


A AMPLIAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS POR MEIO DE CENTRAIS DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: IMPACTOS NA ECONOMIA LOCAL E NO ENFRENTAMENTO DA CRISE ECOLÓGICA


THE EXPANSION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS THROUGH MICRO AND MINI-DISTRIBUTED GENERATION PLANTS IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO: IMPACTS ON THE LOCAL ECONOMY AND ON ADDRESSING THE ECOLOGICAL CRISIS

Páulea Zaquini

 <https://orcid.org/0009-0000-9166-3827>

Correspondência: paulea.zaquini@fiocruz.br
Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.

Jorge Nogueira de Paiva Britto

 <https://orcid.org/0000-0003-0730-4958>

Correspondência: britto.jorge@gmail.com
Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil.

DOI: 10.12957/cdf.2026.97036

Recebido em: 23 fev. 2026 | **Aceito em:** 12 maio 2026

RESUMO

A expansão da capacidade instalada da geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos, além de contribuir para a diminuição da emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, pode contribuir com a expansão do número de postos de trabalho, com a dinamização de diferentes setores produtivos e com a melhoria de indicadores relacionados à segurança e à justiça climática. Entretanto essa expansão tem ocorrido de forma bastante desigual em diferentes partes do planeta, afetando os impactos positivos advindos do uso desses sistemas nos territórios. Nesse contexto, o estudo aborda a geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos no estado do Rio de Janeiro, em especial por meio de centrais de micro e minigeração distribuída (MMGD). A intenção é demonstrar que a ampliação do número de centrais fotovoltaicas de MMGD no território fluminense pode contribuir com o desenvolvimento mais inclusivo do estado. Os dados observados indicam que há grande possibilidade de ampliação dessas centrais no território fluminense e que, como consequência, essa ampliação poderia contribuir, para além dos benefícios relacionados diretamente à preservação dos ecossistemas naturais, para a ampliação de postos de trabalho e para a melhoria de indicadores relacionados à justiça energética. São apresentadas análises, em perspectiva comparada, entre a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos por meio de centrais de MMGD no estado do Rio de Janeiro e em outros estados brasileiros e, ao final do artigo, são discutidas as possibilidades de expansão dessa produção no estado assim como outras benesses associadas a essa expansão.

Palavras-chave: energia fotovoltaica; geração de emprego; segurança energética; justiça energética; descarbonização; estado do Rio de Janeiro.



ABSTRACT

The expansion of installed capacity for electricity generation through photovoltaic systems, in addition to contributing to the reduction of greenhouse gas emissions into the atmosphere, can contribute to the expansion of the number of jobs, the revitalization of different productive sectors, and the improvement of indicators related to energy security and justice. However, this expansion has occurred quite unevenly in different parts of the world, affecting the positive impacts arising from the use of these systems in different territories. In this context, this study addresses electricity generation through photovoltaic systems in the state of Rio de Janeiro, especially through micro and mini-distributed generation (MMGD) plants. The intention is to demonstrate that expanding the number of MMGD photovoltaic plants in the state of Rio de Janeiro can contribute to a more inclusive development of the state. The data presented demonstrate that there is a great possibility of expanding these power plants in the state of Rio de Janeiro and that, as a consequence, this expansion could contribute, in addition to the benefits directly related to the preservation of natural ecosystems, to the increase in jobs and to the improvement of indicators related to energy security in the state. Comparative analyses are proposed between the installed capacity of photovoltaic systems through micro and mini-generation plants in the state of Rio de Janeiro and in other Brazilian states. Finally, it discusses the possibilities for expanding this production in the state, as well as other benefits associated with such expansion.

Keywords: photovoltaic energy; job creation; energy security; energy justice; decarbonization; state of Rio de Janeiro.

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis possibilita, de maneira geral, a minimização dos impactos das atividades da humanidade sobre o sistema terrestre e, em casos mais específicos, mas não poucos, o desenvolvimento social mais inclusivo dos territórios (IRENA, 2025a; Nações Unidas, 2025). Nesse cenário, para além do auxílio à descarbonização do planeta e a utilização de fontes de energia que se apresentam no sistema terrestre como fluxo, e não como estoque –, a ampliação de sistemas de geração de energia baseados em fontes renováveis também pode contribuir para: 1) a melhoria direta das condições de saúde das populações, considerando a redução da emissão de poluentes bastante nocivos, entre eles o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e materiais particulados finos (IRENA, 2025a, p. 36), todos eles provenientes da queima de combustíveis fósseis; 2) a ampliação e a desconcentração da geração de postos de trabalho (IRENA; ILO, 2024); 3) a dinamização de economias mais periféricas (Nações Unidas, 2025); e 4) com a melhoria dos indicadores relacionados à segurança e à justiça energéticas (IRENA, 2025a; Nações Unidas, 2025).

E é nesse contexto que a utilização de sistemas fotovoltaicos, uma das soluções disponíveis na atualidade para a geração de energia elétrica por meio de fontes

renováveis, se apresenta como objeto deste estudo. De antemão, é necessário destacar que para além dos sistemas fotovoltaicos serem dependentes de uma fonte de energia que é fluxo, e não estoque, essa fonte se apresenta disponível para uso, mesmo que com intensidades diferentes, em todas as partes da superfície do planeta; diferentemente de outras fontes de energia renováveis.

Além disso, o uso da radiação solar como fonte energética não implica em alterações quantitativas nem qualitativas de suas características iniciais enquanto fonte. Ademais, dado que o “combustível” dos sistemas fotovoltaicos são os raios solares, e que esses raios incidem sobre todas as partes do planeta, a ampliação da capacidade instalada desses sistemas auxiliaria na interrupção de processos injustos de dependência econômico-social decorrentes da oligopolização dos mercados de energia.

Destaca-se ainda que o caráter disperso da fonte de energia solar possibilita a geração de energia de forma bastante espalhada e, portanto, a criação e a manutenção de postos de trabalho relacionados à geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos também se apresentam de forma descentralizada (IRENA; ILO, 2024).

Sobre a ampliação dos postos de trabalho e a dinamização da economia nos territórios devido à possibilidade de descentralização da geração de energia elétrica por meio de centrais de micro e minigeração distribuída, as MMGD, soma-se a todas as questões trazidas até aqui o fato de que a instalação desses equipamentos de forma descentralizada possibilita que outros agentes econômicos sejam beneficiados. Nessa perspectiva, participam também diretamente dos processos de instalação dos sistemas fotovoltaicos agentes econômicos vinculados ao setor de transporte e profissionais que desenvolvem atividades de serralheria e de venda de equipamentos e materiais relacionados ao setor elétrico, entre outros.

Quanto ao consumidor, que passa a ser também gerador de energia elétrica, para além da redução de custos relativos à aquisição de energia produzida por outrem, a instalação de centrais de MMGD pode minimizar impactos relacionados aos choques de preços comuns no mercado de energia. Reduzindo, por exemplo, no caso brasileiro, processos de alteração tarifária justificados pela necessidade de utilizar sistemas de geração de energia mais caros – como é o caso das termelétricas – em função de períodos em que a escassez dos recursos hídricos compromete a disponibilidade de energia elétrica para a população (ANEEL, 2024; IEMA, 2024).

No entanto, apesar de todas as vantagens atribuídas aos sistemas fotovoltaicos advindas da sua fonte energética, é preciso evidenciar que os impactos sobre o sistema

terrestre não estão vinculados somente à fonte necessária para a geração de energia. Na contabilidade dos custos ambientais e sociais decorrentes da transformação da energia solar em energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos devem ser incluídos os custos associados a toda a cadeia produtiva. Incluindo os custos da instalação dos sistemas fotovoltaicos, da manutenção e do descomissionamento quando do final da vida útil desses sistemas (Bošnjaković *et al.*, 2023). Também devem ser contabilizados os custos e as dificuldades operacionais relacionados a novos modelos de geração de energia¹. Em especial, os custos relacionados a investimentos em medição inteligente e a mudanças no paradigma de controle. Também necessário destacar as modificações e os ajustes relacionados a aspectos regulatórios e tarifários.

E é nesse cenário de avaliação dos benefícios e dos custos ambientais, econômicos e sociais considerando a instalação dos sistemas fotovoltaicos que o objeto deste estudo se apresenta. A hipótese é que, para além de cooperar com processos de descarbonização do planeta, a ampliação da instalação de sistemas fotovoltaicos por meio de centrais de microgeração e minigeração distribuída no estado do Rio de Janeiro pode contribuir com processos que buscam um caminho para o desenvolvimento do território fluminense fundamentado na melhoria das condições de vida mais inclusivas. Considerando, assim, que a ampliação da instalação desses sistemas pode contribuir para a 1) dinamização da economia no território fluminense, ampliando os postos de trabalho e a renda das famílias²; e para 2) a melhoria de indicadores vinculados à segurança e à justiça energéticas.

Como tendência geral, constata-se que a capacidade instalada das centrais de micro e minigeração de energia fotovoltaicas no território fluminense se apresenta aquém de suas possibilidades considerando tanto as boas condições de insolação do estado

¹ Entre os desafios relacionados à expansão da geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos destaca-se aqui questões vinculadas à geração do fluxo reverso na rede de distribuição advindo de sobrecargas na referida rede que podem ocasionar tanto perdas técnicas incluindo a redução da vida útil de alguns equipamentos quanto a necessidade de desligamento, por vezes não programados, desses sistemas; e a necessidade de reorganização do sistema tarifário garantindo que os custos operacionais e de expansão de infraestrutura não penalizem consumidores que não possuem sistemas próprios de geração de energia conectados às redes de distribuição.

² O aumento da renda pode vir tanto do aumento dos salários diretos ou indiretos decorrentes da dinamização da economia local, quanto pela dinâmica de transformação do até então consumidor, num produtor/consumidor.

quanto a disponibilidade da área disponível para instalação desses sistemas³; dois pré-requisitos importantes para a instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Nesse contexto, dos aproximadamente 42,1 milhões de quilowatts (KW) referentes à potência instalada registrada no país no dia 30 de setembro de 2025⁴, apenas 1,6 milhão de KW dessa capacidade estava instalada no estado do Rio de Janeiro. Além disso, das 3.777.692 instalações presentes no país na mesma data, apenas 170.813 estavam instaladas no território fluminense (ANEEL, 2025a). Assim, em termos percentuais, o estado do Rio de Janeiro representa aproximadamente 3,8% da capacidade instalada de geração de energia solar fotovoltaica por meio das centrais de MMGD no país, e possui cerca de 4,5% das referidas centrais.

Sobre a organização deste texto, ele está estruturado em cinco seções, incluindo esta introdução. Assim sendo, na segunda seção deste artigo, junto às estatísticas da ampliação dos sistemas fotovoltaicos no planeta, e considerando a valoração de custos e benefícios dos diferentes sistemas geradores de energia elétrica, são apresentados dados relacionados aos custos ambientais referentes aos diferentes processos de produção de energia elétrica. Na sequência, são apresentados, na seção 3, os materiais e métodos que foram utilizados para compreender os possíveis impactos positivos no desenvolvimento do estado do Rio de Janeiro considerando a ampliação da instalação de sistemas fotovoltaicos por meio de centrais de microgeração e minigeração distribuída (MMGD)⁵.

Os dados estatísticos referentes a produção de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos no país, e em especial no estado do Rio de Janeiro, são apresentadas na Seção 4 deste artigo. Nessa seção também são apresentadas análises, em perspectiva comparada, entre a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos por meio de centrais de micro e minigeração (MMGD/FV) no estado do Rio de Janeiro e em outros estados brasileiros. Por fim, a última e quinta seção deste artigo apresenta as considerações finais da pesquisa.

³ Como será justificado mais adiante, foi considerado neste estudo como proxy referente à área disponível para instalação das centrais de micro e minigeração fotovoltaicas o número de domicílios tipo caso nos territórios.

⁴ Considerando a potência instalada por meio das centrais de MMGD movidas pela radiação solar contabilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) até o dia 30 de setembro de 2025.

⁵ As centrais de microgeração e minigeração distribuída são centrais geradoras de energia que possibilitam que os consumidores possam gerar a sua própria energia elétrica. A depender de seu enquadramento essas centrais podem ter potência instalada de até 5 MW (Brasil, 2022)

2 O ESTADO DA ARTE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO

A geração de energia por meio de fontes renováveis registra avaliações muito positivas quando comparada a sistemas de geração de energia elétrica abastecidos por combustíveis fósseis. Isso se verifica mesmo quando não são incluídos nas análises os custos sociais das emissões de carbono (IRENA, 2025a; Zozmann *et al.*, 2021).

Sobre os custos monetários diretos, no ano de 2024, o custo da oferta de energia solar fotovoltaica foi, em média, 41% mais barato do que as alternativas fundamentadas no uso de combustíveis fósseis. Esse nível de economia de gastos foi superado apenas pelos projetos eólicos *onshore*, que tiveram seus custos 53% mais baratos do que aqueles dos sistemas fundamentados no uso de combustíveis fósseis. Em valores absolutos, no ano de 2024, a energia eólica *onshore* registrou valores de LCOE⁶ médio de US\$ 0,034/kWh, seguida pela energia solar fotovoltaica, com valor de LCOE médio de US\$ 0,043/kWh (IRENA, 2025a, p.35, Figura 1.8).

Importante destacar que o LCOE médio ponderado para a energia solar fotovoltaica em grande escala no ano de 2024 teve uma variação significativa entre países ou regiões; sendo mensurado, como exemplos, em USD 0,033/kWh na China⁷, USD 0,070/kWh nos Estados Unidos, USD 0,048/kWh no Brasil, USD 0,038/kWh na Índia e USD 0,059/kWh na Alemanha (IRENA, 2025a, p. 35, Figura 1.8 e p.44, Figura 1.14).

Quanto à queda do LCOE médio global ao longo dos anos, analisando os dados no período compreendido entre os anos de 2010 e de 2024, a média global ponderada do LCOE das usinas solares fotovoltaicas de grande escala caiu 90%, saindo de USD 0,417/kWh para USD 0,043/kWh (IRENA, 2025a, p. 87, Figura 3.1). Redução impulsionada pela produção em escala, por melhorias na tecnologia e pela aquisição competitiva (IRENA, 2025a).

Sobre o potencial instalado de geração de energia elétrica por meio de sistemas solares fotovoltaicos, até o final de 2024, esse valor era de 1.859 GW globalmente, sendo 452 GW instalados no ano de 2024. Em comparação às outras fontes de energia renovável, globalmente, repetindo a tendência de anos anteriores, a energia solar

⁶ O LCOE médio é uma métrica que calcula o custo médio para a geração de energia por tipo de fonte e tecnologia, considerando todas as fases necessárias à geração da energia. Ou seja, da extração/apropriação da fonte até o descomissionamento do sistema.

⁷ A China foi o país que registrou os custos mais baixos. Resultado fortemente impulsionado tanto pela capacidade de fabricação doméstica quanto pela ocorrência de cadeias de suprimento verticalmente integradas.

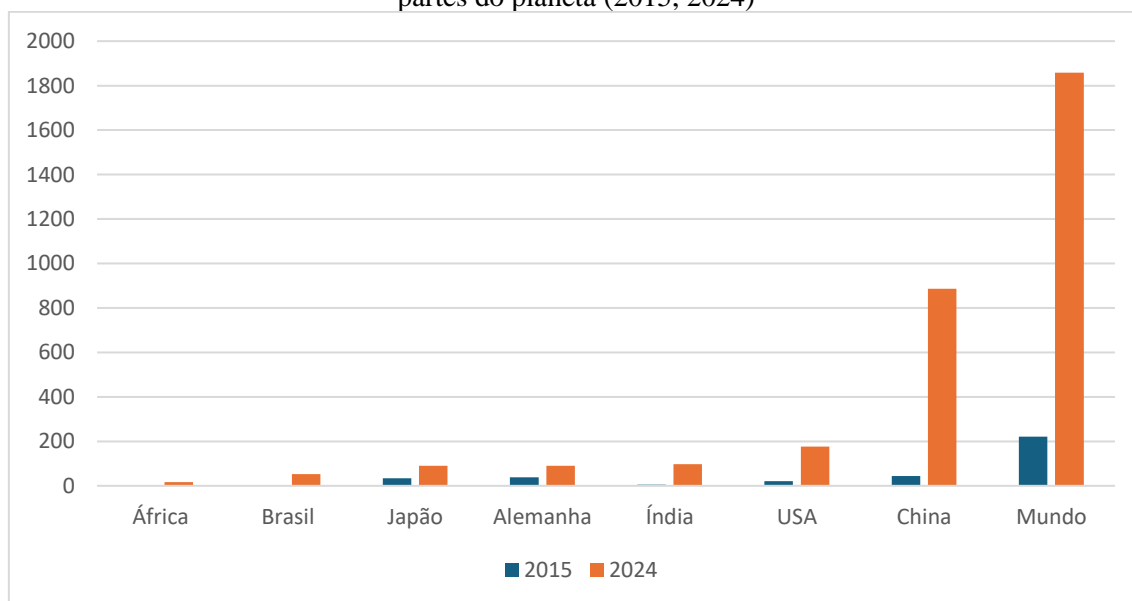
fotovoltaica foi a que obteve as maiores adições de geração de energia no ano de 2024 (IEA, 2025a, p. 26). Registrando, no referido ano, para os sistemas fotovoltaicos, acréscimos superiores ao dobro dos acréscimos computados, separadamente, para as fontes eólica e hidrelétrica (IEA, 2025a, p. 26).

Ainda no ano de 2024, enquanto houve decréscimo no uso de petróleo como fonte de energia para geração de eletricidade, repetindo o que já fora observado no ano de 2023, os sistemas fotovoltaicos geraram 480 TWh a mais do que o registrado no ano de 2023. Em termos de acréscimos anuais para outras fontes, esse valor foi seguido pelos 190 TWh a mais registrados pelos sistemas hidrelétricos, os 180 TWh a mais gerado pelos sistemas eólicos, os aproximadamente 170 TWh gerado pelos sistemas movidos pelo gás natural, e os 100 TWh gerados pelas centrais nucleares (IEA, 2025a, p. 26).

Observando agora a capacidade instalada de geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos em diferentes partes do mundo, a Figura 1 apresenta, para os anos de 2015 e de 2024, os valores dessa capacidade considerando os seis países com maior capacidade instalada no ano de 2024. Sendo o Brasil o sexto colocado.

Com o objetivo de ilustrar as enormes diferenças existentes entre as capacidades instaladas de sistemas fotovoltaicos no mundo, também são apresentados na Figura 1 os valores totais da capacidade instalada nos anos de 2015 e de 2024 em todo o continente africano para os referidos sistemas.

Figura 1 - Capacidade instalada acumulada dos sistemas fotovoltaicos (GW) em diferentes partes do planeta (2015, 2024)



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2026), com base nos dados da IRENA (2025b).

Note-se que, apesar de ter ocorrido a ampliação dos sistemas fotovoltaicos nos seis países listados, assim como no continente africano, os dados representados na Figura 1 apontam inúmeras disparidades mundiais. Enquanto no continente africano o crescimento da capacidade instalada entre os anos de 2015 e 2024 foi de aproximadamente 15 GW, e no Brasil, no Japão e na Alemanha esse crescimento chegou próximo aos 50 GW em cada um desses países. Na China, para o mesmo período (2015-2024), o acréscimo da capacidade instalada foi superior a 800 GW. Já a capacidade instalada per capita de energia fotovoltaica para os territórios selecionados no ano de 2024 foi de aproximadamente 23W para a média mundial, 12W na África, 67 W na Índia, 250W no Brasil, 517W nos Estados Unidos, 633W na China, 723W no Japão, e 1.077W na Alemanha.

2.1 A pegada ecológica da produção de energia elétrica segundo a fonte

Os impactos da geração de energia elétrica sobre o sistema terrestre variam bastante considerando as diferentes fontes renováveis. Eles dependem, entre outros fatores, além do tipo de fonte: 1) do processo produtivo utilizado na fabricação dos equipamentos necessários para a produção da energia, 2) das atividades e dos bens necessários para a implementação e para o descomissionamento das usinas geradoras de energia, e 3) dos processos cotidianos necessários na fase de geração da energia advindos da transformação da fonte energética em eletricidade.

No entanto, independentemente da fonte e dos processos produtivos, os impactos gerados pelos diferentes sistemas alimentados por fontes renováveis de energia, considerando o processo completo da cadeia produtiva, têm sido mensurados, sempre inferiores, em volume de emissão de CO₂-eq, quando comparados com os sistemas alimentados por combustíveis fósseis. Incluindo entre as fontes fósseis o petróleo, o gás natural e o carvão (Bošnjaković *et al.*, 2023).

Sobre a pegada de carbono dos sistemas geradores de energia, Bošnjaković *et al.* (2023) indicam que a estimativa de emissão de CO₂-eq/kWh dos sistemas solares fotovoltaicos fica entre 14g e 130g de CO₂-eq/kWh, a depender da tecnologia, do tipo de energia que abastece as linhas de fabricação dos painéis fotovoltaicos e do local de instalação dos painéis. Esses valores são muito inferiores à pegada de carbono dos sistemas movidos a gás, com estimativa média de 608g de CO₂-eq/kWh; dos sistemas movidos a petróleo, com a estimativa média de 742g de CO₂-eq/kWh; e dos sistemas

movidos a carvão, com a estimativa média de 975g de CO₂-eq/kWh (Bošnjaković *et al.*, 2023).

Não obstante, ainda de acordo com os estudos de Bošnjaković *et al.* (2023), comparando os sistemas fotovoltaicos com outros sistemas abastecidos por energia renovável e também com a energia nuclear, a pegada de carbono da energia solar fotovoltaica é, na média, maior do que a do *concentrated solar power* (CSP, energia solar concentrada), que fica entre 14g e 32g de CO₂-eq/kWh; da energia eólica, que varia entre 8g e 23g de CO₂-eq/kWh; das centrais geotérmicas, que ficam em torno de 38g CO₂-eq/kWh; das usinas nucleares, que variam entre 24g e 66g CO₂-eq/kWh; e das usinas hidrelétricas, com variação entre 10g e 13g CO₂-eq/kWh (Bošnjaković *et al.*, 2023).

Considerando especificamente a cadeia produtiva da energia fotovoltaica, de modo geral, o impacto negativo de sua geração se dá no momento da fabricação dos diferentes componentes necessários à implementação dos sistemas fotovoltaicos, e quando do descomissionamento desses sistemas (Bošnjaković *et al.*, 2023). Os dados analisados por Bošnjaković *et al.* (2023) evidenciam que as fases inicial e final do ciclo de vida dos sistemas fotovoltaicos são as que mais contribuem para as emissões globais de gases de efeito estufa. Essas fases incluem a produção dos equipamentos e os processos de transporte, montagem, desmontagem e descomissionamento dos sistemas. Sendo a produção dos equipamentos a fase que mais contribui para as emissões (Bošnjaković *et al.*, 2023).

Dado que, considerando uma mesma solução tecnológica, a eficiência das usinas fotovoltaicas está diretamente relacionada à intensidade da radiação solar e o tempo de incidência dessa radiação sobre a superfície terrestre – tempo esse que varia entre os territórios do planeta –, as emissões de CO₂ eq./kWh por meio de sistemas fotovoltaicos são maiores em regiões com baixa irradiância solar. Assim, conforme destacado por Bošnjaković *et al.* (2023), as usinas fotovoltaicas no norte da Europa têm emissões de GEE bastante altas (entre 80g e 130g de CO₂ eq./kWh) quando comparadas com usinas fotovoltaicas instaladas na América do Norte (entre 16g e 60g de CO₂ eq./kWh) (Bošnjaković *et al.*, 2023).

É necessário destacar ainda que, como trazido por Bošnjaković *et al.* (2023), os processos tecnológicos são importantes aliados da redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no que tange à produção de usinas fotovoltaicas: “À medida que os módulos fotovoltaicos se tornam mais eficientes, a produção de células solares se torna

menos intensiva em energia e a participação de energia renovável na rede elétrica aumenta” (Bošnjaković *et al.*, 2023, tradução nossa).

2.2 Aspectos relacionados à segurança e à justiça energéticas

Como já destacado, a produção de energia por meio de uma fonte que está disponível em todo o território terrestre por si só já indica a possibilidade da geração dessa energia de forma mais espalhada pelo globo, rompendo com padrões monopolistas e oligopolistas de geração de energia no planeta que se desdobram em condições de subalternação entre os países, territórios subnacionais e entre classes sociais.

Nesse contexto, e considerando as tecnologias disponíveis na atualidade, que possibilitam que, em boa medida, o consumidor passe a ser também o produtor, a energia gerada por meio de sistemas fotovoltaicos se qualifica como o processo de geração de energia mais democrático do mundo, ficando na frente, inclusive, de todos os outros sistemas movidos por fontes renováveis.

Além disso, dado que os raios solares são emitidos de forma ininterrupta, e que eles chegam, em boa parte do ano, em boa parte dos dias, e em boa parte da superfície do planeta, de forma abundante, sem custos de extração, transporte, ou outro tipo de manuseio, nunca a radiação solar, enquanto fonte, seria a causa do aumento de custos na geração de energia advindo de acréscimos de demanda, possibilidade de esgotamento de recursos naturais ou disputas geopolíticas.

Sobre os riscos relacionados à interrupção da geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos em grandes proporções, apenas eventos exógenos bastante adversos, e de maiores magnitudes, poderiam comprometer a geração de energia por meio desses sistemas nos territórios, diferentemente de outras fontes renováveis. Tomando como objeto de comparação a geração de energia por centrais hidrelétricas – outro sistema baseado em energia renovável –, no ano de 2024, em algumas partes da África, a geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos foi a solução encontrada para garantir o acesso à energia elétrica diante das interrupções na distribuição de energia advindas das hidrelétricas, que ficou comprometida diante da queda do nível de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas (Phiri; Clayton, 2024).

Ainda sobre aspectos relacionados à segurança e à justiça energéticas, destaca-se ainda que, no Brasil, o sistema de bandeiramento utilizado pela ANEEL para precificar a energia elétrica disponibilizada para os consumidores parte do princípio de que alterações

no preço da energia podem ser realizadas quando as condições de geração de energia estão desfavoráveis (ANEEL, 2022). O que, no Brasil, isso se dá, especialmente, devido à baixa dos níveis de disponibilidade hídrica nos reservatórios. Nesse contexto, essa situação, em alguma medida, seria minimizada com a ampliação dos sistemas fotovoltaicos.

Em adição aos pontos já destacados, em regiões onde o acesso à rede de distribuição de energia elétrica é bastante dificultado, são os sistemas fotovoltaicos *off-grid* que estão desempenhando um papel cada vez mais importante. De acordo com dados da IEA, “na África subsaariana, quase 10% das famílias com acesso à eletricidade dependem desses sistemas, impulsionando inclusive o crescimento do emprego na região” (IEA, 2024, p. 94, tradução nossa). Os fatos diretamente relacionados à segurança e à justiça energéticas destacados nesta seção, e tantos outros fatos anteriormente relatados neste estudo demonstram que, mesmo com toda a ampliação dos sistemas geradores de energia baseados em fontes renováveis que vem sendo realizada no planeta, há muito mais a se fazer.

2.3 Aspectos relacionados à geração de emprego e à dinamização da economia

Segundo dados da IEA (2024), o número de empregos no setor de energia global superou os 67 milhões de postos ocupados em 2023, registrando um aumento de 3,8% em relação ao ano anterior⁸. Destes, 34,1 milhões estavam vinculados a atividades relacionadas às energias limpas – entre elas, a produção de carros elétricos e baterias –, e 32,6 milhões vinculados a atividades relacionadas aos combustíveis fósseis – entre elas, a fabricação de carros movidos à combustão interna. Considerando essa divisão, foram registrados, no ano de 2023, um aumento de 1,5 milhão de novos empregos nas atividades vinculadas à energia limpa, e um aumento de 940 mil novos empregos em atividades relacionadas aos combustíveis fósseis (IEA, 2024). Em relação aos acréscimos de empregos em energia limpa, um terço deles foi relacionado diretamente à energia fotovoltaica, e cerca de 410 mil relacionados ao setor de veículos elétricos e baterias. Estes registros demonstram o forte impacto da geração de energia fotovoltaica na geração de novos postos de trabalho na atualidade (IEA, 2024).

⁸ O setor de energia global inclui atividades relacionadas ao fornecimento de energia, desde à extração da matéria prima até o descomissionamento das estruturas. Envolve a eficiência no uso final, incluindo atividades relacionadas ao desenvolvimento e aplicação de tecnologias, e a fabricação de veículos.

Observando a ocupação dos postos de trabalho a partir do tipo de fonte de energia renovável, segundo estimativas da IRENA (2025c), no ano de 2023, cerca de 7,1 milhões de empregos diretos e indiretos no mundo estavam vinculados à geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos, 2,8 milhões vinculados à produção de energia por meio de biocombustíveis líquidos, 2,3 milhões relacionados à geração de energia por meio de hidrelétricas e 1,4 milhão relacionados à geração de energia por meio de sistemas eólicos.

Analisando outros dados relativos ao ano de 2023 sobre o número de empregos no setor de geração de energia, em especial no setor de geração de energia por meio de fontes renováveis, os dados globais indicam que, na média, para cada 1 GWh gerado por meio de sistemas fotovoltaicos, cerca de 4,41 trabalhadores são necessários. Para a energia eólica, essa relação fica em 0,61 trabalhadores para a geração de cada 1 GWh, e no caso da hidroeletricidade a relação é de 0,54 trabalhadores a cada 1 GWh. Esses valores podem ser observados na Tabela 1, que apresenta, para o ano de 2023, os valores absolutos referentes à geração mundial de energia elétrica por meio de três distintos sistemas: o eólico, o fotovoltaico e o hidrelétrico. Apresenta-se também na Tabela 1 o número de empregos computados por tipo de sistema para o referido ano.

Além disso, para melhor compreender o impacto que os sistemas fotovoltaicos têm na geração de empregos, são apresentados, também na Tabela 1, dados relacionados à geração de energia e o total de empregos vinculados à produção por cada tipo de sistema escolhido para seis países distintos: Alemanha, Brasil, China, Espanha, Estados Unidos e Índia. Esses países foram selecionados por registrarem valores significativos de geração para ao menos dois dos três tipos de sistema destacados.

Tabela 1 – Geração de eletricidade registrada, empregos computados e relação emprego/geração registrada por tipo de sistema para diferentes países (2023)

	Energia Fotovoltaica			Energia Hidroelétrica			Energia Eólica		
	Geração registrada-GWh	Empregos registrados	Relação trabalhador registrado-GWh	Geração registrada-GWh	Empregos registrados	Relação trabalhador registrado-GWh	Geração registrada-GWh	Empregos registrados	Relação trabalhador-GWh
Alemanha	63.576	154.650	2,43	19.894	3.438	0,17	140.538	108.640	0,77
Brasil	50.642	264.000	5,21	426.013	177.325	0,41	95.800	80.300	0,83
China	583.854	4.590.000	7,86	1.232.100	788.426	0,63	886.550	745.000	0,84
Espanha	43.463	51.228	1,17	24.996	9.835	0,39	64.275	35.741	0,55
Estados Unidos	214.436	279.447	1,3	246.756	68.372	0,27	425.941	131.327	0,3
Índia	108.133	318.600	2,94	161.464	452.956	2,8	74.708	52.200	0,69
Total mundial	1.610.739	7.105.548	4,41	4.270.210	2.323.384	0,54	2.373.934	1.456.249	0,61

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2026), com base em IRENA (2025c) e IRENA; ILO (2024).

Note-se que, para todos os países, a relação número de empregos/geração elétrica é sempre maior para os sistemas fotovoltaicos. Na China, a alta relação emprego/geração de eletricidade é justificada pelo fato de que o país é o maior produtor de equipamentos necessários à instalação dos sistemas fotovoltaicos. É importante destacar ainda que, como já relatado, o LCOE médio da produção de energia por meio de sistemas fotovoltaicos é o segundo mais barato considerando as tecnologias vigentes para a geração de energia na atualidade; mesmo diante da constatação de que números mais elevados de trabalhadores sejam necessários para a sua geração.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados reunidos e analisados para a realização deste estudo – para além dos dados evidenciados na revisão teórica, que foram fundamentalmente retirados dos estudos publicados pela Agência Internacional de Energia (IEA) e pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) – tiveram como principais fontes a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Do IBGE foram extraídos e analisados, por ente federado nacional, dados relacionados ao cômputo populacional, ao número de domicílios do tipo casa, à extensão territorial e à densidade demográfica. Da ANEEL foram extraídos os dados relativos à potência outorgada das Usinas Fotovoltaicas (UFV). Usinas essas classificadas como geradoras de grande porte, com capacidade instalada superior a 5 MW (ANEEL, 2025b), que têm como objetivo a comercialização da energia e se diferenciam bastante das centrais de MMGD que têm o autoconsumo como finalidade principal.

Quanto às informações relacionadas à instalação das centrais de MMGD, essas foram retiradas tanto da base de dados da EPE, quanto de um painel de dados bastante específico disponibilizado pela ANEEL sobre a geração distribuída. Do painel da ANEEL, e da base de dados da EPE, foram analisados os valores relativos à potência instalada por meio das centrais de microgeração e minigeração distribuída movidas por radiação solar – centrais essas construídas com o objetivo de atender à demanda dos próprios geradores de energia e que podem alcançar, em termos de capacidade instalada, até 5 MW (ANEEL, 2025a; EPE, 2025).

Para os dois sistemas de geração de energia acima citados, as usinas fotovoltaicas e centrais de micro e minigeração distribuída, foram analisados os dados tanto do estado do Rio de Janeiro quanto das outras 26 unidades federativas do país. Tanto os dados relacionados à capacidade outorgada das UFV, quanto os dados relacionados à capacidade instalada das centrais de MMGD/FV, foram analisados, de forma comparativa, entre os valores do estado do Rio de Janeiro e os valores dos outros estados brasileiros. Quanto à potência outorgada das Usinas Fotovoltaicas (UFV), foram analisados os dados tanto da potência outorgada das usinas já instaladas quanto da potência outorgada das usinas em construção ou ainda em fase anterior à construção.

Foi extraída também da base de dados da ANEEL a contribuição, das diferentes fontes de energia e dos diferentes tipos de geração de energia considerando a composição total da matriz energética elétrica nacional em termos percentuais e absolutos.

No que se refere à ampliação de postos de trabalho considerando o potencial de empregabilidade decorrente da expansão da instalação de sistemas fotovoltaicos, como já referido na seção 2, essas informações foram retiradas, de modo geral, do relatório intitulado *World Energy Employment 2024* (IEA, 2024). Além dessa fonte, alguns dados relacionados ao número de empregos no setor de energia renovável foram calculados a partir de informações disponíveis no site da IRENA sobre número de empregos por país considerando as diferentes formas de geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis (IRENA, 2025c).

Infelizmente, não foram encontrados dados referentes ao número de empregos contabilizados no país, por estado, advindos da geração de energia fotovoltaica. Uma fonte alternativa considerada – mas que se refere a uma parcela muito pequena desses empregos – refere-se ao número de “instaladores de sistemas fotovoltaicos” contabilizados pela Relação Anual de Informações Sociais (RAIS-MTE).

Quanto às informações relacionadas à segurança energética e à descarbonização, como já observado, essas foram retiradas de diferentes fontes e foram sendo citadas no decorrer do texto. De modo geral, os dados sobre a geração de postos de trabalho, sobre aspectos relacionados à segurança energética e sobre aspectos relacionados à descarbonização foram avaliados considerando também os dados gerais da matriz energética nacional.

4 A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA NO BRASIL E NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

A matriz elétrica nacional é composta por uma diversidade de sistemas geradores de energia que são alimentados por diferentes fontes, estando entre essas fontes o potencial hidráulico, a radiação solar, a energia cinética do vento, o gás natural, diferentes tipos de biomassa, o carvão mineral, o urânio e o petróleo.

Considerando todos os sistemas outorgados pela ANEEL e em operação até o dia 30 de setembro de 2025, o que não inclui a capacidade instalada das centrais de micro e minigeração distribuída, a potência instalada no país era de 214 milhões de KW, ou seja, 214 GW. Sendo 51,26% dessa potência advinda de potencial hidráulico, 16,03% dessa potência advinda da energia cinética do vento, 9,25% do gás natural, 8,29% dos diferentes tipos de biomassa, 8,8% da radiação solar, 3,61% de petróleo e outros óleos, 1,84% do carvão mineral e 0,93% da energia nuclear. Totalizando, cerca de 84,38% da potência outorgada pela ANEEL na referida data advinda de fontes renováveis e 14,7% advindos de combustíveis fósseis (ANEEL, 2025b).

Se somarmos aos 214 GW de potência outorgada pela ANEEL em operação (ANEEL, 2025b), os 43,3 GW de capacidade instalada acumulados das centrais de MMGD (ANEEL, 2025a), em setembro de 2025 havia no país cerca de 257 GW de capacidade instalada para a geração de energia. Nesse contexto, quando somadas a potência outorgada em operação e a capacidade instalada das centrais de MMGD, a composição da matriz energética nacional é alterada. Levando a geração de energia por meio da radiação solar a ocupar a segunda posição do ranking das fontes de energia que mais possui capacidade instalada para a geração de energia elétrica no país. Nesse contexto, a capacidade instalada para a produção de energia por meio de centrais fotovoltaicas supera os 54 MW, o que representa quase 22% da capacidade instalada de geração de energia no país.

Não obstante, se somadas todas as potências outorgadas pela ANEEL até então, o que inclui a potência das usinas que ainda não entraram em operação e a potência daquelas usinas cujas obras sequer foram iniciadas, a radiação solar se tornaria a fonte de energia com maior capacidade de geração de energia elétrica no país (ANEEL, 2025a; 2025b). Saindo de uma participação atual na geração de energia elétrica no país próxima aos 22% – como relatado acima – e chegando a valores de contribuição superiores a 44%. Isso sem

contemplar os bastante prováveis acréscimos de geração de energia elétrica por meio das centrais fotovoltaicas de MMGD.

Os valores referentes à potência outorgada pela ANEEL por fase de implementação do projeto até o dia 30 de setembro de 2025 para diferentes tipos de fonte de energia, mais os valores referentes à potência instalada por meio de unidades de MMGD até o dia 29 de setembro de 2025, também para diferentes tipos de fonte de energia, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Potências outorgadas pela ANEEL para diferentes sistemas até 30 de setembro de 2025 e a capacidade instalada por meio das centrais de Micro e Minigeração Distribuída para diferentes fontes até 29 de setembro de 2025 (Brasil)

Fonte	Potência outorgada em operação fiscalizada (GW)	Potência outorgada em construção (GW)	Potência outorgada, construção não iniciada (GW)	Capacidade instalada MMGD (GW)	Potencial acumulado total (GW)	Impacto na matriz energética nacional por tipo de fonte (%)
Potencial hidráulico	110,126	0,399	0,853	0,0523	111,43	27,34%
Radiação solar	18,898	4,933	115,333	43,081	182,25	44,71%
Energia Cinética do Vento	34,437	1,716	18,481	0,0177	54,65	13,41%
Nuclear	1,99	1,35	0	0	3,34	0,82%
Termelétrica*	49,38	4,48	1,841	0,206	55,91	13,72%
Total por tipo de fase / sistema	214,831	12,878	136,508	43,357	407,58	

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2026), com base em ANEEL (2025a; 2025b).

Nota: *Inclui-se nas fontes da geração de energia por meio de termelétricas o gás natural, a biomassa, o petróleo e outros óleos e o carvão mineral.

Mas qual a situação da geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos no estado do Rio de Janeiro? Segundo dados da ANEEL, dos 139 milhões de KW (139 GW) outorgados no país advindos de usinas fotovoltaicas, incluindo os sistemas em construção ou com obras ainda não iniciadas, apenas 180 mil KW (0,18 GW)⁹ referem-se ao estado do Rio de Janeiro (ANEEL, 2025b). Ou seja, 0,13% da potência outorgada no país. Indicando assim o baixíssimo potencial outorgado desse tipo de solução no território fluminense.

⁹ Atualmente, a potência outorgada pela ANEEL em operação no estado do Rio de Janeiro para as UFV é de 6.144,30 KW, com previsão de chegar a 180.707,90 KW considerando os valores totais das potências já outorgadas para o estado (ANEEL, 2025).

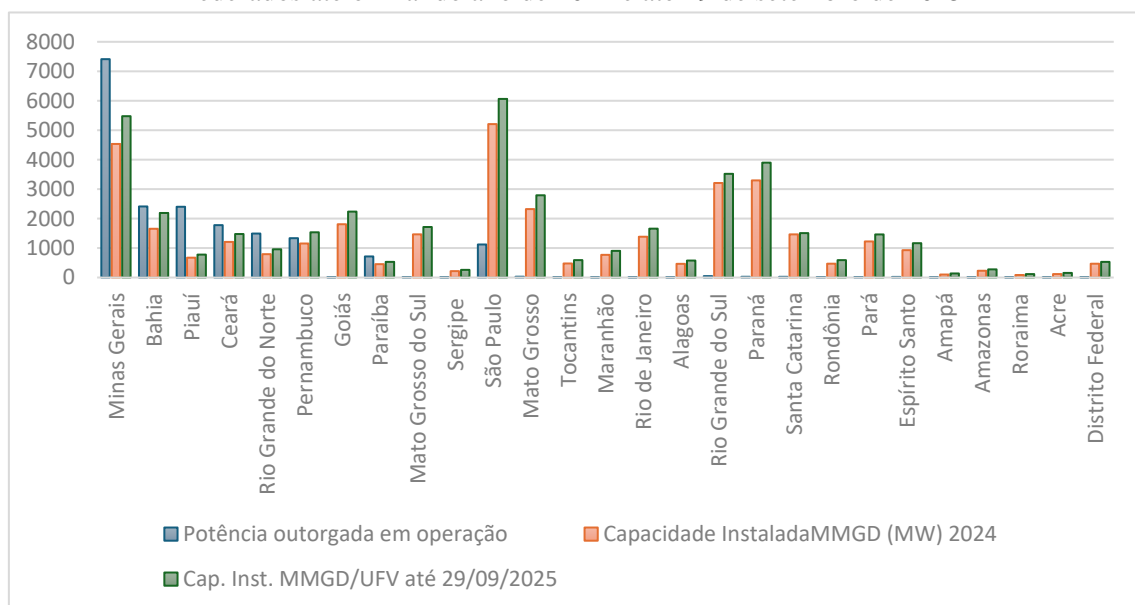
Se observamos apenas a capacidade outorgada em operação, esse percentual piora ainda mais. Nesse contexto, dos 18 GW de capacidade instalada em operação, apenas 0,006 GW estão instalados no estado do Rio de Janeiro. Valor que representa 0,032% da capacidade outorgada em operação no país (ANEEL, 2025b).

Quanto à capacidade instalada por meio de centrais de MMGD no território fluminense, mesmo que ainda inferior a muitos estados brasileiros, esse percentual melhora um pouco, chegando a 3,8% da capacidade instalada em todo o país. Aqui torna-se muito importante salientar que, se por meio de usinas fotovoltaicas de grande porte a potência outorgada em operação no estado é de 0,18 GW (ANEEL, 2025b), a capacidade instalada por meio das centrais de MMGD no estado é de 1,38 GW (ANEEL, 2025a). Ou seja, a capacidade instalada das centrais MMGD/FV é sete vezes maior que a capacidade instalada por meio das usinas de grande porte.

A Figura 2 apresenta a potência outorgada em operação nos estados brasileiros, mais o Distrito Federal, e a capacidade instalada por meio de centrais de MMGD também por estado, mais o Distrito Federal, até o mês de setembro de 2025. Se no primeiro caso o estado do Rio de Janeiro ocupa a 19ª posição, no segundo caso ele ocupa a 9ª posição.

Com o objetivo de acompanhar a ampliação mais recente das centrais de MMGD/FV, também foram incluídos na Figura 2 os valores referentes à capacidade instalada das centrais de MMGD/FV em cada estado brasileiro até o final do ano de 2024.

Figura 2 – Potência outorgada em operação das usinas fotovoltaicas por ente federado nacional até 30 de setembro de 2025 e capacidade instalada das MMGD/FV para os mesmos entes federados até o final do ano de 2024 e até 29 de setembro de 2025



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2026), com base em ANEEL (2025a), ANEEL (2025b) e EPE (2025).

Entre as muitas análises que podem ser realizadas a partir dos dados disponibilizadas na Figura 2, é possível observar que, apesar de o estado de Minas Gerais apresentar altos registros de capacidade instalada tanto para as usinas fotovoltaicas quanto para as centrais de MMGD/FV, sendo o estado com maior valor de potência outorgada em operação, o estado que apresentou o maior valor de potência instalada considerando as centrais de MMGD/FV foi o estado de São Paulo. Ao mesmo tempo, o estado de São Paulo ocupa o 7º lugar do ranking nacional considerando a potência outorgada em operação por meio das UFVs.

Os dados da Figura 2 evidenciam ainda que não há relação direta entre altos valores de potência outorgada nos estados considerando a capacidade das usinas fotovoltaicas em operação e os altos valores de potência instalada por meio de centrais de MMGD/FV. Ademais, a superioridade de valores relacionados à potência instalada por meio de centrais de MMGD/FV nos estados em relação à soma das potências outorgadas para as UFV em operação se apresentou, até o mês de setembro de 2025, bastante comum no país. Dos 27 entes federados, em apenas sete o valor total da potência outorgada para UFV em operação foi superior ao total das potências instaladas por meio das centrais de MMGD/FV.

É bastante provável que a chave para o entendimento desses resultados esteja na análise conjunta de diferentes fatores. Pelo lado das centrais de MMGD, destaca-se aqui o contingente populacional do estado aliado ao poder de compra da população residente em cada território. Pelo lado das UFV, os destaques dados são: o período total de insolação anual, que no Brasil apresenta os maiores valores nas estações climatológicas situadas nos estados do Nordeste e Centro-Oeste (INMET, 2025); e os valores de densidade demográfica e do uso econômico da terra que, na média, para os estados pertencentes à região Nordeste, apresentam condições muito mais favoráveis para a instalação de sistemas fotovoltaicos de grande porte quando comparados com as regiões Sul e Sudeste. Nesse contexto, em áreas mais ensolaradas e onde o valor monetário da terra é mais baixo, como é o caso da região Nordeste, é possível implementar usinas fotovoltaicas a custos menores e com resultados de potência gerada por área superior à de outras regiões.

Avançando agora para a análise exclusiva da potência instalada no estado do Rio de Janeiro por meio de centrais de MMGD/FV, os 1,6 GW de capacidade instalada no estado estão associados a 170.813 centrais geradoras distintas (ANEEL, 2025a). Como já relatado, esse valor de potência instalada posiciona o estado do Rio de Janeiro em 9º lugar

considerando a potência instalada por meio de MMGD/FV nos outros estados brasileiros. Ficando, à frente do estado do Rio de Janeiro, em ordem decrescente, os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Goiás, Bahia e Mato Grosso do Sul.

Note-se que a potência instalada no estado do Rio de Janeiro por meio das centrais de MMGD/FV é inferior a um terço da potência instalada nos estados de São Paulo e Minas Gerais, cerca da metade da potência instalada nos estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, inferior ainda à potência instalada nos estados Mato Grosso, Goiás e Bahia, e com valores de potência instalada muito próximos daquelas instaladas nos estados do Mato Grosso do Sul, Pernambuco, Santa Catarina, Ceará e Pará.

Se por um lado é compreensível que o estado do Rio de Janeiro apresente valores menores de potência instalada que os estados de São Paulo e de Minas Gerais – já que ambos têm população, território e número de domicílios do tipo casa superiores aos do estado fluminense (IBGE, 2025) –, a verificação da inferioridade da potência instalada no estado do Rio de Janeiro em relação à potência instalada nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Goiás e Bahia pode causar alguma surpresa. Todos esses cinco últimos estados listados possuem um número inferior de residentes e de domicílios quando comparados com as mesmas variáveis do território fluminense (IBGE, 2025). Importante destacar aqui que, como já relatado, segundo dados da ANEEL e da EPE, até o ano de 2024, quase a metade das centrais de MMGD/FV foram instaladas em residências (ANEEL, 2025a; EPE, 2025).

É necessário destacar ainda que não é objetivo desta pesquisa realizar um estudo sobre o potencial de instalação das centrais de MMGD/FV em cada um dos estados brasileiros. As observações trazidas nesta seção têm como único objetivo demonstrar que há, no estado do Rio de Janeiro, a possibilidade de ampliação da potência instalada por meio de centrais MMGD/FV, e que essa ampliação poderá contribuir não só com a melhoria de indicadores relacionados à descarbonização do estado, mas também com a geração de emprego no território fluminense, com a dinamização da economia e com aspectos relacionados à segurança e à justiça energéticas.

Destaca-se ainda como resumo das observações realizadas que, de acordo com os dados analisados, a presença mais significativa de centrais fotovoltaicas de MMGD nos diferentes estados brasileiros não está diretamente relacionada aos valores anuais superiores de insolação nos estados, nem mesmo a aspectos relacionados ao valor monetário do solo; diferentemente do que é observado nos registros das UFV, onde os

estados situados na região Nordeste, juntamente com o estado de Minas Gerais, aparecem nas primeiras colocações do ranking nacional de potência outorgada instalada.

Nesse contexto, ressalta-se ainda que, de modo geral, a instalação das centrais de MMGD/FV se dá em concomitância com o uso do terreno por outra atividade – seja essa atividade comercial, de serviço, industrial, ou mesmo residencial, como já relatado. Nos quatro casos, a instalação das centrais de MMGD chegam para agregar valor econômico aos imóveis. Levando, de modo geral, que a decisão pela instalação das centrais de MMGD/FV não passem por análises de custo e benefício referentes ao uso e ocupação do solo.

Para finalizar, adiciona-se aqui a análise de mais uma variável relacionada às benesses advindas da ampliação dos sistemas fotovoltaicos no país: a ampliação de postos formais ocupados no país em período recente pelos Instaladores de Sistemas Fotovoltaicos. Neste contexto, a Tabela 3 apresenta a evolução do número de Instaladores de Sistemas Fotovoltaicos contabilizados pela Relação Anual de Informações Sociais (RAIS-MTE) entre os anos de 2019 e de 2024 nos 10 estados que mais registraram postos preenchidos na referida ocupação no ano de 2024.

Note-se que o estado do Rio de Janeiro – que ocupa a 8ª posição do ranking publicizado na Tabela 3 –, contabilizou um crescimento de 397% considerando a expansão do preenchimento de postos de trabalho ocupados pelos Instaladores de Sistemas Fotovoltaicos entre os anos de 2019 e de 2024. Indicando, assim, um potencial expressivo de crescimento no preenchimento de postos formais de trabalho na referida ocupação em anos recentes.

Potencial esse também observado nos outros 9 estados; em especial no estado de São Paulo. Estado que vem registrando, anualmente, desde o ano de 2022, os mais altos valores de capacidade instalada de geração de energia elétrica por meio das centrais fotovoltaicas de MMGD considerado os 26 entes subnacionais¹⁰.

¹⁰ Posto que foi ocupado, entre os anos de 2015 e de 2021, pelo estado de Minas Gerais (Aneel, 2026). Destaca-se ainda que, entre os anos de 2016 e de 2019, a segunda posição foi ocupada pelo estado do Rio Grande do Sul (Aneel, 2026).

Tabela 3 – Evolução do número de postos formais de trabalho preenchidos por Instaladores de Sistemas Fotovoltaicos (CBO 732140) – 2019 - 2024

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Var. 2020- 2024 (%)
São Paulo	37	82	203	450	471	1.026	1151%
Minas Gerais	136	205	331	518	509	441	115%
Bahia	8	64	73	191	297	349	445%
Paraná	18	56	120	204	270	271	384%
Rio Grande do Sul	32	104	227	358	282	251	141%
Pernambuco	26	46	89	217	204	229	398%
Goiás	20	39	85	176	158	194	397%
Rio de Janeiro	7	35	70	98	114	174	397%
Santa Catarina	27	60	75	110	134	151	252%
Mato Grosso	16	39	104	117	119	139	256%
Total	427	1.059	1.835	3.213	3.435	4.236	300%

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2026) com base em Brasil (2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração de energia elétrica por meio de centrais de micro e minigeração de energia movidas à radiação solar no estado do Rio de Janeiro possui um acentuado potencial de expansão de sua capacidade instalada considerando a possibilidade da instalação desses sistemas em áreas urbanas sobre telhados residenciais, ou mesmo sobre a parte superior de prédios que são utilizados para o desenvolvimento de atividades comerciais, industriais e de serviço. Além disso, há um enorme potencial de ampliação dessas instalações nas propriedades rurais, incluindo a instalação nesses territórios tanto sobre os telhados das residências e outras construções presentes nessas áreas, quanto diretamente sobre o solo como ocorre quando da ocasião da instalação das usinas fotovoltaicas de grande porte.

Sobre a análise do potencial do território fluminense referente à disponibilidade de áreas para a instalação das centrais de MMGD, foi considerada neste estudo a alta frequência de instalação dessas centrais de geração de energia elétrica em residências. Análise essa ancorada nos registros disponibilizados pela ANEEL e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que indicam que, no ano de 2024, quase 50% da capacidade instalada desses sistemas no país estavam vinculados às residências (ANEEL, 2025a; EPE, 2025).

Nesse contexto, ressalta-se que os dados do Censo 2022 (IBGE, [2025]) indicam que cerca de 7,73% dos domicílios do tipo casa no país, incluindo as casas de vila e as casas em condomínios, estão no território fluminense. Em termos absolutos, são mais de 4,5 milhões de domicílios classificados como casas no território fluminense (IBGE,

[2025]), o que demonstra uma significativa possibilidade de expansão das centrais de MMGD nas residências do estado a partir de uma infraestrutura já instalada. O que traria consigo a possibilidade de expansão de postos de trabalho, a dinamização de diferentes setores produtivos, e a melhoria nos índices relacionados à segurança e à justiça energética.

Ademais, a ampliação da capacidade instalada de energia fotovoltaica por meio de centrais de MMGD poderia contribuir: 1) a médio e longo prazos, para a substituição dos veículos movidos a combustíveis fósseis por veículos movidos a energia elétrica, contribuindo com os processos de descarbonização do estado; 2) a curto, médio e longo prazos, com a ampliação da capacidade produtiva das empresas fluminenses, considerando que o status consumidor-gerador possibilita, entre outras questões, o pagamento às concessionárias distribuidoras de energia de valores menores que os habituais registrados nas contas mensais de energia; e 3) também a curto, médio e longo prazos, com a melhoria de aspectos relacionados à segurança e à justiça energéticas dado que a instalação dessas centrais poderia contribuir com a redução dos acréscimos tarifários aplicados em determinados períodos do ano que são, em geral, decorrentes do aumento dos custos de geração da energia hidrelétrica no país.

Sobre os desafios relacionados à ampliação de sistemas de micro e minigeração de energia no país, indica-se aqui que essa ampliação deverá sempre acontecer de forma coordenada entre distintos entes, entre eles as diferentes instâncias governamentais, as empresas responsáveis pela distribuição de energia e a empresa responsável pela operação nacional do sistema elétrico. Ademais, é preciso garantir que a necessária expansão do setor elétrico nacional, independentemente da fonte geradora, do sistema de geração ou do sistema de distribuição prime pelos princípios de equidade e justiça social.

Concluindo, pensar a possibilidade de ampliação dos sistemas fotovoltaicos por meio de centrais de MMGD no estado do Rio de Janeiro como uma política pública deveria ser tomado como tarefa dos diferentes níveis da gestão pública do território fluminense, mesmo com todos os desafios relacionados a essa expansão. Afinal, a ampliação desses sistemas vai ao encontro tanto de políticas que buscam reduzir a pegada da humanidade sobre o sistema terrestre quanto daquelas que buscam o desenvolvimento dos territórios baseados em aspectos de inclusão e igualdade sociais.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Sobre Bandeiras Tarifárias**. Brasília, 24 fev. 2022. Atualizado em 12 jun. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias/sobre-bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 13 out. 2025.

ANEEL. **Painel Geração Distribuída**. Microsoft Power BI. 2025a. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWl3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 2 out. 2025 e 22 fev. 2026.

ANEEL. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. 2025b. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGE3NjVmYjAtNDNFkZC00MDY4LTliNTItMTVkZTU4NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 30 set. 2025.

BOŠNJAKOVIĆ, Mladen; SANTA, Robert; CRNAC, Zoran; BOŠNJAKOVIĆ, Tomislav. Environmental Impact of PV Power Systems. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 15, p. 11888, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/11888>. Acesso em: 12 ago. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 7 jan. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm. Acesso em: 13 out. 2025.

BRASIL. Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho. **Bases Estatísticas Rais e Caged**. [S.l.]: Ministério do Trabalho e Emprego, 2026. Disponível em: <https://bi.mte.gov.br/bgcaged/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

EPE. **Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída**. Rio de Janeiro, [2025]. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/pdgd/>. Acesso em: 2 out. 2025.

GARDINER, Beth. Pakistan's Solar Revolution Is Bringing Power to the People. **Yale Environment 360**, New Haven: Yale School of the Environment, 9 jul. 2025. Disponível em: <https://e360.yale.edu/features/pakistan-solar-boom>. Acesso em: 26 ago. 2025.

IBGE. **Panorama do Censo 2022**. [2025]. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 2 out. 2025.

IEA. **World Energy Employment 2024**. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d2b4b054-4a55-4c6f-893f-fc2c8b77e9a1/WorldEnergyEmployment2024.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2025.

IEA. **Global Energy Review 2025**. Paris: IEA, 2025a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025>. Acesso em: 19 ago. 2025.

IEA. **Energy Statistics Data Browser** [Data Tools]. Paris: IEA, 2025b. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>. Acesso em: 9 out. 2025.

IEMA. **Crise hídrica e propostas para aumentar a resiliência do sistema elétrico e o atendimento de energia no horário de ponta.** [Posicionamento crítico]. Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), set. 2024. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/posicionamento-critico-crise-hidrica-e-propostas-para-aumentar-a-resiliencia-do-sistema-eletrico-e-o-atendimento-de-energia-no-horario-de-ponta-20240926>. Acesso em: 2 out. 2025.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil.** Instituto Nacional de Meteorologia, 2025. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 22 ago. 2025.

IRENA. **Renewable power generation costs in 2024.** Abu Dhabi: IRENA, 2025a. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Jul/IRENA_TEC_RPGC_in_2024_2025.pdf. Acesso em: 15 ago. 2025.

IRENA. **Renewable Energy Statistics 2025.** Abu Dhabi: IRENA, 2025b. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Jul/IRENA_DAT_RE_Statistics_2025.pdf. Acesso em: 15 ago. 2025.

IRENA. **Renewable Energy Employment by Country.** Abu Dhabi: IRENA, 2025c. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Benefits/Renewable-Energy-Employment-by-Country>. Acesso em: 13 out. 2025.

IRENA; ILO. **Renewable energy and jobs: Annual review 2024.** Abu Dhabi: IRENA; Genebra: ILO, 2024. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Oct/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2024.pdf. Acesso em: 13 out. 2025.

MA, Bochun; WANG, Aang. Exploring the role of renewable energy in green job creation and sustainable economic development: An empirical approach. **Energy Strategy Reviews**, [s. l.], v. 58, p. 101642, mar. 2025. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211467X25000057>. Acesso em: 4 ago. 2025.

NAÇÕES UNIDAS. **Energías renovables: energías para un futuro más seguro.** Nova York: Nações Unidas, 2025. Disponível em: <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>. Acesso em: 26 ago. 2025.

PHIRI, Kennedy; CLAYTON, Freddie. As Drought Shrivels Hydro, This African Nation Pivots to Solar. **Yale Environment** 360, New Haven: Yale School of the Environment, 21 nov. 2024. Disponível em: <https://e360.yale.edu/features/zambia-drought-hydro-solar-power>. Acesso em: 26 ago. 2025.

ZOZMANN, Elmar; GÖKE, Leonard; KENDZIORSKI, Mario; RODRIGUEZ DEL ANGEL, Citlali; VON HIRSCHHAUSEN, Christian; WINKLER, Johanna. 100% Renewable Energy Scenarios for North America—Spatial Distribution and Network Constraints. **Energies**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 658, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/3/658>. Acesso em: 5 ago. 2025.

O artigo assinado é de inteira responsabilidade dos autores, bem como no que se refere ao uso de imagens.