

MARIANA MARQUES

**MICRO E MINI GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO
OPÇÕES PARA A DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA**

**Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da
Faculdade de Economia, Administração, Ciências Contábeis e
Atuariais da Universidade de São Paulo, como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel em Economia.**

Orientador: Prof. Dr. Danilo Camargo Iglori

Coordenador: Prof. Dr. Rafael de Vasconcelos Xavier Ferreira

SÃO PAULO

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Marques, Mariana

Micro e mini geração de energia solar fotovoltaica como opções para a diversificação da matriz elétrica brasileira – São Paulo, 2022.

Nº de páginas: 30

Área de concentração: Ciências econômicas

Orientador: Prof. Dr. Danilo Camargo Igliori

Monografia – Departamento de Economia, Faculdade de Economia, Administração, Ciências Contábeis e Atuariais, Universidade de São Paulo

1. Energia solar fotovoltaica; 2. Micro e mini geração; 3. Microeconomia

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	3
RESUMO.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.....	9
2.1. O IMPACTO DA CRISE HÍDRICA NA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE FONTES HIDRELÉTRICAS.....	11
3. A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	16
3.1. O POTENCIAL BRASILEIRO EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	20
3.2. AS BARREIRAS PARA A EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	23
4. CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS.....	27

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - DEMANDA MÁXIMA HORÁRIA POR ENERGIA ELÉTRICA EM TERRITÓRIO BRASILEIRO	7
FIGURA 2 - CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA INSTALADA EM TERRITÓRIO BRASILEIRO.....	7
FIGURA 3 - EMISSÃO DE CO2 POR MWH GERADO (2019).....	9
FIGURA 4 - GERAÇÃO DE ELETRICIDADE POR FONTE EM TERRITÓRIO BRASILEIRO.....	10
FIGURA 5 - VARIAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS EM TERRITÓRIO BRASILEIRO.....	12
FIGURA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA E ENERGIA TERMOELÉTRICA.....	14
FIGURA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA E CUSTOS DA ENERGIA.....	15
FIGURA 6 - MICRO E MINI GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	17
FIGURA 7 - CAPACIDADE INSTALADA DE MICRO E MINI GERAÇÃO POR UF EM 2020 E 2021.....	17
FIGURA 8 - CAPACIDADE INSTALADA DE MICRO E MINI GERAÇÃO GERAL E SOLAR FOTOVOLTAICA POR UF.....	18
FIGURA 9 - GERAÇÃO E CONSUMO MENSAL A PARTIR DE FONTE SOLAR FOTOVOLTAICA.....	19
FIGURA 12 - POTENCIAL EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO TERRITÓRIO BRASILEIRO.....	20
FIGURA 10 - FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO ON GRID.....	21
FIGURA 14 - EXPLICAÇÃO PARA A PARIDADE DE REDE.....	22

RESUMO

A importância da geração de energia limpa e sustentável é ressaltada no sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU). Segundo a organização, a energia é o setor que mais contribui com as mudanças climáticas, sendo responsável pela emissão de 73% dos gases nocivos à natureza. Para esse objetivo, a ONU estabeleceu três grandes metas globais para o setor de energia para 2030: 1. Assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.; 2. Aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global; e 3. Dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.

Além do comprometimento com as metas globais, o Brasil também experiencia um cenário de escassez hídrica e consequente comprometimento da geração hidrelétrica. Cada vez mais, se faz necessária a utilização de energia proveniente de fontes não renováveis, dada a demanda cada vez mais alta por eletricidade e os períodos de baixa geração a partir de fontes hidrelétricas. Essa movimentação impacta a sustentabilidade da matriz elétrica nacional, atrasando o avanço da transição para uma matriz 100% renovável.

Sendo assim, surge a oportunidade de revisitar o potencial brasileiro para a produção de energia a partir de outras fontes renováveis e avaliar como essas podem auxiliar em momentos de baixa produção das hidrelétricas, evitando o uso de fontes poluentes e não renováveis como as termelétricas. O presente trabalho busca evidenciar o atual panorama da energia elétrica no Brasil e o potencial da Micro e Mini geração de energia solar fotovoltaica na diversificação da matriz elétrica nacional.

A energia solar fotovoltaica contribui no avanço da produção de energia renovável no Brasil, colaborando com as metas definidas pelo 7º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável: Energia Limpa e Acessível. O Brasil encerrou 2021 com produção e expansão recorde em sua produção. Foram gerados mais de 3,5 GW em residências e pequenos comércios e 4,62 GW em grandes indústrias.

É essencial explorar o potencial oferecido pela energia solar fotovoltaica para avançar na resiliência da geração de energia elétrica, complementando a matriz elétrica nacional e avançando para uma matriz 100% composta de fontes renováveis.

Códigos JEL: O13, Q2, Q4

Palavras-chave: Energia fotovoltaica; Energias renováveis; Energia solar; Geração distribuída; Mudanças climáticas; Política energética; Sustentabilidade

1. INTRODUÇÃO

Antes de discutir o futuro, é essencial olhar para o passado a fim de entender o processo que a sociedade está vivendo.

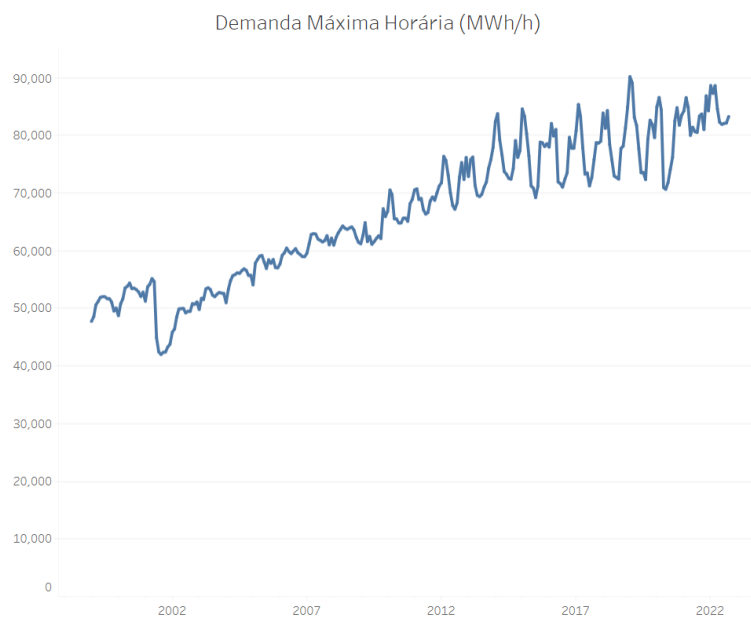
O mundo conheceu quatro revoluções tecnológicas. A primeira foi a Revolução Industrial, ocorrida entre 1760 e 1840, movida por tecnologias mecânicas, tais como máquinas a vapor e ferrovias. Esse é um ponto da História que é crucial, pois foi quando houve uma migração da população do campo para a cidade em busca de melhores condições de vida. Contudo, o que as pessoas encontraram nas cidades europeias, especialmente na Inglaterra, berço da Revolução industrial, foram condições de vida degradantes, marcadas por doenças e pela fome. A segunda revolução foi no final do século XIX, com o advento da eletricidade. A terceira teve início na década de 1960, com a criação da informática e da tecnologia de informação.

Agora, alguns teóricos mundialmente conhecidos, como o professor alemão Klaus Schwab, acreditam que vivemos a quarta revolução tecnológica, onde o mundo será marcado pelo avanço de tecnologias como a robótica, inteligência artificial, realidade aumentada, *big data*, nanotecnologia, biologia sintética e a chamada internet das coisas.

A chegada da eletricidade mudou completamente o modo de vida das pessoas, seja de forma doméstica ou no trabalho. Processos simples e necessários do dia a dia como, por exemplo, esquentar a comida, tiveram seu tempo reduzido drasticamente. Evidentemente, essa mudança causou impactos que são sentidos até hoje.

A demanda por energia elétrica cresce de forma constante. Em um comparativo dos últimos 20 anos, houve um aumento de quase 100% na quantidade demandada de eletricidade, movida principalmente pela diversidade de eletrônicos e eletrodomésticos e inclusão destes equipamentos no cotidiano. Cada vez mais, a sociedade é dependente de aparelhos que demandam energia para seu funcionamento, forçando a curva de demanda constantemente para cima.

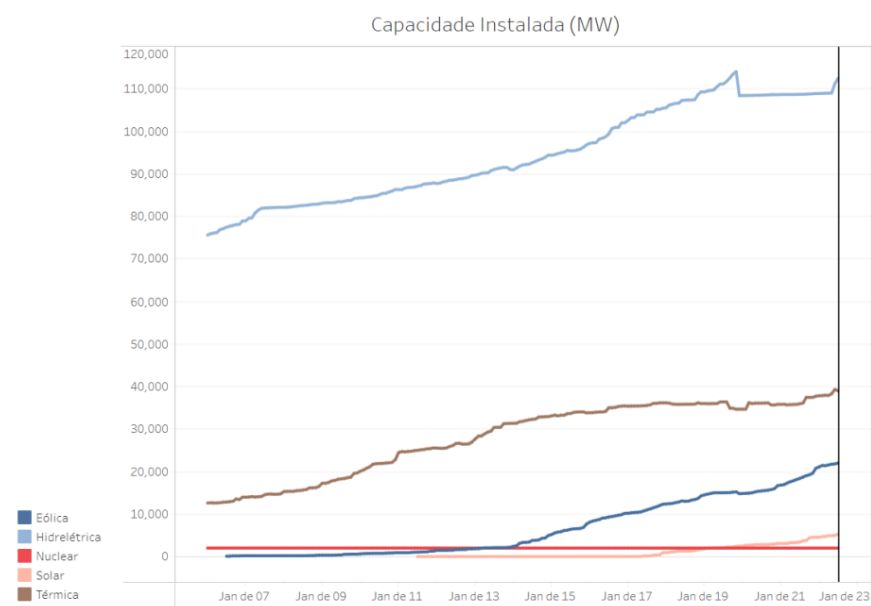
FIGURA 11 - DEMANDA MÁXIMA HORÁRIA POR ENERGIA ELÉTRICA EM TERRITÓRIO BRASILEIRO



Fonte: Operador do Sistema Nacional (ONS)

Para acompanhar as necessidades crescentes, o Brasil também expandiu a sua produção por meio de diversas fontes de energia. Desde o início do acompanhamento feito pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a líder em capacidade instalada no país é a Hidrelétrica, seguida pela geração Térmica, Eólica, Nuclear e Solar.

FIGURA 12 - CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA INSTALADA EM TERRITÓRIO BRASILEIRO



Fonte: Operador do Sistema Nacional (ONS)

É notável o avanço do Brasil na geração de energias a partir de fontes renováveis. Entre 2013 e 2015, a energia Eólica superou a capacidade de geração da energia Nuclear. Já entre 2019 e 2021, foi a vez da energia Solar. Nota-se que as curvas de ambas possuem inclinações maiores do que as curvas de geração Nuclear e Térmica, com um crescimento constante principalmente a partir de 2015 – data em que se firmaram os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU e o comprometimento com a Agenda 2030.

2. A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Atualmente, 97% de toda a energia elétrica necessária para o país é produzida em território nacional. 36% de toda a energia elétrica disponível é consumida pelo setor Industrial, 30% pelo setor residencial e 19% pelo setor comercial. A região que mais utiliza energia elétrica é a Sudeste (1.56M GWh), seguida pela região Sul (0.55M GWh) e Nordeste (0.54M GWh)¹.

Em 2021, a participação das energias renováveis na matriz elétrica brasileira foi de 78,1%, representando um retrocesso em relação à 2020, onde 83,8% da geração advinha de fontes renováveis. Quando se trata de dados que envolvem todo o mundo, a geração elétrica a partir de fontes renováveis representa apenas 26,6% do total da matriz elétrica global.

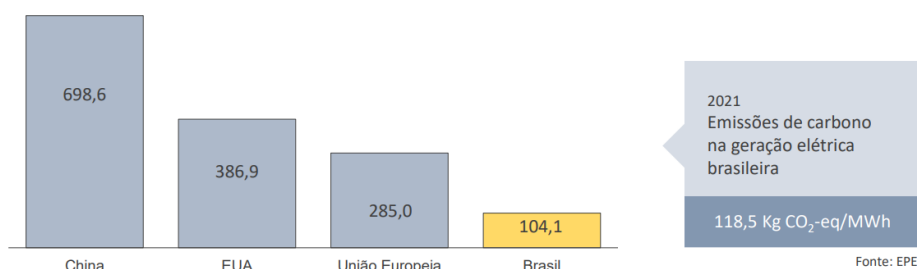
O Brasil também é um bom exemplo quando se trata da emissão de carbono na geração de energia elétrica. Dado que mais de 75% da matriz elétrica nacional é sustentada por fontes de energia renovável, o Brasil emite cerca de 104,1 kg de CO₂ a cada MWh gerado. Para efeitos de comparação, a União Europeia, que também conta com bons índices de utilização de energia renovável, emite cerca de 283 kg de CO₂ a cada MWh gerado.

FIGURA 13 - EMISSÃO DE CO₂ POR MWh GERADO (2019)

Emissões na produção de energia elétrica

Emissões de CO₂ (kg) por MWh gerado (2019)

Fonte: Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

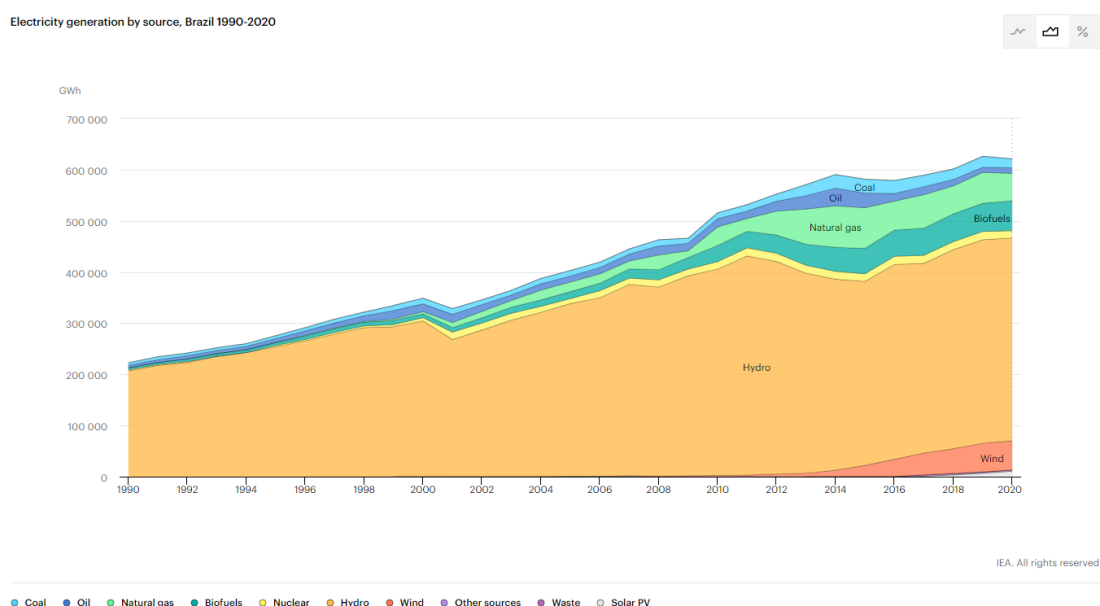
A principal fonte de energia renovável no Brasil é a hidrelétrica, que representava 53,4% do total da matriz elétrica em 2021. Em seguida vem a energia eólica, representando 10,6% da matriz; biomassa, com 8,2%; e solar, com 2,5%. Em comparação com dados de 2020, nota-se que a diminuição da participação das energias renováveis no total da matriz

¹ Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Consulta em 18/09/2022 às 22h29. <https://www.epe.gov.br/pt>

elétrica se deu por conta da escassez hídrica, que reduziu em 8,5% a produção das hidrelétricas – ou seja, foram 33.563 GWh injetados a menos entre um ano e outro. A compensação dessa baixa veio com o acionamento emergencial das termoeletricas. Essa movimentação pode ser notada com o aumento de 46,2% da utilização de gás natural, combustível base utilizado para queima nas termoeletricas.

Apesar da variação negativa, houveram avanços importantes no setor das energias renováveis. Nota-se um aumento de 26,7% da participação da energia eólica na matriz elétrica nacional, além de um aumento notável de 55,9% da participação da energia solar fotovoltaica. O crescimento da geração de energia elétrica por essas duas fontes não é um acontecimento isolado para 2021, mas sim um progresso que vem acontecendo ao longo dos anos, resultado de investimentos na área.

FIGURA 14 - GERAÇÃO DE ELETRICIDADE POR FONTE EM TERRITÓRIO BRASILEIRO



Fonte: International Energy Agency (IEA)

ENTRE 2010 E 2012 NOTA-SE O SURGIMENTO SIGNIFICÁVEL DA GERAÇÃO EÓLICA E, POSTERIORMENTE, ENTRE 2016 E 2018, O DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. A TRAJETÓRIA DE AMBAS É CONSTANTEMENTE CRESCENTE. APESAR DE SUA ENTRADA RECENTE, TANTO A ENERGIA EÓLICA COMO A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA JÁ CONQUISTARAM ESPAÇO NO MERCADO E APRESENTAM OPORTUNIDADES DE EXPANSÃO, ATRAINDO BONS OLHARES DE INVESTIDORES. DE ACORDO COM UM ESTUDO REALIZADO PELA CONSULTORIA ERNST &

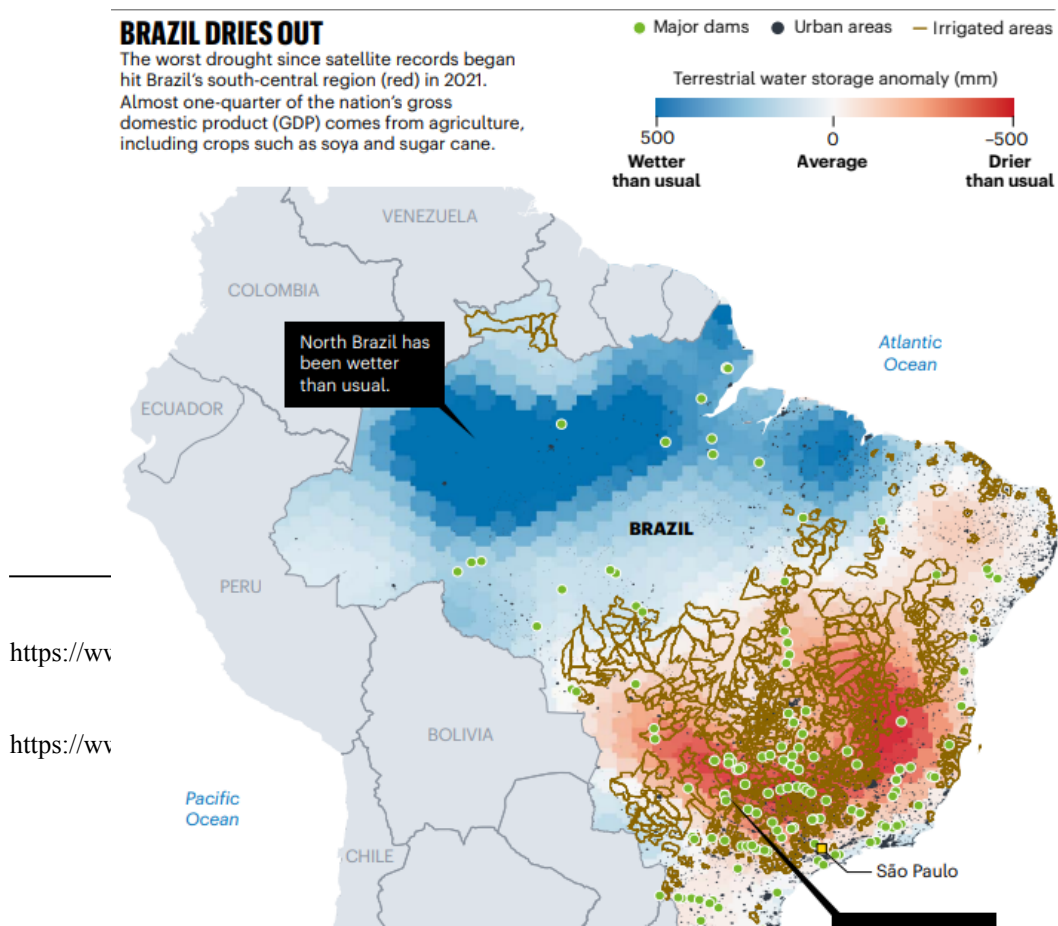
YOUNG (2021), O BRASIL SE ENCONTRA ATUALMENTE EM 11º LUGAR NO RANKING DO ÍNDICE DE ATRATIVIDADE DE PAÍSES EM ENERGIA RENOVÁVEL, QUE CLASSIFICA OS 40 PRINCIPAIS MERCADOS DO MUNDO EM RELAÇÃO À OPORTUNIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO E INVESTIMENTO EM ENERGIA RENOVÁVEL². A MELHORA DO PAÍS NO RANKING SE DÁ PELO INCENTIVO PÚBLICO, MELHORIA NAS REGRAS E CONDIÇÕES NO SETOR DE ENERGIA ALTERNATIVA, CÂMBIO FAVORÁVEL E AUMENTO NA DEMANDA INTERNA.

2.1 O IMPACTO DA CRISE HÍDRICA NA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE FONTES HIDRELÉTRICAS

A crise do setor elétrico brasileiro é uma das maiores preocupações do governo no momento. Em 2021, o Brasil passou por sua maior crise hídrica em mais de 90 anos. Apenas no centro-sul do Brasil foi registrada uma redução de 267 km³ no volume total de água em rios, lagos, solo e aquíferos. As reservas hidrológicas da região estão em sua menor marca nos últimos 91 anos (GETIRANA, LIBONTAI e CATALDI, 2021).

A Usina hidrelétrica de Itaipu, maior geradora de energia limpa e renovável do planeta, está localizada em uma das regiões afetadas pelas secas: o sudoeste paranaense. A Usina de Itaipu possui 14 gigawatts (GW) de potência instalada e fornece aproximadamente 10,8% da energia consumida no Brasil e 88,5% do consumo paraguaio³.

FIGURA 15 - VARIAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS EM TERRITÓRIO BRASILEIRO



Fonte: GETIRANA, LIBONTAI e CATALDI, 2021

A baixa no nível dos reservatórios hidrelétricos reduz a capacidade de produção de energia nas usinas. Como as hidrelétricas são responsáveis por alimentar aproximadamente 70%⁴ de toda a geração de energia elétrica do país, uma baixa na geração força o Estado a recorrer a fontes alternativas. Dado o caráter de emergência, é necessário utilizar uma fonte que produza resultados imediatos. A alternativa mais utilizada é a usina termoelétrica.

As usinas termoelétricas geram energia a partir da queima de algum tipo de combustível – tal como bagaço de cana, gás natural, carvão, entre outros. O calor gerado pela queima é utilizado para aquecer uma caldeira de água que, ao ferver e liberar vapor, irá movimentar as turbinas do gerador. A queima do combustível é responsável pela emissão de gases nocivos à camada de ozônio (óxidos e dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido e dióxido de carbono).

É importante notar que a destruição da camada de Ozônio impacta também o clima e o meio ambiente, contribuindo com as mudanças climáticas que afetam a pluviometria, o volume de água disponível nos reservatórios hidrelétricos e, conseqüentemente, a

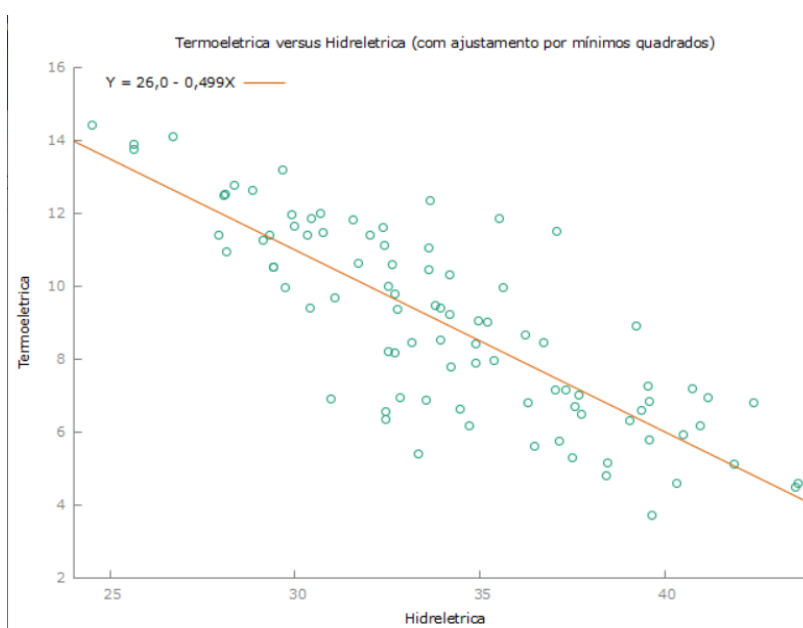
⁴ Histórico da operação, Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Dados mensais entre 01/01/2017 e 31/08/2022. Acesso em 13/10/2022 11h02 http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx

capacidade de geração das usinas hidrelétricas. Utilizar usinas termoeletricas é um ciclo vicioso, pois quanto maior a sua produção, maiores serão os efeitos colaterais – e, quanto maiores os problemas, maior a demanda urgente de geração de energia elétrica.

Além disso, a poluição gerada pelas termoeletricas também impacta na qualidade da saúde dos habitantes ao redor das usinas. Mais uma vez, entra em questão o bem-estar da população e a geração de externalidades negativas a partir de fontes não renováveis, ressaltando a importância de uma matriz elétrica com a maior participação possível de fontes de energia limpas. A utilização de energias não renováveis alimenta um sistema auto-destrutivo e, quanto mais intensa sua utilização, mais difícil é a transição para as energias limpas.

Podemos observar na imagem abaixo como a geração em usinas termoeletricas está negativamente correlacionada com a geração em usinas hidrelétricas. Utilizando uma estimativa simples por meio do método Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), notamos que a cada GWh a menos gerado por uma usina hidrelétrica, 1,17 GWh a mais é gerado na usina termoeletrica.

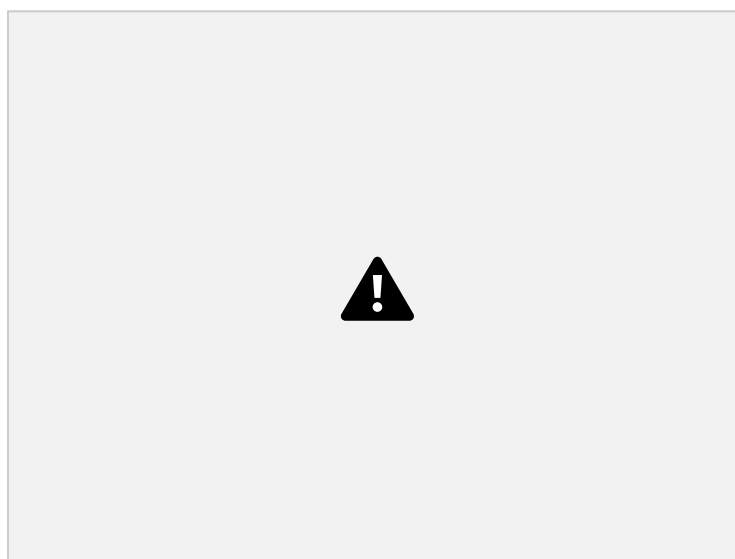
FIGURA 16 - CORRELAÇÃO ENTRE GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA E ENERGIA TERMOELÉTRICA



Fonte: Autora

A utilização intensiva de usinas termoeletricas não só é danosa para o meio ambiente, como também é responsável por aumentar os custos de produção, que são repassados para o consumidor por meio de tarifas extras, conhecidas como bandeira amarela e vermelha. Tomando a região Sudeste/Centro Oeste como exemplo, podemos observar em uma simples comparação como os picos da curva de geração de energia se opõem aos picos da curva de custo marginal da operação do sistema elétrico. Apenas o período 2020-2021 não acompanhou tal tendência por conta das políticas de subsídio que ocorreram durante a pandemia de COVID-19.

FIGURA 17 - COMPARAÇÃO ENTRE GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA E CUSTOS DA ENERGIA



Fonte: Autora

A partir dos dados, é possível compreender que a energia hidrelétrica é fundamental para o país, mas não suficiente. A diversificação da matriz elétrica não substitui as usinas hidrelétricas, mas sim as apoia em períodos de baixa geração, possibilitando um avanço sustentável e afastando a necessidade de acionamento de usinas poluentes e não-sustentáveis como as termoeletricas.

É nesse cenário de oportunidade de diversificação da matriz que se levanta o papel da energia solar fotovoltaica, indústria em ascensão nos últimos anos. Em especial, o

papel das micro e mini usinas de geração, que possuem grande potencial com custos acessíveis ao consumidor mediano, aliviando a necessidade de grandes investimentos por parte do Estado.

3 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O aproveitamento do recurso solar favorece o controle hídrico nos reservatórios, especialmente nos períodos de menor incidência de chuvas, e possibilita planejamento e otimização de novos investimentos em geração, transmissão e distribuição da energia. Uma estratégia de aproveitamento da geração solar consorciada com a geração hidroelétrica permite antever um possível processo de aumento da renda de algumas das regiões mais pobres do país, como a Região Nordeste, com a promoção de uma economia socialmente justa e menos vulnerável aos efeitos do clima, reduzindo assim uma assimetria regional secular de inclusão social e econômica. (PEREIRA et al, 2017)

O potencial da energia solar para aliviar a matriz elétrica brasileira possui um destaque essencial: A micro e mini geração. Diferente de outras fontes de energia limpa que requerem grandes instalações e alto investimento inicial, a geração solar fotovoltaica pode ser feita através de pequenos painéis solares residenciais ou comerciais. O potencial de geração em pequena escala é um grande atrativo e pode fazer a diferença quando utilizado de forma estratégica.

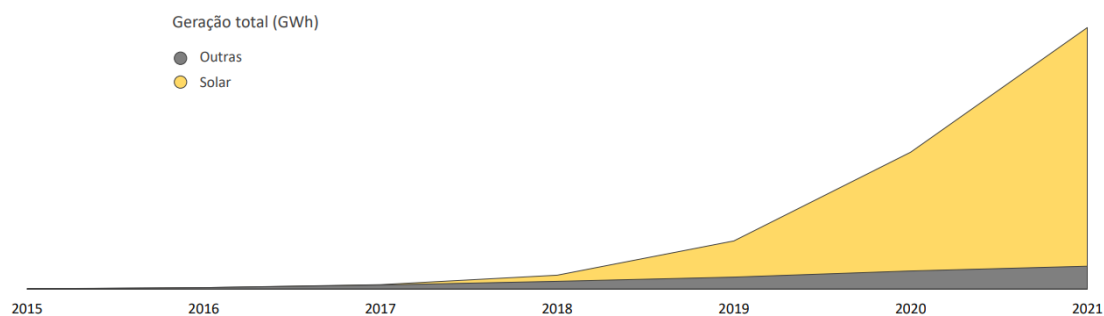
A energia solar é, atualmente, a única fonte de energia 100% limpa no Brasil. Entende-se como fonte de energia limpa aquela que é gerada através de fontes que são renováveis e que não lançam poluentes na atmosfera e nem interferem no ciclo do carbono. A energia hidráulica e a eólica, muito presentes no Brasil, não são consideradas 100% limpas por conta da sua interferência no ambiente (poluição visual e sonora).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), existem atualmente 1.218.438 sistemas de geração de energia solar em operação no Brasil, com uma capacidade de potência instalada de 12.727,1 MW. Cerca de 99,8% desses empreendimentos são sistemas de micro geração (até 75kW) e mini geração (entre 75kW e 5MW), sendo 78,9% da matriz elétrica fotovoltaica sendo alimentada por empreendimentos residenciais – ou seja, 961.127 domicílios gerando energia elétrica.

A energia solar fotovoltaica é a principal responsável pelo aumento exponencial da quantidade de empreendimentos de micro e mini geração, representando 88,3% da micro e mini geração distribuída (MMGD) em 2021⁵. A MMGD solar atingiu 8.771 MW de potência instalada e 9.019 GWh de geração em 2021, com novas unidades concentradas em Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso.

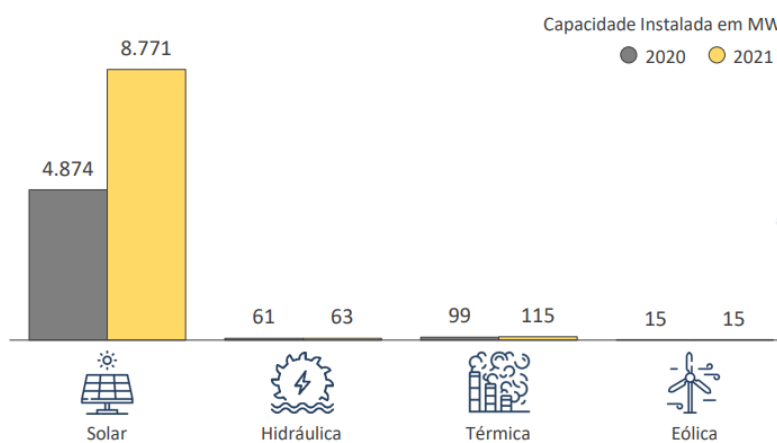
⁵ BEN 2022

FIGURA 18 - MICRO E MINI GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA



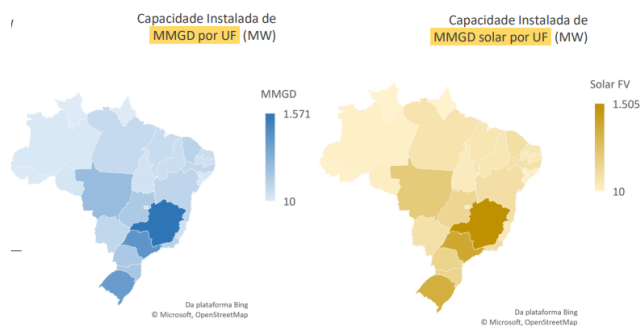
Fonte: Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR)

FIGURA 19 - CAPACIDADE INSTALADA DE MICRO E MINI GERAÇÃO POR UF EM 2020 E 2021



Fonte: Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR)

FIGURA 20 - CAPACIDADE INSTALADA DE MICRO E MINI GERAÇÃO GERAL E SOLAR FOTOVOLTAICA POR UF

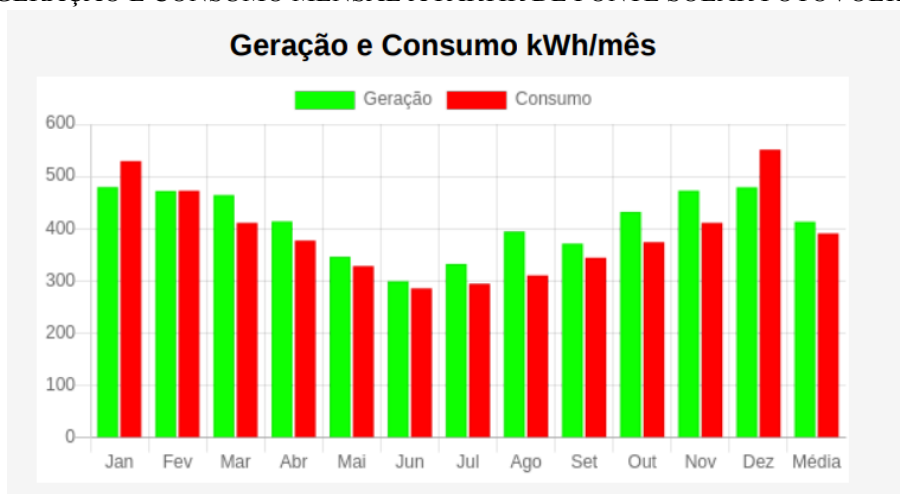


Fonte: Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR)

Os sistemas instalados de geração de energia solar fotovoltaica beneficiam hoje 1.536.897 unidades consumidoras. Isso ocorre porque sistemas de micro e mini geração podem, além de sustentar o próprio ambiente, gerar energia excedente, que é devolvida para a rede de transmissão. Essa energia é contabilizada como créditos, que geram descontos no custo final do sistema gerador e compensação de créditos de carbono para os beneficiados por essa energia.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), mais da metade da geração de energia em empreendimentos residenciais no ano de 2021 foi injetada de volta na rede. Dos 3.630 GWh gerados no ano, estima-se que 2.313 GWh foram devolvidos à rede. Essa tendência é constante desde que se iniciou o acompanhamento dos dados, e ela se deve ao grande potencial de geração de excedentes. De acordo com a SolSul, empresa atuante no setor de energia solar fotovoltaica na região Sul do Brasil, estima-se que um sistema suficiente para alimentar um domicílio com quatro moradores produzirá excedente em 10 dos 12 meses do ano, forçando uma média de geração sempre acima do necessário para o consumo.

FIGURA 21 - GERAÇÃO E CONSUMO MENSAL A PARTIR DE FONTE SOLAR FOTOVOLTAICA



Fonte: SolSul

A energia solar fotovoltaica traz mais benefícios além da geração de eletricidade. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), até setembro de 2022, 559,6 milhões de novos empregos foram criados devido às instalações de energia fotovoltaica. Muito se deve ao crescimento das empresas dedicadas ao assunto, que demandam tanto a mão de obra bruta quanto a especializada. Também foram arrecadados mais de R\$26,5 bilhões em tributos, fundamentais para compor o orçamento do país.

Ainda sobre os benefícios da energia solar fotovoltaica, ressalta-se a importância em relação ao meio ambiente. A ABSOLAR estima que, até setembro de 2022, mais de 27,3 milhões de toneladas de CO₂ foram evitadas por conta da utilização de energia solar fotovoltaica. Esse é um dado importante que pode ser utilizado como um componente da medida da externalidade positiva gerada pelo uso de fontes de energia sustentáveis. Além da geração de energia, os empreendimentos solares contribuem com o avanço sustentável da matriz elétrica nacional.

Segundo Castro (2020), existem cinco principais externalidades da energia fotovoltaica:

1. Poluição: a substituição da geração de energia não sustentável por energia fotovoltaica minimiza o impacto da poluição por meio de redução de emissões de carbono. Um nível menor de poluição também significa um ambiente mais saudável, que leva a população a ter um menor risco de desenvolvimento de doenças respiratórias relacionadas à qualidade do ar e melhoria geral na saúde pública.
2. Fatores técnicos: a energia fotovoltaica, principalmente a micro e mini geração, possuem o potencial de reduzir as perdas na transmissão de energia. A redução nas perdas pode ser convertida em ganho financeiro, visto que reduz o prejuízo do consumidor com energia não fornecida.
3. Elemento construtivo: com as inovações tecnológicas do setor, é possível investir em energia fotovoltaica e integrá-la à construção. Um exemplo é a substituição de telhas convencionais por painéis fotovoltaicos para cobertura.
4. Carga térmica: está diretamente ligada à substituição de telhas convencionais por placas solares. A carga térmica diz respeito ao aquecimento no interior de uma edificação, que pode ser alterada a depender de como é feita a instalação da placa fotovoltaica.
5. Valorização imobiliária: visto que a existência de uma unidade geradora de eletricidade em um imóvel reduz o custo de moradia, existe uma valorização das propriedades equipadas com esse tipo de estrutura.

Antes mesmo de trabalhar com modelos de mensuração e precificação das externalidades, observa-se que a maior parte delas é sempre positiva, pois sempre trará benefícios ao proprietário. Esse é um fator importante pois apoia e incentiva a adesão às

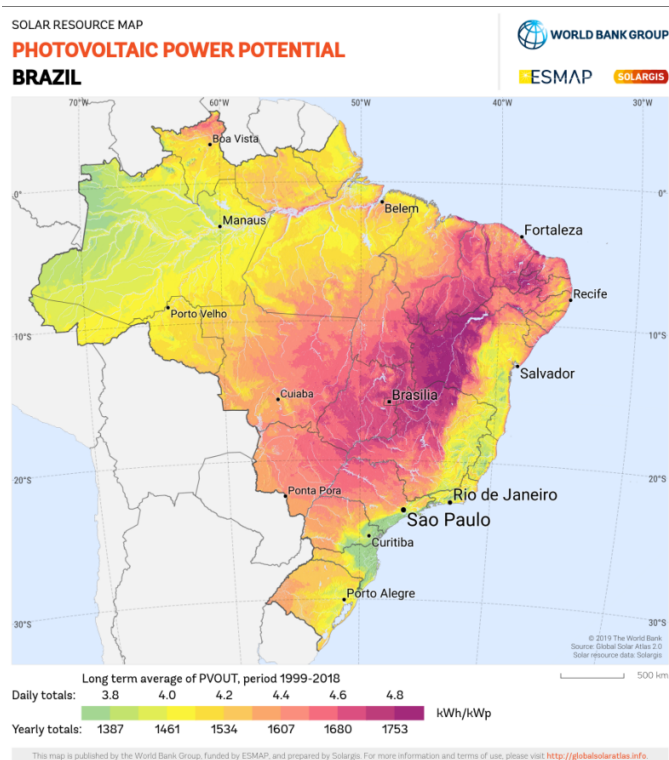
usinas de micro e mini geração, iniciativa que parte dos indivíduos, sem depender de movimentações burocráticas do Estado.

3.1. O POTENCIAL BRASILEIRO EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O Brasil conta com pilares importantes que podem levar ao sucesso no crescimento da energia solar fotovoltaica: a alta irradiação solar, a tarifa *net metering* proposta pela ANEEL e a paridade de tarifas.

O território Brasileiro possui, em toda sua extensão, bons índices de incidência solar, fator básico para a utilização da energia fotovoltaica. Esposito e Fuchs (2013) trazem como comparativo a situação da Alemanha, atual líder na produção de energia solar. Em todo o território brasileiro, a região com menor nível de incidência solar ainda possui 40% mais irradiação do que as regiões com maiores índices em território alemão. O *World Bank Group* elabora e atualiza periodicamente um mapa que demonstra exatamente o potencial solar fotovoltaico em todo o território. As regiões com maior potencial são o noroeste de Minas Gerais, sudoeste e noroeste da Bahia e sul do Piauí. É importante destacar que a Usina Solar São Gonçalo está localizada justamente em São Gonçalo, no Piauí, e possui capacidade de geração de 475 MW.

FIGURA 22 - POTENCIAL EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

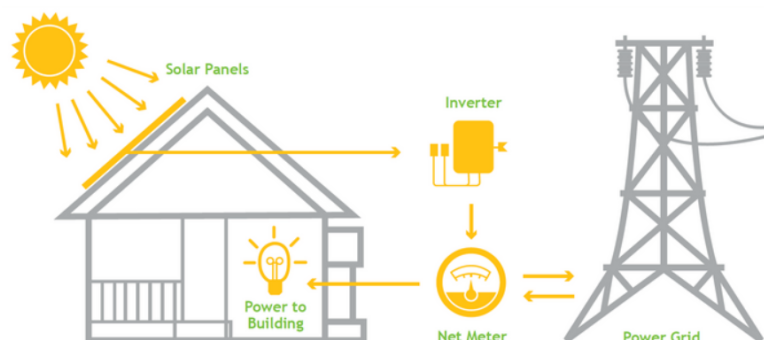


Fonte: World Bank Group

Observa-se que as regiões com potencial abaixo de 4kWh/kWp são isoladas, representando uma porcentagem muito baixa do território brasileiro. Apenas o noroeste do Amazonas e o litoral de São Paulo, Paraná e Santa Catarina contam com o menor nível de potencial fotovoltaico. A maior parte do país conta com ótimo potencial e espaço para investimento.

O segundo fator é a tarifa *net metering*, que consiste em um sistema de compensação de energia. É a tarifa aplicada no caso de créditos de energia excedente devolvida à rede de transmissão. Essa tarifa é aplicada para empreendimentos de micro e mini geração de energia solar fotovoltaica.

FIGURA 23 - FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO ON GRID

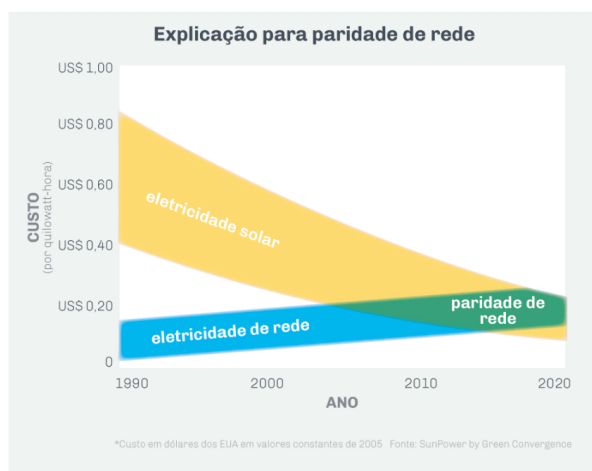


Fonte: Share America

Essa tarifa é importante pois ela diminui o custo total de possuir uma instalação fotovoltaica. É uma tarifa que dispensa a necessidade de baterias para armazenamento de energia, já que o sistema é inteiramente ligado à rede pública. Além disso, também protege o consumidor de flutuações no valor da energia elétrica, visto que os créditos são contabilizados em MWh e não em valor. O *net metering* aumenta a atratividade do investimento, fazendo com que o empreendimento seja uma opção mais viável aos pequenos consumidores.

A paridade de rede coroa o ambiente propício para o investimento não só em energia solar, mas em energias renováveis no geral. O Brasil já atingiu o nível de paridade de rede para a energia fotovoltaica – ou seja, atualmente, é mais barato gerar energia fotovoltaica do que utilizar a energia vinda da rede pública. Assim como a tarifa *net metering*, a paridade de rede garante um custo menor e faz com que o investimento seja viável.

FIGURA 24 - EXPLICAÇÃO PARA A PARIDADE DE REDE



Fonte: Share America

De acordo com um estudo publicado pela SeuDinheiro em novembro de 2021, são necessários cerca de quatro a cinco anos para obter retorno do valor investido em um sistema de geração residencial de energia solar fotovoltaica – e, quanto maior o gasto com energia, mais rápido o investimento se paga. A economia total pode atingir mais de 90%. Segundo a empresa, “para uma conta média mensal de R\$ 500, em uma residência com sistema bifásico no estado de São Paulo, o gasto com energia elétrica em 30 anos é estimado em R\$ 552.471,54, e a economia atingida na conta de luz com um sistema fotovoltaico é de 92%”.

3.2. AS BARREIRAS PARA A EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Por que, então, o Brasil não é um dos líderes no mercado de energia solar, mesmo com um cenário tão propício para a expansão? Esposito e Fuchs (2013) trazem como principais barreiras os altos impostos e os diversos atrasos de infraestrutura. Mesmo com boas pré-condições como o *net metering* e a paridade de rede forçando a diminuição do custo, ainda existem algumas taxações agressivas na conta final do consumidor. Atualmente, é aplicado ICMS de 18% sobre a tarifa *net metering*, além de um IPI que fica em torno de 5 – 15% para a importação de placas fotovoltaicas, necessárias para montagem dos módulos geradores de energia.

Elgamal (2016) aponta a alta dependência de políticas públicas para assegurar a expansão no cenário mundial. As políticas de incentivo existentes são fracas e não estimulam o desenvolvimento do potencial da energia fotovoltaica. Atualmente, falta, no Brasil, uma visão estratégica de longo prazo e comprometimento do setor público com a geração solar fotovoltaica.

Há, também, a questão do retorno financeiro para o consumidor. Um investimento que gera retorno lucrativo entre 7 e 8 anos após a sua implementação não é visto como ideal para o consumidor médio, além de requerer um investimento inicial elevado quando se trata de geração individual descentralizada. Para o indivíduo comum, a energia solar fotovoltaica representa um investimento de longo prazo com retorno certo, porém demorado (ELGAMAL, 2016)

Além disso, foi publicada em 07 de janeiro de 2022 a Lei nº 14.300/2022, responsável por instituir o Marco Legal da Geração Distribuída. A partir dessa lei, fica estabelecida a cobrança de custos para sistemas de geração de energia *on grid*. Até essa data, donos de pequenas instalações de painéis fotovoltaicos eram isentos desse custo. Esse é um grande retrocesso no incentivo à adoção de energia solar residencial, pois encarece o custo do único tipo de instalação viável para micro e mini empreendedores. A alternativa seriam os sistemas *off grid*, mas a necessidade de baterias para armazenar a energia torna o empreendimento exorbitantemente custoso e muito mais complicado, dado que baterias estacionárias para

armazenar esse tipo de energia não são facilmente encontradas. O sistema *on grid* também é fundamental pois permite que, em momentos onde a geração fotovoltaica não é suficiente, o consumidor recorra à rede pública para não ficar sem energia. Por todos esses motivos, aplicar novas taxas ao sistema afasta novos investidores potenciais.

Com a saída de diversas grandes empresas do mercado global de energia solar, o Brasil possui uma oportunidade de entrada, que passa a ser cada vez mais cara e distante por conta das barreiras existentes. É de conhecimento comum que, quanto maior a demora para investir em tecnologias, maior será o custo final. Apesar da projeção elaborada pela EPE apresentar um aumento contínuo na capacidade de geração de energia solar fotovoltaica, é preciso um investimento público mais agressivo para consolidar a posição do país no mercado mundial.

4. CONCLUSÃO

Existe oportunidade para expandir a utilização de energia solar fotovoltaica no Brasil. Os dados mostram o crescimento contínuo nas unidades de micro e mini geração, dispensando a necessidade de super investimentos e planejamento detalhado com necessidade de aprovações públicas. O potencial existe, e precisa ser explorado.

Boas políticas públicas de incentivo à adesão de painéis solares para geração residencial ou em pequenos comércios são ferramentas interessantes para contribuir com o avanço da utilização de energia fotovoltaica. Incentivando o avanço na micro e mini geração distribuída, o Brasil pode fortalecer a matriz nacional e se utilizar do excedente gerado para alimentar uma quantidade maior de estabelecimentos, se tornando menos dependente da geração de energia hidrelétrica e consequente necessidade de utilização das usinas termoeletricas em períodos de crise.

É importante, também, disseminar os benefícios que a adoção de placas de geração fotovoltaica em residências pode trazer aos seus proprietários. Conforme analisado, a energia solar fotovoltaica não é responsável apenas pela geração de energia elétrica, mas também de outros inúmeros benefícios à sociedade como um todo. Fortalecer a utilização de energia elétrica advinda de fontes de geração limpas e renováveis significa fortalecer o avanço sustentável do país, a contribuição com o meio ambiente, com a saúde pública, com o bem estar social.

A micro e mini geração são essenciais pois aproximam o indivíduo da geração de energia elétrica. É possível gerar eletricidade localmente, através de placas fotovoltaicas instaladas no teto, sem interferir no espaço do ambiente. Além disso, o investimento parte do consumidor, mas o Estado também pode se beneficiar, dado que, ao invés de dedicar uma parte do orçamento para a construção e manutenção de grandes usinas fotovoltaicas, é possível comprar o excedente da geração dos indivíduos que possuem mini e micro usinas. É uma via dupla benéfica para os dois lados, visto que, ao receber por seu excedente, o empreendimento do indivíduo passa a ser lucrativo mais rapidamente.

A energia solar fotovoltaica possui grande potencial e pode não só amparar a geração de energia a partir de fontes hidrelétricas, como também pode contribuir diretamente e com uma quantidade significativa de energia gerada para a matriz elétrica nacional. Com os incentivos corretos – sejam eles fiscais, monetários, intelectuais ou quaisquer outros – é

possível avançar na geração de energia solar fotovoltaica a partir dos micro e mini empreendimentos, diversificando a matriz elétrica e avançando nas metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Ademais, a adaptação à utilização de energias advindas de fontes limpas e renováveis é parte do futuro, do progresso, do desenvolvimento do país. Fontes não renováveis são, assim como o próprio nome sugere, esgotáveis. Criar barreiras para as inovações tecnológicas do setor de energia renovável é condenar a própria matriz elétrica ao atraso, fazendo com que a mesma se torne ultrapassada. É interessante para o Brasil investir e desenvolver o seu potencial em todas as fontes de energia elétrica possíveis, pois a demanda tende a continuar crescendo. O avanço em uma matriz renovável, limpa e diversificada é saudável, necessário e essencial para o país.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR) (2022). **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR**. Disponível em <
<https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2022/09/2022.09.09-Infografico-ABSOLAR-n%C2%B0-47.pdf>>
- BRASIL. Lei nº 14.300, de 06 de janeiro de 2022
- Castro, P. H. G. R. P. (2020). **Externalidades da energia solar fotovoltaica: perspectiva brasileira**
- Elgamal, G. N. G. (2016). **As barreiras e perspectivas para geração de energia elétrica por painéis solares fotovoltaicos na matriz energética brasileira**
- Empresa de Pesquisa Elétrica (EPE) (2022). **BEN Interativo**. Disponível em <
<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/ben/>>
- Empresa de Pesquisa Elétrica (EPE) (2022). **Painel de dados de micro e mini geração distribuída**. Disponível em < <http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/pdgd/>>
- Ernst & Young (EY) (2021). **Brasil avança em ranking mundial de energia renovável**. Disponível em <
https://www.ey.com/pt_br/agencia-ey/noticias/brasil-avanca-em-ranking-mundial-de-energia-renovavel>
- Esposito, A. S., & Fuchs, P. G. (2013). **Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil**
- Getirana, A., Libonati, R., & Cataldi, M. (2021). ***Brazil is in water crisis — it needs a drought plan.***
- International Energy Agency (IEA) (2022). **Data and Statistics**. Disponível em <
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-sets/?filter=electricity>>
- Itaipu Binacional (2022). Perguntas frequentes. Disponível em
 <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/perguntas-frequentes>>

MME - Ministério de Minas e Energia (2022). **Balanço Energético Nacional 2022: Relatório Síntese - ano base 2021**

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2022). **Histórico da Operação**. Disponível em
<<http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados-gerais>>

Organização das Nações Unidas (ONU) (2022). **Os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil**. Disponível em <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>

Pereira, E. B., Martins, F. R., de Abreu, S. L., & Rüther, R. (2006). **Atlas brasileiro de energia solar (Vol. 1)**

Pereira, R. C. (2019). **Políticas públicas para expansão da energia solar fotovoltaica: um estudo dos principais programas de incentivo da tecnologia no Brasil**.

Share America (2016). **“Paridade de rede” é essencial para conter a mudança climática. Veja por quê**. Disponível em
<<https://share.america.gov/pt-br/paridade-de-rede-e-essencial-para-conter-mudanca-climatica-veja-por-que/>>

World Bank Group (2022). **Global Solar Atlas**. Disponível em <
<https://globalsolaratlas.info/map>>

