

COMPORTAMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS QUANTO À ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

**Carolina Lotufo Bueno-Bartholomei (1); Lucila Chebel Labaki (2) ; Priscila Zuconi
Vianna (1)**

(1) Laboratório de Conforto Ambiental e Física, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP
CP 6021, CEP 13083-970, Campinas (SP) – Brasil, Tel. (19) 3788-2422.

e-mail: carollbb@cps.matrix.com.br

(2) Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP
CP 6021, CEP 13083-970, Campinas (SP) – Brasil,
Fax (19) 3788-2384. E-mail: lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

Este trabalho utiliza a metodologia proposta por BUENO (1998), para o estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas, a partir de medições de radiação solar. Além das cinco espécies já analisadas anteriormente, outras cinco foram estudadas em relação à melhoria do microclima proporcionado à sombra das mesmas: *Senna spectabilis* (Cassia Carnaval), *Schinus molle* (Schinus), *Bauhinia forficata* (Bauínia), *Clitoria racemosa* (Sombreiro) e *Cingidium jambolana* (Jambolão). Os dados de radiação solar incidente foram obtidos por meio de solarímetros de tubo que medem a irradiância média (em kW/m²) em situações onde a distribuição da energia radiante não é uniforme. Os solarímetros 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. Dentre os resultados podemos destacar a atenuação proporcionada pelo Jambolão, com uma média de 92,8% ao longo de diferentes períodos do ano.

ABSTRACT

This work applies the methodology proposed by BUENO (1998) to study attenuation of solar radiation by different tree species, from experimental data related to solar radiation. Beyond the five tree species already analysed the results of the study of another five, in relation to improvement of microclimate by tree shading: *Senna spectabilis* (Cassia Carnaval), *Schinus molle* (Schinus), *Bauhinia forficata* (Bauínia), *Clitoria racemosa* (Sombreiro) e *Cingidium jambolana* (Jambolão). Incident solar radiation data were obtained by means of tube solarimeters, which measure average irradiance (in kW/m²) 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 qualifying each specie due to their influence on environmental conditions around them. Observing the results, it's possible to stand out the performance of Jambolão, with an average attenuation of solar radiation of 92,8% in different season of year.

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.

As diferenças nas características térmicas dos materiais construtivos e da vegetação é a causa principal da alteração climática da área urbana. O tipo de ocupação, a geometria urbana, além das propriedades térmicas das superfícies produzem diretamente os efeitos de aquecimento. Dessa forma, pode-se observar que 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. São de conhecimento comum os benefícios que a arborização traz a uma cidade, principalmente quando se trata de seu conforto térmico. No entanto, são poucos os dados que apontam sobre a eficiência térmica da ação de arborizar os núcleos urbanos.

2. A ARBORIZAÇÃO EM CIDADES

Quando se trata de arborização de cidades, os estudos apresentam diferentes metodologias em função de diferentes combinações de objetivos. Um dos objetivos frequentemente focado é a produção de sombra, onde pode-se entender por *sombra* a interceptação da luz e do calor da radiação solar, cujos efeitos estão estreitamente relacionados com o conforto ambiental. O efeito de sombra é bastante estudado e discutido em edificações, para as quais o atual estágio de conhecimento científico permite a aplicação dos conceitos na avaliação do conforto ambiental, térmico e luminoso. No entanto, são poucos os trabalhos em congressos ou outras publicações científicas no nosso país, que discutam a eficiência desse fenômeno para o conforto térmico urbano.

Assim, é de extrema importância o estudo do papel desempenhado pelas sombras das árvores no controle da radiação solar incidente sobre os espaços urbanos, embora as técnicas de determinação da quantidade de radiação solar através de árvores mostrem grande variabilidade nos resultados.

A fim de se conhecer a real situação das áreas verdes e da arborização das ruas, é importante a caracterização e análise da vegetação no meio urbano para a preservação e manutenção da cobertura vegetal existente, para futuras implantações de parques e praças, além da melhoria da arborização das ruas e avenidas. A realização de planejamento urbano adequado ou de projetos de edificações, onde se demonstre a preocupação com o bem estar físico e psicológico de seus usuários, é dificultada pela falta de informações técnicas e de parâmetros relacionados à influência da vegetação nas cidades. Um exemplo dessa situação é a quase inexistência de valores que quantifiquem a atenuação da radiação solar pelos indivíduos arbóreos.

3. SOMBREAMENTO PROPORCIONADO POR DIFERENTES ESPÉCIES

Alguns estudos sobre o comportamento das sombras, de grande importância para a coleta de dados em campo, têm sido desenvolvidos. A permeabilidade, ou ainda, a transparência das árvores com relação à radiação solar tem gerado grande interesse entre os pesquisadores. Esse fato se deve à falta de valores confiáveis, como dito anteriormente, para se planejar o meio urbano ou projetar edificações visando o bem-estar dos usuários.

HEISLER (1982) utilizou piranômetros para medir radiação global e difusa. Uma árvore por dia era analisada, com um conjunto deles colocado a aproximadamente 40 cm acima do solo à sombra dela, e outro em campo aberto. Os indivíduos amostrados eram *London Plane*, *Pin Oak* ou *Norway Maple*, todas com características representativas de suas espécies. Em dias de céu claro, as árvores *Pin Oak*, com folhas, reduziram a radiação global acima de 70% e as *London Plane* acima de 86%. Quando estavam sem folhas e o Sol com um ângulo de elevação de 60°, estas reduziram respectivamente 37% e 54%. SATTLER (1991) investigou a influência de parâmetros como a densidade de copa e sua variação sazonal, a transparência do céu e a altitude solar, sobre a quantidade de radiação solar transmitida através de um indivíduo de arbóreo. Nesse experimento foram utilizados solarímetros para medir a radiação, além da técnica fotográfica. Os indivíduos amostrados eram duas árvores decíduas, mesma espécie (*Prunus "Kanzan"*), mas com diferentes densidades de copa, e se encontravam na cidade de Sheffield (UK). Outra quantificação da permeabilidade das árvores com relação à radiação solar foi realizada por CANTON, CORTEGOSO & de ROSA (1994). Foram analisadas quatro espécies: *Fraxinus excelsior* (European ash), *Morus alba* (White mulberry), *Melia azedarach* (China berry) e *Platanus acerifolia* (London plane). Foram obtidos valores de radiação global e difusa. As observações foram realizadas quatro vezes por ano, coincidindo com os ciclos de folhagem das

espécies consideradas Para as condições de inverno (sem folhas), a *European ash* bloqueou 16,7% da radiação através do topo de sua copa, e menos de 29,5% na média de toda a copa. As mais baixas permeabilidades, no inverno, foram observadas na *White mulberry*, onde 19,2% da radiação global é interceptada pelo topo de sua copa; e 33,6% pela copa como um todo. De acordo com os autores, para sombreamento de verão a *London plane* é a melhor escolha: somente 9,8% da radiação global atravessa sua copa. E a *China berry* fica em segundo lugar, bloqueando quase 74% da radiação global.

BUENO, LABAKI & SANTOS (1997), estudaram a variação da temperatura ambiente, umidade relativa e temperatura de globo, à sombra de indivíduos arbóreos e em campo aberto. O objetivo desse trabalho foi qualificar a melhoria, através da arborização, das condições climáticas dos ambientes externos. Foram escolhidas três árvores adultas: *Cassia Carnaval* (*Senna spectabilis* var. *exelsa*), *Chuva-de-ouro* (*Cassia fistula*) e *Escova-de-garrafa* (*Callistemon viminalis*). Sob cada uma delas, foi instalado um tripé no qual um termômetro de globo e um psicrômetro estavam fixados a uma altura de 1,30 m. Um quarto módulo foi disposto em campo aberto com o propósito de se medir temperaturas sob exposição direta da radiação solar, mantendo-se porém os termômetros protegidos da mesma. A *Cassia Carnaval* e a *Chuva-de-ouro* forneceram melhores condições de conforto térmico.

CASTRO, 1999, analisou áreas verdes destinadas ao lazer da população em Campinas, SP, também sob o ponto de vista da atenuação da radiação solar. Três tipos de áreas foram estudadas: um bosque com vegetação densa, outro com vegetação média e um terceiro parque, novo, com árvores plantadas recentemente. O parque com vegetação densa mostrou uma atenuação quase completa - 99%, ao passo que os outros dois não mostraram diferenças significativas - atenuação em torno de 80%.

No meio científico do Brasil, outros trabalhos têm sido levados a efeito com a mesma preocupação sobre o desempenho dos indivíduos arbóreos quanto a atenuação da radiação solar, mas trata-se de pesquisas ligadas ao conforto térmico de animais, principalmente de gado em pastagens. O interesse por esse tipo de estudo está ligado diretamente ao aumento de produção, ou seja, "...fornecer ao animal as condições de conforto necessárias para a expressão de seu potencial genético..." (SILVA et al.; 1996). Com o objetivo de se determinar o tipo de sombreamento adequado à pastagens, GHELFI FILHO et al. (1996) apresentaram uma avaliação térmica das sombras de duas espécies arbóreas: *Sibipiruna* (*Caesalpinia peltophoroides*) e *Sapucaia* (*Lecythis pisonis*). Para a escolha foi levado em conta o tempo de crescimento, a qualidade da copa e a projeção da sombra. Os parâmetros analisados foram: velocidade do vento, temperatura de globo, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido. A partir desses valores (obtidos em campo e medidos a 1,60 m do solo), as sombras foram analisadas quantitativamente através de índices de conforto térmico. Considerando-se os valores médios da temperatura de globo e da carga térmica radiante, a *Sibipiruna* apresentou uma menor temperatura em relação à *Sapucaia*.

Também no trabalho de SILVA et al. (1996), foi estudada a redução da carga térmica radiante devido ao sombreamento proporcionado por indivíduos arbóreos. As espécies estudadas foram: *Sibipiruna* (*Caesalpinia peltophoroides*), *Sapucaia* (*Lecythis pisonis*) e *Tipuana* (*Tipuana speciosa*). Foram instalados um termômetro de globo e um higrômetro sob cada indivíduo arbóreo analisado, sob o galpão e ao sol. Os dados climáticos consideravam velocidade do vento, temperatura média e umidade relativa. Como conclusões finais, das três espécies analisadas a que proporciona a sombra com a melhor qualidade térmica é a *Sibipiruna*, em segundo lugar a *Tipuana*, e por último a *Sapucaia*.

Este trabalho propõe a utilização da metodologia proposta por BUENO (1998) 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. Na pesquisa citada, quando a metodologia proposta foi avaliada, foram estudadas as espécies: *Hymenaea courbaril* (Jatobá), com 87,2% de atenuação da radiação solar, *Cassia fistula* (Chuva-de-ouro), com 87,3%, *Michelia champacca* (Magnólia), 82,4%, *Tabebuia impetiginosa* (Ipê Roxo), 75,6% e *Caesalpinia peltophoroides* (*Sibipiruna*), 88,5%.

Outras cinco espécies arbóreas foram analisadas e os resultados quanto à sua influência nas condições ambientais do entorno, são apresentados a seguir.

3. 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 valores de radiação solar incidente simultaneamente ao sol e à sombra de indivíduos arbóreos.

Foram selecionadas para este trabalho cinco espécies arbóreas: *Senna spectabilis* (Cassia Carnaval), *Schinus molle* (Schinus), *Bauhinia forficata* (Bauínia), *Clitoria racemosa* (Sombreiro) e *Coringium jambolana* (Jambolão). 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. As condições em relação ao entorno são: local acessível, mas ao mesmo tempo com restrição à interferência de terceiros nos equipamentos; ausência de sombra de outras árvores ou edificações, topografia do terreno e uniformidade de condições.

3.1 Equipamentos

As medições da radiação solar foram realizadas com dois solarímetros de tubo, 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.

Os solarímetros de tubo foram desenvolvidos para medir a irradiância média (em kW/m²) 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 de tubo 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.

3.2 Medições

As medições de campo foram realizadas entre 1999 e 2000, em dias em que as condições do céu podiam ser: aberto, parcialmente nublado ou nublado, mas nunca em dias chuvosos. Os equipamentos (dois solarímetros de tubo) foram colocados em suportes que permitiram sua fixação a uma altura de 1,30 m, altura aproximada do tórax de uma pessoa, e dispostos um 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.

3.3 Método de Tratamento e Análise dos Resultados

A partir das listagens fornecidas pelo integrador, os dados provenientes dos solarímetros foram transformados em gráficos. 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. 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:

$$At = \frac{S_{sol} - S_{sombra}}{S_{sol}} \cdot 100 \quad [\text{Eq. 01}]$$

onde: At: atenuação da radiação solar (%);

S_{sol} : área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW h/m²), coletada pelo solarímetro ao sol, no intervalo de tempo considerado;

S_{sombra} : área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW h/m²), 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 (três dias), e o seu respectivo erro padrão.

4. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados das medições de atenuação da radiação solar incidente das cinco espécies analisadas, (Tabelas de 1 a 5), além dos gráficos obtidos com as medições no Jambolão (Figura 1) e no Schnus Molis (Figura 2), respectivamente o melhor e o pior desempenho.

Senna Spectabilis (Cassia Carnaval)

Tabela 1 – Atenuação da Radiação Solar (*Senna spectabilis*).

<i>Senna spectabilis</i>	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOMBRA	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOL	Atenuação da Radiaç. Solar (%)
25/04/1999	0,02189	0,22309	90,2
29/04/1999	0,01967	0,21188	90,7
30/04/1999	0,01894	0,19518	90,3
Média das Atenuações da Radiação Solar			90,4 %
α (Erro Padrão da Média)			$\pm 0,1$

Schinus molle (Schinus)

Tabela 2 – Atenuação da Radiação Solar (*Schinus molle*).

<i>Schinus molle</i>	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOMBRA	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOL	Atenuação da Radiaç. Solar (%)
12/07/1999	0,05865	0,20211	71,0
24/07/1999	0,03318	0,13671	75,7
26/07/1999	0,04219	0,18652	77,4
Média das Atenuações da Radiação Solar			74,7 %
α (Erro Padrão da Média)			$\pm 1,9$

Bauhinia forficata* (Bauínia)*Tabela 3 – Atenuação da Radiação Solar (*Bauhinia forficata*).**

<i>Bauhinia forficata</i>	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOMBRA	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOL	Atenuação da Radiaç. Solar (%)
06/04/2000	0,03248	0,22980	85,9
11/04/2000	0,03535	0,21642	83,7
12/04/2000	0,03123	0,20412	84,7
Média das Atenuações da Radiação Solar			84,8 %
α (Erro Padrão da Média)			$\pm 0,6$

Clitoria racemosa* (Sombreiro)*Tabela 4 – Atenuação da Radiação Solar (*Clitoria racemosa*).**

<i>Clitoria racemosa</i>	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOMBRA	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOL	Atenuação da Radiaç. Solar (%)
17/01/2000	0,04976	0,26185	81,0
19/01/2000	0,05496	0,25697	78,6
20/01/2000	0,05419	0,23232	76,7
Média das Atenuações da Radiação Solar			78,8 %
α (Erro Padrão da Média)			$\pm 1,2$

Cingingium jambolana* (Jambolão)*Tabela 5 – Atenuação da Radiação Solar (*Cingingium jambolana*).**

<i>Cingingium jambolana</i>	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOMBRA	Energia Total Incidente (kW/m ²) SOL	Atenuação da Radiaç. Solar (%)
27/05/2000	0,00848	0,10725	92,1
31/05/2000	0,00984	0,16782	94,1
29/06/2000	0,01124	0,14191	92,1
Média das Atenuações da Radiação Solar			92,8 %
α (Erro Padrão da Média)			$\pm 0,7$

5. CONCLUSÃO

Observando-se os resultados obtidos pode-se notar que as atenuações variaram entre 74,7% e 92,8%. Estes resultados são devidos a características específicas das espécies analisadas e do indivíduo amostrado, como estrutura e densidade da copa, tamanho, cor e forma das folhas, idade e crescimento da árvore. Outras questões relativas à adequação e conseqüente recomendação das espécies para arborização urbana devem ser analisadas, mas a atenuação é um parâmetro essencial, que deve ser levado em conta para o conforto térmico urbano.

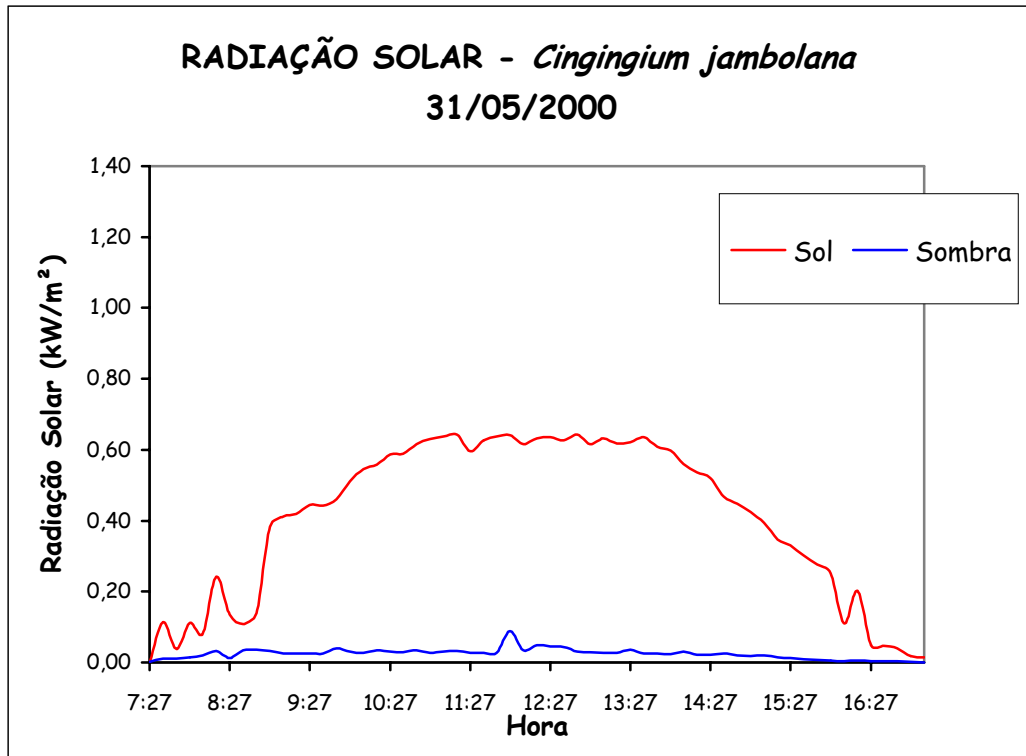


Figura 1: Radiação solar ao sol e à sombra do jambolão (*Cingingium jambolana*)

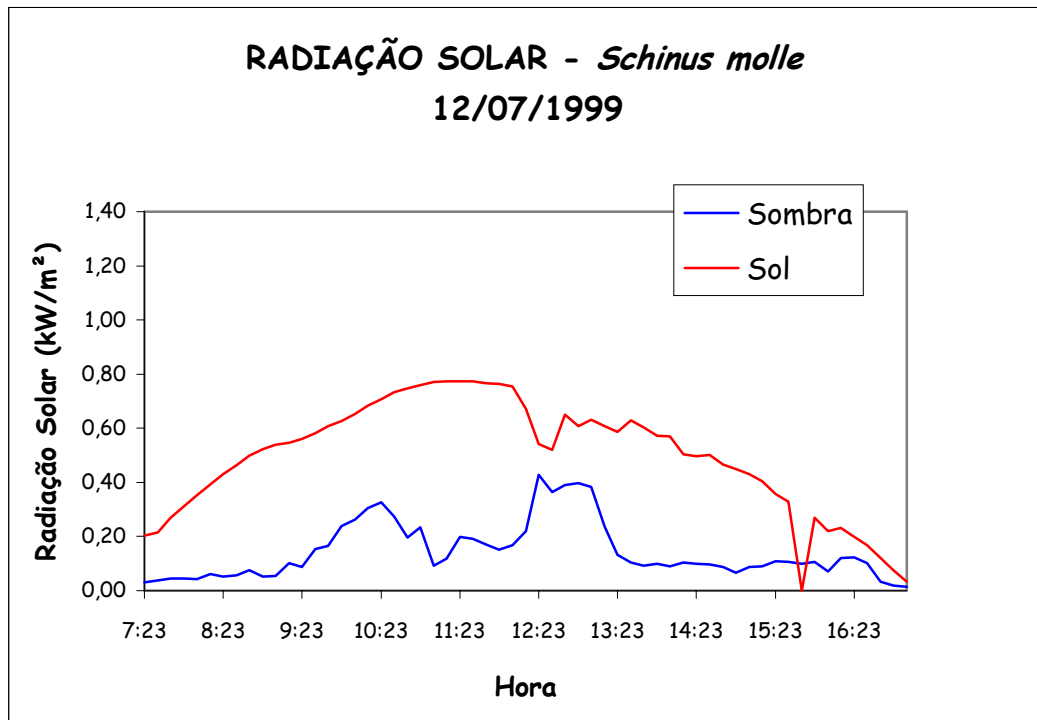


Figura 2: Radiação solar ao sol e à sombra do *Schinus molle*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUENO, C. L., LABAKI, L.C., SANTOS, R.F. Caracterização das espécies arbóreas e sua contribuição para o conforto térmico urbano do sub-distrito de Barão Geraldo, Campinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4, 1997, Salvador. *Anais...* FAUFUBA/LACAM - ANTAC. 1997. p. 93-96.
- BUENO, C. L. (1998) Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas. Campinas, 177p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.
- CANTON, M.A., CORTEGOSO, J.L., de ROSA, C. (1994). Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings*, v. 20, n. 3, p. 219-230.
- CASTRO, L. F. (1999) Estudo de parâmetros de conforto térmico em áreas verdes inseridas no ambiente urbano, Campinas. Campinas, 124 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas
- DELTA-T DEVICES. (1993) Tube solarimeter user manual. London, 20 p.
- GHELFI FILHO, H. et al. (1996) Sombreamento natural: avaliação de algumas espécies arbóreas através de índices de conforto térmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, 1996, Bauru. *Anais...* Bauru: SBEA, 1996. paper n.395-96. 8 p.
- HEISLER, G. M. (1982). Reductions of solar radiation by tree crowns. pg. 133-138.
- 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.
- SILVA, I. J.O. et al. (1996). Redução da carga térmica de radiação através do sombreamento natural. In: CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 4, CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA RURAL, 2, 1996, Neuquen. *Memorias...* Neuquen: Universidad Nacional del Comahue, Universidad Nacional de La Plata, INTA Centro Regional Patagonia Norte, 1996. p. 799-807.

AGRADECIMENTO

À FAPESP pelo Auxílio à Pesquisa e Bolsa de Doutorado para C.L.B.B (Processo 97/12805-9).