

Miguel Aloysio Sattler
Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC
Rua Washington Luiz, 675
90010 - Porto Alegre, RS

RESUMO

O presente trabalho investiga a influencia de parâmetros, tais quais: a densidade de copa e sua variação sazonal, a transparência do céu e a altitude solar, sobre a quantidade de radiação solar transmitida através da copa de um espécimen arbóreo. A maioria dos resultados experimental resulta de dados obtidos por medição com solarímetros. Adicionalmente, foram obtidos dados empregando-se uma técnica fotográfica. Foi encontrada uma boa concordância entre os valores médios obtidos através das duas técnicas.

ABSTRACT

This study investigates how parameters such as crown density, sky condition, and seasonal changes in crown phenology and temporal variations in solar altitude affect the amount of solar radiation transmitted through the crown of a tree stand. Most of the experimental results refer to full-scale measurements of radiation transmission through tree crowns, with the aid of solarimeters. Some additional data were obtained with the aid of a photographic technique. Average values obtained by the two techniques were compared and found to agree favorably.

INTRODUÇÃO

Embora a vegetação exerça uma influência significativa sobre ambientes urbanos (1-3) e modifique, ou controle, de forma marcante a radiação solar, o regime de ventos, a qualidade e umidade do ar e o ruído urbano, é muito reduzida a informação disponível a projetistas de edificações e planejadores urbanos, para a efetiva aplicação dos benefícios resultantes da presença de vegetação, em seus projetos. O controle de radiação solar por vegetação vem atraindo um interesse crescente, em virtude dos aspectos energéticos implícitos. Mesmo assim, conhece-se muito pouco a respeito da variabilidade e dos complexos fenômenos associados à transmissão de radiação através de árvores. Uma variedade de técnicas (2, 4, 5) tem sido utilizada para simplificar a obtenção de dados confiáveis de transmissão mas os resultados tem mostrado muita discrepância, mesmo quando referidos à mesma espécie botânica.

Este trabalho mostra como elementos arbóreos podem, individualmente, modificar a quantidade de radiação solar incidente sobre superfícies expostas ao sol. Os valores obtidos podem, posteriormente, ser incorporados aos dados de entrada de programas de computador, utilizados na simulação de desempenho térmico de edificações (6).

MATERIAIS E MÉTODOS

A transmissão de radiação solar através da copa de duas árvores de mesma espécie botânica (*Prunus "Kanzan"*), mas com diferentes densidades de copa, foi medida em um local (53° 22' 16" N; 01° 30' 25" W) na cidade de Sheffield, UK, em vários dias do período compreendido entre 07/1985 e 09/1986. As árvores tinham aproximadamente 22 anos de idade e 6 metros de altura, tendo sido selecionadas em função da regularidade da estrutura de suas copas e da acessibilidade ao local onde se encontravam.

O objetivo do trabalho experimental foi o de obter valores instantâneos e médios de transmissão de radiação solar e, ao mesmo tempo, estudar alguns fatores determinantes da variabilidade na quantidade de radiação que atravessa a copa de uma árvore.

A transmissão de radiação foi medida por dois conjuntos de sensores, onde dois solarímetros foram localizados à sombra da árvore e um terceiro, à luz do sol (Figura 1). Os sensores à sombra foram montados sobre uma placa vertical de madeira, de 1,22 x 0,96 m de dimensão, que estava acoplada a um suporte móvel. A placa possuía duas fendas horizontais (localizadas a 1,30 m e 2,12 m acima do nível do solo), que possibilitavam o deslocamento horizontal dos solarímetros, de modo a ajustar o seu posicionamento à sombra, ao início de cada sessão de monitoramento (Figura 2). O sensor ao sol estava montado em um tripé à uma altura de 1,5 m.

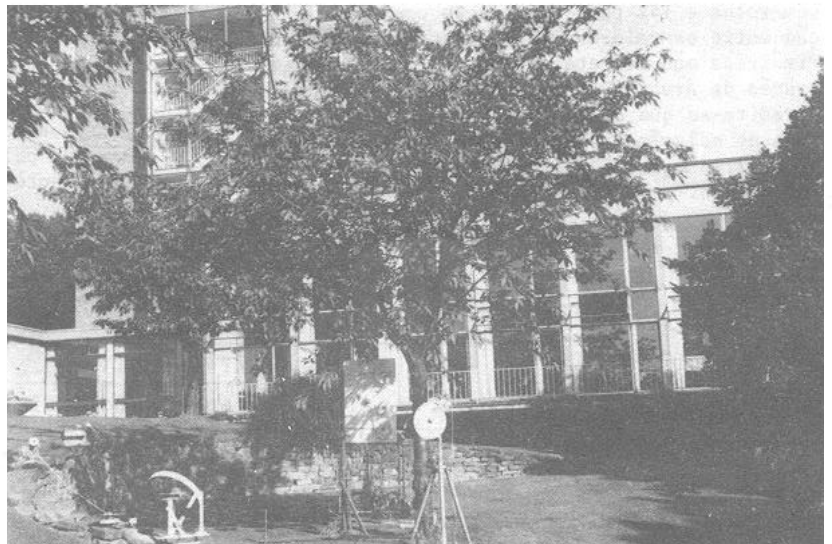


Figura 1. Vista geral do local do experimento

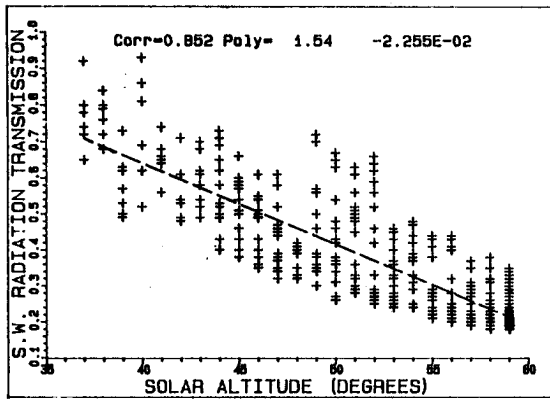


Figura 3. Variação da transmissão de radiação com a altitude solar.

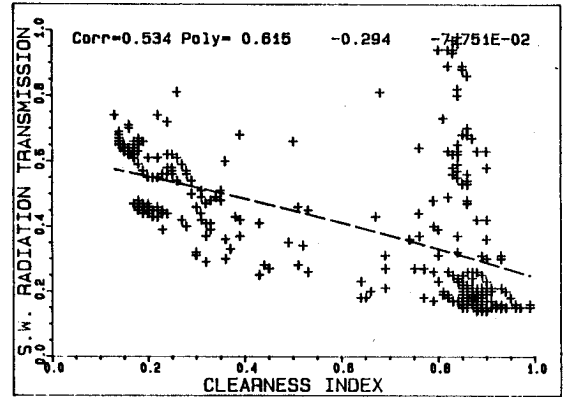


Figura 5. Variação da transmissão de radiação global com o índice de transparência.

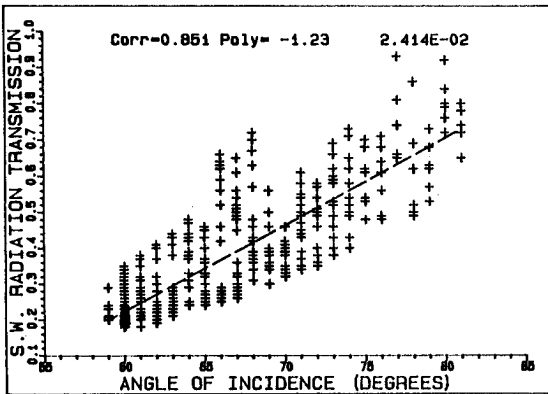


Figura 4. Variação da transmissão de radiação com o ângulo de incidência solar.

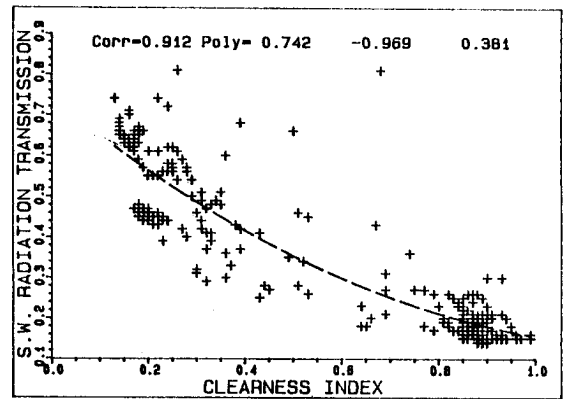


Figura 6. Variação da transmissão de radiação difusa com o índice de transparência.

Técnica Fotográfica. A transmissão de luz através das árvores em folha foi calculada usando os resultados de três fotografias diferentes. Valores médios de transmissão, para as três árvores, são dados na Tabela 2, juntamente com os valores médios de transmissão de radiação obtidos através da técnica solarimétrica. A tabela mostra uma concordância completa (certamente por coincidência) entre os resultados obtidos através das duas técnicas, no que se refere à Árvore 1, mas alguma diferença no tocante a Árvore 2 (25% para a situação sem-folha e 14% para a situação com folha). A comparação entre os valores médios mostra que a técnica solarimétrica não reflete a esperada maior transmissão através da Árvore 1 (com uma menor densidade de copa). Acredita-se que o fato possa ser devido ao reduzido número de solarímetros utilizado, especialmente quando um número reduzido de leituras estiver em análise, como foi o caso.

CONCLUSÕES

Os resultados das medições de campo mostraram uma ampla variabilidade nos valores de transmissão de radiação, e comprovam que o valor médio de radiação transmitida através da copa de um espécimen isolado é fortemente dependente da massa de vegetação existente na mesma copa. Eles também permitem reconhecer as diferenças na transmissão de radiação existente, tanto entre árvores com distintas densidades de copa, como, em uma mesma árvore, em diferentes fases de desenvolvimento (com-folha ou sem-folha). Em adição ao fato de ser altamente variável com a hora do dia, a transmissão é também dependente da geometria relativa entre o sol, a árvore e a superfície à sombra (ou a ser sombreada). Os resultados também mostraram que a quantidade de radiação solar transmitida pela copa de um espécimen arbóreo é altamente dependente da transparência do céu.

Tabela 2. Comparação entre os valores médios de transmissão

	Árvore 1		Árvore 2	
	Solarímetro	Fotografia	Solarímetro	Fotografia
Sem-folhas	0,64	0,64	0,66	0,53
Com-folhas	0,23	0,23	0,24	0,21



Figura 2. Placa móvel com solarímetros.

Paralelamente à medição de transmissão de radiação solar, foram também medidas a transmissão de radiação total (radiação de onda curta + radiação de onda longa), a temperatura do ar e a radiação difusa e global em superfície horizontal. Uma descrição detalhada de toda a instrumentação e resultados é dada em (7).

Em várias ocasiões foram tiradas fotografias, em preto e branco, das copas das árvores em estudo, com o objetivo de comparar valores médios de transmissão de luz (através das fotografias) com valores médios de transmissão de radiação solar (através de solarímetros). Estas fotografias foram tiradas em dias de céu claro (sem nuvens ou levemente nublados), com uma câmara SLR 35 mm, equipada com zoom. A partir das fotografias foram

feitas transparências impressas em filmes 102 x 107 mm ("fine-grain, orthochromatic, medium contrast film"). As transparências, assim obtidas, foram posteriormente analisadas por um fotômetro equipado com detector de luz de silício, capaz de medir luminância sob um campo circular de 1°.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Técnica Solarimétrica. As medições de transmissão de radiação solar foram executadas em diferentes oportunidades, em ocasiões em que as árvores se encontravam "com folhas" ou "sem-folhas". A Tabela 1 mostra valores estatísticos associados à transmissão de radiação através de uma das árvores em estudo, em diferentes estações (com-folhas e sem-folhas) e para duas condições de transparência do céu (céu parcialmente nublado e céu claro). A tabela ilustra a variabilidade do regime de radiação à sombra, tanto para a situação com-folhas como a situação sem-folhas. Ela também mostra uma considerável redução de radiação transmitida quando se comparam os valores obtidos para a situação com-folhas, com aqueles obtidos para a situação sem-folhas. Pode-se ainda observar que o coeficiente de variação é maior durante o período em que a árvore se encontra com folhas, e que a dispersão de valores de transmissão sob dias claros é maior do que sob dias parcialmente nublados.

Os resultados das medições de campo indicaram que a transmissão de radiação de onda curta está estreitamente ligada a variações de altitude solar, ângulo de incidência e transparência do céu (ver figuras 3 a 6). Juntamente com os valores caracterizando a transmissão de radiação e as linhas de regressão, as figuras apresentam o coeficiente de correlação (Corr) e os coeficientes de regressão para as linhas de regressão (referidos como $Poly = A...B...C$, onde A é o intercepto, B, o coeficiente do termo de 1º grau, e C, o coeficiente do termo de 2º grau). A Figura 5 mostra a variação da transmissão de radiação global (direta + difusa) com o índice de transparência (razão entre a radiação global e a radiação extraterrestre, ambas incidentes sobre uma superfície horizontal). A Figura 6 mostra a variação da transmissão de radiação difusa com o índice de transparência da atmosfera. As Figuras 3 e 4 correspondem a um dia claro (03/07/86) e as Figuras 5 e 6, a um dia parcialmente nublado (09/09/86).

Tabela 1. Estatística da transmissão de radiação de onda curta

	Data			
	11/09/85	03/07/85	29/04/86	01/05/86
Estágio fenológico	Com-folhas		Sem-folhas	
Condição do céu	Nublado	Claro	Nublado	Claro
Tamanho da amostra	231	254	155	249
Solarímetro 1				
Média	0,382	0,309	0,639	0,592
Desvio padrão	0,138	0,141	0,109	0,216
Coef. de variação	36,2	45,5	17,5	37,3
Solarímetro 2				
Média	0,288	0,257	0,636	0,656
Desvio padrão	0,105	0,114	0,101	0,220
Coef. de variação	36,3	44,5	15,6	33,3
Índice de transparência	0,33	0,79	0,64	0,81

A comparação entre os valores médios de transmissão de radiação obtidos através das técnicas solarimétrica e fotográfica, quando referentes a condições de céu claro, mostram que os mesmos são muito próximos entre si. Os resultados das duas técnicas sugerem, no entanto, que a menos que um número considerável de solarímetros seja utilizado nas medições, de modo a possibilitar um grande número de leituras, a técnica fotográfica proporciona uma estimativa mais realista para o valor médio de transmissão de radiação, que a técnica solarimétrica.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao CNPq, à CIENTEC, e ao Committee of Vice Chancellors and Principals of the Universities of the United Kingdom, pelo suporte financeiro recebido para a realização de sua tese de Ph.D, junto à Universidade de Sheffield, UK, cujo conteúdo é parcialmente apresentado neste trabalho. Agradece também ao Dr. S. Sharples e Prof. J.K. Page, orientadores de sua tese, pelas sugestões e comentários ao longo do desenvolvimento de seu trabalho.

REFERÊNCIAS

- (1) Bernatzky, A. The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings*, 5: 1-10 (1982).
- (2) Hutchison, B.A., et al. *Use of vegetation to ameliorate building microclimates: and assessment of energy conservation potentials*. Oak Ridge, Oak Ridge National Laboratory (1982). (CORNL/CON-87).
- (3) Rowntree, R.A. Ecology of the urban forest - introduction to Part II. *Urban Ecology*, 9:229-43 (1986).
- (4) McPherson, E.G. Planting design for solar control. In: McPherson, E.G., ed. *Energy-conserving site design*. Washington, C.C., American Society of Landscape Architects, pp. 141-64 (1986).
- (5) Yates, D. *Light attenuation characteristics of trees*. Manchester, Manchester Polytechnic (1987). Trabalho não publicado do Department of Architecture & Landscape.
- (6) Sattler, M.A. & Sharples, S. The use of shading trees for the improvement of thermal comfort in buildings in summer. In: ISES Solar World Congress 1987, Hamburgo, 1987. *Proceedings...*
- (7) Sattler, M.A. *Computer-based design techniques for the thermal analysis of low cost housing in Brazil, incorporating the use of shading by trees*. Sheffield, University of Sheffield (1987). Tese de Ph.D.