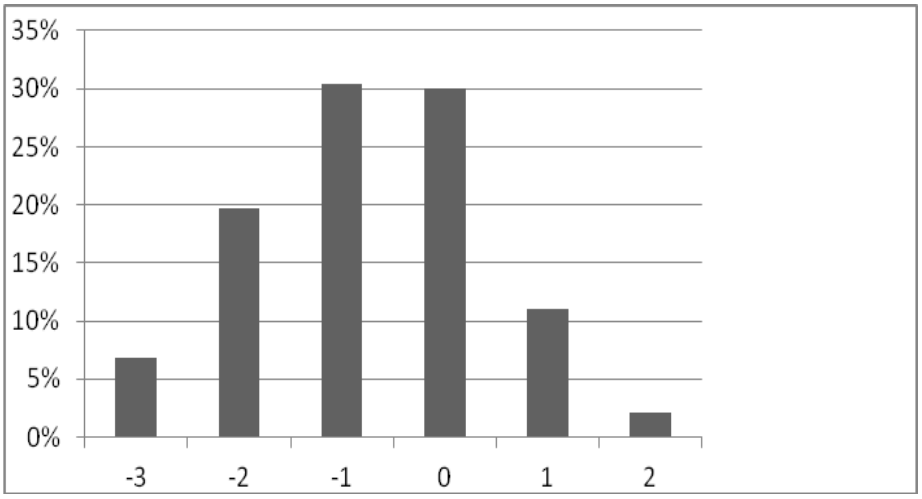


Figura 19 - Voto real de Sensação térmica (ATS) dos participantes durante o experimento de outono. Os votos foram dados ao longo de uma escala de 7 pontos de -3 (frio) a +3 (quente)

Os entrevistados também foram solicitados a votar em uma escala de 7 pontos avaliando como preferiam se sentir naquele momento particular. Neste caso, a maioria (mais de 30% dos entrevistados) votaram na faixa correspondente a 0 (prefere como está), 27% votaram na faixa correspondente a -1 (prefere um pouco mais frio) e cerca de 18% dos entrevistados votaram na faixa correspondente a +1 (prefere um pouco mais frio). A demais regiões (-2,-3 +2 e +3), tiveram votos abaixo de 15% (Figura 22).

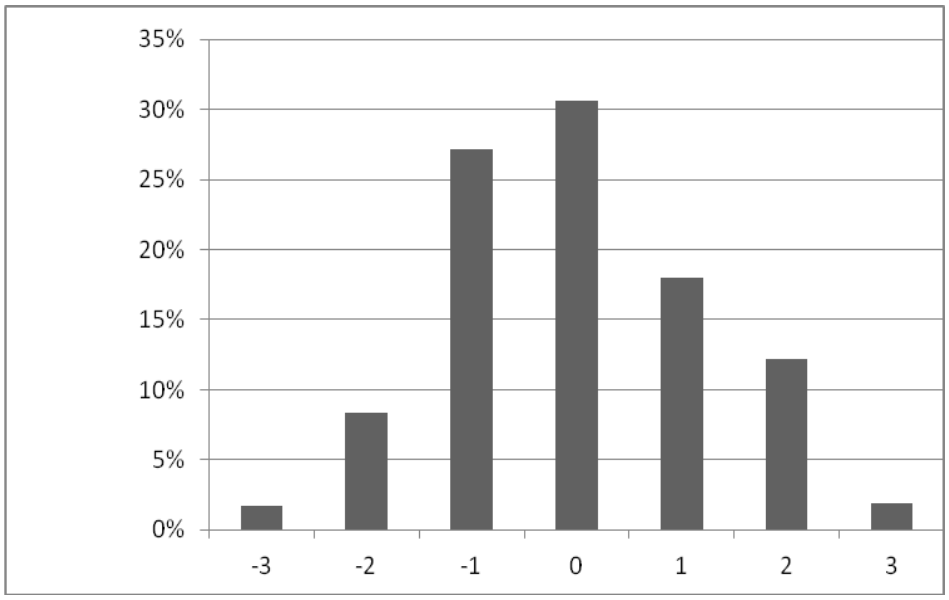


Figura 20 - Voto real de Sensação térmica (ATS) dos participantes durante o experimento de outono e da primavera. Os votos foram dados ao longo de uma escala de 7 pontos de -3 (frio) a +3 (quente)

Os votos correspondentes a preferência térmica dos indivíduos na primavera, mais de 50% dos entrevistados escolheram a faixa correspondente a categoria -1 (preferia que estivesse um pouco mais frio) 20% escolheram a faixa correspondente categoria 0 (prefere como está) e cerca de 18% dos entrevistados escolheram a faixa correspondente categoria -2 (preferia que estivesse mais frio). As demais categorias receberam votos inferiores a 5% (Figura 21).

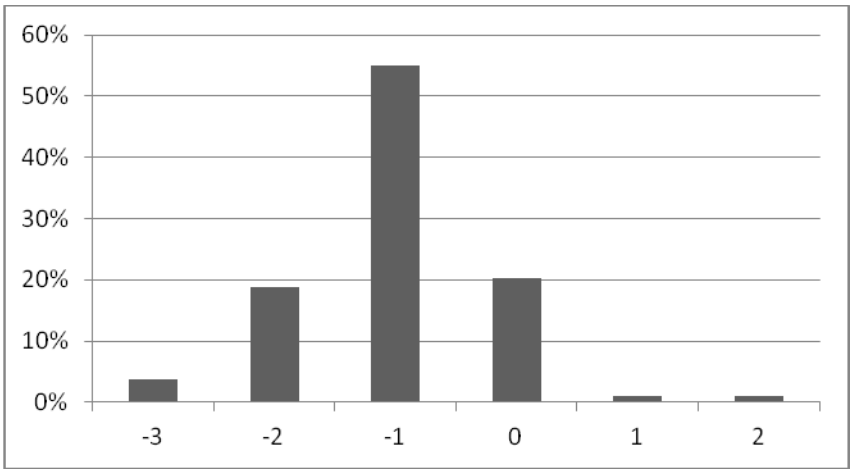


Figura 21 - Preferência térmica dos participantes durante o experimento da primavera. Os votos foram dados ao longo de uma escala de 7 pontos de -3 (frio) a +3 (quente)

Para o experimento de outono a maioria dos candidatos (38%) escolheu a categoria 0 (prefere como está), 29% escolheram a categoria + 1 (preferia que estivesse um pouco mais quente) 20% preferia que estivesse mais quente (+2) e 9% dos entrevistados preferiam que estivesse um pouco mais frio. As demais categorias (-3, -2 e +3) receberam votos inferiores a 5% (Figura 22).

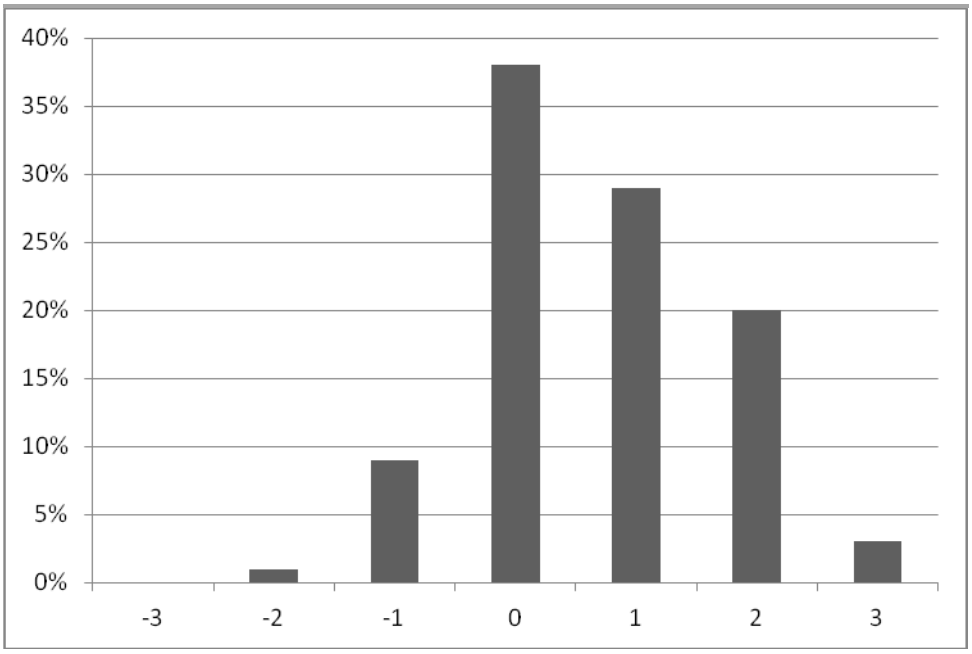


Figura 22 - Preferência térmica dos participantes durante o experimento de outono. Os votos foram dados ao longo de uma escala de 7 pontos de -3 (frio) a +3 (quente)

4.3 Análise espacial da cobertura vegetal em relação a outros tipos de cobertura

4.3.1 Classificação supervisionada

Os resultados obtidos com a classificação supervisionada são apresentados na Tabela 4. Foram gerados 2 mapas temáticos, referentes ao ponto amostral P2 (centro) e P1 (ESALQ), representados na 22 A e B respectivamente.

Os diferentes recortes para a classificação teve como objetivo avaliar as diferenças na cobertura arbórea bem como nos demais usos e ocupação da superfície do solo.

Para a classificação supervisionada da área de estudo foram definidas nove classes para o centro de Piracicaba- SP e 11 classes para o parque da ESALQ, sendo elas, copa de árvore, gramado, solo exposto, piso cimento, piscina, telha cerâmica, telha escura, telha metálica, solo exposto, lago, sombra, asfalto. Essas classes foram agrupadas em cinco subclasses, sendo elas, copa de árvore (arborizado), gramado (gramado), solo exposto claro e solo exposto escuro (permeável), piso cimento, asfalto, telha cerâmica, telha cinza, telha escura, telha metálica (impermeável) (Tabela 4).

As classes de cobertura foram agrupadas em grupos maiores a fim de permitir uma melhor correlação entre as classes de cobertura e sua influência nas variáveis microclimáticas, na temperatura de superfície observada e no conforto térmico constatado.

Tabela 4 - Classes de cobertura agrupadas em principais cinco grupos de interesse

Nº classes	Classe de cobertura	ESALQ (%)	Centro (%)
1	Arborizado	32,7	7,9
2	Gramado	20,4	3,6
3	Sombra	11,1	11,2
4	Impermeável	24,9	77,8
5	Permeável	62,4	11,0

Tabela 5 - Classes de uso do solo em P1 e P2 no município de Piracicaba- SP

Classes de uso do solo	ESALQ (%)	CENTRO (%)
Copa de árvore	32,7	7,86
Lago	1,45	0,0
Relvado	20,41	3,16
Sombra	11,133	11,15
Piscina	0,082	0,0
Telha metálica	2,075	2,24
Telha cerâmica	5,464	25,45
Asfalto	7,169	17,63
Telha escura	5,299	10,13
Piso cimento	4,930	22,38
Solo exposto	9,243	0,0
Estatística Kappa	92.8	89,1
Acurácia	89,05	86,7

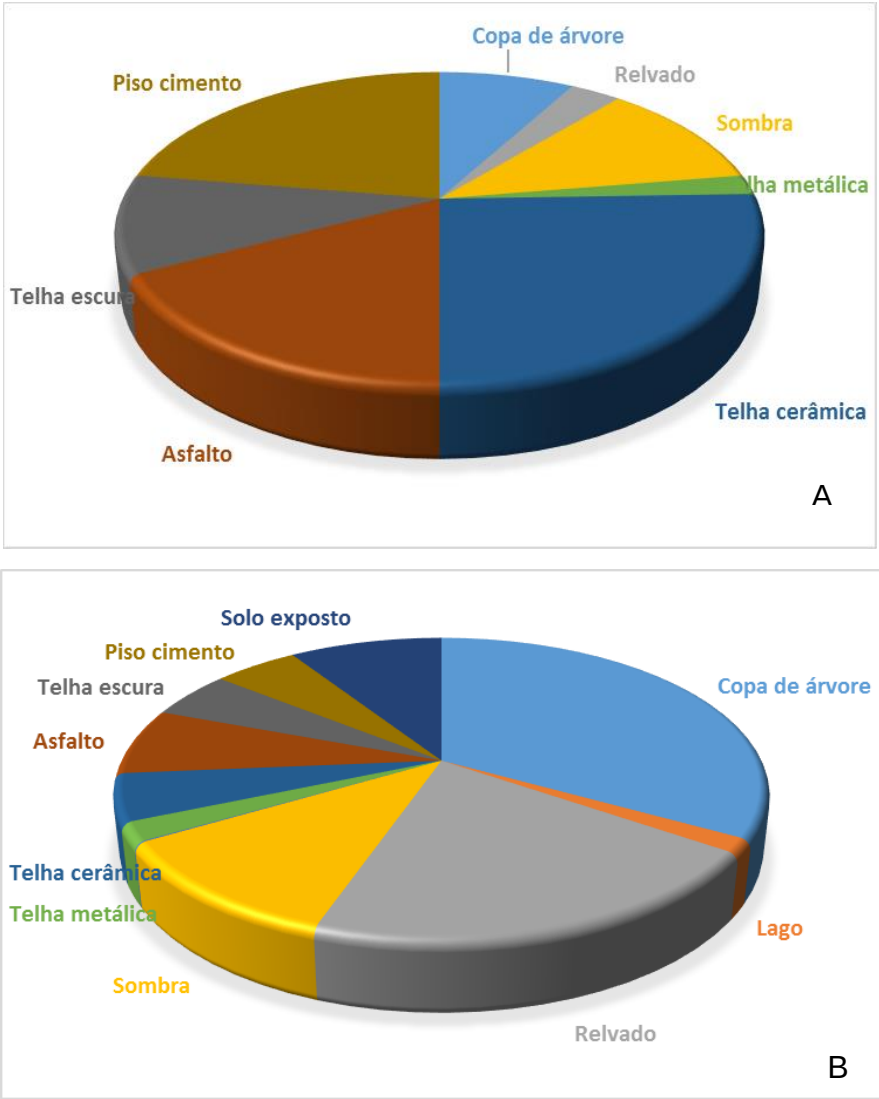


Figura 23 - Gráfico de setores correspondentes a proporção das classes de cobertura do solo do centro (A) e ESALQ (B)

Por meio dos recortes referentes à cena de cada unidade amostral foram extraídos da imagem classificada a porcentagem de classes de cobertura, conforme observa-se na Tabela 5.

Conforme observa-se, há uma notável diferença entre P1 e P2 no tocante as classes que representam as áreas vegetadas e não vegetadas que sãos as principais variáveis de interesse em nosso estudo.

Enquanto P1 apresenta uma área arborizada de 32,7% a área de Piracicaba referente P2 apresenta apenas 7,86%. Quando considera a área permeável (subgrupo que integra as áreas arborizadas e as áreas gramadas) obtém-se uma diferença ainda maior, sendo de 62% e 11% respectivamente. Por outro lado as

áreas impermeabilizadas consideradas tem um resultado oposto na mesma comparação sendo de 24,9% para P1 e de 77,8% para P2.

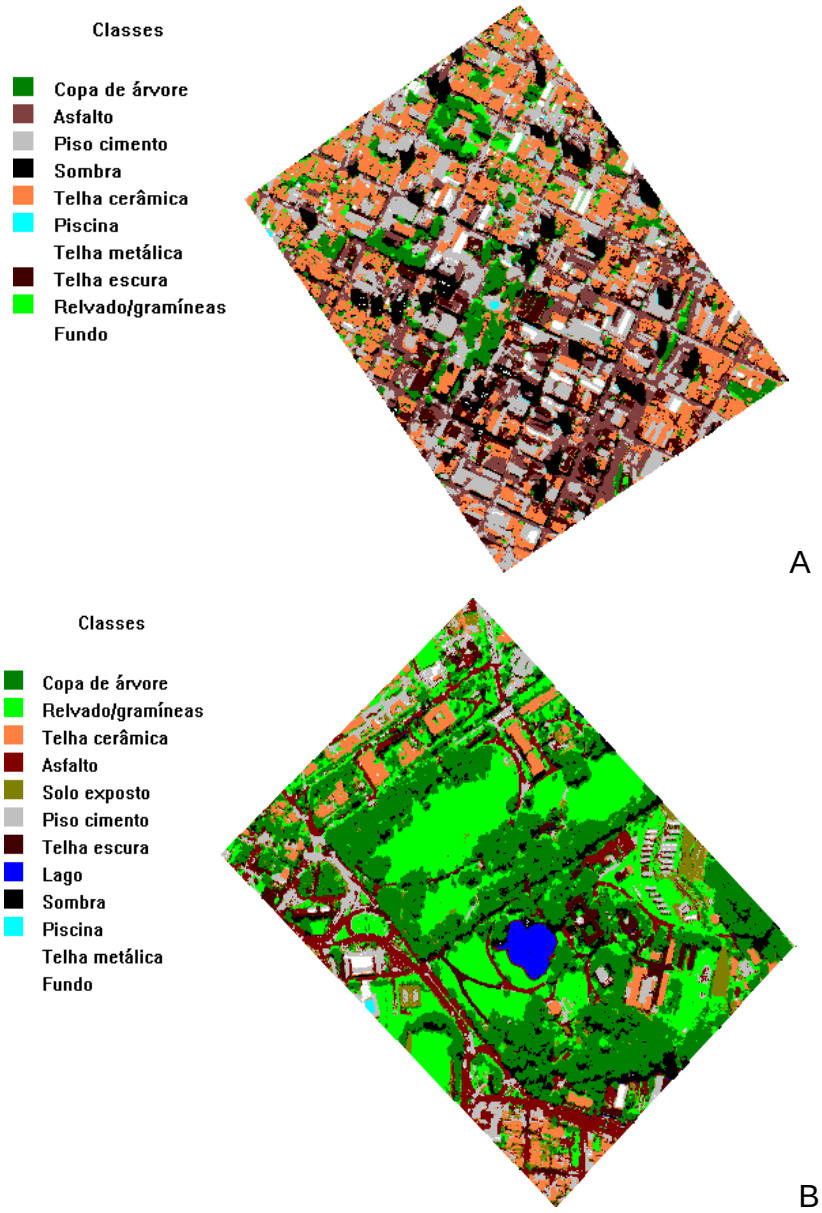


Figura 24 - Mapa temático obtido após classificação supervisionada pelo software multispec, considerando (A) a área central de Piracicaba, SP (P2) e (B) Mapa temático obtido após classificação supervisionada com o MultiSpec© da área referente à ESALQ (P1)

Nas imagens abaixo (Figura 25) são representados o NDVI de cada unidade amostral.

Os resultados deste índice variam de -1 a +1, com valores negativos para áreas com nuvens e corpos d´água e próximo de zero no solo nu. Quanto maior o vigor e a densidade da vegetação, mais este se aproxima de 1.

Pode-se observar a partir da legenda que P1 apresenta uma maior densidade de vegetação com relação a P2, o que confirma os resultados observados na classificação supervisionada das áreas.

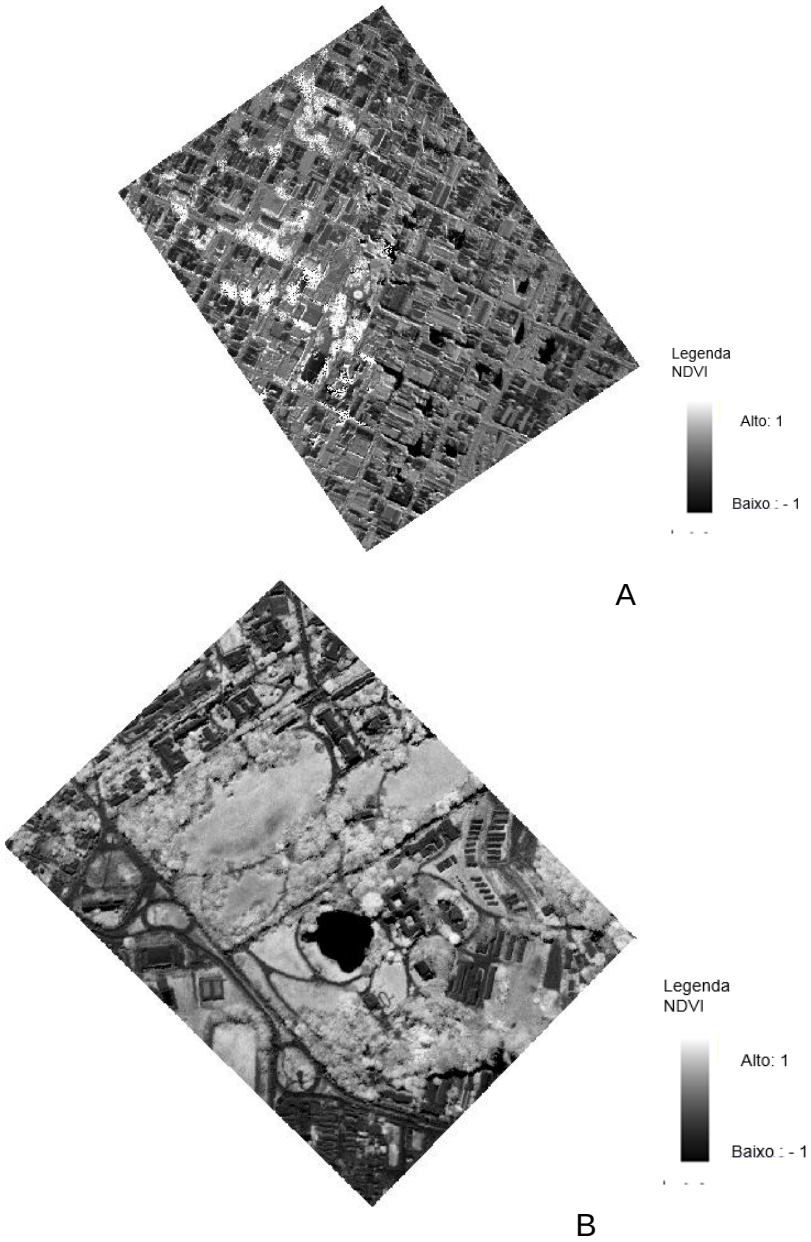


Figura 25 - NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index)* aplicado às áreas referentes às áreas P2 (A) e P1 (B)

4.4 Classificação das imagens termais

4.4.1 Sensoriamento remoto dos dados termais (MultiSpec©)

As imagens termais foram adquiridas apenas no campo do dia 30 de outubro de 2012.

O Principal objetivo dessas análises foi gerar uma base de dados sobre a temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento nas regiões de estudo, avaliando como o perfil térmico varia ao longo do dia de acordo com o tipo de cobertura do solo.

O sobrevoo foi realizado na área urbana do município de Piracicaba, São Paulo, Brasil. Os locais correspondentes as unidades amostrais 1 e 2 foram sobrevoados no dia 30 de outubro de 2012, com altitude média de voo de 2000 m, durante três períodos diferentes: às 9h36, 15h27 e 20h23 (Horário de Brasília), para observação do comportamento de cada tipo de superfície ao longo de um dia.

A imagem abaixo (Figura 26) possibilita a visão vertical dos dois pontos amostrais. Trata-se da sobreposição entre a imagem termal adquirida através de sobrevoo na cidade de Piracicaba- SP no período da tarde e a imagem de satélite da correspondente área devidamente georrefenciadas.

A partir desta imagem fica visível o contraste de paisagem nas duas áreas de estudo e conforme será discutido a seguir, na imagem fica evidente a diferença da coloração entre as cenas ocasionada pelas diferentes temperaturas de superfície capturadas pela câmera termal.

Figura 26 - Sobreposição das imagens termais nas imagens de satélite (2000 metros de altitude) nos período da tarde para o experimento do dia 30/10/2012

No estudo do clima urbano, um dos fatores mais importantes a serem considerados é a temperatura de superfície, pois esta, através do processo de condução de energia, contribui para a variação da temperatura do ar.

No período da manhã, pode-se notar na Figura 27 (A,B), que as maiores temperaturas aparecem nos locais cobertos por asfalto, cimento e telhas escuras variando entre 45,2°C a 55,8°C. Enquanto que as coberturas arbóreas, relvados e corpos d'água apresentam temperaturas de superfície que variam de 15,3 a 35,9°C.

A temperatura do ar para o periodo da manhã no momento da aquisição da imagem termal foi de 31,6ºC para ambas areas de estudo, fato que se mostra coerente quando observa-se as respectivas imagens térmais da ESALQ (P1) e do Centro (P2) (TABELA 6), onde foram resgistrados uma temperatura de superfície bastante similar predominantemente na faixa entre 29,3ºC e 42,3ºC e entre 27,1ºC e 42,3ºC respectivamente.

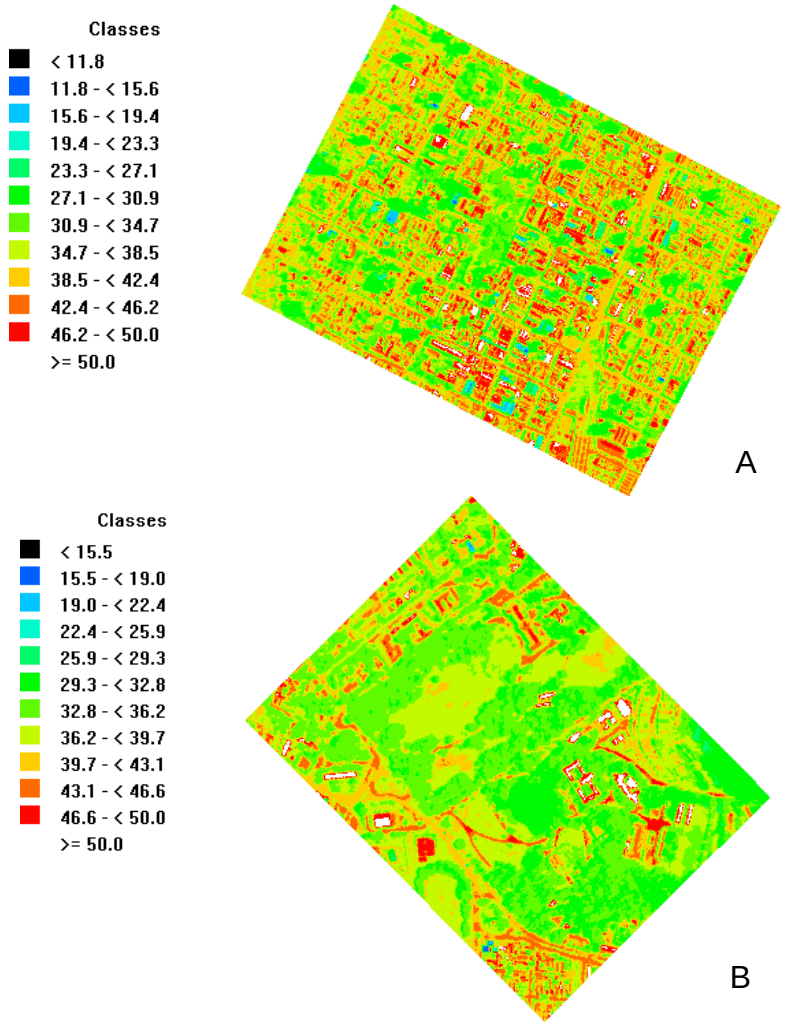


Figura 27 - Mapa temático das imagens termais com agrupamento de cores classificadas segundo os valores de temperaturas máximas e mínimas dos recortes correspondentes às áreas P2 (A) e P1 (B) no período da manhã às 9:00 horas

Na Figura 28 (A;B) observa –se que, período da tarde é onde se torna mais evidente as diferenças de temperatura de superfície entre às áreas P1 e P2, sendo a temperatura de superfície um condicionante da temperatura do ar, pode-se inferir que a diferença de temperatura registrada no posto meteorológico da ESALQ e as temperaturas registradas na estação meteorológica portátil instalada em P2 se deve a este fato, uma vez que a maior parte da temperatura de superfície registrada em P2 se encontra na faixa entre 45Cº e 50ºC, e em P1 a temperatura de superfície é de 29ºC e 36 Cº para o mesmo horário.

Esta diferença na temperatura de superficie, implica em uma diferença de Temperatura do ar que conforme constatado neste estudo no momento desta fotografia a área correpondente a P1 registrou uma temperatura do ar de 37,1 ºC

enquanto P2 registrou uma temperatura do ar de 38.9ºC , um diferença de quase 2ºC. O índice de reflexão da radiação solar dos materiais que compõem a superfície (albedo) tem um papel importante na retenção de calor (SERRATO et al., 2002).

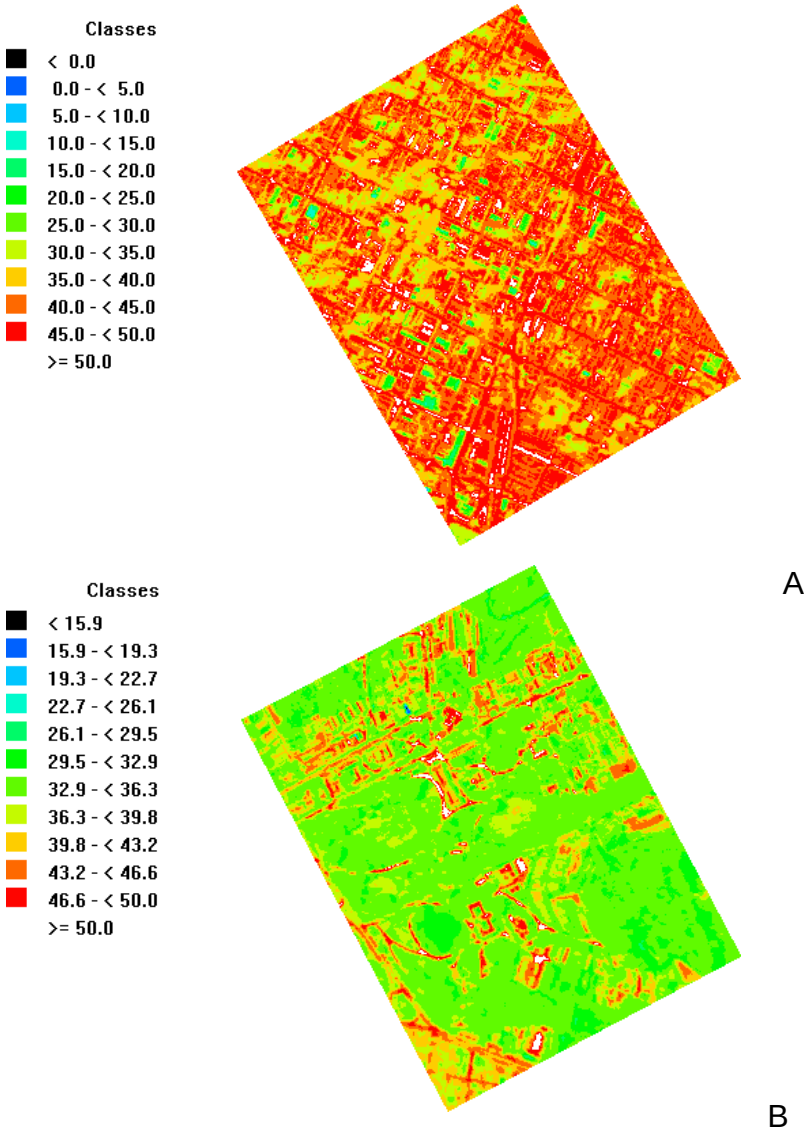


Figura 28 - Mapa temático das imagens termais com agrupamento de cores classificadas segundo os valores de temperaturas máximas e mínimas dos recortes correspondentes às áreas P2 (A) e P1 (B) no período da manhã às 15:00 horas

Na imagem da Figura 29 (A) pode-se notar uma “inversão” da temperatura de superfície das copas de árvore e corpos d’água, pois o que era anteriormente as superfícies mais frias passa a ter temperaturas relativamente medianas. Este fato pode ser explicado pelas propriedades físicas que estes materiais têm de armazenar calor durante o dia, e dissipar lentamente durante as primeiras horas da noite. As superfícies mais frias são identificadas como telhas e gramados, apresentando

valores de 12,9 a 26,4 °C. As temperaturas de superfície caem de maneira geral, mas o asfalto continua apresentando os maiores valores (30,6 a 36,6 °C). Já na Figura 29 (B), o asfalto permanece apresentando a superfície mais quente, mesmo a noite.

Observa-se no mapa temático que a temperatura de superfície é mais elevada para a área correspondente a P2, sendo esta concentrada na faixa entre 27,6ºC e 35,6ºC. Por outro lado, a área correspondente à P1 apresenta temperatura de superfície predominantemente na faixa entre 22,4ºC e 31,9ºC.

Com relação à temperatura do ar, o período da noite foi análogo ao período da tarde. A temperatura do ar foi de 30,1ºC para a área correspondente a P1 e de 31,9 para P2, sendo a diferença de aproximadamente 2ºC para o mesmo horário.

Desta forma, pode-se inferir que há uma contribuição direta da temperatura de superfície na temperatura do ar das áreas correspondentes o que comprova a facilidade de armazenamento e dificuldade de dispersão da radiação em estruturas urbanas, com destaque para o asfalto e para o concreto.

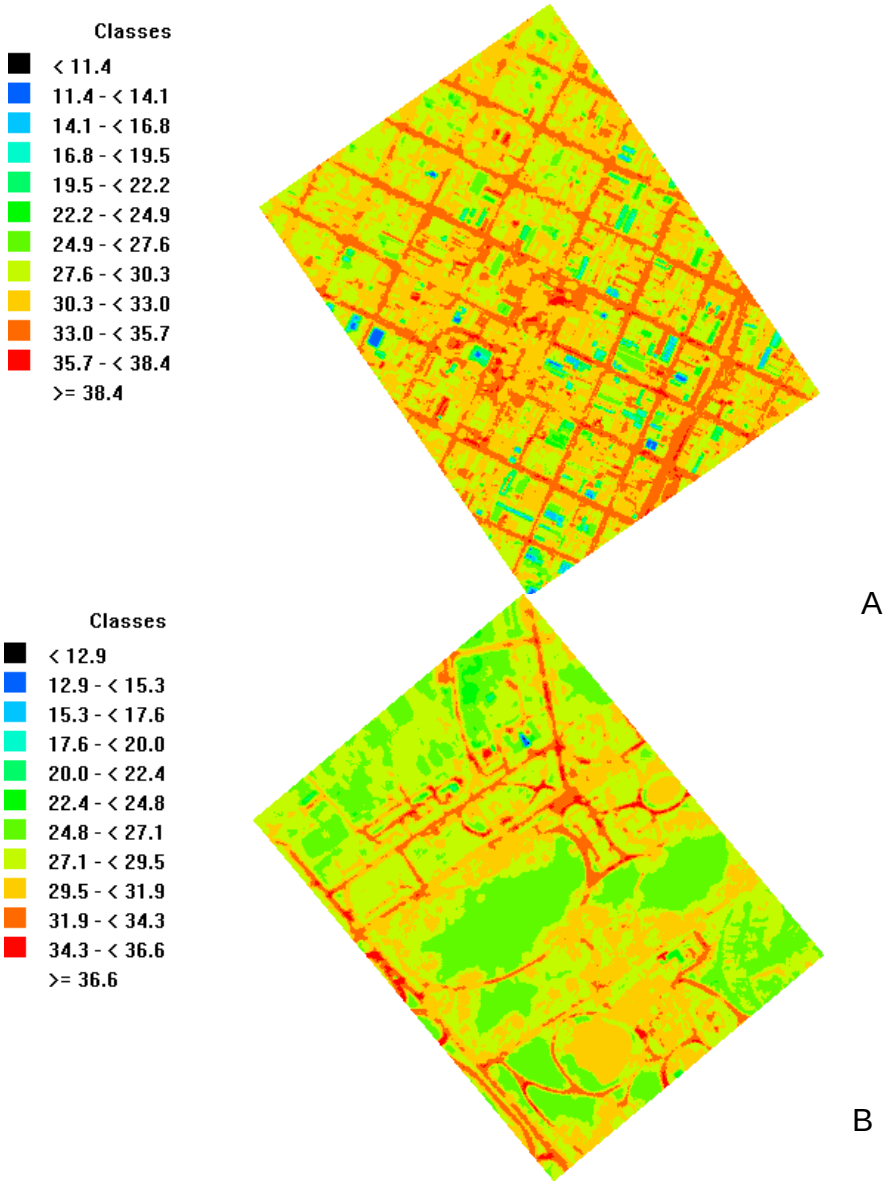


Figura 29 - Mapa temático das imagens termais com agrupamento de cores classificadas segundo os valores de temperaturas máximas e mínimas dos recortes correspondentes às áreas P2 (A) e P1 (B) no período da noite às 21:00 horas

4.5 Relação entre a cobertura do solo e as variações na temperatura do ar

.

Nos dias 4 e 5 de junho de 2013 foram feitos monitoramentos climáticos simultaneos nas áreas de estudo, nos dias 24, 25 e 30 de outubro, em virtude do objetivo de avaliar o desempenho do modelo COMFA, foram realizadas medições móveis separadamente na ESALQ e no Centro.

No presente estudo a temperatura do ar (ºC), umidade relativa (%), e velocidade do vento (m/s) variou de cerca de 12- 39 ºC, 23 a 93 %, 0,07 a 1,62 m/s respectivamente.

Na média de 15 min, os valores de radiação global variaram de 9,4 a 1037 W/m².13-29 ° C.

Tabela 7 - Valores de mínimas, máximas e média horaria de Ta (temperatura do ar), V (velocidade do vento), Kt (direta e radiação de onda curta de entrada difusa) e La (radiação de onda longa atmosférica), expressa como a média durante o período de teste na ESALQ (P1)

	Tar (ºC)			UR (%)			Vv (m/s)			Kabs (W/m²)		
Data	min	max	média	min	max	média	min	max	média	min	max	média
24/out	23.9	29.6	26.8	59.9	82.3	69.1	0.15	1.53	0.49	28.38	406.2	196
25/out	25	33.4	30.4	74.2	70.8	55.7	0.14	1.05	0.47	73.0	746.0	439
04/jun	12.7	22.5	18.8	64.1	91.1	73.0	0.07	1.39	0.43	9.4	134.0	64.7
05/jun	12.1	22.5	19.6	53.2	93.0	72.2	0.34	0.37	0.28	24.1	246.2	145.0

A Tabela 7 mostra as variáveis coletadas pela estação meteorológica portátil. Pode-se observar que a temperatura do ar (Tar) variou de 12,1 ºC a 33,4 ºC, a umidade relativa do ar (UR) variou de 53,2 % à 93% e a radiação global de 9,4 W/m² à 746 W/m². A variável velocidade do vento variou entre 0,07 m/s à 1,39 m/s.

Tabela 8 – Valores de mínimas, máximas e média horaria de Ta (temperatura do ar), V (velocidade do vento), Kt (direta e radiação de onda curta de entrada difusa) e La (radiação de onda longa atmosférica), expressa como a média durante o período de teste no Centro (P2)

	Tar (ºC)			UR (%)			Vv (m/s)			Kabs (W/m²)		
Data	Min	Max	Média	Min	Max	Média	Min	Max	Média	Min	Max	Média
30/out	31.4	39.1	36.3	23.4	57	37.2	0.22	1.62	0.77	92.5	1037	757
04/jun	14.3	23.3	19.9	45.7	86.0	70.3	0.18	1.35	0.57	28.38	406.2	194.5
05/jun	13.6	25.3	20.9	61.0	90.9	67.0	0.14	1.07	0.53	73	746	435.0

A Tabela 8 corresponde aos dados registrados no centro, sendo que a temperatura do ar variou de 13,6 ºC a 39,1 ºC, a umidade relativa do ar (UR) variou de 23,4 a 90,9%, a velocidade do vento variou de 0,14 a 1,62 m/s. A radiação global variou de 28,38 a 1037 W/m².

A comparação entre o perfil térmico dos pontos amostrais apenas foi possível nos dias onde o monitoramento ocorreu simultaneamente nas duas regiões. Sendo estes os dias 30 de outubro de 2013 e 4 e 5 de junho de 2013.

4.5.1 Analise do perfil térmico para o dia 30 de outubro de 2012

Para o dia 30 de outubro a menor temperatura média horaria foi da ordem de 28,1ºC, foi registrada na ESALQ às 8:00 horas, enquanto que, para o mesmo horário, representando uma diferença da ordem de 1,3ºC, o Centro registrou uma temperatura de 29.4 ºC (Figura 30). Dessa forma, ressalte-se que nas primeiras horas do dia já é possível observar indícios da ocorrência da amplitude térmica aliada às diferenças de temperatura do ar entre a área com vegetação em contraposição com a área de ambiente construído predominante.

Ao longo do dia as diferenças de temperatura entre as duas regiões estudadas apresentaram comportamento análogo, sendo que a área caracterizada por conter maior presença de vegetação permaneceu com temperaturas menores durante praticamente todo o período de medições.

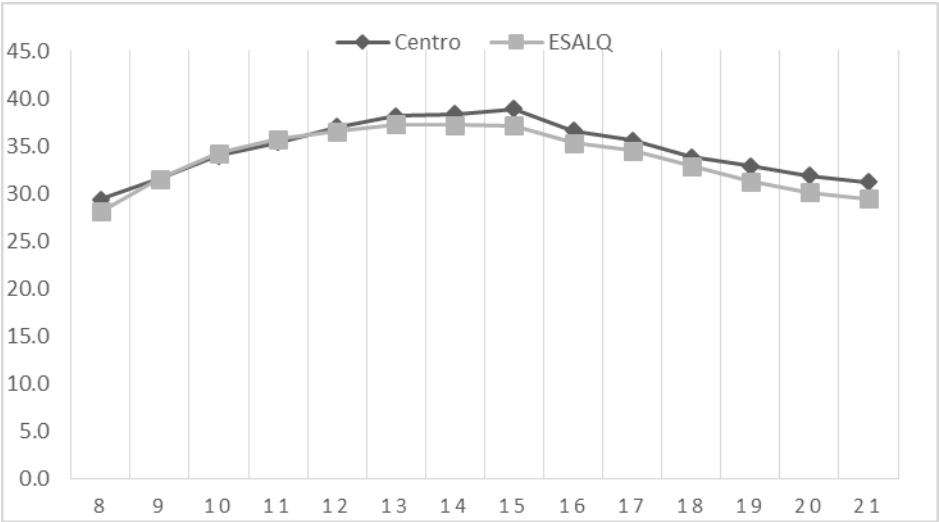


Figura 30 - Perfil térmico da região do centro de Piracicaba e da ESALQ no dia 30/10/2012

Na Figura 31, observa –se que, às 9 horas a média horaria das temperaturas se igualam nas duas áreas de estudo, a partir daí observa- se um aumento gradativo da diferença de temperatura ao longo das médias horarias seguintes até a maior diferença de temperatura ser atingida às 15:00 h, onde os termômetros registraram a suas temperaturas máximas do dia, sendo de 38,9 e 37,1 para o Centro e a ESALQ, respectivamente. Após a temperatura média horaria registrada, atingir sua máxima para ambas as localidades, inicia-se um processo de diminuição desta diferença ao mesmo tempo em que a temperatura começa a cair em ambas às localidades. A diferença entre as temperaturas atinge seu ponto mais baixo as 18:00 h (0,9 ºC), quando os termômetros registram 33,8 e 32,9 para o centro e para a ESALQ respectivamente. Entre as 18:00 h e às 21:00 h embora a temperatura continue caindo em todos os registros, a diferença entre as temperaturas da ESALQ e do Centro volta a aumentar, atingindo novamente o valor máximo de 1,8ºC às 20:00 e 21:00. A razão deste aumento se dá pela diminuição mais acentuada da temperatura na área mais vegetada, onde a temperatura na ESALQ variou de 34,5 às 17:00 h para 29,4 uma diferença de 5,1ºC, enquanto a área central, com menos vegetação variou de 35,6 ºC para 31,2 ºC no mesmo período, portanto uma diferença de 4,4ºC.

Pode-se inferir que a diminuição mais lenta da temperatura do ar na área central se deve ao ambiente construído predominante, sobretudo quando consideramos a presença do elemento asfalto que conforme vimos na seção anterior permanece sendo a área com maior temperatura de superfície, mesmo a noite, e através de sua irradiação continua contribuindo para o aquecimento do ar imediatamente em contato com sua superfície, dificultando a dissipação do calor e como consequência a diminuição da temperatura do ar.

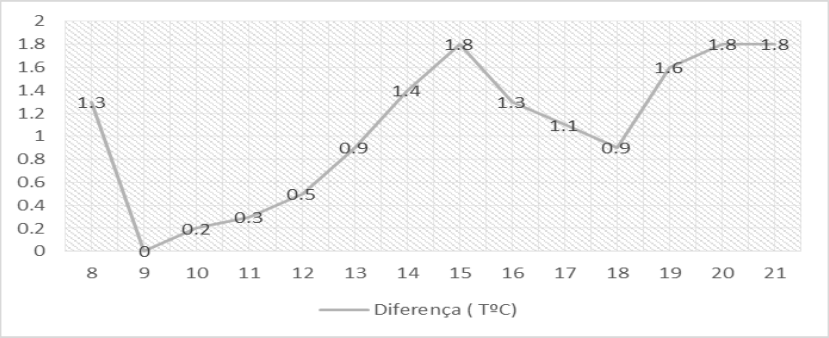


Figura 31 - Diferença entre a temperatura entre o Centro de Piracicaba e a ESALQ no dia 30/10/2012

Para o dia 4 de junho (FIGURA 33), a menor temperatura média horaria foi da ordem de 14.9 ºC, foi registrada na ESALQ às 8 horas, enquanto que, para o mesmo horário, representando uma diferença da ordem de 1.5 ºC, o Centro registrou uma temperatura de 13.4 ºC. Dessa forma, a exemplo do experimento realizado na primavera, onde teve-se temperaturas mais altas em todas as horas do dia, também observou indícios da ocorrência da amplitude térmica aliada às diferenças de temperatura do ar entre a área com vegetação e a área de ambiente construído predominante.

Observamos na Figura 32 que a temperatura média horária da ESALQ permaneceu menor do que o Centro em todas as horas do dia, já as diferenças entre as temperaturas teve seu ponto máximo (1.5ºC) na primeira hora de medição às 8:00 h, diminuindo gradativamente até as 10:00 h quando a diferença média horaria foi de 0,1 ºC, voltando a aumentar às 11:00 h para 1.2ºC até atingir 1,4ºC na última medição às 16:00hs.

4.5.2 Análise do perfil térmico para o dia 4 de junho de 2013

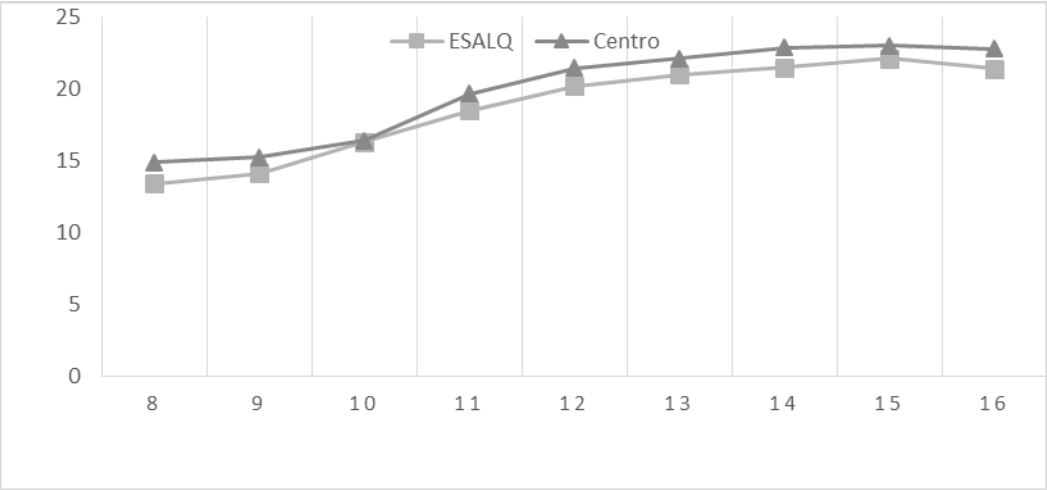


Figura 32 - Perfil térmico da região do centro de Piracicaba e da ESALQ no dia 04/05/2013

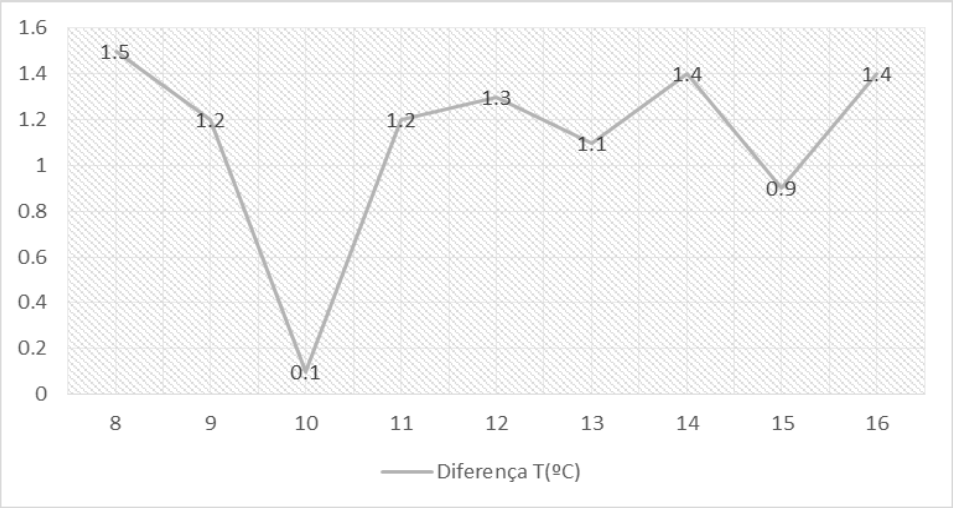


Figura 33 - Diferença entre a temperatura entre o Centro de Piracicaba e da ESALQ no dia 04/05/2012

4.5.3 Analise do perfil térmico para o dia 5 de junho de 2013

Na Figura 35, observa – se que para o dia 5 de junho a menor temperatura média horaria da ordem de 14.9 ºC, foi registrada na ESALQ às 8:00 horas, enquanto que, para o mesmo horário, representando uma diferença da ordem de 1.5 ºC, o Centro registrou uma temperatura de 13.4 ºC. Dessa forma, a exemplo do experimento realizado na primavera, onde teve-se temperaturas mais altas em todas as horas do dia, também observou indícios da ocorrência da amplitude térmica aliada às diferenças de temperatura do ar entre a área com vegetação e a área de ambiente construído predominante.

Observa–se que na Figura 34 a temperatura média horária da ESALQ permaneceu menor do que o Centro em todas as horas do dia, já as diferenças entre as temperaturas teve seu ponto máximo (1.5ºC) na primeira hora de medição às 8:00 horas, diminuindo gradativamente até as 10:00 h quando a diferença média horaria foi de 0,1 ºC, voltando a aumentar às 11:00 h para 1.2ºC até atingir 1,4ºC na última medição às 16:00hs.

A possibilidade de se analisar a variação das temperaturas do ar e de superfície considerando as diferentes classes de cobertura do solo a partir de classificação supervisionada, revelou resultados importantes sobre a interação da paisagem com o microclima.

A análise dos perfis térmicos das áreas estudadas evidencia o efeito amenizador, do ponto de vista térmico, que é proporcionado pela presença da

vegetação, quando em contraste com a área de vegetação escassa referente ao Centro. O efeito de frescor proporcionado pelas áreas verdes evidenciado pela diferença de temperatura de até 1,8º C registrados nas referentes áreas ao longo do dia foi verificado neste trabalho.

A análise dos perfis urbanos estudados demonstrou que o ponto de medição no centro da cidade de Piracicaba- SP, apresentaram valores de temperatura do ar mais elevados, quando comparados ao ponto de medição localizado no interior do Parque, espaço com presença de vegetação, adotados aqui sob denominação de ESALQ.

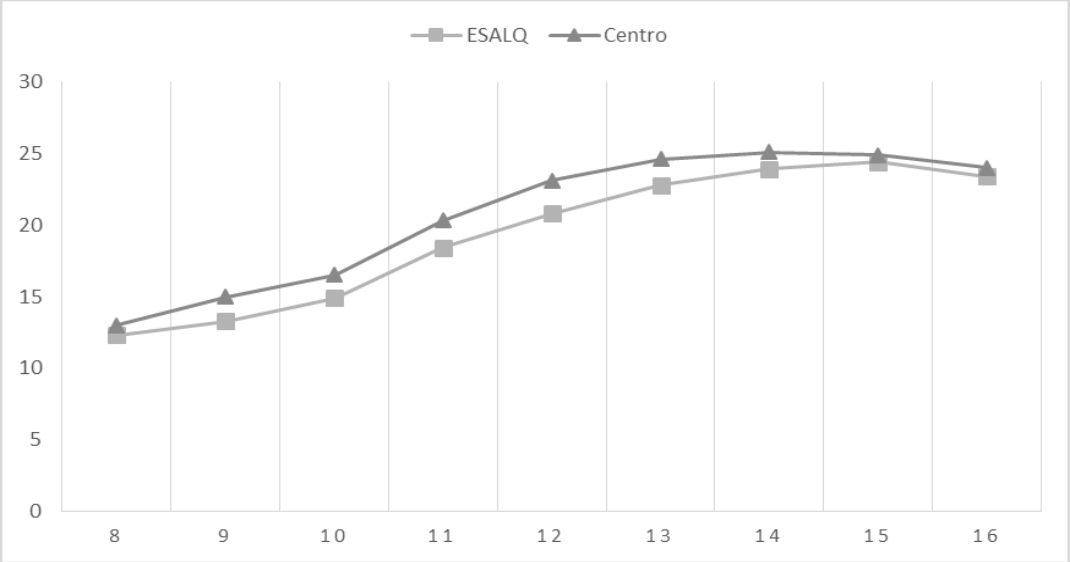


Figura 34 - Perfil térmico da região do centro de Piracicaba e da ESALQ no dia 05/05/2012

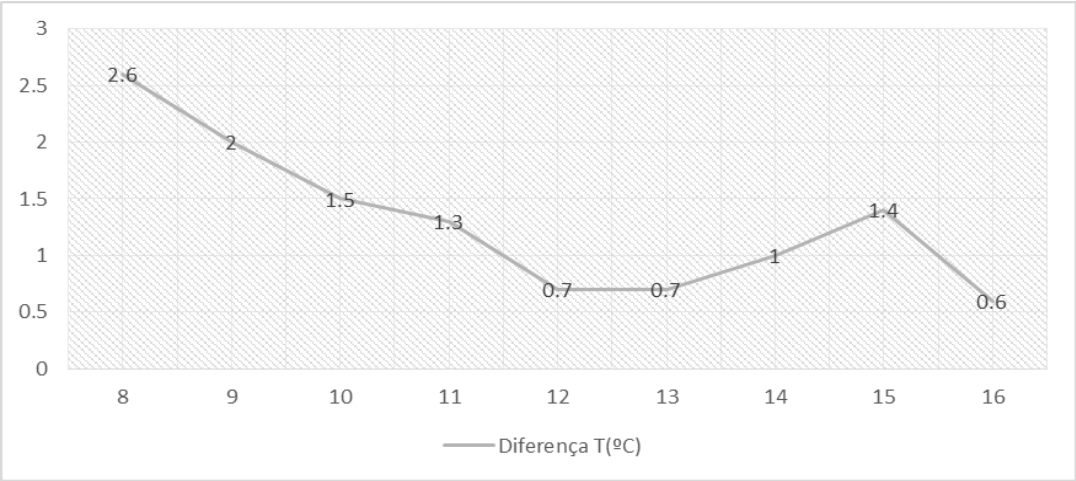


Figura 35 - Diferença entre a temperatura entre o Centro de Piracicaba e da ESALQ no dia 05/05/2012

4.6 Avaliação do ATS (*Actual Thermal Sensation)* associado à cobertura do solo

Considerando as duas unidades amostrais (P1 e P2) (FIGURA 36), observou-se que a maioria dos votos foram dados para a categoria 0 (neutro) (cerca de 23%) para ambas localidades. Para a ESALQ, dos 77 % dos votos restantes 37% foram distribuídos entre as faixas correspondentes ao frio tendo as categorias -3,-2 e -1, recebido 3%, 12% e 22%, respectivamente. 40% foram distribuídos na faixa corrspondente ao calor tendo as faixas +1,+2 e +3, recebido 18%, 10% e 5%, respectivamente.

Para o centro, dos 77% dos votos restantes, te-se 32% dos votos distribuidos na faixa correspondente ao frio (-3,-2 e -1), onde a categoria menos votada foram para a categoria -3 (muito frio) com 7% dos votos, seguidos da categoria -2 (frio) com 12% dos votos e -1 (pouco frio) com 14% dos votos. Dos 45% dos votos correspondentes ao estresse pelo calor, a maioria dos votos (35%) foram dados para a categoria +1 (pouco calor) com 20% dos votos e +3 (muito calor) com 15% dos votos. A categoria + 2 (frio) recebeu a minoria dos votos (10%).

Experimento estação quente (primavera)

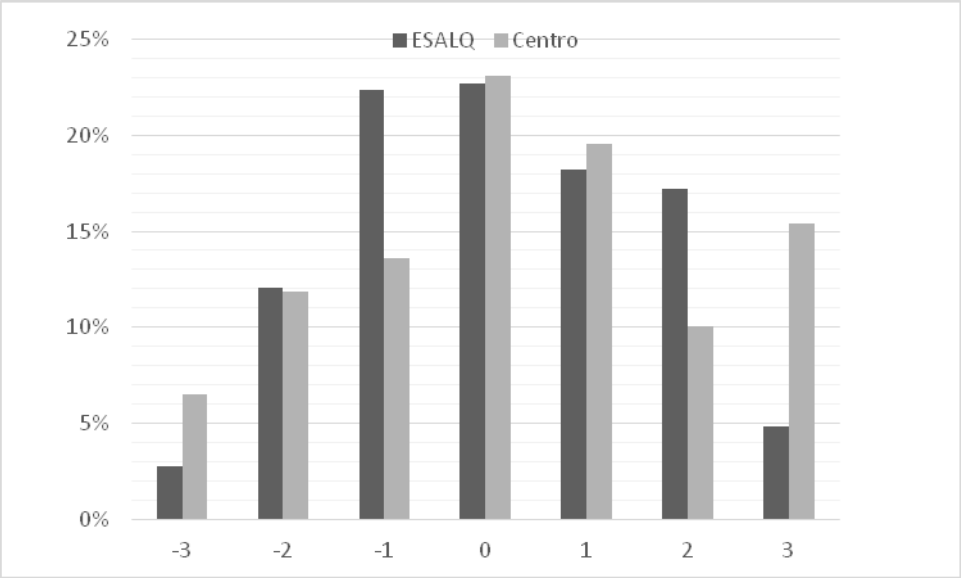


Figura 36 - Comparação da distribuição total dos votos (ATS) na ESALQ e no Centro

A distribuição dos votos mostra que a maioria dos entrevistados (77 %) consideraram–se em situação de estresse térmico, tanto para o frio como para o calor, no entanto, porém, os entrevistados na ESALQ tiveram um percentual maior de votos para estresse pelo frio do que os entrevistados do Centro que ao contrario apresentou um percentual maior dos votos para estresse pelo calor.

Quando consideramos apenas a categoria + 3 (muito calor) a região do centro apresentou 15% dos votos estresse térmico, tanto para o frio como para o calor, no entanto, porém, os entrevistados na ESALQ tiveram um percentual maior de votos para estresse pelo frio do que os entrevistados do Centro que ao contrario apresentou um percentual maior dos votos para estresse pelo calor.

Quando consideramos apenas a categoria + 3 (muito calor) a região do centro apresentou 15% dos votos e a ESALQ apresentou 5%.

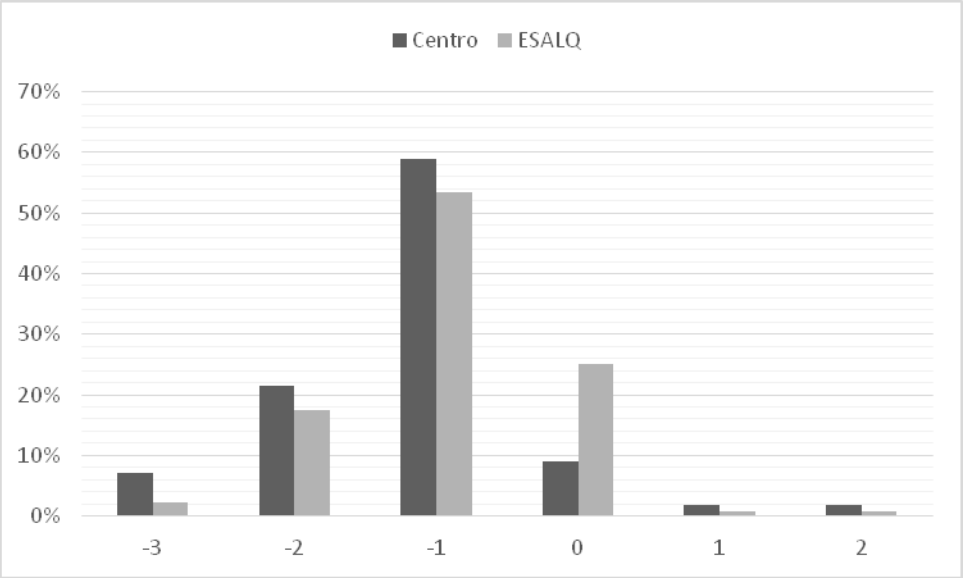


Figura 37 - Votos de preferência dos participantes no experimento na estaca do ano primavera

Na análise das preferências térmicas dos participantes no experimento da primavera (Figura 37), verificamos que, para ambas as unidades experimentais, a maioria dos votos (59% para o centro e 53% para a ESALQ) foram dados à categoria -1 (preferia que estivesse um pouco frio). Analogamente, as categorias -2 (preferia que estivesse mais frio) e -3 (preferia que estivesse muito mais frio), tiveram um percentual maior de votos para o Centro (21% e 7 %) e menor para a

ESALQ (18% e 2%). A zona de neutralidade térmica (prefere como está) recebeu 25% e 9% dos votos para a ESALQ e para o centro, respectivamente.

As categorias + 1(preferia que estivesse um pouco mais quente) + 2 (preferia que estivesse mais quente), receberam 2% e 1% respectivamente.

Os resultados mostraram que um percentual maior de participantes do centro preferiu categorias que representavam uma preferência térmica tendendo a um ambiente mais frio (-3, -2 e -1). Esta situação evidencia uma situação de estresse pelo calor maior no centro e menor na ESALQ. Isso também pôde ser observado na preferência dos participantes da ESALQ (25%) pela categoria 0 (prefere como está), quando comparado com os votos desta mesma categoria no Centro (9%).

Experimento estação fria (outono)

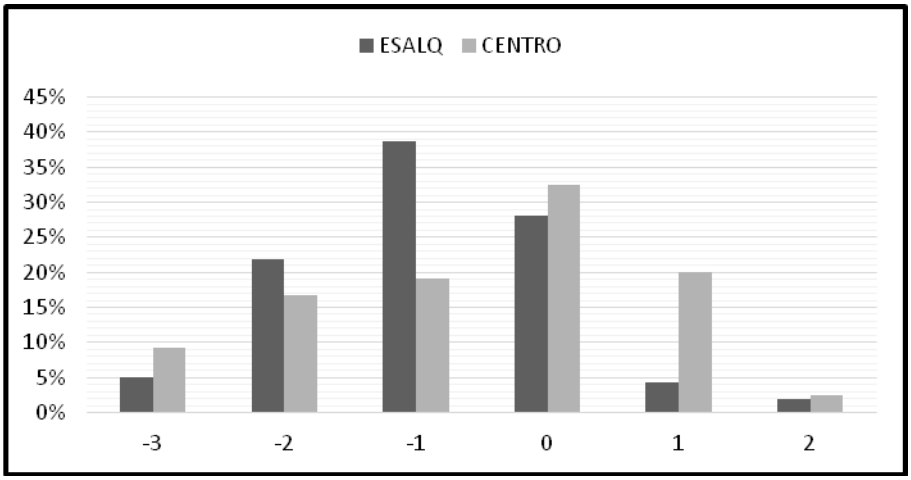


Figura 38 - Comparação da voto real do indivíduo na ESALQ e no Centro. Os votos foram tomados ao longo da escala de 7 pontos −3 (muito frio) a +3 (muito quente)

A maioria dos votos foram dados para a categoria -1 (pouco frio) para a ESALQ e 0 (termicamente neutro) para o Centro.

Para a ESALQ cerca de 37 % dos votos foram dados para as categorias referentes ao estresse pelo frio com percentuais de 3%, 12% e 22% para -3 (muito frio) -2 (frio) e -1 (pouco frio), respetivamente. Com relação ao estresse pelo calor os 37% restantes foram distribuídos entre as faixas correspondentes ao frio tendo as categorias -3,-2 e -1, recebido 3%, 12% e 22%, respectivamente. 40% foram distribuidos na faixa corrspondente ao calor tendo as faixas +1,+2 e +3, recebido 18%, 10% e 5%, respectivamente.

Para o Centro, 45% dos votos foram dados para a categorias referentes ao estresse pelo frio com percentuais de 19%, 17% e 9%, para -1, -2 e -3, respectivamente. Já com relação ao estresse pelo calor os 55% dos votos foram distribuídos entre +1 e +2 com 20% e 3%, respectivamente. Nenhum voto foi dado para a categoria +3 (muito quente).

Nesta análise, os resultados mostraram que a situação térmica dos participantes na ESALQ, tenderam mais ao estresse pelo frio do que os participantes do centro, no entanto os participantes do Centro manifestaram um percentual maior na zona de neutralidade térmica (5% a mais do que na ESALQ). Deve-se observar também que a categoria +1 (pouco calor) teve uma votação mais expressiva entre os participantes do Centro, onde esta categoria obteve 15% a mais dos votos, o que nos leva a inferir que os participantes do Centro manifestaram uma tendencia maior ao estresse pelo calor.

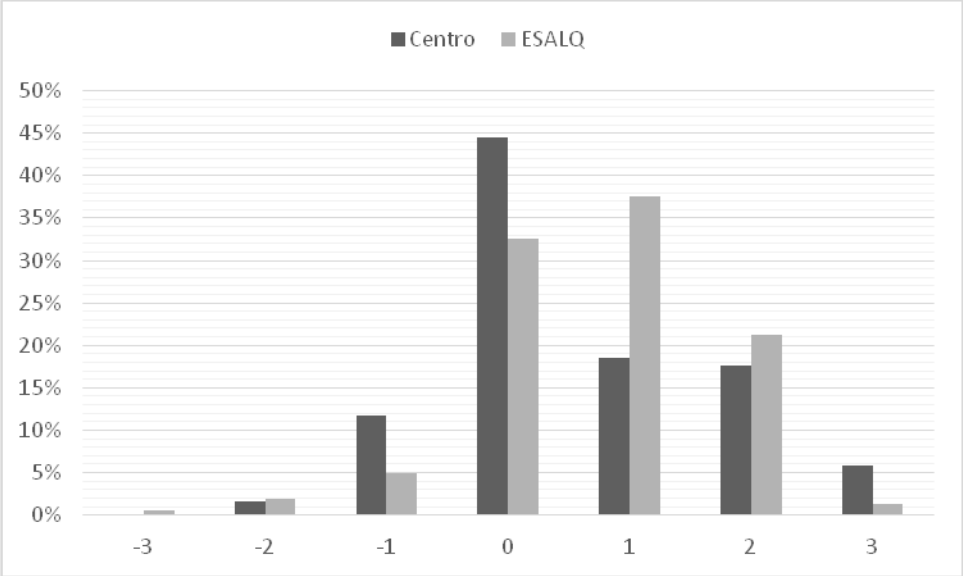


Figura 39 - votos de preferência dos participantes no experimento na estação do ano outono

Com relação à preferência térmica, a maioria dos participantes do centro (45%) optou pela categoria 0 (prefere como está), enquanto a maioria dos participantes na ESALQ preferia que estivesse um pouco mais quente (categoria +1). Verificou-se que ao mesmo tempo em que os participantes no centro votaram na opção + 1 (pouco calor) (20%), sua preferência térmica teve maioria dos votos (45%) na categoria 0 (prefere como está). Desta forma, pode-se inferir que, apesar do Centro apresentar uma situação de maior estresse térmico pelo calor, no

experimento de outono, a maioria dos participantes, embora manifestassem algum nível de estresse térmico, preferiram uma não mudança em sua situação térmica.

Os participantes na ESALQ tiveram maioria das preferencias na categoria +1(Preferia que estivesse um pouco mais quente), o que é coerente com o voto real do indivíduo (ATS), onde a maioria dos participantes (39%) escolheu a opção –1(pouco frio), o que nos leva a confirmar uma tendência maior de estresse pelo frio neste local.

4.7 Predição do modelo COMFA para a avaliação do conforto térmico humano em ambientes abertos a partir do balanço energético por pontos amostrais e em situação de exposição ao sol e em sombra de arvore.

Esta seção teve como objetivo, determinar o PTS (*Predict Thermal Sensation*) para as diferentes condições climáticas, as quais a presente pesquisa foi realizada.

Os resultados foram adquiridos de acordo com as caracteristicas tipologicas inerentes a cada área de estudo visando verificar como os fatores microclimaticos relacionados ao uso e ocupação do solo influenciam no conforto térmico desse individuo.

Para a caracterização do individuo, foi escolhido como padrão uma pessoa com nível de atividade metabólica baixa, estando ela parada (sentada ou em pé), vestida com bermuda, tenis e camiseta, na primavera, e tênis, calças cumpridas, camiseta e blusa leve, no outono, em situações de sol ou de sombra de arvore, conforme relacionado a Figura 40.

Figura 40 - Vestimenta para o indivíduo padrão no experimento da primavera (A) e para o experimento de outono (B)

As Figuras a seguir mostram o balanço energético do individuo padrão em cada situação. As cores verdes (0), amarelo (+1 e -1), laranja (+2 e -2) e vermelho (+3 e -3) representam a escala térmica segundo a interpretação de Harlan et al, 2006 (Tabela 12).

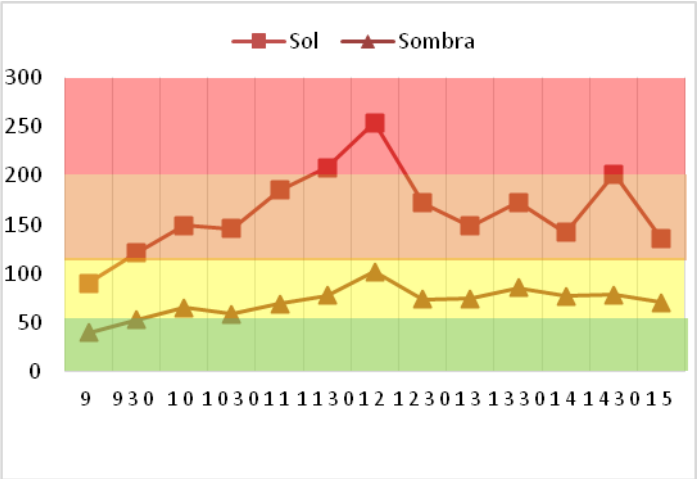


Figura 41 - Balanço energetico na ESALQ (P1) em situação de sol e sombra de árvore em 24/10/ 2012

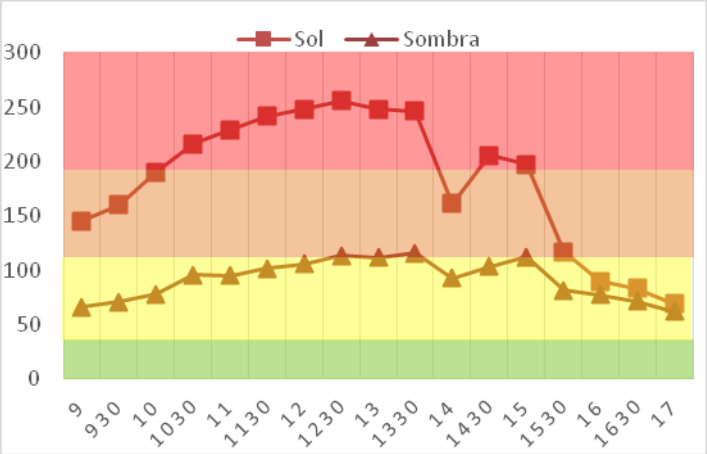


Figura 42 - Balanço energetico na ESALQ (P1) em situação de sol e sombra de arvore em 25/10/2012

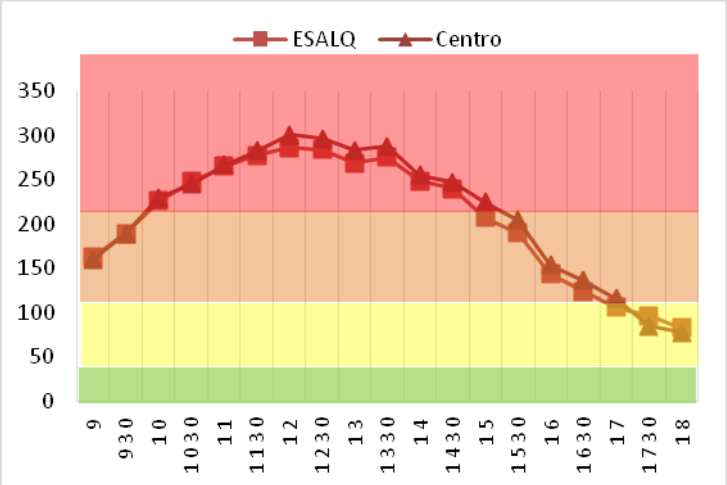


Figura 43 - Balanço energetico na ESALQ (P1) e do Centro (P2) em situação exposição ao sol em 30/10/2012

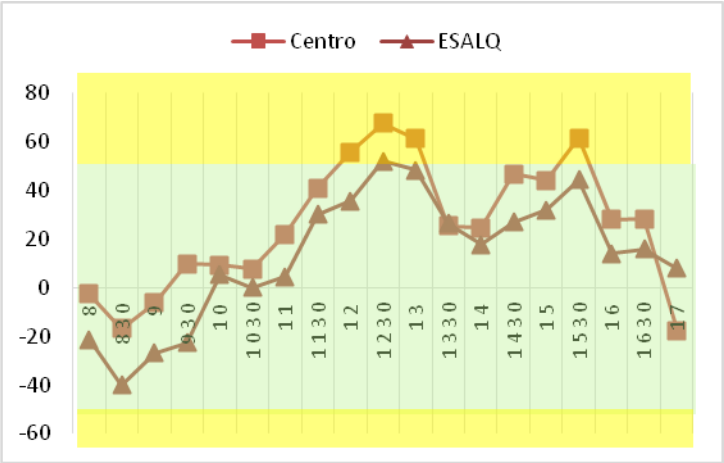


Figura 44 - Balanço energetico na ESLAQ (P1) e do Centro (P2) em situação exposição ao sol em 04/06/2013

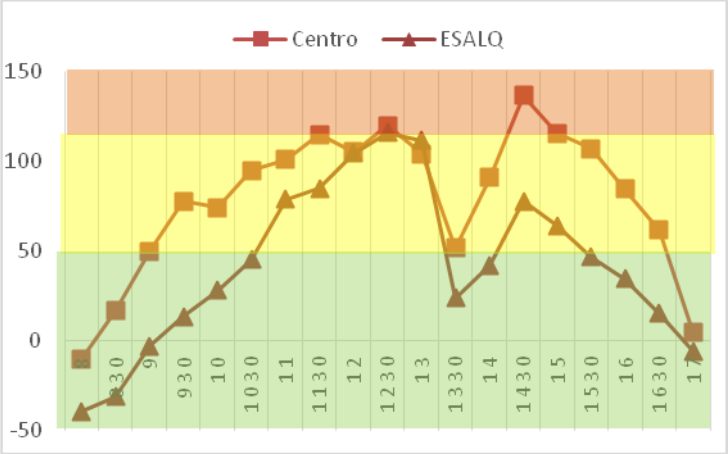


Figura 45 - Balanço energetico na ESALQ (P1) e do Centro (P2) em situação exposição ao sol 05/06/2013

O balanço energético apresenta comportamento diferenciado em situações de sol e sombra de árvore. Os resultados do experimento do dia 24/10 (FIGURA 41) a curva do balanço energético em situação de sombra, permanece com valores inferiores ao de exposição ao sol ao longo de todo o dia mesmo às 9:00 horas e às 15 horas quando a radiação tem sua menor incidência.

Às 12:00 horas o balanço energético atinge seu ponto mais alto em ambas situações, com valores de 250 W/m² e 100 W/m² para o sol e para a sombra, respectivamente.

Para este dia, segundo a interpretação de Harlan (2006), apenas às 9:00 horas o individuo padrão encontra – se na zona de neutralidade térmica. Depois desse horário tanto no sol quanto na sombra este indivíduo apresentaria estresse pelo calor. No entanto, enquanto na sombra este indivíduo, permanece na faixa

correspontente a + 1 (pouco calor) no sol, a partir das 9:30 sua sensação térmica já corresponderia à + 2 (calor) e entre 11:30 e 12:30 sua sensação termica atingiria a faixa correspondente a +3 (muito calor).

No experimento do dia 25/10 (FIGURA 42) as curvas apresentam, comportamento analago, onde o balanço energetico do individuo permanece inferior para a situação de sombra ao longo de todo o dia. Entre 12:00 horas e 13:00 horas, o bbalanço energético atinge seu ponto mais alto para o sol e a sombra, com 253 W/m² e 113 W/m², respectivamente. Às 17:00 horas, quando a radiação é mínima o balanço energético é praticamente o mesmo (cerca de 60 W/m² no sol e na sombra).

Segundo a interpretação de Harlan (2006), para o dia 25/10 o individuo padrão em nenhum momento se encontra na zona termicamente neutra. No entanto a exemplo do dia 24/10, em situação de sombra, ele permaneceria na faixa correspondente a + 1 (pouco calor). Em situação de exposição ao sol as 9:00 horas da manhã o individuo padrão se encontra na faixa correspondente a categoria + 2 (calor), e entre as 10:30 horas e as 13:30 horas, sua sensação térmica corresponde a categoria +3 (muito calor). Apenas a partir das 15:30 o individuo apresentaria uma sensação térmica semelhante à situação na sombra, quando as 17:00 horas a sensação térmica são a mesma no sol e na sombra.

O experimento realizado no dia 30/10/2012, 04/06/2013 e 05/06/2013 teve como objetivo avaliar o conforto térmico humano para o indivíduo padrão nos pontos amostrais P1 e P2 apresentados anteriormente.

Para o experimento do dia 30/10/2013 (Figura 43), verifica-se que, as curvas de balanço energético têm comportamento semelhante entre P1 e P2. Entre às 9:00 horas e às 11:00 o balanço energético é praticamente o mesmo, no entanto, pode-se observar que em P1 o balanço energetico é inferior a P2 entre às 11:00 horas e às 17:00 horas, quando acontece uma inversão e P2 torna – se menor que P1 entre às 17:00 e às 18:00 horas.

Segundo a interpretação de Harlan (2006), em ambas localidades, a sensação térmica do índividuo padrão seria correspondente a +2 (calor) às 9:00 horas, passando para +3 (muito calor) às 10:00 horas onde permaneceria até às 15 horas. Das 15:00 horas até às 17:00 sua sensação térmica seria + 2, e entre às 17:00 horas e às 18:00 horas sua sensação térmica, seria de + 1 (pouco calor).

O experimento do dia 30/10/2013 registrou temperaturas altas, variando de 31,4 ºC e 39,1ºC. Este fato pode ser responsável pela similaridade entre as curvas

P1 e P2 que demostram pouca diferença no conforto térmico obtido entre as localidades. Desta forma, verificouu-se que em situação de grande estresse térmico o uso e cobertura do solo exercem pouca influência no conforto térmico humano.

No experimento do dia 04/06/2013 (FIGURA 44), a curva de balanço energético em P1, fica a maior parte do dia abaixo de P2. Entre as 8:00 horas e as 9:00 horas ambas curvas P1 e P2 apresentam valores de balanço energético negativos. Entre 9:00 horas e 9:30 horas a curva de P2 torna -se positiva e entre 10:00 horas e 10:30 horas a curva de P1 também torna – se positiva.

Observa-se que, ao contrário do experimento da primavera, os valores de balanço energético possuem uma diferença maior entre P1 e P2. As 12:30, ambas curvas P1 e P2 atingem seu ponto mais alto, com balanço energetico de 52 W/m² e 68 W/m², respectivamente.

Segundo a interpretação de Harlan (2006), o individuo padrão estaria em situação de neutralidade térmica na maior parte do dia.

As 8:00 horas em P1 ele estaria próximo do limite entre a zona de neutralidade térmica e a sensação térmica -1 (pouco frio).

As 12:00 horas ele sai da zona de neutralidade em P2 passando de 0 para +1 e às 13:30 horas ele retorna à zona de neutralidade térmica.

Em uma análise geral o individuo em P1 apresentaria uma tendência maior em atingir uma situação de estresse pelo frio, ao contrário em P2 apresentaria uma tendencia em atingir a faixa correspondente ao estresse pelo calor.

No experimento do dia 05/06/2013 (Figura 45), observamos que as curvas comportam – se de forma semelhante ao longo do dia, no entanto o balanço energetico em P1 é inferior a P2 na maior parte do tempo com uma excessão ao intervalo entre 12:00 horas e 13:00 horas, quando ele praticamente o mesmo. Aàs 17 horas quando a radiação é minima o balanço energético entre P1 e P2 volta a se aproximar com P1 e P2 marcando -6 W/m² e 5 W/m², respectivamente.

Segundo a interpretação de Harlan (2006), o individuo padrão permaneceria na zona de neutralidade térmica do início do experimento às 8:00 horas até às 9:00 horas em P2 e até às 10:00 horas em P1. Verificou – se, no entanto, uma uma tendência ao estresse pelo frio (-1) às 8:00 horas em P1.

As 11:00 horas, 12:30 horas 14:30 horas e 15:00 horas a sensação térmica do individuo padrão em P2 estaria na faixa correspondente a +2 enquanto em P1

estaria na faixa correspondente a +1. A partir das 15:30 horas em P1 e das 16:30 horas em P2 o indivíduo padrão voltaria a sua zona de neutralidade térmica.

A diferença das curvas mostrou-se mais acentuadas no experimento de outono, quando comparadas ao experimento de primavera, onde as temperaturas registradas foram superiores a 30ºC.

Desta forma pode-se inferir, que o uso e cobertura do solo exercem maior influência sobre o conforto térmico em condições climaticas mais amenas.

Os resultados do presente estudo sustentam as conclusões de Kenny et al. (2009), que sugere que os modelos de balanço energetico não descrevem totalmente a variação entre ATS e PTS votos, e que fatores adicionais, tais como os relacionados com a psicológica adaptação, são susceptíveis de afetar indivíduo sensação térmica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários autores afirmam ser provável uma variação das respostas subjetivas a sensação térmica em ambientes externos. Desta forma, o modelo COMFA, embora possa apresentar eventuais discrepâncias, mostrou um bom desempenho em predizer o ATS em locais de clima predominantemente quente.

Os resultados do presente estudo sustentam as conclusões de Kenny et al. (2009), que sugere que os modelos de balanço energetico não descrevem totalmente a variação entre os votos de ATS e PTS, pois fatores adicionais, tais como os relacionados com a psicológica adaptação, são susceptíveis de afetar a sensação térmica indivíduo.

No entanto, o presente estudo não foi capaz de definir uma interpretação para balanço energético extremo, principalmente devido à distribuição espacial do PTS apresentar valores predominantemente positivos, e também pela grande variedade de respostas para o ATS para uma mesma condição. Recomenda–se que pesquisas futuras sejam feitas em condições climáticas mais amplas e com grupos repetidos de participantes.

O estudo mostrou, também, que o calor armazenado no ambiente construído é o principal responsável por manter a sensação térmica alta em dias quentes, pois mesmo com a ausência de sol o calor retido por superfícies como o asfalto, continua dissipando-se durante as primeiras horas da noite, o que contribui para o aquecimento da temperatura do ar no nível do solo.

As características térmicas dos materiais de construção e da ausência da vegetação provocam alterações do clima no ambiente construído, onde, mesmo na ausência total de radiação solar, estes materiais continuam irradiando energia térmica.

Este estudo mostrou que existe uma relação entre a temperatura da superfície e fator de visão do céu. Assim, o SVF *(Sky View Factor*) é um parâmetro importante para a geometria de radiação em cidades.

A sombra formada pela copa das árvores, intercepta grande parte da radiação diminuindo seu saldo e, consequentemente, o padrão da temperatura de superfície, contribuindo para o conforto térmico em ambientes ao ar livre.

Nas primeiras horas do dia já é possível observar indícios da ocorrência da amplitude térmica aliada às diferenças de temperatura do ar entre a áreas com vegetação em contraposição com a áreas de ambiente construído predominante.

Os resultados mostraram que a situação térmica dos participantes na ESALQ tendeu mais ao estresse pelo frio do que os participantes do centro, no entanto os participantes do Centro manifestaram um percentual maior na zona de neutralidade térmica.

De acordo com o presente trabalho pode-se destacar a importância desse estudo em avaliar os níveis de conforto térmico humano, inicialmente, através da aplicação de questionários com pessoas de diferentes idades e sexo, submetidas a estímulos ambientais variados e, posteriormente, verificar sua respectiva correspondência com o balanço energético (W/m^2) gerados pelo modelo COMFA. A partir disso pode-se ter uma aplicação do modelo COMFA com uma interpretação mais coerente com a realidade local. Assim, o estudo mostrou uma correspondência entre os valores de ATS e PTS, o que comprova a eficiência do modelo COMFA em predizer o conforto térmico.

6 CONCLUSÂO

Comparando os resultados deste trabalho com resultados obtidos no em semelhante estudo realizado no Canadá com o objetivo de obter a faixa de balanço energético correspontente a cada nivel de sensação térmica (ATS), observou – se que as pessoas em Piracicaba são mais adaptadas ao balanço energético tendendo um pouco para o calor. Devemos destacar, no entanto que houve um claro ajustamento sazonal, onde a faixa de neutralidade térmica se movimente para mais ou para menos, de acordo com a expetativa e aclimatação das pessoas.

Devido a questões de adapatação e aclimatação, supostamente um individuo em condições de clima predominante quente como Piracicaba, apresentaria uma relação PTS/ATS diferente do que foi proposto na interpretação de Harlan (2006). Assim, os resultados do presente trabalho sugerem um PTS cujo intervalo mais adequado para determinar a zona de neutralidade térmica seria entre 50 W/m² e 100 W/m² em estações quentes e entre 0 W/m² e 70W/m² para estações frias.

As análises de conforto térmico humano mostraram que a vegetação exerce papel importante no nível de conforto térmico e que o uso de cobertura do solo exerce maior influência sobre o conforto térmico em condições climaticas mais amenas. Em caso de temperaturas muito altas, há um estresse térmico muito grande, nestas condições o efeito da vegetação é minimizado e as diferenças na sensação térmica tendem a se igualar.

Conclui – se, portanto, que devemos sempre considerar a adaptação de um indivíduo à condição climática predominante. Assim, o modelo COMFA pode apresentar possibilidades de aplicação às mais diversas condições climáticas, desde que seja possível uma correta interpretação da sensação térmica correspondente a cada balanço energético calculado. Assim, a utilização do modelo COMFA para a previsão do conforto térmico somente será efetiva se levar em consideração as especificidades climáticas de cada local de aplicação. O balanço energetico obtido pelo modelo será sempre o mesmo conforme os dados de entrada. Porém, a interpretação da sensação térmica do indivíduo deverá ser inerentemente condicionada ao seu local de aplicação.

A análise dos perfis urbanos estudados demonstrou que o ponto de medição no centro da cidade de Piracicaba- SP apresentaram valores de temperatura do ar

mais elevados, quando comparados ao ponto de medição localizado no interior do Parque da ESALQ.

A análise dos perfis térmicos das áreas estudadas evidencia o efeito amenizador, do ponto de vista térmico, que é proporcionado pela presença da vegetação, quando em contraste com a área de vegetação escassa referenciada. Pode-se observar o efeito de frescor proporcionado pelas áreas verdes evidenciadas pela diferença de temperatura de até 1,8º C registrados nas referentes áreas ao longo do dia. De acordo com os resultados apresentados, pode-se constatar que a influência das áreas monitoradas sobre as condições térmicas de diferentes recintos urbanos na cidade de Piracicaba- SP pode ser considerada significativa para o conforto humano.

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.

ASSIS, E. A.; FROTA, A. B.; Urban bioclimatic design strategies for a tropical city. **Atmospheric Environment**, v. 33, n.24, p. 4135-4142. 1999.

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.

BUENO, C. L. **A Influência da Vegetação no Conforto Térmico Urbano e no Ambiente Construído**. 2003, 205p. Tese de doutorado - Faculdade de Engenharia Civil - Unicamp, Campinas, 2003.

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 Efficience.**.Canada: John Wiley & Sons**,** Inc., 193p. 1995.

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.

CARNAHAN, W.H.; LARSON, R.C. **An analysis of an urban heat sink**. Remote Sensing of Environment, Oxford, v.33, n.1, p.65-71, 1990.

CARVALHO, E. T.; PRANDINI, F. L. Áreas urbanas. **In**: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

COLTRI, P. P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análises de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. Piracicaba, 2006. 166 p. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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.

CONGALTON, R.G., ODERWALD, R.G., MEAD, R.A. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate statistical techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,** Washington, v. 49, n. 12,p. 1671–1678, 1983.

CONGALTON, R.G., KASS, G. **Assessing the accuracy of remotely sensed data:principles and practices**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press. 2009.183p

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.

DANNI-OLIVEIRA. I. M. Aspectos conceituais do sistema clima urbano: uma breve revisão bibliográfica sobre ilhas de calor. **Cadernos de Geociências**, v.19 n.15, p.13-26, 1995.

DUNCAN, D. **ConFiguration of Remote Sensing Systems based on Duncan Tech Multispectral Cameras**. Duncan Tech, Inc. 11824 Kemper Rd. Auburn, CA 95603.,2000. 7p. Disponível em: <http://www.duncantech.com>. Acesso em: 5 setembro 2013.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering.** New York: McGraw-Hill, 1972.

GANGLOFF, D. Urban forestry in the USA. **In**: Second National Conference on Urban Forestry. USA, K D. Collins, 1996. p. 27-29.

GOMES, M.A.S.; AMORIM, M.C.C.T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de casos nas praças públicas de Presidente Prudente (SP).**Caminhos de Geografia,** Uberlândia, v. 7, n. 10, p. 96-106, 2003.

GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Israel – a Review. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.29, n.4, p.467-478, 1995.

GREY, G.W.; DENEKE, F.J. **Urban forestry.** New York, John Wiley,1978. 279p

GRIMMOND, C. S. B.; Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. **Geographical Journal**, v. 173, p. 83–88, 2007.

HARLAN, S., BRAZEL, B., PRASHAD L, STEFANOV, W. LARSEN, L. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. **Social Science & Medicine**.v.63, p.2847-2863, 2006.

HARRIS, A.M. Designing with Climate: **Using Parking Lots to Mitigate Urban Climate.** 2004. **Dissertação (Mestrado em Arquitetura Paisagística). College of Architecture and Urban Studies**, Virginia, 2004. Disponível em <http:// scholar.lib.vt.edu/theses/>. Acesso em 10 de março 2012.

HOPPE, P. Diferent aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. **Energy and Buildings**, v.34. n.6, p.661-665, 2002.

HUANG, J. Prediction of air temperature for thermal comfort of people in outdoor environments. **International Journal of Biometeoroly**, v.51, n.5, p.375-382, 2007.

IBGE 2010. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: http://censo2010.ibge.gov.br/ Acesso 15 de dezembro 2011.

ICHINOSE, T.; SHIMODOZONO, K.; HANAKI, K. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.33, n. 24-25, p. 3897-3909, 1999.

ISAAC, S., MICHAEL, W. **Handbook in research and evaluation**, 3rd edn. EdITS, California. 1997.330p.

JOHANSSON, E. and EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Columbo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v.51, n.2, p.119-133. 2006.

KNEZ, I.; THORSSON, S. Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. **International Journal of Biometeorology**, v.50, p.258-268. 2006.

KENNY, N. A., WARLAND, J. S., BROWN, R. D., and GIPPESPIE, T. J. Part A: Assessing the performance of the COMFA outdoor thermal comfort model on subjects performing physical activity. **International Journal of Biometeorology**, v.53, p.415-428. 2009a.

_____. Part B: Revisions to the COMFA outdoor thermal comfort model for application to subjects performing physical activity. **International Journal of Biometeorology**, v.53, p.429 -441. 2009b.

KERSLAKE, D.M **The stress of hot environments**. Cambridge University Press, Cambridge.1972.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics, Arlington**, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J.W. **Remote sensing and image interpretation**. 5th ed. New Jersey: John Wiley, 2004,763p.

LOMBARDO, M.A.; GONÇALVES, J.C.; NETO, P.Q. A expansão urbana da cidadede São Paulo e a variação temporal da temperatura. **In**: Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, 3., Londrina. Anais Londrina; UEL, 1991. 190p.

LOMBARDO, M. A. Heat Island in Metropolis: **Case of Sao Paulo**. Sao Paulo: Hucited. 1985.

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

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.

MENDONÇA, F. O clima urbano de cidades de porte médio e pequeno: aspectos teórico metodológicos e estudo de caso. In: SANT'ANNA NETO, João L.; ZAVATINI, João A. (Org). **Variabilidade e mudanças climáticas:** implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000. p.167-192.

MILANO, M.S.; DALCIN, E.C. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro, RJ: Light, 2000. 226p.

MILLER, R.W**. Urban Forestry: planning and managing urban green space**. New Jersey: Prentice Itall, 1988.

MILLER, R.W. **Urban Forestry:** Planning and Managing Urban Greenspaces. 2 ed. New Jersey, Prentice Hall, 1997. 502p

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. IGEO/USP, São Paulo, (Série Teses e Monografias, n.25. 181p.1976.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2005. 3ª ed. Ampliada e atualizada. Viçosa: Editora UFV. 320p. 2005.

NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N., STREEMERS, K. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the human parameter. **Solar Energy**, Washington,D.C. v.70, n.3, p.227-235. 2001.

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.

OKE, T. (1993) *Boundary Layer Climates.* 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIE. Disponível em <http://www.wmo.ch/index>. Acesso em: 11 maio.2013.

PARSONS, K. **Human Thermal Environments: The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance**. Taylor and Francis, New York, NY, second edition. 2003.

PAULA, R. Z. R. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004. 100 p.

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.

PEREZ, J.C.; SÁNCHEZ, M.de los.A.V.; BARRADAS, V.L. Clima, urbanización y usodel suelo en ciudades tropicales de Mexico. **Red Nacional de Investigación Urbana**,Puebla, México, Ciudades v.51, n6 p-215-219. 2001.

POLIZEL, J. L. **Geotecnologias e clima urbano: aplicação dos recursos de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na cidade de Piracicaba, SP.** Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 153 p.

RANZANI, G. **Subsídios à geografia de Piracicaba.** Piracicaba: Instituto Histórico e Geográfico de Piracicaba, 1976. 79 p.

REIS, D. S.; SILVA FILHO, D. **F A influência da Arborização Urbana no microclima e no conforto térmico humano**. XVIII Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, SIICUSP. ESALQ/USP. Piracicaba. 2010.

RICHARDS, J.A.; JIA, J. **Remote sensing digital image analysis** – an introduction. 4th edition. Heidelberg: Springer, 2006. 439p.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e Clima - Acondicionamento Térmico Natural**. 2º ed. Porto Alegre: D. C. Luzzatto, 1986. 239p.

ROLLO, F.M.A.; SILVA FILHO D.F; COUTO H.T.Z.; POLIZEL J.L. Uso de cenas videográficas para a avaliação da floresta urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. v.2, n. 3, p. 63-79. 2007.

RUAS, A. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. FUNDA CENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, 1999. 97p.

SANTAMOURIS, M., **Energy and climate in the urban built.** London: James & James. 2001.

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.

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

SPAGNOLO, J., DEAR, R. A human thermal climatology of subtropical Sydney. **International Journal of Climatology**, 23:1383-1395. 2003b. onde esta o 2003ª

SILVA FILHO, BORTOLETO, S. Uso de indicadores de diversidade na definição de plano de manejo da arborização viária de Águas de São Pedro-SP. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.29, n.6,p.973-982,2005

SILVA FILHO, D. F.; REIS, D. S.; UEMURA, L. . Técnicas de geoprocessamento no estudo quali-quantitativo do ambiente urbano. 2010. XVIII Simpósio **Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo**- SIICUSP. ESALQ/USP. Piracicaba.2010.

SILVA, I. M.Efeito do uso de cobertura do solo sobre o conforto higrométrico. Piracicaba, 2006. 166 p. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SILVA, E .M., RIBEIRO, A.G. As tendências das variações climáticas na cidade de Uberlândia-MG (1981-2000). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.9, n.12, p.174-190, Jun.2004. Revista on-line.Disponível: <www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html>.Acesso em: 12 de dezembro 2013

SCUDO, G., Thermal comfort in green spaces. **In**: Green Structures and Urban Planning,Milan,2002.Disponívelem:<http://www.greenstructureplanning.eu/COSTC11/comfort.htm>Acesso em 15 de janeiro de 2014.

SCHOWENGERDT, R.A. **Remote sensing models and methods for image processing**. Third Edition. Berlington: Academic Press, 2007. 515p

SVENSSON, M.K. Sky view factor analysis–implications for urban air temperature differences. **Meteorological Applications**, v. 11, n. 3, p. 201-211, 2004

THORSSON, S., LINDQVIST, M., LINDQVIST, S. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg, Sweden. **International Journal of Biometeorology**, v.48, n.3, p.149-156.2004.

THORSSON, S., HONJO, T., LINDBERG, F., ELIASSON, I., LIM, E.-M. Thermal comfort and outdoor activity in japanese urban public places. **Environmental and Behavioral** , v.39, n.5,p.660-684. 2007.

VANOS, J., WARLAND, J., GILLESPIE, T., and KENNY, N. Thermal comfort modelling of body temperature and psychological variations of a human exercising in an outdoor environment. **International Journal of Biometeorology**, v.10, n.1 p.393-44. 2010 a.

_____. Review of the physiology of human thermal comfort while exercising in urban landscapes and implications for bioclimatic design. **International Journal of Biometeorology** v. 54 n.4 p.319-334. 2010b.

VIANELLO, L.R.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: Imprensa Universitária. 1991. 449 p.

VOOGT, J.A.; OKE, T.R. Complete urban surface temperatures. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, n. 9, p. 1117-1132, 1997.

WATSON, I.; JOHNSON, G. Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. **International Journal of Climatology**. v.11, n.3.p. 201–211, 1987.

WENG, Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, Oxford, v. 22, n.10, p.1999-2014, 2001.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

REIS, D. S.; SILVA FILHO, D. **F A influência da Arborização Urbana no microclima e no conforto térmico humano**. XVIII Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, SIICUSP. ESALQ/USP. Piracicaba. 2010.

SILVA FILHO, D. F.; REIS, D. S.; UEMURA, L. . Técnicas de geoprocessamento no estudo quali-quantitativo do ambiente urbano. 2010. XVIII Simpósio **Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo**- SIICUSP. ESALQ/USP. Piracicaba.2010.

ANEXO

1

NOME DO ENTREVISTADO:

GRAU DE ESCOLARIDADE:

LOCAL DA ENTREVISTA ESALQ () CENTRO () Sol Sombra	DATA	HORA	IDADE	ALTURA/PESO	GENERO

Vestimenta	A	B	C	D	E

QUAL SUA SENSAÇÃO TÉRMICA NESTE MOMENTO?

Muito frio | Frio | Pouco frio | Neutro | Pouco calor | Calor | Muito calor

0 _____ 10

NADA CONFORTÁVEL MUITO CONFORTÁVEL

COMO PREFERIA QUE ESTIVESSE?

muito + frio | + frio | pouco + frio | como está | pouco + calor | + calor | muito + calor

ANEXO VESTIMENTA

A: Camiseta, bermuda/shorts, chinelo/sandalia
B: Camiseta , bermudas/ shorts, meias, tênis
C: Camiseta , calças compridas, meias, tênis/sapatos
D: Camiseta , calças compridas, meias, sapatos, blusa