

ESPACIALIZAÇÃO DA INCIDÊNCIA DE INSOLAÇÃO NO BRASIL

Ruibran Januário dos Reis – ruibrandosreis@gmail.com
PucMinas, Programa Pós-graduação em Tratamento da Informação Espacial
Daniel Pereira Guimarães – daniel.guimaraes@embrapa.br
Elena Charlotte Landau – charlotte.landau@embrapa.br
Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear – Grupo FAE
Luís Guilherme Monteiro Oliveira – luis.monteiro@gmail.com

Resumo. A espacialização da incidência de insolação no Brasil foi obtida usando-se o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP base de dados disponibilizada pelo INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Os dados de insolação de 263 estações meteorológicas com séries históricas diárias entre 1961 e 2013 foram submetidos à análises de consistências para a exclusão de outliers incluindo registros em que os valores excediam aos esperados no topo da atmosfera para a área considerada, séries incompletas em que os registros mensais eram inferiores a 25 registros/mês e meses com insolação média inferior a 0,5 horas de brilho solar. A espacialização da incidência de insolação anual no Brasil foi feita usando a interpolação por krigagem ordinária. A rasterização do mapa permitiu a determinação de valores à níveis municipais com a interposição da shapefile correspondente aos limites municipais do IBGE e o procedimento Zonal Statistics do software Quantum Gis versão 2.01. Os resultados indicaram que os maiores índices de insolação ocorrem nas regiões de menores pluviosidades e correspondem às regiões mais pobres do país se estendendo desde a Região Norte de Minas Gerais até o interior nordestino. A insolação média dos municípios brasileiros foi estimada em 2400 horas/ano e apenas 10% dos municípios apresentaram valores inferiores a 2200 horas de brilho solar anualmente. As áreas de maiores insolações correspondem às mesoregiões do Oeste Potiguar no Rio Grande do Norte e Sertão Paraibano com valores em torno de 3150 horas/ano. Com registros superiores a 2900 horas/ano são incluídos os estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco e Piauí. Insolações médias inferiores a 2200 horas/ano foram observadas apenas nos estados da Região Norte: Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima.

Palavras-chave: Energia Solar, Insolação, Mapeamento

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar constitui a fonte primária dos fenômenos atmosféricos e dos processos físicos, químicos e biológicos observados na superfície terrestre. Conforme Wanderley e Campos (2013), praticamente todas as regiões brasileiras recebem níveis de insolação anual superiores a 2200 horas, potencial equivalente a 15 trilhões de MWh e correspondente a cerca de 50 mil vezes ao consumo brasileiro de energia elétrica. Embora o alto custo inicial de instalação das usinas fotovoltaicas constitua em impedimento aos empreendimentos dessa natureza, Pereira e Colle (1997) chamam a atenção para o rápido aumento da eficiência e queda dos preços dos coletores de energia solar.

Correa (2011) mostra a importância do conhecimento da distribuição da radiação solar sobre a superfície terrestre em diferentes áreas científicas e tecnológicas como na geração de energia, agricultura e pecuária, meio ambiente, turismo, saúde e outras. De acordo com Teramoto e Escobedo (2012) a incidência de radiação solar sobre a superfície terrestre é altamente afetada pela nebulosidade onde as nuvens atuam como atenuadoras de energia ao absorverem a radiação no comprimento de onda do infravermelho e como espalhadoras de grande parte da radiação no comprimento de onda do visível. Essas duas faixas espectrais correspondem a aproximadamente 94% da radiação solar global. Outros fatores que interferem na incidência de radiação solar na superfície terrestre são afetos à posição geográfica da latitude e as condições de relevo.

O mapeamento da radiação solar na superfície terrestre é dificultado pela falta de equipamentos apropriados para essa função. Buriol et al. (2012) citam a baixa disponibilidade de aparelhos para registro do fluxo de radiação global instalados nas estações meteorológicas em função do alto custo e constante necessidade de manutenção. Pereira et al. (2002) citam a baixa densidade das redes de estações radiométricas nas condições tropicais e as séries históricas, quando disponíveis, serem de baixas duração temporal e qualidade dos registros como os registros obtidos pelos actinógrafos da rede de estações meteorológicas do Inmet. Conforme os autores, o uso de equipamentos mais precisos como os piranômetros e os pireliômetros são ainda incipientes e contêm séries históricas de curta duração como as obtidas pelas redes de estações meteorológicas automáticas. Mapeamentos mais detalhados como o Atlas Solarimétrico do Brasil (Tiba et al. 2000) utiliza de diferentes sensores e estimativas indiretas da radiação via dados de insolação e o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al. 2006) que combina os dados de radiação da rede SONDA com imagens de satélite.

2. OBJETIVOS

Espacialização da insolação solar no Brasil a partir das bases de dados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e identificar os municípios brasileiros com maiores incidências de insolação anual.

3. METODOLOGIA

O Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET é formado por uma rede de 263 estações meteorológicas convencionais e medições efetuadas de acordo com as normas da Organização Meteorológica Mundial – OMM e contem séries históricas de dados diários a partir de 1961 até 2013. A Fig. 1 mostra a distribuição geográfica da rede de estações no Brasil.



Figura 1- Distribuição geográfica da rede de estações meteorológicas convencionais componentes do BDMEP do Inmet.

A análise de consistência da base de dados do BDMEP teve como objetivos a melhoria da representatividade dos dados e o descarte de *outliers* onde a insolação registrada fosse superior a máxima esperada para a localidade (relação $n/N > 1$), o número de registros mensais inferiores a 25 casos e meses com insolação média inferior a 0,5 horas de brilho solar. A seguir procedeu-se a determinação das médias mensais e insolação anual das estações. A espacialização das informações foi feita pelo método de krigagem ordinária. A rasterização do mapa de insolação anual em conjunto com os limites municipais dos municípios brasileiros (formato shapefile disponibilizado pelo IBGE, na escala 1:250.000) foram usados para a determinação da insolação dos municípios brasileiros com o emprego da metodologia *Zonal Statistics* do software **Quantum Gis** versão 2.01 (www.qgis.org).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as 263 estações analisadas, apenas a estação de São Félix do Xingu, código OMM 82668 foi descartada do processo de interpolação por apresentar valor de insolação média anual muito inferior aos verificados nas estações vizinhas. A Fig. 2 mostra a distribuição espacial da insolação média anual no Brasil onde os maiores valores são coincidentes com as áreas de menores índices pluviométricos. A Fig. 3 mostra a distribuição média anual da insolação nos municípios brasileiros com uma média geral de 2400 horas de brilho solar, o que reforça o potencial de aproveitamento dessa fonte de energia em quase todo o território brasileiro. A distribuição de frequência mostra que apenas 550 municípios (cerca de 10% do total) apresentam valores inferiores a 2000 horas de brilho solar/ano e que cerca de 2100 municípios apresentam valores superiores a 2500 horas de brilho solar anualmente. A localização das áreas de maiores insolações coincidindo com áreas de baixa pluviosidade e alta concentração de bolsões de pobreza indica que essa fonte de energia poderá ser usada para induzir o desenvolvimento regional.

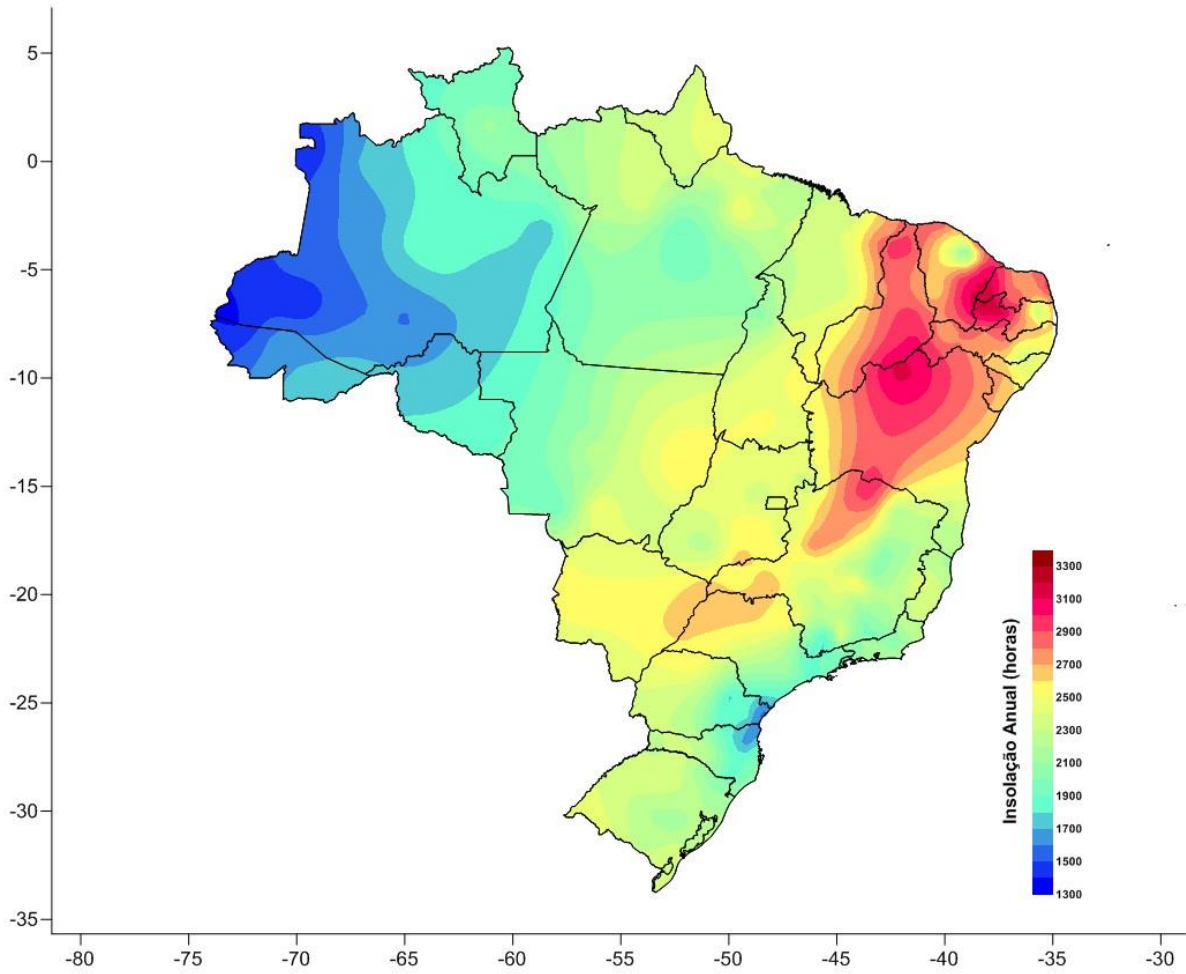


Figura 2 – Insolação média anual no Brasil.

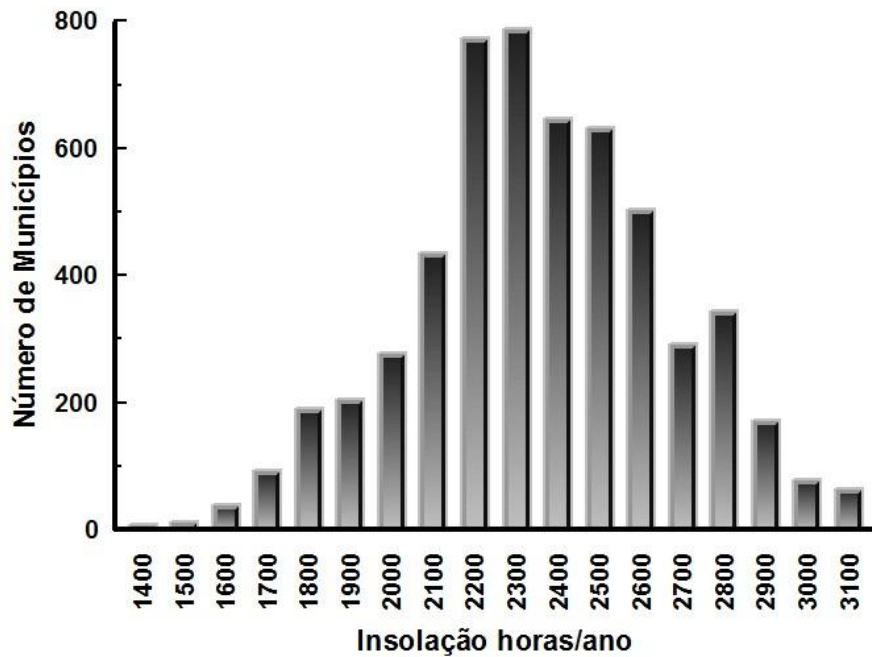


Figura 3 – Frequência da insolação média anual nos municípios brasileiros.

A Tab. 1 apresenta a sumarização dos resultados em conformidade com a divisão estadual e mostra que os maiores índices de insolação anual são registrados no Rio Grande do Norte, Paraíba e Ceará onde se encontram municípios com registros superiores a 3100 horas anuais de insolação. Todos os 24 municípios com valores superiores a 3150 horas/ano se encontram nas mesorregiões Oeste Potiguar no Rio Grande do Norte e Sertão Paraibano. Com registros superiores a 2900 horas/ano são incluídos os estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco e Piauí. Insolações médias inferiores a 2200 horas/ano foram observadas apenas nos estados da Região Norte: Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima.

Tabela 1 – Distribuição de frequência da insolação média anual dos municípios brasileiros em conformidade com o Estado da Federação.

| UF | 1400 a 1500 | 1500 a 1600 | 1600 a 1700 | 1700 a 1800 | 1800 a 1900 | 1900 a 2000 | 2000 a 2100 | 2100 A 2200 | 2200 A 2300 | 2300 a 2400 | 2400 a 2500 | 2500 a 2600 | 2600 A 2700 | 2700 a 2800 | 2800 a 2900 | 2900 a 3000 | 3000 a 3100 | > 3100 |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| AC | 4 | 3 | 3 | 12 | | | | | | | | 62 | 23 | 16 | | | | |
| AL | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AM | 5 | 9 | 9 | 12 | 20 | 2 | 4 | 1 | | | | | | | | | | |
| AP | | | | | | | | | 1 | 7 | 8 | | | | | | | |
| BA | | | | | | | | | 14 | 11 | 22 | 43 | 96 | 94 | 87 | 39 | 11 | |
| CE | | | | | | | | 1 | | 11 | 5 | 18 | 32 | 30 | 34 | 23 | 20 | 10 |
| DF | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| ES | | | | | | | | 3 | 33 | 41 | 1 | | | | | | | |
| GO | | | | | | | | | 1 | 32 | 138 | 71 | 4 | | | | | |
| MA | | | | | | | | | 16 | 86 | 46 | 28 | 17 | 12 | 12 | | | |
| MG | | | | | 26 | 30 | 84 | 149 | 244 | 114 | 70 | 54 | 34 | 26 | 18 | 4 | | |
| MS | | | | | | | | | | | 30 | 40 | 7 | | | | | |
| MT | | | | | 3 | 26 | 14 | 17 | 22 | 34 | 17 | 6 | | | | | | |
| PA | | | | 1 | 5 | 15 | 17 | 18 | 54 | 26 | 7 | | | | | | | |
| PB | | | | | | | | | | 8 | 13 | 49 | 39 | 19 | 16 | 25 | 25 | 29 |
| PE | | | | | | | | | | 4 | 30 | 72 | 24 | 19 | 29 | 5 | 2 | |
| PI | | | | | | | | | | | | 4 | 14 | 36 | 104 | 52 | 12 | |
| PR | | | 11 | 16 | 23 | 9 | 14 | 23 | 47 | 117 | 66 | 73 | | | | | | |
| RJ | | | | | | | 20 | 56 | 16 | | | | | | | | | |
| RN | | | | | | | | | | | | | 11 | 50 | 45 | 25 | 10 | 26 |
| RO | | | | 23 | 27 | | | | | | | | | | | | | |
| RR | | | | | | 11 | 6 | | | | | | | | | | | |
| RS | | | | | | 1 | 8 | 95 | 199 | 191 | 6 | | | | | | | |
| SC | | | 17 | 27 | 35 | 40 | 51 | 13 | 54 | 56 | | | | | | | | |
| SE | | | | | | | | | | | | 18 | 51 | 6 | | | | |
| SP | | | | 3 | 51 | 71 | 55 | 50 | 39 | 36 | 64 | 119 | 158 | | | | | |
| TO | | | | | | | 4 | 10 | 33 | 15 | 63 | 14 | | | | | | |
| Total | 9 | 12 | 40 | 94 | 190 | 205 | 277 | 436 | 773 | 789 | 649 | 632 | 503 | 292 | 345 | 173 | 80 | 65 |

5. CONCLUSÕES

- Os municípios brasileiros apresentam uma média de 2400 horas de brilho solar por ano.
- As áreas de maior insolação correspondem às de menores índices pluviométricos e altos níveis de pobreza e se estendem do Norte de Minas Gerais aos estados nordestinos.
- Todos os municípios com registros superiores a 3150 horas/ano se encontram nas mesorregiões Oeste Potiguar no Rio Grande do Norte e Sertão Paraibano.
- Municípios com insolações médias anuais superiores a 2900 horas são encontrados nos estados de RN, PB, CE, PI, PE, BA e MG.
- Insolações médias inferiores a 2200 horas/ano são observadas apenas nos estados da Região Norte: Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET pela disponibilização da base de dados BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa usada nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

- Buriol, G. A., Estefanel, V., Heldwein, A. B., Prestes, S.D., Horn, J. F. C., 2012. Estimativa da Radiação Solar Global a partir de Dados de Insolação, para Santa Maria – RS. *Ciência Rural*, vol. 42 n. 9. p. 1563-1567.
- Correa, F. H. P. Estimativa das Radiações Ultravioleta (UV), Fotossinteticamente Ativa (PAR) e Infravermelha (IV) em Função da Razão de Insolação, Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu.
- Pereira, A. B., Vrisman, A. L., Galvani, E., 2002. Estimativa da Radiação Solar Global Diária em Função do Potencial de Energia Solar na Superfície do Solo, *Scientia Agricola*, vol. 59 n. 2, p. 211-216.
- Pereira, E. B., Colle, S. *A energia que vem do sol*. IN *Ciência Hoje*, São Paulo, SBPC. vol. 22, n. 130, agosto 1997, p. 24-35.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Rütther, R. 2006, Atlas Brasileiro de Energia Solar, São José dos Campos: INPE. 60p.
- Teramoto, T. E., Escobedo, J. F. 2012. Análise da frequência anual das condições do céu em Botucatu, São Paulo, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 16, n. 9, PP. 985-992.
- Tiba, C. et al. 2000. Atlas Solarimétrico do Brasil – Banco de Dados Terrestres, Editora Universitária de Pernambuco.
- Wanderley, A. C. F., 2013. Perspectivas de Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Geração de Energia Elétrica no Rio Grande do Norte, *HOLOS*, vol. 3 n. 29, pp. 3-14.

SPATIAL DISTRIBUTION OF INSOLATION INCIDENCE IN BRAZIL

Abstract. *The spatial incidence of insolation in Brazil was obtained using the Bank of Meteorological Data for Teaching and Research - BDMEP database provided by INMET , National Institute of Meteorology. The insolation data from 263 weather stations contend daily time series between 1961 and 2013 were submitted to analysis of consistencies to the exclusion of outliers including records where values exceeded those expected at the top of the atmosphere for the considered area , those in which the incomplete series monthly records were lesser than 25 records / month and months with lesser than 0.5 hours of sunshine average insolation . The spatial incidence of annual insolation in Brazil was done using ordinary kriging interpolation . The raster map allowed the determination of values for municipal levels using the procedure Zonal Statistics of Quantum Gis software version 2.01. The results indicated that the highest levels of insolation occur in semi-arid regions and correspond to the poorest areas of the country stretching from the northern region of Minas Gerais to the interior Northeast . The average insolation of Brazilian municipality was estimated at 2400 hours / year and only 10% of municipalities had lower values to 2200 hours of sunlight annually brightness. The areas of greatest sunstroke correspond to mesoregions West Potiguar in Rio Grande do Norte and Paraíba backwoods with values around 3150 hours / year. Areas with more than 2900 hours of insolation / year area found at the states of Minas Gerais, Bahia, Pernambuco and Piauí. Average lesser than 2200 hours / year were observed only in the states of the North region: Acre, Amazonas, Rondônia and Roraima.*

Key words: Solar Energy, Insolation, Spatial distribution.