

# ANÁLISE DA EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NAS CIDADES DA REGIÃO DAS BAIXADAS LITORÂNEAS E NORTE FLUMINENSE\*

**Bruno Barzelay Ferreira da Costa<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0242-4205>

**Diego Cunha Malagueta<sup>2</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8352-7462>

**Alfredo Luiz Pessanha Manhães<sup>3</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6675-1419>

**Suellen Carvalho Barzelay da Costa<sup>4</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4611-8269>

**Samir Jorge Guedes Sias Thompson<sup>5</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1280-4981>

Recebido em: 31/07/2021.

Publicado em: 30/09/2021.

## RESUMO

A energia é um recurso fundamental para a manutenção da vida humana e para o contínuo desenvolvimento de uma sociedade moderna, uma vez que praticamente todas as atividades atuais requerem sua ampla utilização. Considerando a tendência atual de expansão da demanda por eletricidade, há uma crescente procura por tecnologias renováveis. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é a análise da evolução da geração distribuída de energia fotovoltaica nas cidades das Regiões das Baixadas Litorâneas e Norte Fluminense. O objetivo proposto foi atingido por meio da prospecção de informações junto à Agência Nacional de Energia Elétrica e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, as quais em uma primeira etapa foram

<sup>1</sup> Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Campus Macaé.

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Campus Macaé.

<sup>3</sup> Professor da Faculdade Pública Municipal - Femass, de Macaé, mestre em Ciência da Computação.

<sup>4</sup> Arquiteta e Urbanista na Empresa Marte Engenharia Ltda. Pós-graduada em Construção Civil.

<sup>5</sup> Estatístico, Mestrando em Engenharia de Produção na Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.



\*Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons BY-NC-SA 4.0, que permite uso, distribuição e reprodução para fins não comerciais, com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.

compiladas, classificadas e agrupadas em tabelas e planilhas de forma a facilitar sua visualização e compreensão. Após a análise crítica dos dados, conclui-se que todas as cidades analisadas encontram-se em franco processo de expansão desta tecnologia, havendo uma predominância das classes de consumo residencial e comercial. Além disso, não foi identificada relação direta entre o PIB per capita dos municípios e sua capacidade instalada, porém, esta hipótese não deve ser totalmente descartada, considerando-se o crescimento exponencial apresentado pela cidade de Maricá nos últimos dois anos. Com este estudo, espera-se apresentar informações atualizadas, permitindo aos tomadores de decisão locais a implantação de projetos e legislações mais assertivas sobre o tema que, inclusive, integra um dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas.

**Palavras-Chave:** energia renovável; fotovoltaica; planejamento energético; norte fluminense; Região das Baixadas Litorâneas.

## **ANALYSIS OF THE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY EXPANSION IN MUNICIPALITIES OF THE REGIÃO DAS BAIXADAS LITORÂNEAS AND NORTE FLUMINENSE**

### **ABSTRACT:**

Energy is a fundamental resource for the maintenance of human life and for the continuous development of a modern society, since practically all current activities require its wide use. Considering the current trend of expanding demand for electricity, there is a growing demand for renewable technologies. In this context, the objective of this work is to analyze the evolution of distributed generation of photovoltaic energy in the cities of the Região das Baixadas Litorâneas and Norte Fluminense. The proposed objective was achieved by prospecting information with the National Electric Energy Agency and the Brazilian Institute of Geography and Statistics, which, in a first stage, were compiled, classified and grouped in tables and spreadsheets to facilitate their visualization and understanding. After critical analysis of the data, it is concluded that all cities analyzed are in a clear process of expansion of this technology, with a predominance of residential and commercial consumption classes. In addition, no direct relationship was identified between the GDP per capita of the municipalities and their installed capacity, however, this hypothesis should not be totally discarded, considering the exponential growth presented by the city of Maricá in the last two years. With this study, it is expected to present updated information, allowing local decision makers to implement more assertive projects and legislation on the subject, which is even part of one of the seventeen Sustainable Development Goals of the United Nations.

**Keywords:** renewable energy; photovoltaic; energy planning; north of Rio de Janeiro; coastal lowlands

## **ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN CIUDADES DE LA REGIÃO DAS BAIXADAS LITORÂNEAS Y NORTE FLUMINENSE**

## **RESUMEN:**

La energía es un recurso fundamental para el mantenimiento de la vida humana y para el desarrollo continuo de una sociedad moderna, ya que prácticamente todas las actividades actuales requieren su amplio uso. Teniendo en cuenta la tendencia actual de expansión de la demanda de electricidad, existe una demanda creciente de tecnologías renovables. En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar la evolución de la generación distribuida de energía fotovoltaica en ciudades de la Região das Baixadas Litorâneas y Norte Fluminense. El objetivo propuesto se logró mediante la prospección de información con la Agencia Nacional de Energía Eléctrica y el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística, las cuales, en un primer paso, fueron compiladas, clasificadas y agrupadas en tablas y hojas de cálculo para facilitar su visualización y comprensión. Luego de un análisis crítico de los datos, se concluye que todas las ciudades analizadas se encuentran en un claro proceso de expansión de esta tecnología, con predominio de las clases de consumo residencial y comercial. Además, no se identificó una relación directa entre el PIB per cápita de los municipios y su capacidad instalada, sin embargo, esta hipótesis no debe descartarse totalmente, considerando el crecimiento exponencial que ha presentado la ciudad de Maricá en los últimos dos años. Con este estudio se espera presentar información actualizada, que permitirá a los tomadores de decisiones locales implementar proyectos y legislación más asertivos en la materia, que incluso forma parte de uno de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.

**Palabras clave:** energía renovable; fotovoltaica; planificación energética; norte fluminense; Región de las tierras bajas costeras.

## **1. INTRODUÇÃO**

A energia constitui um recurso fundamental para a manutenção da vida humana e para o contínuo desenvolvimento de uma sociedade moderna, uma vez que praticamente todas as atividades atuais, da agricultura à indústria de ponta, requerem sua ampla utilização (LIMA et al., 2017; QUEIROZ et al., 2020). Neste contexto, o crescimento populacional acelerado experimentado a nível global nas últimas décadas, aliado ao progresso das atividades econômicas (REDISKE et al., 2020), são fatores que vêm motivando uma significativa ampliação do consumo de energia, confirmando o prognóstico realizado pelo Conselho Mundial de Energia há quase uma década (GEI, 2014). O relatório já indicava uma forte tendência de expansão na demanda por eletricidade, em grande parte devido à recuperação econômica de países em desenvolvimento (FERREIRA et al., 2018; GARLET et al., 2019), que em um futuro próximo devem responder por cerca de 90% deste acréscimo (CARSTENS & CUNHA, 2019). Com isso, estima-se que o consumo energético destes países excederá o dos países desenvolvidos ainda

nesta década (FERREIRA et al., 2018). De fato, para o Brasil, as previsões colaboram com esta perspectiva, visto que estudos apontam que em 2030 o brasileiro médio consumirá o dobro de eletricidade e o país demandará três vezes mais energia que atualmente (REDISKE et al., 2020).

O cenário para esta indústria é, portanto, desafiador, pois o objetivo é produzir gradativamente mais energia, empregando menor quantidade de recursos naturais e mitigando a geração de impactos ambientais. A meta é ousada considerando que a necessidade de aumento da produção de energia é reconhecida como um dos fatores mais relevantes na aceleração das mudanças climáticas e no agravamento do aquecimento global (GARLET et al., 2019). O tema há muito vem sendo discutido em nível internacional e, atualmente, pode-se considerar que há consenso no que diz respeito à urgência em se reduzir a emissão de gases do efeito estufa (HEIDEIER et al., 2020), potencializadores destes fenômenos. Neste sentido, considerando que o processo de geração de energia por meio da queima de combustíveis fósseis representa aproximadamente 80% do fornecimento de energia primária global (JOHANSSON; THOLLANDER, 2018), constata-se que esta figura como um dos principais causadores deste tipo de emissão (IPCC, 2014), além das limitações econômicas e comerciais inerentes à exploração deste recurso (CARPIO, 2021). A atual conjuntura favorece assim o investimento em fontes alternativas (REDISKE *et al.*, 2020), que possam garantir um fornecimento mais seguro e sustentável para a sociedade atual e para as gerações futuras.

A energia proveniente do Sol é o recurso natural mais abundante da Terra. Sendo assim, dentre as diversas categorias de energia renovável, a solar fotovoltaica (FV), a qual experimentou uma expressiva expansão em nível global na última década, vem ocupando posição de destaque (DOMINGOS & PEREIRA, 2021; LIMA et al., 2017), uma vez que atualmente representa 20,66% de toda a energia renovável gerada no mundo (REDISKE et al., 2020). Apesar das primeiras pesquisas aplicadas sobre o tema datarem de 1950, até o início da segunda década do século XXI a capacidade mundial instalada era considerada irrisória. Os países em estágio mais avançado à época apresentavam políticas públicas de incentivo específicas para a FV, com o intuito de estimular o setor visando o seu aprimoramento tecnológico, ainda que gerando maiores custos para a sociedade, seja na forma de impostos ou de tarifas mais elevadas. Entretanto, a partir de 2010, o custo dos painéis fotovoltaicos sofreu uma queda acentuada (DOMINGOS & PEREIRA, 2021; CARPIO, 2021), refletindo diretamente no custo da eletricidade. De acordo

com dados da Agência Internacional de Energia, houve uma redução gradual do custo nivelado médio da eletricidade gerada por meio de equipamentos fotovoltaicos entre 2010 e 2019, variando de 0,38USD/kWh em 2010 para 0,29USD/kWh em 2011 e 0,18USD/kWh em 2013, alcançando 0,07 USD/kWh em 2019, em valores corrigidos para o ano de 2019 (IEA, 2021). Independentemente das motivações econômicas que ampararam esta diminuição de preços, um de seus efeitos diretos foi a expansão do setor, inclusive entre países que não eram reconhecidos como líderes deste mercado, dentre os quais pode-se citar o Brasil. A FV no país apresentou avanço significativo entre 2013 e 2017 (CARSTENS & CUNHA, 2019), chegando a ocupar a nona posição no ranking de países com maior capacidade instalada neste último ano, colocação esta que foi novamente lograda em 2020, após adicionar 3,1 GW a sua rede. Ainda assim, o Brasil atualmente não figura na listagem dos países com maior capacidade acumulada (Tabela 1). Como pode-se perceber, a China é a líder absoluta em ambas as categorias. Este resultado se deve à intensa produção de painéis solares em território nacional e aos incentivos concedidos pelo governo chinês (LIU, 2018).

**Tabela 1** – Ranking dos dez países com maior capacidade instalada anual e acumulada de FV em 2020

<b>Rank</b>	<b>Capacidade Instalada Anual</b>		<b>Capacidade Acumulada</b>	
<b>1</b>	China	48,2 GW	China	253,4 GW
<b>2</b>	EUA	19,2 GW	EUA	93,2 GW
<b>3</b>	Vietnã	11,1 GW	Japão	71,4 GW
<b>4</b>	Japão	8,2 GW	Alemanha	53,9 GW
<b>5</b>	Alemanha	4,9 GW	Índia	47,4 GW
<b>6</b>	Índia	4,4 GW	Itália	21,7 GW
<b>7</b>	Austrália	4,1 GW	Austrália	20,2 GW
<b>8</b>	Coréia	4,1 GW	Vietnã	16,4 GW
<b>9</b>	<b>Brasil</b>	<b>3,1 GW</b>	Coréia	15,9 GW
<b>10</b>	Holanda	3,0 GW	Reino Unido	13,5 GW

**Fonte:** Adaptado de IEA (2021) - **Notas:** EUA – Estados Unidos da América; GW – gigawatt.

Entretanto, o Brasil possui um território de dimensões continentais e com altos níveis de irradiância solar (LIMA *et al.*, 2017; FARIA JR. *et al.*, 2017). Estas características, segundo Carstens e Cunha (2019), conferem ao país a oportunidade de elevar rapidamente a geração de eletricidade em algumas dezenas de milhares de GWs por meio da energia fotovoltaica

(REDISKE et al., 2020). Conclui-se então, com base no exposto acima e nas externalidades que impactam o cenário nacional, que a estratégia de geração e distribuição de energia a ser adotada no país, assim como em seus estados e municípios, afeta diretamente não só as condições climáticas futuras, mas também a sua economia (DOMINGOS; PEREIRA, 2021). Portanto, a compreensão da realidade local, no que se refere ao estágio de maturidade desta tecnologia e sua efetiva aplicação, é de grande utilidade para governantes e para o setor produtivo desta indústria. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é a análise da evolução da geração distribuída de energia fotovoltaica nas cidades das Regiões das Baixadas Litorâneas e Norte Fluminense. Considerando a quantidade limitada de estudos disponíveis sobre o tema na região, estima-se que a abordagem proposta neste artigo seja extremamente relevante para o ecossistema local, não somente para os fornecedores deste tipo de sistema, mas também para seus consumidores e, especialmente, para os tomadores de decisão municipais. Estes últimos poderão usufruir assim de informação atualizada e tratada, permitindo a implantação de projetos e legislações mais assertivas sobre o tema que, inclusive, integra um dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). O objetivo proposto foi atingido por meio da prospecção de informações junto à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as quais em uma primeira etapa foram compiladas, classificadas e agrupadas em tabelas e planilhas de forma a facilitar sua visualização e compreensão.

Além desta introdução, este trabalho está estruturado em outras quatro seções. A seção 2 apresenta o referencial teórico do trabalho, elaborado com base na bibliografia disponível. A seção 3 descreve o procedimento metodológico aplicado ao estudo. A seção 4 descreve as descobertas da pesquisa e discute seus resultados. Por fim, a seção 5 resume as conclusões do estudo, assim como expõe as suas limitações e sugestões para futuras investigações.

## **2. A ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL**

O Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial, ocupando uma área de mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados (BRASIL, 2021). Além disso, a maior parte de seu

território localiza-se geograficamente entre a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, onde é observada pouca variação na duração do período diurno e onde os raios solares incidem em ângulos menos inclinados em relação à superfície terrestre, tornando a região adequada para sua captura (DIAS et al., 2017; FERREIRA et al., 2018). Com isso, considerando a acentuada frequência anual de dias ensolarados que ocorrem no país, este apresenta uma irradiação solar média alta, favorecendo à geração de energia por meio da tecnologia fotovoltaica (CARPIO, 2021; GARLET et al., 2019). Na região Nordeste, por exemplo, as irradiações diretas médias atingem mais de 2000 kWh/m<sup>2</sup>/ano, valor este que corresponde ao dobro da radiação máxima obtida na Alemanha que, conforme observado previamente na Tabela 1, é o quarto maior gerador de energia fotovoltaica do mundo (LIMA et al., 2020). Portanto, apesar da FV constituir uma parcela irrisória da capacidade instalada total no Brasil atualmente, as projeções para o futuro desta fonte são otimistas (CARPIO, 2021). Em 2017 o país alcançou a marca de 1GW de capacidade instalada, com a expectativa de que a geração nacional alcance 8,3 GW em 2024 e 10,9 GW em 2026 (LUNA et al., 2019; REDISKE et al., 2020). Contudo, mediante uma perspectiva otimista de Hansen & Zambra (2020), o Brasil apresenta potencial para completar uma capacidade instalada de 126 GW até 2040. Assim, estima-se que até 2050, 13% da demanda residencial total brasileira possa ser atendida pela geração distribuída de energia fotovoltaica (LUNA et al., 2019).

A matriz energética brasileira é composta por recursos, em sua maioria, renováveis (HANSEN; ZAMBRA, 2020). De fato, o sistema elétrico do país foi criado e desenvolvido a partir da energia hidrelétrica que, atualmente, responde por cerca de 60% de toda a eletricidade produzida em solo nacional (EPE, 2020). Contudo, apesar de considerada uma fonte limpa, a construção de barragens para usinas hidrelétricas provoca impactos ambientais significativos em função da necessidade de amplas áreas alagadas, e está diretamente limitada pela necessidade de disponibilidade hídrica na região (FERREIRA et al., 2018). Isto significa que a operação do sistema elétrico brasileiro é altamente suscetível a mudanças climáticas (CARPIO, 2021). Ou seja, períodos de estiagem prolongados frequentemente colocam o país em situação de racionamento de energia, em função da queda dos níveis dos reservatórios de água (PAIM et al., 2019). De acordo com Hunt et al. (2018), desde o início do século XX, a cada uma ou duas décadas o Brasil vem sofrendo com os chamados “apagões”. Os últimos ocorreram nos anos de

2001 e 2015 (FARIA JR. et al., 2017). Consequentemente, conforme LIMA et al. (2020), as crises hídricas nacionais constituíram um dos principais motivos pelos quais o governo buscou a diversificação de sua matriz energética.

Segundo Camilo et al. (2017), o planejamento e a operação do setor elétrico brasileiro sempre estiveram centralizados em instituições governamentais e o desenvolvimento da energia fotovoltaica no país não foi diferente. Em 2011, a ANEEL publicou a Chamada para Projetos Estratégicos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico nº 13, cujo principal objetivo era facilitar a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira. Esta iniciativa constituiu um marco na história da FV no Brasil. Contudo, foi a Resolução Normativa nº 482/2012 que efetivamente concebeu as bases legais para a geração distribuída (GD) no país (DAVID *et al.*, 2021). Dentre outras medidas, o documento regulamentava o Sistema de Compensação de Energia, também conhecido como *Net Metering*, o qual permite ao consumidor produzir sua própria energia e injetar o excedente na rede de distribuição em troca de créditos ou descontos na tarifa, que podem ser consumidos em até 60 meses (VIEIRA; CARPIO, 2020). Em 2015, a Resolução Normativa nº 687 alterou alguns pontos da regulamentação, possibilitando que a geração da energia ocorresse em local diferente do consumo, desde que a instalação estivesse inscrita sob o mesmo CPF do consumidor e dentro da área de concessão da distribuidora, o que flexibilizou ainda mais o sistema (SANTOS, 2020). O cenário normativo exposto, em conjunto com as quedas dos preços dos painéis (NASCIMENTO et al., 2020), propiciaram assim a rápida expansão do setor que correspondeu a 1,0% da eletricidade produzida no país em 2019, e 1,7% em 2020 (EPE, 2021a). É importante destacar que o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 projeta que neste ano, 6% da geração de eletricidade no Brasil será proveniente da energia solar (EPE, 2021b)

Em contrapartida, a legislação atual referente à geração distribuída também enfrenta algumas críticas. Stilpen (2021) assinala que as resoluções da ANEEL não contemplam os “custos do fio”, ou seja, que a eletricidade proveniente da GD se utiliza da infraestrutura da distribuidora para introduzir sua eletricidade na rede. Com isso, quanto maior a expansão da GD, mais elevados serão os custos de adaptação na rede elétrica. Sendo assim, caso as leis não sejam revisadas em breve, tais custos serão repassados para a tarifa elétrica, gerando aumento da conta de luz como primeiro efeito, e impactos de segunda ordem na estrutura inflacionária do país.



Além disso, uma vez que os painéis fotovoltaicos constituem um investimento de médio prazo, com expectativa de retorno entre 5 e 8 anos, entende-se que a tecnologia encontra-se disponível, quase que exclusivamente, para cidadãos com alto poder aquisitivo. Estes usufruem de reduções em suas tarifas de energia, enquanto causam, involuntariamente, o aumento da tarifa para os demais, os quais não têm a possibilidade de gerar sua própria energia (VIEIRA; CARPIO, 2020). Desta maneira, o impacto financeiro é maior sobre a população mais pobre, o que vem sendo denominado “subsídio cruzado” perverso por alguns especialistas do setor, posto que transfere a renda do pobre para o rico.

De forma a respaldar as críticas supracitadas, algumas regiões que apresentam ampla utilização da energia fotovoltaica já enfrentam problemas técnicos recorrentes em sua rede elétrica. Os estados americanos da Califórnia e do Havaí, por exemplo, sofrem nos períodos vespertinos, momento em que a geração tende a decrescer, devido ao fim da incidência de raios solares, e a demanda tende a aumentar. Esta oscilação gera problemas de qualidade e instabilidade nas linhas de distribuição, afetando inclusive a logística de geração de energia, uma vez que frequentemente faz-se necessário o acionamento de outras fontes previamente ao incremento à demanda, de forma a impedir interrupções indesejáveis no fornecimento (BARBOSA, 2019). Em relatório de 2016, Denholm & Margolis (2016) já previam alguns destes problemas e traçavam metas de sistemas de armazenamento que seriam necessários para o estado que atingisse 50% de penetração de FV. Atualmente o Brasil ainda não sofre com este tipo de complicação, entretanto, exemplos de regiões que atualmente enfrentam problemas operacionais têm servido de base para estudos que visam antever os impactos e planejar com antecedência as melhores rotas para sua solução.

Além de problemas elétricos, marcos regulatórios inadequados ou obsoletos podem acarretar em aumentos de tarifa e/ou sobredimensionamento da potência instalada. Neste contexto, Stilpen (2021) enfatiza também a importância da atuação em níveis municipais e estaduais para o planejamento energético nacional, sugerindo que o planejamento centralizado sem apoio dos núcleos regionais torna-se “miope”, não considerando questões locais, nem contribuindo para o desenvolvimento de soluções de menor custo para a sociedade. Neste contexto, isto é, um cenário promissor de expansão da GD, o envolvimento dos gestores municipais torna-se ainda mais relevante, visto que os mecanismos de regulação encontram-se no

âmbito das câmaras legislativas municipais e estaduais. Esta situação favorece o desenvolvimento de mecanismos de incentivo, a exemplo da política de descontos no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). O chamado “IPTU Verde” concede redução de 50% no imposto para residências no município de Macaé que gerem sua própria energia por meio de painéis fotovoltaicos (MACAÉ, 2020). Para este fim, é fundamental que o poder executivo municipal conheça a fundo o padrão de dispersão da tecnologia em sua cidade, sendo este o objetivo proposto para este trabalho nas cidades das Regiões das Baixadas Litorâneas e Norte Fluminense.

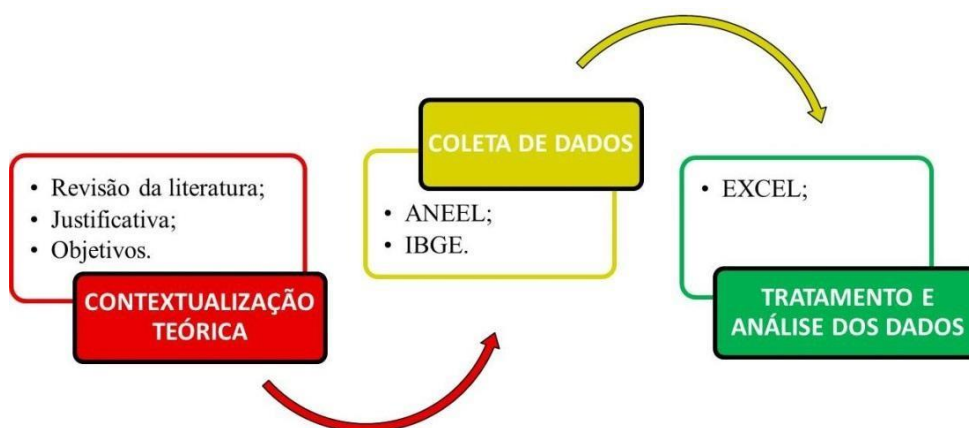
### **3. METODOLOGIA**

Esta seção apresenta a metodologia empregada para a análise da evolução da geração distribuída de energia fotovoltaica nas cidades das Regiões das Baixadas Litorâneas e Norte Fluminense. Esta pesquisa se classifica como exploratória, com o emprego de uma abordagem quantitativa, visto que correlaciona as variáveis de forma a permitir a apresentação de resultados quantificáveis. Com isso, o estudo foi organizado em três estágios, conforme a Figura 1. A primeira etapa consistiu em uma contextualização teórica acerca da situação atual do desenvolvimento da energia fotovoltaica no Brasil. Para tanto, foi consultada vasta literatura acadêmica sobre o tema, além de relatórios técnicos oficiais produzidos por órgãos reguladores nacionais e internacionais.

Durante a segunda etapa foi realizada a coleta dos dados necessários à pesquisa. A ANEEL fornece o número atualizado de instalações fotovoltaicas em território nacional em sua base de dados pública. Com isso, foi possível obter informações referentes ao número de unidades consumidoras e sua respectiva potência instalada, por meio da seleção da fonte de geração, da localidade, do tipo de geração, da classe de consumo, e do período de conexão (COSTA; SANTOS, 2020). Neste trabalho, as seguintes opções foram selecionadas para obtenção dos dados relativos a cada município examinado: a fonte de geração foi radiação solar; todas as modalidades de geração, classes de consumo, grupos de tensão e faixas de potência foram consideradas; o tipo de geração foi de UFV; e o período de conexão considerado foi de quatro anos e meio, ou seja, de 1º de janeiro de 2017 a 1º de julho de 2021, período este que constitui a fase de maior desenvolvimento da FV na região. Além disso, os dados referentes à área do município, população residente e PIB per capita foram obtidos diretamente no portal Cidades@, que é o sistema agregador de informações

do IBGE sobre municípios e estados do Brasil. A população residente utilizada foi aquela estimada pelo IBGE para o ano de 2020, visto que, devido à pandemia do novo coronavírus, o censo não pôde ser realizado. Na terceira e última etapa da pesquisa, os dados obtidos foram compilados, tratados e analisados. Uma vez que as informações são disponibilizadas pela ANEEL em planilha eletrônica, utilizou-se o Excel para a geração das tabelas e gráficos utilizados para a exposição dos resultados.

**Figura 1** – Abordagem metodológica da pesquisa



**Fonte:** Elaborado pelos autores

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atualmente o Brasil conta com 523.503 unidades de Geração Distribuída (GD) em operação, o que representa uma potência instalada de 6.054 GW somente provenientes da energia fotovoltaica (ANEEL, 2021), e este número vem apresentando crescimento exponencial nos últimos anos. No final de 2012, ano em que entrou em vigor a Resolução Normativa nº482/2012, o país contava com apenas dezenove unidades instaladas, gerando cerca de 636 kW. Em 2013, cinquenta e duas novas unidades entraram em operação, iniciando a vasta expansão que segue até os dias de hoje. Somente em 2018, mais quatorze mil unidades foram conectadas a rede e, em 2019, este montante quadruplicou. O auge desta propagação, por sua vez, ocorreu em 2020, que

apresentou 208.061 novas unidades instaladas, representando um acréscimo de 2.581 GW à potência instalada no país. Porém, ao que tudo indica, este avanço tende a continuar, visto que até julho de 2021, mais 146.073 unidades foram conectadas a rede, o que equivale a 70% das unidades instaladas durante todo o ano de 2020 (ANEEL, 2021). Vale ressaltar, que esta expansão não só manteve sua taxa de crescimento, como progrediu, em meio à pandemia do novo Coronavírus. Com isso, até o presente momento, apenas 4,3% de todos os mais de cinco mil municípios brasileiros ainda não dispõem desta tecnologia.

**Tabela 2** - Potência instalada nas cinco regiões do Brasil

<b>Rank</b>	<b>Potência Instalada (kW)</b>	<b>Potência Instalada (%)</b>
<b>Sudeste</b>	2.208.088,34	33,30%
<b>Centro-oeste</b>	1.572.656,68	23,72%
<b>Sul</b>	1.332.393,38	20,09%
<b>Nordeste</b>	1.151.501,30	17,37%
<b>Norte</b>	366.154,61	5,52%
<b>Total</b>	<b>6.630.794,31</b>	<b>100%</b>

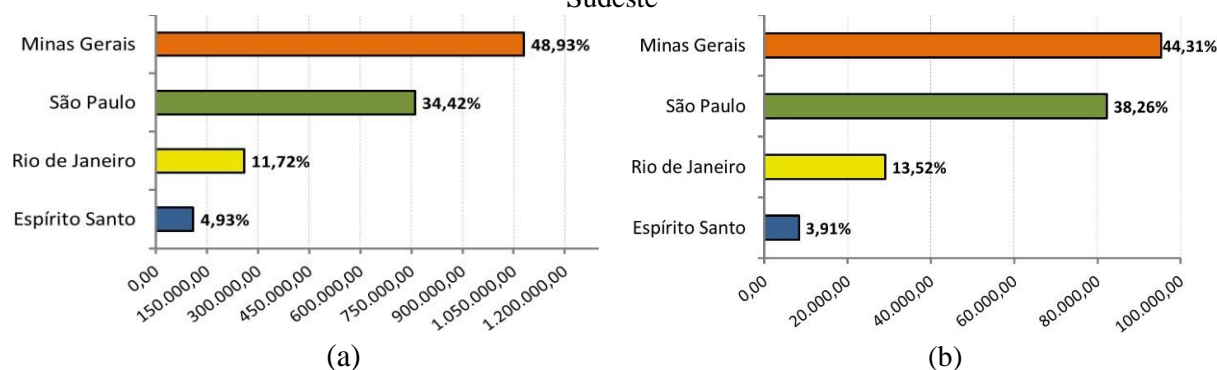
**Fonte:** Elaborado pelos autores

A Tabela 2 ilustra a distribuição da potência instalada nas cinco regiões do Brasil, e pode-se perceber que a região Sudeste, apesar de não apresentar os maiores índices de irradiação solar do país, possui a maior densidade demográfica dentre todas as regiões, e concentra alguns dos estados com maior rendimento nominal mensal domiciliar per capita (IBGE, 2010, 2019). Sendo assim, esta é a região que detém cerca de um terço de toda a potência instalada de FV em território nacional. Destes, mais de 80% estão dispersos pelos estados de Minas Gerais e São Paulo, conforme Figura 2. É importante destacar que a região Nordeste, a qual ostenta os melhores parâmetros para a geração de energia fotovoltaica, situa-se apenas na quarta posição no ranking de potências instaladas, contando com apenas 50% da potência apresentada pela região Sudeste. É curioso observar que as regiões Norte e Nordeste, as quais apresentam somadas apenas 22,89% da potência instalada no país, compreendem juntas 63% da extensão territorial brasileira. Ou seja, a região Norte, com maior área livre para instalação de usinas fotovoltaicas, e

a região Nordeste, com os maiores níveis médios de irradiação solar, somam pouco mais de 1.500 GW gerados por energia fotovoltaica em geração distribuída (ANEEL, 2021).

Contudo, a despeito das características territoriais e técnicas favoráveis, convém evidenciar os impedimentos de ordem social e econômica que dificultam a disseminação desta tecnologia na região. Neste contexto, considerando que os estados pertencentes às regiões Nordeste e Norte figuram dentre os que retêm os menores rendimentos médios per capita do país (IBGE, 2019), resta explicado o obstáculo em investir em FV nestas regiões, tendo em vista o alto custo inicial dos equipamentos e o tempo de retorno sobre o investimento relativamente alto.

**Figura 2** – Comparação entre (a) Potência instalada (kW) e (b) Quantidade de Instalações nos estados do Sudeste



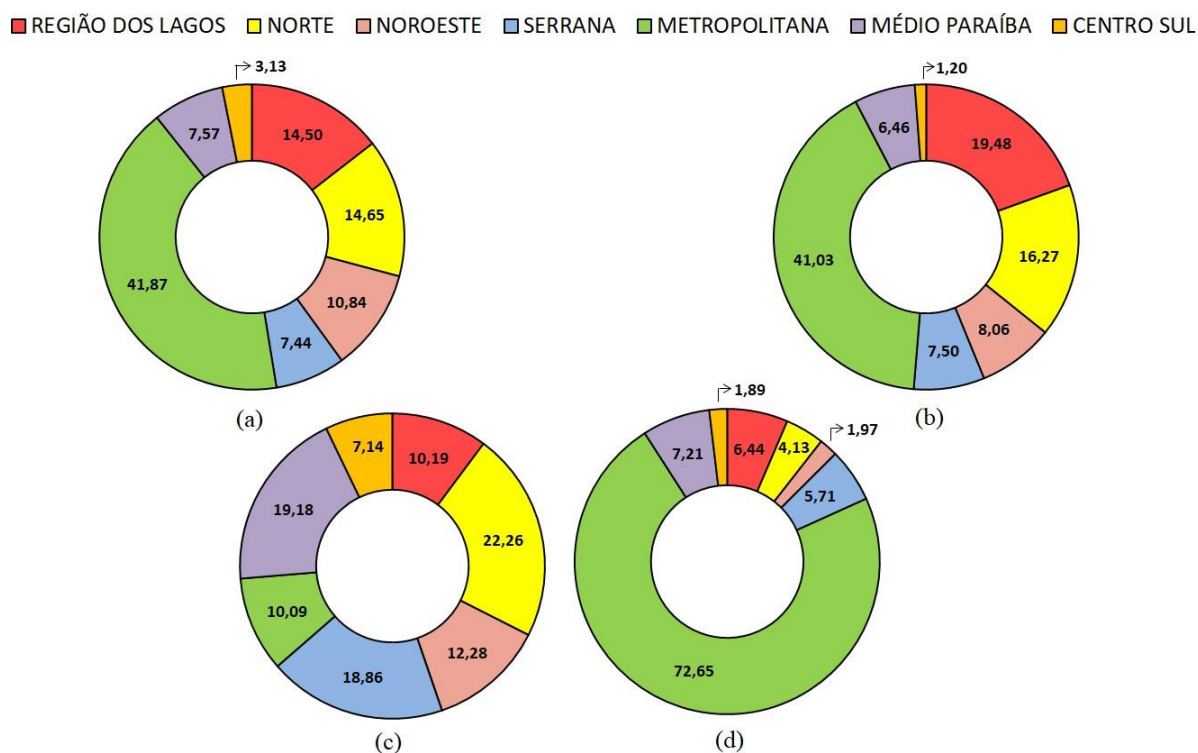
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A Figura 2 apresenta a distribuição da energia fotovoltaica nos estados da Região Sudeste. Percebe-se que Minas Gerais se destaca dentre os demais, dispondo de aproximadamente 50% de toda a potência instalada na região. Este é um indicador, de fato, relevante, visto que esta capacidade instalada representa uma participação de 16,29% de toda a geração distribuída de FV no país. É importante salientar o protagonismo e pioneirismo deste estado na aplicação desta tecnologia no Brasil. A primeira unidade a entrar em operação em território nacional foi registrada na cidade interiorana de Bocaiúva, em dezembro de 2008, contando com uma potência instalada de 25 kW (ANEEL, 2021). A segunda unidade só veio a ser instalada seis meses depois, na cidade de Porto Velho, Rondônia.

A análise da figura acima permite concluir que o Rio de Janeiro conta com uma produção muito inferior a dois de seus estados vizinhos, porém, ainda assim, está classificado em sétimo

lugar no ranking dos estados com maiores potências instaladas do Brasil, com uma capacidade de 258.756,51 kW. Além disso, por meio de um exame mais detalhado dos dados deste estado, constata-se que apesar de abrigar apenas 12% da população fluminense, as regiões Norte, Noroeste e das Baixadas Litorâneas respondem por cerca de 40% de toda a sua potência instalada. Ou seja, proporcionalmente apresentando a mesma ordem de grandeza que a potência instalada na região metropolitana, que em contrapartida abriga 72% da população do estado. A Figura 3 ilustra a participação de cada uma das sete regiões do Rio de Janeiro na distribuição das potências instaladas, quantidade de conexões, área e população do estado, refletindo a relevância das Regiões Norte-Fluminense e das Baixadas Litorâneas no que se refere ao cenário de expansão da geração distribuída a partir da energia solar.

**Figura 3** – Relações entre (a) potência instalada, (b) quantidade de conexões, (c) área e (d) população para as regiões do estado do Rio de Janeiro

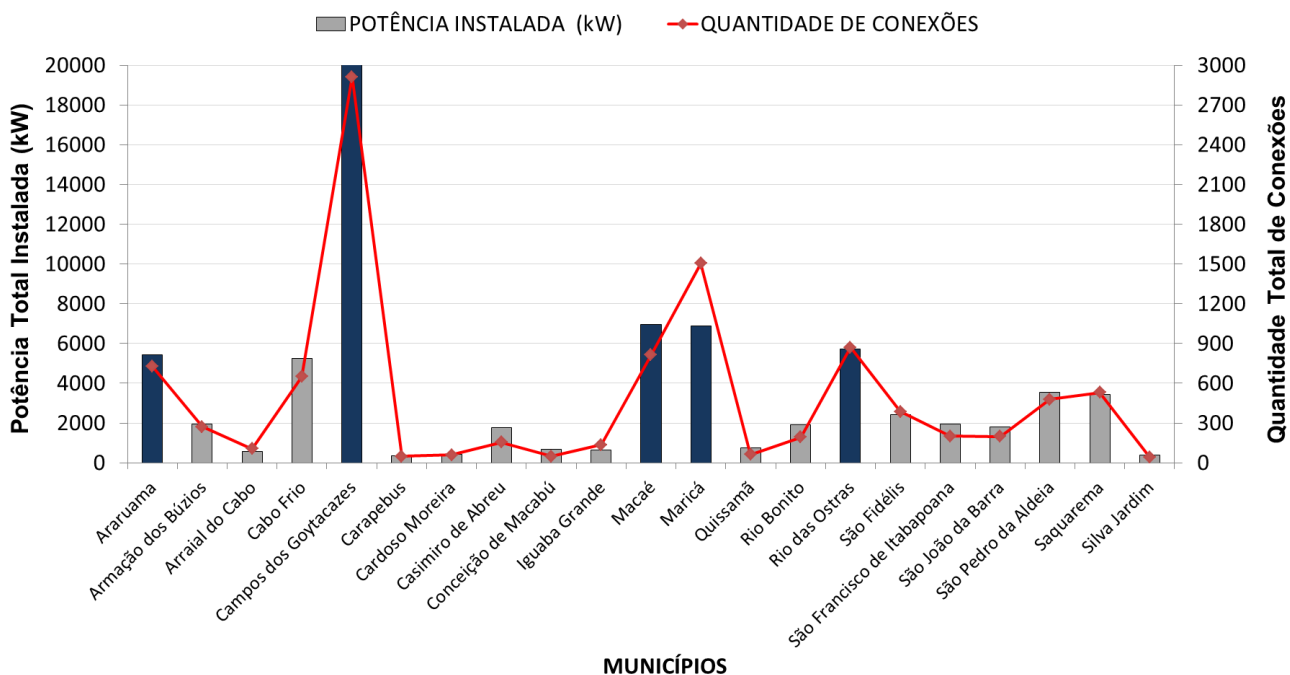


**Nota:** a Região das Baixadas Litorâneas aparece com sua antiga nomenclatura: Região dos Lagos; e a Região da Costa Verde não teve os dados disponibilizados.

**Fonte:** Elaborado pelos autores

Considerando a proeminência das duas regiões do interior do estado supracitadas, o caminho natural para esta pesquisa foi a identificação das cidades que apresentam valores de potência instalada mais representativos, conforme a Figura 4. Dentre as 21 cidades investigadas, Campos dos Goytacazes se destaca na liderança, bem à frente dos demais municípios, com aproximadamente 20MW de potência instalada, o que representa quase o triplo de Macaé, segunda colocada neste ranking, com 7MW. Em sequência figuram Maricá, Rio das Ostras, Araruama e Cabo Frio. Os municípios restantes apresentam potência instalada abaixo de 4MW, e portanto, foram descartados para fins de análises mais aprofundadas. Vale ressaltar que as cidades de Araruama e Cabo Frio exibem praticamente a mesma capacidade de geração, entretanto, segundo dados do IBGE, a população estimada de Cabo Frio para o ano de 2020 é de 230 mil habitantes, enquanto Araruama apresenta apenas 130 mil residentes. Sendo assim, conforme o escopo definido para este estudo e visando uma maior simplicidade na apresentação dos dados, optou-se por abordar em maiores detalhes apenas os cinco municípios com maior capacidade instalada na região. Portanto, segundo esta metodologia, os dados de Cabo Frio foram omitidos da discussão a seguir. O gráfico abaixo também expõe nítida proporcionalidade entre a quantidade de conexões presentes em cada município e sua respectiva potência total instalada, tendo como exceções as cidades de Macaé e Maricá. Enquanto a primeira apresenta maior relação de potência instalada por número de conexões, a segunda exibe característica inversa, o que configura uma menor potência média por conexão, indicador este que será melhor explorado a seguir.

**Figura 4** – Panorama geral dos municípios das Regiões das Baixadas Litorâneas e Norte-fluminense quanto à potência total instalada e quantidade de conexões



**Nota:** O município de Maricá já não pertence mais a Região das Baixadas Litorâneas, pois em 2018 voltou a compor a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. No mesmo ano o Município de Rio Bonito também passou a integrar a RMRJ. Mas, optamos por manter seus dados para não perder a proporcionalidade da série histórica elaborada.

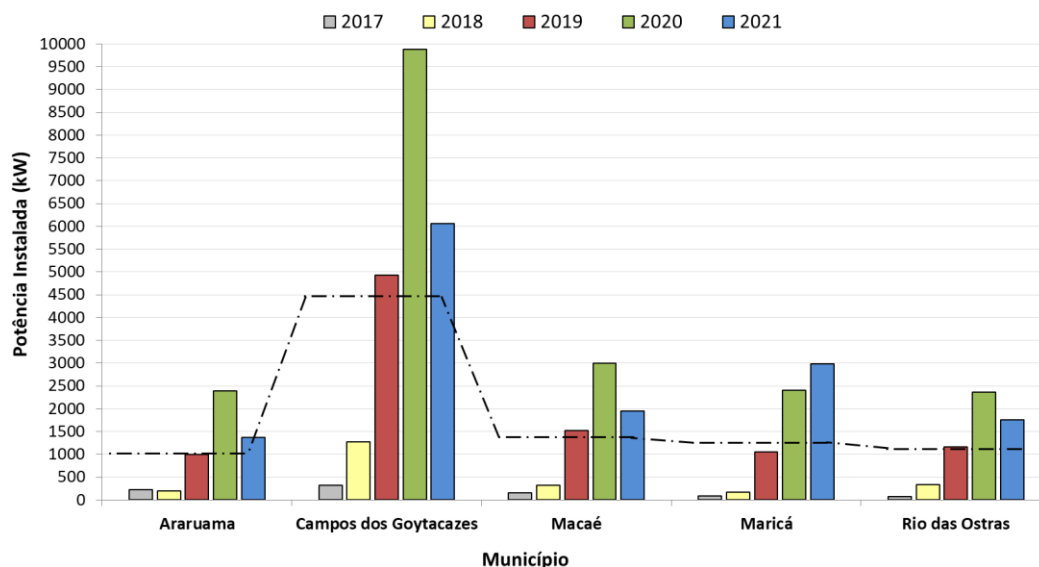
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A análise da evolução das potências instaladas nos cinco municípios selecionados a partir de 2017, ilustrada na Figura 5, confirma a tendência de expansão desta tecnologia nas áreas investigadas. É possível perceber que entre os anos de 2019 e 2020 os valores praticamente dobraram, situando-se muito acima do valor médio para o período de 5 anos abrangido pelo gráfico e representado pela linha traço-ponto na cor preta. O acréscimo de potência auferido pelas cidades examinadas em 2020 correspondeu a um recorde inédito para todas as cidades. Em 2021, nota-se uma predisposição para que o fenômeno mantenha uma taxa de crescimento ao menos constante, uma vez que somente de janeiro a junho as cidades avaliadas já instalaram mais da metade da potência introduzida em 2020. Com isso, conclui-se que há grande possibilidade de que todas ultrapassem o ano anterior, caso a expansão não seja reprimida de forma repentina e inesperada. Mediante o exposto, considera-se que Maricá exibe peculiar desempenho no ano corrente, dado que em apenas 6 meses vivenciou a instalação de 3MW, cerca de 0,5MW acima do total instalado em 2020. Dessa maneira, caso esta tendência se mantenha no segundo semestre, Maricá pode



ultrapassar Macaé, tornando-se o segundo maior município da região em termos de potência instalada total de FV.

**Figura 5 – Evolução da potência instalada por ano para os cinco municípios de destaque na região**



**Nota:** Para o ano de 2021, foi considerada a potência total instalada até o dia 01 de julho.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A Tabela 3 demonstra a distribuição da FV em cada município segundo a sua classe de consumo, conforme o padrão estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica. Constatou-se que as classes residencial e comercial apresentam ampla expressividade em todas as cidades analisadas nesta etapa da pesquisa e Macaé e Maricá ocupam os extremos nesta classificação. Enquanto Macaé expõe maior participação do setor comercial, representando 31,78% da potência instalada na cidade, Maricá dispõe de suas instalações alocadas quase que exclusivamente no setor residencial, o qual responde por 94,79% de todas as unidades em operação. Os demais municípios apresentam disposição similar, contudo, com valores intermediários. Campos dos Goytacazes, além do protagonismo em termos de capacidade de geração, também se destaca devido à quantidade de instalações industriais e rurais, muito superior as apresentadas pelos demais municípios. Verifica-se também um atraso na adoção desta tecnologia por parte de órgãos públicos na região, visto que, somando-se as cinco cidades analisadas, somente 28,6kW são geradas por unidades operadas por instituições governamentais. É importante ressaltar que, apesar de constituir um investimento de médio prazo, a aplicação de recursos em energias renováveis ajuda a reduzir gastos com energia, aumentando a eficiência das contas públicas.

**Tabela 3** – Distribuição por classe de consumo para os cinco municípios de destaque na região

Município	Residencial		Comercial		Industrial		Rural		Poder Público		Serviço Público	
	Qtd. GD.	PI (kW)	Qtd. GD.	PI (kW)	Qtd. GD.	PI (kW)	Qtd. GD.	PI (kW)	Qtd. GD.	PI (kW)	Qtd. GD.	PI (kW)
Araruama	682	3.920	45	1.514	0	0	0	0	0	0	0	0
Campos	<b>2.698</b>	<b>15.688</b>	<b>175</b>	<b>5.249</b>	<b>16</b>	<b>1.396</b>	<b>19</b>	<b>208</b>	2	6	1	2,6
Macaé	750	4.593	58	2.212	2	111	3	45	0	0	0	0
Maricá	1.479	6.532	19	323	0	0	7	36	0	0	0	0
Rio das Ostras	834	4.663	33	1.033	0	0	2	22	<b>1</b>	<b>20</b>	0	0

**Notas:** Qtd. GD. – quantidade de conexões; PI – potência instalada (kW).

**Fonte:** Elaborado pelos autores

Visando uma maior compreensão sobre o tema, é pertinente explorar outros indicadores que apresentam correlação com a disseminação da FV na região (Tabela 4). Inicialmente cabe acentuar que a larga vantagem apresentada pelo município de Campos dos Goytacazes em termos de potência instalada e quantidade de conexões (aproximadamente quatro vezes maior que as demais cidades analisadas), atenua-se pelo fato de que o mesmo possui população residente duas vezes maior que Macaé, e cerca de quatro vezes maior que as demais cidades analisadas. Além disso, sua extensão territorial é cerca de três vezes maior que a área ocupada por Macaé, e aproximadamente dezessete vezes maior que Rio das Ostras, cidade de menor extensão geográfica deste ranking. A segunda e a terceira colocação neste ranking são ocupadas pelas cidades de Macaé e Maricá, respectivamente. Estas, apesar de apresentarem potências instaladas totais similares, divergem quanto à potência média por conexão (PMC). Quanto mais alto o valor do PMC, maior é a capacidade instalada em cada unidade de geração distribuída. Neste contexto, nota-se que Macaé logra a maior PMC dentre os cinco municípios pesquisados e Maricá a menor, o que indica que nesta última, uma maior parcela da população já tem acesso à tecnologia, enquanto em Macaé a FV ainda encontra-se menos difundida.

**Tabela 4** – Indicadores para os cinco municípios de destaque na região

Município	PI	QC	PR	AT	PIB (per capita)	PMC Total	PMC Residencial	PMC Comercial
Araruama	5.434,65	727	134.293	638,28	20.480	7,5	5,7	33,6
<b>Campos</b>	<b>22.549,82</b>	<b>2.911</b>	<b>511.168</b>	<b>4.032,49</b>	64.187	7,7	5,8	30,0
Macaé	6.960,51	813	261.501	1.216,90	61.223	<b>8,6</b>	<b>6,1</b>	<b>38,1</b>
Maricá	6.890,94	1.505	164.504	361,57	<b>171.003</b>	4,6	4,4	17,0
<b>Rio das Ostras</b>	5.737,67	870	155.193	228,04	58.789	6,6	5,6	31,3

**Fonte:** Elaborado pelos autores

**Notas:** PI – potência instalada (kW); QC – quantidade de conexões; PR – população residente estimada em 2020 (segundo o IBGE); AT – área total (km<sup>2</sup>); PIB (per capita) – produto interno bruto do município dividido pelo número de habitantes estimados pelo IBGE em 2020; PMC – potência média por conexão.

É importante evidenciar também que o PIB per capita da cidade de Maricá, atualmente, é muito superior ao dos demais municípios investigados, provavelmente devido aos elevados royalties recebidos pelo município referentes à produção de petróleo. Esta característica econômica, vinculada à população de apenas 164 mil habitantes, concentra a renda, e pode estar diretamente relacionada à expansão da energia fotovoltaica na cidade, especialmente nos últimos dois anos.

## 5. CONCLUSÕES

A base da matriz energética brasileira já é renovável, fundamentada sobretudo na geração hidrelétrica. Entretanto, este modelo centralizado impõe a necessidade de vultosos investimentos destinados à expansão e manutenção das linhas de transmissão, uma vez que os centros de consumo normalmente encontram-se afastados das usinas geradoras. Este é um aspecto grave a ser considerado em um país de dimensões continentais como o Brasil. Além dos custos estruturais, diretamente relacionados ao processo de construção da infraestrutura essencial para a prestação deste serviço, existem outros gastos inerentes a este sistema de transmissão de energia, tais como o alto grau de perdas técnicas decorrentes do processo e a falta de confiabilidade no sistema, que recorrentemente apresenta instabilidade e falhas. Sendo assim, a descentralização da geração de energia apresenta-se como uma opção viável ao simples aumento da rede, visto que permite a otimização do uso da estrutura existente.

Dentre as opções de energia renovável existentes a serem utilizadas em GD, a energia fotovoltaica manifesta grande potencial, pois o Brasil apresenta diversas características favoráveis ao seu emprego, dentre eles, altos níveis médios de irradiação solar, vasta disponibilidade de espaço para instalação de painéis e numerosas reservas naturais de matéria-prima para produção de células solares. Uma das grandes vantagens desta tecnologia é a sua capacidade de intensificar a resiliência do sistema atualmente operante. A energia fotovoltaica pode contribuir para um melhor controle dos reservatórios de águas, indispensáveis ao funcionamento das hidrelétricas, uma vez que os períodos de seca no Brasil coincidem com as épocas de maior incidência solar no território brasileiro (DE LIMA et al., 2019). Muito além dos aspectos técnicos e da contribuição para a conservação do meio ambiente, a expansão da energia fotovoltaica ostenta também grande potencial de transformação social, dada a oportunidade da criação de emprego e renda.

Contudo, a concretização desta diversificação da matriz energética depende fortemente de incentivos que permitam sua adoção por todos, evitando sua concentração unicamente dentre a população de maior poder aquisitivo. Para tanto, cabe aos governantes compreender como o avanço da FV vem ocorrendo em seus municípios, permitindo a elaboração de instrumentos normativos que favoreçam sua difusão. Assim, o objetivo deste trabalho foi a análise da evolução da geração de energia por meio da tecnologia fotovoltaica em cinco municípios das Regiões das Baixadas Litorâneas e Norte-fluminense. Concluiu-se que todas as cidades analisadas encontram-se em franco processo de expansão desta tecnologia, com Campos dos Goytacazes assumindo a liderança tanto em potência instalada quanto na quantidade de conexões. A título de comparação, a cidade de Campos dos Goytacazes atualmente apresenta mais de um terço da potência instalada no município do Rio de Janeiro, que conta com uma população doze vezes maior. Há uma predominância das classes de consumo residencial e comercial em todas as cinco cidades, o que demonstra que o potencial da região para a instalação da tecnologia em indústrias ainda não vem sendo devidamente aproveitado. Não foi identificada relação direta entre o PIB per capita dos municípios e sua capacidade instalada, porém, esta hipótese não deve ser totalmente descartada, considerando-se o crescimento exponencial apresentado pela cidade de Maricá nos últimos dois anos.

Esta pesquisa está sujeita a algumas limitações que devem ser consideradas, e que podem servir de estímulo para trabalhos futuros. Primeiramente, os indicadores deste estudo foram calculados somente para as cidades mais representativas das Regiões das Baixadas Litorâneas e Norte Fluminense e, portanto, podem não representar todas as demais cidades da região. Sendo assim, os resultados encontram-se limitados em termos de tamanho da amostra. Outras cidades podem ser consideradas em trabalhos futuros para superar esta questão. Em segundo lugar, os dados foram coletados ao nível municipal, ou seja, a distribuição das unidades em operação no interior da malha urbana de cada município não foi considerada. Dessa forma, recomenda-se que os próximos trabalhos analisem a dispersão destes pontos entre os bairros de cada um dos municípios por meio de Sistema de Informações Geográficas, o que possibilitará a obtenção de novos indicadores, especialmente referentes ao perfil socioeconômico dos usuários desta tecnologia.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Série histórica de empreendimentos de geração distribuída desde a introdução da Resolução Normativa nº482/2012, expressa em quantidades e potência (kW)**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/dados/geracao>, acesso em 15/07/2021.

BARBOSA, L.S. **Análise da viabilidade técnica do uso do armazenamento de CSP como atenuante do problema de rampa provocado pela expansão da fotovoltaica através de um estudo de caso da Califórnia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro – Macaé, 2019.

BORBA, R. C.; NETO, R. S. Impacto das atividades *offshore* de exploração e produção de petróleo nas cidades: um estudo comparativo entre Macaé (Brasil), Ciudad del Carmen (México) e Aberdeen (Reino Unido). In: **Anais do X SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE LA RII**, Santiago de Querétaro, México, 2008.

BRASIL. **Portaria nº47, de 01 de março de 2021**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-pr-47-de-1-de-marco-de-2021-306216615>, acesso em 10/07/2021.

CAMILO, H.F.; UDAETA, M.E.M.; GIMENES, A.L.V.; GRIMONI, J.A.B. Assessment of photovoltaic distributed generation – Issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.71, p.712- 719, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.099>

CANALENERGIA. **Sem térmicas, Califórnia sofre com falta de planejamento e descoordenação interestadual.** CanalEnergia. Disponível em: [canalenergia.com.br](http://canalenergia.com.br) Acessado em: set/2020.

CARPIO, L.G.T. Mitigating the risk of photovoltaic power generation: A complementarity model of solar irradiation in diverse regions applied to Brazil. **Utilities Policy**, v.71, 101245, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101245>

CARSTENS, D.D.S.; CUNHA, S.K. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. **Energy Policy**, v.125, p.396-404, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.063>

COSTA, M.F.B; SANTOS, J.A.N. Insertion of distributed photovoltaic generation in Brazil: A correlation analysis between socioeconomic and geographic aspects. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v.10, n.3, p.102-111, 2020. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.8954>

DAVID, T.M.; BUCCIARI, G.P.; RIZOL, P.M.S.R. Photovoltaic systems in residences: A concept of efficiency energy consumption and sustainability in brazilian culture. **Journal of Cleaner Production**, v.298, 126836, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126836>

DE LIMA, F.J.L.; MARTINS, F.R.; COSTA, R.S.; GONÇALVES, A.R.; SANTOS, A.P.; PEREIRA, E.B. The seasonal variability and trends for the surface solar irradiation in northeastern region of Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v.35, 335- 346, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.08.006>

DENHOLM, P.; MARGOLIS, R., 2016. NREL/TP-6A20-66595: **Energy storage requirements for achieving 50% solar photovoltaic penetration in California.** EUA. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66595.pdf>

DIAS, C.L.A; BRANCO, D.A.C.; AROUCA, M.C.; LEGEY, L.F.L. Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil. **Renewable Energy**, v.114, p.367-375, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.033>

DIAS, R. **Instituições e desenvolvimento territorial:** um estudo a partir do caso do arranjo produtivo de petróleo e gás natural localizado em Macaé-Brasil. **EURE**, v. 39, n. 116, p. 141-171, 2013.

DOMINGOS, R.M.A.; PEREIRA, F.O.R. Comparative cost-benefit analysis of the energy efficiency measures and photovoltaic generation in houses of social interest in Brazil. **Energy & Buildings**, v.243, 111013, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111013>

EPE. **Matriz energética e elétrica.** 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>, acesso em 05/07/2021.

EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, 2021b. FARIA JR, H.; TRIGOSO, F.B.M.; CAVALCANTI, J.A.M. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and

prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.75, p.469-475, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.076>

EPE. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2021, ano base 2020**. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, 2021a.

FERREIRA, A.; KUNH, S.S.; FAGNANI, K.C.; DE SOUZA, T.A.; TONEZER, C.; DOS SANTOS, G.R.; COIMBRA-ARAÚJO, C.H. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.81, p.181-191, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.102>

GARLET, T.B.; RIBEIRO, J.L.D.; SAVIAN, F.S.; SILUK, J.C.M. Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.111, p.157-169, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.013>

GEI. **Global Electricity Initiative Report**. London: World Energy Council, 2014. Disponível em: [https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2014/12/Global\\_Electricity\\_Initiative\\_WEB.pdf](https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2014/12/Global_Electricity_Initiative_WEB.pdf), acesso em 13/07/2021.

HANSEN, L.A.; ZAMBRA, D.A.B. An overview about the Brazilian photovoltaic market development. **Journal of Power and Energy Engineering**, v.8, p.73-84, 2020. <https://doi.org/10.4236/jpee.2020.88006>

HEIDEIER, R.; BAJAY, S.V.; JANNUZZI, G.M.; GOMES, R.D.M.; GUANAIS, L.; RIBEIRO, I.; PACCOLA, A. Impacts of photovoltaic distributed generation and energy efficiency measures on the electricity market of three representative Brazilian distribution utilities. **Energy for Sustainable Development**, v.54, p.60-71, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.10.007>

HOU, Q.; ZHANG, N.; DU, E.; MIAO, M.; PENG, F.; KANG, C. Probabilistic durk curve in high PV penetration power system: Concept, modeling, and empirical analysis in China. **Applied Energy**, vol. 242, p. 205-215, 2019.

HUNT, J.D.; STILPEN, D.; FREITAS, M.A.V. A review of the causes, impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.88, p.208- 222, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.030>

IBGE. **Densidade demográfica nos censos demográficos, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 1872/2010**. Disponível em: <https://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=10&uf=00>, acesso em 02/07/2021.

IBGE. **Rendimento nominal mensal domiciliar per capita da população residente, segundo as Unidades da Federação - 2019**. Disponível em: <https://www.agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticiass/releases/26956-ibge-divulga-orendimento-domiciliar-per-capita-2019>, acesso em 28/06/2021.

IEA. **Snapshot of Global PV Markets. IEA Photovoltaic Power Systems Programme: Task 1 – Strategic PV Analysis and Outreach**, 2021.

IPCC. **Summary for policymakers, climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2014. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

JOHANSSON, M.T.; THOLLANDER, P. A review of barriers to and driving forces for improved energy efficiency in Swedish industry – Recommendations for successful in-house energy management. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.82, p.618-628, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.052>

KNAUSS, P. **Macaé: história e memória**. Macaé: Fundação Macaé de Cultura, 2001.

LIMA, L.C.; FERREIRA, L.A.; MORAIS, F.H.B.L. Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. **Energy for Sustainable Development**, v.37, p.79- 85, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.01.004>

LIMA, M.A.; MENDES, L.F.R.; MOTHÉ, G.A.; LINHARES, F.G.; DE CASTRO, M.P.P.; DA SILVA, M.G.; STHEL, M.S. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v.33, 100504, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>

LIU, Z. What is the future of solar energy? Economic and policy barriers. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v.13, n.3, 2018. <https://doi.org/10.1080/15567249.2017.1416704>

LUNA, M.A.R.; CUNHA, F.B.F.; MOUSINHO, M.C.A.M.; TORRES, E.A. Solar photovoltaic distributed generation in Brazil: The case of resolution 482/2012. **Energy Procedia**, v.159, p.484-490, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.036>

MACAÉ. **Decreto nº16, de 10 de fevereiro de 2020**. Regulamenta a redução do Imposto Predial e territorial Urbano (IPTU) para os imóveis produtores de energia fotovoltaica e dá outras providências. Disponível em: <https://www.macaee.rj.gov.br>, acesso em 28/06/2021.

MUNIZ, J. F. E. **A expansão urbana de Macaé: uma análise a partir das ações dos agentes sociais no espaço**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação), Universidade Federal do Rio de Janeiro - Macaé, 2019.

NASCIMENTO, L.R.; BRAGA, M.; CAMPOS, R.A.; NASPOLINI, H.F.; RÜTHER, R. **Performance assessment of solar photovoltaic technologies under different climatic conditions in Brazil**. *Renewable Energy*, v.146, p.1070-1082, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.160>

PAIM, M.; DALMARCO, A.R.; YANG, C.; SALAS, P.; LINDNER, S.; MERCURE, J.; GUERRA, J.B.S.O.A.; DERANI, C.; SILVA, T.B.; VIÑUALES, J.E. Evaluating regulatory



strategies for mitigating hydrological risk in Brazil through diversification of its electricity mix. **Energy Policy**, v.128, p.393-401, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.064>

QUEIROZ, J.V.; BORGES, K.K.; QUEIROZ, F.C.B.P.; LIMA, N.C.; SILVA, C.L.; MORAIS, L.S. Barriers to expand solar photovoltaic energy in Brazil. **Independent Journal of Management & Production**, v.11, n.7. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v11i7.1098>

REDISKE, G.; SILUK, J.C.M.; MICHELS, L.; RIGO, P.D.; ROSA, C.B.; CUGLER, G. Multi-criteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil. **Energy**, v.197, 117167, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117167>

SANTOS, A. J. L. **Impacto de mudanças climáticas no potencial de energia solar fotovoltaica do setor residencial brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, 2020.

STILPEN, D. **Estudo de potencial energético regional para inserção na matriz elétrica - o caso da geração a biogás na região oeste do Paraná**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, 2021.

VIEIRA, S.J.C.; CARPIO, L.G.T. The economic impact on residential fees associated with the expansion of grid-connected solar photovoltaic generators in Brazil. **Renewable Energy**, v.159, p.1084-1098, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.016>