

AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIAS DO PARÂMETRO RADIAÇÃO GLOBAL NA CIDADE DE JOÃO PESSOA

José Moreira da Silva Júnior¹
José Ribeiro Farias Neto²
Louise Pereira da Silva³
Monica Carvalho⁴
Raphael Abrahão⁵

INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, discussões sobre mudanças climáticas e seus impactos obtiveram centralidade no mundo, mostrando crescente associação entre essas mudanças e o risco que submetem ao planeta. Para o *Met Office UK* (2018), o ano de 2017 foi o ano mais quente da história sem o fenômeno natural El Niño, o que o elenca como terceiro mais quente dos registros históricos, atrás apenas de 2015 e 2016. Estabelecendo um comparativo entre o período de 1850-1900 e o ano de 2017, nota-se uma evolução da temperatura média do ar de $1,1 \pm 0,1$ °C, sendo de $0,38 \pm 0,1$ °C o aumento em relação ao período de 1981-2010 (MET OFFICE UK, 2018). Já o ano de 2018 foi o quarto mais quente já registrado. O período 2015-2018 apresenta os 4 anos mais quentes, sendo 2018 o mais frio entre eles, com estimativa de $0,99 \pm 0,1$ °C acima da era pré-industrial, 1850-1900 (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2019).

Um fator preponderante nesse aumento da temperatura do ar do planeta Terra são os gases de efeito estufa, tais como dióxido de carbono e metano. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, 2014) aponta para a ampliação da participação desses gases na atmosfera no último século. O CO₂ emitido por fontes industriais e produção de energia contribuiu com cerca de 78% no aumento das emissões entre 1970 e 2010. No caso de conservação do atual cenário de emissões, a temperatura média do ar poderá chegar a ser 4,8 °C maior no final do século atual, 2081-2100, que no final do século anterior, 1986-2005.

No ano de 2016, 85,52% da energia consumida teve como fonte combustíveis fósseis, (sejam derivados do petróleo, gás natural e carvão mineral), enquanto 6,86% eram gerados por hidroelétricas, 4,46% nuclear e 3,19% fontes renováveis (BRITISH PETROLEUM, 2018). As fontes renováveis apresentaram um crescimento de 17% em relação ao ano de 2016, atingindo a marca de 69 Mtoe. Nesse sentido, surge a necessidade de buscar a utilização de fontes de energia que tenham potencial de mitigar consideravelmente os impactos ambientais.

Sabe-se que a alteração de parâmetros climáticos leva a mudanças climáticas, gerando problemas ambientais de ordem mundial, também podendo interferir na produção de energias renováveis, como mostrou Farias Neto *et al.* (2018). Em alguns locais, as mudanças climáticas beneficiam a produção de energia e, em outros, prejudicam. Isso indica que a avaliação das tendências é fundamental para determinar a localização de parques de energias renováveis.

¹Mestrando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, junior_moreira88@hotmail.com;

²Mestrando pelo Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, joseneto93@gmail.com;

³ Mestrando do Curso de Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, louise.silva@cear.ufpb.br;

⁴ Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade de Zaragoza - ESPANHA, monica@cear.ufpb.br;

⁵ Doutor em Engenharia Química e Ambiental pela Universidade de Zaragoza - ESPANHA, raphael@cear.ufpb.br

Silva *et al.* (2018) verificaram que na Zona da Mata Paraibana, observando mudanças climáticas históricas de 1961 até 2014, a produção de energia elétrica fotovoltaica foi muito pouco afetada. Os valores da temperatura média mensal sofreram uma tendência de aumento em todo o período, porém, não houve alterações bruscas ao longo do período analisado, e por isso não houve uma modificação significativa na eficiência dos dois modelos de painéis fotovoltaicos testados.

Ao interagir com a atmosfera terrestre, a radiação solar sofre algumas alterações de direção e magnitude, dividindo-se basicamente em duas parcelas: direta e difusa. A direta é uma parcela que sofre poucas alterações de direção, enquanto a difusa tem sua direção modificada pelo espalhamento causado pela atmosfera. Radiação global corresponde a totalidade dessas duas parcelas, sendo o fluxo de radiação solar em uma superfície horizontal, como o solo (Duffie e Beckman, 2013). Bartók *et al.* (2017) compararam as projeções de quatro modelos climáticos regionais da Europa (CCLM, RCA4, WRF, ALADIN) com os modelos globais CMIP5, avaliando o impacto climático no parâmetro radiação global. Chegando a resultados discrepantes entre os modelos regionais e os globais. Os modelos regionais apresentaram média de decréscimo no parâmetro de $-0,60 \text{ W/m}^2$ por década, enquanto a média relacionada aos modelos globais provocaria aumento de $+0,39 \text{ W/m}^2$ por década, no período de 2006-2100. Essa diferença é atribuída a nebulosidade, visto que tal parâmetro apresenta tendência negativa de $-0,24\%$ por década nos modelos globais e nos modelos regionais nenhuma tendência significativa aparece. Impacto no parâmetro radiação global também pode ser verificado em Ruosteenoja *et al.* (2019) que avaliaram seu comportamento na Índia, usando modelos climáticos globais CMIP5. Quando comparado com o período 1971-2000, o período 2030-2059 terá redução nesse parâmetro na faixa de $0,5\%$ a 4% .

Conforme exposto, se mostra importante o entendimento da dinâmica do clima, avaliando tendências e fazendo projeções de parâmetros climáticos. É nesse propósito que se insere o presente estudo, visando avaliar como se comporta a radiação global na cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba. Servindo também como etapa inicial para futuros estudos do grupo de pesquisa, que avaliará ainda, a partir dos dados de radiação global, o impacto das tendências climáticas na produção de energia solar térmica na mesma região. Este trabalho é parte de um estudo mais amplo, que inclui dissertações focadas na compreensão dos impactos das mudanças climáticas na produção de energia.

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo entender o comportamento e a evolução do parâmetro radiação global para a cidade de João Pessoa (Paraíba), através da análise estatística de tendências de séries temporais desse indicador.

METODOLOGIA

A área de estudo selecionada foi a cidade de João Pessoa, capital e mais importante município do estado da Paraíba. Dados foram obtidos da estação meteorológica automática de João Pessoa, João Pessoa-A320, (código: OMM: 81918; latitude: -7.17° ; longitude: -34.82° ; altitude: 34 m), referentes a todo seu período de registro do parâmetro radiação global, isto é, 2007 a 2018. Os dados dessa estação meteorológica foram fornecidos por meio de consulta ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

A rede de estações meteorológicas automáticas do INMET emprega piranômetros da marca Kipp & Zonen, nos modelos CM6B e CPM6, com características técnicas similares. Seu funcionamento consiste numa aferição a cada 5 segundos, gerando 12 amostras ao longo de 1

minuto, dessas 12 amostras uma média é tomada e atribuída ao minuto. Ao fim de cada hora, são somadas as médias referentes aos minutos e obtém-se assim a radiação global desse período.

Os dados brutos recebidos do INMET passaram por um tratamento, em que foram dispostos em planilhas e organizados, tendo sido então submetidos a uma verificação de controle de qualidade, que permitiu eliminar erros gerados por problemas técnicos de equipamentos da estação meteorológica.

Para a análise de tendências foram usados testes não paramétricos, pois os dados tanto mensais como sazonais não apresentaram distribuição normal. A aplicação dos testes estatísticos foi feita utilizando o programa Makesens, versão 1.0, considerando probabilidades de erro entre 0,1% e 10%. Os testes escolhidos para a análise foram o de Mann-Kendall e Sen, tendo o primeiro sido proposto inicialmente por Sneyers (1975), possibilitando avaliar a tendência estatística de uma série temporal. Mann-Kendall é tido como o modelo mais adequado para análise de mudanças climáticas em séries temporais (GOOSSENS; BERGER, 1986), enquanto o de Sen estima quantitativamente uma tendência pelo cálculo do declive de Sen (SALMI *et al.*, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados, após tratamento, permitiu a caracterização da radiação global e a avaliação do comportamento e das tendências por meio das séries temporais. Com relação à caracterização, é possível perceber, conforme mostra a figura 1, valores máximos em meses de verão e mínimos em meses de inverno, com média anual de 240 W/m². Tal observação corresponde ao clima típico da cidade de João Pessoa, com invernos mais chuvosos. Verifica-se ainda que a média de radiação global chega ao valor máximo médio de 276 W/m² no mês de novembro e mínimo de 192 W/m² no mês de junho.

A dispersão das séries temporais do parâmetro pode ser verificada, além da confirmação do padrão de comportamento ao longo do ano, com maiores valores no verão e menores no inverno. Algumas séries incompletas, pelo motivo de não funcionamento do equipamento durante meses em alguns dos anos, com pico máximo de 290 W/m² no mês de outubro de 2009 e vale mínimo de 164 W/m² no mês de julho de 2017. Considerando as séries completas, a dispersão se mostrou mais acentuada em média nos quatro primeiros meses do ano, com delta de 48 W/m², e a menor de 25 W/m² na mesma porção final.

A análise de tendências do parâmetro radiação global fez uso do teste de Mann-Kendall e a declividade de Sen. Só um dos meses exibiu tendência estatisticamente significativa. O período observado apresentou tendência de decréscimo 0,6 W/m²/ano no parâmetro radiação global anualmente, porém não sendo estatisticamente significativo. A maior tendência de decréscimo foi a do mês de maio, 4,0 W/m²/ano, enquanto o mês de abril apresentou o maior crescimento, 2,2 W/m²/ano, ambos, entretanto, não estatisticamente significativos. É possível notar um crescimento estatisticamente significativo ($p < 0,1$) do parâmetro apenas no mês de novembro, de 1,2 W/m²/ano, o que aponta para dois cenários: o parâmetro radiação global parece ser pouco afetado por alterações climáticas ou a amostra de dados se mostrou insuficientemente grande para distinguir algum tipo de tendência. Essa última hipótese é a mais provável, já que a série disponível (2007 - 2018) foi excessivamente curta.

Ainda assim, o resultado está de acordo com Silva *et al.* (2018), que consideraram uma série temporal de 1961 – 2014 para a cidade de João Pessoa, e que, mesmo detectando aumento significativo na nebulosidade nos meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, não apresentou tendência anual significativa, usando dos mesmos testes estatísticos aplicados no presente estudo.

Resultados de investigações feitas por outros grupos de estudo do mundo chegam a resultados um pouco diferentes. Remund e Müller (2010) utilizando de dados do IPCC, com séries de 1950-2010, avaliaram as tendências da radiação global de diversos lugares no mundo, chegando a um valor estatisticamente significativo de $-1,4 \text{ W/m}^2/\text{década}$. Foram aplicados também 18 modelos climáticos do IPCC, considerando três cenários de emissões B1, A1B e A2, pôde-se estimar o parâmetro até 2100. A previsão é de que a radiação solar tenha decréscimo, chegando a $-1,9\%$ no período 2089-2099. Enquanto Allen *et al.* (2013), a partir de dados observacionais, calcularam as tendências de radiação na Europa para dois períodos, 1971-1986 e 1987-2007. O primeiro apresentou decréscimo de $-3,3 \pm 3,3 \text{ W/m}^2/\text{década}$, enquanto o segundo um aumento de $3,5 \pm 1,9 \text{ W/m}^2/\text{década}$.

Já as pesquisas que usam modelos climáticos para projeção da variação do parâmetro de radiação global apresentam resultados que indicam pouca alteração no futuro, como Wild *et al.* (2015) que, usando modelos climáticos globais CMIP5, estudaram as tendências de radiação global de céu limpo no planeta, prevendo para o período 2006-2049 uma tendência média ligeiramente negativa ou próxima de zero, variando entre $-0,1 \text{ W/m}^2/\text{ano}$ e $0,05 \text{ W/m}^2/\text{ano}$. Sendo atribuído ao declínio da massa de aerossóis na atmosfera. Estudo semelhante fizeram Bartók *et al.* (2017), comparando projeções de modelos globais e regionais com respeito ao parâmetro radiação global. Os modelos regionais apresentaram média de decréscimo no parâmetro de $-0,60 \text{ W/m}^2$ por década, enquanto a média relacionada aos modelos globais provocaria aumento de $+0,39 \text{ W/m}^2$ por década, no período de 2006-2100, apontando a tendência negativa de $-0,24\%$ por década na nebulosidade nos modelos globais como responsável. Usando também os modelos CMIP5, Ruosteenoja *et al.* (2019) avaliaram na Índia o mesmo parâmetro, indicando uma redução na faixa de $0,5\%$ a 4% , quando comparado o período 1971-2000 com 2030-2059.

Vale ressaltar que alguns estudos (DE LUCENA *et al.*, 2010; CROOK *et al.*, 2011; JEREZ *et al.*, 2015; FANT *et al.*, 2015; TOBIN *et al.*, 2015), que avaliam tendências climáticas e seus impactos sobre parâmetros meteorológicos e na produção de energias renováveis, aplicam abordagem diferente, uma vez que estes usam de modelos climáticos regionais ou globais para prognósticos futuros em diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa. A abordagem utilizada neste trabalho lança mão de séries históricas observacionais para a verificação de tendências já ocorridas para, a partir dessa informação, entender o impacto futuro na produção energética.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo avaliou o comportamento do parâmetro radiação global na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba, investigando sobre a presença de tendências climáticas nas séries temporais estudadas, com dados provenientes de uma estação meteorológica automática local. Contribuindo para a compreensão do comportamento de um parâmetro meteorológico importante para a produção de energia solar, cujo impacto será investigado futuramente pelo grupo de pesquisa.

Nenhuma tendência anual significativa foi encontrada para o período de 2007 a 2018, nem quando considerado o dia típico completo nem em uma faixa horária do dia típico, embora o mês de novembro aponte para um crescimento estatisticamente significativo ($p < 0,1$) de $1,2 \text{ W/m}^2/\text{ano}$, resultado que corrobora com Silva *et al.* (2018). Isso, basicamente, levanta duas hipóteses: a pouca sensibilidade do parâmetro a alterações climáticas e o possível pequeno espaço amostral para realização satisfatória do estudo. É importante ressaltar a recente criação da estação automática de João Pessoa como fator preponderante, visto que a observação de efeitos climáticos necessitam de um intervalo de tempo maior para avaliações mais exatas.

Há ainda escassez na produção científica desse tipo de estudo, por se tratar de um tópico pouco difundido e atual. Além disso, muitos dos estudos existentes costumam apresentar uma abordagem diferente da aplicada no presente trabalho, considerando modelos climáticos regionais e globais, em contraste com a utilização de dados reais das séries históricas aplicada no trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de produtividade nº 307394/2018-2 e 306783/2018-5, Projeto Universal nº 401687/2016-3, e pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. J.; NORRIS, J. R.; WILD, Martin. Evaluation of multidecadal variability in CMIP5 surface solar radiation and inferred underestimation of aerosol direct effects over Europe, China, Japan, and India. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 12, p. 6311-6336, 2013.

BARTÓK, Blanka *et al.* Projected changes in surface solar radiation in CMIP5 global climate models and in EURO-CORDEX regional climate models for Europe. **Climate Dynamics**, v. 49, n. 7-8, p. 2665-2683, 2017.

BRITISH PETROLEUM. BP statistical review of world energy June 2018. Relatório. Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>. Acesso em: 04 jun. 2019)

CROOK, J. A.; JONES, L. A.; FORSTER, P. M.; CROOK, R. Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. **Energy & Environmental Science**, v. 4, n. 9, p. 3101-3109, 2011.

DE LUCENA, A. F. P.; SZKLO, A. S.; SCHAEFFER, R.; DUTRA, R. M. The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. **Renewable Energy**, v. 35, n. 5, p. 904-912, 2010.

DELGADO, Rafael Coll *et al.* Cenários climáticos da radiação solar global baseados no modelo regional HadRM3 para o Estado do Acre. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 417-428, 2014.

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. **Solar engineering of thermal processes**. John Wiley & Sons, 2013.

FANT, C.; SCHLOSSER, C. A.; STRZEPEK, K. The impact of climate change on wind and solar resources in southern Africa. **Applied Energy**, v. 161, p. 556-564, 2015.

FARIAS NETO; SILVA JUNIOR, J. M.; ABRAHÃO, RAPHAEL; CARVALHO, M. . Como repercutem as mudanças climáticas na produção de energias renováveis? In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Congestas 2018, 2018, João Pessoa. **Anais do Congestas 2018**, 2018.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. In: **Annales geophysicae. Series B. Terrestrial and planetary physics**. Berlin, v. 4, n, B4, p. 385-400, 1986.

IPCC. **Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2014.

JEREZ, S.; TOBIN, I.; VAUTARD, R.; MONTÁVEZ, J. P.; LÓPEZ-ROMERO, J. M.; THAIS, F.; BARTOK, B.; CHRISTENSEN, O. B.; COLETTE, A.; DÉQUÉ, M.; NIKULIN, G.; KOTLARSKI, S.; VAN MEIJGAARD, E.; TEICHMANN, C.; WILD, Martin. The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. **Nature communications**, v. 6, p. 10014, 2015.

MET OFFICE - Meteorological Office, Weather and Climate Change, 2018. Disponível em: <<https://www.metoffice.gov.uk/about-us/press-office/news/weather-and-climate/2018/global-climate-2017>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

REMUND, Jan; MÜLLER, Stefan C. Trends in global radiation between 1950 and 2100. In: **10th EMS Annual Meeting, 10th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM) Abstracts, held Sept. 2010**. p. 13-17.

RUOSTEENOJA, Kimmo *et al.* Future Changes in Incident Surface Solar Radiation and Contributing Factors in India in CMIP5 Climate Model Simulations. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 58, n. 1, p. 19-35, 2019.

SALMI, T. A. M.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the Excel template application Makesens. **Air Qual. Res**, p. 7-35, 2002.

SILVA, L. P.; MEDEIROS, S. E. L.; SILVA, W. K. M.; ABRAHÃO, R. Tendências climáticas na mesorregião da Mata Paraibana e sua influência na produção de energia fotovoltaica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, p. 90-101, 2018.

SNEYERS, Raymond. **Sur l'analyse statistique des séries d'observations**. Secrétariat de l'Organisation Météorologique Mondiale, 1975.

TOBIN, I.; VAUTARD, R.; BALOG, I.; BRÉON, F.; JEREZ, S.; RUTI, P. M.; THAIS, F.; VRAC, M.; YIOU, P. Assessing climate change impacts on European wind energy from ensembles high-resolution climate projections. **Climatic Change**, v. 128, n. 1/2, p. 99-112, 2015.

WILD, Martin *et al.* Projections of long-term changes in solar radiation based on CMIP5 climate models and their influence on energy yields of photovoltaic systems. **Solar Energy**, v. 116, p. 12-24, 2015.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018**. World Meteorological Organization (WMO), 2019.