

# COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA DA IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE ENTRE AS CIDADES DE NATAL/RN E APODI/RN DURANTE O VERÃO

Paula Andressa Alves de Araujo - paulaand12010@hotmail.com

José Augusto Ferreira Neto

Thiago Gonçalves da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas.

**Resumo:** Em função da pequena variabilidade anual da irradiância solar em determinados locais no Nordeste brasileiro, e da importância dessa variável meteorológica para setores do desenvolvimento humano, tais como a indústria de energia solar fotovoltaica, o atual trabalho objetivou comparar dados de radiação solar das estações de Natal/RN (5.837°S; 35.208°O) e Apodi/RN (5.63°S; 37.81°O) durante o verão austral dos anos entre 2010 e 2020, para apresentar possíveis potenciais à geração de energia solar. Foram aplicados métodos estatísticos simples para ambas as séries, tais como medidas dispersivas e outros. Foi observada a presença de diversos outliers em ambas as séries. Obteve-se, como resultado, diferenças insignificantes entre os valores de Natal e Apodi, de modo que os máximos valores corresponderam a 7860 Wh/m<sup>2</sup> e 7903 Wh/m<sup>2</sup>, respectivamente. As medianas equivaleram a 6886 Wh/m<sup>2</sup> para Natal e 6708 Wh/m<sup>2</sup> para Apodi. Como as diferenças dos máximo valores, medianas, médias, desvios padrões, variâncias e coeficientes de variâncias entre as duas séries foram equivalentes a 1%, 3%, 3%, 6%, 11% e 12%, respectivamente, conclui-se que as incidências da radiação solar para as localidades foram similares, estatisticamente, durante o verão austral. Assim, Apodi apresentou-se como um potencial quanto à geração de energia solar quando comparada a Natal.

**Palavras-chave:** Radiação solar, GHI, energia fotovoltaica.

## 1. INTRODUÇÃO

Em consideração à variabilidade da radiação solar incidente sobre o Nordeste brasileiro ser notavelmente heterogênea, entende-se que, possivelmente, essa característica torna-se intrínseca à essa região em consequência dos efeitos dinâmicos resultantes da inerente topografia do nordeste ou pela inferência de diferentes sistemas atmosféricos sobre a região. Ou seja, há uma grande variabilidade espaço-temporal da radiação, de modo que ela se torna mais intensa em determinadas áreas em certos períodos do ano, sendo que seus valores podem aumentar ou diminuir durante o ciclo anual. Porém, há locais em que essa distribuição torna-se uniforme e abundante. De acordo com o citado em diversas literaturas como Kousky (1979), Molion (2002) e Cavalcanti *et al.* (2009), o principal modulador da dinâmica climática e variações interanuais na Região Nordeste do Brasil são as temperaturas de superfície (TSMs) dos oceanos Pacífico equatorial, por meio dos episódios de El Niño e La Niña, e Atlântico Tropical, através do padrão de oscilação em dipolo, que, dependendo de sua configuração, altera o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT.

Tal conhecimento sobre a quantidade de radiação solar recebida em superfície na região nordeste serve como conhecimento e desenvolvimento de atividades econômicas que têm seus desempenhos em função dessa característica climática presente no nordeste, tais como energia solar fotovoltaica, têm seus estudos voltados para estas regiões, que apresentam grande potencial na geração desse tipo de energia. De acordo com Burger e Rütther (2006), isso decorre devido à grande parte da energia de um sistema FV ser gerada em condições de altos níveis de irradiância solar.

Entretanto, apesar da importância do mapeamento do comportamento da irradiância solar e do desenvolvimento dos setores energéticos que têm como matéria-prima essa variável, há locais com grande potencial à geração de energia solar, mas que por se localizarem longe das capitais e serem zonas mais interioranas, têm apresentado um déficit quanto aos estudos desse setor. Essa ausência de informações decorre da necessidade de grandes investimentos, tendo em vista que, segundo Varela (2007), esse procedimento em todo território nacional é inviável, pois exige incentivos tecnológicos que nem sempre são atendidos, além da mão de obra especializada para instalação e manutenção dos instrumentos de medição de irradiância solar.

Dessa forma, o atual trabalho tomou como objetivo comparar, através de métodos estatísticos simples, dados de radiação solar incidente sobre a capital potiguar, Natal, a qual têm se tornado alvo de diversos estudos, com os dados de uma estação localizada na mesorregião do Oeste potiguar, com o intuito de apresentar possíveis potenciais à geração de energia solar em regiões que sofrem com a ausência de estudos.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

### 2.1.ÁREA DE ESTUDO

Natal, capital do Rio Grande do Norte, localiza-se na região litorânea do estado, com latitude e longitude 5.837°S e 35.208°O, respectivamente, seguindo a localização da estação meteorológica assistida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), a capital potiguar possui um território correspondente a 167,401 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 896.708 de habitantes para 2021. Quanto à sua classificação climática (Fig. 1), de acordo com a critérios de Köppen aplicados por Álvares (2013) para o Brasil, Natal possui um clima As, caracterizado por um clima tropical com verão seco.

Apodi, também município do Rio Grande do Norte, é localizado a uma distância de, aproximadamente, 287 km da capital potiguar, tendo a estação do INMET localizada à latitude e longitude iguais a 5.63°S e 37.81°O, respectivamente. De acordo com as informações fornecidas pelo IBGE, Apodi possui uma área territorial equivalente a 1602,477 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 35.904 habitantes para o ano de 2021. Seguindo a Classificação Climática de Köppen (Fig. 1), Apodi encontra-se em uma região com um clima BSh, zona semi-árida seca com baixas latitude e longitude.

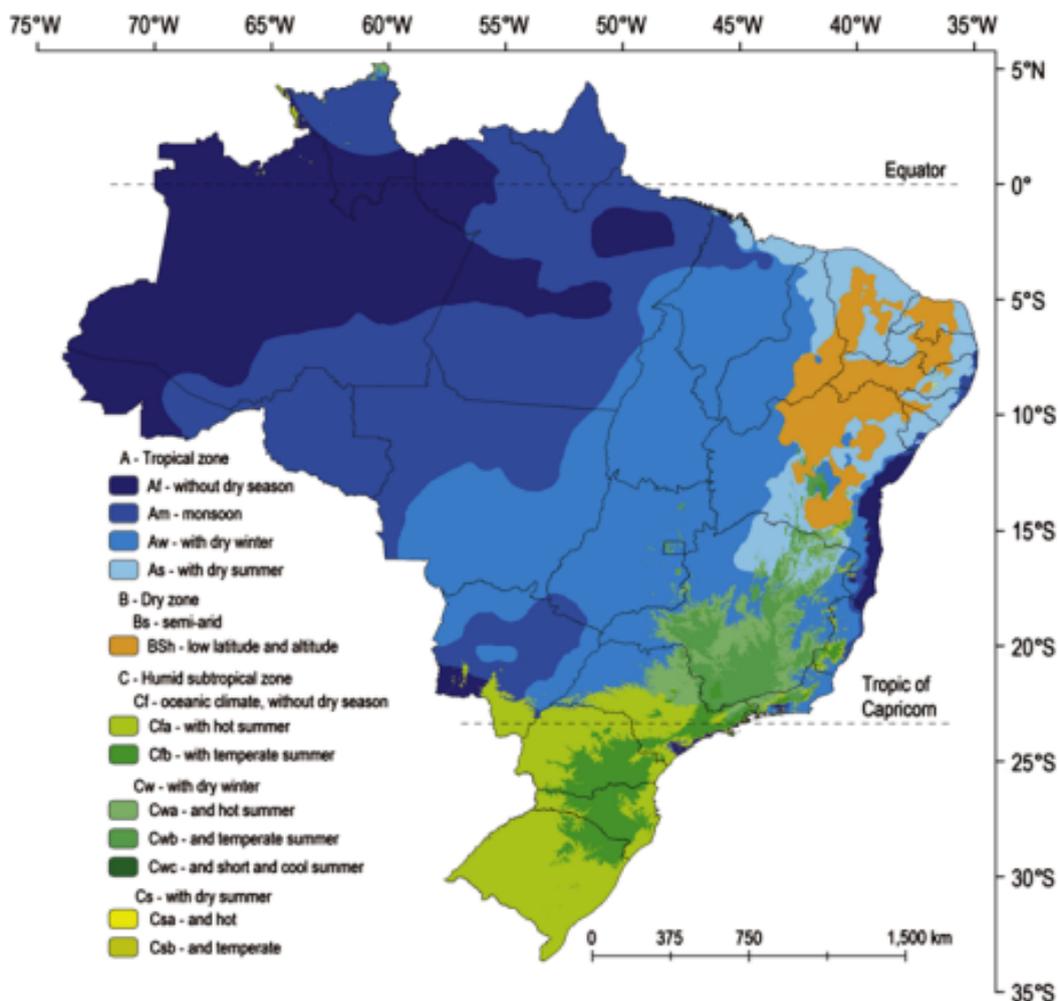


Figura 1: Classificação climática para o Brasil de acordo com os critérios de Köppen (1936). Fonte: Álvares *et al.*, 2013.

### 2.2. DADOS

Objetivando a comparação entre os valores de irradiação das cidades escolhidas como áreas de estudo durante os verões austrais entre 2010 e 2020, fez-se necessário escolher uma fonte de coleta de dados que não apresentasse problemas de falhas por ausência de dados ou demais erros comumente encontrados em diversos dados dispostos relacionados a variáveis meteorológicas como a radiação solar. Por tais motivos, os dados do *Solar Radiation Data* (SoDa), disponibilizados e coletados no *Solar Energy Service for Professionals*, mostraram-se úteis na realização do atual trabalho, de modo que foram coletados dados diários da irradiação solar na componente Irradiação Global

Horizontal (GHI, *Global Horizontal Irradiance*) com a unidade de medida em Wh/m<sup>2</sup>. Ambas as cidades tiveram como período de coleta dos dados os intervalos entre 01 e 31 de dezembro de 2010, 01 de dezembro e 28/29 de fevereiro dos anos de 2011 a 2019 e entre 01 de dezembro e 29 de fevereiro de 2020, visto que objetivou-se analisar o verão austral entre esses anos, totalizando um banco de dados composto por 1806 valores de irradiação solar.

Sendo o SoDa um projeto com origens europeias conforme Santos (2020), tendo sido financiado pela Comissão Europeia em 1999, hoje é considerado como um dos bancos de dados disponíveis gratuitamente, de irradiação, dados climáticos, atmosféricos e vários outros, utilizados com diferentes finalidades. Em resposta ao fato de serem calculados a partir de dados de satélite, a escolha de latitude e longitude para a coleta dos dados disponibilizados pelo SoDa, dar-se por parte do usuário de forma livre, o que permite que regiões que não possuem registros por estações meteorológicas convencionais ou automáticas, tenham essas informações com cobertura. Assim, para o presente trabalho, as coordenadas citadas na seção anterior, que fizeram referência às localizações das áreas de estudos, correspondem às latitudes e longitudes das estações meteorológicas do INMET presentes em cada cidades, as quais serviram como ascendência na escolha das coordenadas ideais para a análise proposta pelo trabalho.

### 2.3. MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS

Para realizar a comparação estatística dos dados meteorológicos mensurados, inicialmente, foi necessário realizar a avaliação do grau de variabilidade dos bancos de dados. Para tal, foram implementadas medidas de dispersão úteis na descrição do comportamento em torno da média ( $\bar{x}$ ). Sendo assim, foram aplicados o desvio padrão ( $\sigma$ ) e a variância (Var). Todos os métodos aplicados são detalhados abaixo.

#### 2.3.1. MÉDIA

A média, estatisticamente, consiste na soma de todos os elementos estudados, dividido pelo número de elementos ( $n$ ). É dada pela Eq. (1).

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

#### 2.3.2. VARIÂNCIA E DESVIO PADRÃO

A variância e o desvio padrão amostral são medidas de dispersão de uma amostra, as quais servem para dar uma evidenciar o quão distante da média a amostra está (Gurgel, 1958). O desvio padrão amostral é dado pela Eq. (2) e a variância amostral é o resultado obtido pelo desvio padrão ao quadrado.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X - \bar{X})^2} \quad (2)$$

#### 2.3.3. MEDIANA

A mediana é uma medida de posição que separa o conjunto de dados ordenados exatamente na metade, deixando 50% dos valores abaixo e 50% acima.

#### 2.3.4. QUARTIS

De acordo com Morettin (2017), os quartis são medidas de posição que separam o conjunto de dados ordenados em 4 partes iguais. O primeiro quartil (Q1) indica o ponto de separação onde 25% da amostra está abaixo desse valor, o segundo quartil (Q2) é a mediana, com 50% dos dados acima e abaixo. O terceiro quartil (Q3) é o ponto onde 75% da amostra está abaixo.

#### 2.3.5. BOXPLOT

O gráfico Boxplot (Fig. 2), segundo Morettin (2017), auxilia na visualização de como se portam os dados em relação à simetria e dispersão. Na sua construção é considerado o eixo vertical do gráfico o valor dos dados, primeiro é traçado um retângulo onde a parte superior é o Q3 e a inferior o Q1, com um traço na mediana (Q2), em seguida é criado uma linha do Q3 até o limite superior (valor máximo amostrado) e do Q1 até o limite inferior. Os pontos discrepantes, chamados outliers, são valores que ficam abaixo do valor  $Q1 - 1.5(Q3 - Q1)$  ou acima de  $Q3 + 1.5(Q3 - Q1)$ .

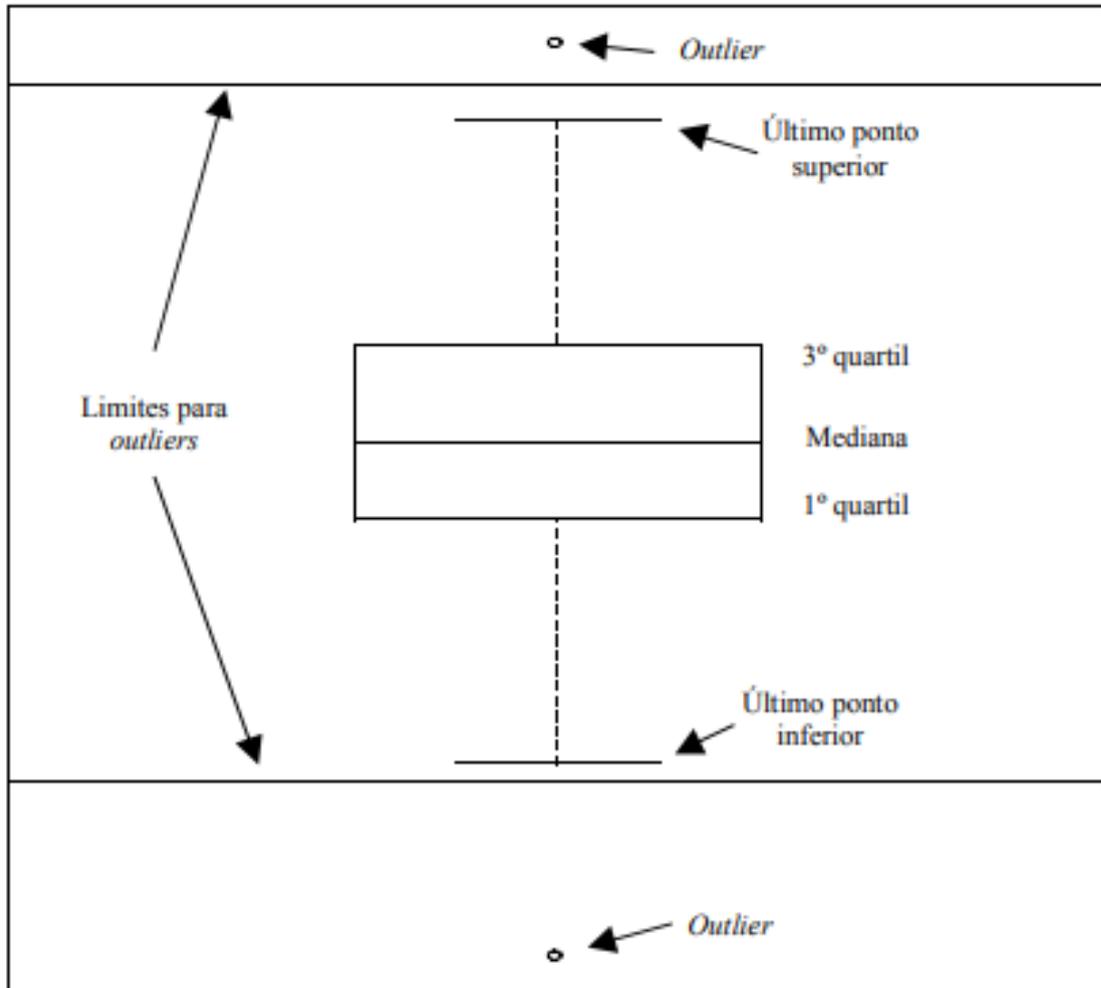


Figura 2: Parâmetros do Boxplot. Fonte: Pacheco *et al.* (2017).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes à análise estatística das séries de Irradiância Global Horizontal entre as cidades Natal e Apodi, durante o mesmo período: verão austral dos anos entre 2010 e 2020. Para realizar as comparações, fez-se necessário o tratamento e análise das características estatísticas. Com isso, foi útil o programa R project, que é um *software* com uma linguagem de programação voltada para gráficos e cálculos estatísticos.

Os resultados das medidas de dispersão para cada cidade foram detalhadas de acordo com a Tab. 1. Através dos resultados desses primeiros métodos estatísticos, foi possível extrair características inerentes de cada banco de dados. Seguindo a ordem lógica da Tab. 1 e com auxílio do box plot (Fig. 3), são apresentados os resultados de Apodi em comparação aos de Natal.

Assim sendo, nota-se que ambas as séries apresentam uma grande quantidade de *outliers* inferiores, o que indica a presença de dados mais afastados do ponto central, da média e da variância, de modo que findam influenciando os valores mínimos informados na Tab. 1. Tal característica evidencia que há muitos dias, em destaque Natal, com baixos registros de irradiação solar incidente que apresentam um padrão distinto dos demais dados coletados, o que gera um impacto direto na análise. Sabendo disso, foram adotados métodos de avaliação que não apresentassem influência desses dados discrepantes. Um desses métodos é a da variabilidade dos dados, o qual decorre do espaçamento entre o primeiro e o terceiro quartil. Na literatura também é chamado de intervalo interquartil, e que não sofre influência dos outliers, ou seja, a diferença entre o terceiro e o primeiro quartil. Dessa forma, os dados de Apodi apresentaram maior variabilidade do que os da série de Natal, uma vez que a capital potiguar apresentou o terceiro e o primeiro quartil com os valores de 7259 Wh/m<sup>2</sup> e 6298 Wh/m<sup>2</sup>, respectivamente, enquanto que Apodi apresentou seus resultados como 7266 Wh/m<sup>2</sup> e 5831 Wh/m<sup>2</sup> para o terceiro e primeiro quartil, nessa ordem.

Tabela 1: Resultados da aplicação dos métodos estatísticos para Natal/RN e Apodi/RN.

	NATAL/RN (Wh/m <sup>2</sup> )	APODI/RN (Wh/m <sup>2</sup> )
Mínimo Valor	1509	1912
Primeiro Quartil	6298	5831
Mediana	6886	6708
Média	6590	6404
Terceiro Quartil	7259	7266
Máximo Valor	7860	7903
Variância	1051282	1184316
Desvio padrão	1025,321	1088,263
Coefficiente de variância	0,1555953	0,1699367

Apesar da influência dos *outliers* quanto aos valores mínimos, a análise dos máximos valores não sofre com a presença desses dados atípicos, uma vez que foram presentes apenas *outliers* inferiores. Dessa forma, observa-se que o valor máximo de Apodi é superior ao de Natal, visto que apresentaram a medida de 7903 Wh/m<sup>2</sup> e 7860 Wh/m<sup>2</sup>, respectivamente. Percentualmente, a diferença do máximo valor de Apodi para o de Natal corresponde a menos de 1%.

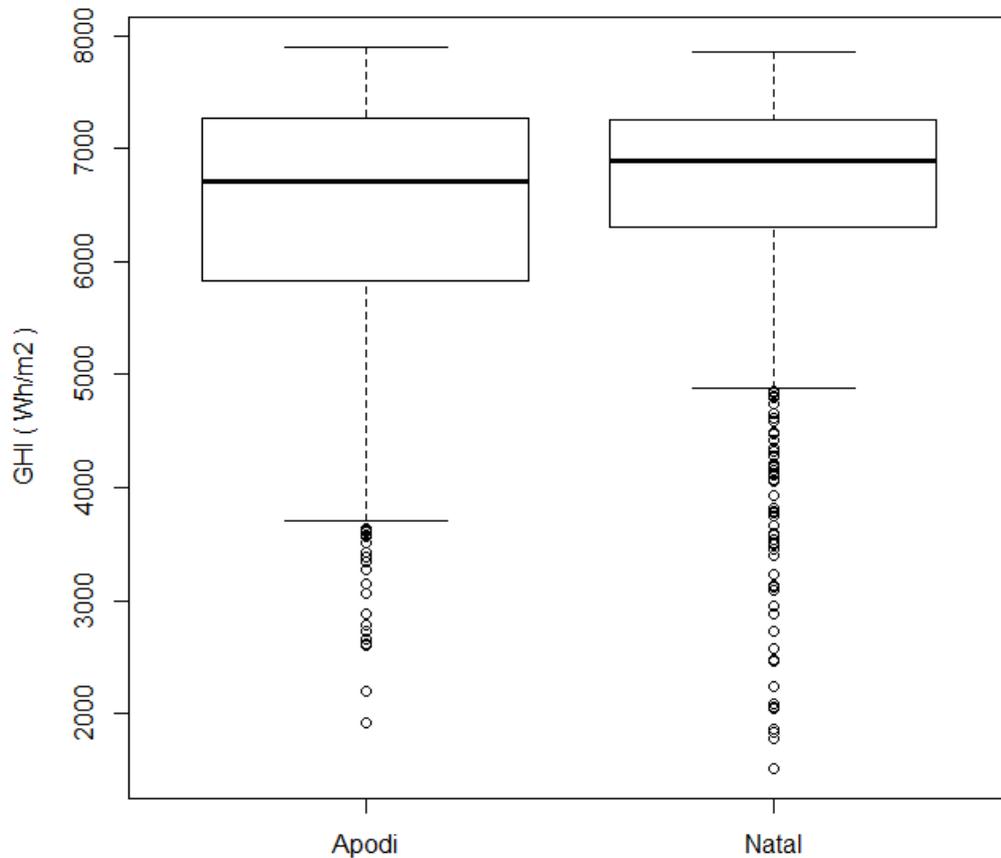


Figura 3: Boxplot resultado da aplicação dos métodos estatísticos para Natal/RN e Apodi/RN. Fonte: próprio autor.

Ainda que a existência de outliers gere um viés nos resultados, e que a média seja comprometida por essas ocorrências, a mediana, a qual contorna esses valores anômalos, deve ser considerada como uma análise adequada. Portanto, analisando os valores apresentados na Tab. 1, observa-se que a mediana para os dados de Apodi correspondeu a 6886 Wh/m<sup>2</sup>, sendo inferior à mediana de Natal, equivalente a 6708 Wh/m<sup>2</sup>. Ou seja, a diferença entre as medianas das localidades estudadas é de, aproximadamente, 3%.

Embora a média, como um método estatístico que considera todos os valores, incluindo os outliers, não proporcione uma avaliação acurada dos dados apresentados devido à presença dos dados atípicos, observa-se que seus valores e os métodos estatísticos que dependem da média, como o desvio padrão e a variância, seguem o mesmo padrão que a mediana. Ou seja, a média das observações de Apodi foi inferior à de Natal, com uma diferença de, aproximadamente, 3%, assim como a diferença entre as medianas. Enquanto que o desvio padrão, a variância e o coeficiente de variância de Apodi, apresentaram maiores resultados quando comparados aos de Natal e, percentualmente, essas diferenças correspondem a 6, 11 e 8%, respectivamente, entre as duas localidades estudadas.

#### **4. CONCLUSÃO**

Considerando as informações extraídas, entende-se que em decorrência da presença de *outliers* na duas série de dados adotadas, e por apresentarem um padrão distinto dos demais dados coletados, a análise estatística proposta pelo atual trabalho sofreu uma influência direta. Dessa forma, foi necessário a aplicação de métodos específicos que contornaram a existência desses valores que, estatisticamente, podem ser considerados como não representativos da população estudada. Assim, analisou-se que as diferenças entre as medidas de dispersão das cidades de Natal e Apodi foram consideravelmente pequenas, uma vez que a assimetria entre os máximos valores, medianas, médias, desvios padrões, variâncias e coeficientes de variâncias das duas séries, foram equivalentes a 1%, 3%, 3%, 6% 11% e 12%, respectivamente. Nesse sentido, Apodi se mostrou com grande potencial à geração de energia solar durante o verão austral, visto que os resultados das aplicações estatísticas dos seus valores de incidência, durante esse período, se apresentou como similar aos da cidade de Natal. Destaca-se também que, para uma melhor análise, o tratamento dos outliers mostra-se como uma indicação para trabalhos futuros, além da utilização de outras variáveis meteorológicas que influenciam no desempenho de sistemas fotovoltaicos, tais como a temperatura.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à UFRN e ao Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho. O primeiro autor também agradece ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica vinculada ao projeto IB14178-2017.

#### **REFERÊNCIA**

- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- Área territorial brasileira 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- BURGER, B.; RÜTHER, R., 2006. Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature, *Solar Energy*, vol. 80, pp. 32-45.
- Cavalcanti, I. F. A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J., Dias, M. A. F., 2009. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, cap. 13, p. 197-212.
- Gurgel, J. T. A., Frederico Pimentel Gomes, and A. P. Trivelin. "Determinação da epen aritmética e desvio padrão de quocientes de epend ependents s e ependents." *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz* 14 (1958): 31-42.
- IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. 2021.
- Kousky, V. E., 1979. Frontal influences on Northeast Brazil. *Montly Weather Review*, v. 107, p. 1140-1153.
- Molion, L. C. B, Bernardo, S. O., 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, p. 1-10.
- Morettin, P. A., BUSSAB, W. O, 2017. Estatística básica. Editora Saraiva.
- PACHECO *et al.* Aprendendo R. Escola Nacional de Saúde Público: Fiocruz, 2017.
- Santos, Hugo Francisco Lisboa, *et al.* "QUE FONTE DE DADOS METEOROLÓGICOS UTILIZAR NO BRASIL? QUE INCERTEZA ESPERAR? UMA COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES ABORDAGENS E VARIADAS FONTES DE DADOS." VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018 . 2020.
- SODA - Solar Radiation Data. Disponível em: <<http://www.soda-pro.com/home>> Acesso em: 10 Dez 2021.

Varela, Gustavo Hellstrom, 2007. “Medição e Avaliação dos dados Solarimétricos.” Seminário Estudantil de Produção Acadêmica 10.1 (2007).

### **APPLICATION OF SIMPLE STATISTICAL METHODS FOR THE COMPARISON OF INCIDENT SOLAR IRRADIATION BETWEEN THE CITIES OF NATAL/RN AND APODI/RN DURING THE AUSTRAL SUMMER**

**Abstract:** *Given the small annual variation of solar irradiance in certain places in the Brazilian Northeast, and given the importance of this meteorological variable for human development sectors, such as the photovoltaic energy industry, this work to compare solar radiation data from Natal/RN stations (5.837°S; 35.208°W) and Apodi/RN (5.63°S; 37.81°W) during the austral summer of the years between 2010 and 2020, to present possible potentials for solar power generation. Simple statistical methods were applied to both series, such as dispersive measures, and others. The presence of several outliers was observed in both series. As a result, insignificant differences were obtained between the values from Natal and Apodi, so that the maximum values corresponded to 7860 Wh/m<sup>2</sup> and 7903 Wh/m<sup>2</sup>, respectively. The medians were equivalent to 6886 Wh/m<sup>2</sup> for Natal and 6708 Wh/m<sup>2</sup> for Apodi. Since the difference in maximum values, medians, means, standard deviation, variances and coefficients of variance between the two series were equal to 1%, 3%, 3%, 6%, 11% and 12%, respectively, it is concluded that the incidences of solar radiation for the locations were statistically similar during the austral summer. Thus, Apodi was introduced as a potential for the generation of solar energy when compared to Natal.*

**Key words:** *solar radiation, GHI, photovoltaic energy.*