

AVALIAÇÃO DO RAIO DE INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO MICROCLIMA PROPORCIONADO POR DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS

ABREU, Loyde Vieira(1); LABAKI, Lucila Chebel(2)

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Caixa Postal 6021, CEP 13083-970, Campinas, São Paulo, Brasil, FAX +55 (19) 3521-2422
e-mail:loyde@fec.unicamp.br; lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

A vegetação proporciona a redução da temperatura local e de gastos energéticos, bem como melhores condições de bem-estar às pessoas no meio ambiente construído, além de ser uma solução prática e barata capaz de melhorar as condições de conforto. As espécies arbóreas se comportam de maneiras distintas no microclima urbano, proporcionando um raio de influência diferente conforme a espécie. Este trabalho propõe uma metodologia de avaliação do raio de influência de espécies arbóreas e agrupamentos de maior presença na cidade de Campinas, Brasil, para a melhoria dos microclimas urbanos. Materiais e métodos utilizados: foi calculada a porcentagem de atenuação de radiação solar, através do método de Bueno Bartolomei (2003). Parâmetros ambientais como temperatura do ar, temperatura de globo, radiação do sol incidente, velocidade do vento, são medidos em diferentes distâncias em relação ao tronco da árvore são medidos. O fator de visão do céu, determinado pela relação da filtração da radiação solar da copa das árvores, é obtido através de fotos com lente *fish-eye*. O raio de influência das espécies arbóreas é um dado importante para quantificar o número de indivíduos arbóreos necessários para garantir condições ideais de conforto térmico no planejamento urbano que visa a requalificação do microclima urbano.

Palavras chaves: Conforto térmico; Vegetação e o clima; Microclima; Raio de influência; fator de visão do céu.

ABSTRACT

The vegetation provides the temperature increase and energy consumption, as well as affecting thermal comfort in open urban spaces, besides being a practical and cheap solution capable to improve the comfort conditions. Arboreal species show different behaviour in relation to the urban microclimate. This work proposes a methodology of appraisal of the radius of influence of arboreal species and groupings by great presence in Campinas, Brasil, as climatic mitigator in the urbanized areas. Methods: Data about the attenuation of solar radiation by some species determined through measurements with tube solarimeters are available from previous research (Bueno Bartolomei, 2003). Environmental parameters as air and globe temperatures, wind speed, as well as relative humidity are measured at several distances of the tree trunk. The sky view factor, defined as the relationship of the filtered solar radiation through the tree foliage to total incident radiation, is obtained from pictures with fish-eye lens. Results will provide important data to quantify the necessary number of arboreal individuals to assure better conditions of thermal comfort in the urban spaces, and the improvement of the urban climate.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades e a grande destruição da vegetação provocam a alteração do microclima. Além disso, o grande volume de edifícios de pavimentos múltiplos, espaçamentos, impermeabilização do solo, uso de materiais com alto índice de absorção nas fachadas e telhados,

além de outros fatores, provocam o aumento da temperatura e redução da umidade nos grandes centros.

A falta de vegetação é uma das causas do aumento de temperatura e gastos energéticos nas cidades (Santamouris, 2001). O intenso uso do ar condicionado libera ar quente e gases poluentes no meio ambiente, retirando a umidade do ar e consumindo energia. Chandler (1970), Hasenack e Becke (1993) destacam as alterações climáticas decorrentes da substituição de áreas verdes por pavimentações e edificações, modificando as características térmicas das superfícies, alterações dos padrões de circulação do ar pela presença de edificações, alteração das taxas de evaporação pela impermeabilização da superfície e adição de calor no meio ambiente pela presença e pelas atividades do Homem.

A implantação de vegetação nos centros urbanos auxilia no combate ao stress térmico, fundamental para a sobrevivência da vida. Em condições de stress, o homem, como qualquer organismo vivo, tem seu bem-estar prejudicado. Esse artifício, a vegetação, pode estabelecer condições adequadas de conforto térmico, sem desconsiderar os princípios da arquitetura bioclimática, tanto em ambientes internos e externos.

Com a necessidade de inserir a vegetação no ambiente urbano, verifica-se a insuficiência de informações e dados necessários para o planejamento de áreas verdes visando a requalificação do microclima urbano. A determinação do raio de influência de uma árvore na atenuação da radiação solar e a quantidade de indivíduos arbóreos necessários para garantir condições ideais de conforto térmico são dados importantes e palpáveis no planejamento urbano que visa a requalificação do microclima urbano. Procura-se contribuir com uma solução prática e barata, plantio de árvores, capaz de melhorar as condições de conforto no ambiente construído. Este trabalho é uma continuidade ao estudo sobre a influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído, tese de Doutorado de Bueno-Bartolomei (2003). Assim como este estudo, a atual pesquisa dá continuidade àquela desenvolvida por Labaki e Santos (1996).

Este artigo visa apresentar uma metodologia capaz de caracterizar o alcance da atenuação da radiação solar incidente e a influência dos parâmetros ambientais (temperatura, temperatura de globo, velocidade do ar e umidade relativa). Além disso, quantificar as condições de conforto proporcionadas por indivíduos arbóreos isolados e agrupamentos nessas áreas.

2. METODOLOGIA

Para obter as porcentagens de radiação atenuada pelos indivíduos arbóreos e os agrupamentos, assim como a melhoria do microclima proporcionada pelo mesmo, foram utilizados os equipamentos (solarímetro de tubo, termômetros de bulbo seco, bulbo úmido e globo, anemômetro), colocados na sombra e em campo aberto em diferentes distâncias simultaneamente. Com os dados obtidos à sombra e ao sol pode-se fazer uma comparação entre a proteção fornecida pela árvore à exposição direta à radiação solar em diferentes distâncias. Essa metodologia é mesma utilizada por Bueno (1998). O que diferencia a atual proposta do trabalho de Bueno-Bartolomei (2003) é a adoção de pontos de medição a diferentes distâncias e não um ponto fixo.

O fator de extensão de céu é calculado, de acordo com Russell et. al. (1989) e Tsutsumi (2003). Através de fotografias com uma lente *fisheye* (olho de peixe) na projeção ortogonal, a mesma usada para tirar foto de visão do céu horizontal, da copa de um indivíduo e agrupamentos arbóreos é possível calcular o fator de extensão de céu.

Os dados obtidos em campo serão cruzados em programas de computadores, possibilitando a avaliação do conforto térmico proporcionado pelos indivíduos arbóreos e agrupamentos arbóreos estudados. Esta metodologia visa verificar qual espécie arbórea e a melhor disposição de agrupamentos arbóreos que proporcione as melhores condições de conforto e o raio de influência no microclima local.

Esta metodologia visa explicar a variação da redução de radiação solar incidente nas superfícies do ambiente construído e os demais efeitos proporcionados pelas diferentes espécies arbóreas. O delineamento é experimental, onde serão manipulados resultados de acordo com a variação da distância dos pontos de medição em relação a cada indivíduo arbóreo.

2.1 Seleção do local

As escalas adotadas nesta pesquisa são microclimática e instantâneas, pois permitem avaliar as condições de tempo e não do clima de um determinado local, no caso o grau de influência dos indivíduos locais e o fator de extensão de céu. Segundo Bueno-Bartolomei (2003), as escalas macroclimáticas e mesoclimáticas influenciam os dados de campo (radiação solar, temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e velocidade do vento) em qualquer situação amostrada, pois os indivíduos arbóreos estão localizados aproximadamente em um raio de 1 km. Por exemplo, se uma frente fria chega à cidade, todas as árvores sofrerão a influência. Nesta pesquisa, as medições são realizadas quando o céu estiver aberto, sem ou com poucas nuvens.

Na escala de clima local, a mesma adotada por Bueno-Bartolomei (2003) em sua pesquisa, os pontos de medição (indivíduos arbóreos) devem possuir influências semelhantes em suas características meteorológicas. As condições locais deverão ser praticamente as mesmas (tipos de edificações, pavimentação, cobertura vegetal, ou uso e ocupação do solo semelhante).

Na escala microclimática há influências do entorno imediato. Bueno-Bartolomei (2003) afirma que essas influências são minimizadas ao analisar indivíduos e agrupamentos arbóreos com as mesmas condições de entorno. Logo, a representatividade dos dados climáticos e ambientais é assegurada mesmo alterando a dimensão escalar de análise.

2.2 Seleção dos Indivíduos Arbóreos

Tem-se como objetivo adotar como variável experimental as mesmas espécies arbóreas analisadas por Bueno-Bartolomei (2003), de preferência, complementando as informações já obtidas. Em seu trabalho, Bueno-Bartolomei estudou as seguintes espécies: Cássia (*Senna spectabilis*), Aroeira salsa (*Schinus molle*), Pata-de-vaca (*Bauhinia variegata*), Jambolão (*Cringium jambolana*), Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*), Cedro-rosa (*Cedrela fissilis*), Ficus (*Ficus benjamina*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Chuva-de-ouro (*Cassia fistula*), Magnólia (*Michelia champacca*), Ipê Roxo (*Tabebuia impetiginosa*) e Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*). Essas espécies foram selecionadas entre as mais comuns encontradas nos centros urbanos da região de Campinas e utilizadas pela Prefeitura Municipal de Campinas para a arborização da cidade, de acordo com critérios pré-estabelecidos em sua pesquisa (Bueno-Bartolomei, 2003).

Os indivíduos arbóreos selecionados devem estar em idade adulta e seguindo as características morfológicas de cada espécie, conforme Lorenzi (2002) e Lorenzi (2003).

3.3 Equipamentos

Para as medições da radiação solar foram utilizados solarímetros de tubo, modelo TSL, da DELTA-T Devices com sensores conectados a um integrador para coleta automática dos dados. Os sensores desses equipamentos foram conectados a um integrador da mesma marca, modelo DL2, para a coleta automática dos dados. (Figura 01 e 02)



Figura 01: Solarímetro de tubo, Delta-T TSL



Figura 02: Registrador Delta DL2 Datalogger

Para a coleta dos dados dos parâmetros ambientais (temperatura, umidade, temperatura de globo e velocidade dos ventos) foram fixados a um tripé (figura 03):

- um registrador de temperatura e umidade, modelo Testo 175, protegido pela mesma estrutura usada na pesquisa de Costa (2006). Esses dados são catalogados de 10 em 10 minutos ao longo do dia;
- um termopar, tipo Minipa MTK 01, colocado no interior do globo e acoplado à proteção plástica desenvolvida na UNICAMP especialmente para a pesquisa, baseada no modelo de abrigo meteorológico padrão. O termômetro digital, modelo Instruterm TH 090, conectado ao termopar, faz leituras de hora em hora das temperaturas de globo ao longo do dia.



Figura 03: Tripé com as proteções fixados

A leitura da velocidade dos ventos é feita de hora em hora por um anemômetro/termômetro digital Testo V1.

Para o cálculo do fator de extensão do céu foi utilizada uma lente grande angular com efeito *eye-fish* (olho-de-peixe), Optex OZL-225 de 37mm, acoplada a uma câmera fotográfica digital, cybershots, 5.1 megapixels.

3.3 Método de Tratamento

As condições iniciais do ambiente de estudo sobre os indivíduos arbóreos são as medições simultâneas, na sombra e em campo aberto em diferentes distâncias (10m, 25m e 50m em relação ao tronco da árvore), como mostra a figura 04.

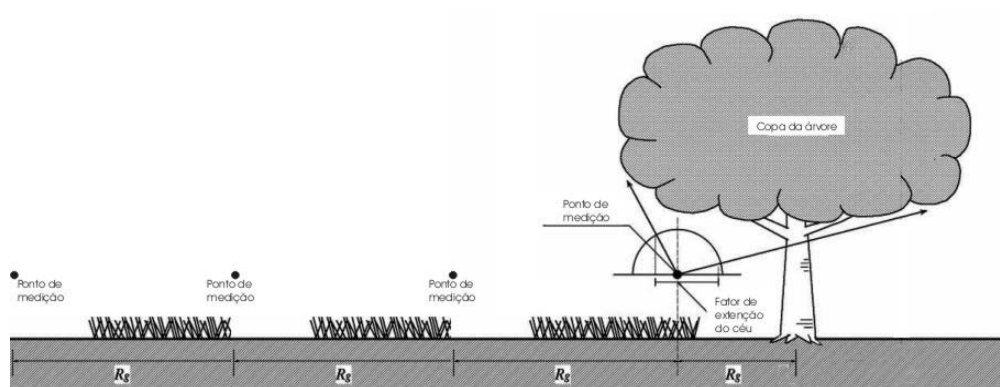


Figura 04: Distância dos pontos de medição em relação ao indivíduo arbóreo

A representação dos dados obtidos é feita através de gráficos comparativos das medições simultâneas de temperatura, radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa nos quatro pontos.

A partir desses dados é avaliado o conforto térmico proporcionado pelos indivíduos arbóreos, calculando-se o Voto Médio Estimado (VME) por meio do software Conforto 2.02 (Ruas, 2002) e da Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI) (ISO 7730, 1994). Os valores de VME e PEI são calculados de hora em hora, ao longo do dia.

A porcentagem de radiação atenuada pelos indivíduos arbóreos e os agrupamentos é obtida pela metodologia de Bueno-Bartholomei (2003), que consiste em fazer medições das variáveis climáticas e da radiação solar na sombra e no sol simultaneamente, de acordo com a expressão:

$$AT = (S_{\text{sol}} - S_{\text{sombra}} / S_{\text{sol}}) \times 100 \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

- AT = Atenuação da radiação solar (%)
- S_{sol} = Área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW.h/m^2), coletado pelo solarímetro ao sol, no intervalo de tempo considerado (o dia todo)
- S_{sombra} = Área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW.h/m^2), coletado pelo solarímetro à sombra, no intervalo de tempo considerado (o dia todo)

Para a análise adequada das atenuações de radiação solar, são calculados os erros padrões das médias dessas atenuações pela seguinte fórmula (TOPPING, 1972):

$$\alpha = \sigma / \sqrt{n} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde:

- α = Erro padrão médio
- σ = Desvio padrão médio
- n = Número de elementos

Através da fotografia ortogonal calcula-se o fator de extensão do céu de acordo com Tsutsumi (2003). Este fator é calculado como o fator de visão do céu, onde o céu é substituído pelas folhas verdes. O fator da folha verde é adquirido a partir da relação de área simples de folhas ao círculo da fotografia, como mostra na figura 05. O ponto central da foto é o local onde foi tirada a foto, como mostra a figura 06. O fator de extensão de céu é adquirido a partir da relação de área simples de folhas ao círculo da fotografia. A foto deve ser tirada simultaneamente com as medições.

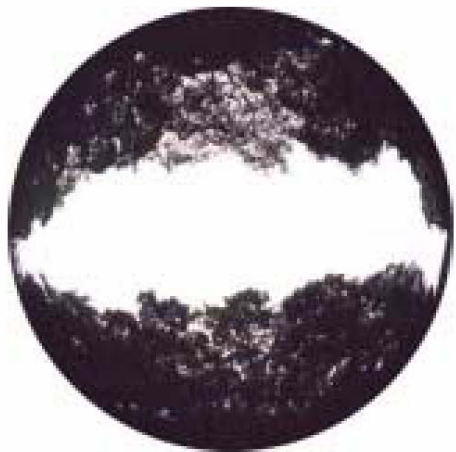


Figura 05: Foto com a lente olho de peixe
 Fonte: TSUTSUMI et. al. (2003)

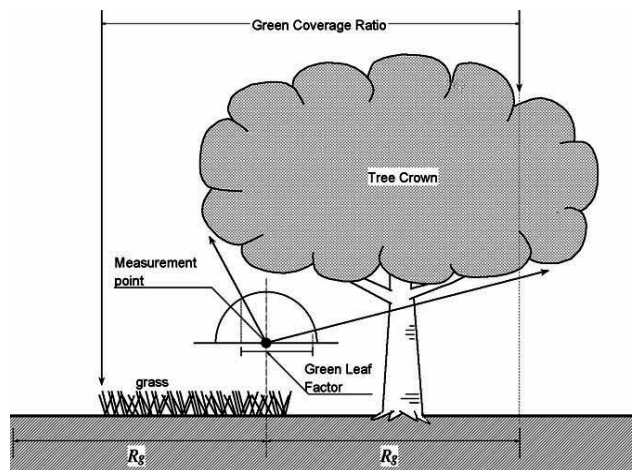


Figura 06: Ponto de medição
 Fonte: TSUTSUMI et. al. (2003)

3. RESULTADO

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas medições de uma *Tabebuia chrysotricha* (Ipê-amarelo), como mostra a figura 07.



Figura 07: *Tabebuia chrysotricha* (Ipê-amarelo) avaliada

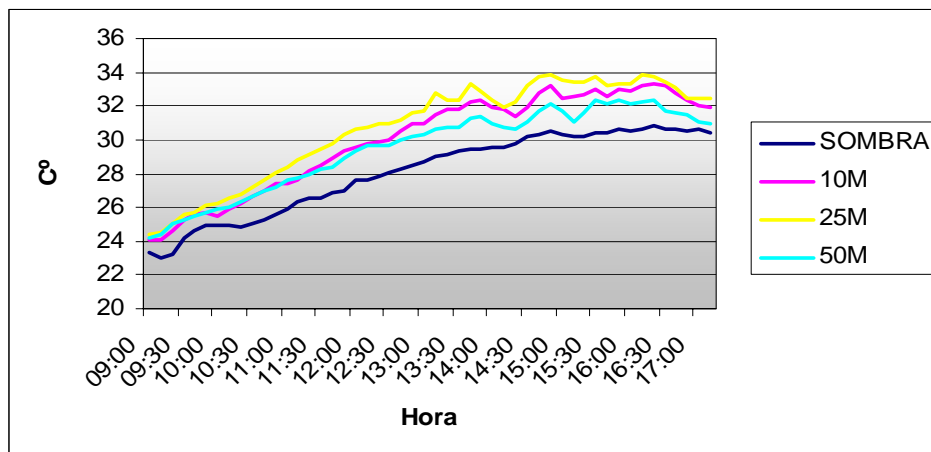


Figura 08: Análise Comparativa das temperaturas

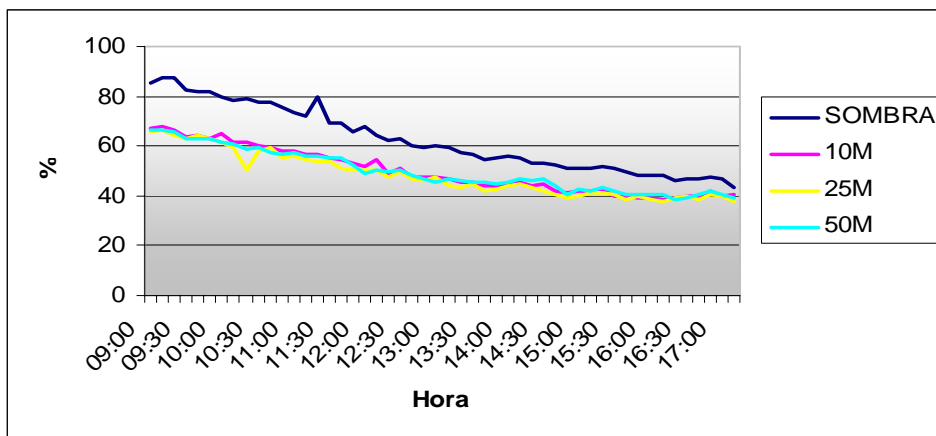


Figura 09: Análise comparativa das Umidades

Analisando os gráficos percebe-se uma diferença de cerca de 2°C entre as temperaturas dos pontos situados no sol e na sombra. As temperaturas mais altas encontradas foram a do ponto situado a 25m em relação ao tronco da árvore.

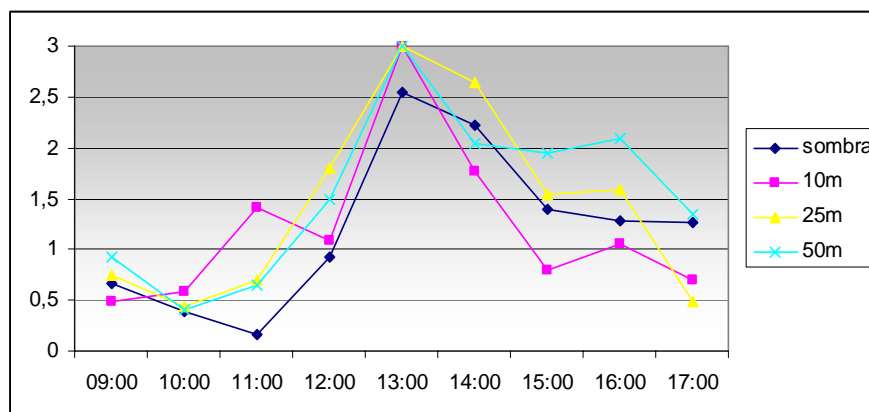


Figura 10: VME x Hora

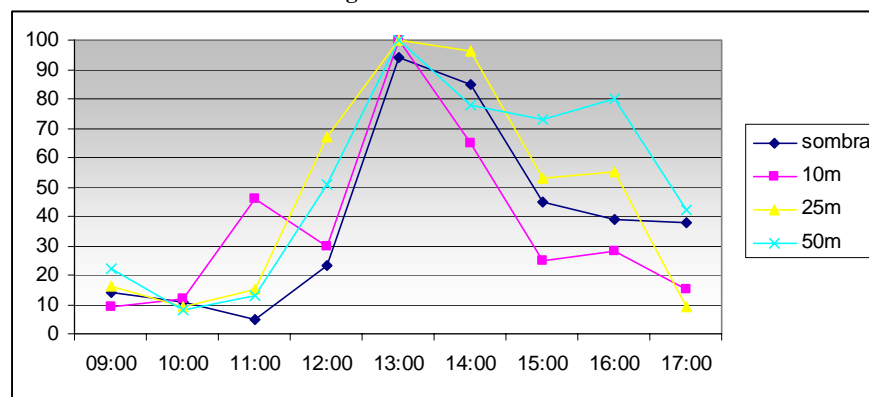


Figura 11: Percentual de Insatisfeitos (PEI)x Hora

Em relação ao conforto, todos os pontos situados ao sol ultrapassam o valor 3 de VME e 100% de Insatisfeito por volta das 13h. No período da manhã, o ponto situado na sombra possui as melhores condições de conforto. No período da tarde, o ponto no sol situado a 10m possui as melhores condições.

A seguir são apresentados os resultados das medições de atenuação da radiação solar incidente da *Tabebuia chrysotricha* (Ipê- amarelo) que possui uma atenuação de 85,6% da radiação solar no verão.

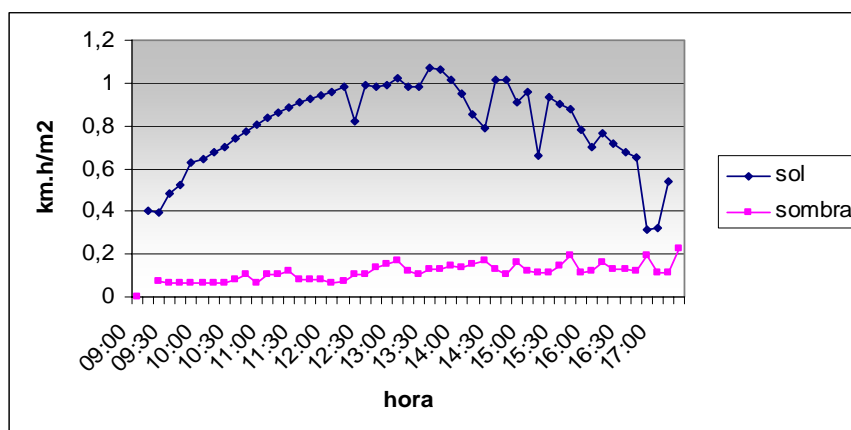


Figura 12: Gráfico da Atenuação da Radiação Solar da *Tabebuia chrysotricha* (Ipê- amarelo)

Tabela 01 – Atenuação da Radiação Solar da *Tabebuia chrysotricha* (Ipê- amarelo)

Data	Energia Total Incidente (km.h/m ²) (sombra)	Energia Total Incidente (km.h/m ²) (sol)	Atenuação da Radiação Solar (%)
14-16/02/2007	0,011766	0,081921	85,6



Figura 13: Foto na posição ortogonal *Tabebuia chrysotricha* (Ipê- amarelo)

Foi tirada uma foto na posição ortogonal, com efeito olho de peixe, para a análise visual dos espaços cheios e vazios da copa da árvore. (figura 13)

4. DISCUSSÃO

Este artigo apresentou uma metodologia de avaliação do raio de influência da vegetação, capaz de identificar características específicas de cada espécie arbórea e quantificando as condições de conforto nas áreas urbanizadas.

Através das medições de campo e cálculo do VME dentro de um raio de 50 metros em relação à árvore é possível verificar o raio de influência de cada espécie arbórea ou agrupamentos arbóreos. Os valores de atenuação da vegetação medidos com os solarímetros comparados com a foto tirada na posição ortogonal complementam a caracterização da espécie quanto ao conforto.

Com esses dados é possível obter parâmetros ambientais relacionados à quantidade de indivíduos arbóreos necessários para o trabalho de termoregulação eficiente. Além disso, o plantio de árvores no ambiente construído é uma solução prática e barata capaz de melhorar as condições de conforto.

5. BIBLIOGRAFIA

BUENO-BARTHOLOMEI, CAROLINA L. **Influencia da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. Campinas, SP, 2003. 189 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Campinas.

BUENO, CAROLINA L. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. Campinas, SP, 1998. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campinas.

CHANDLER, T. J., *Urban climatology, inventory and prospect*, in Urban climates, (Tech. note 108), WMO, Geneva, 1970.

COSTA, ANGELINA. LABAKI, LUCILA C. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO EM PONTOS FIXOS: TORRES DE CELULAR COMO ALTERNATIVA VIÁVEL. *In: XI ENCONTRO NACIONAL DA TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2006, Florianópolis, AL. **Anais....** Brasil: ANTAC. CD ROM.

HASENACK, H & BECKE, V. L., *Distribuição noturna da temperatura em Porto Alegre, RS, utilizando o método de medidas móveis*, in Anais do I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Gramado, RS, pp. 139-145, 1991.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION: Geneva. **ISO 7730; moderate thermal environments-determination of PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort**. Geneva, 1994.

LABAKI, L. C., SANTOS, R. F., 1996, *Conforto térmico em cidades: efeito da arborização no controle da radiação solar*. Projeto FAPESP. Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.

LORENZI, HARRI. **Arvores exóticas no Brasil : madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2003. 368 p.

LORENZI, HARRI. **Arvores brasileiras : manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2002. 368 p.

RUAS, Álvaro C. **Conforto térmico nos ambiente de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999. 96p.

RUSSELL, Graham; MARSHALL, Bruce; JARVIS, Paul G. ; **Plant Canopies: Their Growth, Form and Function**. New York: Cambridge University press, 1989.

SANTAMOURIS, MATHEOS. **Energy and climate in the urban built**. Londres: James & James, 2001. 402 p.

TSUTSUMI, JUN-ICHIRO G.; ISHII, AKIO; KATAYAMA, TADAHISA. QUANTITY OF PLANTS AND ITS EFFECT ON LOCAL AIR TEMPERATURE IN AN URBAN AREA *In: ICUC5 2003 (FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE,1-5)*, 5., 2003, Lotz, Polland. **Proceedings....** Polland: ICUC, 2006. Disponível em: <<http://www.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/indexCD.pdf>> Acesso em: 01 abril. 2006.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro e bolsa para o desenvolvimento desta pesquisa e também aos técnicos Obadias P. da Silva e Daniel Celente, do Laboratório de Conforto Ambiental e Física da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.