

TENDÊNCIA DE SÉRIES DE RADIAÇÃO SOLAR E INSOLAÇÃO PARA A LOCALIDADE DE PELOTAS/RS

SUÉLEN C.R. SILVEIRA¹, CLAUDIA F.A. TEIXEIRA-GANDRA², RITA DE C.F. DAMÉ³, CRISTIAN S. MENDES¹, JEFERSON MEIRA¹

¹ Acadêmico do Curso de Eng. Agrícola, Centro de Engenharias/CEng, UFPel – RS, silveira.suelen@gmail.com, cristiansmendes@hotmail.com, meiraengagricola@gmail.com

² Eng. Agrícola, Profa. Associada, Centro de Engenharias/CEng, UFPel, cfteixei@gmail.com.

³ Eng. Agrícola, Profa. Titular, Centro de Engenharias/CEng, UFPel, ritah2o@hotmail.com.

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: A energia solar também como fonte de energia renovável requer um conhecimento maior acerca da sua variabilidade. Nesse sentido objetivou-se analisar prováveis tendências nas séries totais mensais de radiação solar e da insolação observados à superfície, no período de 1980 a 2021, para a localidade de Pelotas/RS. Os dados foram obtidos da Estação Agroclimatológica de Pelotas/RS no período de 1980 a 2021. A análise da tendência das séries temporais foi realizada através do teste não paramétrico de Mann-Kendall. O referido teste considera a presença de uma tendência estatisticamente significativa usando o valor da estatística Z para testar a hipótese nula, ou seja, não há tendência. Os resultados mostraram que houve tendência significativa decrescente em 75% dos meses da série de Radiação Solar, enquanto para a série de Insolação, 33% dos meses apresentaram tendência significativa crescente, para um nível de significância de 5%.

PALAVRAS-CHAVE: séries Temporais, teste não paramétrico, Mann-Kendall

TREND OF SOLAR RADIATION AND INSOLATION SERIES FOR THE LOCALITY OF PELOTAS/RS

ABSTRACT: Solar energy also as a renewable energy source requires greater knowledge about its variability. In this sense, the objective was to analyze probable trends in the total monthly series of solar radiation and insolation observed at the surface, in the period from 1980 to 2021, for the locality of Pelotas/RS. Data were obtained from the Estação Agroclimatológica of Pelotas/RS in the period from 1980 to 2021. The analysis of the time series trend was performed using the non-parametric Mann-Kendall test. This test considers the presence of a statistically significant trend using the value of Z to test the null hypothesis, that is, no trend exists. The results showed that there was a significant downward trend in 75% of the months of the Solar Radiation series, while for the Insolation series, 33% of the months showed a significant upward trend, for a significance level of 5%.

KEYWORDS: time series, non parametric test, Mann-Kendall

INTRODUÇÃO: A radiação solar é a principal fonte de energia para os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no sistema Terra-atmosfera. Segundo Lohmann et al. (2006), o estudo da variabilidade da radiação solar é importante em diversas áreas, como engenharia, arquitetura, meteorologia, agricultura, hidrologia e como indicador da variabilidade climática. Neste sentido ganha importância o estudo de tendências e variabilidade climática, podendo ser as mesmas medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, tais como a radiação solar e o número de horas de sol. Back (2001) discute a aplicação de análises estatísticas para identificação de mudanças climáticas, e apresenta alguns testes estatísticos aplicados com este propósito. A análise de tendência em séries temporais pode ser realizada por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais (YUE et al., 2002). Estudos relacionadas a este tema ainda são incipientes, o que requer maior empenho de pesquisas nesse sentido. Silva et al. (2010) avaliaram as tendências temporais do saldo de radiação no Nordeste do Brasil, referentes ao período de 1948 a 2006. Os autores encontraram que a radiação solar global de duas localidades analisadas (Petrolina/PE e Juazeiro/BA) apresentou tendência negativa durante o período de 1975 a 2006, para um nível significância de 5% de probabilidade. Nesse sentido, objetivou-se analisar prováveis tendências nas séries mensais de radiação solar e da insolação observados à superfície, no período de 1980 a 2021, para a localidade de Pelotas/RS.

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados diários de Radiação Solar e de Insolação foram obtidos da Estação Agroclimatológica de Pelotas (31°52'S e 52°21', altitude de 13,24 m), pertencente a Universidade Federal de Pelotas, e compreendem o período de 1980 a 2021, totalizando 42 anos de registros. Para a aplicação da metodologia proposta foram constituídas séries mensais, sendo a análise da tendência das séries temporais realizada pelo teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), cuja estatística do teste é:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

em que,

x_j - dados estimados da sequência de valores;

n - número de elementos da série temporal;

$\text{sign}(x_i - x_j)$ - é igual a -1, para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$.

Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, em que para valores iguais de x são calculados como:

$$E[S] = 0 \quad (2)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

em que,

t_p - número de dados com valores iguais em certo grupo;

q - número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo p ; o segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

Utilizando-se a Eq. 1, tem-se que o valor positivo de S indica tendência também positiva dos dados que crescem com o tempo; por outro lado, o valor negativo indica tendência decrescente. Sabendo-se que S é normalmente distribuída e que tem média zero e variância,

dadas pelas Eqs. 2 e 3, respectivamente, pode-se testar se a tendência positiva ou negativa é significativamente diferente de zero; se S é significativamente diferente de zero, a hipótese nula H_0 pode ser rejeitada para certo nível de significância apontando para a existência de tendência; inversamente, a hipótese alternativa (H_1) é aceita. O teste estatístico parametrizado (Z_{MK}) é computado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{para } S > 0 \\ 0 & \text{para } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando-se o valor de Z_{MK} para testar a hipótese nula, ou seja, nenhuma tendência existe. Um valor positivo de Z_{MK} indica um aumento da tendência e, quando negativa, aponta tendência decrescente. Para testar a tendência monotônica crescente ou decrescente no nível de significância de p , a hipótese nula será rejeitada se o valor absoluto de Z_{MK} for maior que $Z_{1-p/2}$, utilizando-se a tabela da distribuição normal cumulativa padrão, para um nível de significância de $p = 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores da estatística de Mann-Kendall para as séries mensais de Radiação Solar e Insolação para a localidade de Pelotas/RS encontram-se na Tabela 1. Considerando-se a série de Radiação Solar é possível observar que não houve evidência de alteração de tendência para a maioria dos meses analisados, uma vez que o valor de Z_{MK} foi inferior ao valor crítico da estatística (-1,96; 1,96) para o nível de significância de 5%. Para os meses de maio, junho, agosto e outubro, verifica-se alteração de tendência significativa crescente. Tendências positivas significativas foram detectadas para a Insolação nos meses de fevereiro, junho e julho e novembro. Para os demais meses não houve evidência de tendência, ou seja, os valores da estatística Z_{MK} foram menores do que 1,96. Analisando-se os resultados não é possível estabelecer uma perfeita coincidência entre os meses das duas séries estudadas. Apesar da não coincidência, encontrou-se que a maioria das alterações ocorreram nos meses de inverno. Verifica-se que nas séries de Radiação Solar e Insolação, em 33% dos meses, rejeita-se H_0 , ou seja, tendências crescentes. Este resultado torna-se relevante uma vez que a amostra dos dados abrange um período contínuo de observação de 42 anos (1980-2021). Silva et al. (2010) analisaram a Radiação Solar por décadas e concluíram que há uma variabilidade na inclinação das tendências ao longo do período de estudo, predominando tendências negativas até a década de 1978-1987 e uma inversão, ou seja, tendências positivas, até a década de 1998-2006. Várias pesquisas indicam que esta variabilidade da radiação solar, observada até a quarta década, ocorreu em consequência das altas taxas de aerossóis antropogênicos, maior frequência de nebulosidade. Os resultados de Silva et al. (2010) sugerem que as séries devam ser particionadas, para que se possa observar se os resultados obtidos mantêm as mesmas declividades, bem como averiguar a década que ocorre a tendência. Dentre os não-paramétricos, o teste de Mann-Kendall considera que na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade não deve ser alterada ao longo do tempo (série aleatória simples).

TABELA 1. Valores da estatística de Mann-Kendall para as séries de totais mensais de Radiação Solar e Insolação para a localidade de Pelotas/RS.

MÊS	Radiação Solar		Insolação	
	Z _{MK}	H ₀ (Z)	Z _{MK}	H ₀ (Z)
Jan	0,00	A	1,68	A
Fev	0,67	A	3,06	R
Mar	0,93	A	1,22	A
Abr	0,11	A	1,59	A
Mai	2,41	R	1,35	A
Jun	2,51	R	2,22	R
Jul	1,71	A	2,67	R
Ago	2,22	R	1,27	A
Set	1,76	A	0,29	A
Out	2,35	R	0,26	A
Nov	0,10	A	2,81	R
Dez	0,14	A	0,49	A

A: aceita H₀ a 5% de probabilidade; R: rejeita H₀ a 5% de probabilidade; Z_{Tab} = -1,96; 1,96.

CONCLUSÕES: As variáveis climatológicas referentes à radiação solar e insolação no município de Pelotas/RS não apresentam tendência crescente ou decrescente nos meses de primavera, verão e outono. Nos meses do inverno houve alterações. Cabe a continuação de pesquisa com estas e demais variáveis climatológicas quanto ao seu comportamento, visto a influência destas sobre a tecnologia e ao bem-estar.

REFERÊNCIAS:

- BACK, Á.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.717-726, 2001.
- BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas a seis séries mensais de temperatura do ar da secretaria de agricultura e abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.279-296, 2011.
- FONTANA, D.C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, p.87-91, 1996.
- KENDALL, M.G. Rank correlation measures. London: Charles Griffin, 1975. 220p.
- LOHMANN, S.; SCHILLINGS, C.; MAYER, B.; MEYER, R. Long-term variability of solar direct and global radiation derived from ISCCP data and comparison with reanalysis data. **Solar Energy**, v.80, n.11, p.1390-1401, 2006.
- MANN, H.B. *Econometrica*. The Econometric Society, v.13, n.3, p.245-259, 1945.
- SILVA, R.A.; SILVA, P. R.; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 501-509, 2010.
- SILVA, V.P.R.; PEREIRA, E.R.R.; AZEVEDO, P.V.; SOUSA, F.A.S.; SOUSA, I.F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.131-138, 2011.
- YUE, P.S.; YANG, T.C.; WU, C.K. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. **Journal of Hydrology**, v.260, p.161-175, 2002.