

## Photovoltaic Potential of Urbanized Areas in the State of Paraíba Using Geotechnologies

Paulo R. M. Francisco\*, José H. S. de Sousa\*\*, George do N. Ribeiro\*\*\*,  
Raimundo C. M. Rodrigues\*\*\*\*

\*Dr. em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

\*\*Mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, jose.hugo@estudante.ufcg.edu.br

\*\*\*Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george@ufcg.edu.br

\*\*\*\*Dr. Prof. Associado, Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, calixto\_80@hotmail.com

Received 10 November; accepted 19 December.

### Abstract

The Northeast has the best parameters for solar energy generation, presenting the highest level of irradiation on the inclined plane and lower interannual variability during the year and the State of Paraíba is located within the solar belt with high levels of solar radiation. The use of photovoltaic solar energy in the form of distributed generation allows photovoltaic modules to be installed on the roofs of buildings. Therefore, this work aimed to map the photovoltaic potential of urbanized areas in the State of Paraíba using geotechnologies. The digital solarimetric data base from 2012 to 2021 was used with estimated values of the annual Average of the Daily Total Horizontal Global Irradiation, the annual and monthly Average of the Daily Total of Global Irradiation Inclined Plane at 10°, with the respective maps being generated using QGIS® and in the statistical treatment, descriptive analysis of the data was carried out. The results demonstrated that the use of geotechnology was able to map the solarimetric potential quickly and accurately. The geostatistics results demonstrated the small variability of the monthly solarimetric potential. The annual average GHI presented similar values due to its geographic location close to the Equator with little annual variation. The monthly variation of GTI<sub>10</sub> occurred in regions with greater annual rainfall and greater cloudiness. The Sertão and Alto Sertão region presented the greatest solarimetric potential. The observed annual GTI<sub>10</sub> average was 5.7 kWh/m<sup>2</sup>.day. The high availability and regularity of solar irradiance in the State of Paraíba during the months of the year can guarantee investment in photovoltaic generation in all urbanized areas.

Keywords: Solarimetric data, insolation, solar irradiation, geostatistics.

## Potencial Fotovoltaico de Áreas Urbanizadas do Estado da Paraíba Utilizando Geotecnologias

### RESUMO

O Nordeste possui os melhores parâmetros para geração de energia solar, apresentando o maior nível de irradiação no plano inclinado e menor variabilidade interanual durante o ano e o Estado da Paraíba está localizado dentro do cinturão solar apresentando elevados índices de radiação solar. A utilização da energia solar fotovoltaica na forma de geração distribuída permite instalar módulos fotovoltaicos nos telhados das edificações. Portanto, este trabalho objetivou mapear o potencial fotovoltaico de áreas urbanizadas do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias. Foi utilizado a base digital de dados solarimétricos de 2012 a 2021 com valores estimados da Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal, da Média anual e mensal do Total Diário da Irradiação Global Plano Inclinado à 10° sendo gerados os respectivos mapas utilizando o QGIS® e no tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados. Os resultados demonstraram que o uso de geotecnologias pôde mapear o potencial solarimétrico com rapidez e precisão. Os resultados da geoestatística demonstraram a pequena variabilidade do potencial solarimétrico mensal. A GHI média anual apresentou valores similares devido a sua localização geográfica próxima a linha do Equador com pouca variação anual. A variação mensal da GTI<sub>10</sub> ocorreu em regiões com maior pluviosidade anual e maior nebulosidade. A região do Sertão e Alto Sertão apresentaram o maior potencial solarimétrico. A média anual da GTI<sub>10</sub> observada foi de 5,7 kWh/m<sup>2</sup>.dia. A elevada disponibilidade e regularidade da irradiância solar no Estado da Paraíba durante os meses do ano pode garantir o investimento na geração fotovoltaica em todas as áreas urbanizadas.

Palavras-chave: Dados solarimétricos, insolação, irradiação solar, geoestatística.

### Introdução

Os ambientes tropicais caracterizam-se pela elevada incidência de radiação solar, insolação e

temperatura. Quanto mais próximo do equador, mais crítica é a incidência, como é o caso das regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil (Bayer, 2004; Bley Jr., 1999). No entanto, o

Nordeste possui os melhores parâmetros para geração de energia solar, apresentando o maior nível de irradiação no plano inclinado (média anual de 5,52 kWh/m<sup>2</sup>.dia) e menor variabilidade interanual durante o ano (Bezerra, 2018). Com relação ao potencial de geração solar fotovoltaica, o Estado da Paraíba está localizado dentro do cinturão solar apresentando elevados índices de radiação solar (Pereira et al., 2017).

Entre as novas alternativas para uma produção de energia de maneira sustentável e limpa, destaca-se a geração solar fotovoltaica (FV) por ser uma fonte de conversão direta da energia solar em energia elétrica de maneira não poluente, silenciosa, eficiente e não prejudicial ao meio ambiente (Rüther, 2004). Dessa maneira, a energia solar pode ser de grande benefício ao fazer parte da matriz energética do país, de forma complementar as demais fontes, beneficiando tanto o setor econômico e energético como o ambiental e social do país (Braun-Grabolle, 2010).

O uso da energia solar conectada à rede elétrica pública está crescendo no mundo todo, de forma distribuída e próxima aos pontos de consumo (Tiepolo, 2015). De acordo com Urbanetz Júnior (2010), com a geração distribuída, há atendimento da demanda própria ou injeção do excedente na rede pública. De acordo com PARAÍBA (2023), vem promovendo o acesso à energia para a população ainda não atendida pela rede elétrica convencional e a expansão de serviços básicos para a população em regiões remotas.

A utilização da energia solar fotovoltaica na forma de geração distribuída permite instalar os módulos fotovoltaicos nos telhados das edificações já existentes. Essa possibilidade de uso descentralizado da energia solar é a forma mais moderna para garantir o crescimento energético em harmonia com o meio ambiente, gerando eletricidade próxima ao ponto de consumo, sem a necessidade de ocupação de terras específicas para este fim. Uma residência individual com telhado bem projetado, a inclinação correta e voltado para o norte, poderá, por exemplo, ter 200 m<sup>2</sup> de área disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos, gerando 4.176 kWh/mês (WWF-BRASIL, 2016).

A Resolução Normativa n° 482, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012) estabeleceu a possibilidade de toda unidade consumidora de energia elétrica ligada à rede de distribuição oficial se tornar um micro geradora de sua própria energia elétrica. Com a geração distribuída (GD), há uma compensação, pois o consumidor passa a ter possibilidade de também ser um gerador de energia elétrica. De certa forma, a compensação pela troca de energia, quando

gerada para a rede de distribuição ou consumida nas propriedades, pode fazer com que haja um crédito de energia para ser utilizada quando necessário, sem a necessidade de outros equipamentos de armazenamento de energia na propriedade, como as baterias, que fazem parte de outro sistema independente de geração, chamado off-grid (Almeida et al., 2019).

A potencialidade das ferramentas SIG se destaca na análise geográfica para o planejamento estratégico de novos empreendimentos e na simulação de cenários de oferta e demanda com diferentes possibilidades tecnológicas. No campo das energias renováveis podem auxiliar de três maneiras: no apoio a decisões para integração regional das fontes de energia, na avaliação das fontes de energia para geração distribuída e na avaliação de sistemas de geração descentralizada de eletricidade (Dominguez & Amador, 2007).

Feitosa (2022) afirma que, o trabalho pioneiro resultante da combinação de SIG e energias renováveis foi publicado por Broesamle et al. (2001), onde o sistema foi utilizado para a identificação de locais ideais para a instalação de centrais de energia solar concentrada na região Norte da África, classificando os locais em relação ao potencial solar e custo da eletricidade solar térmica para um modelo particular de usina. Diversos trabalhos já comprovaram a viabilidade técnica do uso de SIG para avaliação solar, especialmente pela capacidade de análise em escalas local e temporal, auxiliando sobremaneira no planejamento da infraestrutura para aproveitamento do recurso solar (Chow et al., 2014; Pintor et al., 2015; Huld, 2017).

Diversas pesquisas já foram elaboradas para o Brasil para o potencial de geração de energia fotovoltaica, por Tiepolo et al. (2016) para o Estado do Paraná, por Pereira et al. (2017) (INPE), por Almeida et al. (2019) para o Estado do Rio Grande do Sul, por Almada et al. (2022) para o Estado do Mato Grosso, por Moraes Júnior et al. (2012) para a região Amazônica, como pela EPEL (2021), para o Estado de Santa Catarina por Averlan (2019), para a região do Nordeste por Silva (2023), por Almeida e Almeida (2022) para o semiárido, Rangel e Mariano (2019) para Natal-RN, por Oliveira Jr. (2022) para áreas de desertificação no Estado do Ceará, para Florianópolis por Jardim et al. (2004), por Lima et al. (2020) para o município de Belém no Pará, por Kaufmann (2012) para Lajeado-RS, para Açailândia-MA por Rocha et al. (2014), para Brasília pela WWF-Brasil (2016), Krenzinger e Azevedo (2018) para Joinville (SC),

Para áreas específicas foram realizados estudos por Takenaka (2010) para o CEFET-MG,

por Santos et al. (2010) para estádios esportivos, por Signorini et al. (2014) em Pelotas, por Molina (2017) para Campo Mourão no Estado do Paraná, para irrigação em Barbalha no Ceará por Silva et al. (2017), por Folster (2019) para lixões, e outros como por Costa et al. (2018), Borges et al. (2019), e Costa e Sehem (2021) para o Brasil.

Portanto, este trabalho objetiva mapear e identificar o potencial fotovoltaico para instalação de equipamentos em áreas urbanizadas do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias.

## Material e Métodos

O Estado da Paraíba localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.372 km<sup>2</sup>, que corresponde a 0,662% do território nacional. Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (Francisco, 2010).

O relevo do Estado da Paraíba apresenta-se de forma geral bastante diversificado, constituindo-se por formas de relevo trabalhadas por diferentes processos, atuando sob climas distintos e rochas pouco ou muito diferenciadas (PARAÍBA, 2006). O relevo é caracterizado por planícies, planaltos e depressões em formas tabulares e planas. Cerca de 90% do território situa-se abaixo dos 600 m de altitude (Figura 1a),

com as maiores elevações na região central do Estado, ao longo do Planalto da Borborema. Na faixa litorânea com clima tropical úmido, predominam as falésias, com altitudes não maiores que 60 m, abrigando diversas áreas de proteção integral e uso sustentável com remanescentes de Mata Atlântica. A Depressão Sertaneja domina o relevo no oeste do Estado, caracterizado pela caatinga e o clima semiárido, com elevações variando principalmente entre as cotas 100 e 400 metros (PARAÍBA, 2014).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) e uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (<700m) (Figura 1b). A precipitação varia de 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar aos 1.600mm (Varejão-Silva et al., 1984) (Figura 2a). Conforme Francisco et al. (2015), apresenta classificação climática de Köppen, em quatro tipos diferentes de clima (Figura 2b). O clima Aw, que caracteriza a região do Litoral norte como Tropical com estação seca no inverno, o clima Am no Litoral norte e Sul do Estado, o tipo climático as que dominam em sua maioria nas regiões de parte do Litoral, Brejo, Agreste e em pequena faixa da região do Sertão e em toda área do Alto Sertão. O tipo climático Bsh é predominante na área do Cariri/Curimataú, e boa parte da área do Sertão.

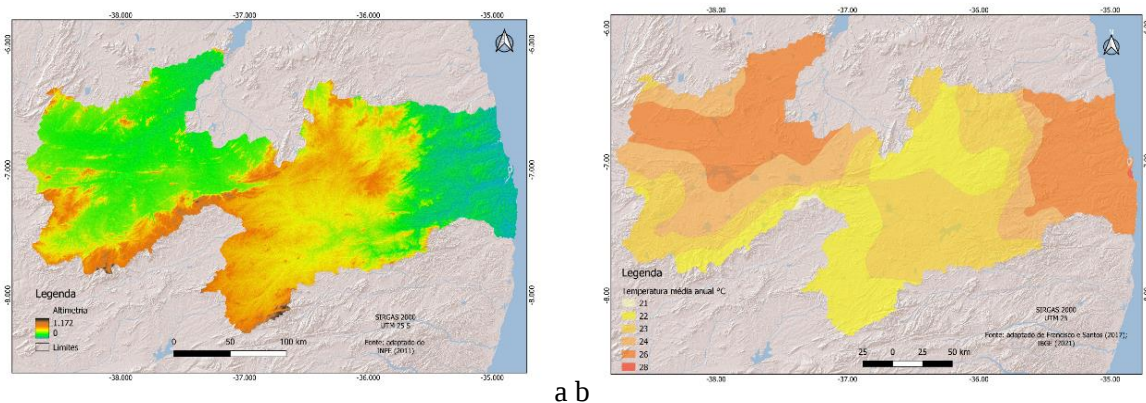
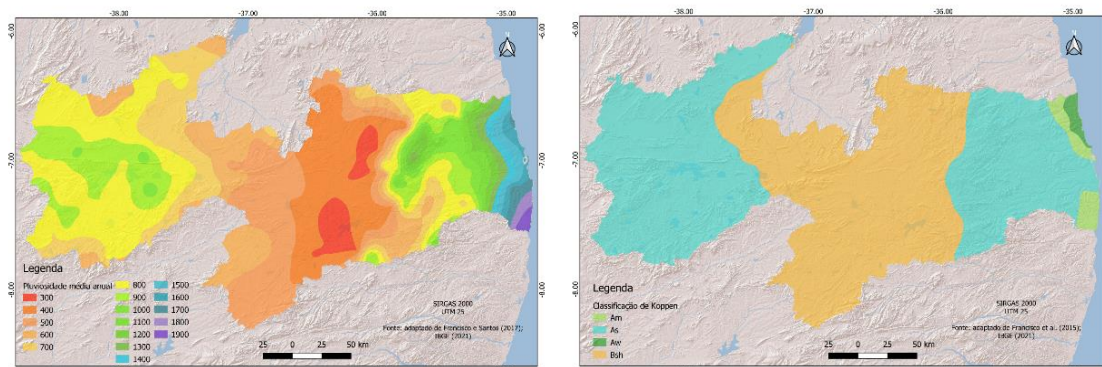


Figura 1. a) Altimetria do Estado da Paraíba; b) Temperatura média anual.  
Fonte: adaptado de Francisco et al. (2013); Francisco e Santos



(2017).

Figura 2. a) Precipitação média anual; b) Classificação climática de Köppen.

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2015); Francisco e Santos (2017).

Conforme Francisco et al. (2016), a insolação anual (Figura 3) apresenta valores mínimos de 6 horas diárias na região dos Brejos e Agreste Acaatingado, e valores de insolação de 7

horas na região do Litoral, na Borborema, Cariris de Princesa e parte do Sertão do Seridó. Valores máximos são observados na região do Sertão com valores diários de 8 horas.

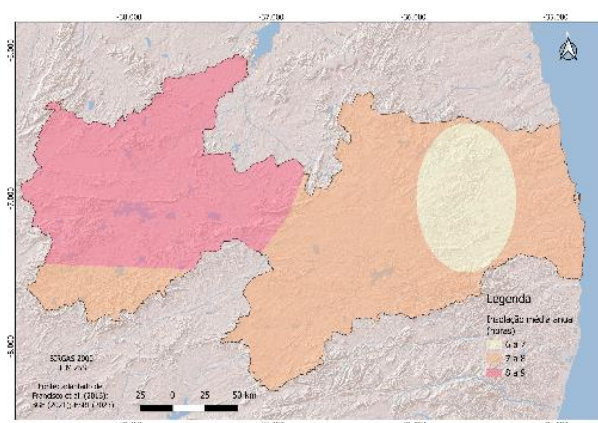


Figura 3. Média anual de insolação em horas do Estado da Paraíba.

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2016).

De acordo com o Censo Demográfico, a população do Estado da Paraíba é de 3.974.687 habitantes com densidade demográfica de 70,39 hab/km<sup>2</sup> apresentando área urbanizada de 680,32 km<sup>2</sup> (IBGE, 2023). Com tendência similar à observada na maioria dos Estados brasileiros, a população da Paraíba está fortemente concentrada em áreas urbanas, em que, 46,1% residem nos 10 municípios com mais de 50.000 habitantes (PARAÍBA, 2014).

O Estado da Paraíba tem capacidade instalada de 909 MW representando somente 0,5% de participação em relação ao Brasil com geração de energia elétrica de 1.501 GWh. O consumo de energia elétrica na Paraíba foi de 5.598 GWh durante o ano de 2020. Desse montante, 75,11% foi destinado aos setores residencial, comercial e público, resultando em um consumo médio de

1.382 kWh/ano por habitante. A taxa média de crescimento do consumo de energia elétrica residencial registrado no período 2019-2020 é de 3% (EPE, 2021).

De acordo com a ANEEL (2021) e a EPE (2021), o sistema de transmissão do Estado da Paraíba é constituído por linhas de 500kV e 230kV. O sistema de transmissão do Estado, operado pela CHESF, é interligado em 230 kV ao Sistema Interligado Nacional – SIN, por meio de subestações nas cidades de João Pessoa, Campina Grande e Coremas. O sistema é distribuído primariamente em 69 kV para os demais centros de carga (ANEEL, 2015; ENERGISA, 2014), exceto por uma interligação em 138 kV com o Rio Grande do Norte operada pela CHESF (ONS, 2014) (Figura 4).

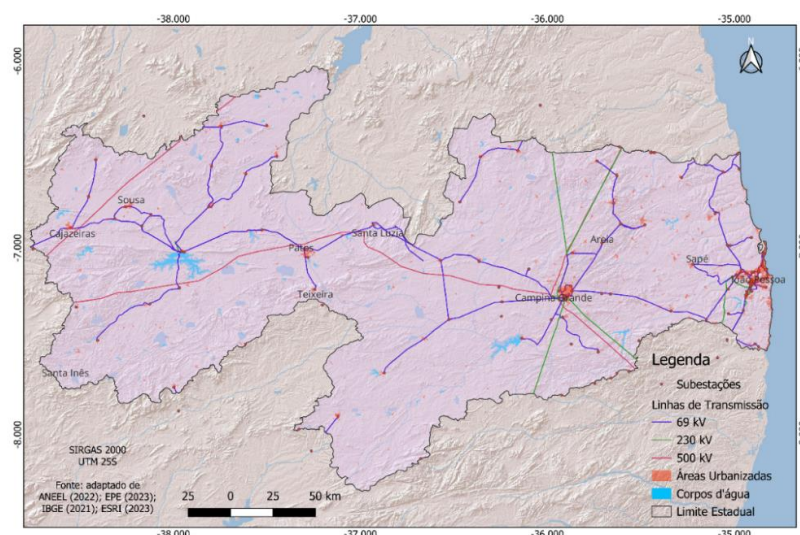


Figura 4. Sistema elétrico de transmissão do Estado da Paraíba.  
Fonte: adaptado de ANEEL (2022); EPE (2023); IBGE (2021); ESRI (2023).

Neste trabalho foi utilizado a base digital de dados solarimétricos entre 2012 a 2021 disponibilizado por PARAÍBA (2023), em que, para sua elaboração foi adotado a metodologia inovadora que combina uso de dados climáticos e de sensoriamento remoto com modelo numérico de transferência radiativa BRASIL SR-2.0 adaptado para as condições ambientais, que emprega propriedades físicas da atmosfera e seus constituintes (temperatura do ar, umidade relativa, espessura óptica de aerossóis, concentração de gases atmosféricos, nebulosidade) para estimar o perfil vertical dos principais gases e partículas presentes na atmosfera, e também dados relacionados à cobertura e uso do solo (albedo e altitude), e informações sobre a nebulosidade presente na atmosfera, principal fator de modulação da incidência de radiação solar na superfície, obtidas a partir de imagens de satélites geoestacionários da família GOES. As incertezas associadas à metodologia foram avaliadas com uso de métricas estatísticas, determinadas com base na comparação entre valores estimados e observados em estações medidas em superfície. A dispersão entre as médias mensais de totais diários de GHI observados (abscissas) e estimados (ordenadas) para todas as estações analisadas foram  $>0,95$  de correlação linear e de viés relativo médio de 2% com REQM relativo de 5,2%, compatíveis com as incertezas de modelos de estimativas satelitais.

A base em formato shape utilizada apresenta resolução de 4 km ( $16 \text{ km}^2$ ) totalizando 3.362 pixels com valores estimados dos dados da Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal, da Média anual e mensal do Total Diário da Irradiação Global Plano Inclinado à  $10^\circ$ .

Utilizando o QGIS<sup>®</sup> 3.34 e um arquivo digital no formato shape fornecido pelo IBGE (2021) foi recortado o limite estadual. Em seguida foram elaborados os mapas de Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal (GHI), e a Média anual e mensal do Total Diário da Irradiação Global de Plano Inclinado a  $10^\circ$  ( $\text{GTI}_{10}$ ). Para a classificação foi utilizada os valores e cores conforme PARAÍBA (2023) (Figura 5) e gerados histogramas dos mapas elaborados.

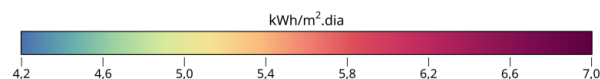


Figura 5. Classes de valores de irradiação global ( $\text{kWh/m}^2.\text{dia}$ ).  
Fonte: PARAÍBA (2023).

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados utilizando o QGIS<sup>®</sup>. Após, consultando a base de dados foi gerado gráficos da produtividade média diária fotovoltaica para os principais municípios da área de estudo.

Foi adotado o cenário de potencial Econômico III (PARAÍBA, 2023), que tem por objetivo o aproveitamento da energia solar em sistemas de geração distribuída instalados em telhados das edificações em áreas urbanas com área média  $85 \text{ m}^2$  de telhado para as casas e aproveitamento de 30% da área final, na base de dados de Irradiação Global no Plano Inclinado a  $10^\circ$  ( $\text{GTI}_{10}$ ); e com potência aproximada de  $650 \text{ Wp}$ , eficiência de 21%, com adaptações de PARAÍBA (2013) em área de 3,1 para  $4 \text{ m}^2$  e desempenho de 75% para conexões monofásicas

com módulos voltados para o Norte geográfico com inclinação de 10°.

## Resultados e discussão

Na Figura 6, da Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal (GHI), pode-se observar que, os menores valores entre 4,8 e 5,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia estão localizados na região do Brejo onde ocorre menor insolação anual, entre 6 e 7 horas conforme Francisco et al. (2016), isto devido a maior ocorrência de cobertura de nuvens e precipitação anual média em torno de 1.000mm.

A região do Litoral apresenta valores médios de 5,8 a 6,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia de GHI diminuindo os valores entre 5,0 a 5,4 kWh/m<sup>2</sup>.dia na região do Agreste com insolação média anual de 7 a 8 horas com ocorrência anual de chuvas entre 1.000 a 1.300mm. Os valores de irradiação GHI voltam a aumentar no sentido leste a oeste sob o Planalto da Borborema, na região do Curimataú e Cariri entre 5,4 a 5,8 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Região de maiores altitudes entre 600 a 700 m com insolação média anual de 7 a 8 horas e pluviosidade anual média entre 300 a 600mm (Francisco, 2010; Francisco et al., 2016; Francisco et al., 2015).

Valores maiores entre 5,8 e 6,7 kWh/m<sup>2</sup>.dia ocorrem na região do Sertão e Alto Sertão, respectivamente, por estarem localizadas

em região semiárida, devido a estação chuvosa ocorrer somente entre os meses de dezembro a fevereiro e a menor cobertura de nuvens durante o ano e consequentemente maior insolação anual média entre 8 a 9 horas diárias (Francisco, 2010; Francisco et al., 2015; Francisco et al., 2016).

A região Nordeste apresenta o maior potencial solar, com valor médio do total diário da irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m<sup>2</sup> e da componente direta normal de 5,05 kWh/m<sup>2</sup> em que o Brasil apresenta níveis bastante elevados de irradiação solar com uma variabilidade mensal muito mais baixa (Pereira et al., 2017).

De acordo com PARAÍBA (2023), onde a média anual de irradiação global é de 5,71 kWh/m<sup>2</sup>, os totais diários podem variar de 2,0 a 8,0 kWh/m<sup>2</sup>, dependendo dos sistemas meteorológicos atuantes. Por outro lado, o recurso solar apresenta uma baixa variabilidade ao longo dos anos para o Estado da Paraíba, de modo que a variação entre um ano de maior potencial e outro de menor potencial solar é, tipicamente, inferior a 5,0% em torno de seu valor médio climatológico. Esta variabilidade é inferior do que a variabilidade sazonal. Estes dados demonstram a grande estabilidade interanual da geração solar quando comparado a outras fontes renováveis disponíveis na região, como a eólica e hídrica.

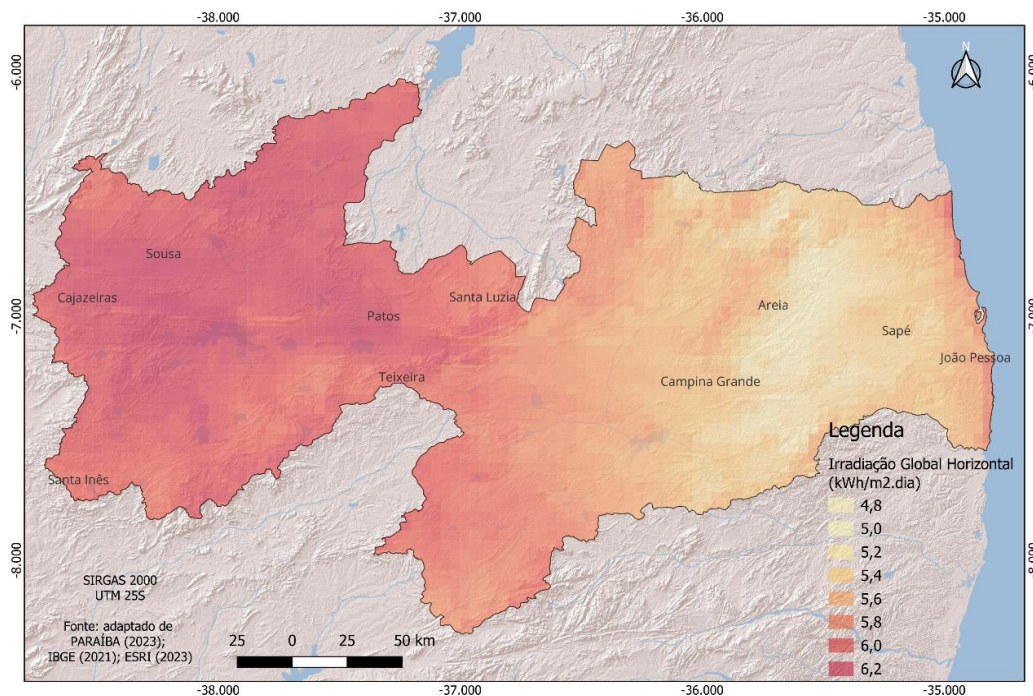


Figura 6. Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal (GHI) (kWh/m<sup>2</sup>.dia).  
Fonte: adaptado de PARAÍBA (2023); IBGE (2021); ESRI (2023).

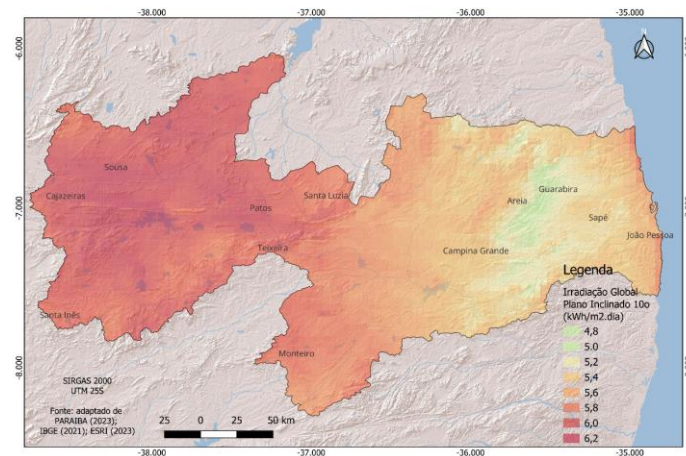


Figura 7. Média anual do Total Diário da Irradiação Global Plano Inclinado à 10° (GTI<sub>10</sub>).  
Fonte: adaptado de PARAÍBA (2023); IBGE (2021); ESRI (2023).

Na Figura 7 dos valores médios de GTI<sub>10</sub> pode-se observar que, os menores valores entre 4,8 a 5,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia ocorre entre os municípios, em sentido sul a norte, de Massaranduba, Alagoa Grande, Guarabira e Píripituba. Em toda a faixa litorânea ocorre valores médios de 5,8 a 6,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia de GTI<sub>10</sub> diminuindo para 5,0 a 5,4 kWh/m<sup>2</sup>.dia adentrando a região do Agreste, que ocorre nos principais municípios de Itabaiana, Mogeiro, Gurinhém e Araçagi. Os valores de irradiação GTI<sub>10</sub> sob o Planalto da Borborema os valores médios estão entre 5,4 a 5,8 kWh/m<sup>2</sup>.dia ocorrendo nos municípios de Campina Grande e aumentando na direção Oeste como Monteiro ao Sul e Picuí ao Norte do Estado. Na região do Sertão e Alto Sertão os valores observados estão entre 5,8 e 6,7 kWh/m<sup>2</sup>.dia e contemplam municípios como Teixeira com altitude maior, Patos, Santa Luzia, Sousa, Cajazeiras e Santa Inês em menores altitudes.

Pode-se observar pelas Figuras 6 e 7 que ocorre uma diminuição dos valores médios de irradiação global. De acordo com Costa et al.

(2018), este resultado é esperado, tendo em vista que o nível de radiação solar é, naturalmente, o fator ambiental preponderante no processo de geração. Foi observado por PARAÍBA (2023), que a irradiação global no plano inclinado (GTI<sub>10</sub>) apresenta uma variabilidade 20% inferior à GHI, atingindo valores máximos de na faixa de 500Wh/m<sup>2</sup>.

Na Figura 8 apresenta-se a variabilidade mensal anual da irradiação GTI<sub>10</sub>. Observa-se que, a variabilidade é influenciada pelas condições climáticas e pelas estações chuvosas, principalmente no Litoral e Agreste, e com menor influência sob o Planalto da Borborema. O Sertão e Alto Sertão não apresentam maior variabilidade em relação as demais regiões do Estado.

Pereira et al. (2017) afirmam que, a região Nordeste apresenta a menor variabilidade interanual, com valores extremos entre 5,39 e 5,59 kWh/m<sup>2</sup>, e 50% das médias anuais contidas no intervalo entre 5,43 e 5,50 kWh/m<sup>2</sup> e que apresentaram as menores variabilidades, principalmente no verão.

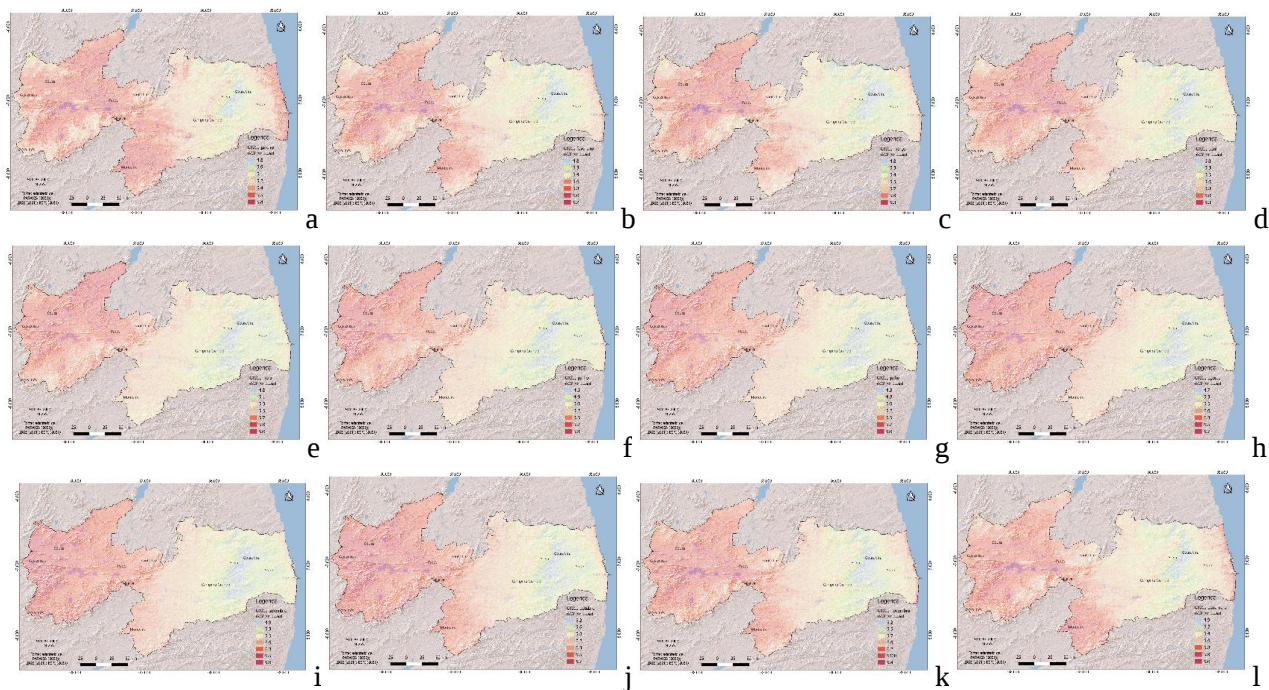


Figura 8. Média mensal do Total Diário da Irradiação Global Plano Inclinado à 10° (GTI<sub>10</sub>), a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio, f) junho, g) julho, h) agosto, i) setembro, j) outubro, k) novembro, l) dezembro.

Fonte: adaptado de PARÁIBA (2023); IBGE (2021); ESRI (2023).

Na Tabela 1 verifica-se que, o mês de julho apresenta os menores valores de irradiação de 4,25 kWh/m<sup>2</sup>.dia com maiores máximas no mês de setembro de 6,93 kWh/m<sup>2</sup>.dia. A maior média apresenta-se no mês de outubro com 6,23 kWh/m<sup>2</sup>.dia e menor média em julho (5,28 kWh/m<sup>2</sup>.dia). O maior desvio padrão ocorre no

mês de setembro (480,60) e o menor desvio em janeiro (174,25). A maior variabilidade ocorre no mês de setembro (1.352) e a menor em janeiro (728). O intervalo interquartil segue a variabilidade nos meses de janeiro e setembro, com menores e maiores valores, respectivamente.

**Tabela 1.** Dados estatísticos descritivos

| Atributo/Variável                                            | Mínimo | Média   | Mediana | Máximo | Desv. Pad. | Variabilidade | Q1    | Q3    | IQR |
|--------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|--------|------------|---------------|-------|-------|-----|
| Irradiação Global Horizontal (GHI)                           | 4.890  | 5.713,8 | 5.777   | 6.715  | 287,34     | 957           | 5.460 | 5.974 | 514 |
| Irradiação Global Plano Inclinado à 10° (GTI <sub>10</sub> ) | 4.885  | 5.710,1 | 5.779   | 6.177  | 291,18     | 954           | 5.451 | 5.974 | 523 |
| Janeiro                                                      | 4.776  | 5.386,1 | 5.410   | 5.770  | 174,25     | 728           | 5.268 | 5.517 | 249 |
| Fevereiro                                                    | 4.882  | 5.659,2 | 5.684   | 6.157  | 276,38     | 903           | 5.482 | 5.860 | 378 |
| Março                                                        | 4.982  | 5.713,4 | 5.749   | 6.253  | 278,49     | 1.009         | 5.481 | 5.949 | 468 |
| Abril                                                        | 5.001  | 5.765,3 | 5.810   | 6.313  | 288,07     | 1.011         | 5.511 | 6.017 | 506 |
| Maio                                                         | 4.782  | 5.495,2 | 5.485   | 6.075  | 278,41     | 972           | 5.257 | 5.752 | 495 |
| Junho                                                        | 4.521  | 5.287,0 | 5.304   | 5.872  | 307,86     | 1.068         | 5.016 | 5.553 | 537 |
| Julho                                                        | 4.258  | 5.286,2 | 5.300   | 6.058  | 367,42     | 1.178         | 4.963 | 5.613 | 650 |
| Agosto                                                       | 4.758  | 5.923,7 | 5.928   | 6.726  | 447,05     | 1.238         | 5.521 | 6.345 | 824 |
| Setembro                                                     | 4.931  | 6.158,8 | 6.248   | 6.936  | 480,60     | 1.352         | 5.720 | 6.588 | 868 |
| Outubro                                                      | 5.236  | 6.233,4 | 6.373   | 6.758  | 367,38     | 1.102         | 5.924 | 6.545 | 621 |
| Novembro                                                     | 5.177  | 5.986,6 | 6.062   | 6.423  | 253,80     | 922           | 5.791 | 6.193 | 402 |
| Dezembro                                                     | 4.942  | 5.626,2 | 5.666   | 6.022  | 200,68     | 788           | 5.476 | 5.790 | 314 |

Na Figura 9a e 9b observa-se o histograma dos mapas da média anual do GHI e GTI<sub>10</sub> com mínima variabilidade entre 954 e 957 kWh/m<sup>2</sup>.dia,

respectivamente, concordando com os dados descritivos da Tabela 1.

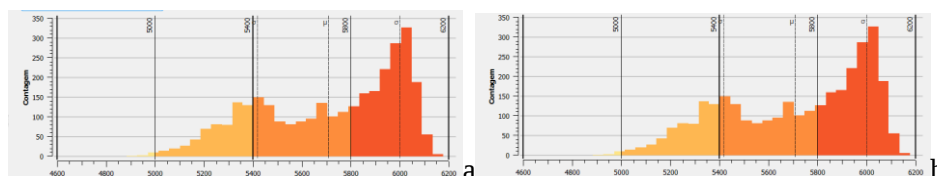


Figura 9. Histograma da média anual (kWh/m².dia), a) (GHI), b) (GTI<sub>10</sub>).

Nos Histogramas das médias mensais do GTI<sub>10</sub> (Figura 10), pode-se verificar a mesma variabilidade da Figura 8. No entanto, os meses de agosto a novembro atingem os maiores valores de irradiação solar, isto devido, tanto a região do

Sertão e do Litoral não apresentarem estação chuvosa com isso diminuindo a cobertura de nuvens e consequentemente aumentando a insolação e o potencial solarimétrico.

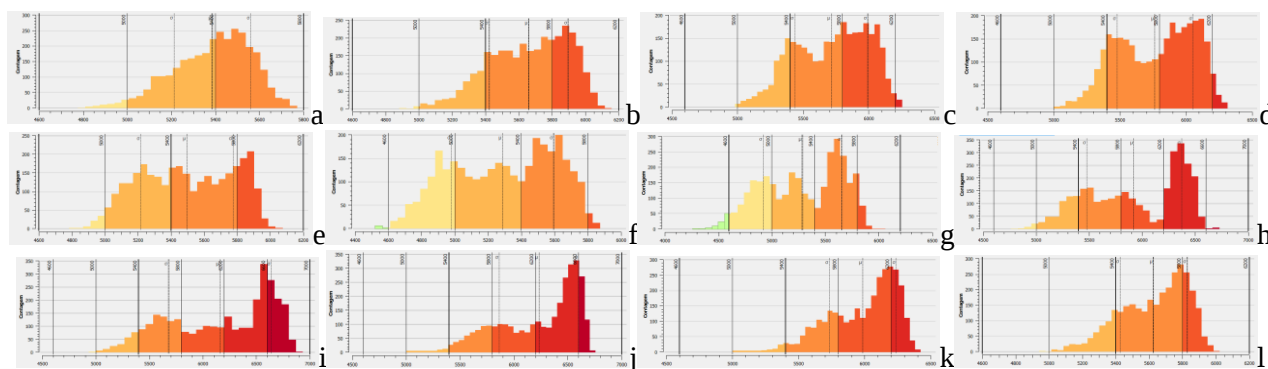


Figura 10. Histograma da média mensal do GTI<sub>10</sub> (kWh/m².dia) a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio, f) junho, g) julho, h) agosto, i) setembro, j) outubro, k) novembro, l) dezembro.

Pela Tabela 2 e pela Figura 11 pode-se observar que, os municípios localizados na região do Sertão e Alto Sertão apresentam as maiores médias anual de irradiação global (GTI<sub>10</sub>) entre 5,86 e 6,01(kWh/m².dia). A região do Agreste

apresenta os menores valores seguida pela região do Litoral, Brejo e Cariri. De acordo com Silva et al. (2016), o Sertão do Nordeste brasileiro tem características geográficas e climáticas que favorecem a geração de energia solar fotovoltaica.

**Tabela 2.** GTI<sub>10</sub> mensal e anual para os principais municípios

| Região      | Município      | Média mensal da Irradiação Global Inclinada a 10° (GTI <sub>10</sub> ) (kWh/m².dia) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|             |                | Jan                                                                                 | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Anual |
| Litoral     | João Pessoa    | 5,31                                                                                | 5,45 | 5,41 | 5,45 | 5,16 | 4,91 | 4,83 | 5,40 | 5,57 | 5,76 | 5,76 | 5,53 | 5,38  |
| Agreste     | Sapé           | 5,12                                                                                | 5,27 | 5,27 | 5,33 | 5,12 | 4,88 | 4,80 | 5,31 | 5,43 | 5,59 | 5,54 | 5,30 | 5,25  |
|             | Guarabira      | 5,12                                                                                | 5,34 | 5,37 | 3,38 | 5,13 | 4,88 | 4,78 | 5,3  | 5,45 | 5,64 | 5,55 | 5,29 | 5,27  |
| Brejo       | Areia          | 5,27                                                                                | 5,53 | 5,52 | 5,58 | 5,33 | 5,06 | 4,99 | 5,56 | 5,72 | 5,94 | 5,75 | 5,46 | 5,48  |
| Cariri      | Campina Grande | 5,20                                                                                | 5,41 | 5,40 | 5,43 | 5,23 | 4,99 | 4,92 | 5,49 | 5,70 | 5,94 | 5,76 | 5,40 | 5,41  |
|             | Monteiro       | 5,49                                                                                | 5,77 | 5,79 | 5,85 | 5,53 | 5,36 | 5,38 | 6,05 | 6,38 | 6,45 | 6,14 | 5,79 | 5,83  |
| Sertão      | Patos          | 5,52                                                                                | 5,86 | 5,96 | 6,06 | 5,78 | 5,52 | 5,56 | 6,33 | 6,53 | 6,50 | 6,17 | 5,74 | 5,96  |
|             | Santa Luzia    | 5,47                                                                                | 5,79 | 5,87 | 5,98 | 5,64 | 5,44 | 5,51 | 6,22 | 6,47 | 6,47 | 6,11 | 5,68 | 5,89  |
|             | Cajazeiras     | 5,34                                                                                | 5,72 | 5,75 | 5,85 | 5,70 | 5,61 | 5,70 | 6,40 | 6,73 | 6,59 | 6,16 | 5,75 | 5,94  |
| Alto Sertão | Sousa          | 5,40                                                                                | 5,76 | 5,87 | 5,94 | 5,74 | 5,64 | 5,72 | 6,44 | 6,69 | 6,57 | 6,14 | 5,72 | 5,97  |
|             | Teixeira       | 5,55                                                                                | 5,89 | 6,01 | 6,06 | 5,80 | 5,52 | 5,55 | 6,31 | 6,52 | 6,51 | 6,16 | 5,74 | 5,97  |
|             | Santa Inês     | 5,43                                                                                | 5,75 | 5,84 | 5,97 | 5,79 | 5,71 | 5,79 | 6,49 | 6,78 | 6,62 | 6,22 | 5,75 | 6,01  |

Pela Figura 11 pode-se verificar que, os meses de junho e julho são os que apresentam as menores médias produtivas diária, isto devido a maior cobertura de nuvens que ocorre na estação chuvosa, desde a região do Litoral até a oeste, na Serra do Planalto da Borborema, região do Cariri e Curimataú. Estas médias se apresentam acima de 4

kWh/m².dia, que seria o mínimo necessário para a geração de energia fotovoltaica pelo módulo adotado por este trabalho. De acordo com Almeida e Almeida (2022), mesmo que no período chuvoso coincida com maior nebulosidade, a disponibilidade média de energia solar, no Estado da Paraíba, varia entre 5,6 e 5,8 kWh/m².



Figura 11. Médias da produtividade diária (kWh/kWp.dia) a) João Pessoa, b) Campina Grande, c) Patos.

O valor mínimo médio diário observado por este trabalho do GTI<sub>10</sub> é de 4,85 kWh/kWp.dia (Tabela 1) que multiplicado por 30 dias e subtraído a diferença do desempenho obtêm-se 126 kWh/m<sup>2</sup>.mês, sendo nesse caso o suficiente para uma residência manter seu consumo mínimo de energia elétrica mensal. Quando se atinge os maiores valores 7,11 kWh/kWp.dia o total é de 213,3 kWh/m<sup>2</sup>.mês podendo ter utilização ampliada ou repassada para a distribuidora gerando um retorno mais rápido do investimento do módulo fotovoltaico instalado.

Conforme afirma Šuri et al. (2007), a Alemanha possui uma Irradiação e Produtividade Total Anual média de 1.251 kWh/m<sup>2</sup>.ano o que corresponde a uma média diária anual de 3,43 kWh/m<sup>2</sup>.dia, valores estes 29,27% menor comparado a este trabalho.

Ferraz et al. (2018) afirmam que, devido ao bom clima e ao maior desenvolvimento dessa tecnologia, o Brasil possui um mercado com grande potencial de crescimento. Especialmente no Nordeste, que possui boa radiação solar, fator fundamental para o crescimento dessa tecnologia e seu crescente uso na região.

De acordo com Jardim et al. (2004), a geração solar fotovoltaica integrada à edificação e interligada à rede elétrica pública pode trazer inúmeros benefícios à concessionária, tanto de caráter energético quanto financeiro. Pelo fato de o sistema ser instalado no próprio ponto de consumo, as perdas por transmissão e distribuição inerentes da geração centralizada convencional são eliminadas, fazendo com que aumente a eficiência energética da concessionária.

## Conclusão

Pôde-se concluir que o uso de geotecnologias pôde mapear o potencial solarimétrico com rapidez e precisão.

Os resultados da geoestatística demonstraram a pequena variabilidade do potencial solarimétrico mensal.

A GHI média anual apresentou valores similares devido a sua localização geográfica próxima a linha do Equador com pouca variação anual.

A variação mensal da GTI<sub>10</sub> ocorreu em regiões com maior pluviosidade anual e maior nebulosidade.

A região do Sertão e Alto Sertão apresentaram o maior potencial solarimétrico.

A média anual da GTI<sub>10</sub> observada foi de 5,7 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

A elevada disponibilidade e regularidade da irradiância solar no Estado da Paraíba durante os meses do ano pode garantir o investimento na geração fotovoltaica em todas as áreas urbanizadas.

## Referências

- Almada, A.C.K.; Novais, J.W.Z.; Rocha, A.A.; Brito, N.S. dos S.; Zangeski, D. dos S.O.; Roberto, I. de O. 2022. Potencial de geração de energia fotovoltaica no Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Energia* 28(1) 46-57.
- Almeida, H.A. de; Almeida, E. de C.V. de. 2022. Potencial da energia solar fotovoltaica no Semiárido nordestino. *Revista Concilium* 22(2) 197-210.
- Almeida, I.R. de; Reisser Junior, C.; Steinmetz, S. 2019. Potencial de geração de energia fotovoltaica em estabelecimentos rurais de base familiar no Estado do Rio Grande do Sul. Embrapa. Comunicado Técnico 371. Pelotas.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. BDGD - Base de Dados Geográfica da Distribuidora conforme PRODIST. Módulo 10 – Sistema de Informação Geográfica Regulatório. Disponível em: [ftp://ftp.aneel.gov.br/srd/LAI/BDGD\\_LAI](ftp://ftp.aneel.gov.br/srd/LAI/BDGD_LAI). Acesso em: 12 de dezembro de 2023.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico. Disponível em: [www.sigel.aneel.gov.br](http://www.sigel.aneel.gov.br). Acesso em: 19 jul. 2015.
- ANEEL. Resolução Normativa n. 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <http://aneel.gov.br/cedo/ren2012482.pdf>. Acesso em: 15 novembro 2023.

- Averlan, M.S. 2019. Mapeamento do potencial de geração de energia fotovoltaica no Estado de Santa Catarina. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Florianópolis.
- Bayer, C. 2004. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. In: FERTBIO, 26, 2004, Lages. Anais...Lages.
- Bezerra, F.D. 2019. Energia Eólica Banco do Nordeste, Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4804489/66\\_2019\\_Eolica.pdf/5091550b-0dbb-9613-8502-c1ef650ad074](https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4804489/66_2019_Eolica.pdf/5091550b-0dbb-9613-8502-c1ef650ad074). Acesso em: 10 de dezembro de 2023.
- Bley JR., C. 1999. Erosão Solar: riscos para a agricultura nos trópicos. *Ciência Hoje* 25(148) 24-29.
- Borges, G.D.; Gomes, V.S.; Sanches, M.E. 2019. Viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica: estudo de caso em uma empresa de pequeno porte. *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas* 5(2) 79-92.
- Braun-Grabolle, P.A. 2010. integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana. 257f. Tese (Doutorado). Curso de Engenharia Civil. Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Chow, A.; Fung, A.S.; Li, S. 2014. GIS modeling of solar neighborhood potential at a fine spatiotemporal resolution. *Revista Buildings* 4 195–206.
- Costa, A.M.G. da; Lopes, B.M.; Uturbey, W. 2018. Mapeamento do potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil—uma abordagem preliminar. *Revista Brasileira de Energia Solar* 9(1) 30-40.
- Costa, D.S.; Sehnem, S. 2021. Incentivos e políticas públicas para a energia solar no Brasil. *Cadernos de Prospecção* 14(2) 104-117.
- Dominguez, J.; Amador, J. 2007. Geographical information systems applied in the field of renewable energy sources. *Revista Computers and Industrial Engineering* 52 322–326.
- ENERGISA PARAÍBA. 2021. Disponível em: [www.energisa.com.br](http://www.energisa.com.br). Acesso em: 1 jul. 2014.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 255p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/pub> licacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio\_2021.pdf. Acesso em: 14 de dezembro de 2023.
- Feitosa, R.O. 2022. Geoinformática aplicada na estimativa do potencial fotovoltaico do semiárido sergipano. 151f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- Folster, A.L.A. 2019. Potencial de geração de energia solar fotovoltaica em lixões no Brasil. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Departamento de Engenharia Elétrica. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília.
- Francisco, P.R.M. 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Lima, E.R.V. de. 2013. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior* 28(1) 30-35
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Santos, D.; Matos, R.M. de. 2015. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1006-1016.
- Francisco, P.R.M.; Pedroza, J.P.; Bandeira, M.M.; Silva, L.L. da; Santos, D. 2016. Mapeamento da insolação do Estado da Paraíba utilizando krigagem. *Revista de Geografia* 33(1) 248-262.
- Francisco, P.R.M.; Santos, D. 2017. *Climatologia do Estado da Paraíba*. 1ª ed. Campina Grande: EDUFPG. 75p. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/573985/2/Climatologia%20do%20Estado%20da%20Paraiba.pdf>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.
- Ferraz, R.S.F.; Santos, B.L.M.; Silva, P.L.C.; Ferraz, R.S.F.; Gomes, A.C. 2018. Análise comparativa do potencial de energia solar na região nordeste do Brasil x Alemanha. *Revista Científica Semana Acadêmica* 1(142) 1-20.
- Huld, T. 2017. Pvmtools: Software tools and data for the estimation of solar radiation and photovoltaic module performance over large geographical areas. *Solar Energy* 142 171–181.

- Jardim, C. da S.; Salamoni, I.; Rüther, R.; Knob, P.; Diniz, A.S.C. 2004. O potencial dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em áreas urbanas: dois estudos de caso. In: Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 5, 2004, Campinas. Anais...Campinas.
- Kaufmann, G.V. 2012. Avaliação do potencial de geração solar fotovoltaica e análise em tempo real da operação de um painel fotovoltaico instalado na cidade de Lajeado/RS. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. UNIVATES. Lajeado.
- Krenzinger, A.; Azevedo, E. 2018. Análise do potencial de geração de energia elétrica em telhados residenciais utilizando energia solar fotovoltaica na região de Joinville (SC). *Energia na Agricultura* 33(2) 59-68.
- Lima, M. de M.; Brito, I.R.; Silva, B.M.S. da; Ferreira, P.V. de M.; Campos, P.S. da S.; Marques, G.T.; Moraes, E.C.; Andrade, E. do S.S.; Almeida, J.F.S. de; Chase, O.A. 2020. Avaliação do potencial econômico e energético de geração de energia fotovoltaica residencial em Belém-PA. *Brazilian Journal of Development* 6(1) 1838-1850.
- Molina, L. de S. 2017. Potencial de energia fotovoltaica em telhados: desenvolvimento de metodologia com dados de sensoriamento remoto. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Departamento Acadêmico de Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão.
- Moraes Junior, H. de S.; Cavalcante, R.L.; Galhardo, M.A.B.; Macedo, W.N. 2012. Aplicação de energia solar fotovoltaica – um estudo de caso na região Amazônica. *Revista Geonorte* 2(4) 1303-1309.
- Oliveira Júnior, J.A. de. 2022. Análise e cálculo do potencial de geração solar fotovoltaica das áreas em desertificação no Estado do Ceará. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- ONS. Operador Nacional do Sistema. Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do Sistema Interligado Nacional - SINDAT. Disponível em: [www.aplicsindat.ons.org.br/sindat](http://www.aplicsindat.ons.org.br/sindat). Acesso em: 14 de dezembro de 2014.
- PARAÍBA. 2006. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF. 112p.
- PARAÍBA. 2014. Secretaria de Infraestrutura, Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Camargo Schubert Engenheiros Associados. Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior, ATECEL. Atlas eólico: Paraíba. Campina Grande: ATECEL/UFCEG. 104p.
- Pereira, E.B.; Martins, F.R.; Gonçalves, A.R.; Costa, R.S.; Lima, F.L.; Rüther, R.; Abreu, S.L.; Tiepolo, G.M.; Pereira, S.V.; Souza, J.G. 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2a ed. São José dos Campos, INPE. 88p.
- Pintor, B.H. et al. 2015. Solar energy resource assessment using r.sun in Grass GIS and site suitability analysis using AHP for groundmounted solar photovoltaic (PV) farm in the Central Luzon Region (region 3), Philippines. In: Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G), 5, 2015, Seul. Anais...Seul-Coreia do Sul.
- Rangel, G.F.; Mariano, R.M. 2019. Análise do potencial de geração de energia elétrica a partir da instalação de painéis solares em edificações residenciais: estudo de caso em Natal-RN. *Revista Brasileira de Energias Renováveis* 8(2) 136-148.
- Rocha, L. da S.; Gomes, J.B.S.; Silva, T.R.C. da; Fontes Neto, P.A.; Alves, A.M.S. 2014. O potencial de geração de energia fotovoltaica integrada a rede pública de distribuição: um exemplo de Açailândia para o Maranhão. *Revista Brasileira de Energias Renováveis* 3 107-127.
- Rüther, R. 2004. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública. Editora da UFSC. LABSOLAR. Florianópolis.
- Santos, Í.P. dos; Montenegro, A.; Zomer, C.D.; Nascimento, L.; Braun, P.; Rüther, R. 2010. Estádios solares: potencial de aplicação da energia solar fotovoltaica nos estádios da Copa 2014. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2, 2010, Belém. Anais...Belém.
- Signorini, V.B.; Vianna, S.D.; Salamoni, I. 2014. Análise do potencial de geração de energia solar fotovoltaica em um sistema integrado à edificação e interligado à rede - estudo de caso no prédio administrativo do campus porto da UFPEL. *Revista de Arquitetura da IMED* 3(2) 108-117.
- Silva, B.A.O. 2023. Aproveitamento e potencial da energia solar no nordeste brasileiro. *Meio Ambiente (Brasil)* 5(1) 55-66.

- Silva, G.L.; Oliveira, M.S.; Silva, R.M.; Silva, N.L. 2016. Análise de viabilidade econômica entre o uso de energia em grid e a solar no sertão paraibano. *Energia na Agricultura* 31(1) 89-96.
- Silva, F.V.P.; Feitosa, H.O.; Pereira, C.F.; Silva, J.A.S.; Feitosa, E.O. 2017. Potencial de energia solar para a irrigação no município de Barbalha-CE. *Energia na Agricultura* 32(1) 57-64.
- Šúri, M.; Huld, T.A.; Dunlop, E.D.; Ossenbrink, H.A. 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy* 81 1295–1305.
- Takenaka, F.O. 2010. Avaliação do potencial de geração de energia solar fotovoltaica na cobertura das edificações do Campus I-CEFET-MG, interligado à rede elétrica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Tiepolo, G.M. 2015. Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas). Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba.
- Tiepolo, G.M.; Urbanetz Júnior, J.; Pereira, Ê.B.; Pereira, S.V.; Alves, A.R. 2016. Potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná – resultados parciais. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 6, 2016, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte.
- Urbanetz Junior, J. 2010. Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Varejão-Silva M.A.; Braga, C.C.; Aguiar M.J.N.; Nietzsche M.H.; Silva, B.B. 1984. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande.
- WWF-BRASIL. 2016. Potencial da Energia Solar Fotovoltaica de Brasília. 1.a ed. Brasília. 32p. Disponível em: [https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf\\_potencial\\_solar\\_para\\_internet.pdf](https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_potencial_solar_para_internet.pdf). Acesso em: 14 de dezembro de 2023.