

Comparação entre bases solarimétricas para planejamento energético fotovoltaico em Sergipe

Marcos Felipe Sobral dos Santos

Doutor em Biotecnologia

Instituição: Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec)

E-mail: marcosfelipesobral@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-1212-5171>

Rosivânia da Paixão Silva Oliveira

Doutora em Ciências dos Materiais

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: rosipaixao@academico.ufs.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3982-3579>

Eliana Midori Sussuchi

Doutora em Química

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: esmidori@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9425-0921>

Isabelly Pereira da Silva

Doutora em Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: isabellypereira@outlook.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5951-9785>

Gabriel Francisco da Silva

Doutor em Engenharia de Alimentos

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: gabrieldasilva1961@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9622-2518>

RESUMO

Este estudo realiza uma análise comparativa dos dados de irradiação solar disponibilizados pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar e pelo Global Solar Atlas para o estado de Sergipe. Foi identificado que os dados disponibilizados pelas bases apresentam diferenças relevantes na estimativa de irradiação solar, em que os valores do Global Solar Atlas são sistematicamente mais elevados com uma diferença média de 1.8% em relação ao Atlas Brasileiro. Essas variações podem ser atribuídas principalmente às metodologias distintas de coleta e modelagem dos dados, resolução espacial e períodos de análise adotados por cada base. Essas divergências têm implicações práticas relevantes para o planejamento técnico e econômico de sistemas fotovoltaicos, reforçando a importância de medições locais para aumentar a confiabilidade dos projetos solares. O estudo fornece subsídios importantes para decisões estratégicas sobre energia solar em Sergipe, contribuindo para a eficiência energética e sustentabilidade local.

Palavras-chave: Irradiação Solar. Planejamento Fotovoltaico. Sergipe.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por fontes de energia limpa e renovável tem impulsionado investimentos e pesquisas voltadas à energia solar, considerada uma das alternativas mais promissoras devido à sua abundância, viabilidade técnica e contribuição para a mitigação das mudanças climáticas. No contexto brasileiro, o destaque é ainda maior: o país possui uma das maiores incidências solares do planeta, com o Nordeste figurando como uma das regiões com maior potencial para geração fotovoltaica (Moreira Júnior & Souza, 2020; Bursztyn, 2020).

No estado de Sergipe, as condições climáticas são especialmente favoráveis ao aproveitamento desse recurso, justificando a expansão da matriz energética por meio de sistemas solares. No entanto, o aproveitamento eficaz desse potencial depende fundamentalmente da precisão e confiabilidade dos dados solarimétricos utilizados no planejamento e dimensionamento das usinas fotovoltaicas (Moraes *et al.*, 2021; Rocha *et al.*, 2022; Araújo *et al.*, 2024).

Diversas bases de dados são utilizadas para esse fim, sendo as principais o Atlas Brasileiro de Energia Solar, elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e o Global Solar Atlas, mantido pelo Banco Mundial e operado pela empresa Solargis. Ambas fornecem estimativas da Irradiação Global Horizontal (GHI) e Irradiação Direta Normal (DNI), entre outras variáveis. Contudo, estudos recentes evidenciam que essas bases podem apresentar discrepâncias significativas nos valores estimados, que impactam diretamente a viabilidade técnica e financeira de projetos fotovoltaicos (Porfirio *et al.*, 2020; Uchôa, 2022; Reis *et al.*, 2023).

Além disso, o Atlas Brasileiro, apesar de seu detalhamento técnico e histórico de validações locais por meio da rede SONDA, encontra-se desatualizado desde 2017, o que pode comprometer sua acurácia diante de alterações climáticas recentes (Martins *et al.*, 2019; INPE, 2025a). Por outro lado, o Global Solar Atlas atualiza seus dados periodicamente com base em imagens multissatélites, mas seu modelo semi-empírico global pode não captar nuances regionais, como microclimas ou eventos de superirradiância comuns no semiárido nordestino (Freitas, 2023; Araújo, 2024).

Nesse cenário, tornam-se cada vez mais relevantes análises que comparem criticamente essas bases, apontando suas limitações e impactos práticos. A escolha equivocada de um banco de dados pode levar a erros no dimensionamento, sub ou superdimensionando sistemas e influenciando negativamente o retorno financeiro de projetos solares (Tiba, Azevêdo, 2023).

Diante disso, este estudo tem como objetivo realizar uma análise comparativa detalhada entre o Global Solar Atlas e o Atlas Brasileiro de Energia Solar no estado de Sergipe, avaliando suas estimativas de GHI e discutindo as implicações técnicas, econômicas e estratégicas dessas diferenças para o planejamento energético local.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo adotou a divisão geográfica do Estado de Sergipe com base na definição de mesorregiões e microrregiões estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sergipe é composto por três mesorregiões, que, por sua vez, englobam um total de 13 microrregiões, conforme Tabela 1. Visando uma melhor compreensão, ao longo do presente trabalho, cada microrregião foi representada por um município de destaque, considerando sua relevância em termos de potência instalada de Geração Distribuída (GD) com sistemas fotovoltaicos. A coleta de dados exigiu a definição de coordenadas geográficas para cada localidade. Considerando que a maioria dos sistemas se concentra em zonas urbanas, os pontos foram definidos na região central das cidades de referência, visando refletir condições reais de instalação.

Tabela 1 – Relação de Municípios e Coordenadas escolhidas

Mesorregião	Microrregião	Município Referência	Coordenadas geográficas
Sertão Sergipano	Sergipana do Sertão do São Francisco	Canindé do São Francisco	-9.657751, -37.794373
	Carira	Carira	-10.358032, -37.704920
	Nossa Senhora das Dores	Nossa Senhora das Dores	-10.480661, -37.220805
Agreste Sergipano	Agreste de Itabaiana	Itabaiana	-10.689492, -37.431162
	Tobias Barreto	Tobias Barreto	-11.181965, -38.000390
	Agreste de Lagarto	Lagarto	-10.893367, -37.662981
Leste Sergipano	Propriá	Propriá	-10.218359, -36.838090
	Cotinguiba	Capela	-10.475648, -37.031843
	Japaratuba	Japaratuba	-10.592197, -36.944591
	Baixo Cotinguiba	Laranjeiras	-10.803993, -37.166900
	Aracaju	Aracaju	-10.951906, -37.078516
	Boquim	Boquim	-11.146917, -37.620025
	Estância	Estância	-11.261429, -37.438354

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

2.2 BASES DE DADOS UTILIZADAS

O Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2^a Edição (2017), produzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Pereira *et al.* 2017), e o Global Solar Atlas, desenvolvido pelo Banco Mundial em parceria com a International Finance Corporation (IFC) e operado pela Solargis (Banco Mundial, 2019), fornecem dados essenciais sobre radiação solar e potencial fotovoltaico. Essas informações auxiliam planejadores, investidores e pesquisadores na avaliação da viabilidade de projetos solares no Brasil e no mundo.

Embora ambos os atlas disponibilizem informações detalhadas sobre radiação solar e variáveis meteorológicas, diferem em escopo e metodologia. O Atlas Brasileiro de Energia Solar foca no território nacional, enquanto o Global Solar Atlas oferece uma visão abrangente da disponibilidade de energia solar em escala global, permitindo análises comparativas entre diferentes regiões.

Apesar dessas diferenças, ambos compartilham o objetivo de quantificar o potencial solar, utilizando abordagens distintas que serão analisadas na seção "Resultados e Discussão".

2.3 DADOS DISPONÍVEIS NAS BASES

As bases de dados fornecem informações sobre radiação solar, geração fotovoltaica e fatores ambientais e geográficos, cada uma com sua cobertura de dados (Tabela 2). No que diz respeito à radiação solar, são disponibilizados:

- Irradiação Difusa: Parcela da radiação solar dispersa na atmosfera antes de atingir a superfície.
- Irradiação Difusa Horizontal: Componente da radiação solar dispersa antes de atingir o solo.
- Irradiação Direta Normal (DNI): Componente direta da radiação solar incidente perpendicularmente à direção do sol.
- Irradiação Global Horizontal (GHI – Global Horizontal Irradiation): Radiação solar total incidente sobre uma superfície horizontal.
- Irradiação no Plano Inclinado: Radiação solar recebida em uma superfície inclinada, considerando diferentes ângulos de inclinação.
- Irradiação Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR): Faixa da radiação solar utilizada no processo de fotossíntese pelas plantas.

No que diz respeito a dados relacionados à geração fotovoltaica, são disponibilizados:

- Potencial específico de geração fotovoltaica (PVOUT – Specific Photovoltaic Power Output): Energia estimada que um sistema fotovoltaico pode gerar em determinada localização.
- Inclinação Ótima dos Módulos Fotovoltaicos: Melhor ângulo de inclinação para instalação de painéis solares em uma determinada localidade.
- Irradiação Global no Plano Inclinado Ótimo: Radiação recebida em uma superfície inclinada no ângulo ideal para maximizar a captação.

No que diz respeito a fatores ambientais e geográficos, são disponibilizados:

- Elevação do Terreno: Altitude do local, que pode influenciar a irradiação recebida.
- Temperatura do Ar: Informação climática relevante para a eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

Tabela 2 – Dados disponíveis para cada base

Grupo	Dados Disponíveis	Atlas Brasileiro	Global Solar Atlas
Radiação solar	Irradiação Difusa Irradiação Difusa Horizontal	Sim Não	Não Sim

	Irradiação Direta Normal (DNI)	Sim	Sim
	Irradiação Global Horizontal (GHI)	Sim	Sim
	Irradiação no Plano Inclinado	Sim	Não
	Irradiação Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR)	Sim	Não
	Potencial específico de geração fotovoltaica (PVOUT)	Não	Sim
Geração fotovoltaica	Inclinação Ótima dos Módulos Fotovoltaicos	Não	Sim
	Irradiação Global no Plano Inclinado Ótimo	Não	Sim
Fatores ambientais e geográficos	Temperatura do Ar	Não	Sim
	Elevação do Terreno	Não	Sim

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Considerando a abrangência das informações fornecidas pelas duas bases, o Atlas Brasileiro de Energia Solar destaca-se por oferecer dados mais detalhados sobre componentes específicos da radiação solar, como irradiação difusa, irradiação no plano inclinado e radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Já o Global Solar Atlas fornece dados úteis para o dimensionamento de usinas fotovoltaicas, fornecendo os dados de Potencial de Geração (PVOUT), Inclinação Ótima e Irradiação no Plano Ótimo. Além disso, essa base inclui variáveis ambientais como temperatura do ar e elevação do terreno, que não são fornecidos pelo Atlas Brasileiro.

2.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS FORNECIDOS PELAS BASES

Para comparar os dados fornecidos pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) e pelo Global Solar Atlas (2024) foi selecionado o parâmetro de Irradiação Global Horizontal (GHI). A escolha do GHI como métrica principal se deve ao fato de ser a variável presente em ambas as bases de dados e expressa na mesma unidade de medida: kWh/m² por dia. Embora a Irradiação Direta Normal (DNI) também esteja presente nas duas bases e seja uma variável relevante para projetos que utilizam sistemas com rastreamento solar, o foco deste estudo está no planejamento energético geral do Estado de Sergipe. Dessa forma, o GHI foi considerado mais adequado para representar a disponibilidade de energia solar para geração fotovoltaica em diferentes cenários.

Os valores referentes ao parâmetro GHI foram coletados nas bases e anotados em uma planilha no Microsoft Excel.

Os valores de GHI foram comparados diretamente, sem ajustes temporais, considerando que ambas as fontes fornecem estimativas com base na média anual.

Em seguida, foram calculadas as seguintes medidas estatísticas cada uma com papel complementar na avaliação das discrepâncias entre os dados de irradiação solar:

- **Erro Médio (ME):** Foi escolhido por permitir identificar se há um viés sistemático, isto é, se uma base de dados tende consistentemente a fornecer valores superiores ou inferiores em relação à outra.

- **Erro Médio Absoluto (MAE):** Selecionado por fornecer uma medida clara da magnitude média dos desvios, sem que erros negativos e positivos se anulem, oferecendo uma visão direta da precisão média entre os conjuntos de dados.
- **Erro Quadrático Médio (RMSE):** Essencial para detectar e penalizar discrepâncias maiores, sendo especialmente útil para avaliar casos extremos ou valores significativamente discrepantes, garantindo uma percepção detalhada sobre a existência de erros relevantes que possam comprometer estudos mais detalhados.
- **Desvio Padrão das Diferenças:** Fundamental para compreender a variabilidade das diferenças observadas, auxiliando na identificação de consistências ou inconsistências nas divergências entre as bases.
- **Correlação de Pearson:** Escolhida por avaliar a intensidade e direção da associação linear entre os conjuntos, crucial para determinar se há uma tendência comum nas variações das bases de dados.
- **Coeficiente de Determinação (R²):** Indispensável para quantificar o quanto as variações de uma base de dados explicam as variações observadas na outra, proporcionando um entendimento mais profundo sobre a relação preditiva entre os conjuntos.

Essas métricas combinadas oferecem uma avaliação abrangente e detalhada, essencial para assegurar decisões embasadas na seleção das fontes de dados mais adequadas para o planejamento energético.

Equação (1) - Erro Médio (ME - Mean Error): O erro médio mede a diferença média entre os valores observados (y_i) e os valores estimados (\hat{y}_i):

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \quad (1)$$

Equação (2) - Erro Médio Absoluto (MAE - Mean Absolute Error): O MAE calcula a média dos valores absolutos das diferenças entre os valores observados e estimados:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

Equação (3) - Erro Quadrático Médio (RMSE - Root Mean Squared Error): O RMSE mede o erro médio quadrático, penalizando erros maiores devido à elevação ao quadrado:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (yi - \hat{y}i)^2} \quad (3)$$

Equação (4) - Desvio Padrão das Diferenças: O desvio padrão das diferenças mede a dispersão das diferenças entre os valores observados e estimados:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2} \quad (4)$$

Onde:

$d_i = yi - \hat{y}i$ representa as diferenças entre os valores observados e estimados.

\bar{d} é a média das diferenças.

Equação (5) - Correlação de Pearson: A correlação de Pearson mede a força da relação linear entre duas variáveis:

$$r = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (5)$$

Onde:

σ_X e σ_Y são os desvios padrão das variáveis X e Y.

Equação (6) - Coeficiente de Determinação (R^2): O coeficiente de determinação mede a proporção da variabilidade dos valores observados explicada pelo modelo:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (yi - \hat{y}i)^2}{\sum_{i=1}^n (yi - \bar{y})^2} \quad (6)$$

Onde:

\bar{y} é a média dos valores observados em y_i .

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISE DAS DIFERENÇAS METODOLÓGICAS DAS BASES DADOS

Para analisar as diferenças entre os valores fornecidos pelas bases de dados, é necessário compreender suas distinções metodológicas, que explicam as variações nos resultados. A Tabela 3 apresenta as principais características comparativas entre os atlas, destacando que o Atlas Brasileiro de Energia Solar, desenvolvido pelo INPE, utiliza o modelo de transferência radiativa BRASIL-SR, focando exclusivamente no território brasileiro e sem atualizações desde sua segunda edição em 2017. Em contraste, o Global Solar Atlas, mantido pelo Banco Mundial em parceria com a Solargis, emprega um modelo semi-empírico baseado satélite, com abrangência global, incluindo oceanos, e passando por recalibrações mensais que incorporam dados atmosféricos recentes. Além disso, o Global Solar Atlas passa por melhorias e atualizações frequentes com sua última versão disponibilizada em maio de 2024 (versão 2.11).

Tabela 3 – Comparação das características das bases dados

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3
Responsável	LABREN/INPE	Banco Mundial/Solargis
Foco geográfico	Brasil	Global (incluindo oceanos)
Modelo base	Modelo de transferência radiativa BRASIL-SR	Modelo Solargis semi-empírico baseado em satélite
Fonte primária	Rede SONDA (estações terrestres) + satélite GOES	Multi-satélites (Meteosat, GOES e Himawari) + estações terrestres globais
Última atualização	2017 (2 ^a edição)	Maio/2024 (v2.11)
Recalibração	Não há	Mensal, incluindo dados atmosféricos recentes
Interface	Livro digital	Mapas interativos e séries temporais mensais/anuais

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

3.1.1 Atlas brasileiro de energia solar

No Atlas Brasileiro, a obtenção dos dados que fundamentam o Atlas baseia-se na integração de medições in situ e modelagem computacional avançada. As medições foram realizadas pela Rede Brasileira de Estações de Monitoramento Solarimétrico (SONDA), um programa que mantém estações meteorológicas equipadas com sensores para monitoramento da radiação solar em diferentes regiões do Brasil. Esses sensores incluem pirâmetros para medição da irradiância global e radiômetros para componentes diretas e difusas da radiação solar (INPE, 2025b).

Além dos dados medidos, o Atlas incorpora modelagem numérica baseada em imagens de satélites geoestacionários, como aqueles operados pelo programa GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites). A modelagem utiliza algoritmos para estimar a irradiância solar na

superfície terrestre, combinando informações atmosféricas, como aerossóis e cobertura de nuvens, com técnicas de calibração a partir dos dados das estações SONDA. Essa abordagem permite uma estimativa de alta resolução espacial e temporal da disponibilidade de energia solar no território brasileiro (INPE, 2025a).

O resultado desse processo é um banco de dados abrangente que subsidia pesquisas científicas, projetos de geração de energia fotovoltaica e formulação de políticas públicas para o setor energético.

3.1.2 Global solar atlas

Os dados do Global Solar Atlas são obtidos a partir de modelagem numérica avançada, combinando medições de satélites geoestacionários e de sensores terrestres. A metodologia utiliza imagens de satélites meteorológicos, como aqueles do programa Meteosat e GOES, para estimar a irradiância solar na superfície terrestre. Essa estimativa é aprimorada por meio de modelos atmosféricos que consideram fatores como cobertura de nuvens, aerossóis e vapor d'água (World Bank, 2024a).

Além da modelagem baseada em satélites, o Global Solar Atlas incorpora dados de calibração provenientes de estações de medição solarimétrica em diversas regiões do mundo. A empresa Solargis realiza validações sistemáticas para garantir a precisão dos dados, comparando as estimativas do modelo com as medições reais de irradiância solar. A plataforma disponibiliza mapas interativos e séries temporais de parâmetros como radiação global horizontal (GHI), radiação normal direta (DNI) e potencial de geração fotovoltaica, com resolução espacial de até 1 km (World Bank, 2024b).

A integração de modelagem numérica e medições terrestres permite ao Global Solar Atlas fornecer informações de alta confiabilidade, sendo uma ferramenta essencial para estudos de viabilidade e planejamento energético global.

3.2 ANÁLISE DAS DIFERENÇAS METODOLÓGICAS DAS BASES DADOS

Inicialmente, realizou-se uma análise comparativa detalhada dos dados fornecidos pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar e pelo Global Solar Atlas para o estado de Sergipe.

Conforme apresentado na área de estudo, foram utilizados 13 municípios de referência que cobre todas as microrregiões de Sergipe. Na Tabela 3 são apresentados os valores de média anual de Irradiação Global Horizontal (GHI) em kWh/m² por dia.

Tabela 3 – As tabelas devem ter seus títulos na parte superior

Município Referência	Coordenadas geográficas	Média anual de GHI (kWh/m ² por dia)	
		Atlas Brasileiro	Global Solar Atlas
Canindé do São Francisco	-9.657751, -37.794373	5,41	5,539

Carira	-10.358032, -37.704920	5,28	5,355
Nossa Senhora das Dores	-10.480661, -37.220805	5,28	5,471
Itabaiana	-10.689492, -37.431162	5,28	5,463
Tobias Barreto	-11.181965, -38.000390	5,22	5,312
Lagarto	-10.893367, -37.662981	5,22	5,301
Propriá	-10.218359, -36.838090	5,43	5,592
Capela	-10.475648, -37.031843	5,26	5,352
Japaratuba	-10.592197, -36.944591	5,41	5,555
Laranjeiras	-10.803993, -37.166900	5,39	5,590
Aracaju	-10.951906, -37.078516	5,50	5,912
Boquim	-11.146917, -37.620025	6,20	5,441
Estância	-11.261429, -37.438354	5,42	5,558

Fonte: Dados da pesquisa - Elaborada pelos autores (2025).

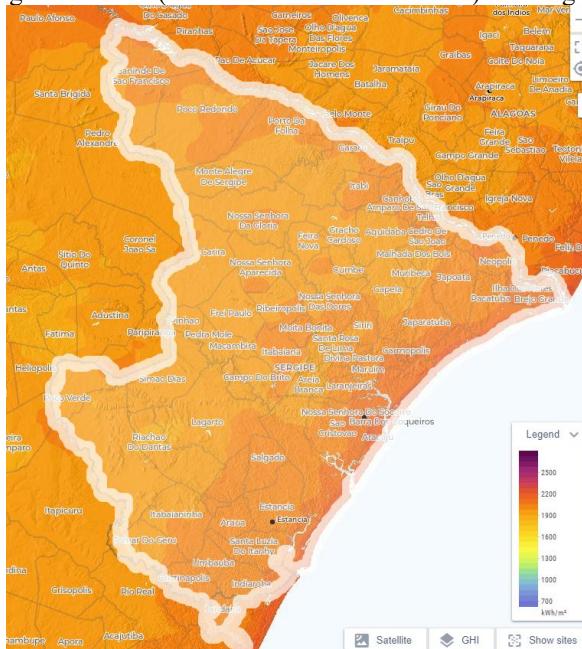
Observam-se diferenças notáveis nas estimativas de irradiação solar global horizontal (GHI). Essas diferenças resultam dos diferentes métodos empregados em cada Atlas, considerando séries históricas, períodos de aquisição de dados e resoluções espaciais distintas.

Também existe uma diferença na forma de apresentação dos dados, dependendo da plataforma utilizada, os dados consolidados para o estado de Sergipe são apresentados a seguir.

3.2.1 GHI em Sergipe – Global solar atlas

Em Sergipe, a irradiação solar global horizontal (GHI) varia entre 5,26 e 5,98 kWh/m² por dia, com uma média de 5,51 kWh/m².

Figura 1 – GHI (Global horizontal irradiation) em Sergipe.



Fonte: Global Solar Atlas (2025)

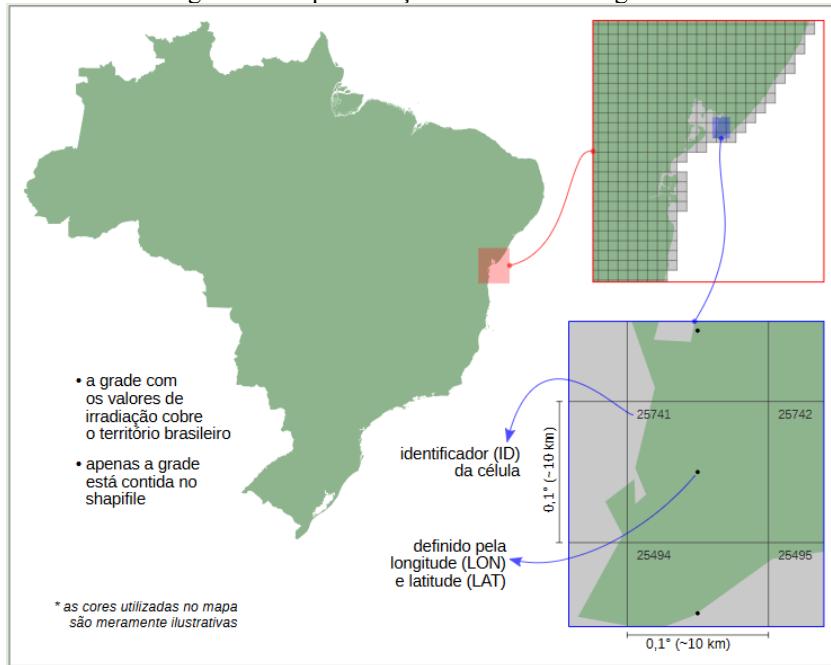
Esses valores são considerados favoráveis para a geração de energia fotovoltaica, superando a média de muitas regiões do mundo que investem nesse tipo de energia. A distribuição da GHI no estado revela que 5,5% da área apresenta valores superiores a 5,80 kWh/m², enquanto 15,1% registra entre 5,80 e 5,60 kWh/m². A maior parte do território (61,3%) possui irradiação entre 5,60 e 5,40 kWh/m², e os 18,2% restantes apresentam valores abaixo de 5,40 kWh/m².

3.2.2 GHI em Sergipe – Atlas brasileiro

A Irradiação Horizontal Global no Atlas Brasileiro é apresentada de forma indireta, para obtenção dos dados, é necessário o preenchimento de um formulário com as Coordenada Geográfica (Latitude e Longitude) na plataforma Potencial Solar - SunData v 3.0, disponibilizada pelo CRESEB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito).

Isso ocorre porque, no Atlas Brasileiro, a base é composta por 72.272 registros contendo as médias anuais e mensais do total diário da irradiação Global Horizontal, Difusa, Direta Normal, no Plano Inclinado e PAR em Wh/m².dia. Resolução espacial de 0,1° x 0,1° (aproximadamente 10 km x 10 km). Longitude e latitude definem o centroide das entidades, ou células, de 0,1° x 0,1°.

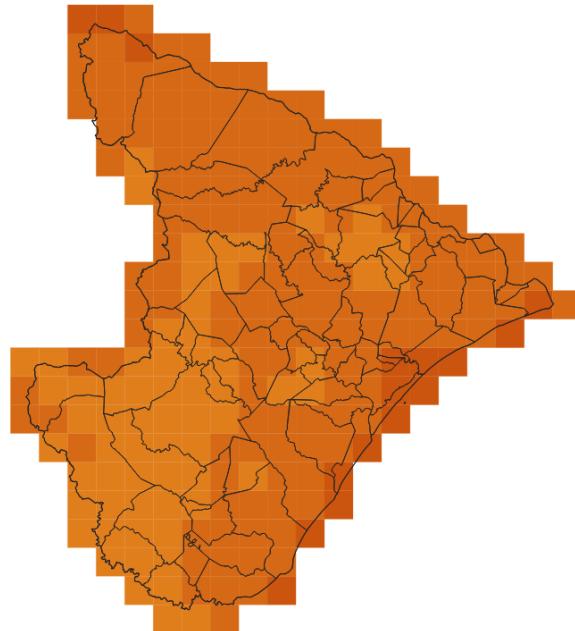
Figura 2 – Representação de 1 bloco de registro.



Fonte: Atlas Brasileiro (2025)

Dessa forma, conforme a Figura 3, são representados os blocos do estado de Sergipe no Atlas Brasileiro.

Figura 3 – GHI (Global horizontal irradiation) em Sergipe.



Fonte: Atlas Brasileiro (2025)

Aplicando as equações aos dados da planilha, aqui estão os resultados das métricas estatísticas calculadas com base nas diferenças entre os valores de Irradiação Global Horizontal (GHI), expressos em kWh/m² por dia, das duas fontes:

- Erro Médio (ME): 0,088
- Erro Médio Absoluto (MAE): 0,205
- Erro Quadrático Médio (RMSE): 0,273
- Desvio Padrão das Diferenças: 0,269
- Correlação de Pearson: 0,230
- Coeficiente de Determinação (R^2): 0,053

4 DISCUSSÃO

4.1 INTERPRETAÇÃO DAS MÉTRICAS ESTATÍSTICAS

Os resultados indicam que há diferenças consideráveis entre os valores de Irradiação Global Horizontal (GHI) fornecidos pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar e pelo Global Solar Atlas. Algumas análises podem ser feitas para entender melhor essas diferenças e seus impactos.

Os resultados das análises estatísticas indicam diferenças consideráveis entre as bases de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar e do Global Solar Atlas, com importantes implicações para o planejamento energético em Sergipe.

- **Erro Médio (ME = 0,088):** O valor positivo indica que, em média, o Global Solar Atlas apresenta valores ligeiramente superiores aos do Atlas Brasileiro. Isso sugere um leve viés sistemático entre as duas bases.
- **Erro Médio Absoluto (MAE = 0,205) e Erro Quadrático Médio (RMSE = 0,273):** Esses valores confirmam que existem diferenças de magnitude relevante entre os conjuntos de dados, especialmente o RMSE, que enfatiza que algumas divergências podem ser expressivas e precisam ser consideradas na fase de planejamento.
- **Desvio Padrão das Diferenças (0,269):** Este valor mostra uma significativa variabilidade nas diferenças entre as bases, indicando que as divergências não são constantes, variando de acordo com a localidade estudada.
- **Correlação de Pearson (0,230) e Coeficiente de Determinação ($R^2 = 0,053$):** A baixa correlação e o baixo valor de R^2 indicam que as bases apresentam fraca relação linear entre si, destacando que as diferenças observadas não seguem um padrão consistente. O baixo coeficiente de determinação reforça que uma base de dados não explica satisfatoriamente as variações observadas na outra, sugerindo que fatores locais e metodológicos influenciam significativamente os resultados.

4.2 POSSÍVEIS CAUSAS DAS DIFERENÇAS

As divergências encontradas entre os bancos de dados analisados podem ser atribuídas a fatores metodológicos e técnicos distintos utilizados por cada fonte. O Atlas Brasileiro de Energia Solar se baseia predominantemente em medições locais obtidas através das estações solarimétricas da rede SONDA, complementadas por modelagens específicas que utilizam imagens de satélites geoestacionários calibradas às condições atmosféricas locais do Brasil. Já o Global Solar Atlas utiliza uma metodologia global de modelagem numérica, baseada em dados de satélites internacionais e calibrada por meio de medições terrestres globais. Dessa forma, pode não captar integralmente particularidades regionais, como microclimas específicos, pequenas variações topográficas ou condições atmosféricas locais, incluindo cobertura de nuvens e níveis de umidade relativa.

Outro fator significativo é a resolução espacial diferenciada. O Atlas Brasileiro possui uma resolução espacial mais detalhada, adaptada especificamente para o território nacional, enquanto o Global Solar Atlas apresenta uma abordagem global com resolução espacial menos detalhada, o que pode gerar menos precisão em regiões menores. Além disso, diferenças temporais nos períodos analisados também podem contribuir para as divergências, já que o Atlas Brasileiro é fundamentado em dados históricos até 2017, enquanto o Global Solar Atlas utiliza dados de 2024, nos quais mudanças climáticas ou variações atmosféricas podem influenciar a disponibilidade da radiação solar.

Como as séries históricas utilizadas por cada atlas pertencem a períodos distintos, 2017 no caso do Atlas Brasileiro e 2024 no Global Solar Atlas, as diferenças encontradas podem estar associadas não apenas às metodologias de modelagem, mas também a mudanças climáticas e variações atmosféricas ao longo do tempo.

4.3 POSSÍVEIS CAUSAS DAS DIFERENÇAS

As divergências entre os dois bancos de dados possuem implicações importantes para o planejamento energético e técnico dos sistemas fotovoltaicos em Sergipe. Pequenas variações nos valores de irradiação solar podem ter um impacto significativo sobre o dimensionamento e eficiência dos sistemas solares. Valores subestimados podem levar ao superdimensionamento dos sistemas, resultando em custos adicionais desnecessários, enquanto valores superestimados podem resultar em sistemas subdimensionados que não atingem os resultados esperados em termos de geração energética.

Essas diferenças também têm consequências estratégicas importantes para o desenvolvimento de políticas públicas e decisões de investimento em infraestrutura energética. A utilização de bases de dados que não representam adequadamente a realidade regional pode afetar negativamente a viabilidade econômica e técnica dos projetos solares, prejudicando tanto investidores quanto consumidores finais. Do ponto de vista acadêmico e científico, tais divergências também podem influenciar negativamente os resultados de estudos ambientais e climáticos, destacando a necessidade de maior cautela e complementação com medições locais na análise e interpretação dos dados solares.

5 CONCLUSÃO

Este estudo realizou uma análise comparativa aprofundada entre os dados de irradiação solar disponibilizados pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar e pelo Global Solar Atlas, com foco específico no estado de Sergipe. Os resultados indicaram diferenças significativas entre as duas bases de dados, com o Global Solar Atlas apresentando valores de GHI sistematicamente superiores, em média, 1,8% maiores que os do Atlas Brasileiro. Embora essa diferença pareça modesta, análises estatísticas revelaram um baixo grau de correlação linear ($R^2 = 0,053$), indicando uma relação inconsistente entre as bases.

As divergências observadas decorrem de fatores metodológicos relevantes, como o modelo de coleta e calibração, resolução espacial, e o período de referência adotado por cada base. O Atlas Brasileiro, apesar de oferecer dados específicos para o território nacional com detalhamento técnico relevante, encontra-se desatualizado (última edição em 2017), não refletindo variações climáticas recentes. Por outro lado, o Global Solar Atlas, com atualizações mensais e cobertura global, pode não

capturar com precisão as particularidades climáticas locais, conforme evidenciado por Araújo (2024) e Porfirio *et al.* (2020).

Essas diferenças não são meramente acadêmicas: elas possuem implicações práticas substanciais no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Valores subestimados de irradiação podem levar ao superdimensionamento e aumento de custos, enquanto valores superestimados podem gerar falhas no atendimento à demanda projetada, comprometendo a viabilidade econômica dos empreendimentos solares (Rocha *et al.*, 2022; Uchôa, 2022; Araújo *et al.*, 2024).

Além disso, o estudo reforça a importância de estratégias complementares para mitigar as limitações de cada base de dados. Isso inclui a utilização de medições locais sempre que possível, e, mais recentemente, o uso de modelagens híbridas com apoio de algoritmos de aprendizado de máquina (Reis *et al.*, 2023), que têm demonstrado potencial para reduzir significativamente os erros de previsão.

Portanto, recomenda-se que decisões técnicas, estratégicas ou políticas relacionadas à energia solar em Sergipe sejam baseadas na integração crítica de diferentes fontes de dados, com validações locais e análises de sensibilidade. Essa abordagem multidimensional contribui para aumentar a robustez dos estudos de viabilidade, minimizar riscos financeiros e promover o desenvolvimento sustentável da matriz energética estadual.

Este trabalho também sinaliza a urgência de atualização e modernização do Atlas Brasileiro de Energia Solar, a fim de garantir sua continuidade como referência técnica para o setor energético nacional, especialmente em um cenário de transição energética e crescimento da geração distribuída no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec) e à Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia (SEDETEC) pelo apoio concedido durante o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. A. S. G.; AGUILAR, S.; SOUZA, R. C.; OLIVEIRA, F. L. C. Global horizontal irradiance in Brazil: a comparative study of reanalysis datasets with ground-based data. *Energies*, v. 17, n. 20, p. 5063, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17205063>

ARAÚJO, N. M. F. T. S. Impacto do clima na produção de energia fotovoltaica na região Nordeste do Brasil. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 169 p. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/34353/1/N%C3%ADcolasMatheusDaFonsecaTinocoDeSouzaAra%C3%BAjo_Tese.pdf. Acesso em: 18 set. 2025.

BANCO MUNDIAL (World Bank). Global Solar Atlas 2.0: Validation Report. Washington, DC: World Bank, 2019. Disponível em: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/507341592893487792/global-solar-atlas-2-0-validation-report>. Acesso em: 18 set. 2025.

BURSZTYN, M. Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 34, n. 98, p. 167–186, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.3498.011>

FREITAS, I. T. A. Eventos de superirradiância no Nordeste brasileiro e sua influência na produção fotovoltaica. 2023. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 83 p. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/33208/1/IllanaThaynaAmaralDeFreitas_Dissert.pdf. Acesso em: 18 set. 2025.

INPE — INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2. ed. São José dos Campos: INPE (LABREN/CCST), 2017. 80 p. Disponível em: https://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 18 set. 2025a.

INPE — INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Rede SONDA — Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <https://sonda.ccst.inpe.br/>. Acesso em: 18 set. 2025b.

MARTINS, F. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S.; GONÇALVES, A. R.; PEREIRA, E. B. Data generated by evaluating the seasonal variability and trend analysis of the solar energy resource in the Northeastern Brazilian region. *Data in Brief*, v. 26, p. 104529, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104529>

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. L.; MORAES, A. M.; BARBOSA, F. R. Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 36, n. 4, p. 723–734, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786360049>

MOREIRA JÚNIOR, O.; SOUZA, C. C. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. *Interações*, v. 21, n. 2, p. 379–387, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v21i2.1760>

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; et al. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PORFIRIO, A. C. S.; CEBALLOS, J. C.; BRITTO, J. M. S.; COSTA, S. M. S. Evaluation of global solar irradiance estimates from GL1.2 satellite-based model over Brazil using an extended radiometric network. *Remote Sensing*, v. 12, n. 8, p. 1331, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12081331>

REIS, J. S.; BOSE, N. D. A.; AMORIM, A. C. B.; DANTAS, V. A.; BEZERRA, L. A. C.; OLIVEIRA, L. D. L.; VACA, S. D. A. E.; MATOS, M. D. F. A. D.; PEREIRA, N. E. T.; LIMA, R. R. M. D.; MEDEIROS, A. M. Wind and solar energy generation potential features in the extreme Northern Amazon using reanalysis data. *Energies*, v. 16, n. 22, p. 7671, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16227671>

ROCHA, L. G.; MEDEIROS, M. O.; PEREIRA, L. D. L. Modelagem e previsão da geração de potência fotovoltaica no município de Teófilo Otoni. *Revista Multifaces*, v. 4, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29327/2169333.4.1-3>

TIBA, C.; AZEVÉDO, V. On the development of spatial/temporal solar UV irradiation maps: a case study in Pernambuco State (Northeast of Brazil). *Journal of Geographic Information System*, v. 15, p. 597-610, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4236/jgis.2023.156030>

UCHÔA, L. H. M. Estudo comparativo em diferentes bases de dados de uma simulação assistida por software de modelagem de uma usina solar fotovoltaica. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 80 p. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/68651/3/2022_tcc_lhmuchoa.pdf. Acesso em: 18 set. 2025

WORLD BANK. About Global Solar Atlas. 2024a. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/support/about>. Acesso em: 18 set. 2025.

WORLD BANK. Data sources and methodology — Global Solar Atlas. 2024b. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/support/data-sources>. Acesso em: 18 set. 2025