

## ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO PARA ÁREAS EXTERNAS EM CLIMA TROPICAL DE ALTITUDE

**Moreno, Mayra de M.; Noguchi, Eliza; Labaki, Lucila C.**

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC – UNICAMP, Avenida Albert Einstein, 951 – Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Caixa Postal 6021, CEP: 13083-852, Campinas – SP, Fone: (19) 3788-2384, Fax: (19) 3788-2411

e-mail: [mayrammoreno@gmail.com](mailto:mayrammoreno@gmail.com), [elizanoguchi@hotmail.com](mailto:elizanoguchi@hotmail.com) e [lucila@fec.unicamp.br](mailto:lucila@fec.unicamp.br)

### RESUMO

Climas e microclimas das áreas externas no meio urbano localizado em diferentes latitudes sugerem índice de conforto térmico igualmente distinto, pois este não está somente associado às características ambientais, mas também às populacionais. A sensação térmica experimentada pela população em determinado local é a base para definição do intervalo das variáveis ambientais que compõe uma zona de conforto, sensação esta definida pelas respostas físicas, fisiológicas e psicológicas. O objetivo do presente trabalho é propor parâmetros para avaliação do conforto térmico para áreas externas em clima tropical de altitude. A metodologia adotada consiste: a) no levantamento dos parâmetros ambientais: temperatura do ar, temperatura de globo, umidade do ar, velocidade do vento e temperatura da superfície horizontal, em áreas com e sem vegetação arbórea; b) aplicação de questionários a população residente com perguntas sobre sensação térmica utilizando a escala de sete pontos (+3 muito calor ao -3 muito frio), além de informações pessoais, como sexo, idade e vestimentas. O estudo de caso foi feito em área habitacional na região de Campinas-SP, caracterizada pela autoconstrução de moradias. Os resultados permitem definir parâmetros para avaliação do conforto térmico, através de uma zona de conforto para áreas externas aplicável ao clima tropical de altitude. O trabalho tem como resultado estabelecer uma ferramenta para avaliação do conforto em meio urbano no passeio público e áreas livres, com ou sem proteção vegetal.

### ABSTRACT

Climates and microclimates of external areas located in different latitudes suggest distinct thermal comfort indices, therefore these are not only associated with the ambient characteristics, but also with those of the population. The thermal sensation experienced by determined population is the basis for definition of the comfort zone interval. So thermal sensation is decisive for the physical, physiological and psychological answers. The objective of the present work is to consider parameters for thermal comfort evaluation in external areas in tropical climate of altitude. The case study was a habitational area in the region of Campinas, Brazil, characterized for self construction of housings. The adopted methodology consists: a) in the survey of the ambient parameters: air and globe temperatures relative air humidity, wind speed and temperature of the horizontal surface, in areas with and without the presence of trees; b) application of questionnaires to the resident population with questions on thermal sensation using the seven points scale (+3 too hot to the -3 too cold), beyond personal information, as sex, age, activity and clothes. The results allow to define parameters for evaluation of the thermal comfort, through a zone of comfort for external areas applicable to the tropical climate of altitude. The work has as result to establish a free tool for evaluation of the comfort in outdoor areas, with or without vegetal protection.

## 1. INTRODUÇÃO

Climas e microclimas das áreas externas no meio urbano localizado em diferentes latitudes sugerem índice de conforto térmico igualmente distinto, pois este não está somente associado às características ambientais, mas também às populacionais. A sensação térmica experimentada pela população em determinado local é a base para definição do intervalo das variáveis ambientais que compõe uma zona de conforto, sensação esta definida pelas respostas físicas, fisiológicas e psicológicas.

Para se avaliar o conforto térmico em ambientes externos, é necessário inicialmente citar o índice adotado pelas normas internacionais para ambientes internos. A ISO 7730 (1994), *Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, que adota o método do Predicted Mean Vote – PMV (Voto Médio Estimado – VME), tem sido frequentemente adotada, inclusive para ambientes externos (RAJA e VIRK, 2001; NIKOLOPOULOU, BAKER e STEEMRS, 2001; e SHPIRT et al, 2006), mas há questionamentos sobre essa utilização, uma vez que Fanger (1967), quando propôs esse método, baseou-se em pesquisa realizada em câmaras climatizadas. O método do VME tem como objetivo diagnosticar a sensação térmica, através de uma escala de sete pontos (+3 muito calor, +2 calor, +1 leve calor, 0 conforto, -1 leve frio, -2 frio, -3 muito frio) e representa uma estimativa de sensação relativa de um grande número de pessoas. O VME é obtido a partir das variáveis ambientais (temperatura, umidade relativa, temperatura radiante média e velocidade relativa do ar) e das variáveis pessoais (taxa de metabolismo e isolamento térmico das vestimentas). A Predicted Percentage of Dissatisfied – PPD (Porcentagem Estimada de Insatisfeitos – PEI) dá a estimativa de insatisfeitos com o ambiente, em relação ao VME (RUAS, 2001).

As pesquisas sobre conforto térmico em ambientes externos, quando comparadas com aquelas em ambientes internos, são mais complexas uma vez que envolvem uma maior variação das condições climáticas. Estudos sobre a análise de conforto térmico em espaços externos levam em consideração a taxa de metabolismo, a vestimenta e a radiação solar. Também apontam para as respostas fisiológicas aos efeitos combinados entre os fatores climáticos e a atividade, e particularmente a reação às taxas de sudorese (LOIS e LABAKI, 2001).

Givoni et al (2003) desenvolveu uma equação para a sensação térmica em ambientes externos baseando-se em uma pesquisa desenvolvida no Japão. Esta pesquisa observou três diferentes situações de exposição em área externa: sob a sombra de uma árvore; exposto ao sol; e, sob o sol e protegido do vento em uma mesma praça, em diferentes épocas do ano. As variáveis que compõem a equação são: temperatura na sombra (°C), radiação solar horizontal, velocidade do vento (m/s), umidade relativa (%) e temperatura da superfície ao redor (°C).

A Temperatura Fisiológica Equivalente (PET - Physiological Equivalent Temperature) é um índice para cálculo do conforto térmico, adaptado às condições externas, que considera não só a temperatura, umidade e vento, mas também a temperatura radiante média e é baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade, (KATZCHNER, 2000).

Ahmed (2003) estuda várias conformações urbanas e como estas favorecem o conforto na área externa. Para isto ele estabelece um critério de zona de conforto (Figura 1) em zona tropical urbana no verão, para pessoas envolvidas em atividade de 1 Met<sup>1</sup> e usando 0,35-0,5 CLO<sup>2</sup>. Este conclui que o desenho urbano em relação a

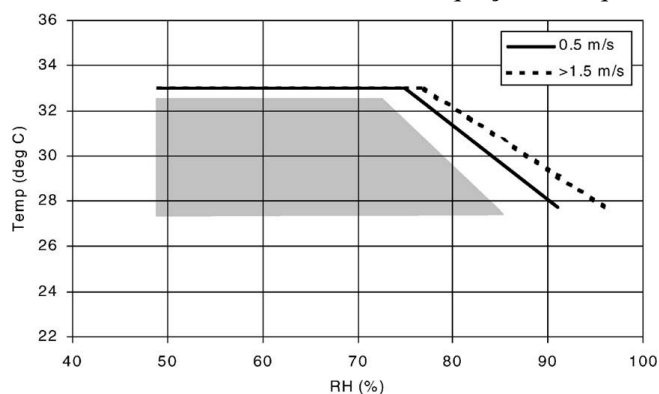


Figura 1 - Zona de Conforto em área externa no verão

<sup>1</sup> Met = calor dissipado pelo corpo ao ambiente dependendo da atividade.

<sup>2</sup> CLO = resistência térmica da vestimenta, 1 "clo" = 0,155m<sup>2</sup>C/W

conforto em áreas externas deveria criar ou prover uma gama térmica razoável, em vez de tentar criar uma condição térmica exata.

## 2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é propor parâmetros para avaliação do conforto térmico para áreas externas em clima tropical de altitude. Essa pesquisa está inserida no projeto Difusão e Aplicação de Tecnologia em Áreas Habitacionais de Interesse Social para a Construção de Ambientes Saudáveis e Sustentáveis em Campinas/ SP (MCT/FINEP, programa Habitare).

## 3. METODOLOGIA

O trabalho de Monteiro e Mendonça (2003) deu apoio à definição da área de estudo, pois foi utilizado o espaço climático denominado topoclima, correspondente ao espaço urbano fâcies de bairro. As unidades estudadas são os conjuntos de áreas verdes e vegetação situada no passeio público do bairro São José, caracterizado pela autoconstrução, situado na cidade de Campinas – SP.

A coleta de dados foi feita através de levantamento dos parâmetros ambientais: temperatura do ar, temperatura de globo, umidade do ar, velocidade do vento e temperatura da superfície horizontal, em áreas com e sem vegetação arbórea com base no método de medidas fixas do estudo de Pezzuto (2004); e aplicação de questionários a população residente com perguntas sobre sensação térmica utilizando a escala de sete pontos (+3 muito calor ao -3 muito frio), além de informações pessoais, como sexo, idade e vestimentas. O cruzamento destes dados possibilitou a delimitação da zona de conforto.

### 3.1 Medições

Foram realizadas medições num total de cinco dias. No passeio público, entre os dias 21 e 23 de novembro de 2005, e nas áreas livres, em 08 e 09 de abril de 2006, ambas com medidas fixas. Os equipamentos utilizados foram os seguintes: Testo 175-1 (umidade), Testo 175-2 (temperatura do ar e globo), Testo 175-H1 (umidade), Testo 175-T2 (temperatura do ar e globo) e Testo 405-V1 (anemômetro). Desses, quando havia dois sensores, um deles era acoplado ao termômetro de globo padrão. Estes conjuntos permitem registrar a temperatura do ar e de globo e a umidade do ar, já a velocidade do vento era registrada manualmente pelo anemômetro, Figura 2. Os equipamentos que registravam umidade e temperatura ficaram sob uma proteção contra a radiação feita de isopor perfurado nos três primeiros dias (Figura 3), já nos dois últimos a proteção foi feita através de pratos brancos sobrepostos com vãos (Figura 4), permitindo a ventilação. O termômetro de globo não recebeu proteção nenhuma, desnecessária para esse tipo de equipamento.



Figura 2 - Anemômetro



Figura 3 - Conjunto: globo e registro temperatura e umidade  
Proteção de isopor

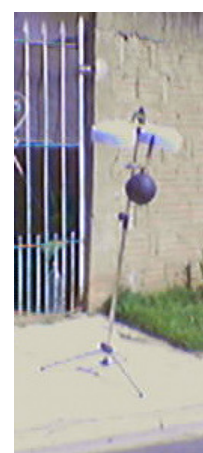


Figura 4 - Conjunto: globo e registro temperatura e umidade  
Proteção pratos brancos

Os pontos para as medições foram escolhidos com base nas características nas características da vegetação e do entorno observadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Características dos pontos de medição no passeio público		
Ponto	Vegetação	Entorno
01	Espécie isolada de copa densa	Calçada com graminea e muro tijolo baiano
02	Espécie isolada de copa rala	Calçada cimentada e muro recoberto por vegetação
03	Espécie isolada de copa densa	Calçada cimentada e muro chapiscado

Tabela 2 - Características dos pontos de medição nas áreas livres		
Ponto	Vegetação	Entorno
01 (Praça 03)	Conjunto de arvores	Terra batida e gramineas
02 (Praça 02)	Espécie isolada	Terra batida e gramineas
03 (Praça 01)	Conjunto de arvores mais distantes	Terra batida e gramineas
04 Ponto de Referencia	Inexistente	Calçada cimentada e muro chapiscado
05 (ETE)	Inexistente	Gramíneas

Para a coleta de temperatura e a umidade do ar, os equipamentos foram calibrados para registrar os dados a cada 30 min; a velocidade do vento foi medida a cada meia hora, observando-se sua variação por 10 segundos e registrando-se manualmente as velocidades, máxima e a mínima.

Nos pontos de medição do passeio publico foram instalados dois conjuntos dos equipamentos, um ao sol e outro a sombra, que no primeiro dia ficaram locados no ponto 1 e deslocados para os pontos 2 e 3 nos dias subseqüentes (Figura 5). Já os equipamentos de medição das áreas livres, foram montados nos cinco pontos simultaneamente para os dois dias, perfazendo um total de cinco conjuntos, onde os pontos de 1 a 3 ficaram a sombra e os pontos 4 e 5 ao sol (Figura 6).



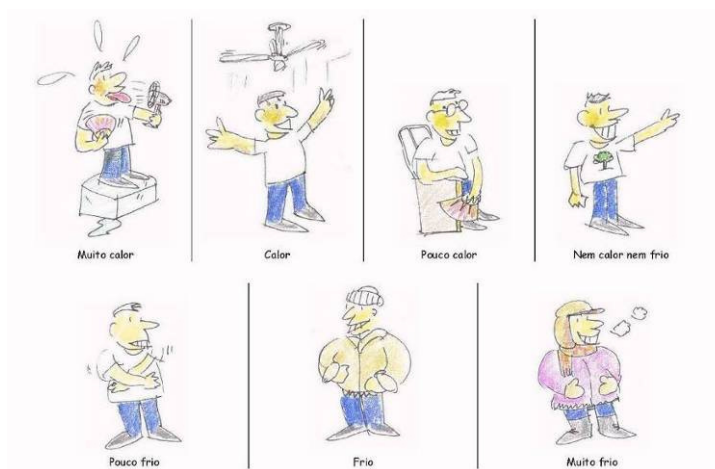
Figura 5 – Localização dos pontos das medidas fixas no passeio público



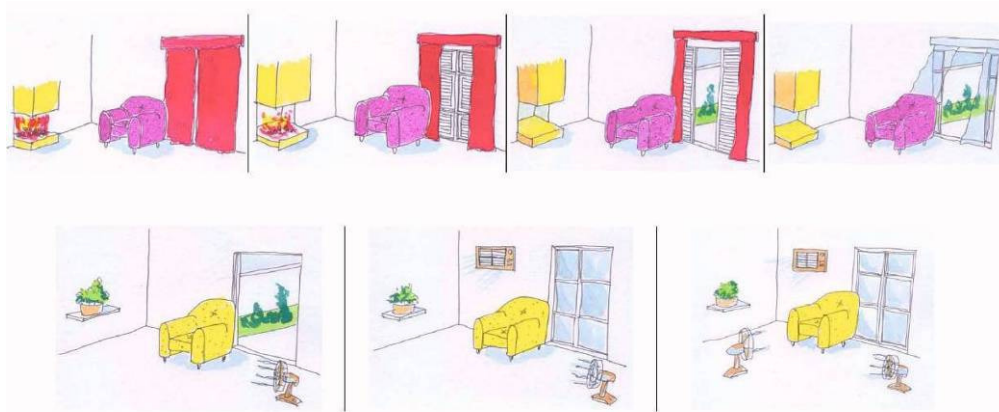
**Figura 6 – Localização dos pontos das medidas fixas nas áreas livres**

### 3.2 Entrevistas

As entrevistas foram realizadas simultaneamente à coleta dos dados ambientais. Os questionários aplicados à população que transitava pelo local, indagava-as sobre: dados pessoais, se utilizam áreas verdes ou outra área para lazer no bairro ou na região, se consideravam importante a vegetação para amenizar a temperatura, além das questões sobre sensação e preferência térmicas. As questões referentes à sensação e preferência térmicas possuíam imagens correspondentes à escala de respostas (Figuras 7 e 8), tendo como proposta facilitar o entendimento das gradações destas sensações. O questionário também incluía espaços para o entrevistador anotar as vestimentas e atividade desenvolvida pela pessoa pouco antes de ser abordada. Foram realizadas de cento e oito entrevistas no total.



**Figura 7 – Sensação térmica**  
 Autoria dos desenhos – Prof. Francisco Borges Filho



**Figura 8 – Preferência térmica**  
 Autoria dos desenhos – Prof. Francisco Borges Filho

Para avaliar se as cento e oito entrevistas é um tamanho de amostra significativo para esta população, foi utilizado o erro de amostragem na estimativa de uma porcentagem. Foi analisado o pior caso, ou seja, onde o erro é máximo. O erro de amostragem é de aproximadamente 10%. A partir destas informações foi possível aproximar os dados por uma distribuição Normal (0,1). Aferindo a suficiência de uma amostra de cento e oito questionários para um erro amostral menor que 10% para a população do Bairro São José, nas questões de sensação e preferência térmica.

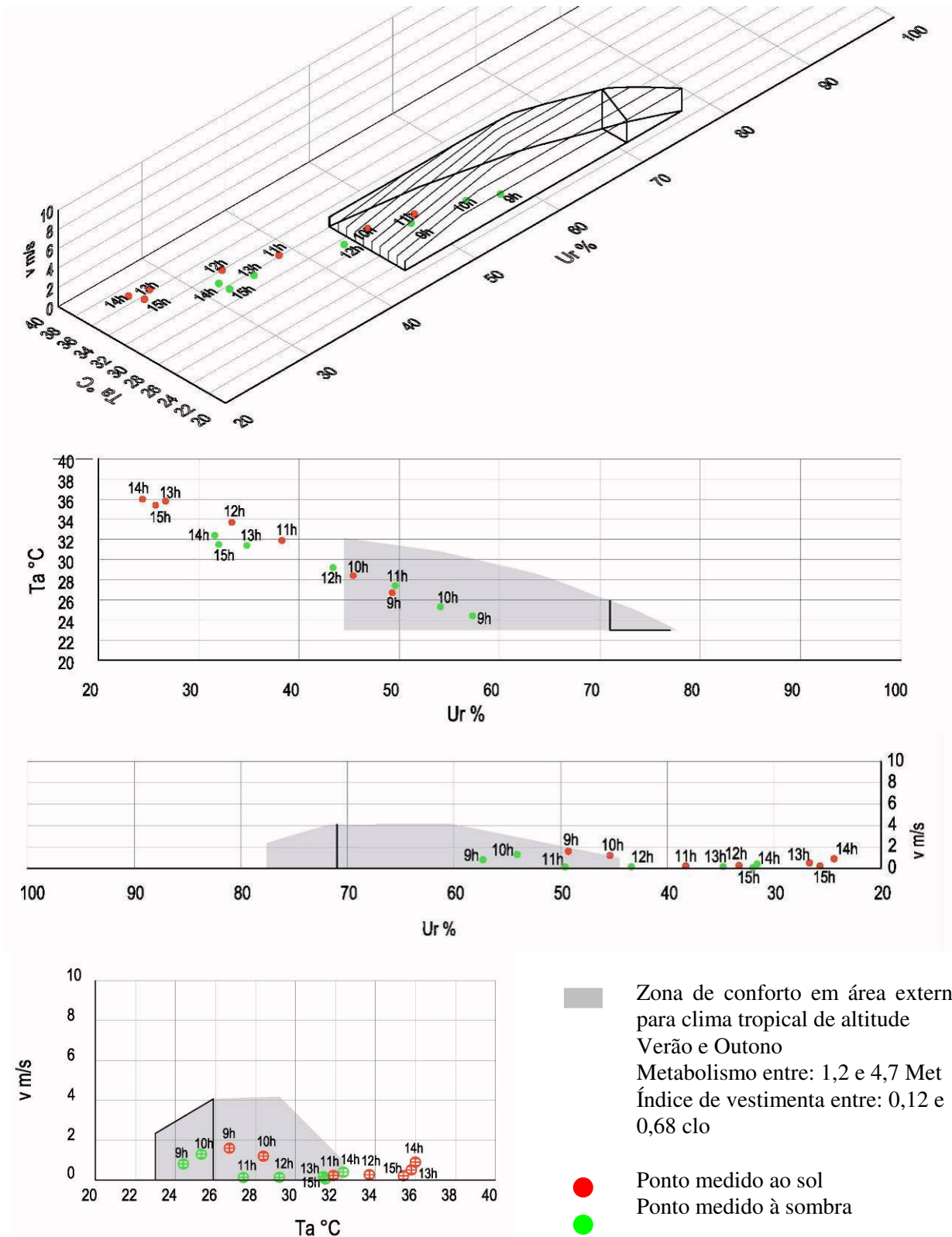
### 3.3 Cruzamento dos dados

A definição de uma zona de conforto para clima tropical de altitude foi elaborada a partir dos dados coletados nas medições do passeio público (verão) e áreas livres (outono). Foram tabulados os seguintes parâmetros: sensação térmica, sensação de conforto, temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar. Buscou-se relacionar sempre as respostas das sensações dadas ao sol com os dados climáticos sob o sol assim como para as respostas sob à sombra. A Tabela 3 apresenta parte dos dados tabulados.

**Tabela 3 -Tabulação dos dados de sensação e ambientais para definição de Zona de Conforto em Clima Tropical de Altitude**

Sensação térmica	Conforto	TBS (°C)	Var (m/s)	UR (%)
3	RC	25,3	0,10	74,5
3	D	28,8	0,71	62,4
3	RC	29,2	4,18	60,4
2	RC	29,2	4,18	60,4
2	RC	25,5	1,22	71,2
2	C	26,3	1,04	70
1	RC	26,9	2,45	65,6
1	RC	29,5	0,88	58
1	D	27,9	1,93	64,4
0	C	25,9	0,55	71,5
0	C	28,9	0,92	63,5
0	C	26,7	3,79	69,5
-1	C	25,5	1,22	71,2

Somente os valores ambientais correspondentes à sensação térmica de 1 a -1 foram utilizados para a delimitação da zona de conforto, assim como a graduação de Confortável (C) e Razoavelmente Confortável (RC) inserida nessa zona. A área classificada como confortável no gráfico esta diferenciada com um contorno em preto dentro na área cinza, sendo esta a menor área. Definidos os limites, os dados coletados foram plotados em gráficos contemplado as três variáveis, como se observa nas Figuras 9 a 11.



**Figura 9 - Resultado para o dia 21/11/05 – Sibipiruna – Zona de Conforto Clima Tropical de Altitude**

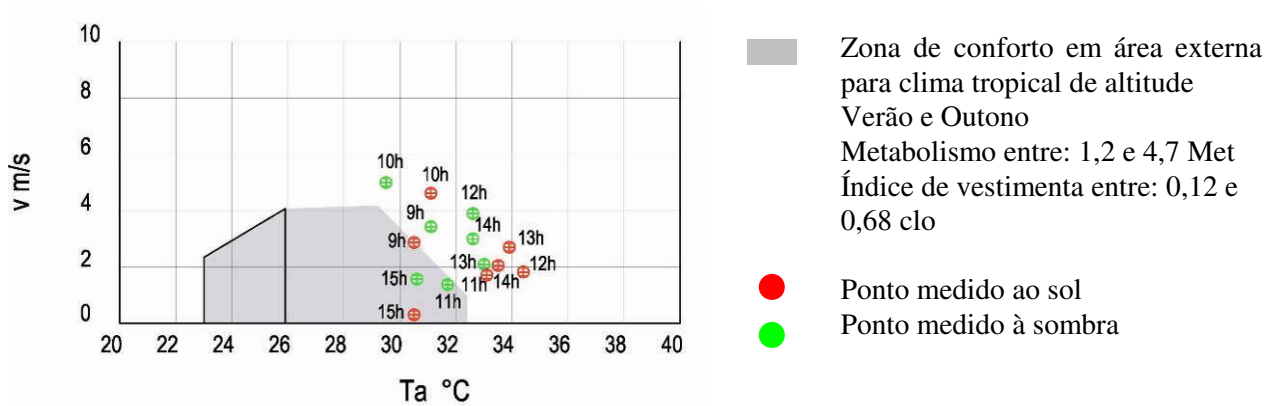
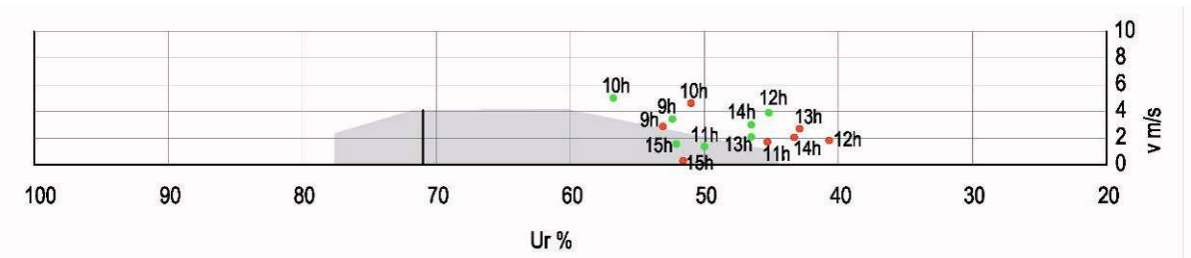
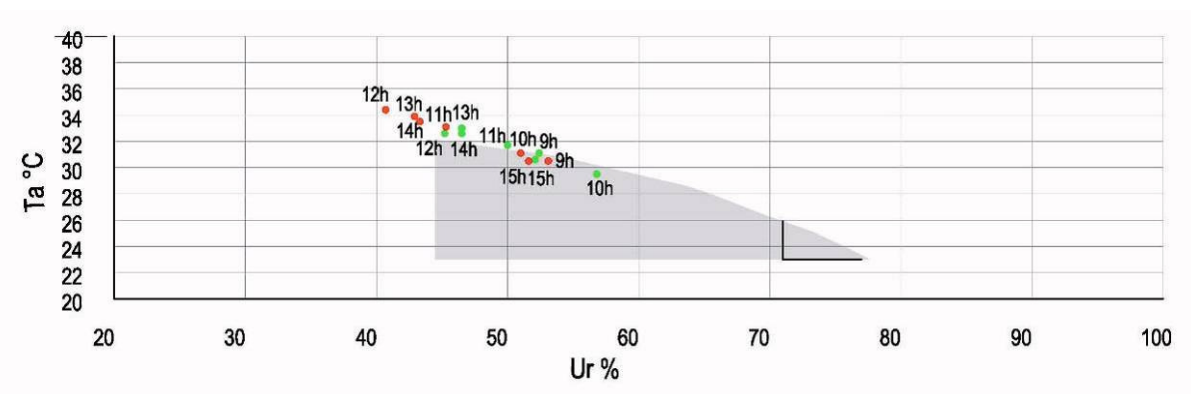
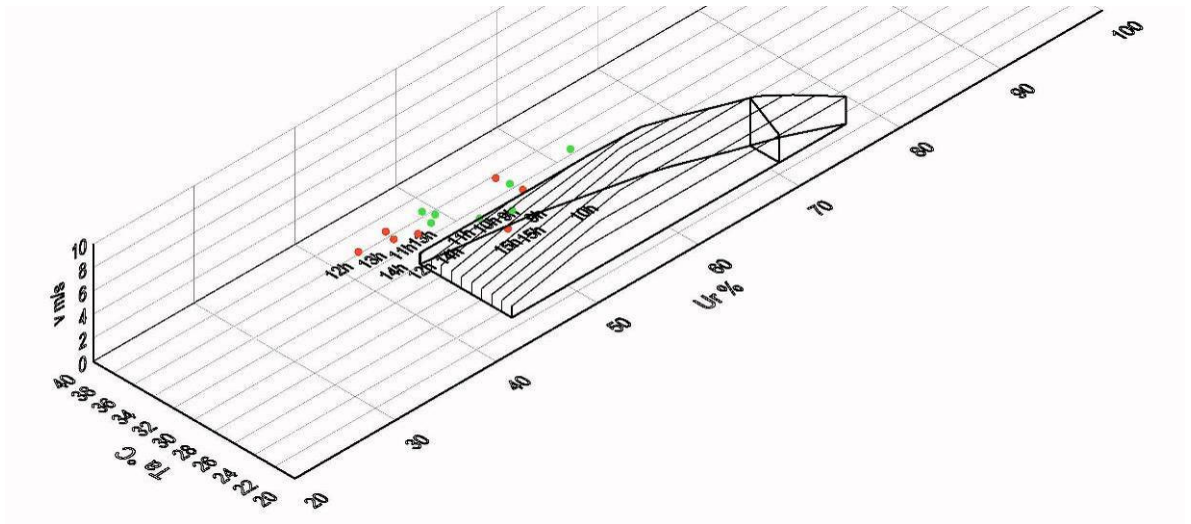
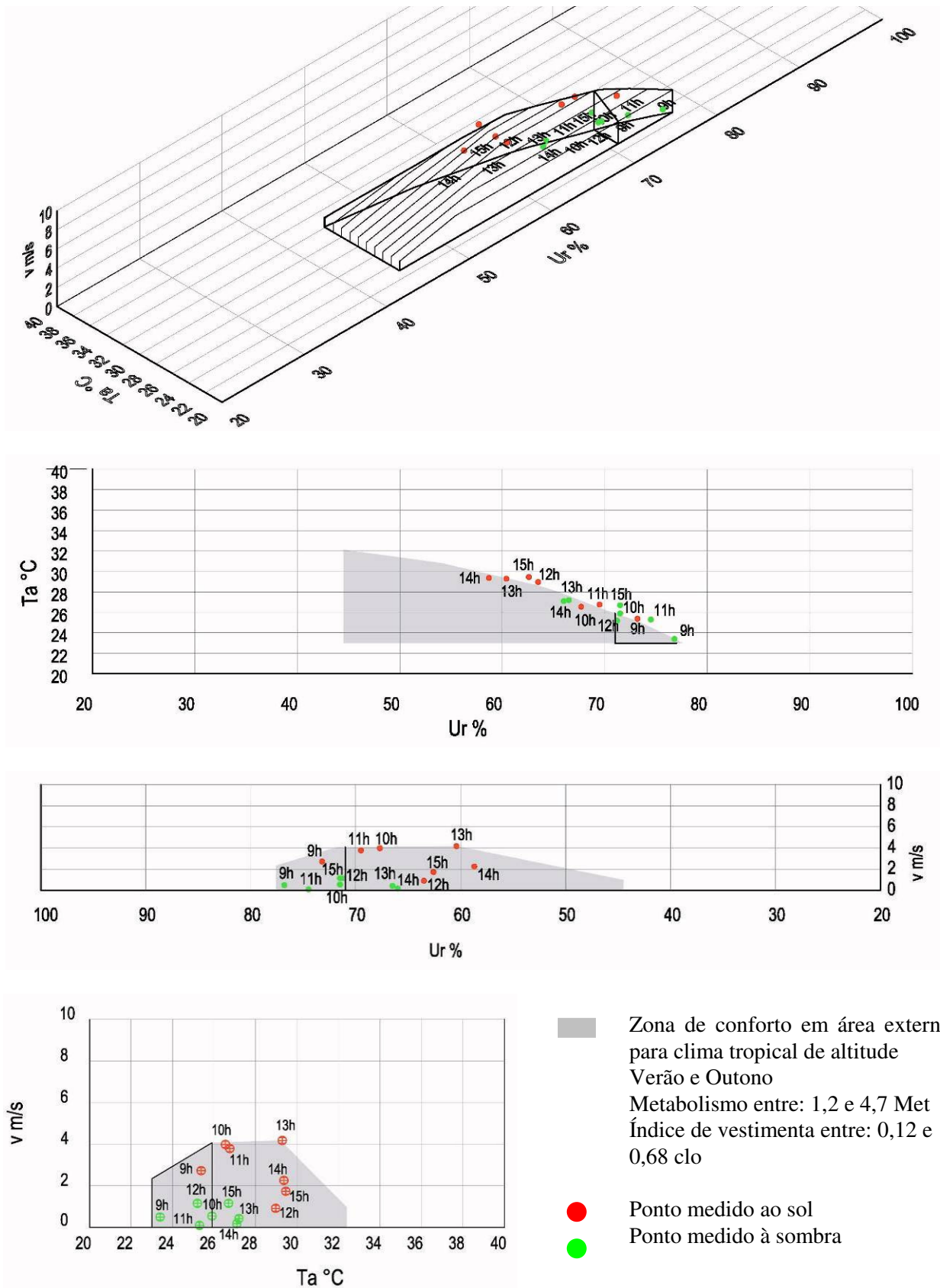


Figura 10 - Resultado para o dia 23/11/05 – Ipê Roxo – Zona de Conforto Clima Tropical de Altitude





**Figura 11 - Resultado para o dia 08/04/06 – Área Livre 03 – Zona de Conforto Clima Tropical de Altitude**

#### 4. ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos gráficos demonstra sempre a colaboração positiva da vegetação. Mesmo quando os valores das variáveis ambientais medidas à sombra da vegetação ou sobre a grama, não se enquadram dentro da zona de conforto, estas muitas vezes amenizam em até um grau a temperatura do ar com um aumento proporcional a esta para a umidade relativa.

Observa-se nos exemplares isolados de vegetação arbórea, uma diferença na redução da temperatura e no aumento da umidade relativa. A Sibipiruna foi o exemplar que demonstrou maior redução na temperatura do ar chegando a 5°C, porém a distribuição dos pontos no gráfico é esparsa e estes estão dentro da zona de conforto até às 11hs. Quanto à umidade relativa, esta mostra um bom comportamento na zona de conforto, no entanto após as 10hs, quando a temperatura é superior a 25°C, há redução na contribuição da umidade pela vegetação. O gráfico da Aroeira também demonstra uma distribuição esparsa dos pontos com maiores temperaturas e umidade relativa mais baixa, com somente cinquenta por cento dos pontos na zona de conforto. Para o Ipê, apesar da proximidade dos pontos no gráfico da zona de conforto, este demonstrou um desempenho semelhante ao da Aroeira, quando se analisa as três variáveis a sombra e ao sol. Este fato pode ter ocorrido devido à cobertura vegetal, trepadeira, existente no muro próximo ao local de medição da Aroeira, pois o Ipê possui maior porte e copa mais densa.

Quanto aos conjuntos de vegetação arbórea os gráficos apontam um melhor desempenho quanto ao conforto na área de maior proximidade entre a vegetação (área livre 03), apesar desta apresentar menor velocidade do ar. A área gramada e sem arborização demonstrou em alguns horários ser mais desconfortável que a área cimentada, quando se observa Ta x Ur, porém nas outras relações esta se mostrou mais confortável, nos dois dias.

Os resultados permitem concluir que:

Os agrupamentos arbóreos tendem a uma maior influência no microclima, dependendo de sua disposição, porém as unidades isoladas também apresentam seus benefícios, restritos à sua área sombreada. Tanto no primeiro como no segundo caso, propiciam uma sensação confortável e razoavelmente confortável também no meio urbano, pois ao “filtrarem” a radiação solar.

A zona de conforto proposta por esta pesquisa para as áreas externas pode ser classificada em toda sua área como confortável, sendo desnecessária a separação entre razoavelmente confortável e confortável, devido à dificuldade de controle ambiental nestas áreas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, K. S. Comfort in urban spaces: defining the boundaries outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. **Energy and Buildings**, [S.I.], v. 35, p. 103-110, 2003.
- GIVONI, B.; et al. Outdoor comfort research issues. **Energy and Buildings**, [S.I.], v. 35, n. 1, p. 77-86, January 2003.
- KATZSCHNER, L. Urban climate maps - a tool for calculation of thermal conditions in outdoor spaces. *In*: PLEA, 2000, **Anais...** Cambridge, UK: James & Jamesp.
- LOIS, E.; LABAKI, L. C. Conforto térmico em espaços externos: uma revisão. *In*: ECAC, VI e III., 2001, São Pedro - SP, Brasil. **Anais...** [São Paulo]: [S.n.], 2001.
- MONTEIRO, C. A.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p
- NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Understanding the Human Parameter. **Solar Energy**, Great Britain, v. 70, n. 3, p. 227-235, 2001.
- PEZZUTO, C. C. **Avaliação do Ambiente Térmico nos Espaços Urbanos Abertos. Estudo de Caso Campinas**. Campinas, SP, 2004. Exemplar de Qualificação de Doutorado - Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp.
- RAJA, I. A.; VIRK, G. S. Thermal comfort in urban open spaces: A review. *In*: MOVING THERMAL COMFORT STANDARDS INTO THE XXI CENTURY, Windsor. **Proceedings**. 2001.
- RUAS, A.C. **Avaliação de Conforto Térmico Contribuição à Aplicação Prática das Normas Internacionais**. Campinas, SP, 2001. Dissertação - Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp.
- SHPIRT, S. ET AL. Micro-Climate Behaviour in Various Urban Parks Located at a Hot, Arid Climate Zone. The Case of Beer-Sheva, Israel *In*: ICUC VI., 2006, **Anais...** [S.n.], 2006. p. 250-253