



## AVALIAÇÃO DA TERMOREGULAÇÃO EM DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS

Loyde Vieira de Abreu (1); Lucila Chebel Labaki (2);

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

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

### RESUMO

As espécies arbóreas comportam-se de maneiras distintas, o que se reflete nos diferentes raios de sua influência no microclima. A avaliação da atenuação da radiação solar e o cálculo da evapotranspiração de diferentes espécies arbóreas traz informações importantes para que se obtenha parâmetros ambientais relacionados ao conforto térmico e à sustentabilidade do ambiente. O objetivo desta pesquisa é comparar o trabalho de termoregulação de indivíduos e agrupamentos arbóreos com os valores de atenuação da radiação solar. Materiais e métodos utilizados: a) Levantamento dos indivíduos e agrupamentos arbóreos; b) levantamento de parâmetros ambientais como: radiação solar, temperatura do ar e de globo, velocidade do vento e a umidade em diferentes distâncias em relação ao tronco da árvore; c) avaliação da atenuação da radiação solar pela metodologia de Bueno-Bartholomei (2003) e cálculo da evapotranspiração através do método de Prestes-Taylor adaptado por Villa Novas (2007). As espécies arbóreas com maior atenuação da radiação e maiores taxas de evapotranspiração são aquelas que têm maior capacidade de redução da temperatura do ar no microclima urbano.

Palavras-chave: vegetação e clima, evapotranspiração, radiação solar, termoregulação

### ABSTRACT

Arboreal species behave in different ways in the urban microclimate. Due to this fact, their radius of influence is also different, dependent of the species characteristics. The evaluation of attenuation of solar radiation and evapotranspiration by arboreal species provides important data about environmental parameters related to thermal comfort and sustainability. The aim of this work is to compare these two parameters: solar radiation attenuation and evapotranspiration rate in different arboreal individuals. Materials and methods: a) Selection of individuals and groupings trees; b) Collection of environmental parameters such as solar radiation, air and globe temperature, wind speed and relative humidity at different distances in relation to the trunk of the tree, c) Evaluation of the percentage of radiation according to the method proposed by Bueno-Bartholomei (2003) and the evapotranspiration rate through the method of Priestley-Taylor adapted to the local climate conditions by Villa Novas (2007). The air temperature attenuation depends on great percentage of solar radiation attenuation and evapotranspiration rate of arboreal species.

Keywords: vegetation and climate, evapotranspiration, solar radiation, thermoregulation

### 1. INTRODUÇÃO

Através de medições de campo realizadas na cidade, Pezzuto (2007) e Moreno (2006) identificaram a redução da temperatura e aumento da umidade relativa entre os pontos arborizados e pontos não arborizados. Bueno-Bartholomei (2003) avaliou a atenuação da radiação por diferentes espécies arbóreas, processo que causa o resfriamento direto do ambiente devido à diminuição das temperaturas superficiais.

Grimmond *et al.* (1986) observou que a evaporação da água na superfície das folhas mitiga as temperaturas do ar adjacente, devido à perda de calor latente. Esse fenômeno é denominado evapotranspiração, processo indireto que engloba dois processos biofísicos: a evaporação da água da superfície do solo e a transpiração, perda da água de uma vegetação viva em particular, pelas folhas, principalmente através dos numerosos estômatos, excluindo-se o fenômeno fisiológico como a duração e formação de orvalhos (JENSEN *et al.*; 1991). No microclima urbano, tem como resultado a redução da temperatura nas horas de maior calor.

O objetivo desse artigo é avaliar e comparar os efeitos diretos, atenuação da radiação, e os indiretos, taxa de evapotranspiração, por diferentes espécies arbóreas.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse estudo, foram adotadas as escalas microclimática e instantânea. Estas escalas permitem avaliar as condições de tempo e não do clima de um determinado local, no caso o grau de influencia *in loco* da atenuação da temperatura e radiação solar incidente pelos indivíduos e agrupamentos arbóreos.

### 2.1 Seleção dos Indivíduos Arbóreos e Locais de Medição

As espécies arbóreas selecionadas são as mais comumente encontradas nos centros urbanos da região de Campinas, SP. Os indivíduos arbóreos selecionados estão em idade adulta, de acordo com as características morfológicas de cada espécie, conforme Lorenzi (2002; 2003).



Com Folhas



Com Flores



Sem Folha e Flores

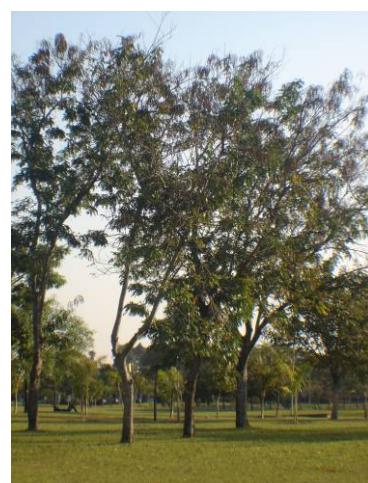
**Figura 01-** Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*)



**Figura 02 -** Jambolão (*Syzygium cumini*);



**Figura 03 -** Mangueira (*Manguifera indica*)



**Figura 04 -** Agrupamento arbóreo de Chuva-de-ouro (*Sienna siamea*),

Foram selecionados três indivíduos arbóreos: Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*); Jambolão (*Syzygium cumini*); Mangueira (*Mangifera indica*), figuras 01, 02 e 03, e um agrupamento arbóreo de Chuva-de-ouro (*Sienna siamea*), figura 04.

Na escolha dos locais de medição são considerados: fatores físicos relacionados ao meio; e as espécies selecionadas, simultaneamente. Quanto à disposição desses indivíduos arbóreos, são observados os seguintes fatores: ausência de sombra de edificações ou outras árvores; topografia do terreno não muito accidentada; uniformidade das condições em torno das árvores; relacionada à ausência de pavimentação e construções próximas; padronização da superfície nos pontos de medição. Além disso, o local deve ser acessível e, ao mesmo tempo, seguro, pois restringe a interferência de terceiros nos equipamentos.

## 2.2 Equipamentos



**Figura 05** - Solarímetro de Linear, Delta-T TSL



**Figura 06** - Registrador Delta DL2 Datalogger

A medição da radiação solar é realizada através de dois solarímetros de tubo, modelo TSL, da DELTA-T Devices, dispostos ao sol e à sombra. Os sensores desse equipamento são conectados a um integrador da mesma marca, modelo DL2, para a coleta automática dos dados. (Figuras 05 e 06). Os dados são registrados de 10 em 10 minutos. O solarímetro situado à sombra tem sua posição alterada três vezes ao dia (às 9h, 12h e 15h) acompanhando o sombreamento da copa da árvore.



**Figura 07** - Tripé fixado com registradores protegidos

Para coletar os demais parâmetros ambientais (temperatura, umidade relativa, temperatura de globo) os equipamentos são fixados a um tripé (figura 07):

- 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 sensor de temperatura, conectado a um sensor de temperatura ambiente colocado no interior do globo, modelo testo 0613 1711. O sensor é conectado a um registrador de temperatura Testo 175-T2. As temperaturas são registradas de 10 em 10 minutos ao longo do dia, do amanhecer até o anoitecer, sempre completando um período de 12 horas.

A leitura da velocidade dos ventos é feita de dez em dez minutos em um termo-anemômetro digital Testo 445 com sensor 0635-1549.

### 2.3 Método de Tratamento

A atenuação da radiação solar por indivíduos arbóreos e agrupamentos foi calculada pela metodologia de Bartholomei-Bueno (2003), de acordo com a expressão:

$$AT = \frac{S_{sol} - S_{sombra}}{S_{sol}} \times 100 \quad [Eq. 01]$$

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

A taxa de evapotranspiração é calculada pelo método de Priestley-Taylor, adaptada ao clima local por Villa Novas (2007):

$$To = 0,0011 \times N \times Tm \times \ln\left(\frac{UR}{100}\right) \times Af \quad [Eq.02]$$

onde:

$T_o :$	Taxa de transpiração da árvore (l/dia)
$N :$	Período = 12 h
$Tm :$	Temperatura média do ar ( $C^\circ$ )
$UR:$	Umidade relativa média diária
$Af :$	Area Foliar ( $m^2$ ) (estimada a partir da altura da copa)

$$ET_o = \left( \frac{T_o}{Q * A_{copa}} \right) \times r_{s,sh} \quad [Eq.03]$$

onde:

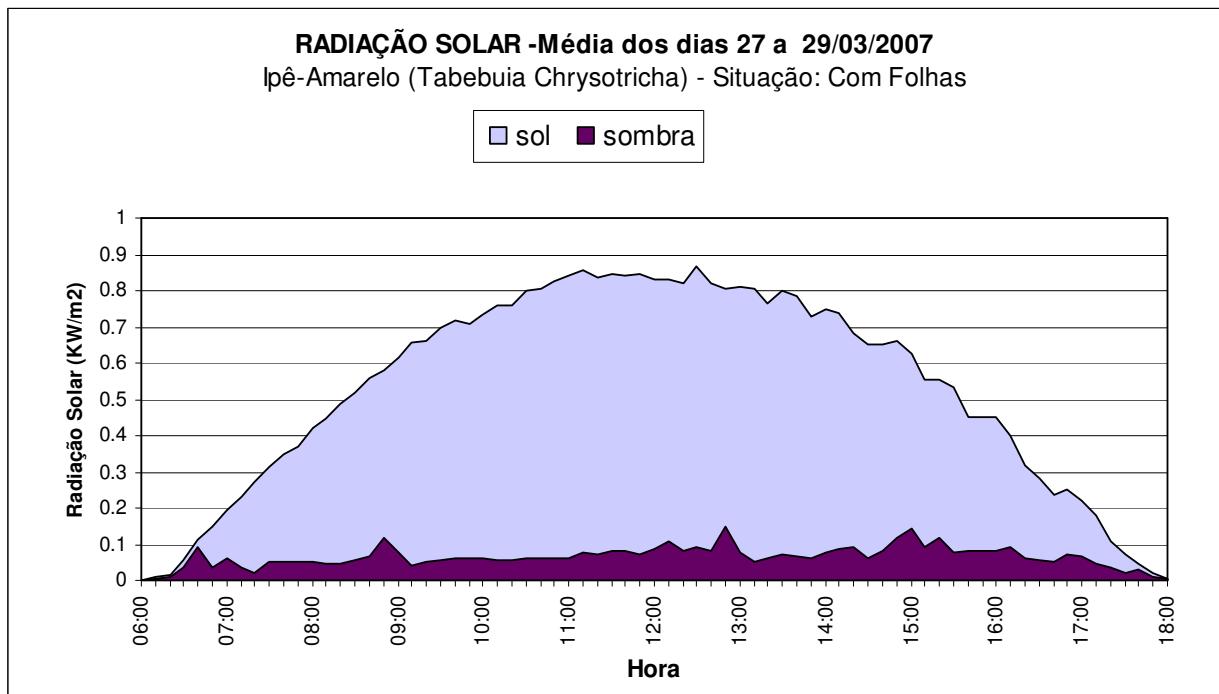
$ET_o :$	Evapotranspiração da árvore – ( $MJ/dia$ );
$Q :$	Energia Total Incidente ( $MJ/m^2 h$ )
$A_{copa}:$	Área da Copa da Árvore ( $m^2$ )
$r_{s,sh}:$	Radiação atenuada pela árvore (%)

O resultado obtido é transformado em porcentagem de vapor d'água retirado do ambiente em relação à máxima capacidade de evaporação.

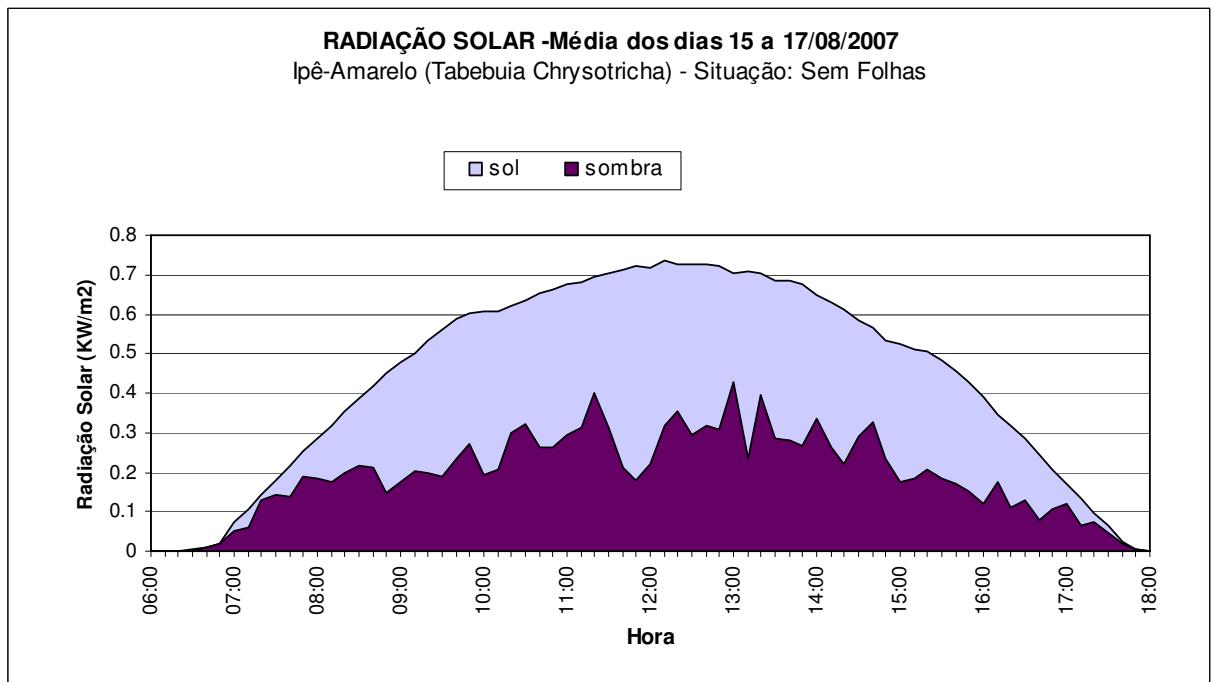
### 3. RESULTADOS OBTIDOS

As figuras 08 a 10 apresentam os gráficos da atenuação da radiação solar da espécie Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) nas três situações: com folhas, sem folhas, com flores. As Figuras 11, 12 e 13 apresentam respectivamente os gráficos de atenuação da radiação das espécies Jambolão (*Syzygium*

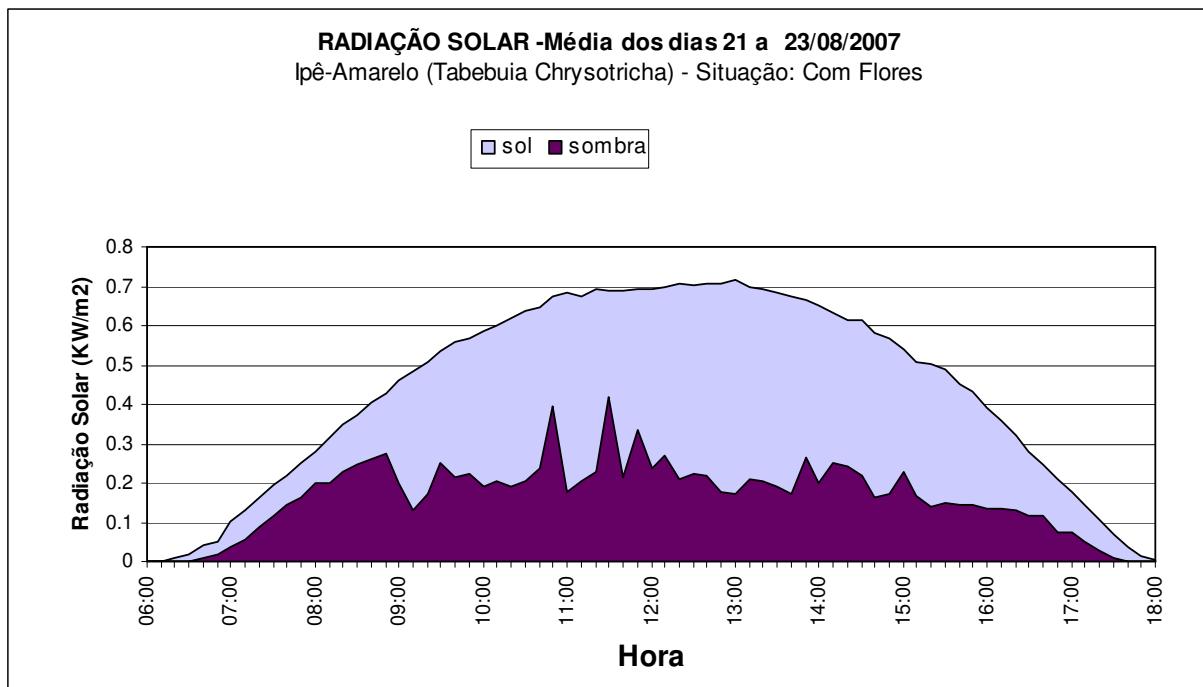
*cumini*) e Mangueira (*Mangifera indica*), e de um agrupamento arbóreo de Chuva-de-ouro (*Sienna siamea*).



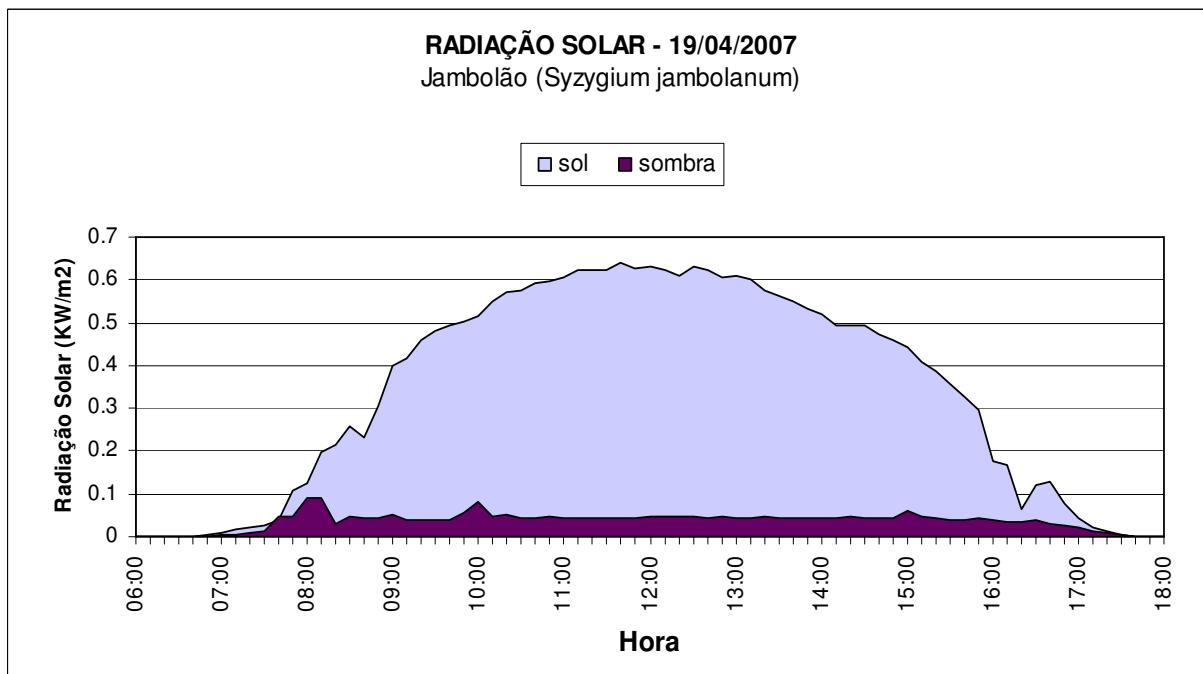
**Figura 08** - Atenuação da radiação: Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) com folhas



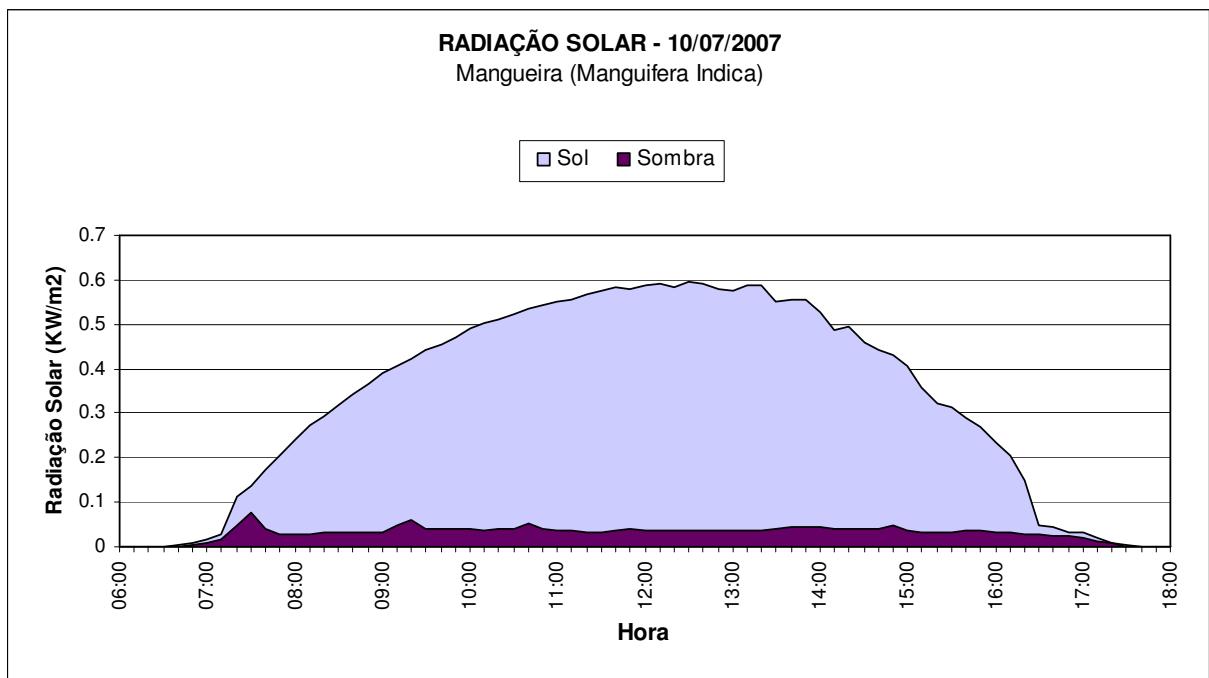
**Figura 09**- Atenuação da radiação: Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) sem Folhas



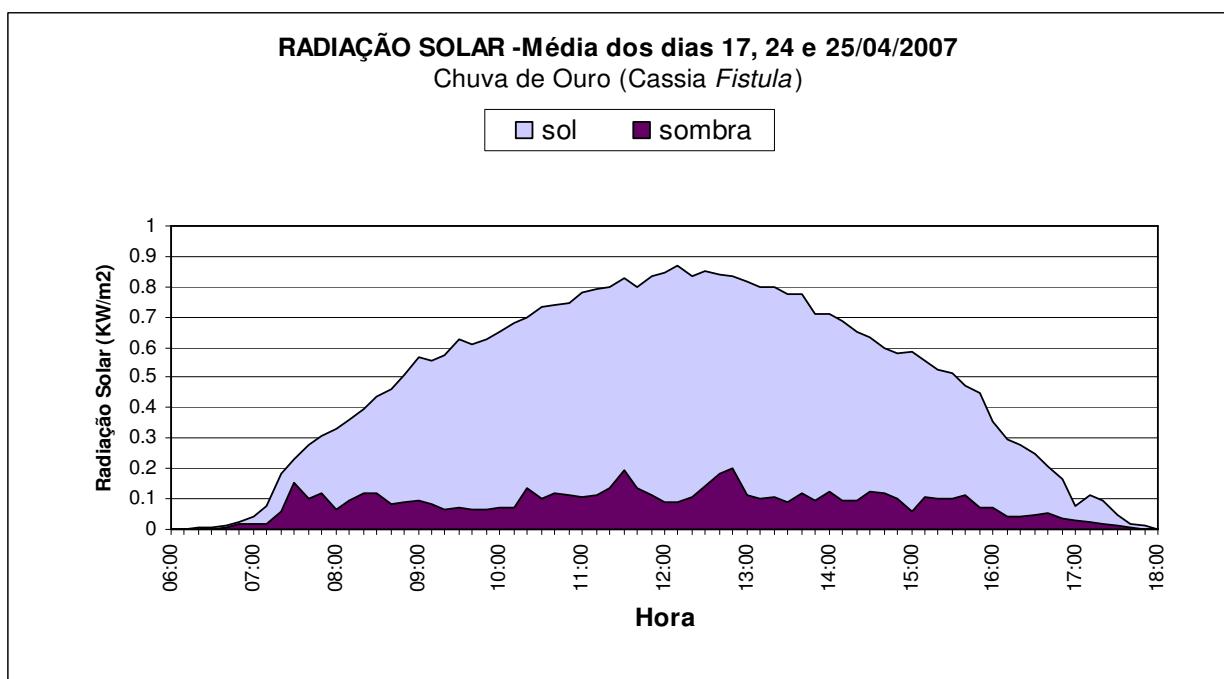
**Figura 10** - Atenuação da radiação: Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) com Flores



**Figura 11** - Atenuação da radiação: Jambolão (*Syzygium cumini*)



**Figura 12** - Atenuação da radiação: Mangueira (*Mangifera indica*)



**Figura 13** - Atenuação da radiação: agrupamento Chuva-de-ouro (*Sienna siamea*)

Analizando-se os dados obtidos, tabela 01, observa-se que dentre as espécies estudadas, a que apresenta melhor desempenho quanto à atenuação da radiação é da espécie Jambolão (*Syzygium cumini*), 89%, seguido da Mangueira, (*Mangifera indica*), 88,6%. A espécie decídua Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) apresentou uma boa atenuação da radiação no verão, 81,7%. O pior desempenho é da espécie Ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) na situação sem folhas, 46,1%.

A tabela 01 também apresenta os valores da Evapotranspiração Potencial das árvores analisadas. Observa-se que a Mangueira (*Mangifera indica*) é a árvore que mais transpira (137.63 l/dia e 64,1% de evapotranspiração). A árvore que menos transpirou foi a Chuva-de-ouro (*Sienna siamea*), (28 l/dia e 17,1%).

**Tabela 01 - Atenuação da radiação solar**

Indivíduos arbóreos analisadas		Transp. (l/dia)	Evapotransp. (%)	Radiação (%)	Erro Padrão ( $\alpha$ )
Ipe-amarelo ( <i>Tabebuia chrysotricha</i> )	C/ folhas	102.48	37.7	81,7	$\pm 1,24$
	S/ folhas	70.34	54.3	46,1	$\pm 1,10$
	C/ flores	62.66	44.7	51,4	$\pm 1,07$
Jambolão ( <i>Syzygium cumini</i> )		114.23	45.8	89,1	$\pm 0,21$
Mangueira ( <i>Mangifera indica</i> )		137.63	64.1	88,6	$\pm 1,67$
Agrupamento de Chuva-de-ouro ( <i>Sienna siamea</i> )		28.15	17.1	70.9	$\pm 1,30$

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As espécies com copa densa e baixa, e folhas grandes, como Jambolão (*Syzygium cumini*) e Mangueira (*Mangifera indica*) são as que apresentaram maior taxa de atenuação da radiação e maior transpiração. Este fenômeno ocorre devido à estrutura da copa dificultar a ventilação em função da ascensão do ar quente.

Os resultados obtidos mostram que as espécies arbóreas com a maior atenuação da radiação e as maiores taxas de evapotranspiração são aquelas que têm maior capacidade de redução da temperatura do microclima urbano. Esta característica da vegetação deve ser aplicada levada em conta pelos profissionais do ambiente construído para melhoria do conforto térmico em ambientes externos, reduzindo o efeito das ilhas de calor e garantindo maior qualidade de vida às pessoas.

#### **5. REFERENCIAS**

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.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R.; STEYN, D. G.; Urban water balance: a model for daily totals. **Water Resources Research**; v. 22, p. 1397-1403, 1986.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G.; Evapotranspiration and Irrigation water requirements. **ASCE- Manuals and Reports on Engineering Practice**, n. 79, p. 332, 1991.

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

MORENO, M. M. Parâmetros para implantação efetiva de áreas Verdes em Bairros Periféricos de Baixa Densidade. Campinas, 2006. 147 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

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 CONTRUÍDO, 1995, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro, RJ: ANTAC, 1995. p. 629-634.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation, using large scale parameters. *Monthly Weather Review*, Madison, v.100, n.2, p.81-92, 1972.

PEZZUTO, C. C.; LABAKI, L. C.; FRANCISCO-FILHO, L. L.; Distribuição Horizontal Da Temperatura Do Ar Em Uma Região Central Na Cidade De Campinas, SP. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió. Anais... Brazil: ANTAC, 2005. CD ROM.

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

VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. B. Ajuste do método de Priestley-Taylor às condições climáticas locais. Jaboticabal: Eng. Agríc., Jaboticabal, v.26, n.2, p.395-405, 2007.

## 5. 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.