

HORAS DE BRILHO SOLAR E ÍNDICE DE INSOLAÇÃO: UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES MEDIDOS COM HELIÓGRAFO E COM PIRELIÔMETRO

Modesto A. CHAVES¹, João Francisco ESCOBEDO², Sônia Martins TEODORO³

RESUMO

Com dados da Estação de Radiometria Solar da UNESP de BOTUCATU-SP, obtidos por meio de um pireliômetro EPPLEY e de um heliógrafo tipo Campbell Stokes. no período de 16/03/1996 a 04/09/1998, gerou-se, utilizando o software SIMRAS, arquivos diários com os valores do número de horas de brilho solar e do índice de insolação, estes arquivos foram posteriormente reunidos aos dados digitalizados do heliógrafo e analisados. Calculou-se o erro padrão (RMSE), o erro médio (MBE) e o coeficiente de correlação entre os valores. Foi feita uma seleção dos dias que apresentaram os maiores valores absolutos de desvios de forma a se formular hipóteses sobre sua causa. Também foi calculado o erro acumulado mensal nas medidas. Concluiu-se que os valores de brilho solar e de índice de insolação medidos com heliógrafo, embora tenham alto coeficiente de correlação com aqueles medidos com pireliômetro, apresentaram discrepância em dias nublados. A existência desta discrepância pode levar a erros nas medições e na aplicação de modelos, principalmente se o local em estudo apresentar uma concentração de dias nublados em determinada época do ano.

PALAVRAS-CHAVE: Horas de brilho solar; Índice de insolação; Métodos de medida

INTRODUÇÃO

O número de horas de brilho solar, definido como a quantidade de tempo que o disco solar não é obscurecido por nuvens, é um dos mais antigos tipos de medições na área de radiação solar. Um número bastante grande de tipos de registradores de brilho solar têm sido desenvolvido nos últimos 140 anos. Todavia, nenhum destes registradores é completamente satisfatório em todos os aspectos (Coulson, 1975).

A determinação do número de horas de brilho solar, além da caracterizar climatologicamente as condições de radiação solar de um local, permite a obtenção do índice de

1 M.S. Prof. Assistente UESB Doutorando da UNESP - Energia na Agricultura - Fazenda Lageado Botucatu-SP
E-mail: btchaves@zaz.com.br

2 Dr., Prof. Adjunto Departamento de Ciências Ambientais - UNESP - Fazenda Lageado Botucatu-SP

3 Doutoranda da Unesp - Energia na Agricultura - Fazenda Lageado Botucatu -SP

insolação, que é a relação entre o número real e o número máximo possível de horas de brilho solar. Este índice é usado em vários modelos de estimativa de irradiâncias (Iqbal, 1985)

Em 1961 a Comissão para Instrumentos e Métodos de Observação da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1965) adotou o heliógrafo Campbell-Stokes como padrão e recomendou que todas as futuras medições fossem reduzidas a este padrão.

Até recentemente o maior argumento para o uso deste tipo de heliógrafo era a questão de custos e a baixa manutenção. Todavia, com a evolução do instrumental meteorológico e a exigência por dados em forma digital, existe uma tendência de substituição destes aparelhos por outros que forneçam resultados que possam ser diretamente armazenados na forma digital. Todavia, será necessário um período de transição .

De acordo com Coulson (1975) um problema com o uso deste instrumento é que é difícil precisar o limite mínimo de radiação direta que fornecerá um traço legível na fita do aparelho. Em condições de extrema claridade, atmosfera seca e com uma tira de papel também bastante seca, cerca de 70 W/m^2 pode ser suficiente para esta queima, enquanto que em situações opostas seria necessário cerca de 280 W/m^2 .

Segundo Iqbal (1983) O maior problema com o heliógrafo tipo Campbell-Stokes é o efeito da umidade do ar na tira de papel e a dificuldade de se estabelecer um nível fixo de radiação para a queima da fita. Este autor também aponta que a precisão das leituras é dependente do fator humano, estando relacionada com o nível de treinamento do operador e que, de fato, a totalização de resultados pode variar de pessoa para pessoa que faz a leitura. De forma a estabelecer um padrão para o que venha a ser brilho solar, ou seja, sol não encoberto por nuvens, a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1981) estabeleceu como período de brilho solar ao intervalo de tempo no qual 120 W/m^2 , ou mais de radiação solar direta, atingem a superfície terrestre sendo este valor medido com um pireliômetro padrão apontando para o disco solar.

Este trabalho teve por objetivo comparar os resultados de medições do número de horas de brilho solar, e conseqüente índice de insolação, usando o heliógrafo Campbell-Stokes, com o padrão pireliométrico 120 W/m^2

METODOLOGIA

Os dados utilizados, oriundos da Estação de Radiometria Solar da UNESP de BOTUCATU-SP, foram obtidos por meio de um pireliômetro EPPLEY e de um heliógrafo tipo Campbell-Stokes.

O período de coleta de dados foi de 16/03/1996 a 04/09/1998 sendo os dados do pireliômetro obtidos usando-se a DATALOGGER 21XL da Campbell Scientific Inc. operando na frequência de 1Hz, sendo armazenada a média de 300 leituras (5 minutos). Os dados referentes as

leituras do heliógrafo foram digitados, após leitura diária, diretamente em software de planilha eletrônica.

O software SIMRAS (Chaves e Escobedo, 1998) foi utilizado para gerar arquivos diários com os valores do número de horas de brilho solar e do índice de insolação medidos com o pireliômetro, estes arquivos foram posteriormente reunidos aos dados do heliógrafo e analisados em software de planilha eletrônica e de geração de gráficos.

Na análise dos resultados foi calculado o erro padrão (RMSE), o erro médio (MBE) entre os valores de horas de brilho solar e do índice de insolação tomando-se os valores do pireliômetro como referência. Também foi calculado o coeficiente de correlação entre estes valores e o erro acumulado mensal.

Foi feita uma seleção dos dias que apresentaram os maiores valores absolutos de desvios de forma a se formular hipóteses sobre sua causa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os valores do número de horas de brilho solar e a Figura 2 mostra os valores dos índices de insolação obtidos com os dois aparelhos.

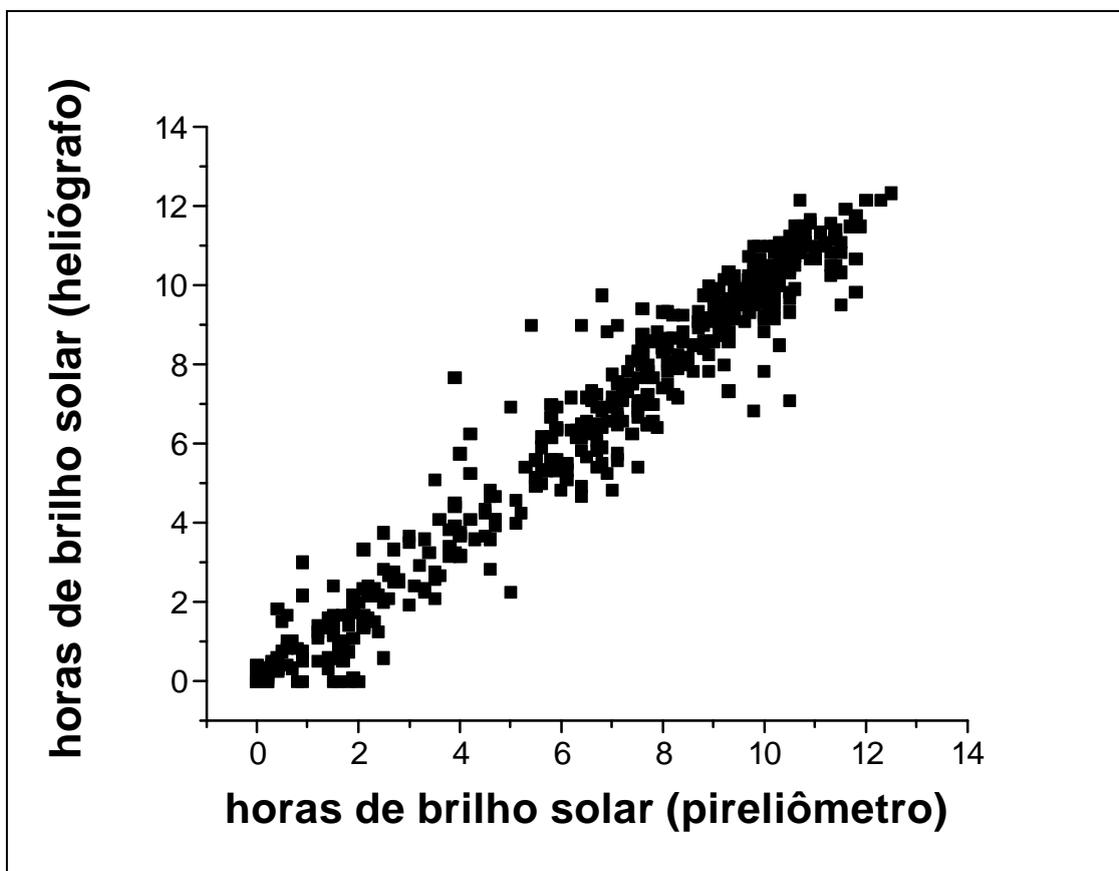


Figura 1. Número diário de horas de brilho solar medido com pireliômetro e com heliógrafo

Observa-se, como esperado, um comportamento linear tanto na Figura 1 como na Figura 2. com coeficientes de correlação 0,98. Apesar dos altos valores destes coeficientes de correlação observa-se a existência de discrepâncias nos valores das medidas. A partir das Figuras 1 e 2 pode-se notar que estes valores ocorrem com os aparelhos medindo valores diários muito baixos de brilho solar. Por exemplo, na Figura 1, é possível observar quase uma linha horizontal de pontos com o Pireliômetro indicando valores de até duas horas de brilho solar enquanto o heliógrafo indicava valores muito mais baixos. Esta parece ser uma tendência de comportamento para dias nublados, com o pireliômetro detectando valores que não são percebidos pelo heliógrafo

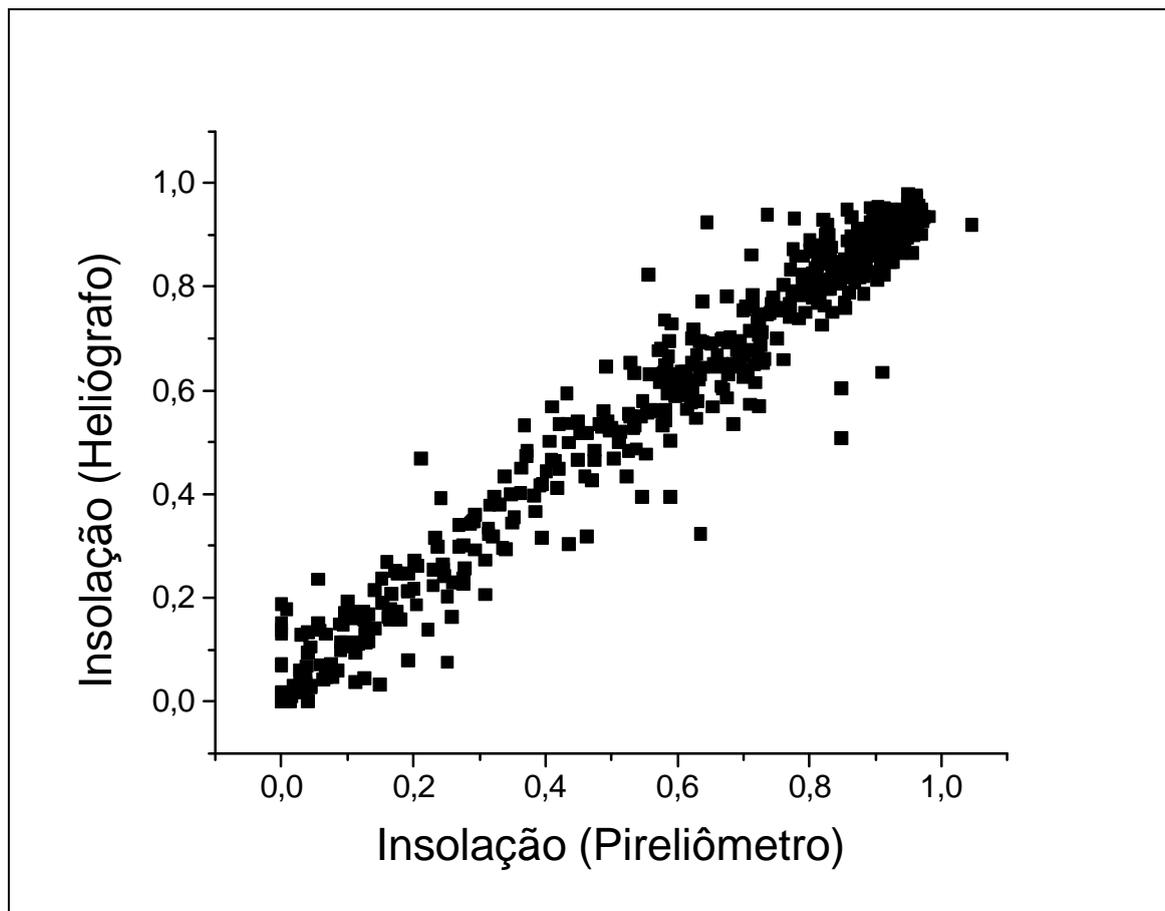


Figura 2. Índice de insolação diário obtido com dados do pireliômetro e do heliógrafo

A Tabela 1 mostra os valores do erro máximo, do erro padrão (RMSE), do erro médio (MBE), do número de horas de brilho solar (n) e do índice de insolação (n/N) obtidos com o pireliômetro (tomado como referência) e com o heliógrafo. Observa-se um erro máximo de 3,77 horas que é relativamente grande sendo, porém, caso isolado dentro do total de dados. Os valores do erro médio e do erro padrão são bastante pequenos, realçando, novamente, que a ocorrência de discrepância no comportamento dos aparelhos se dá apenas em determinados momentos.

O resultado negativo para o erro médio (MBE), ainda que pequeno, mostra que, na média, os valores medidos com o heliógrafo tendem a ser ligeiramente superiores aos do pireliômetro. Uma

causa possível para isto seria a predominância de dias de céu aberto, que é uma característica climática de Botucatu sendo que, conforme a literatura (Iqbal, 1985), nestas condições o valor de irradiância solar direta, necessária para queimar a fita do heliógrafo, é menor. De forma a se verificar o efeito desta superestimação, foram calculados os erros acumulados médios para cada mês sendo que o maior erro ocorreu em janeiro com uma diferença de 15,98 horas no número total de horas de brilho solar do mês. Esta diferença acaba por acrescentar mais de um dia de brilho solar ao mês de Janeiro. De fato, o erro acumulado no período de novembro a março foi de 43,79 horas enquanto a soma do restante dos meses do ano foi de 7,55 horas. Ocorreu, portanto, uma concentração dos erros neste período do ano.

Tabela 1. Valores do erro máximo, do erro padrão (RMSE) e do erro médio (MBE) e do coeficiente de correlação (R), para o número de horas de brilho solar (n) e para o índice de insolação (n/N) obtidos com o pireliômetro e com o heliógrafo.

	HORAS DE BRILHO SOLAR	INSOLAÇÃO
	(n)	(n/N)
ERRO MÁXIMO	3,77	0,34
ERRO MÉDIO(MBE)	-0,03	-0,003
ERRO PADRÃO(RMSE)	0,55	0,004

É interessante observar que, em ordem de grandeza, o erro médio para insolação foi cerca de dez vezes menor que o erro para número de horas de brilho solar. Este fato é particularmente importante quando se trata da implementação de modelos. Por exemplo, no modelo de Angstrom o índice de insolação é tomado como variável independente numa regressão linear onde a variável dependente é a relação entre a radiação global e a radiação extraterrestre e, segundo Hoffmann, (1987) quando há erros de medida na variável independente, o estimador de mínimos quadrados ordinários tende a subestimar o valor absoluto da estimativa do coeficiente linear da equação de regressão. Na prática, significa dizer que as retas de estimativa tendem a ser paralelas, com um deslocamento entre si proporcional ao erro da medida no índice de insolação que, neste caso, foi relativamente pequeno.

As Figuras 3 e 4 mostram o comportamento dos erros ao longo do período de coleta de dados. Observa-se que os erros flutuam em torno de zero, como esperado, com alguns valores discrepantes. De forma a analisar a causa desta discrepância selecionou-se dias com erros superiores a 2,35 horas no brilho solar (maior que dois desvios padrão do erro).

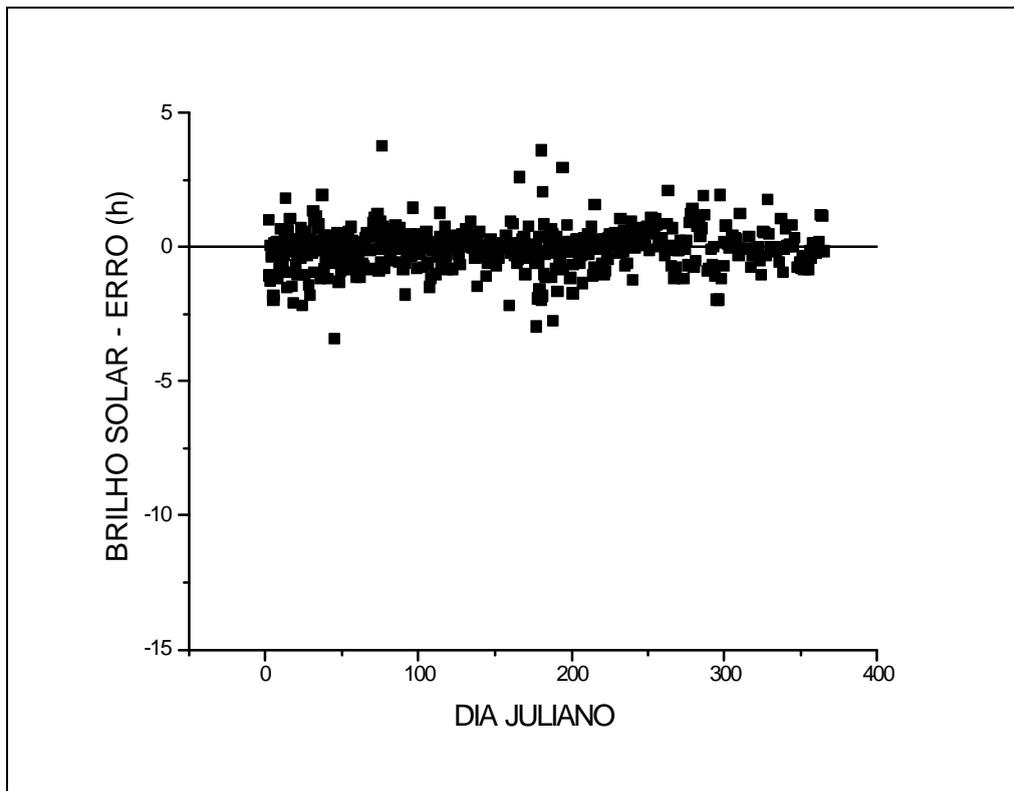


Figura 3. Erros no número de horas de brilho solar entre o pireliômetro e o heliógrafo

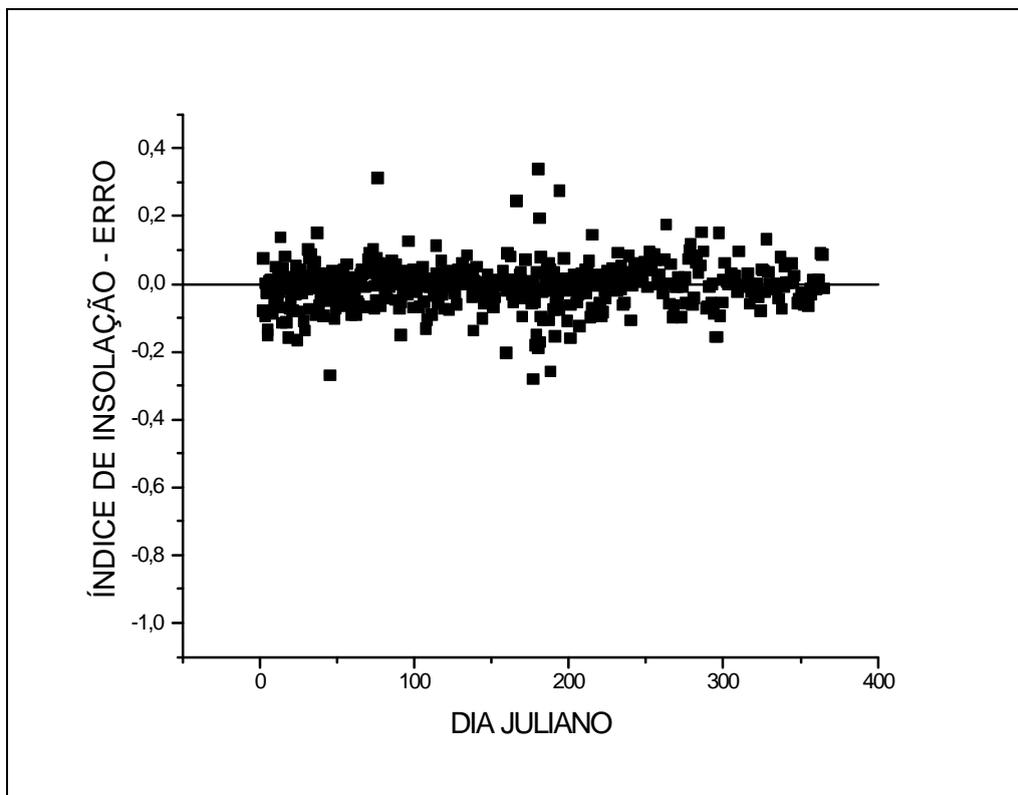


Figura 4. Erros no índice de insolação entre o pireliômetro e o heliógrafo

Uma análise destes valores discrepantes permitiu verificar que estes ocorrem principalmente no período chuvoso do ano. Todavia, esta ocorrência de discrepância não se deu, necessariamente, em dias chuvosos, porém em dias nublados. Esta concentração de erros maiores em dias nublados pode ser atribuída a uma maior sensibilidade do pireliômetro que, devido a sua frequência e forma de medição é capaz de detectar poucos minutos de radiação direta. Por outro lado, o heliógrafo apresenta, em tais dias, poucos e pequenos trechos queimados na fita (se chegar a ocorrer a queima). Estes resultados indicam que modelos implementados a partir de resultados de heliógrafo e pireliômetro podem diferir significativamente em tais condições de cobertura do céu.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos podemos concluir que os valores de brilho solar e de índice de insolação, medidos com pireliômetro e pelo heliógrafo embora tenham coeficiente de correlação alto, apresentam discrepância em dias nublados. A existência desta discrepância pode levar a erros nas medições e na aplicação de modelos, principalmente se o local em estudo apresentar uma concentração de dias nublados em determinada época do ano.

BIBLIOGRAFIA

- CHAVES, M. A., ESCOBEDO, J. F. Solar Radiation Data Base Management Software In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS, VII, 1998, Rio de Janeiro, Proceedings... p. 1190-1195.
- COULSON, K. L. *Solar and Terrestrial Radiation - Methods and Measurements*, New York, Academic Press, 1975, 322p.
- HOFFMANN, R. VIEIRA, S. *Análise de Regressão - Uma Introdução à Econometria*, 2 ed. São Paulo, Editora Hucitec, 1987, 379p.
- IQBAL, M. *An Introduction to Solar Radiation*. New York, Academic Press, 1983. 390p.
- WORD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Measurement of Radiation and Sunshine In: *Guide to Meteorological Instruments and Observing Practices*, 2ed. , Davos, 1965. 15p.
- WORD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Measurement of Radiation and Sunshine In: *Guide to Meteorological Instruments and Observing Practices(revised)*, Davos, 1985. 16p.