

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA MENSAL EM PELOTAS, RS.

João Baptista da Silva¹, Marta Pereira Llopart², Nathalie Tissot Boiaski³

ABSTRACT - The knowledge of the solar radiation (SR) and its interactions with other meteorological variables can help the planning of various activities. This variable is very important in studies of agroclimatic zone, sowing periods, potential productivity, necessity of irrigation and the development and use of the growth and culture yield prediction models. Its also alternative source of energy in the moment that if has feeling the scarceness of the traditional source of energy. This paper reports the results of a study of the SR pattern in Pelotas, RS, Brazil, using daily records ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$) from the Estação Agroclimatológica de Pelotas during the 1961/2003 period (except the year of 1989). A preliminary study revealed that the SR monthly average follows the normal distribution, in all months. The results of the statistical analysis based on this assumption indicate that the SR monthly average decreases from January to June, where it reaches the highest value and increases until December, where it attains the maximum. Exactly the inverse that happens with the relative humidity. In the modelling of data to long of time, for the harmonic analysis, distinguish the annual wave with 99% of representativity.

INTRODUÇÃO

Desde os tempos pré-históricos, o homem tem voltado ao sol grande respeito, visto que os povos de antigas civilizações reconheciam no astro a fonte de vida e de luz. A constatação das variações das estações do ano, o rebrotar das plantas sob a ação da luz solar e a ausência de frio consistiu nas primeiras observações que introduziram a descoberta das inter-relações entre o Sol e a Terra (Argentièrre, 1979). Steinmetz et al. (1999) afirmam que a radiação solar é um dos elementos meteorológicos mais importantes na produção agrícola, pois além de ser fonte básica de energia no processo fotossintético das plantas é de grande utilidade, dentre outros, em estudos de zoneamentos agroclimáticos, épocas de semeadura, produtividade potencial, necessidade de irrigação e no desenvolvimento e uso de modelos de crescimento e de rendimento das culturas. Além de sua importância no desenvolvimento das plantas não se pode desprezar o benefício da radiação solar como fonte de energia solar. No momento de escassez das fontes de energia tradicionais, as novas fontes de energia, como; eólica, solar, biomassa, etc., devem ser buscadas com afinho e nesse instante o conhecimento das disponibilidades de radiação solar numa região, são fundamentais. O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento da radiação solar média mensal em Pelotas, RS, como contribuição no planejamento das atividades que dependem desta variável e como subsídio para estudos mais avançados.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados foram às médias mensais da radiação solar calculadas a partir dos registros diários,

no período de 1961/2003 (exclusive o ano de 1989, por falta de observações), coletados pela estação Agroclimatológica de Pelotas, situada no campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), a 15 km do centro da cidade de Pelotas (latitude: $31^{\circ} 52' S$, longitude: $52^{\circ} 21' W$, altitude: 13,2m). A metodologia consistiu de uma análise estatística descritiva das médias mensais de radiação solar nos 42 anos de observação. Foram construídas distribuições de frequência das médias mensais e estimadas as principais medidas estatísticas (de posição, de dispersão, de assimetria e de curtose). Construíram-se, também, gráficos de caixa (Box Plot) para cada um dos 12 meses do ano. Foram realizados testes de normalidade, Kolmogorov-Smirnov (KS) e Shapiro-Wilk (SW), para cada um dos meses do ano, na hipótese da existência desta valiosa propriedade naqueles dados (Assis et al. 1996; Shapiro, 1990). Finalmente, aos valores médios da radiação solar, no conjunto dos 42 anos, ajustou-se uma equação baseada na regressão harmônica, tendo em vista a natureza periódica ou quase-periódica da variável em questão. A equação ajustada permitirá destacar a possível sazonalidade dos dados e indicar os pontos críticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

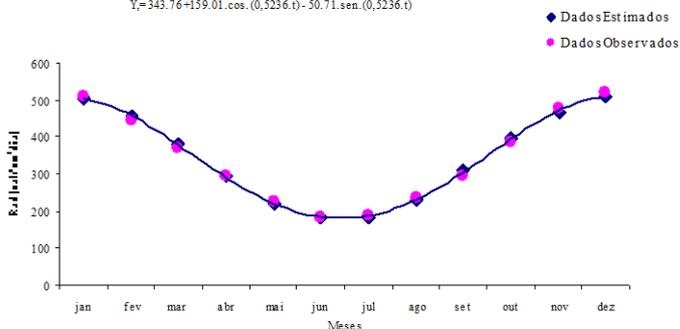
Na Tabela 1 são apresentadas as medidas estatísticas estimadas para cada um dos meses do ano. Encontram-se aí diversas medidas de posição e dispersão, os coeficientes de assimetria e curtose e o intervalo de confiança (5%) da média. O mês de dezembro apresentou a média mais alta, $521,96 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e o mês de junho a mais baixa com $181,60 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Os coeficientes de variação apresentaram-se de 7,27% a 12,06%, mais do que o dobro daqueles obtidos com a umidade relativa, mas ainda indicando uma baixa variabilidade das médias mensais, no conjunto de 42 anos de observações de cada mês, sugerindo a presença de sazonalidade. Os coeficientes de assimetria e de curtose muito próximos de zero e três, respectivamente, antecipam que a variável estudada segue aproximadamente à distribuição normal em todos os meses do ano. Os testes de normalidade KS e SW, para o nível de probabilidade de 5%, comprovaram a normalidade dos dados em todos os meses. Pode-se estimar, por exemplo, que, em janeiro, uma radiação solar de no mínimo $450 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ocorrerá em cerca de 90% dos anos de observação, visto que: $P(X \geq (450 - 507,12)/43,50) = P(Z \geq -1,31) = 0,90$. Na Figura 2, estão representados os histogramas dos meses de fevereiro e agosto como exemplificação. Observa-se que no teste de KS, $D_{\text{máx}} = 0,10061$ para fevereiro e $0,08644$ para o mês de agosto, ambos não significativos a 5%. No teste SW a estatística W foi igual a $0,9597$ para fevereiro e $0,9657$ para agosto, também, não significativos a 5%. Isto ocorreu com todos os meses do ano. Considerando-se os valores correspondentes ao esquema de cinco números (valor mínimo, valor

¹ Engenheiro Agrônomo, Livre Docente, Doutor em Ciências, Bolsista do CNPq, Professor Titular (Aposentado) do Instituto de Física e Matemática (UFPEL). jsilva@ufpel.edu.br

² Estudante de Meteorologia da UFPEL. Bolsista de Iniciação Científica da FAPERGS. martallop@hotm.com

³ Meteorologista. Ex-Bolsista de Iniciação Científica da FAPERGS.

$$Y_t = 343,76 + 159,01 \cos(0,5236t) - 50,71 \sin(0,5236t)$$



dispersão, assimetria e curtose, quantis inferior e superior, intervalo de confiança da média a 5%, da radiação solar média mensal para os meses do ano, em Pelotas, RS, de 1961/2003.

Estatística	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Valor Min.	416,60	362,30	283,20	240,60	183,20	129,50
Valor Max.	581,80	535,50	481,70	366,40	276,70	226,20
Total	21299	18631	15542	12403	9499	7627
Média	507,12	443,61	370,10	295,3	226,20	181,60
D.Padrão	43,50	46,90	34,78	33,17	21,36	21,03
Cof.Var%	8,60	10,57	9,40	9,25	12,06	11,58
Cof.Assim.	-0,23	-0,01	0,66	0,55	-0,38	-0,32
Cof.Curt.	2,27	1,98	4,63	4,36	3,45	2,86
Mediana	509,85	447,70	358,20	297,90	224,0	182,75
Quartil Inf.	483,80	400,60	348,40	263,10	211,30	167,10
Quartil Sp.	543,10	487,10	391,50	319,40	238,40	196,70
IC 5% L.S.	520,67	458,22	380,89	305,49	237,82	188,15
IC 5% L.I.	493,58	428,99	359,22	270,65	219,27	175,05
Estatística	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Valor Min.	148,40	187,10	192,20	317,50	418,50	431,40
Valor Max.	228,30	279,40	366,90	445,40	555,70	589,50
Total	7932	9990	12326	16068	19980	21922
Média	188,86	237,86	293,50	382,59	475,73	521,96
D.Padrão	20,66	25,49	32,35	32,25	35,96	37,95
Cof.Var%	10,95	10,72	11,02	8,43	7,56	7,27
Cof.Assim.	0,02	-0,09	-0,58	-0,06	0,26	-0,46
Cof.Curt.	2,18	1,97	4,01	2,27	2,25	3,18
Mediana	189,80	238,80	298,25	381,60	476,55	530,05
Quartil Inf.	172,60	216,0	271,50	357,90	442,50	499,70
Quartil Sp.	204,80	256,50	312,30	405,10	497,70	537,70
IC 5% L.S.	195,31	245,80	303,58	392,64	486,93	533,79
IC 5% L.I.	182,42	229,92	283,42	372,54	464,53	510,14

Por meio da análise harmônica, a equação ajustada aos valores médios da radiação solar média mensal foi:

$$Y_t = 343,70 + 159,04 \cos(0,5236t) - 50,73 \sin(0,5236t)$$

$t = 0, 1, 2, \dots, 11$ meses, com um coeficiente de determinação (r^2) de 0,99, indicando um excelente ajuste do modelo aos dados observados. Com o auxílio desta equação verifica-se que a máxima radiação solar média mensal estimada foi 506,8 $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ocorrida em dezembro e a mínima mensal estimada, 180,61 $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em junho. Observa-se na Figura 1, que a radiação solar média mensal varia ao longo do ano de forma decrescente a partir de janeiro até atingir o mínimo em junho e, daí, crescendo até dezembro, alcançando o máximo neste mês.

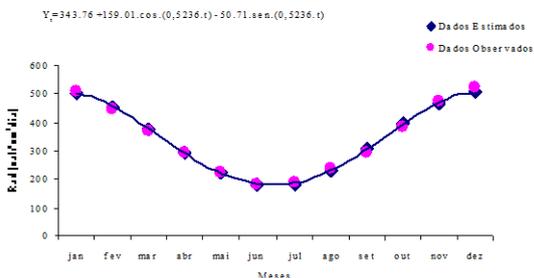


Figura 1. Equação de regressão periódica ajustada aos valores médios da radiação solar, em Pelotas, RS, no período de 1961/2003.

O comportamento desta variável é o inverso daquele da umidade relativa, como é comum ocorrer nas regiões temperadas semelhantes à região de Pelotas.

da
xt),
es

ão,

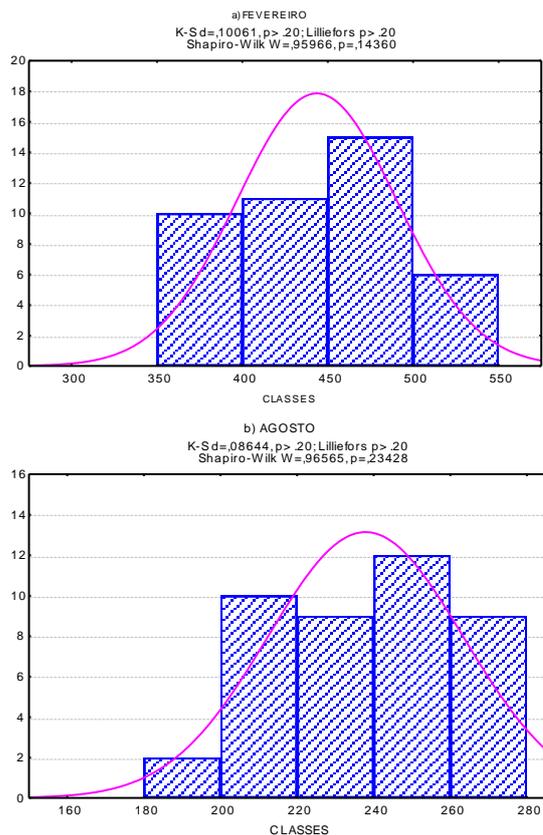


Figura 2. Histogramas da radiação solar média mensal e testes de KS e SW dos meses de fevereiro (a) e agosto (b).

As médias mensais da radiação solar seguem aproximadamente a distribuição normal, em todos os meses do ano. As análises estatísticas permitem concluir que a radiação solar média mensal apresenta-se mais alta nos meses de primavera-verão atingindo o máximo no mês de dezembro e o mínimo em junho. A média anual da radiação solar de, aproximadamente, 343,7 $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com variabilidade média de menos de 10%, ao longo dos meses, indica uma boa possibilidade do aproveitamento da energia solar, pelo menos em mais de 50% dos meses. A radiação solar disponível tem definido o estabelecimento das culturas mais adequadas para a região de Pelotas, pelos estudos realizados do zoneamento agroclimático.

REFERÊNCIAS

- Argentièrre, R. O Sol e os Planetas. São Paulo, SP: Ed. Prncar, 1979. 176p.
- Steinmetz, S.; Assis, F. N.; Soares, W. R. Estimativa da radiação solar global a partir da insolação na região de Pelotas, Rio Grande do Sul. Agropecuária, Clima Temperado. Pelotas, V.2, n.1, p 77-851, 1999.
- Assis, F. N.; Arruda, H. V.; Pereira, A. R. Aplicações de Estatística à Climatologia. Teoria e Prática. Universidade Federal de Pelotas, Editora Universitária, 1996. 161p.
- Shapiro, S. S. How to test normality and other distributional assumptions. 2° ed. Wisconsin: American Society for Quality Control, 1990. 92p.