



## ESTUDO DA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE POR DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS\*

C L Bueno-Bartholomei; L C Labaki & R F Santos

Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Civil

Laboratório de Conforto Ambiental e Física

13083-970 - Campinas/SP - Brasil

fax: + 55 (19) 788-2422

e-mail: [carolina@fec.unicamp.br](mailto:carolina@fec.unicamp.br), [lucila@fec.unicamp.br](mailto:lucila@fec.unicamp.br), [roze@fec.unicamp.br](mailto:roze@fec.unicamp.br)

*RESUMO* Este trabalho propõe uma metodologia para o estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas, a partir de medições de radiação solar, temperaturas de globo e ambiente, e umidade relativa. Foram analisadas cinco espécies arbóreas: Hymenaea courbaril (Jatobá), Cassia fistula (Chuva-de-ouro), Michelia champacca (Magnólia), Tabebuia impetiginosa (Ipê Roxo) e Caesalpinia peltophoroides (Sibipiruna), quanto à melhoria do microclima proporcionado à sombra das mesmas. Os dados de radiação solar incidente foram obtidos por meio de solarímetros lineares que medem a irradiância média (em kW/m<sup>2</sup>) em situações onde a distribuição da energia radiante não é uniforme. Os solarímetros e os termômetros foram dispostos simultaneamente ao sol e à sombra das árvores analisadas. Através desses dados foi possível qualificar cada espécie quanto à sua influência nas condições ambientais do entorno.

*ABSTRACT* This work proposes a methodology to study reduction of solar radiation by different tree species, from experimental data relating to solar radiation, air and globe temperatures, as well as relative humidity. Five tree species were analysed: Hymenaea courbaril (Jatobá), Cassia fistula (Chuva-de-ouro), Michelia champacca (Magnólia), Tabebuia impetiginosa (Ipê Roxo) e Caesalpinia peltophoroides (Sibipiruna) relating to improvement of microclimate by tree shading. Incident solar radiation data were obtained by means of tube solarimeters, which measure average irradiance (in kW/m<sup>2</sup>) in situations where the distribution of radiant energy is not uniform. Data were collected beneath crowns of studied trees and in the open simultaneously. These data allowed to qualify each specie due to their influence on environmental conditions around them.

## 1 Introdução

O desenvolvimento dos centros urbanos e sua conseqüente expansão têm feito com que as áreas construídas ocupem espaços antes pertencentes à vegetação. A troca da cobertura vegetal por elementos como edificações e pavimentação tem contribuído em grande parte para o aumento da temperatura nas cidades, ou seja, para a formação das chamadas ilhas de calor, devido às diferenças existentes entre as características térmicas dos materiais de construção e da vegetação, assim como aos efeitos provocados pela incidência da radiação solar.

Segundo *ROMERO/1988*, a prática do desenho urbano tem ocorrido sem que os impactos que provoca no meio sejam considerados, o que repercute tanto no desequilíbrio do meio como também no conforto e salubridade das populações urbanas.

Observando-se a importância da vegetação como reguladora do clima urbano, surge a necessidade de se obter informações sobre a qualidade e a quantidade de radiação solar incidente atenuada pela mesma. Dessa forma, este trabalho propõe uma metodologia para a coleta e análise de dados relevantes a esse tipo de estudo, enfocando-se indivíduos isolados, ou seja, avaliar a atenuação da radiação solar incidente por uma única árvore.

## 2 Metodologia

Para o estudo da vegetação como atenuadora da radiação solar é necessário considerar-se as relações entre os indivíduos arbóreos, o meio e a radiação incidente, com especial atenção às características de cada espécie (*LABAKI & SANTOS/1996*). Nesta pesquisa foram coletados dados de temperatura ambiente e de globo, umidade relativa, além dos valores de radiação solar incidente, todos simultaneamente ao sol e à sombra de indivíduos arbóreos.

Foram selecionadas para este trabalho cinco espécies arbóreas de uma lista daquelas mais utilizadas pela Prefeitura Municipal de Campinas, SP, cidade onde foi realizado o estudo, fornecida pelo Viveiro Municipal: *Hymenaea courbaril* (Jatobá), *Cassia fistula* (Chuva-de-ouro), *Michelia champacca* (Magnólia), *Tabebuia impetiginosa* (Ipê Roxo) e *Caesalpinia peltophoroides* (Sibipiruna). Nessa escolha foram observados, para cada árvore, alguns aspectos tais como sua idade biológica; se as suas características físicas eram representativas em relação à espécie; a sua disposição em relação ao entorno, a fim de permitir uma correta realização das medições; e que estivesse em local acessível, mas ao mesmo tempo restringisse a interferência de terceiros nos equipamentos.

### 2.1 Equipamentos

As medições da radiação solar foram realizadas com dois solarímetros lineares, modelo TSL, da DELTA-T Devices. Os sensores desses equipamentos foram conectados a um integrador da mesma marca, modelo DL2, para a coleta automática dos dados. Também foram utilizados dois termômetros de globo e dois psicrômetros a ventilação natural para as medições de temperatura e umidade relativa.

### 2.1.1 Solarímetros

Os solarímetros lineares foram desenvolvidos para medir a irradiância média (em kW/m<sup>2</sup>) em situações onde a distribuição de energia radiante não é uniforme, isto é, sob folhagens, em estufas etc. Seu desenho tubular proporciona a média espacial necessária para minimizar a movimentação das folhagens das plantas (*DELTA-T/1993*). A resposta espectral desses equipamentos abrange a região do visível e do infravermelho de onda curta (350 nm a 2500 nm) e sua calibração é feita na fábrica sob condições de luz difusa. O funcionamento dos solarímetros lineares se baseia na pequena diferença de temperatura, resultante do fluxo de energia incidente, entre as áreas brancas e pretas que o compõem e que é transformada em voltagem por um sensor de cobre.

## 2.2 Método de Tratamento e Análise dos Resultados

Para melhor visualização e análise dos dados obtidos foram elaborados vários gráficos com os resultados das medições de temperatura e radiação solar, além daqueles com os valores de umidade relativa. As umidades foram calculadas através de expressões matemáticas que consideram as medidas dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido (psicrômetro a ventilação natural).

### 2.2.1 Temperaturas

Como as medições dos diferentes indivíduos arbóreos foram realizadas em dias diferentes, adotou-se como parâmetro de normalização a temperatura ao sol, pois o objetivo foi justamente quantificar o efeito da sombra de cada indivíduo. Para essa normalização, foi proposto o cálculo das variações relativas da temperatura ambiente pela expressão:

$$VR_{T_A} = \frac{T_{A_{sol}} - T_{A_{sombra}}}{T_{A_{sol}}} \cdot 100 \quad [1]$$

onde

$VR_{T_A} \Rightarrow$  variação relativa da temperatura ambiente (%);

$T_{A_{sol}} \Rightarrow$  temperatura ambiente ao sol (°C);

$T_{A_{sombra}} \Rightarrow$  temperatura ambiente à sombra do indivíduo arbóreo analisado (°C).

E da temperatura de globo por:

$$VR_{T_G} = \frac{T_{G_{sol}} - T_{G_{sombra}}}{T_{G_{sol}}} \cdot 100 \quad [2]$$

onde

$VR_{T_G} \Rightarrow$  variação relativa da temperatura de globo (%);

$T_{G_{sol}} \Rightarrow$  temperatura de globo ao sol ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{G_{sombra}} \Rightarrow$  temperatura de globo à sombra do indivíduo arbóreo analisado ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Com os valores em mãos, calculou-se a média horária dessas variações relativas, tanto para as temperaturas ambiente como de globo, para cada árvore analisada:

$$M_V = \frac{VR1 + VR2 + VR3 + VR4 + VR5}{5} \quad [3]$$

onde

$M_V \Rightarrow$  média das variações relativas (%);

$VRN \Rightarrow$  variação relativa de temperatura no dia **N** analisado(%).

Dessa forma, foram elaborados dois gráficos que dão uma idéia geral da variação relativa das temperaturas (ambiente e globo) nos cinco indivíduos arbóreos analisados.

## 2.2.2 Umidade Relativa

Os valores de umidade relativa foram calculados a partir das temperaturas de bulbo seco ( $T_s$ ) e bulbo úmido ( $T_u$ ) dos psicrômetros a ventilação natural. Esses cálculos foram feitos utilizando-se a expressão:

$$f = 100 \times \frac{e}{e_{ps}} \quad [4]$$

onde

$f \Rightarrow$  umidade relativa (%);

$e \Rightarrow$  tensão de vapor do ar (mb);

$e_{ps} \Rightarrow$  tensão de vapor calculada com a temperatura de bulbo seco (mb).

Para a obtenção dos valores da tensão de vapor ( $e_{ps}$ ) utilizou-se a equação de Tetens, citado por ZUFFO/1998:

$$e_{ps} = 6,11 \times 10^{\left(\frac{7,5T_s}{237,3 + T_s}\right)} \quad [5]$$

onde

$e_{ps}$   $\Rightarrow$  tensão de vapor calculada com a temperatura de bulbo seco (mb);

$T_s$   $\Rightarrow$  temperatura de bulbo seco, isto é temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Já o valores da tensão de vapor do ar ( $e$ ), foram calculados a partir da expressão fornecida por *BARTH/1987*:

$$e_u^* - e = A \frac{P}{1000} (T_s - T_u) \quad [6]$$

onde

$e_u^*$   $\Rightarrow$  tensão de saturação, função de  $T_u$  (mb);

$e$   $\Rightarrow$  tensão de vapor do ar (mb);

$P$   $\Rightarrow$  pressão atmosférica do ar (mb), valor adotado: 961,574 mb (cidade de Campinas - obtido no CEPAGRI da UNICAMP);

$T_s$   $\Rightarrow$  temperatura de bulbo seco, isto é temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_u$   $\Rightarrow$  temperatura de bulbo úmido ( $^{\circ}\text{C}$ );

$A$   $\Rightarrow$  constante psicrométrica, valendo 0,79 para psicrômetros a ventilação natural.

O cálculo do valor de " $e_u^*$ " também foi feito utilizando-se a expressão [5], porém ao invés de " $T_s$ ", usa-se " $T_u$ ":

$$e_{pu} = e_u^* = 6,11 \times 10^{\left(\frac{7,5T_u}{237,3+T_u}\right)} \quad [7]$$

onde

$e_{pu}$   $\Rightarrow$  tensão de saturação calculada com a temperatura de bulbo úmido (mb);

$T_u$   $\Rightarrow$  temperatura de bulbo úmido ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Os valores obtidos para " $e$ " e " $e_{ps}$ " foram substituídos na equação [4]. Com todos os valores de umidade relativa calculados, foram elaborados os gráficos correspondentes a cada dia de medição.

### 2.2.3 Radiação Solar

A partir das listagens fornecidas pelo integrador, os dados provenientes dos solarímetros foram transformados em gráficos. Cada um deles contém: uma curva com os dados do solarímetro ao sol e outra com os dados do solarímetro à sombra. Com as

curvas em mãos, as integrais de todos os gráficos foram calculadas para que se pudesse comparar as porcentagens diárias de atenuação da radiação solar de cada indivíduo arbóreo analisado, de acordo com a expressão:

$$At = \frac{S_{sol} - S_{sombra}}{S_{sol}} \cdot 100 \quad [8]$$

onde

$At \Rightarrow$  atenuação da radiação solar (%);

$S_{sol} \Rightarrow$  área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>), coletada pelo solarímetro ao sol, no intervalo de tempo considerado;

$S_{sombra} \Rightarrow$  área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW.h/m<sup>2</sup>), coletada pelo solarímetro à sombra, no intervalo de tempo considerado.

A fim de se obter uma análise mais adequada das atenuações da radiação solar, foram calculados os erros padrões das médias dessas atenuações. Assim, para cada árvore foi calculada a média das atenuações, correspondente ao período de medições (cinco dias), e o seu respectivo erro padrão (TOPPING/1972):

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad [9]$$

onde

$\alpha \Rightarrow$  erro padrão da média;

$\sigma \Rightarrow$  desvio padrão;

$n \Rightarrow$  número de elementos.

Dessa forma, foi possível comparar as espécies e observar qual oferece melhores condições de conforto térmico devido à maior atenuação da radiação solar.

### 2.3 Medições

As medições de campo foram realizadas entre os meses de fevereiro a maio de 1998, em dias em que as condições do céu podiam ser: aberto, parcialmente nublado ou nublado, mas nunca em dias chuvosos. Os equipamentos (dois solarímetros, dois psicrômetros e dois termômetros de globo) foram colocados em suportes que permitiram sua fixação a uma altura de 1,30 m, altura aproximada do tórax de uma pessoa, e dispostos em dois conjuntos, um exposto ao sol e outro à sombra das árvores analisadas. A intenção de se dispor os equipamentos, ao mesmo tempo, sob a sombra dos indivíduos arbóreos e ao sol, foi comparar os valores coletados. Os equipamentos colocados à sombra eram, em geral, deslocados ao longo do dia,

acompanhando a sombra da árvore. Devido a isso, a distância do equipamento à árvore não permaneceu constante.

Os solarímetros foram conectados a um integrador, configurado para registrar os dados a cada dez minutos, que era ligado por volta das 7:10 h e desligado aproximadamente às 17:30 h. A fim de que o intervalo de cada gráfico diário de radiação solar fosse semelhante, adotou-se como ponto inicial o primeiro dado coletado após às 7:20 h; e como ponto final, o primeiro valor obtido depois das 17:00 h.

As medições de temperatura ambiente, de globo e de bulbo úmido, tanto ao sol quanto à sombra, foram realizadas a cada hora a partir das 7:15 h até às 17:15 h. Esses termômetros serviram para que fosse possível comparar o efeito térmico da radiação solar incidente ao sol e à sombra dos indivíduos arbóreos, assim como calcular, através da expressão [6] fornecida por *BARTH/1987*, a tensão de vapor do ar a partir das leituras dos psicômetros e, conseqüentemente, as umidades relativas.

### 3 Resultados

Com os dados coletados foram feitos os gráficos e todos os cálculos citados na metodologia. Devido à restrição de espaço e a título de ilustração são apresentados a seguir uma tabela com os valores médios de atenuação da radiação solar obtidos para cada árvore analisada e um dos gráficos de radiação solar da Chuva-de-ouro.

**Tab.1** Valores médios de atenuação da radiação solar em porcentagem

ÁRVORES ANALISADAS					
	Jatobá	Chuva-de-ouro	Magnólia	Ipê Roxo	Sibipiruna
Radiação solar atenuada (%)	87,2	87,3	82,4	75,6	88,5
$\alpha$ (erro padrão da média)	$\pm 1,6$	$\pm 0,7$	$\pm 3,4$	$\pm 2,3$	$\pm 1,2$

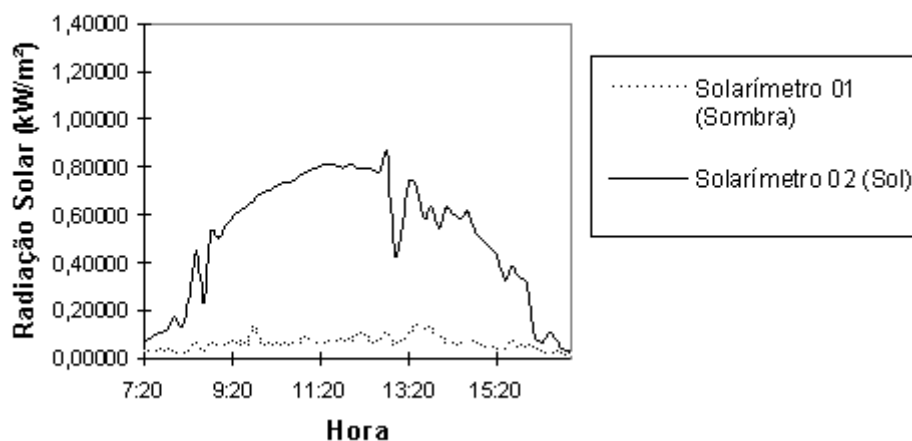


Fig.1 Radiação solar / Chuva-de-ouro (02/maio/1998)

#### 4 Conclusão

Os resultados obtidos mostraram que entre as espécies estudadas a que apresentou melhor desempenho quanto à atenuação da radiação solar foi a *Caesalpinia peltophoroides* (Sibipiruna), enquanto que o pior foi observado na *Tabebuia impetiginosa* (Ipê Roxo). As variações relativas da temperatura ambiente e da temperatura de globo, para as cinco espécies analisadas, seguiram de perto o comportamento das mesmas em relação à atenuação da radiação solar. Pode-se, dessa forma, concluir que a utilização dos solarímetros lineares, com medições simultâneas das temperaturas e umidade, ao sol e à sombra de indivíduos arbóreos, abre novas perspectivas para o estudo da transparência das árvores à radiação solar, e conseqüentemente, do conforto térmico por elas proporcionado.

#### 5 Referências Bibliográficas

Barth, F.T. et al. (1987): *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*, Nobel - ABRH, São Paulo

Delta-T Devices (1993): *Tube solarimeter user manual*, London.

Labaki, L.C., Santos R.F. (1996): *Conforto térmico em cidades: efeito da arborização no controle da radiação solar*, Projeto FAPESP - Fac. Eng. Civil / UNICAMP, Campinas.

Romero, M.A.B. (1988): *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*, Projeto, São Paulo.

Topping, J. (1972): *Errors of observation and their treatment*, Science Paperbacks, London.



Zuffo, A.C. (1998): Fac. Eng. Civil, UNICAMP, comunicação pessoal, Campinas.