

Análises do comportamento de um actinógrafo bimetálico (R. Fuess-Berlin-Steglitz) em diferentes tipos de cobertura do céu

Rivanildo Dallacort^{1*}, Reinaldo Prandini Ricieri², Suedêmio de Lima Silva², Paulo Sérgio Lourenço de Freitas¹ e Frederico Fonseca da Silva¹

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Cascavel, Cascavel, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: rdallacort@uem.br

RESUMO. Parte dos processos termodinâmicos que ocorrem no desenvolvimento das plantas está relacionado ao balanço da radiação solar na atmosfera. Há vários anos, no Brasil, a radiação solar global vem sendo monitorada por actinógrafos, com alguns pesquisadores duvidando da confiabilidade destes dados, comparando o sensor deste instrumento, que é constituído por placa bimetálica, com o do piranômetro elaborado com termopilha. Neste trabalho, compara-se as medidas da radiação solar global, monitorada por um actinógrafo, e por um piranômetro da Kipp e Zonen (modelo CM3) instrumento de maior precisão, em diferentes condições de cobertura do céu. Os dados foram coletados na Estação Experimental Agrometeorológica da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Câmpus de Cascavel (Lat. 24°53'Sul, Long. 53°23'Oeste, alt. 682m), no período de janeiro a dezembro de 2001. Os desvios encontrados foram 18,95% em dias de céu limpo, 15,78% em dias de céu parcialmente nublado, 4,50% em dias de céu nublado e 15,11% sem considerar o tipo de cobertura do céu, mostrando que a irradiação solar obtida pelo actinógrafo é subestimada independente das condições de cobertura do céu.

Palavras-chave: piranômetro, actinógrafo, radiação solar.

ABSTRACT. Analyses of the behavior of a bimetallic Actinograph (R. Fuess-Berlin-Steglitz) in different types of sky covering. Part of the thermodynamic processes that occur in the development of the plants is related to the balance of the solar radiation in the atmosphere. For several years in Brazil, the global solar radiation has been being monitored by actinographs, with some researchers doubting the reliability of these data, comparing the sensor of this instrument, that is constituted by bimetallic plate, with one of the piranometer, elaborated with termopile. In this work, the measures of the global solar radiation are compared, monitored by actinography, and by a piranometer of Kipp and Zonen (I model CM3), instrument of larger precision, in different conditions of sky covering. The data were collected in the Experimental Station Agrometeorologic of the State University of the West of Paraná - Campus of Cascavel (lat. 24° 53' South, long. 53° 23' West, alt. 682m), in the period of January to December, 2001. The found deviations were 18.95% in days of clean sky, 15.78% in days of partially cloudy sky, 4.50% in days of cloudy sky and 15.11% without considering the type of sky covering, showing that the solar irradiation obtained by the actinograph is underestimated independent of the conditions of sky covering.

Key words: piranometer, actinograph, solar radiation.

Introdução

A produção de grãos no Estado do Paraná corresponde a 22,6% da total do Brasil (Paraná 12 Meses, 2000), com o município de Cascavel responsável por 26% da produção do Estado. O balanço da radiação solar na atmosfera é de fundamental importância em escala regional ou global, pois se constitui em uma fonte de energia geradora de diversos processos termodinâmicos no desenvolvimento de uma cultura.

Utilizando dados da radiação solar global, medida

por piranômetro (Eppley-PSP), Ricieri *et al.* (1996) obtiveram os coeficientes “a” e “b” da equação de Angstrom e os resultados foram comparados com os encontrados por Tubelis (1988) que também utilizou dados da mesma localidade, obtidos por um actinógrafo. No estudo, os coeficientes não diferiram entre si, mostrando que a radiação solar medida por actinógrafo pode ser utilizada nos cálculos dos coeficientes de Angstrom com boa precisão. Conforme Grigoletto (2001), o potencial médio mensal de energia solar na região de Cascavel,

calculados com medidas obtidas por actinógrafo, varia de 14,72 MJ.m⁻².d⁻¹ a 27,22 MJ.m⁻².d⁻¹, com média anual de 17,14 MJ.m⁻².d⁻¹.

Nos últimos 40 anos, pesquisadores vêm utilizando o actinógrafo para medir a radiação solar global, sem levar em consideração o erro sistemático deste instrumento. No Brasil, a maioria das estações meteorológicas convencionais foi desativada devido a falta de técnicos especializados para a manutenção diária. A automatização das estações meteorológicas com instalação de instrumentos de maior precisão vem sendo cada vez mais necessária, minimizando os custos de operação e favorecendo a expansão destas.

Devido a pesquisadores utilizarem medidas da radiação solar global monitorada por actinógrafo, sem referência de sua precisão, objetiva-se nesta pesquisa comparar esta componente com a monitorada por piranômetro.

A radiação solar global (G) é medida com auxílio de um piranômetro recebendo radiação de todas as direções. O instrumento deve estar posicionado com o plano de seu sensor na horizontal e conectado a um sistema de aquisição de dados.

O conhecimento do comportamento da razão de insolação (r) de uma região é muito importante para avaliação e dimensionamento de projetos, a qual pode ser interpretada conhecendo-se os estudos de limites da equação de Angstrom ($K_t = a + b.r$). Observa-se, através dessa equação, que o índice de claridade tende ao máximo no momento em que a razão de insolação tende a um, situação de ausência de nuvens ou máximo de brilho solar. Por outro lado, esse índice tende ao mínimo no momento em que a razão de insolação tende a zero, situação de elevada nebulosidade ou número de horas de brilho solar próximo de zero, determinando a variação da irradiação solar que atinge um plano horizontal da terra em relação à que atinge o topo da atmosfera.

Realizando um estudo de limite na equação de Angstrom para a região de Cascavel, Estado do Paraná, com partição anual, Valiati *et al.* (1999) concluíram que o índice de claridade mínimo é 0,16 e o máximo é 0,56. Ricieri (1998) encontrou um índice de claridade mínimo de 0,22 e máximo de 0,71 para a cidade de Botucatu, Estado de São Paulo. Dantas *et al.* (1999) estudaram esse mesmo fenômeno para duas cidades da Paraíba, verificando, para a cidade de Cabaceiras, que o mínimo e o máximo do índice de claridade ocorreram no mês de novembro, estando compreendida entre 0,13 e 0,73; e para a cidade de Belém do Brejo do Cruz, o mínimo ocorreu no mês de setembro e o máximo no mês de julho, estando compreendido entre 0,11 e 0,76. Santos *et al.* (1983) encontraram para a cidade de Jaboticabal uma transmissividade máxima de 0,75 para a partição anual.

Jesus e Cury Lunardi (1997) observaram que os valores médios da razão de insolação ocorreram, em

ordem decrescente, no período de inverno, outono, primavera e verão, mostrando que tanto a precipitação, ocorrida na região em outubro e março, quanto o tipo de nuvem, gênero cirrus no outono/inverno e cumulus na primavera/verão, possuem influência na razão de insolação. Na região sul do Brasil, segundo Tubelis e Nascimento (1992), a variação da insolação é inversa das demais regiões, atingindo seus valores mínimos em janeiro, fevereiro e março, e máximos em junho, julho e agosto, sendo os valores médios mensais extremos 39% em fevereiro e 57% em junho.

Aguiar *et al.* (1999) observaram, em um estudo sobre a razão de insolação para Fortaleza, que a transmissividade da atmosfera na região do sertão é maior que na região do litoral para um dia completamente nublado, provavelmente devido aos maiores índices de umidade da região do litoral.

Preocupados com as regiões que não dispõem do heliógrafo, Klosowski *et al.* (1999) estudaram um modelo para obtenção da razão de insolação para a região de Maringá, Estado do Paraná, encontrando a equação: $INSO = 3,438 - 0,917 NEB + 0,731 N$ sendo: INSO o número de horas de brilho solar; N o comprimento do dia (fotoperíodo, em horas) e NEB a cobertura do céu (nebulosidade, em décimos), calculada a partir de valores em décimos de céu encoberto obtidos visualmente nas observações das 9h e 15h local, concluindo que o modelo possui boa eficiência na estimativa da insolação, com coeficientes de correlação de 0,85 para 1990 e 0,82 para 1991 e 1992.

Valiati *et al.* (2001), em uma série de 17 anos de dados, concluíram que a maior incidência da irradiação solar global foi observada para o solstício de verão, a menor para o solstício de inverno e intermediárias para os equinócios de primavera e outono, onde o máximo da irradiação solar global que atinge uma superfície local é de aproximadamente 51,73% da irradiação que a incidente no topo da atmosfera.

Os tipos de cobertura do céu (nublado, parcialmente nublado e limpo) foram determinados por vários pesquisadores de diferentes formas, sem citar a metodologia utilizada. Ricieri (1998) determinou uma metodologia para obtenção do tipo de cobertura do céu em função do índice de claridade (K_t), para a cidade de Botucatu, Estado de São Paulo, por meio de comparação gráfica da irradiação global, direta e difusa na incidência horizontal. Observou que, no intervalo de $0 < K_t < 0,3$, as irradiações global e difusa são praticamente iguais e a irradiação direta está próxima de zero, classificando o céu nessas condições como nublado. Para $0,3 \leq K_t \leq 0,65$, as irradiações difusa e direta mantêm-se próximas, denominando de céu parcialmente nublado. Para $K_t > 0,65$, a irradiação direta se aproxima da global, enquanto a difusa tende ao mínimo nessas condições

denominou de céu limpo, esse estudo. O autor encontrou o intervalo de $0 \leq K_t \leq 0,80$, mostrando que a radiação solar global incidente na superfície terrestre local é inferior a 80% da irradiação incidente no topo da atmosfera.

A irradiação solar global não é medida de forma contínua na maioria das estações meteorológicas, centro de pesquisas e universidades brasileiras, destacando-se, no Paraná, o Instituto Agrônomo do Paraná- Iapar com 33 estações meteorológicas, que medem, diariamente, a radiação solar global com de piranômetro ou actinógrafo, número de horas de brilho solar com heliôgrafo, temperaturas máximas e mínimas, precipitação e outros elementos meteorológicos.

O alto custo dos instrumentos e a necessidade de um técnico especializado para a coleta dos dados e para a manutenção dos equipamentos fazem com que várias regiões não tenham o conhecimento da irradiação solar global. Por esse fato, pesquisadores vêm utilizando modelos matemáticos ou estatísticos para estimar essa componente. Um dos pioneiros na utilização de modelos para estimativa da irradiação solar global foi Angstrom, em 1924, usando a equação:

$$\frac{R_G}{R_C} = \alpha + (\alpha - 1)r \quad (1)$$

sendo:

R_G = irradiação global (MJ.m^{-2})

R_C = irradiação total sob atmosfera real em dia completamente limpo (MJ.m^{-2});

r = razão de insolação (n.N^{-1});

α =fração da radiação em um dia completamente nublado pela medição em dia completamente limpo;

Pela dificuldade na medição de R_C , a qual deve ser realizada em dias de céu limpo, o que não ocorre com frequência em muitas regiões, Prescott (1940) correlacionou a irradiação solar encontrada na superfície da terra com a encontrada no topo da atmosfera (R_0), que mesmo após a modificação continua sendo chamada, pelos pesquisadores de equação de Angstrom, ou seja: ($R_G.R_0^{-1}=a+b.r$), em que: “a” e “b” são coeficientes da equação de Angstrom.

Os coeficientes da equação de Angstrom foram calculados para diversas localidades e podem ser encontrados em trabalhos de Martinez-Losano *et al.* (1984), que cobrem praticamente todo o território brasileiro, Ometto (1968) para Piracicaba, Estado de São Paulo, Ricieiri *et al.* (1998) para Botucatu, Estado de São Paulo, Lopes *et al.* (1971) para o Rio Grande do Sul, Crivelli (1973) para Argentina, entre outros.

Os coeficientes “a” e “b” podem ser calculados com diferentes partições (diários, quinzenais, mensais, sazonais, anuais). Recentemente Dal Pai e Escobedo (1999) vêm estudando a partição

instantânea (5 minutos).

O objetivo do presente trabalho foi o de comparar as medidas da irradiação solar global monitorada por um actinógrafo bimetalico (R.Fuess-Berlin-Steglitz) e piranômetro considerando o tipo de cobertura do céu.

Material e métodos

Os dados utilizados para a realização deste trabalho, foram coletados na Estação Experimental Agrometeorológica da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste). Sua localização geográfica está definida pelas coordenadas $24^{\circ}53'$ Latitude Sul, $53^{\circ}23'$ Longitude Oeste e altitude de 682m.

Os instrumentos estão localizados a uma altura de 3m do solo, com boa visão do horizonte em todo o período de coleta dos dados. Os dados foram coletados das 8h às 17h, no período de janeiro a dezembro de 2001, totalizando 336 dias de dados analisados. Os dias não totalizados referem-se à manutenção, limpeza e instalação de novos instrumentos para aquisição de dados.

Foi utilizado um piranômetro Kipp e Zonen, Modelo – CM3 (constante de calibração $18,99 \mu\text{V/W.m}^{-2}$), constituído com termopilha de alta precisão que, na presença de radiação solar emite sinais em milivolts e um actinógrafo (R.Fuess-Berlin-Steglitz), equipamento destinado ao registro da radiação solar, constituído de caixa metálica com pintura cinza, com uma cúpula de vidro. Seu sensor é composto de duas placas bimetalicas, com precisão inferior ao piranômetro, pois o sensor termoelétrico proporciona uma melhor sensibilidade, quando comparado a placas bimetalicas. Esse sensor sofre deformação com a incidência de luz visível, devido à variação da sua temperatura. O valor do sinal é registrado por um sistema mecânico em uma fita de papel.

Para coleta de dados do piranômetro utilizou-se uma aquisição de dados “micrologger”, da Campbell Scientific-INC CR10X, programado para realizar uma leitura por segundo e armazenar a média aritmética a cada cinco minutos, onde os sinais (mV) gerados pelo sensor do piranômetro foram divididos pela constante do instrumento, obtendo-se a curva de irradiância, integrando-se esta obtém-se irradiação solar global (J.m^{-2}). A irradiação solar global, registrada pelo actinógrafo na fita, foi calculada por meio da integral da curva de irradiância (W.m^{-2}), realizada com o uso de um planímetro.

Os cálculos da declinação Solar (δ), ângulo horário (W_s), fator de correção da excentricidade da órbita terrestre (E_0), irradiação no topo da atmosfera (R_0) e cálculo da razão de insolação (r) foram efetuados por meio das equações citadas por Iqbal (1983).

Índice de claridade é a razão entre a irradiação

solar global (R_G) e a irradiação no topo da atmosfera (R_o), dado pela equação:

$$K_t = \frac{R_G}{R_o} \quad (2)$$

A razão de insolação é a razão entre o total de horas de brilho solar diário na superfície da terra (n) e o número máximo de brilho solar no topo da atmosfera (N), dada pela equação:

$$r = \frac{n}{N} \quad (3)$$

O número máximo de brilho solar incidente no topo da atmosfera (N), em horas, foi obtido através da equação:

$$N = \frac{2W_s}{15} \quad (4)$$

em que:

W_s = ângulo solar em graus, obtido pela equação:

$$W_s = \arccos(\sin \Phi \sin \delta) \quad (5)$$

em que

Φ = latitude local em graus;

δ = declinação solar em graus dada pela equação:

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360}{365}(284 + DJ)\right) \quad (6)$$

em que:

DJ = dia Juliano.

A irradiação solar incidente em uma superfície horizontal no topo da atmosfera em MJ m^{-2} , é calculada pela expressão:

$$R_o = \frac{24}{\pi} 1367 E_o \left(\frac{\pi}{180} W_s \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \sin W_s \right) \quad (7)$$

em que:

E_o - fator de correção da excentricidade da órbita terrestre, dado pela fórmula:

$$E_o = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,00128 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma \quad (8)$$

em que

$$\Gamma = \frac{2\pi(DJ - 1)}{365,242} \quad (9)$$

Determinação do índice de claridade (K_t)

Índice de claridade, ($K_t = R_G \cdot R_o^{-1}$), razão entre a irradiação solar global (R_G) incidente em uma superfície horizontal da terra, e a irradiação incidente no topo da atmosfera (R_o), foi utilizada por Ricieri (1998) em sua metodologia para classificar o tipo de cobertura do céu com comparação gráfica da irradiação global, direta e difusa na incidência horizontal. Observou que, no intervalo de $0 < K_t < 0,3$, as irradiações global e difusa são praticamente iguais e a irradiação direta está próxima de zero, classificando o céu nessas condições como nublado. Para $0,3 \leq K_t \leq 0,65$, as irradiações difusa e direta mantiveram-se próximas, denominando-se céu de parcialmente nublado. Para o $0,65 < K_t < 1$, a irradiação direta se aproxima da global, enquanto a

difusa tende ao mínimo. Nessas condições, denominou de céu limpo. Esta classificação será utilizada para determinar o tipo de cobertura do céu nesta pesquisa.

Resultados e discussão

Comportamento da irradiação solar no topo da atmosfera

Na Figura 1 observa-se o comportamento da irradiação solar no topo da atmosfera, em função do dia juliano para a latitude local, no período de janeiro a dezembro de 2001. Os maiores valores da irradiação solar foram obtidos nos períodos de primavera e do verão e os menores nos períodos de outono e inverno. A irradiação solar no topo da atmosfera apresentou limite mínimo de $20,49 \text{ MJ.m}^{-2}$ (dia 173) e máximo de $37,54 \text{ MJ.m}^{-2}$ (dia 359), com média de $30,00 \text{ MJ.m}^{-2}$. O máximo da radiação solar global incidente na superfície local (dia 351) corresponde a 76,45% da irradiação incidente no topo da atmosfera.

Em nenhum dos dias foi encontrado índice de claridade K_t acima de 0,80, o que constitui o limite máximo de claridade local. Os maiores índices (acima de 0,75) foram encontrados nos períodos de inverno e primavera.

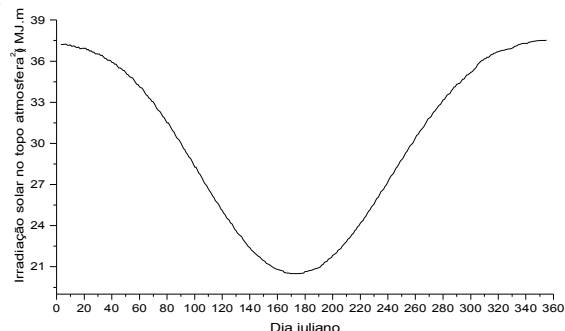


Figura 1. Comportamento da irradiação global no topo da atmosfera.

Comportamento da irradiação medida pelo actinógrafo e piranômetro

A Figura 2 mostra a semelhança do comportamento da irradiação solar Global monitorada pelo piranômetro e actinógrafo, com os respectivos valores máximos de $28,67 \text{ MJ.m}^{-2}$ e $22,52 \text{ MJ.m}^{-2}$ (dia 351) e mínimo de $0,91 \text{ MJ.m}^{-2}$ e $0,83 \text{ MJ.m}^{-2}$ (dia 176). Observa-se que as médias mensais da irradiação solar global, nos meses de abril, maio, junho e julho, o actinógrafo superestimou suas medidas, subestimando as mesmas nos outros meses.

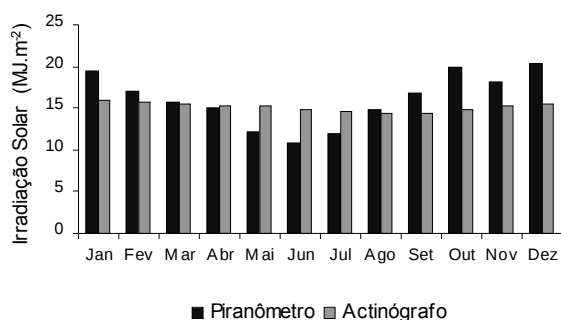


Figura 2. Comportamento da irradiação global mensal média, medida pelo piranômetro e actinógrafo.

Distribuição diária do índice de claridade (K_t)

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas a distribuição diária dos índices de claridade (K_t), determinada com medidas do piranômetro e actinógrafo, respectivamente. Observou-se para o piranômetro, uma variação de 0,04 a 0,80, com média de 0,54, indicando que a radiação solar global incidente, em média, equivale a 54% da radiação solar incidente no topo da atmosfera. Do total de 336 dias, 61,31% possuem valores de K_t acima da média e 38,69% abaixo. O valor médio de K_t encontrado nesse período com medidas do actinógrafo foi de 0,45, ou seja 16,67% menor que o encontrado pelo piranômetro. Já para o actinógrafo, observou-se uma variação de 0,04 a 0,68 com uma média de 0,44 que foi próximo ao valor de 0,41 encontrado por Valiati *et al.* (2001), para a mesma região com uma série de dados de 17 anos, obtida pelo mesmo actinógrafo. Do total de dias analisados, o actinógrafo apresentou ser semelhante ao piranômetro, 62,80% possuem valores de K_t acima da média e 37,20% abaixo.

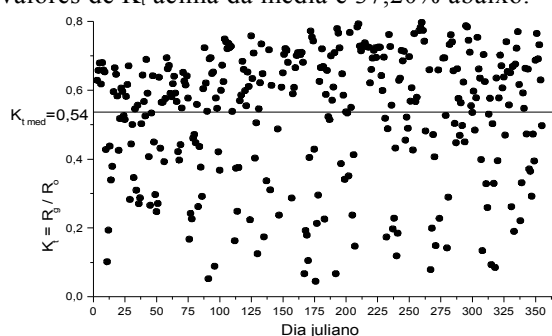


Figura 3. Variação de K_t , determinado pelo piranômetro.

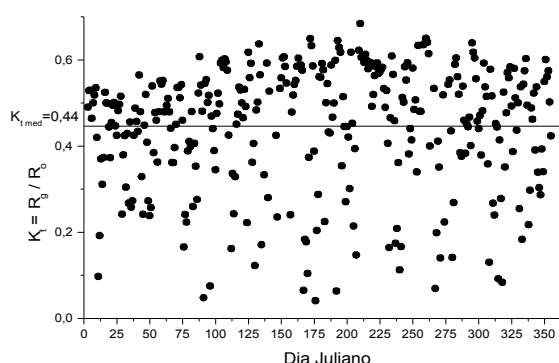


Figura 4. Variação de K_t , determinado pelo actinógrafo

Distribuição da frequência de desvios do actinógrafo

Num total de 336 dias, 53 dias foram classificados como céu nublado, 166 dias parcialmente nublado e 117 dias limpo. As Figuras 5 a 8 mostram a distribuição de frequência dos desvios da irradiação solar global, com e sem consideração do tipo de cobertura do céu. Do total dos dias (Figura 5), sem considerar o tipo de cobertura do céu, 51,78% apresentaram desvio entre 16% a 21% e para o restante dos dias valor mínimo de 0,005% e máximo de 26,47% com uma média geral de 15,11%. Nos dias de céu limpo, (Figura 6) o desvio variou do valor mínimo de 13,20% ao máximo de 26,46%, com média de 18,95%, em 58,12% dos dias num intervalo de 17% a 21%.

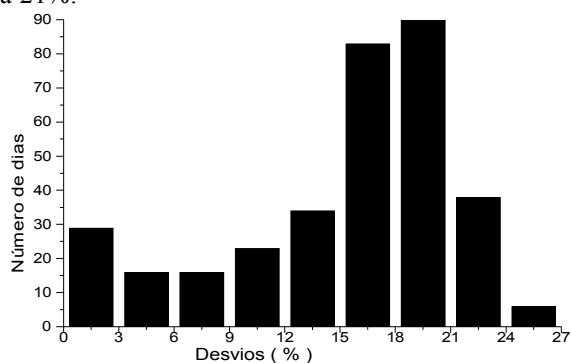


Figura 5. Frequência dos desvios da irradiação solar global sem considerar o tipo de cobertura do céu.

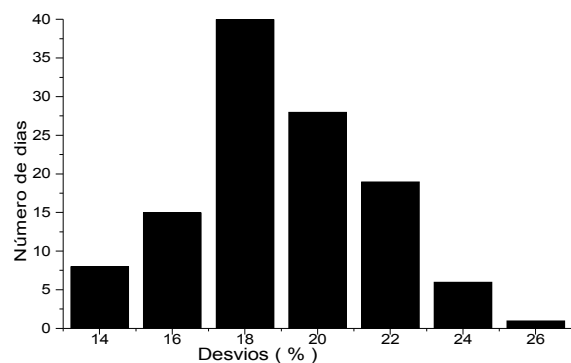


Figura 6. Frequência dos desvios da irradiação solar global em dias de céu limpo.

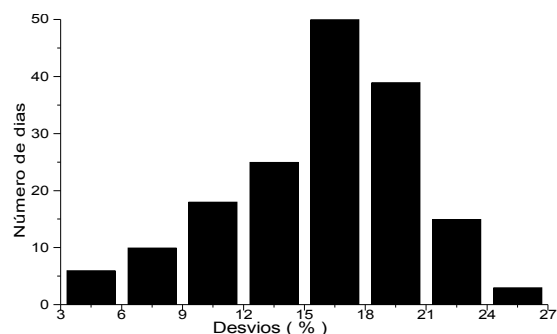


Figura 7. Frequência dos desvios da irradiação solar global em dias de céu parcialmente nublado.

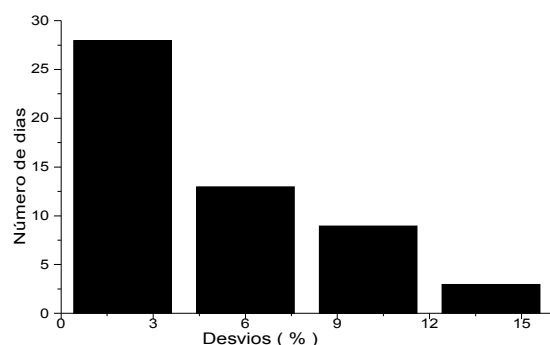


Figura 8. Frequência dos desvios da irradiação solar global em dias de céu nublado.

Na Figura 7, a distribuição dos desvios em dias de céu parcialmente nublado apresentou um valor mínimo de 0,93%, máximo de 25,13% e uma média de 15,78%, com 88,55% dos desvios entre 12% e 21%. O índice médio de irradiação solar nesse período foi de 16,31 MJ.m⁻², inferior aos encontrados em dias de céu limpo. Em dias de céu nublado, (Figura 8), obtiveram-se os menores desvios, variando do mínimo de 0,005% ao máximo de 16,27%, em uma média de 4,50%, com 77,36% dos dias com desvios menores que 6%, indicando que o actinógrafo possui maior precisão em suas medidas em dias de céu nublado.

Intervalos de K_t , médias de irradiação solar global monitoradas pelo piranômetro e pelo actinógrafo, desvios médios e desvios padrão da radiação global medida pelo actinógrafo

A Tabela 1, mostra a condição de cobertura do céu em função de K_t , médias de irradiação solar global monitoradas pelo piranômetro e pelo actinógrafo, desvios médios e desvios padrão da radiação global medida pelo actinógrafo.

Tabela 1. Intervalos de K_t , níveis médios de irradiação solar global monitorada pelo piranômetro, desvios médio da radiação global monitorada por actinógrafo e número de dias em cada condição de céu.

CCC	ΔK	RGP (MJ.m ⁻²)	RGA (MJ.m ⁻²)	DM (%)	DPM (%)	ND
Limpo	$0,65 < K_t < 1$	20,21	16,33	18,95	2,48	117
Parc. Nubl.	$0,30 \leq K_t \leq 0,65$	16,31	13,64	15,78	4,86	166
Nubl.	$0 < K_t < 0,30$	5,81	5,55	4,50	4,17	53
Geral	$0 < K_t < 1$	16,01	13,30	15,11	6,29	336

CCC = Condição de cobertura do céu; ΔK = intervalo de K_t ; R_{GP} = irradiação solar global média monitorada pelo piranômetro; R_{GA} = irradiação solar global média monitorada pelo actinógrafo; DM = desvios médios na medida do actinógrafo; DPM = desvios padrão médios; ND = número de dias observados

Os desvios encontrados foram: 18,95% para o intervalo de $0,65 < K_t < 1$ (céu limpo), 15,78% para $0,30 \leq K_t \leq 0,65$ (céu parcialmente nublado), 4,50% para $0 < K_t < 0,30$ (céu nublado) e 15,11% sem considerar o tipo de cobertura do céu. Respectivamente, os desvios padrão de 2,47% para dias de céu limpo, 4,85% em dias de céu parcialmente nublado, 4,17% em dias de céu nublado e 6,29% sem considerar o tipo de cobertura do céu, não são considerados elevados. No período de 336 dias, 84,22% dos dias estiveram no intervalo $0,30 < K_t < 1$, (céu limpo e parcialmente nublado), onde foram encontrados os maiores desvios.

Os índices médios de irradiação solar global monitorada pelo piranômetro e pelo actinógrafo foram, respectivamente, 20,21 (W.m⁻²) e 16,33 (W.m⁻²) em dias de céu limpo, 16,31 (W.m⁻²) e 13,64 (W.m⁻²) em céu parcialmente nublado, 5,81 (W.m⁻²) e 5,55 (W.m⁻²) em céu nublado e 16,01 (W.m⁻²) e 13,30 (W.m⁻²) sem considerar o tipo de cobertura do céu, indicando que o actinógrafo subestima todas as suas medidas independente da condição de cobertura do céu. Seus desvios estão diretamente relacionados com a intensidade de radiação solar incidente. Em dias de céu nublado, a medida da radiação solar global monitorada pelo actinógrafo é mais precisa, devido à menor intensidade de radiação solar incidente, já em dias de céu parcialmente nublado e limpo, onde os índices de radiação solar são maiores, os desvios são elevados devido menor sensibilidade do sensor termoeletrônico do actinógrafo.

Conclusão

Com base nos resultados pode-se concluir:
Considerando ou não o tipo de cobertura do céu, a

medida da radiação solar global monitorada por actinógrafo sempre foi subestimada.

A frequência dos desvios da medida da irradiação solar global monitorada pelo actinógrafo aumenta com o aumento da radiação solar incidente.

As medidas da irradiação solar global, monitoradas por actinógrafo, em dias de céu nublado, são mais precisas que em dias de céu limpo e parcialmente nublado.

References

- AGUIAR, J.V. *et al.* Estimativa da radiação solar a partir da insolação, na região metropolitana de Fortaleza, CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA 2. Anais... CD-ROM. Florianópolis, 1999. p. 596-602.
- ANGSTROM, A. *Solar and terrestrial radiation*. Q. J. R. Meteorol. Soc., 1924. p.121-125.
- CRIVELLI, S. *Solar radiation and solar energy in Argentina..* The Sun in the Service of Mankind. Paris: Proceedings Unesco. 1973.p.324-29.
- DAL PAI, A.; ESCOBEDO, J. F. Modelo de estimativa da radiação solar difusa instantânea: In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA 1, 1999 Botucatu: Anais... Botucatu:Unesp/FCA., 1999. v.2. p.312-17.
- DANTAS, R.T. *et al.* Determinação dos coeficientes da equação de Angstrom para estimativa da irradiação solar global em dois municípios da Paraíba. In In CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA 2. Anais... CD-ROM. Florianópolis, 1999, Anais... CD-ROM. Florianópolis. 1999. p.2399-2403.
- GRIGOLETO, M.W. *Comportamento do potencial de energia solar na região de Cascavel, PR.* 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2001.
- IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. New York: Academic Press, 1983.
- JESUS, W.R. de.; CURY-LUNARDI, D.M. Estudo da variabilidade horária do número de horas de insolação no município de Botucatu, S.P. Energia na Agricultura. *Publicação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia*, Botucatu, v. 2. nº 1. p.1-4, 1997.
- KLOSOWSKI, E.S. *et al.* Modelo de estimativa da insolação diária para Maringá-PR. In CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA 2. Anais... CD-ROM. Florianópolis, 1999. p. 687-692.
- LOPES, N.F. *et al.* *Estimativa da radiação solar durante o ciclo vegetativo dos cereais no Rio Grande do Sul*. Pelotas: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul, Boletim Técnico, 1971.
- MARTINEZ-LOZANO, A.A. *et al.* The historical evolution of the Angstrom formula and its modifications: review and bibliography. *Agric. For. Meteorol.*, Amsterdam,. v. 33. p.109-128, 1984.
- OMETTO, J.C. *Estudo das relações entre radiação solar global, radiação líquida e insolação*. 1968. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.
- PARANÁ 12 MESES- Programas e Projetos Anteriores. Disponível na Internet. <http://www.pr.gov.br/celepar/seab/aspectos/aspectos.html>. Acesso 20/11/2000.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. R. Soc. Sci. Aust.*, Austrália, v. 64. p.114-125, 1940.
- RICIERI, R. P. *Modelos de estimativa e avaliação dos métodos de medida da radiação solar difusa*. 1998. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1998.
- RICIERI, P. R. *et al.* Relações das radiações solar difusa e global em Botucatu. *Anais: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 1996, Campos do Jordão. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996. p.547-50.
- SANTOS, R. *et al.* Estimativa da Radiação solar global em Jaboticabal, SP. *Cientifica*, São Paulo, v.11. p.31-39, 1983.
- TUBELIS, A. *Metodologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Ed. Nobel, 1988.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. *Meteorologia Descritiva*. São Paulo: Ed. Nobel, 1992.
- VALIATI, M. I. *et al.* Modelo de Estimativa da irradiação solar global para região de Cascavel. *Anais... I SIMPÓSIO DE ENERGIA NA AGRICULTURA*, Botucatu: Unesp-FCA Gráfica e Editora Tiponic, 1999. v. 2. p.395 – 402.
- VALIATI, M. I. *Estimativa da irradiação solar global com diferentes partições para a região de Cascavel*. 2001. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2001.

Received on December 15, 2003.

Accepted on September 17, 2004.