



**CTENF 2024**  
1º CONGRESSO DE  
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA  
DO NORTE-FLUMINENSE

# 1º Congresso de Transição Energética do Norte-Fluminense

Site: <https://eventos.congresse.me/ctenf/edicoes/CTENF>

## ANÁLISE DO IMPACTO METEOROLÓGICO EM USINAS DE ENERGIA SOLAR CONCENTRADA (CSP) EM DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL

1º Congresso de Transição Energética do Norte Fluminense, 1ª edição, de 11/11/2024 a 12/11/2024  
ISBN dos Anais: 978-65-5465-131-8

SOUZA; Tamiles Ferreira de <sup>1</sup>, VESCOVINI; Victor <sup>2</sup>, CARMO; Naiara Rinco de Marques e <sup>3</sup>, SILVA; Maria Gertrudes Alvarez Justi da <sup>4</sup>

### RESUMO

#### Resumo

Este trabalho visou simular sistemas de energia solar concentrada (CSP) em quatro regiões do Brasil com diferentes condições meteorológicas, avaliando como fatores atmosféricos influenciam na eficiência da geração de energia solar. O principal fator meteorológico analisado é a nebulosidade, que afeta diretamente a radiação solar direta, essencial para a operação de usinas CSP.

A nebulosidade impacta significativamente a geração de energia, principalmente em locais com alta cobertura de nuvens, como Manaus, onde a radiação solar direta é frequentemente bloqueada, reduzindo a eficiência. Em contraste, regiões como Bom Jesus da Lapa apresentam condições mais favoráveis, com céu claro e alta irradiância solar, o que resulta em maior geração de energia.

Cidades como Cuiabá e o Rio de Janeiro apresentam variações sazonais na nebulosidade, afetando a produção de energia conforme as estações chuvosas ou secas. O estudo conclui que locais com menor nebulosidade anual são mais adequados para a instalação de sistemas CSP, garantindo maior eficiência energética ao longo do ano.

A análise evidencia que, para otimizar o aproveitamento da energia solar no Brasil, é crucial considerar as condições meteorológicas de cada região, especialmente a cobertura de nuvens e a incidência de radiação solar direta.

#### Introdução

De acordo com Santos, Rodrigues e Carniello (2024), o desenvolvimento econômico e tecnológico da sociedade está intimamente conectado ao aumento da demanda por energia. É fato que a matriz energética brasileira é altamente renovável. O recente estudo elaborado pelo GNPW Group (2024) afirma que o país se destaca por possuir 46% da oferta interna de energia proveniente de fontes renováveis, quase quatro vezes a média mundial de 12%.

A energia solar já se consolidou como uma fonte tecnologicamente avançada para a geração de eletricidade. Os desafios enfrentados para a implementação de projetos, vêm sendo superados, mostrando um notório crescimento no setor nos últimos anos (Da Rosa, Gasparin, 2017). Segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2024, a matriz elétrica brasileira em 2023 apresentou um aumento da geração solar fotovoltaica superior a 68,1% em relação ao ano anterior. A participação da energia solar na matriz em 2024 é de 18%.

Localizado na sua maior parte na região intertropical, o Brasil garante uma ampla oferta de irradiação solar global e direta em todo o território (Oliveira, Oliveira, Gomes, 2017). Esta oferta favorece o desenvolvimento de projetos em energia solar concentrada (CSP). É importante salientar que esta, assim como todas as outras tecnologias solares, também é afetada intensamente pela passagem de sistemas atmosféricos, que podem bloquear ou reter a componente direta da radiação. Isto demonstra que avaliar preliminarmente o comportamento das radiações direta e global é um aspecto relevante à tomada de decisão por uma ou outra tecnologia.

Nos sistemas de energia solar concentrada, a radiação solar é focalizada utilizando espelhos ou coletores solares para produzir calor. Esse

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 20111180029@pq.uenf.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, vescovini@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, naiararinco14@gmail.com

<sup>4</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, justi@uenf.br

calor é então empregado para gerar vapor, aquecendo um fluido de trabalho, que, por sua vez, impulsiona turbinas e geradores (Kalogirou, 2009). As principais tecnologias utilizadas possuem variações em relação ao tipo de coletores, ao foco da concentração solar, ao fluido de trabalho e à integração com a infraestrutura de transmissão (Burgi, 2013).

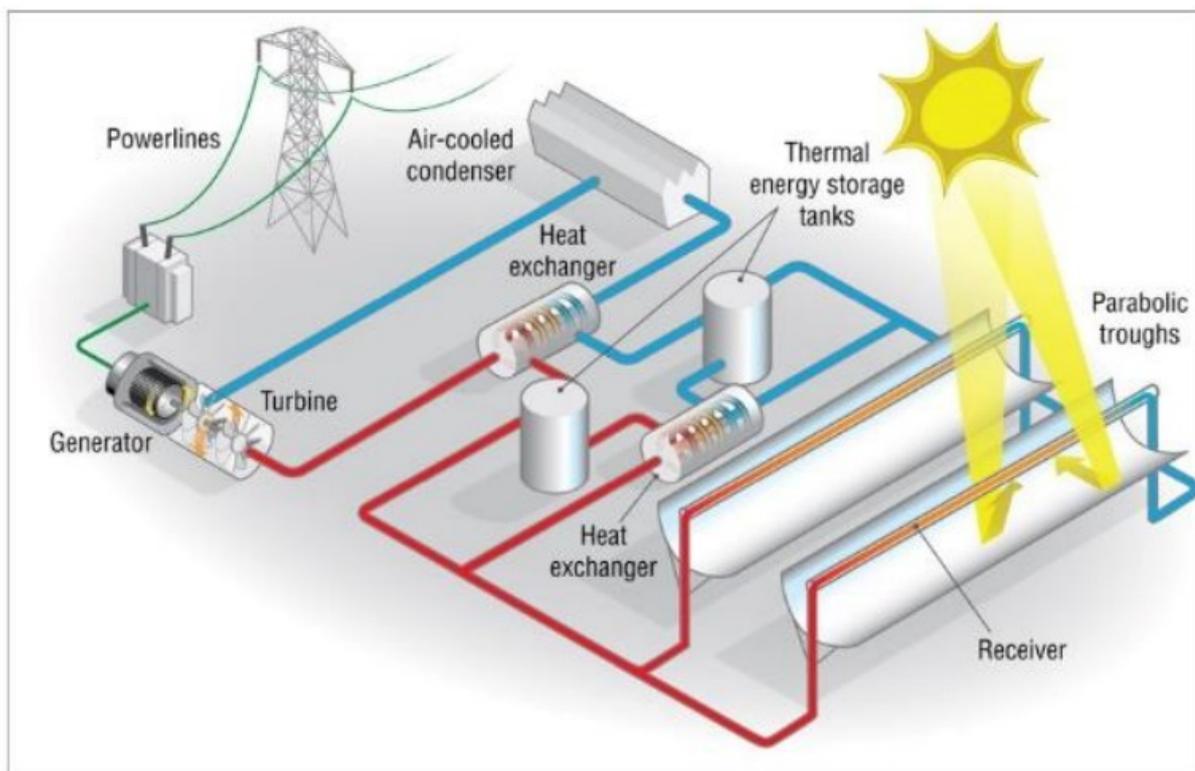
Este trabalho busca comparar usinas de energia solar CSP de calha parabólica para quatro regiões do Brasil, que apresentam médias anuais de irradiação solar e com diferentes condições climáticas. Tratando assim, da perspectiva meteorológica com respostas atmosféricas distintas. A Tabela 1 apresenta os municípios escolhidos.

<b>Nome da Estação</b>	<b>UF</b>	<b>Região</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<i>Bom Jesus da Lapa</i>	BA	Nordeste	-13,2477	-43,4148
<i>Cuiabá</i>	MT	Centro Oeste	-15,5989	-56,0949
<i>Manaus</i>	AM	Norte	-3,10719	-60,0261
<i>Rio de Janeiro</i>	RJ	Sudeste	-22,9035	-43,2096

*Tabela 1 – Municípios e geo-referenciamento utilizado para cada localidade.*

### Métodos

Por meio do software System Advisor Model (SAM), desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (DOE/NREL/Alliance), foram elaboradas simulações de plantas da tecnologia CSP mencionada para 4 diferentes regiões do país. Considerando projetos de 30 anos de duração, a partir de dados obtidos em 2019 e com uma potência nominal de 100 MW. Deve-se destacar que a planta CSP considera um sistema de armazenamento, neste caso de 14 horas. Com um custo inicial elevado, porém a utilização de baterias para armazenamento tende a tornar o investimento no CSP mais rentável. (Moreira, 2023). A Fig. 1 mostra uma vista geral do sistema que compõem a geração por CSP de calha parabólica.



*Figura 1 - Vista geral do sistema geração de energia por CSP de calha parabólica.*

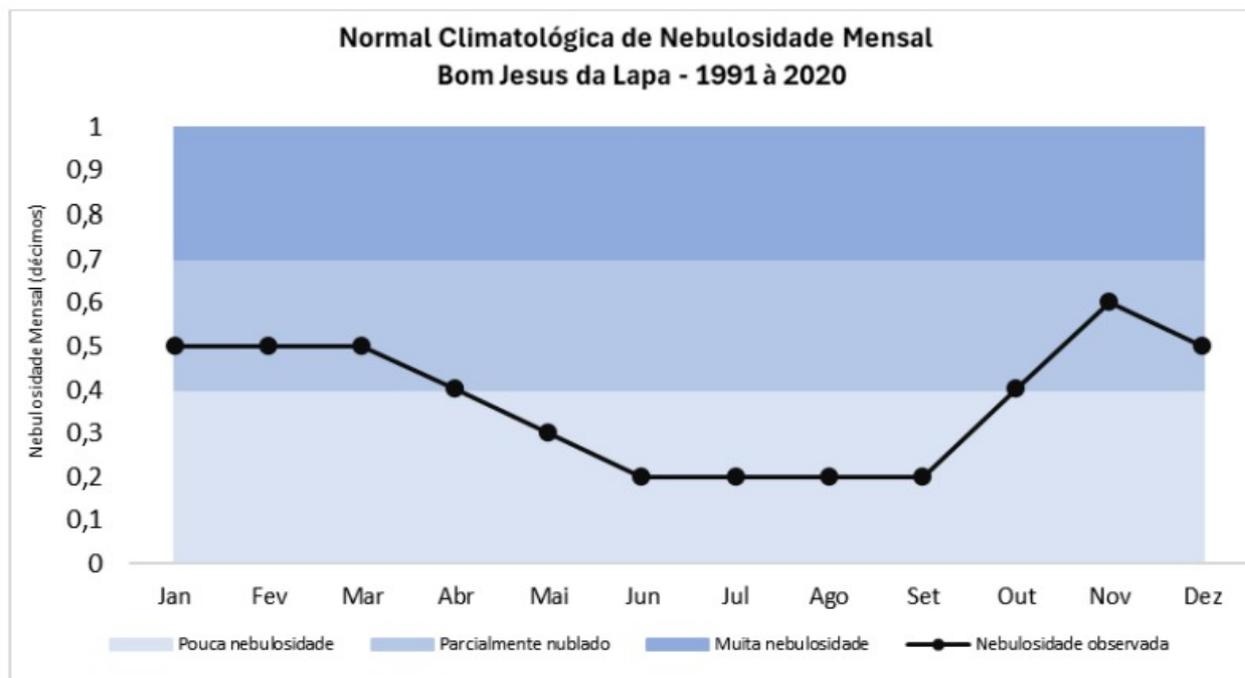
<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 20111180029@pq.uenf.br  
<sup>2</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, vescovini@gmail.com  
<sup>3</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, naiarinco14@gmail.com  
<sup>4</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, justl@uenf.br

## Resultados e discussão

A nebulosidade se destaca como o principal fator meteorológico a ser analisado ao avaliar a produtividade de um sistema solar CSP, devido ao impacto direto que exerce sobre a radiação solar disponível.

Sistemas CSP dependem exclusivamente da radiação solar direta para concentrar a energia e gerar eletricidade, tornando a frequência e intensidade da nebulosidade determinantes para a eficiência da planta. Regiões com alta cobertura de nuvens apresentam uma significativa redução na radiação solar direta, diminuindo a capacidade de geração de energia. Isso é particularmente relevante em locais com estações chuvosas prolongadas ou climas tropicais, onde a nebulosidade é mais intensa e frequente, como observado em Manaus.

Assim, ao projetar um sistema CSP, é essencial priorizar áreas com baixa nebulosidade anual para maximizar a eficiência e a viabilidade econômica do projeto. A fim de compreender como tais fatores podem influenciar na geração, foram obtidas as normais climatológicas de nebulosidade para as localidades avaliadas como mostram os gráficos abaixo.



*Figura 2-Normal Climatológica de Nebulosidade para Bom Jesus da Lapa - BA de 1991 -2020.*

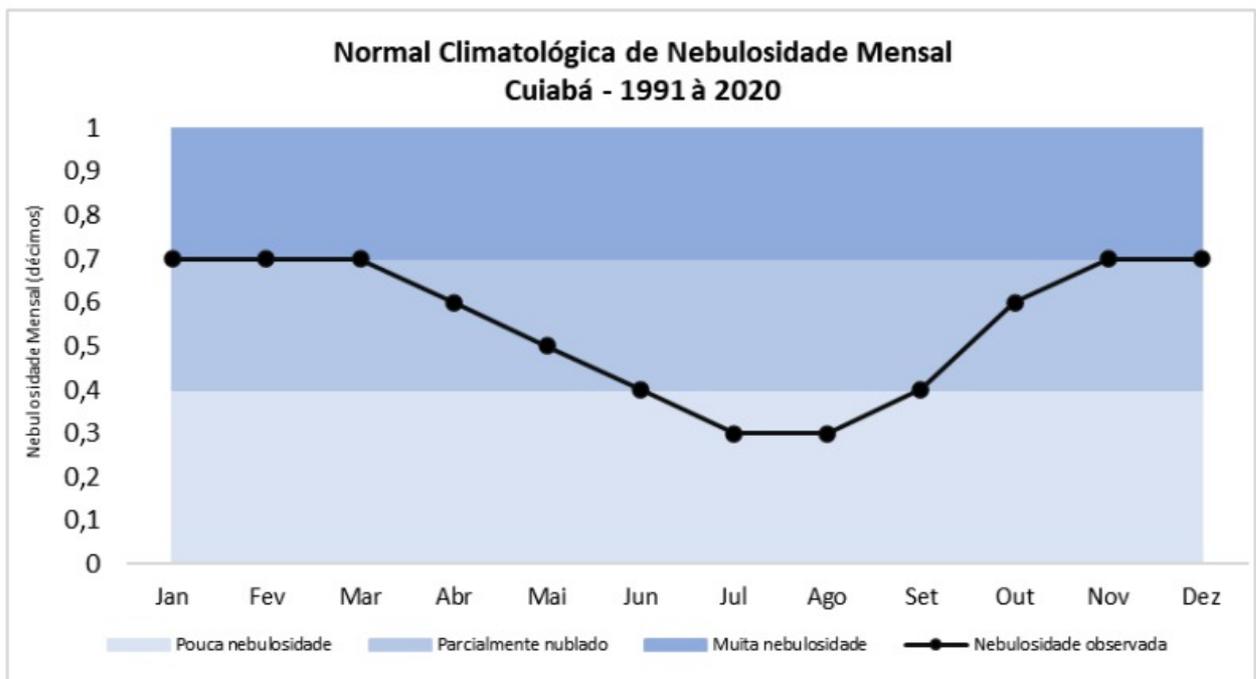
Em Bom Jesus da Lapa, a nebulosidade é baixa durante a maior parte do ano, favorecendo a alta geração de energia devido à presença constante de sol. Já em Cuiabá, a situação varia conforme a estação: durante a seca, a nebulosidade é baixa, semelhante a Bom Jesus da Lapa, mas na estação chuvosa, que ocorre entre novembro e março, a cobertura de nuvens aumenta, reduzindo a eficiência dos sistemas CSP.

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 20111180029@pq.uenf.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, vescovini@gmail.com

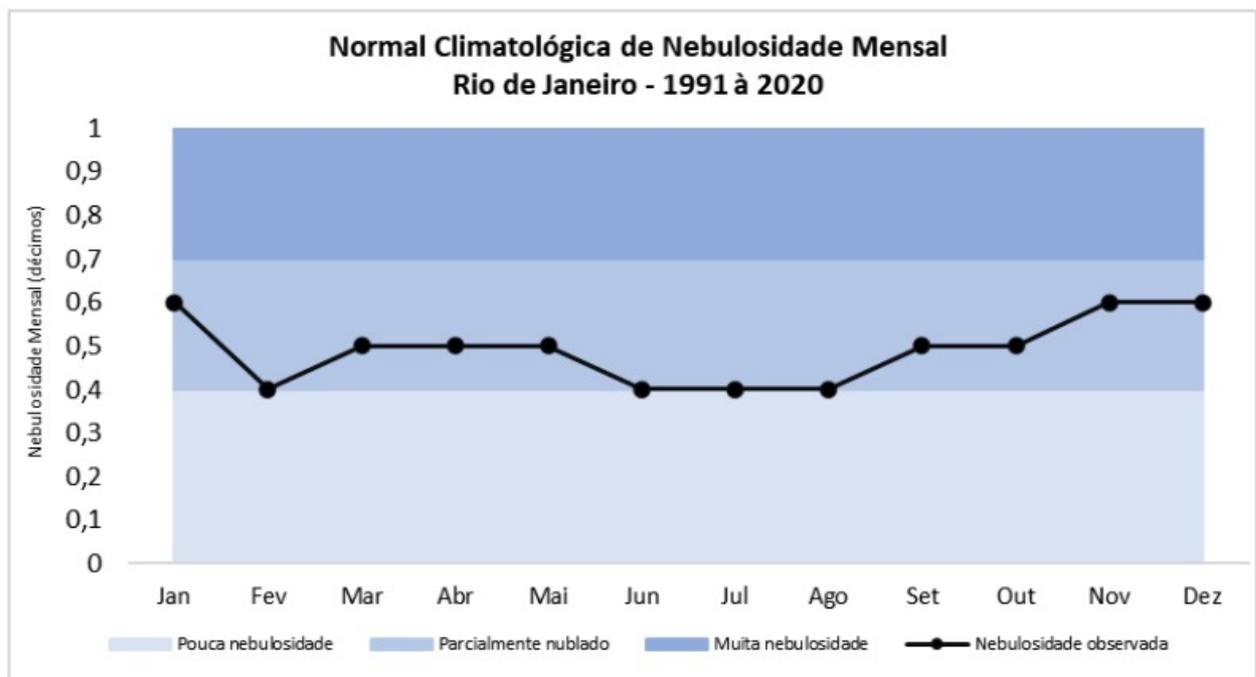
<sup>3</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, naiararico14@gmail.com

<sup>4</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, justi@uenf.br

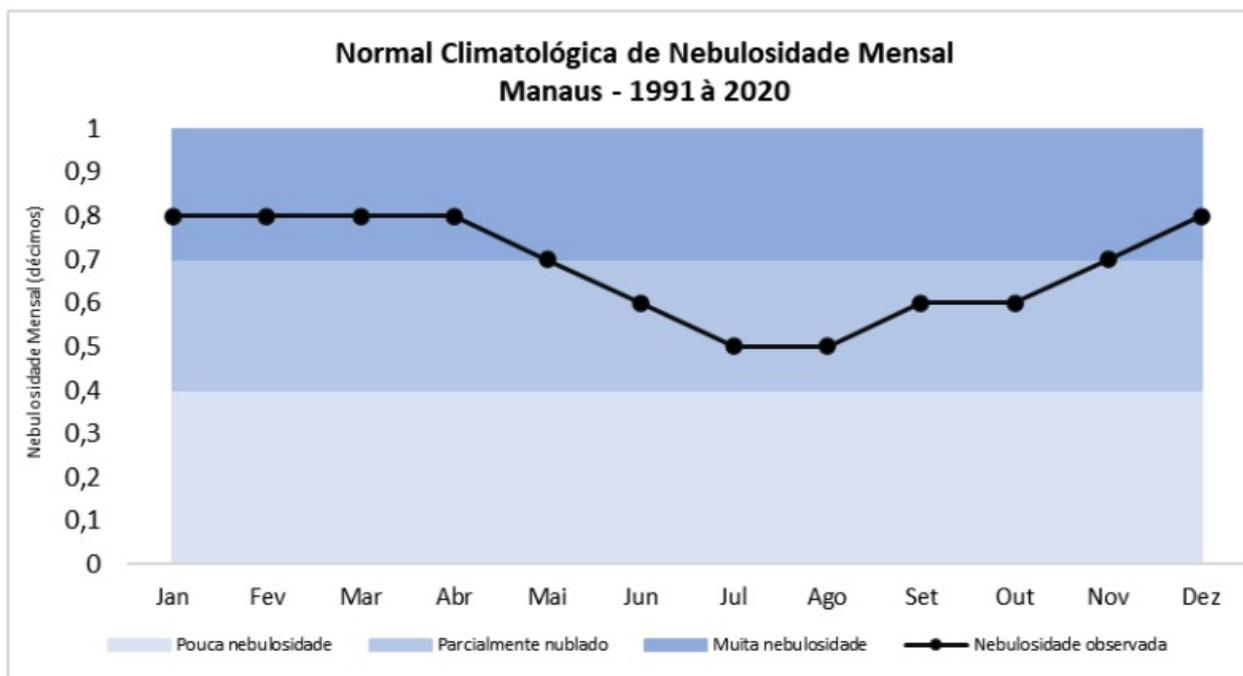


*Figura 3 - Normal Climatológica de Nebulosidade para Cuiabá - MT de 1991 -2020*

No Rio de Janeiro, a nebulosidade é moderada ao longo do ano, com maior cobertura de nuvens durante a estação chuvosa, entre dezembro e março, o que impacta a radiação solar disponível. Manaus, por sua vez, enfrentaria os maiores desafios, com alta nebulosidade e chuvas frequentes durante todo o ano, especialmente na estação chuvosa. Isso reduz significativamente a radiação solar direta, tornando a geração de energia por CSP menos eficiente na região amazônica. Essas variações mostram como a nebulosidade afeta diretamente o desempenho dos sistemas solares em diferentes regiões do Brasil.



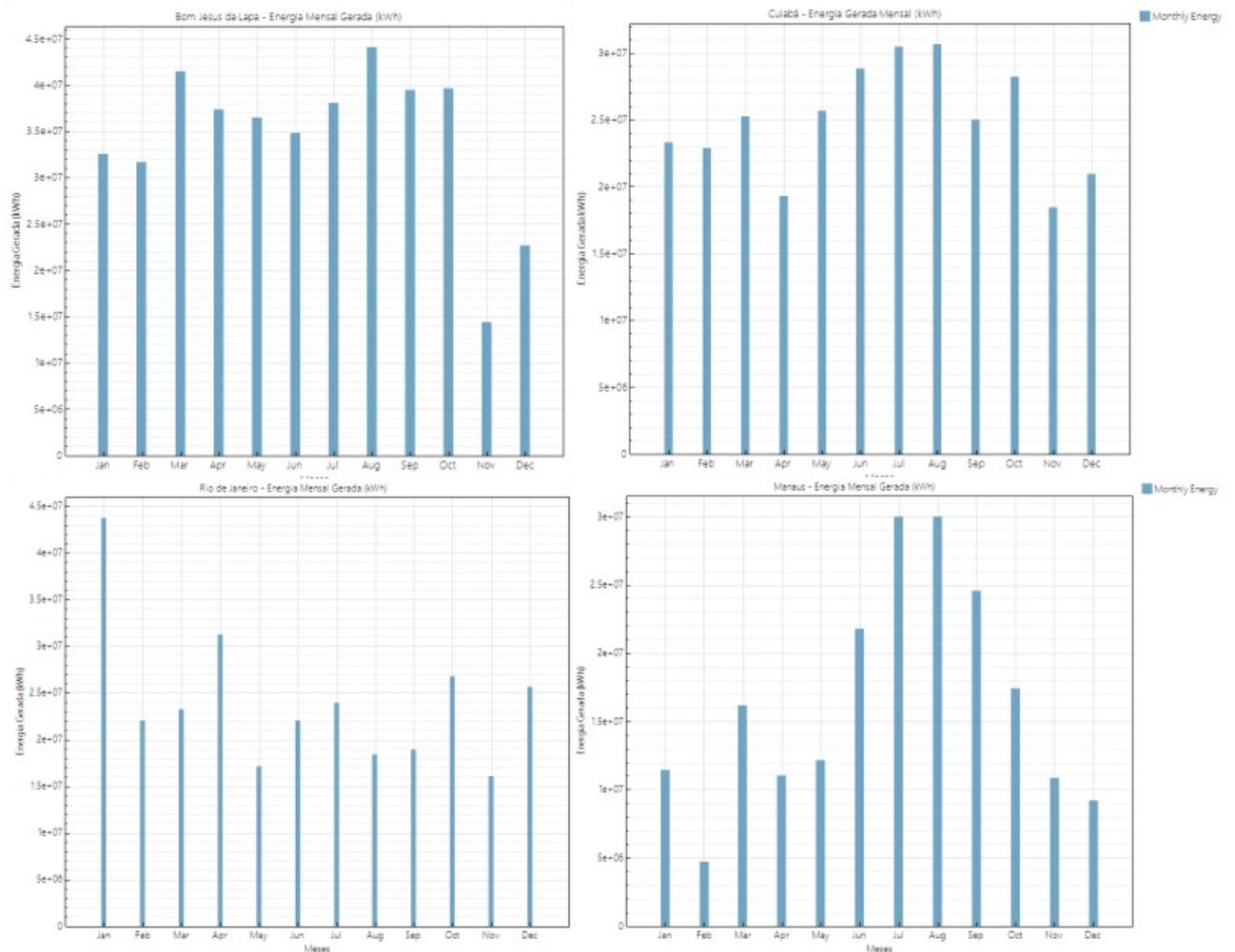
*Figura 4 - Normal Climatológica de Nebulosidade para Rio de Janeiro - RJ de 1991 -2020.*



*Figura 5 - Normal Climatológica de Nebulosidade para Manaus - AM de 1991 -2020.*

A análise dos dados de geração de energia através do software SAM de sistemas CSP (Concentrated Solar Power) nas diferentes regiões do Brasil evidencia como fatores meteorológicos impactam diretamente na eficiência dessas usinas. As variações regionais de irradiância solar, desempenham um papel crucial nos níveis de geração de energia.

Podemos observar pelos gráficos de geração mensal durante as análises realizadas com o software SAM, o quanto cada região difere na geração solar CSP devido aos fatores climáticos supracitados.



**Figura 6 - Gráficos de Energia Gerada Mensal para os meses de 2019 ilustrando os diferentes níveis de produção durante 1 ano.**

Bom Jesus da Lapa, localizada no Nordeste, registrou a maior média de geração, 4,528 kWh, destacando-se como a região mais eficiente no aproveitamento da radiação solar, devido à alta incidência de radiação solar direta e às condições meteorológicas favoráveis da região semiárida, caracterizada por longos períodos de sol intenso e céu claro, fatores essenciais para a maximização da geração de energia por CSP.

Cuiabá, no Centro-Oeste, teve uma média de geração de 3,118 kWh. Embora também apresente altos níveis de radiação solar, a cidade está sujeita a períodos de maior nebulosidade e chuvas sazonais, especialmente durante a estação chuvosa. Esses fatores afetam negativamente a eficiência deste sistema de geração, que dependem de radiação direta.

No Sudeste, o Rio de Janeiro apresentou uma média de geração de 3,018 kWh. A cidade tem uma menor incidência de radiação solar em comparação com Bom Jesus da Lapa e Cuiabá, devido à maior cobertura de nuvens e à umidade. Esses fatores limitam a quantidade de radiação solar disponível para os sistemas CSP, resultando em uma geração de energia relativamente menor.

Por fim, Manaus, na região Norte, registrou a menor média de geração, 2,018 kWh, devido às condições climáticas locais. A região é caracterizada por alta umidade e elevados índices pluviométricos ao longo do ano, o que gera uma cobertura de nuvens mais frequente e, consequentemente, reduz a radiação solar direta disponível.

Os resultados evidenciam que as condições meteorológicas, especialmente a irradiância solar e a cobertura de nuvens, têm um impacto significativo na geração de energia por sistemas CSP no Brasil. Bom Jesus da Lapa, com clima semiárido e alto índice de irradiância solar, apresentou o melhor desempenho, enquanto Manaus, com seu clima úmido e nublado, obteve o pior resultado. Essa disparidade destaca a importância de avaliar as condições climáticas regionais ao planejar a implantação de sistemas CSP no Brasil, maximizando o aproveitamento dos recursos solares disponíveis e garantindo maior eficiência energética.

## Referências

AllahFoto. solar farm power plant concept with solar cell green energy ecology powerhouse electricity in nature isometric vector isolated, 2023.

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 20111180029@pq.uenf.br  
<sup>2</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, vescovini@gmail.com  
<sup>3</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, naiararinc14@gmail.com  
<sup>4</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, justifi@uenf.br

Disponível em: <https://stock.adobe.com/br/images/solar-farmpower-plant-concept-with-solar-cell-green-energy-ecology-powerhouse-electricity-in-nature-isometricvector-isolated/543130923>. Acesso em 12/10/2024

BURGI, Adriano Salvi. Avaliação do Potencial Técnico de Geração Eléctrica Termossolar no Brasil a partir de Modelagem em SIG e Simulação de Plantas Virtuais: Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013. p. 1-157.

DA ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. Revista Brasileira de Energia Solar, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 140–147, 2017. DOI: 10.59627/rbens.2016v7i2.157. Disponível em: <https://rbens.org.br/rbens/article/view/157>. Acesso em: 12 out. 2024.

DE SOUZA VIANA, Trajano. Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis.

DE BRITO, E. S. M.; TEIXEIRA, T.; DE SOUZA, F. P. As potencialidades e os limites da energia solar fotovoltaica no Brasil. CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES, [S. l.], v. 16, n. 9, p. 15663–15680, 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.9-113. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/1758>. Acesso em: 12 out. 2024.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] Balanço Energético Nacional (BEN) 2024 – Relatório Síntese

GNPW Group. (2024, Janeiro). O estado atual da matriz energética brasileira.

KALOGIROU, Soteris A.. Engenharia de Energia Solar: Processos e Sistemas. 2. ed. [S.l.]: Elsevier, 2014. p. 1-1285.

MOREIRA, José R. S. Notas de aula de PME 3361 – Processos de Transferência de Calor e Massa, 2023. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8050214/mod\\_resource/content/1/Aula%2022%20-%20Propriedades%20da%20Radia%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8050214/mod_resource/content/1/Aula%2022%20-%20Propriedades%20da%20Radia%C3%A7%C3%A3o.pdf). Acesso em 12/10/2024.

OLIVEIRA, Othon Garcia; OLIVEIRA, Rafael Henrique; GOMES, Renato Oliveira. Energia solar: um passo para o crescimento. REGRAD - Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM - ISSN 1984- 7866, [S.l.], v. 10, n. 01, p. 377 - 389, oct. 2017. ISSN 1984-7866. Disponível em: . Acesso em: 12 oct. 2024.

SANTOS, R. M. dos; RODRIGUES, M. de S.; CARNIELLO, M. F. ENERGIA E SUSTENTABILIDADE: PANORAMA DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA. Scientia: Revista Científica Multidisciplinar, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 13–33, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/scientia/article/view/9396>. Acesso em: 12 out. 2024.

Silva, R. G.; Carmo, M. J. D.; Energia Solar Fotovoltaica: Uma proposta para melhoria da gestão energética. InterSciencePlace2017, 12, 129

System Advisor Model™ Version 2020.11.29 (SAM™ 2023.12.17) User Documentation. Weather File Formats. National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar, Energia Renovável, System Advisor Model (SAM)

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 20111180029@pq.uenf.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, vescovini@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, naiararinc014@gmail.com

<sup>4</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, justii@uenf.br