

## RELAÇÃO ENTRE A RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E A INSOLAÇÃO NA REGIÃO DE PETROLINA (PE)

DANIEL ALAIN CARDON<sup>1</sup> e MALAQUIAS DA SILVA AMORIM NETO<sup>2</sup>.

RESUMO - Analisando treze anos de dados de uma estação meteorológica próxima de Petrolina-PE (10 km) encontrou-se duas relações entre a radiação solar global (G) e o número de horas de brilho solar (SS), que correspondem aproximadamente aos períodos chuvoso e seco. As relações obtidas foram as seguintes: para o período de Fevereiro a Junho (Chuvoso),  $G = G_0(0,298 + 0,338 SS/SS_0)$  e para o de Julho a Janeiro (Seco),  $G = G_0(0,285 + 0,408 SS/SS_0)$ , onde  $G_0$  é a radiação solar que atinge uma superfície unitária no topo da atmosfera e  $SS_0$  é o máximo comprimento possível do dia. Após, esses resultados foram comparados com outros obtidos para região por outros autores, onde observou-se que estas relações apresentavam-se como mais aceitáveis para estimativa da radiação solar global para região.

## RELATION BETWEEN GLOBAL SOLAR RADIATION AND SUNSHINE FOR THE REGION OF PETROLINA (PE)

ABSTRACT - By examining the data collected at a meteorological station near Petrolina-PE (10 km) during thirteen years, two relations were found between the global solar radiation (G) and the bright hours of sunshine (SS) which correspond approximately to the rainy and dry periods. These relations are as follows: period February-June (rainy) -  $G = G_0(0,298 + 0,338 SS/SS_0)$  ; period July-January (dry) -  $G = G_0(0,285 + 0,408 SS/SS_0)$  where  $G_0$  is the solar radiation that reaches the unit surface on the top of the atmosphere and  $SS_0$  is the possible maximum day length. The results obtained from these relations were compared to those obtained by different authors, and it is observed that

1. Pesquisador em Agroclimatologia - Convênio ORSTOM/EMBRAPA.
2. Pesquisador em Agrometeorologia - EMBRAPA/CPATSA, BR 428, KM 152, Caixa Postal 23 - CEP 56.300 - Petrolina, PE.

these two relations appear to be more acceptable to estimate the global solar radiation for this region.

## INTRODUÇÃO

Nas pesquisas agrometeorológicas os parâmetros precipitação, temperatura e radiação global tem importância fundamental, devido à relação direta existente entre eles e o desenvolvimento das culturas.

A precipitação e a temperatura são parâmetros de fácil obtenção em função de que os equipamentos utilizados para medição são encontrados em todas estações meteorológicas. Enquanto que a radiação global nem sempre obtem-se com facilidade porque os equipamentos de medição são de alto custo e não são disponíveis em todas as estações. Vários métodos de estimativa da radiação solar existem (STANHILL, 1965; GAUTIER *et al*, 1980) relacionados com parâmetros climáticos, mas, o mais usual, é o que relaciona o número de horas de brilho solar (SS) com a radiação global (G). Vários trabalhos analisados por BLACK *et al* (1954), DURAND (1974), STIGTER (1980), DECICO *et al* (1980), etc. usam este método. Observa-se em alguns casos, que no mesmo lugar, os resultados podem variar bastante de um autor ao outro.

Nas regiões tropicais cuja rede meteorológica é, geralmente, de densidade baixa e as séries de medida de pouca duração, o problema da estimativa de G apresenta-se como prioritário.

Na primeira parte deste trabalho foram analisados sumariamente os principais trabalhos realizados no Nordeste do Brasil, a respeito deste assunto. Depois utilizando os dados da Estação Meteorológica do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA) no Campo Experimental de Mandacaru, cujas coordenadas são: latitude  $09^{\circ}24'S$ , longitude  $40^{\circ}26'W$  e altitude 375 m, procurou-se obter uma relação entre G e SS cujos resultados foram comparados com outros obtidos por diferentes autores na região.

## Revisão de Literatura

Foram analisados os principais trabalhos relacionando SS com G para região Nordeste do Brasil. Em todos os casos a relação pesquisada foi proposta por ANGSTROM (1934) e modificada por PRESCOTT (1940) seja uma relação linear da seguinte forma:

$$G = G_0 (a + b \text{ SS/SS}_0)$$

onde  $\text{SS}_0$  é a duração máxima possível do dia

$G_0$  a radiação solar que atinge uma superfície unitária no topo da atmosfera, e a e b coeficientes.

Em 1973, utilizando uma curta série de dados (306), REIS *et al* desenvolveram um trabalho para região litorânea próxima de Recife (PE). Relacionando esta série diariamente estes autores obtiveram a seguinte relação:  $G = G_0 (0,26 + 0,31 \text{ SS/SS}_0)$ . SÁ (1973) com cinco anos de dados da Estação Meteorológica de Mandacaru, comparou os valores de G e SS. Utilizando o mesmo processo que OMETTO (1968) no Estado de São Paulo, ele dividiu o ano em dois períodos, segundo a posição do sol em relação ao equador, obtendo os seguintes resultados:

. de 21 de março a 23 de setembro  $G = G_0 (0,140 + 0,673 \text{ SS/SS}_0)$

. de 23 de setembro a 21 de março  $G = G_0 (0,328 + 0,396 \text{ SS/SS}_0)$

Estes resultados são importantes porque demonstram a necessidade de obter-se, em função da época, uma ou várias relações entre G e SS, contudo, devido o autor ter trabalhado com médias de cinco dias, as regressões propostas invalidam a estimativa diária de G a partir de SS. AZEVEDO *et al* (s.d.) apresentaram um estudo semelhante para 19 localidades do Brasil, das quais as estações de Carolina, Floriano, Petrolina e Bom Jesus da Lapa, do Nordeste. A originalidade desse trabalho provém de que, além de uma relação anual, eles calcularam os coeficientes a e b mensalmente como também os coeficientes de correlação correspondentes. Os dados de radiação global foram obtidos com um

solarímetro Eppley o que demonstra sua confiabilidade. **Todavia** só os anos 1978-79 foram tratados, e ainda, apenas a metade dos dados, sendo que devido o tamanho da amostra, pode ter havido importantes erros na determinação dos coeficientes a e b mensais. Para Petrolina a relação anual encontrada foi a seguinte:

$$G = G_0 (0,30 + 0,43 SS/SS_0)$$

RIBEIRO *et al* (1980) usando dados do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INEMET), calcularam com médias decadárias de G e SS os coeficientes a e b mensais e anuais para 83 estações meteorológicas das quais sendo numerosas estações do Nordeste. Devido ao pequeno tamanho das amostras de dados estudados, os resultados obtidos só apresentam uma certa confiabilidade para os coeficientes anuais. AZEVEDO *et al* (1981) analisaram, na escala diária, a maioria dos dados de radiação solar global obtidos no Nordeste com actinôgrafos de marca ROBITSZCH. Neste trabalho, além de um estudo da insolação e da radiação global em todo o Nordeste, foram calculados, para cada estação meteorológica, os valores de coeficientes mensais e anuais de a e b assim como o coeficiente de correlação correspondente e o desvio padrão em relação a reta de regressão. Finalmente eles tentaram, usando o mesmo processo que RIETWELD (1978), de relacionar, para cada estação, os coeficientes a e b com a insolação relativa média. Certas estações estudadas são comuns aos trabalhos de RIBEIRO (1980) e de AZEVEDO *et al* (1981), portanto foram comparadas. Devido ao grande número de dias totalmente ensolarados na região, os valores de a + b parecem caracterizar melhor os resultados obtidos que os valores de a e b tomados separadamente. Assim, na Tabela 1 mostra-se para estações comuns os valores de a, b e a + b obtidos. Ver-se que para várias estações (Fortaleza, Quixeramobim, Surubim, Petrolina, Floriano) os valores de a + b variam bastante. Mesmo no caso de boa concordância dos valores de a + b, pode acontecer que os valores de a e b sejam muito diferentes, como no caso das estações de Irecê, Crateus e Sobral. Atribuímos essa falta de concordância entre os resultados obtidos com os mesmos dados, à diferença entre período de medida (década ou dia), e ao número de anos tratados.

## MATERIAL E MÉTODOS

Como foi visto anteriormente, os valores de  $a$  e  $b$  obtidos para região de Petrolina, variam bastante de um autor para outro. Em função disso, tentou-se verificar esses valores com dados da Estação Meteorológica de Mandacaru que fica próxima a Petrolina-PE.

### Dados e sensores

Este trabalho foi desenvolvido utilizando-se 13 anos - de dados (1968-1980) diários da Estação Meteorológica de Mandacaru.

Os valores da radiação global foram obtidos com um actinógrafo marca ROBITSZCH e a insolação com um heliógrafo tipo CAMPBELL STOCKES. A verificação dos dados e os cálculos foram realizados em um computador de marca DIGITAL de tipo DEC 10.

### Metodologia

Utilizou-se a metodologia aplicada por CARDON & GOSSE (s.d.) em trabalho semelhante desenvolvido na Costa do Marfim.

Os resultados são obtidos a partir de um programa de computador que processa o arquivo de dados disponíveis. Este arquivo é constituído de registros diários cuja leitura se faz dia por dia. Após a leitura e através de uma sobrotina, os dados do registro lido são submetidos a um índice. Este índice pode ser por exemplo o número do mês ao qual pertence o registro; o valor um para dias sem chuvas e o valor dois para dias com chuvas, etc. A subrotina de escolha do índice é o único elemento variável do programa para passagem de um estudo a outro.

Feita a leitura do arquivo e a classificação de todos os dados, são efetuados cálculos dos coeficientes  $a$  e  $b$  para cada valor do índice assim como o desvio-padrão de  $b$  e o coeficiente de correlação.

Determinando-se o não-paralelismo das retas de regres-

são dos coeficientes a e b, é aplicado ao coeficiente b o teste de DUNCAN modificado por JAMES (WILLIAMS, 1959 e JAMES, 1964), obtendo-se retas de regressão significativamente diferentes entre elas. No estudo das relações entre G e SS desenvolve-se para cada valor do índice, as seguintes etapas:

- a) Representação da nuvem de pontos correspondendo aos pares (G, SS).
- b) Estudo da precisão, em função de SS, da estimativa de G.
- c) Estudo do histograma das insolações relativas.
- d) Estudo do ponto médio e do desvio padrão em torno da reta de regressão, em função da insolação relativa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resultados das análises estatísticas

Foram calculados os coeficientes a e b mensais. Na Figura 1 mostra-se em função do mês o intervalo de confiança de b ao nível cinco por cento. Ver-se que a indeterminação sobre o valor de b é maior do que 0,03 o que não permite discriminar os valores de b entre eles. Para obter b com uma precisão maior, necessita-se agrupar dados de vários meses a fim de aumentar o tamanho da amostra. Por isso os testes estatísticos foram aplicados aos valores mensais de a e b.

Os resultados dos testes foram colocados na Tabela 2. Dois grupos de meses diferenciam-se significativamente.

Os meses de maio, abril, junho, fevereiro e os meses de agosto, novembro, setembro, dezembro.

Logo decidiu-se dividir o ano em dois períodos contendo cada um, um dos grupos de meses anteriores. Os outros meses foram classificados de maneira um pouco arbitrária de forma que cada período corresponda a uma sequência de meses. Determinou-se os seguintes períodos:

- . primeiro período: os meses de julho a janeiro.
- . segundo período : os meses de fevereiro a junho.

## Análise das relações entre G e SS

Os dois períodos de meses anteriores constituem-se respectivamente de 2265 e 1614 pares de dados. A análise destes dados resultou nas seguintes relações:

- . de julho a janeiro  $G = G_0 (0,284 + 0,408 \text{ SS/SSo})$
- . de fevereiro a julho  $G = G_0 (0,298 + 0,338 \text{ SS/SSo})$ .

Nos dois casos o coeficiente b foi obtido com um intervalo de confiança de 0,01.

Com o tratamento de todos os dados conjuntamente obteve-se a seguinte relação:  $G = G_0 (0,288 + 0,388 \text{ SS/SSo})$ .

Na queima do papel sensível do heliôgrafo é preciso que o ângulo da direção do sol com a horizontal ultrapasse um certo valor. Por isso vários autores (PERRIN de BRICHAMBAUT, 1963; DURAND, 1974) preconizaram tomar como duração do dia o tempo durante o qual o sol está acima de três graus em relação ao horizonte. A partir deste conceito foram feitas análises dos dados, obtendo-se as seguintes relações:

- . de julho a janeiro  $G = G_0 (0,285 + 0,394 \text{ SS/SSo})$
- . de fevereiro a junho  $G = G_0 (0,298 + 0,326 \text{ SS/SSo})$

As diferenças entre estes resultados e os anteriores são muito pequenas e não são significativas. Assim foi decidido tomar classificadamente como duração do dia o tempo entre o nascer e o pôr do sol sem efetuar a correção atmosférica.

A seguir analisou-se os dados, dividindo-os em 20 classes iguais de insolação relativa.

Examinando os histogramas da Figura 2, constata-se que o regime de insolação varia bastante com o período considerado o que contribue em justificar a divisão do ano em dois períodos para estimativa da radiação solar global.

Nesta análise detectou-se a validade da relação linear, calculando para cada classe de insolação relativa a ponto médio e o desvio-padrão em relação a reta de regressão. Excetuando-se a primeira classe (insolação relativa menor do que 0,05), constata-se na Figura 3, que os pontos médios são próximos a reta de regressão e que o desvio-padrão é sensivelmente o mesmo para todas as classes analisadas, o que justifica o

po de relação usada. Em outras condições climáticas, diversos autores (DURAND, 1974; CARDON & GOSSE, s.d.) constatarão a mesma anomalia para a mesma classe de insolação relativa e resolveram o problema eliminando dias sem sol das séries de medidas. Em seguida, analisou-se os dados retirando os dias completamente nublados. Neste caso o ponto médio da primeira classe de insolação relativa, aproxima-se nitidamente da reta de regressão, enquanto o desvio-padrão desta classe diminui também. Apesar disso os valores de  $a$  e  $b$  não variam muito. De fato, esse tipo de tempo acontece raramente no Nordeste do Brasil (ver histograma Figura 2), o que explica a pouca variação de  $a$  e  $b$  e para não complicar inutilmente o uso das fórmulas desenvolvidas, as retas de regressão obtidas, sem eliminar dados, foram consideradas válidas em todos os casos.

#### Comparação com outros resultados

As relações apresentadas foram obtidas tratando dados diários, logo serão comparados com resultados conseguidos com o mesmo tipo de dados ou aqueles de AZEVEDO *et al* (s.d.) com solarímetro EPPLEY e de AZEVEDO *et al* (1981) com actinógrafo ROBITSZCH.

A Tabela abaixo mostra os valores anuais de  $a$  e  $b$  obtidos para as duas estações com diferentes equipamentos de medida.

	a	b
Mandacaru com ROBITSZCH	0,29	0,39
Petrolina com EPPLEY	0,30	0,43
Petrolina com ROBITSZCH	0,33	0,41

Observando-se o coeficiente  $a$  constata-se que os valores de Mandacaru com ROBITSZCH e de Petrolina com o EPPLEY são muito similares, enquanto que o de Petrolina com o ROBITSZCH apresenta um valor bem maior. Ao contrário o coeficiente  $b$  de Mandacaru mostra-se menor que os obtidos para Petrolina.

na. Para verificar a razão desta dispersão dos valores de  $a$  e  $b$ , utilizou-se resultados de estações vizinhas, verificando-se que a incidência da radiação não variava muito entre Petrolina e essas estações.

Na Tabela 3 estão expressos valores de insolação da região de Petrolina (ver mapa na Figura 4), obtidos do estudo de AZEVEDO *et al* (1981). De maneira geral, ver-se que, se não tiver relevos, o regime de insolação varia pouco na região com tendência a ser maior em direção ao Piauí. Particularmente constata-se que as estações vizinhas do Rio São Francisco (Petrolina, Mandacaru, Cabrobó), tem um regime quase idêntico. Como não há razão para a nebulosidade variar entre estas três estações, deve-se esperar uma radiação global bem semelhante nos três casos. Na Figura 5 foram colocadas médias mensais para as 3 estações.

Exceto para os últimos meses do ano, os valores de Cabrobó são muito próximos dos valores obtidos em Petrolina com o solarímetro EPPLEY. A radiação solar global em Mandacaru, apesar de ter valores inferiores, não é muito diferente dos valores de Cabrobó, enquanto que os resultados obtidos para Petrolina com o actinógrafo ROBITSZCH são de 10 a 20% maior do que os outros.

De fato, os valores de  $G$  obtidos em Petrolina com os dois sensores não correspondem ao mesmo tempo de medida. Mas, analisando os dados de Mandacaru, mostrou-se que, durante os anos 1978-79 (período analisado com dados do solarímetro EPPLEY), a radiação global média foi maior do que durante os anos 1970-78 (período analisado com dados do actinógrafo ROBITSZCH), o que acentua o desvio. De qualquer maneira não há explicação para diferença de radiação global entre Cabrobó e Petrolina com o mesmo tipo de sensor e o mesmo período de medida. Logo conclui-se que o actinógrafo de Petrolina superestimava nitidamente o valor da radiação global. Ao contrário, constatou-se que para os anos 1978-79 a radiação global medida em Mandacaru era inferior a 6% em relação a radiação global obtida com o solarímetro EPPLEY em Petrolina. Devido o tipo de sensor usado em Petrolina, é bem possível que o actinógrafo ROBITSZCH de Manda-

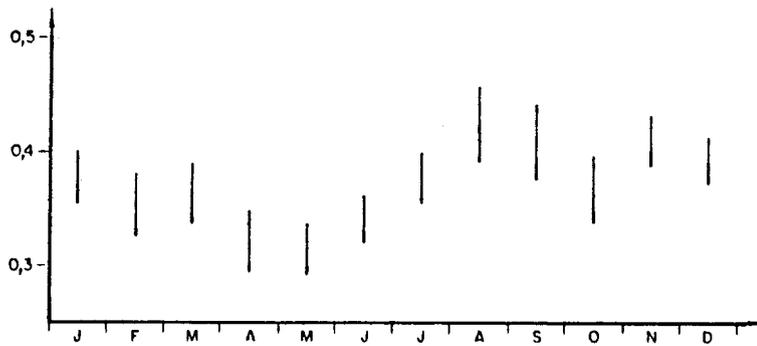


FIGURA 1. Evolução do valor do coeficiente  $b$  e do seu desvio padrão em função do mês.

ESTADO	ESTAÇÃO	RIBEIRO et alii (1980)			AZEVEDO et alii (1982)		
		a	b	a + b	a	b	a + b
BAHIA	IRECÊ	0,22	0,43	0,65	0,33	0,33	0,66
	SALVADOR	0,24	0,45	0,69	0,29	0,39	0,68
CEARÁ	BARBALHA	0,31	0,40	0,71	0,29	0,38	0,67
	CRATEÚS	0,25	0,45	0,70	0,31	0,35	0,66
	FORTALEZA	0,24	0,46	0,70	0,27	0,36	0,63
	QUIXERAMOBIM	0,26	0,35	0,71	0,30	0,34	0,64
	SOBRAL	0,22	0,46	0,68	0,30	0,36	0,66
PARAÍBA	JOÃO PESSOA	0,29	0,39	0,68	0,28	0,36	0,64
	PATOS	0,29	0,43	0,72	0,31	0,38	0,69
PERNAMBUCO	PETROLINA	0,31	0,49	0,80	0,33	0,41	0,74
	SURUBIM	0,29	0,45	0,74	0,32	0,34	0,66
PIAUI	FLÓRIANO	0,16	0,52	0,68	0,27	0,39	0,76

TABELA 1. Comparação dos valores de  $a$  e  $b$  obtidos por RIBEIRO (1980) e AZEVEDO (1981).

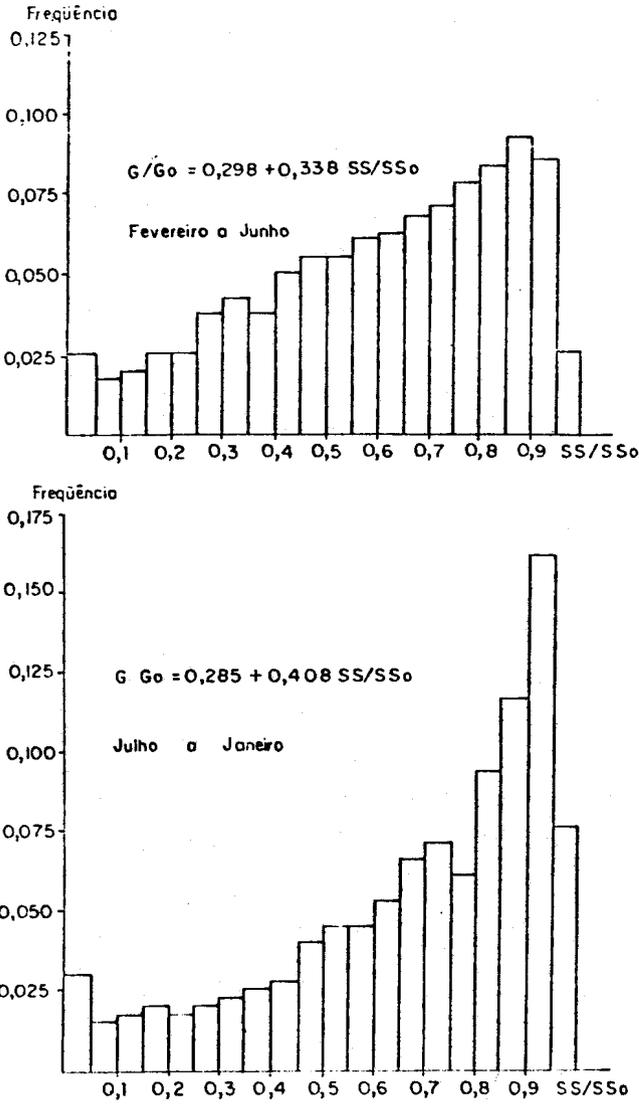


FIGURA 2. Histograma da insolação relativa para os dois períodos considerados.

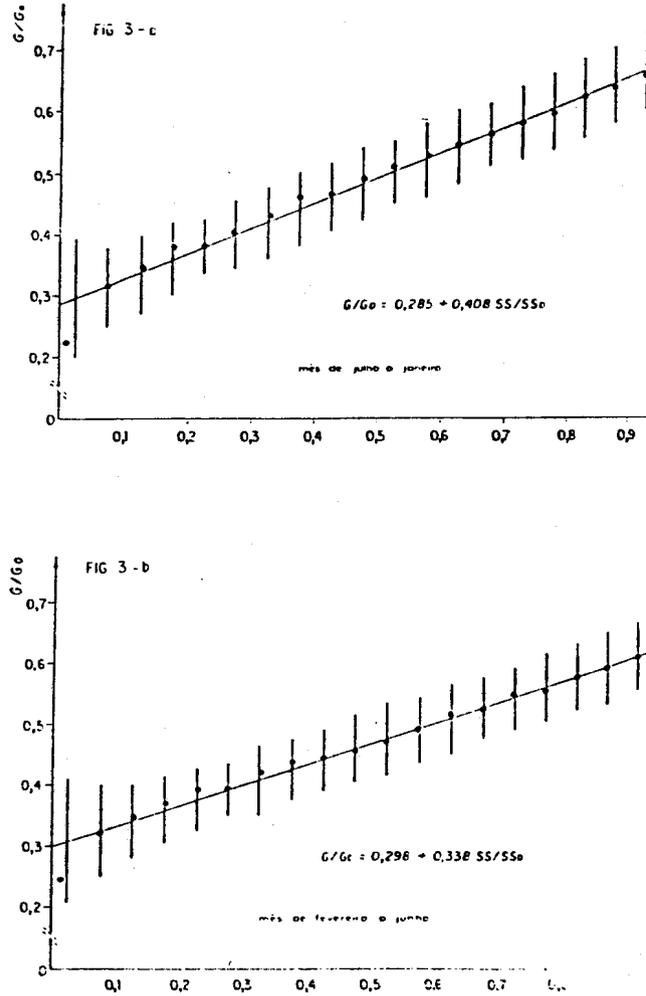


FIGURA 3. Desvio padrão e ponto médio para 20 classes de insolação relativa.

TABELA 2. Aplicação do teste de DUNCAN aos coeficientes b.

Os meses de números 5, 4, 6 e 2 são significativamente diferentes dos meses de números 12, 9, 11 e 8.

NÚMERO DE MÊS	8	11	9	12	1	7	10	3	2	6	4
5	S	S	S	S	S	S	S	S			
4	S	S	S	S	S	S	S	S			
6	S	S	S	S	S	S					
2	S	S	S	S							
3	S	S									
10	S	S									
7	S	S									
1	S										
12											
9											
11											

S: diferença significativa

TABELA 3. Insolação mensal em MANDACARU e algumas estações vizinhas\*

\* Resultados obtidos na Tabela 3 do trabalho de AZEVEDO *et al.* (1981).

ESTAÇÃO	ALTITUDE EM M	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANO
CAMPO SALES	561	o	o	o	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	Δ	Δ	Δ
BARBALHA	408	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	Δ	Δ
PAULISTANA	375	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	*	X	X	X	Δ	Δ
OURICURI	559	Δ	o	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	Δ	Δ
PETROLINA	372	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	Δ	X	X	X	Δ
CABRABÓ	325	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	Δ
MANDACARU	375	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	Δ	Δ
FLORESTA	312	X	Δ	Δ	Δ	Δ	o	o	X	X	X	X	X	Δ
SR. DO BONFIM	588	Δ	o	Δ	o	o	o	o	Δ	o	Δ	Δ	Δ	o
MONTE SANTO	545	Δ	Δ	Δ	Δ	o	o	o	o	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ

Insolação em horas: o - 4,1 a 6,0

Δ - 6,1 a 8,0

X - 8,1 a 10,0

\* - 10,1 a 12,0

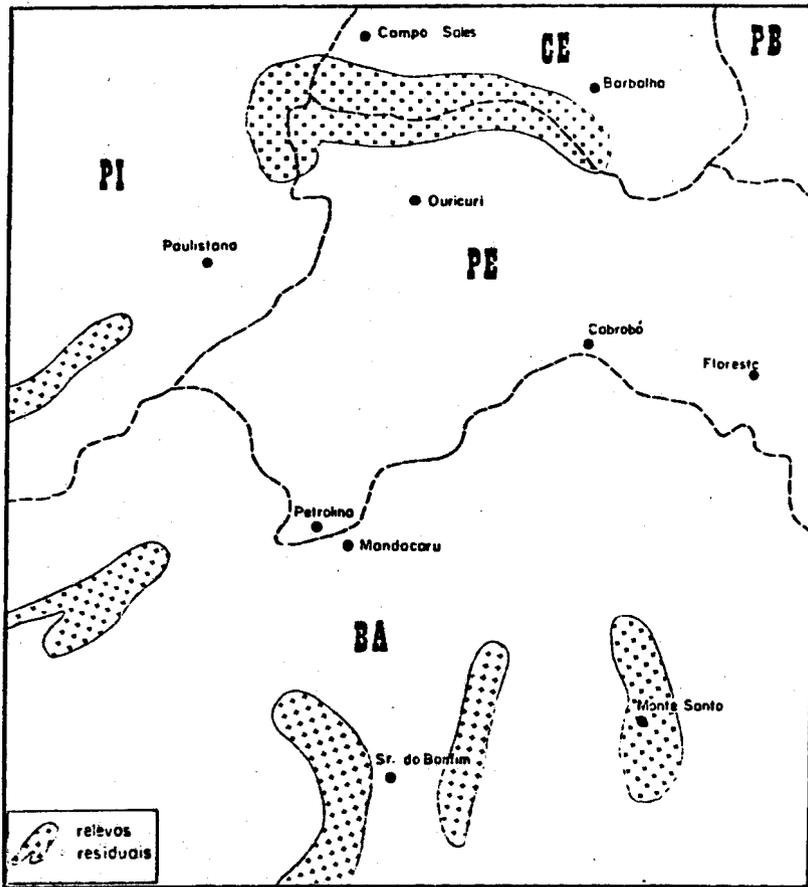


FIGURA 4. Localização das estações meteorológicas vizinhas a Mandacaru.

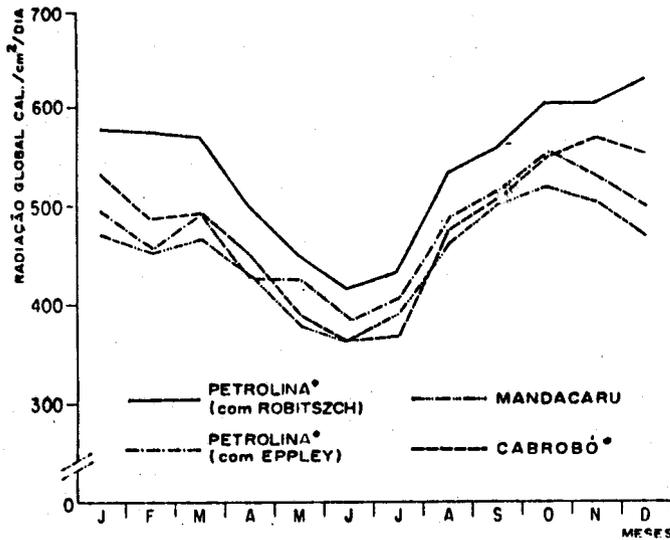


FIGURA 5. Comparação da radiação global (média mensal) de algumas estações.

caru subestime um pouco os valores de G. Neste caso os valores de a e b apresentados estariam um pouco inferiores aos reais.

### CONCLUSÕES

As análises efetuadas permitiram encontrar para região de Petrolina-PE duas relações entre o número de horas de brilho solar (insolação) e a radiação solar global, que correspondem a proximadamente às épocas chuvosa e seca da região.

Os resultados encontrados apresentam-se mais confiáveis que outros para região em função de ter-se trabalhado com uma série de dados maior (13 anos) e na escala diária. Por outro lado verificou-se que estudos realizados para períodos similares, apresentaram diferenças que podem ser ocasionadas pela qualidade dos dados e dos sensores de medida.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Pierre AUDRY, pelas sugestões e o acesso ao Centro de Processamento de Dados da Universidade Federal da Bahia, onde foi efetuado o trabalho de computação.

### REFERÊNCIAS

- ANGSTROM, A. Uber den Zusammenhang zwischen Strahlung und Sonnenscheindauer. Bioklimatische Beiblätter, 1:6-10, 1934.
- AZEVEDO, D. da C.; ARAÚJO, M.I.N.; BRITO, J.I.B. de & OLIVEIRA, M.M.C. Medidas e estimativas da radiação solar global no Brasil. s.n.t. 4p.
- AZEVEDO, P.V. de; VAREJÃO-SILVA, M.A. & VARGAS, G.A.O. Zonamento do potencial de energia solar do Nordeste. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, CFT, 1981. 51p. il. (Paraíba. Universidade Federal. Coleção Politécnica. Série Técnica, 2).
- BLACK, J.N.; BONYTHON, C.Q. & PRESCOTT, J.A. Solar radiation and duration of sunshine. Q.J.R. Meteorol. Soc., 80(344):

231-5, 1954.

- BRICHAMBAUT, C.P. de. Rayonnement solaire et échanges radiatifs naturels. Paris, Gauthiers Villare, 1963. 301p.
- CARDON, D. & GOSSE, G. Relationships between global radiation and sunshine duration in Ivory Coast. s.n.t. no prelo - solar Energy.
- DECICO, A & SANTOS, J.M. Consideração sobre a estimativa do potencial de radiação solar global. Ci. e Cult., 32(2): 204-9, fev. 1980.
- DURAND, R. Estimation du rayonnement global à partir de la durée d'insolation. Ann. Agron., 25(6):779-95, 1974.
- GAUTIER, C.; DIAK, G. & MASSE, S. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. J. Appl. Meteorol., 19 (8): 1005-12, Aug. 1980.
- JAMES, J.W. Comparing regression and correlation coefficients. Appl. Statist., 13 127-32, 1964.
- OMETTO, J.C. Estudo das relações entre: radiação solar global, radiação líquida, insolação. Piracicaba, SP, ESALQ, 1968 . 64p. il. Tese Doutorado.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Trans. R. Soc. South Aust., 64 (1):114-8 , 1940.
- REIS, A.C. de S.; COELHO, T. de J.T. & ALVES, N.L. de L. Estimativa da energia solar global na área do Recife, baseada em registros de insolação. Pesq. agropec. bras. Ser. Agron. Brasília, 8 (7):177-9, 1973.
- RIBEIRO, A.M. de A. Estudo das relações entre radiação solar global (Qg) e razão de insolação (n/N), em algumas regiões do Brasil. Piracicaba, SP, ESALQ, 1980. 88p. Tese Mestrado-Agrometeorologia.
- RIETWEL, M.R. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. Agric. Meteorol., 19 (3):243-52, 1978.

- SÁ, D.F. de. Alguns aspectos da energia solar em Mandacaru. B. Rec. nat., Recife, PE, 11 (1/2): 11-26, jan/dez. 1973.
- STANHILL, G. A comparison of four methods of estimating solar radiation. In: COLLOQUE SUR LA METHODOLOGIE VEGETABLE, Montpellier, França, 1965. Actes... Montpellier, UNESCO, 1965. p. 55-61.
- STIGTER, C.J. & WARYOBA, J.M. Campbell - Stockes data for radiation calibration purposes in East África. Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol., Ser. B., 29:99-109, 1980.
- WILLIAMS, E.J. Regression analysis. New York, J. Willey, 1959. 214p.