

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUNARA ALVES FONSECA MARTINS

A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E A SUA RELAÇÃO COM A MATRIZ
ELÉTRICA: RETRATO DA ATUALIDADE

BRASÍLIA/DF

2023

LUNARA ALVES FONSECA MARTINS

A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E A SUA RELAÇÃO COM A MATRIZ
ELÉTRICA: RETRATO DA ATUALIDADE

Artigo apresentado como requisito parcial à
conclusão do MBA em Gestão Estratégica em
Energias Naturais Renováveis, Setor de Ciências
Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Msc Julio Shigeaki Omori

BRASÍLIA/DF

2023

A Energia Solar Fotovoltaica e a sua Relação com a Matriz Elétrica: Retrato da Atualidade

Lunara Alves Fonseca Martins

RESUMO

A demanda por energia elétrica vem aumentando vertiginosamente, por isso é necessário ampliar a consciência ambiental na busca por fontes alternativas para a geração de energia elétrica. Os recursos solares aliados aos investimentos em tecnologia são uma forma de garantir o crescimento sustentável da energia. A energia solar fotovoltaica possui papel relevante na ampliação da geração de eletricidade por fonte renovável, contribuindo na transição energética e na diversificação da matriz elétrica. Em fevereiro de 2023 a geração de energia elétrica a partir desta fonte alcançou o recorde de geração de eletricidade no Sistema Interligado Nacional (SIN), em que 2,7% da oferta de energia elétrica brasileira ocorreu. O percentual de participação da solar fotovoltaica na matriz elétrica no ano de 2023 ultrapassou a eólica, se tornando a segunda maior fonte após a hídrica. Este trabalho visa retratar o panorama da energia solar fotovoltaica e sua participação na geração de energia elétrica, abordando a evolução dos aspectos tecnológicos, acessibilidade econômica e social. Vantagens e desafios são evidenciados neste trabalho, a fim de superar as limitações atuais, como o exorbitante acréscimo de participação em geração distribuída, infraestrutura das redes de transmissão e distribuição, bem como o fomento às soluções de armazenamento, haja vista que este é um mercado que ainda carece de pesquisas e investimentos em prol da ampliação dessa área de estudo e desenvolvimentos futuros.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Energia Renovável. Geração Distribuída. Matriz Elétrica.

ABSTRACT

The demand for electricity has been increasing dramatically, so it is necessary to increase environmental awareness in the search for alternative sources for the electricity generation. Solar resources combined with investments in technology are a way to ensure sustainable energy growth. Photovoltaic solar energy plays a relevant role in expanding the generation of electricity from renewable sources, contributing to the energy transition and diversification of the electrical matrix. In February 2023, the generation of electricity from this source reached the electricity generation record in the National Interconnected System (SIN), in which 2.7% of the Brazilian electricity supply occurred. The percentage share of photovoltaic solar in the electric matrix in the year 2023 surpassed wind, becoming the second largest source after hydro. This work aims to portray the panorama of photovoltaic solar energy and its participation in the generation of electric energy, addressing the evolution of technological aspects, economic and social accessibility. Advantages and challenges are highlighted in this work, in order to overcome current limitations, such as the exorbitant increase in participation in distributed generation, infrastructure of transmission and distribution networks, as well as the promotion of storage solutions, given that this is a market which still lacks research and investments in favor of expanding this area of study and future developments.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy. Renewable Energy. Distributed Generation. Electrical Matrix.

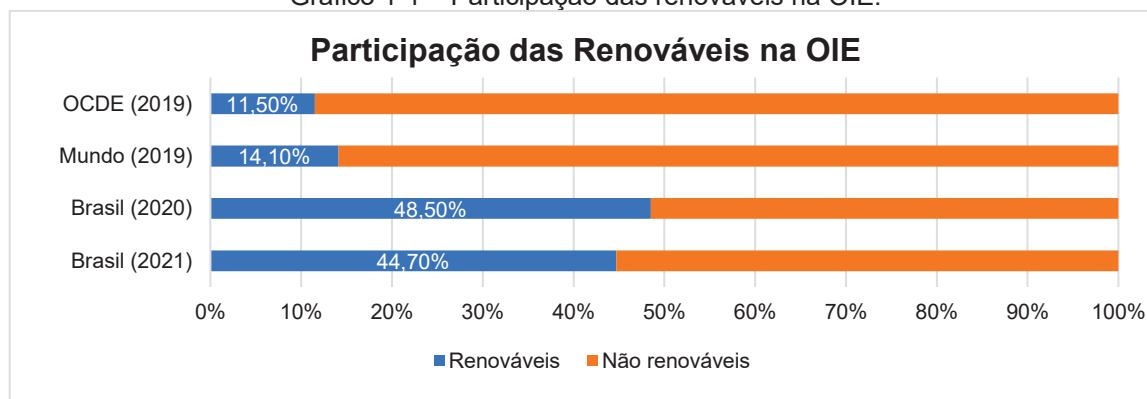
1 INTRODUÇÃO

A utilização da fonte solar como insumo energético para aproveitamento na geração térmica quanto elétrica é de fato atualmente uma das alternativas do setor energético com grande potencial para os desafios futuros. O aproveitamento adequado dos recursos naturais maximizando o potencial energético é o que dirige o país ao desenvolvimento sustentável, trazendo melhorias na segurança energética às próximas gerações (CRESESB, 2008).

Quando considerada a oferta de energia interna no ano base de 2021, houve crescimento significativo na participação de fontes renováveis na matriz energética, que apresentou diminuição da oferta de energia hidráulica, correlacionada à escassez hídrica e a operação das usinas termelétricas (BEN, 2022).

Em comparação com o mundo, o Brasil atingiu o percentual de 44,7% de renovabilidade da sua matriz energética, diante do aumento das fontes eólica e solar na geração de energia elétrica (perda zero) e o biodiesel com relação ao ano base de 2021 (BEN, 2022).

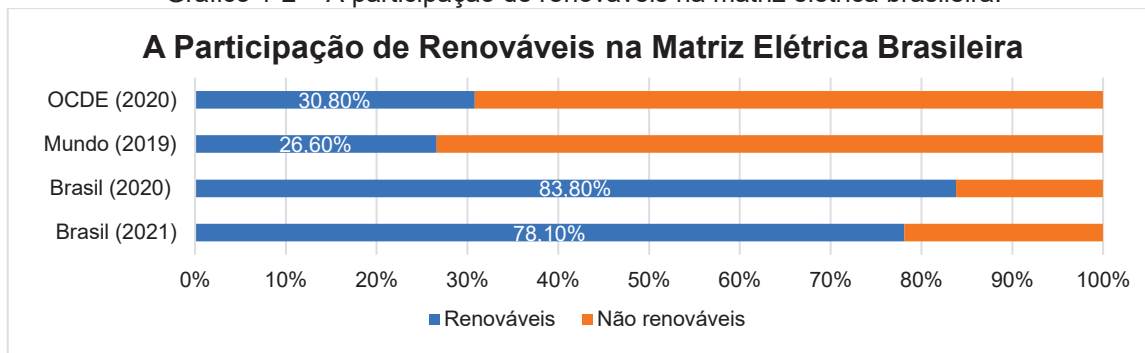
Gráfico 1-1 – Participação das renováveis na OIE.



Fonte: Agência Internacional de Energia (AIE) e EPE para o Brasil.
Elaboração: EPE. Ano base 2021 (adaptado)

Em relação a matriz elétrica nacional, a geração solar alcançou 16,8 TWh (Terawatt-hora), somando a geração centralizada e Microgeração e Minigeração Distribuída (MMGD), correspondendo a um progresso de 55,9% quando comparado ao ano anterior. Dessa forma, a participação de fontes renováveis na matriz elétrica chegou em 78,1% em 2021 (EPE, 2022).

Gráfico 1-2 – A participação de renováveis na matriz elétrica brasileira.



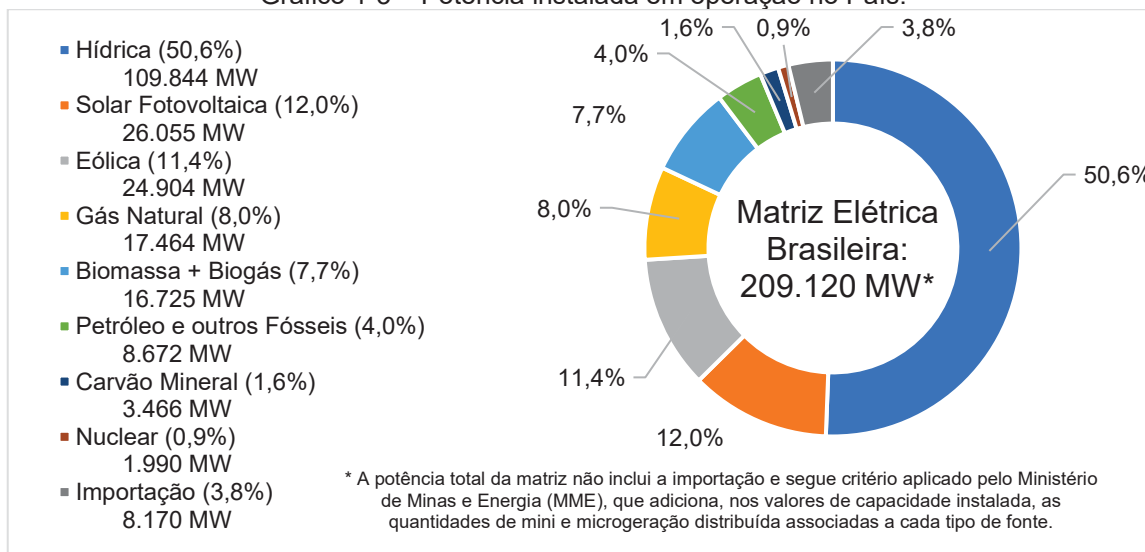
Fonte: BEN 2022 | Relatório Síntese | Ano base 2021 (adaptado).

A participação da MMGD no ano de 2021 aumentou cerca de 84% quando comparado a 2020, com destaque para a contribuição da energia solar fotovoltaica que representou 88,3%, sendo a principal responsável pelo incremento (BEN, 2022).

É evidente o crescimento contínuo e exponencial da geração solar fotovoltaica, sendo impulsionada principalmente pela geração distribuída. A instalação de sistemas de geração de energia elétrica em telhados de residências, prédios e empresas, bem como em terrenos apresentou aumento significativo, uma vez que em um ano a energia solar fotovoltaica cresceu cerca de 83%, saindo de 14,2 GW (gigawatt) para 26 GW (gigawatt) (CANAL ENERGIA, 2023).

O aumento da energia solar fotovoltaica gerou ao Brasil desde o ano de 2012 mais de R\$ 120,8 bilhões em investimentos, com cerca de 705 mil empregos e propiciou R\$ 38 bilhões em arrecadação para os cofres públicos. O percentual de participação da solar fotovoltaica (12%) na matriz elétrica no ano de 2023 ultrapassou a eólica (11,4%), se tornando a segunda maior fonte após a hídrica (50,6%) (ABSOLAR, 2023).

Gráfico 1-3 – Potência instalada em operação no País.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2023 (Adaptado). Última atualização: 03/03/2023 (adaptado).

2 REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com o cenário de geração elétrica atual do Brasil, com destaque para a energia solar fotovoltaica, o presente trabalho visa apresentar o retrato da atualidade demonstrando a evolução desta fonte renovável na matriz elétrica nacional. Serão contextualizados a evolução e o crescimento da energia solar fotovoltaica *on-grid*, bem como os desafios e limitações desta fonte para a geração de energia elétrica, a legislação vigente e as projeções futuras.

2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA SOLAR FOTOVOLTAICA

Anualmente o Sol fornece para a atmosfera $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia elétrica em um ano. A radiação solar como fonte renovável, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, ainda apresenta vasto potencial de aproveitamento por meio de sistemas de captação e conversão em energia térmica e solar, por exemplo (CRESESB, 2008).

O Sistema de geração solar distribuída fotovoltaica possui como princípio a captação da energia solar e posteriormente a conversão em eletricidade. É empregada no suprimento da rede elétrica, podendo ser em pequena escala, no caso de residências (uso doméstico), ou grande escala, nas usinas solares (uso comercial) (EPE, 2012).

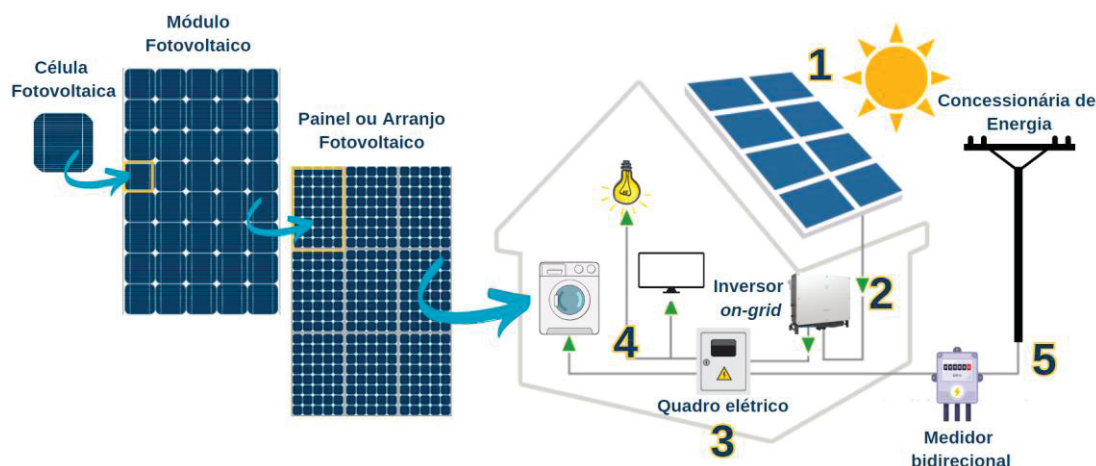
A conversão da energia solar é obtida por meio do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas, que são componentes optoeletrônicos (associa elementos de tecnologia ótica e eletrônica) responsáveis por realizar a conversão direta da radiação solar em energia elétrica. A base da composição são materiais semicondutores, sendo o silício a matéria prima mais presente (PINHO; GALDINO, 2014).

Os equipamentos que constituem o sistema solar fotovoltaico são os módulos fotovoltaicos, inversores de corrente contínua para alternada, banco de baterias, no caso de sistema *off-grid*, e o medidor bidirecional no caso de sistemas *on-grid*.

A Corrente Contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos no seu processo necessita da conversão em Corrente Alternada (CA) para possibilitar o consumo final, uma vez que a maior parte dos equipamentos eletrônicos opera em CA. O inversor é o responsável por esta função de conversão, bem como de proporcionar a compatibilidade dos níveis de tensão de saída e apresenta funções de proteção para garantir a segurança, confiabilidade e eficiência de sistemas fotovoltaicos.

O sistema fotovoltaico possui duas formas de geração de energia elétrica e consumo, sendo o *on-grid* (conectada à rede) e *off-grid* (sistemas isolados). A geração do tipo *on-grid* é quando a energia elétrica gerada e não consumida, ou seja, o saldo, é encaminhada ao medidor bidirecional que envia o excedente gerando os créditos de energia e já o método *off-grid* a energia elétrica é estocada nas baterias (ANEEL, 2012).

Figura 2-1 – Princípio de funcionamento do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (*On-Grid*).



Fonte: Portal Solar (adaptado).

2.2 HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica surge no ano de 1839, porém nesta época ainda não havia o conhecimento sobre o potencial desta fonte. O surgimento da energia solar ocorreu logo após a pesquisa do físico francês Alexandre Edmond Becquerel, que descobriu o efeito fotovoltaico, e com a criação por Charles Fritts da primeira célula fotovoltaica em 1883 (PORTAL SOLAR, 2016).

A primeira célula fotovoltaica produzida a partir de selênio revestido de ouro foi originada por um inventor de Nova York conhecido por Charles Fritts no ano de 1883. Tal acontecimento foi considerado um marco histórico na tecnologia fotovoltaica, em que se tornou possível produzir corrente contínua de forma contínua para realizar a conversão elétrica máxima de 1%. Vale ressaltar que a eficiência foi um marco para a época, enquanto nos tempos atuais trabalha-se com eficiências até acima de 20% (PORTAL SOLAR, 2020).

Diante do agravamento da degradação ambiental e as mudanças climáticas aliadas a escassez dos recursos naturais, a sociedade tratou este tema e veio à tona conceitos como o da sustentabilidade e conservação do meio ambiente e seus recursos. A energia solar passou a se consolidar em âmbito mundial como alternativa para o abastecimento de energia elétrica.

Alguns fatores que se destacam dentro desse cenário são o potencial expressivo de exploração desta fonte renovável, baixa emissão de poluentes no processo produtivo, a redução de custos e o crescimento acelerado da propagação da capacidade instalada. A longo prazo, a conjectura mundial é de que a maioria do abastecimento de eletricidade seja oriundo do recurso solar (TOLMASQUIM, 2016).

Os objetivos de diminuição de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) bem como a política de créditos de carbono colaboram com o desenvolvimento e incentivo a fontes renováveis, como a solar fotovoltaica que está com crescimento ascendente em contexto mundial.

O sistema de energia mundial atual ainda é baseado em combustíveis fósseis, sendo um agravante no processo de transição para energias renováveis considerando tanto as atividades econômicas quanto sociais. As fontes de energias renováveis são a alternativa que devem estar no núcleo da solução política perante a crise energética.

A presença de uma economia fundamentada na eficiência e na renovabilidade é capaz de converter o cenário que envolve mais segurança, resiliência, além de baixo custo e sustentável (REN, 21).

Mesmo com a ocorrência da pandemia, as energias renováveis continuaram crescendo no ano em ritmo acelerado na capacidade de energia em meio ao aumento dos preços globais das *commodities* que desordenaram as cadeias de fornecimento de energia renovável e atrasaram projetos.

O tema central de discussões mundiais envolve a obtenção de melhorias na segurança energéticas, com o intuito de substituir a utilização dos combustíveis fósseis. O fomento às energias renováveis aumenta neste cenário, que conta com o alarmante aumento dos preços da energia elétrica ao final do ano de 2021, bem como ao acontecimento da invasão da Ucrânia pela Federação Russa no início de 2022 (REN, 21).

De acordo com o *ranking* mundial de potência instalada acumulada da fonte solar fotovoltaica, o Brasil alcançou a oitava colocação, se situando entre os dez países que apresentam maiores capacidades instaladas. No ano de 2022, o país atingiu o somatório de 24 gigawatts (GW) de potência, considerando a geração própria das usinas solares fotovoltaicas de pequeno e médio portes (ABSOLAR, 2023)

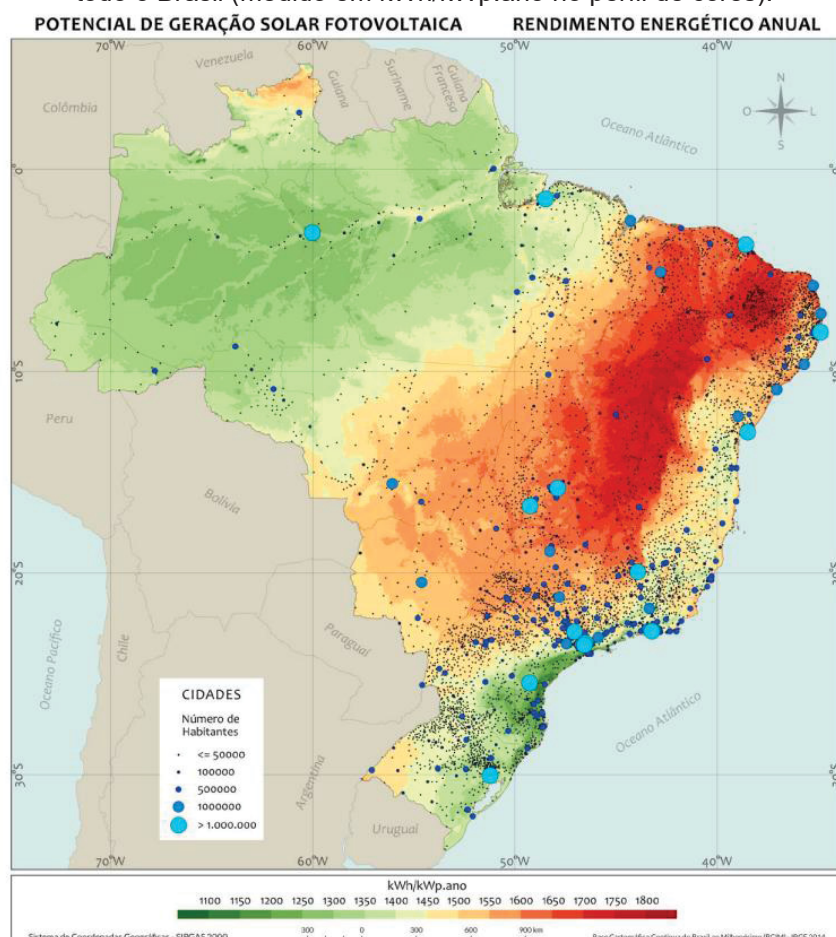
Entre os anos de 2021 e 2022 a capacidade acumulada da solar no Brasil passou da 13ª posição para a oitava. A China lidera com (392 GW), em sequência os Estados Unidos (111 GW), Japão (78,8 GW), Alemanha (66,5 GW), Índia (62,8 GW), Austrália (26,7 GW), Itália (25 GW), Brasil (24 GW), Holanda (22,5 GW) e Coreia do Sul (20,9 GW).

2.3 EVOLUÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O território nacional possui vasto potencial de geração de energia fotovoltaica devido a incidência de radiação solar em todo o país, apresentando uma faixa de 4,64 kWh/m² a 5,49 kWh/m². dia, conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (ANEEL, 2015).

A área que se estende da região Nordeste até ao Pantanal, conhecido como o Cinturão Solar, engloba as principais condições para desenvolver a capacidade produtiva da energia solar fotovoltaica. Um exemplo que demonstra o potencial brasileiro é de que na região menos ensolarada no Brasil é possível gerar mais energia elétrica do que no local mais ensolarado da Alemanha (INPE, 2017).

Figura 2-2 – Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores).



Fonte: PEREIRA, E. B. et al. Atlas brasileiro de energia solar. [s.l.] INPE, 2017.

Na *Figura 2-2* é apresentado o mapa que retrata o rendimento energético anual máximo, medido em kWh de eletricidade gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada, no território brasileiro. Foram consideradas usinas centralizadas, de

grande porte e geração distribuída, principalmente os sistemas implantados nas coberturas das edificações (PEREIRA et al., 2017).

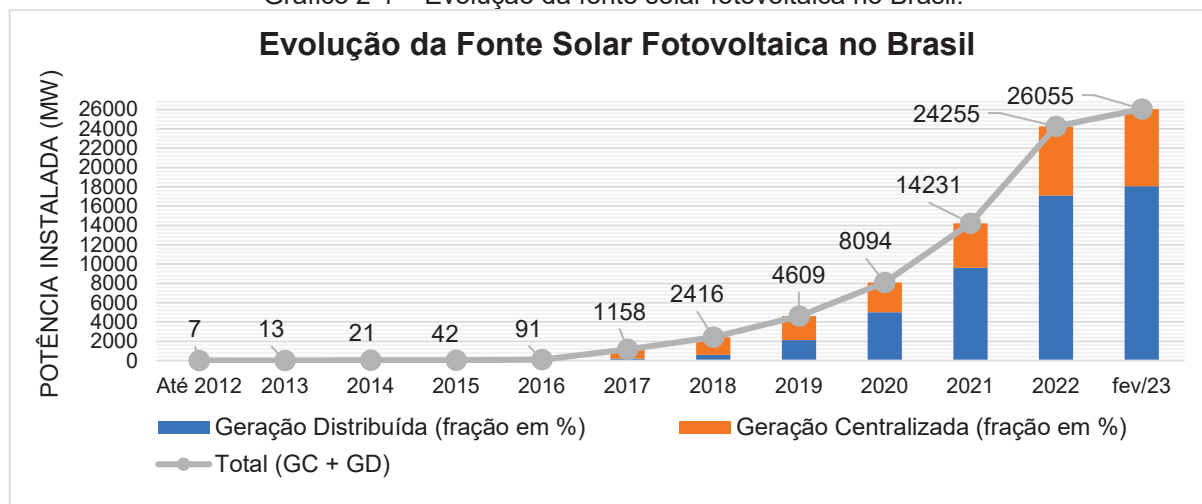
O mapa ilustra o número de habitantes nos círculos azuis, sendo possível notar que nos meses de verão, com destaque para dezembro a março, a geração atinge o pico no sul e sudeste do país, coincidindo com os registros de demanda pelo Operador Nacional do Sistema – ONS (PEREIRA, 2017).

A energia elétrica produzida com base na fonte solar pode ser dirigida à comercialização no mercado de energia, bem como ser usufruída para o autoconsumo. Para a comercialização da energia é comum que as usinas fotovoltaicas sejam de grande porte, em que energia produzida é designada ao Ambiente de Contratação Regulado (ACR), também chamado de mercado cativo ou regulado, e/ou ao Ambiente de Contratação Livre (ACL), conhecido como mercado livre de energia.

As usinas fotovoltaicas de pequeno porte são classificadas como geração distribuída, sustentado por regras definidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), dentre elas as Resoluções Normativas 482/2012, 687/2015 e 1059/2023.

É evidente como a fonte solar fotovoltaica evoluiu no Brasil, uma vez que o crescimento foi exponencial a partir de 2012 com o surgimento do Sistema de Compensação, junto a Resolução Normativa da ANEEL Nº 482. Até o mês de fevereiro de 2023 o acumulado desta fonte para o país alcançou mais de 26 GW operacionais atraindo diversos benefícios envolvidos (ABSOLAR, 2023).

Gráfico 2-1 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2023. Atualizado em 03/03/2023 (adaptado).

2.3.1 Geração Centralizada

As centrais geradoras integram normalmente as usinas solares fotovoltaicas de grande porte, geralmente fixadas em solo sobre estruturas metálicas. Podem utilizar dispositivos de seguimento da trajetória do Sol, para otimização da geração de eletricidade.

A geração centralizada é caracterizada pela sua grande capacidade, elevada economia em virtude da produção em larga escala e centralização territorial, não sendo obrigatória a localização próxima a área de consumo da energia elétrica produzida.

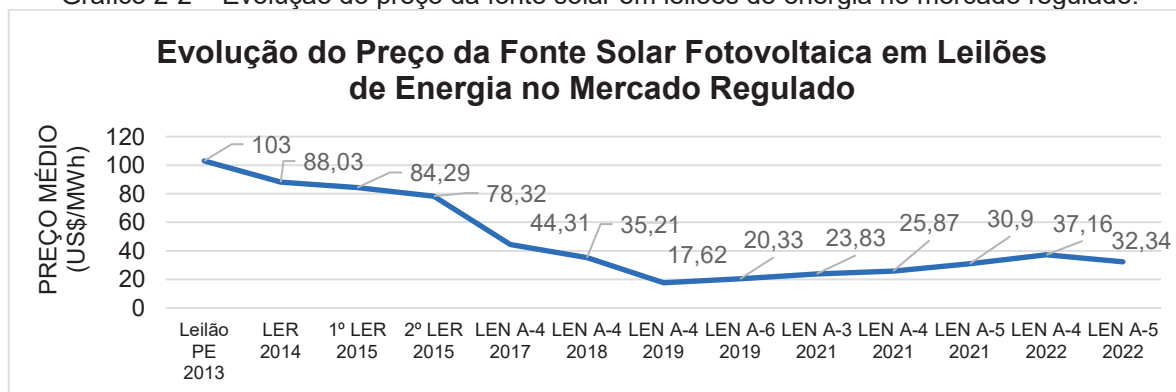
Foi em 2014 que a Geração Centralizada iniciou seu funcionamento de fato no Brasil, com o acontecimento do Leilão de Energia de Reserva (LER), sendo a fonte de solar fotovoltaica contratada pela primeira vez.

Em leilões privados e oficiais é possível observar que os projetos de geração centralizada por fonte solar fotovoltaica apresentaram preços em nível abaixo em relação as fontes como as termelétricas e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). No Leilão de Energia Nova A-5 de 2022 o menor preço de contratação foi praticado pela fonte solar fotovoltaica (R\$ 171,51/MWh), seguida pela eólica (R\$ 176,00/MWh) (EPE, 2022).

O preço médio da contratação determinada pelo Ministério de Minas e Energia (MME), a partir das fontes solar e eólica, foi de R\$ 173,75/MWh em 2022, cerca de 25% abaixo do preço médio dos contratos de energia elétrica das distribuidoras, que pratica em torno de R\$ 230,00 por MWh. Com isso, a priorização é evidenciada como assertiva na contratação, trazendo redução na tarifa de energia para o mercado regulado (MME, 2022).

Desde 2013 até 2022 é possível observar o declínio do preço médio da fonte solar fotovoltaica em leilões de energia no mercado regulado, o que demonstra o aumento da competitividade desta fonte frente a outras no que concerne a concessão de energia elétrica no setor. Como apresentado no Gráfico 2-2, a partir do ano de 2019 a fonte solar fotovoltaica se integrou ao grupo das fontes mais competitivas do Brasil (CCEE, 2023).

Gráfico 2-2 – Evolução do preço da fonte solar em leilões de energia no mercado regulado.



Fonte: CCEE/ABSOLAR, 2023. Atualizado em 03/03/2023 (adaptado).

2.3.2 Geração Distribuída

A Agência Internacional de Energia (IEA) determina a geração distribuída como produção de energia localizada que se encontra próxima à unidade consumidora, independentemente do porte ou da fonte da geração, podendo ser fóssil ou renovável como eólica e fotovoltaica (IEA, 2002),

Os sistemas de geração distribuída podem ser isolados ou conectados à rede elétrica, que correspondem aos que podem atuar de modo relativamente independente das redes de transmissão e que apresentam menor capacidade produtiva em relação a geração centralizada (HERNANDEZ, 2014).

A competitividade da solar fotovoltaica no ramo da geração distribuída vem aumentando em relação as tarifas praticadas pelas concessionárias de energia elétrica. Tal fato corrobora para um cenário de perspectivas para esta fonte no Brasil, conforme pode ser verificado em outros países.

2.3.3 Contexto Regulatório

De acordo com a ANEEL, até meados de 2003 o foco foi realizar o desenvolvimento de um novo marco regulatório, que reunisse pontos como a modicidade tarifária, a partir da contratação eficiente de energia para consumidores regulados; a estabilidade do fornecimento de eletricidade, a expansão do setor elétrico entre a população, criando programas de incentivo como o “Luz para Todos” (ANEEL, 2009).

O Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) foi criado no ano de 2012 e viabilizou o crescimento do setor solar fotovoltaico no Brasil. Regulado pela REN 482/2012, o SCEE trata sobre a energia ativa que é injetada por unidade consumidora, podendo ser um sistema de micro ou minigeração distribuída na rede da distribuidora local (ANEEL, 2012).

O SCEE foi um marco considerável e que incentivou o aumento da implantação de usinas solares de geração distribuída, surgindo a figura do “prosumidor”, ou seja, o consumidor que produz. A principal característica deste sistema é a de possibilitar a injeção da eletricidade excedente produzida pelos sistemas fotovoltaicos na rede, sendo convertida em créditos para a compensação futura, na situação do consumo ser superior a geração.

A participação da energia solar fotovoltaica no Brasil se tornou significativa após a regulação por meio da Resolução Normativa 482/2012, a qual provocou um efeito de ruptura dos padrões existentes no setor elétrico.

Em 2015, a Resolução Normativa 687/2015 surge simplificando os trâmites burocráticos do processo de injeção da eletricidade gerada nos sistema na rede elétrica. Com esta normativa houve a redução no período de aprovação dos projetos fotovoltaicos e ampliação no prazo para aproveitamento dos créditos resultantes do excedente gerado, para 60 meses.

A modalidade de autoconsumo remoto é originado possibilitando o envio dos créditos para outra unidade situada em local diferente de onde foi gerado. Além disso, com a REN 687/2015 houve a elevação do limite da potência instalada de 1MW para 5MW, a criação da modalidade de geração compartilhada (ANEEL, 2015).

Em janeiro de 2022, o ex-presidente da República, Jair Bolsonaro, sancionou o PL 5829/19 com dois vetos, tornando o marco legal da GD por meio da Lei 14.300 em 06 de janeiro de 2022. A partir deste marco, a REN 482 foi revogada sendo assumidos os apontamentos da Lei 14.300 (BRASIL, 2022).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou em 07 de fevereiro de 2023 por unanimidade a Resolução Normativa Nº 1.059 que regulamentou o Marco Legal da Geração Distribuída (GD), de acordo com o definido pela Lei 14.300. O texto altera o método de realização do rateio dos custos da política pública e estabelece novas incumbências das distribuidoras (ANEEL, 2023).

A Lei Nº 14.300 considerou mudanças nas definições para a geração distribuída, que é dividida em microgeração e minigeração distribuída. A primeira é conceituada como central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e que empregue cogeração qualificada, de acordo com a regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada à rede de distribuição de energia elétrica mediante as instalações de unidades consumidoras (BRASIL, 2022).

A minigeração distribuída já é classificada como central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis, de acordo com a regulamentação da ANEEL, conectada à rede de distribuição de energia elétrica mediante as instalações de unidades consumidoras.

Em 07 de fevereiro de 2023 a ANEEL publicou a Resolução Normativa 1.059/2023 que regulamenta a Lei 14.300/2022 (Marco Legal da Geração Distribuída – GD). Em resumo,

a determinação altera a configuração de rateio dos custos da política pública e fixa obrigações inéditas por parte das distribuidoras.

De acordo com a lei, uma fração dos custos da GD anteriormente formavam a estrutura tarifária, em que com a mudança passam a ser transferidos para a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), sendo necessária a composição de uma quota específica que será incluída na composição dos encargos da tarifa de energia.

Figura 2-3 – Linha do tempo a partir da publicação da Lei 14.300: Marco Legal da MMDG.



Fonte: Greener, 2023 (adaptado)

De acordo com a Figura 2-3 a partir de 2029 quando o período de transição finalizar, as novas regras tarifárias serão estabelecidas de acordo com a diretriz do CNPE e valoração das vantagens da geração distribuída em conformidade com a ANEEL.

De modo comparativo da Lei 14.300/2022 com a REN 482/2012, mesmo que tenha iniciado a regra de transição com a determinação do pagamento gradativo da TUSD Fio B, de modo a remunerar a rede elétrica, os sistemas fotovoltaicos permanecem atrativos, uma vez que o impacto no retorno de investimento é baixo para os sistemas de geração local, modalidade esta que representa 81% da potência instalada. Em relação aos sistemas de geração remota o efeito desta mudança na atratividade do negócio é mais relevante (GREENER, 2023).

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado com base em uma pesquisa qualitativa e em três etapas, sendo elas a coleta dos dados por meio de material bibliográfico, como artigos disponibilizados em bancos de dados, órgãos governamentais e notícias; a análise dos dados trazendo um panorama da energia solar fotovoltaica e apresentação dos desafios e limitações existentes, por meio de contribuições e constatações para o tema.

O universo do estudo foi limitado a energia solar como fonte renovável, utilizando a tecnologia fotovoltaica, em âmbito nacional com foco em geração de energia elétrica.

Ademais, consultas foram realizadas com base nas Resoluções Normativas da ANEEL, Balanço Energético Nacional – BEN ano base 2021 e informações da *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (REN21) sobre a atuação da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira e mundial.

Para a elaboração deste artigo foram necessários os seguintes passos metodológicos:

- Apresentar o histórico da Energia Solar Fotovoltaica.
- Contextualizar a evolução e crescimento da energia solar fotovoltaica *on-grid* na matriz elétrica nacional.
- Analisar o panorama brasileiro e como foi alcançado o atual cenário.
- Demonstrar a evolução tecnológica nos parâmetros financeiro, técnico e comercial.
- Apresentar as limitações da matriz elétrica nacional com a inserção de fontes intermitentes e a importância do processo de diversificação.
- Expor os desafios do setor elétrico, com destaque para o armazenamento por baterias e a complexidade na rede de distribuição.
- Evidenciar as projeções e o cenário futuro do setor.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Dentro do setor produtivo nacional e mundial um dos desafios é a associação de políticas sustentáveis com o crescimento da competitividade. A solar fotovoltaica surge como tendência nesta vertente, uma vez que atende aos pilares ambiental, social e econômico.

A evolução da tecnologia com a adoção de novas tecnologias de produção, bem como a acessibilidade econômica, técnica e social, concebe o uso da energia solar fotovoltaica para a geração de eletricidade como um investimento atrativo, com reputação e valor agregado com os consumidores e *stakeholders*.

O ritmo acelerado e a ampliação da competitividade revertem ao fomento desta fonte renovável ao combo de auxílio na geração de eletricidade, bem como diversificação do suprimento de energia elétrica no país e no mundo, aliviando a pressão sobre os recursos hídricos e o risco de aumento do custo na conta de consumo de eletricidade.

O avanço é fundamental para o desenvolvimento econômico, social e ambiental, uma vez que em um cenário mais competitivo e tecnológico ocorre o incremento de empregos no setor, geração de oportunidades e aumento da renda da população brasileira.

4.1 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

Em relação à expansão da geração no horizonte do PDE 2023, a expressiva participação das renováveis na matriz elétrica permaneceu, promovendo o desenvolvimento sustentável das fontes de geração. Esse direcionamento é atestado pelo preço competitivo das fontes conforme apresentado nos leilões de energia mais recentes (PDE, 2023).

O investimento em um sistema solar fotovoltaico pode ser dividido em CAPEX e OPEX, respectivamente sendo todos os custos associados à construção de uma usina e as despesas operacionais, que envolvem os custos necessários para manter a usina produzindo durante todo seu ciclo de vida útil.

A cadeia de valor da geração distribuída solar fotovoltaica segue pelas fases de fabricação, distribuição, integração, aquisição do sistema fotovoltaico e desativação do sistema ao final da vida útil. Entender o papel de cada agente nesses estágios é primordial para que haja a compreensão da dinâmica necessária para realizar a precificação, de modo a ampliar a participação desta modalidade no mercado.

Em geral, um sistema fotovoltaico é formado por dois equipamentos principais, sendo eles os módulos fotovoltaicos e inversores, que em sistemas híbridos ou off-grid ainda possuem o controlador de carga e bateria. É evidente o quanto a tecnologia dos equipamentos evoluiu, uma vez que em um curto espaço de tempo houve aprimoramento nas eficiências e potência unitária.

O avanço da tecnologia fotovoltaica juntamente com a diminuição de custos cria um cenário de oportunidades para o desenvolvimento da indústria fotovoltaica. Vale ressaltar que, a competitividade não é mensurada apenas pelo custo dos insumos, mas também pelo seu nível tecnológico e qualidade dos produtos ofertados ao mercado.

4.1.1 Acessibilidade técnica e econômica

As células que compõem os módulos fotovoltaicos evoluíram significativamente no decorrer dos anos, parâmetros de eficiência e *performance* tornaram-se melhores e o preço decresceu aumentando a acessibilidade, principalmente ao público residencial.

A implementação eficaz da energia solar fotovoltaica nem sempre foi viável, haja vista o pouco acesso e trabalho árduo que acarretavam desvantagens econômicas e, devido a isso, foi necessário providenciar incentivos e facilitações ao acesso às tecnologias em prol ao desenvolvimento sustentável, tornando essencial o fomento às inovações e acessibilidade a esta tecnologia (SOLARVOLT, 2016).

Nos últimos anos foi possível observar países que investiram em pesquisas e concepção de projetos, como a Alemanha. Este país apresentou resultados de redução de quase 80% nos custos de novas usinas fotovoltaicas quando comparado aos anos anteriores, sendo este cenário favorável ao mundo para a adoção desta fonte de geração de energia elétrica em escala crescente.

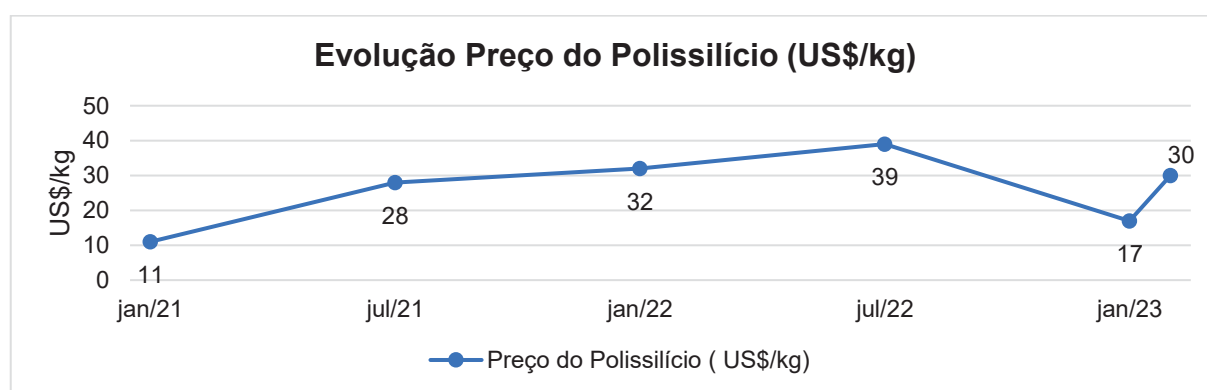
Produzido em 1877, o primeiro dispositivo sólido de produção fotovoltaica apresentava somente 0,5% de eficiência, sendo que atualmente os dispositivos dispõem eficiência igual a 20% ou mais (ADAM, 1877).

O custo dos sistemas fotovoltaicos apresentou redução média de 12% em 2022. Fatores como o preço dos módulos que passou por forte queda e o alto nível de estoque de equipamentos no atacado favoreceram no cenário de diminuição dos custos de aquisição dos sistemas.

Os módulos fotovoltaicos representam na faixa de 38% a 50% do preço final de um sistema FV. Dessa forma, como este é o item de maior composição, também é o que gera maior impacto com a redução do custo e precisa ser analisado para a precificação de mercado.

O silício metálico é o principal insumo do módulo, cerca de 60% da composição de custos. Entre os meses de novembro e dezembro de 2022, o preço do polissilício apresentou queda de 53%, atingindo o valor de US\$17/kg no início de 2023 (GREENER, 2023).

Figura 4-1 – Evolução do preço do polissilício (US\$/kg).



Fonte: Greener, 2023 (adaptado).

Houve certa elevação do valor do polissilício em fevereiro de 2023, após a expressiva queda ao final de 2022. Entretanto, mesmo com as oscilações as perspectivas de especialistas é de que a tendência é de preços de módulos fotovoltaicos em média, inferiores a 2022.

Vale ressaltar que a evolução na tecnologia de células é notável, uma vez que novas variações de células de silício são validadas a cada ano. Surgem também novos materiais

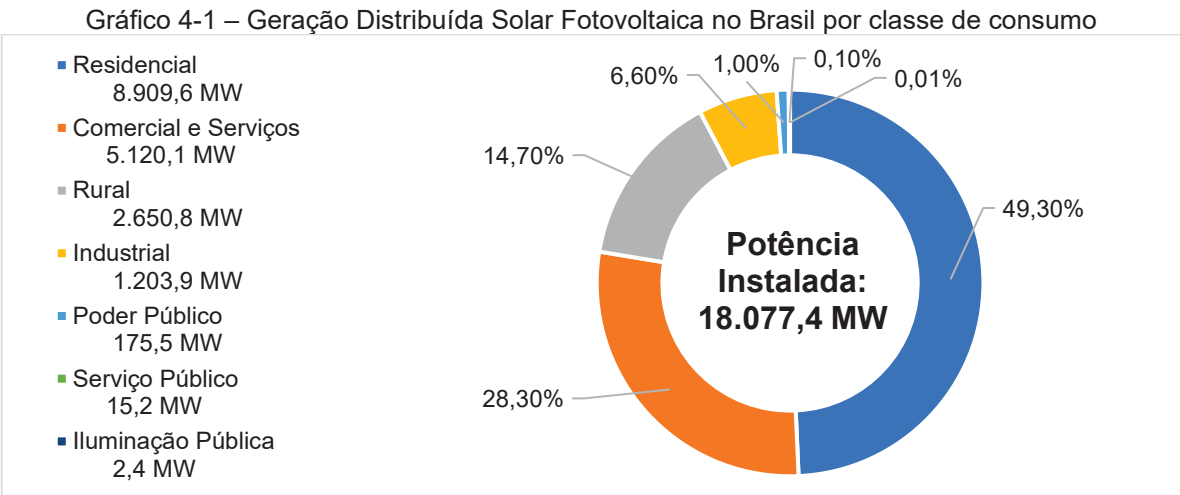
em substituição aos usuais módulos de silício cristalino, havendo um pico na participação de mercado dos módulos de filmes finos da chamada segunda geração, silício amorfo, CIGS e telureto de cádmio.

Ainda em desenvolvimento há a terceira geração de tecnologias, contendo estudos sobre as células sensibilizadas por corantes, orgânicas, de *perovskita*, CZTS (e suas variações) e células sensibilizadas por pontos quânticos (EPE, 2020).

4.1.2 Acessibilidade Comercial e Socioeconômica

É significativa a capacidade de desenvolvimento da geração distribuída no Brasil, o que oportuniza a eclosão de oportunidades de fornecimento de empregos e geração de renda por toda a cadeia produtiva. Diante da crise econômica que o país passa, este é um ótimo segmento do mercado que proporciona um sentido positivo às perspectivas de crescimento socioeconômico (BEZERRA, 2022).

A ampliação da oferta de soluções para o mercado da solar fotovoltaica para a sociedade vem crescendo, em que as empresas têm flexibilizado suas condições de pagamento viabilizando as aquisições de modo mais expressivo. O financiamento solar contribui para a aquisição dos equipamentos, de modo deve haver uma política industrial competitiva e justa, dado que na sua grande parte, os juros e taxas altas inviabilizam a aquisição em certos casos.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2023 (adaptado).

Mesmo assim, a classe residencial permanece com destaque no crescimento da geração distribuída no Brasil, representando 49,3% do volume adicionado em 2023, enquanto a classe Comercial e Serviços foi responsável por 28,3%. O financiamento bancário apontou declínio em 2022, amparando 22% das vendas realizadas quando comparado a 57% no ano predecessor.

4.2 LIMITAÇÕES DA MATRIZ ELÉTRICA NACIONAL

A fontes eólica e solar são consideradas fontes de geração variável e não controlável, sendo de suma importância o estabelecimento de uma metodologia adequada aos seus benefícios energéticos conforme a atuação nas áreas de instalação dos empreendimentos. Além disso, a extensão temporal e a granularidade dos dados são razões cruciais para assegurar a validade dos estudos no que se refere a operação futura (EPE, 2021).

A matriz elétrica brasileira ainda apresenta a hidreletricidade como fonte majoritária de produção de eletricidade, sendo que em períodos de estiagem a produção é afetada, prejudicando toda a cadeia de abastecimento do país. Tal fato corrobora para a ocorrência de insuficiência de energia elétrica e no aumento do seu custo final ao consumidor.

Neste contexto, para o atendimento da demanda é necessário acionar fontes fósseis, o que prejudica diretamente o meio ambiente diante da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) poluentes na atmosfera. Posto isto, o fomento aos projetos de energias renováveis se torna vital em prol da complementariedade do suprimento de eletricidade, como é o caso da energia solar fotovoltaica.

Assim sendo, a diversificação da matriz elétrica é imprescindível para complementar a geração de energia elétrica a partir das hidrelétricas, fazendo uso de uma fonte que não emite GEE para gerar eletricidade, corroborando para o aumento do número de usinas solares em vista do desenvolvimento sustentável do Brasil.

Embora a fonte solar fotovoltaica, bem como a eólica, sejam alternativas para a geração de eletricidade no Brasil e não utilizem da fonte hídrica para seu funcionamento, a matriz não deve confiar em um abastecimento linear e constante. A eólica e solar fotovoltaica dependem de fatores climáticos, como o regime de ventos e a radiação solar, e por essa razão podem manifestar oscilações na geração em certos períodos.

O comportamento variável corrobora na situação de que haja picos de geração em momentos em que não há alta demanda pela eletricidade, bem como pode ocorrer o fornecimento insuficiente em situações de picos da demanda.

Neste contexto, a diversificação da matriz visando a segurança energética torna complexo o sistema elétrico, conseqüentemente ocorre o aumento da necessidade de atuação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que busca coordenar e garantir que a geração seja proporcional ao suprimento da demanda.

4.3 DESAFIOS DO SETOR ELÉTRICO

4.3.1 *Armazenamento de Energia*

Com o intuito ampliar a eficiência das usinas solares e das redes elétricas, os sistemas de armazenamento de energia estão sendo progressivamente mais aplicados, tornando viável a utilização do excesso de geração em situações de pico de demanda. Além disso, a otimização do funcionamento dos sistemas é obtida, em que é possível utilizar toda a energia produzida, aliviando sobrecargas no sistema elétrico em momentos demanda elevada, conhecido como horário de ponta.

Muitos consumidores utilizam a solução do gerador a diesel para o suprimento de energia em horários de ponta, que permite que a instalação não seja conectada à rede. No entanto, tal alternativa apresenta diversas desvantagens, sendo a principal a emissão de GEE. Assim, o estudo e aplicação do armazenamento de energia elétrica para o suprimento em horários de ponta se torna ainda mais pertinente, além do fato dos valores expressivos cobrados nas faturas de consumo de energia nesse posto tarifário.

O emprego de baterias por consumidores das classes comercial e residencial vem sendo difundido em virtude da diminuição do custo e de configuração das tarifas que estimulam o deslocamento do consumo ou o armazenamento da geração distribuída excedente.

4.3.2 *Continuidade do Crescimento de Fontes Renováveis Intermitentes*

É evidente que o consumo médio de eletricidade no Brasil sofrerá aumento nos próximos anos, haja vista o crescimento da economia no país, a acessibilidade a bem e serviços que envolvem mais tecnologia, a mobilidade social e melhor qualidade da população.

Não só o Brasil como o mundo em um cenário futuro precisará lidar com a intensa inserção de fontes solar fotovoltaica e eólica, que incorporam a curto prazo um nível maior de variabilidade e menor de previsibilidade na geração de eletricidade. A otimização da matriz brasileira existente se torna inevitável para a superação deste desafio, que deve envolver novos investimentos com o propósito de assegurar o suprimento.

De modo a garantir a segurança energética, o desenvolvimento de novas ferramentas, tecnologia e modelos de negócios são essenciais para a obtenção de previsibilidade de geração e posterior integração junto ao Sistema Interligado Nacional (SIN), devido a esta perspectiva de aumento considerável da atuação de fontes não controláveis na matriz.

O ciclo de vida dos equipamentos que compõem o sistema fotovoltaico possui um fim, dado que lidar com o descarte e reciclagem dos itens obsoletos se torna um desafio ambiental. Tal fato ainda não é eminente, visto que na prática, a vida útil dos módulos fotovoltaicos tende a ser maior que os 25 anos informados pelos fabricantes.

A questão socioambiental merece atenção de modo a incorporar melhorias nos estudos em relação a solar fotovoltaica, verificando por toda a cadeia produtiva os benefícios e ônus dos empreendimentos. A expansão sustentável exige medidas de monitoramento, mitigação ou compensação dos impactos, assim como dos custos envolvidos.

Um acordo com o governo e seus setores em torno do assunto sobre a reciclagem dos componentes deverá ocorrer, uma vez que este processo não é um desafio tecnológico, mas sim regulamentar, em que deve existir a articulação junto aos órgãos ambientais e instituições governamentais em favor de implantar a regulamentação em torno de incentivos ao descarte correto, em uma cadeia industrial embasada na reciclagem dos componentes do sistema fotovoltaico.

Permanecerá como elemento desafiador a limitação referente aos prazos dos projetos de transmissão que trazem gargalos na expansão da implantação solar fotovoltaica, uma vez que são muito inferiores. Tal fato confirma a necessidade de antecipação de etapas elaborando estudos prospectivos em relação ao planejamento da expansão da transmissão.

4.3.3 A Lei nº 14.300: Marco Legal da GD

Em janeiro de 2022 foi publicada a Lei nº 14.300 que criou o Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída. Algumas mudanças foram trazidas pela Lei, que mudaram as regras de compensação da energia injetada na rede, sendo estabelecido um período para enquadramento na regra anterior até 2045, sendo chamado de Direito Adquirido.

Para geradores existentes e aqueles que protocolarem solicitação de acesso até 12 meses após a publicação da Lei teriam o direito adquirido com a compensação de todas as componentes tarifárias até 2045. Durante o período de outubro de 2022 a 7 de janeiro de 2023, as distribuidoras de energia receberam 486,6 mil projetos de novas solicitações para conexões de geração distribuída, que somam 32.298 MW (megawatts) de potência instalada.

Esse expressivo aumento de demanda por projetos implica ao setor elétrico certa frustração em relação ao Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE32). Os estudos do PDE fornecem decisões de política energética e contribuem junto ao mercado com informações que possibilitam a análise do desenvolvimento do sistema elétrico e das

condições de adequabilidade de suprimento de acordo com diferentes cenários futuros possíveis.

Em estudo realizado pela PDE32 da projeção da capacidade instalada de MMGD, a previsão chegava a atingir 37 GW até 2032, uma vez que tal expectativa foi superada com os pedidos para GD enviados entre final de 2022 e início deste ano, superando 35 GW.

Como resultado deste cenário, o PDE32 traz uma visão de subdimensionamento da GD para o futuro e superdimensionamento em relação a geração centralizada, bem como os investimentos em rede. Com esse crescimento exorbitante da GD, a expectativa é de que em 2030 grande parte da carga será abastecida advinda da solar e eólica distribuída, envolvendo o custo para realizar o suprimento da variabilidade e intermitências das fontes renováveis variáveis.

Além disso, a geração distribuída desencadeará efeitos sobre a composição de preços, custos e tarifas, que precisam ser analisadas, bem como os gastos necessários para implantação de redes de transmissão e distribuição. Manter a confiabilidade do sistema com geração distribuída, principalmente em relação a segurança e qualidade no fornecimento de eletricidade, é de fato um desafio par ao Setor Elétrico Brasileiro (SEB).

A operação da rede se torna complexa dentro desse cenário, podendo ocorrer alterações no fluxo de potência reverso e aumento ou flutuação dos níveis de tensão, sobretudo interferência nos controles de conservação de energia.

4.3.4 Complementariedade de fontes e Instalações Híbridas

O primeiro complexo de geração associada de energia renovável no Brasil foi inaugurado em março de 2023, situado na Paraíba. Este projeto integra o parque eólico junto com o solar fotovoltaico, fazendo uso de forma combinada da subestação e linha de transmissão surgindo com um novo modelo de negócio.

Tal característica deste modelo híbrido de fontes otimiza o uso da rede de transmissão à vista da função da complementaridade das fontes, concedendo uma gestão mais eficiente, bem como a redução de custos. A otimização do uso da rede elétrica é o principal benefício da geração de energia por diferentes fontes que compartilham a mesma infraestrutura de transmissão, minimizando a variabilidade da geração ao longo do tempo.

O projeto possui a capacidade instalada total de 600 MW, capaz de suprir o abastecimento de 1,3 milhão de residências por ano. Com investimento de R\$ 3,5 bilhões, os parques estão conectados à rede elétrica nacional por meio da subestação Neoenergia Santa Luzia II e a respectiva linha de transmissão. Vale ressaltar a importância de fomentar

projetos híbridos de pesquisa e desenvolvimento no país, em prol de desenvolver a geração associada de diferentes fontes energéticas.

Na associação de usinas solares e eólicas ocorre a complementariedade entre as fontes, uma vez que as fotovoltaicas apresentam melhor desempenho durante dias ensolarados, enquanto os ventos mais apropriados para a geração de energia em geral ocorrem no período noturno, em que a temperatura altera provocando movimentação do ar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da competitividade nos últimos anos possibilitou a inserção da fonte solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira, se tornando atualmente uma das alternativas de suprimento de eletricidade que apresenta maior no país. Tal fato é possível em virtude da disponibilidade de energia solar na superfície do território nacional que é muito superior à demanda de energia elétrica.

Ao passo que ocorre o desenvolvimento das tecnologias que envolvem a energia solar cresce a competitividade em relações a outras possibilidades, tornando evidente o incremento da participação dessa fonte na matriz elétrica.

Tal conjuntura já pode ser vista em diversos países, inclusive no Brasil. Em um contexto futuro, as projeções apontam ampliação expressiva da participação da fonte solar fotovoltaica na matriz de geração de energia elétrica mundial.

O cenário promissor também conta com a necessidade de produção de energia a partir de fontes renováveis, às perspectivas de redução dos custos envolvidos na geração de eletricidade e do aumento da eficiência da tecnologia fotovoltaica.

No Brasil, a energia solar fotovoltaica vem atingindo recordes de geração desde 2022, crescendo progressivamente, mesmo que ainda represente uma parcela minoritária da matriz do país.

Quando analisados dados acumulados desde 2012, o Brasil adquiriu benefícios advindo da solar fotovoltaica, diante de mais de 26 GW operacionais e mais de R\$ 129,6 bilhões em novos investimentos. Trouxe a geração de mais de 781,6 mil novos empregos e mais de R\$39,7 bilhões em arrecadação de tributos. No apelo ambiental apresentou mais de 34,5 milhões de toneladas de CO₂ (ABSOLAR, 2023).

Vale ressaltar que existem limitações em um cenário futuro às vistas da inserção de fontes renováveis variáveis e não controláveis, sendo necessário planejamento e estudos de prospecção em torno de alcançar a otimização e maior previsibilidade e confiabilidade de fornecimento de energia elétrica no país.

REFERÊNCIAS

ABRADEE. Um ano do Marco Legal da Geração Distribuída e o recorde da energia solar. Disponível em: <<https://abradee.org.br/um-ano-do-marco-legal-da-geracao-distribuida-e-o-recorde-da-energia-solar/>>. Acesso em 28 mar.2023.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Geração de energia renovável bateu recorde em 2022. Reportagem publicada pela Agência Brasil. Publicado em 05 de fevereiro de 2023. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/geracao-de-energia-renovavel-bateu-recorde-em-2022/>>. Acesso em: 8 mar. 2023.

ABSOLAR. Energia solar tem geração recorde e R\$ 86,2 bi em investimentos no Brasil. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-tem-geracao-recorde-e-r-862-bi-em-investimentos-no-brasil/>>. Acesso em: 9 mar. 2023.

ANEEL, Aplicações, atlas Energia Solar. 2a edição. 2015. Disponível em:<[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso em: 9 mar. 2023.

ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.059, DE 7 DE FEVEREIRO DE 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2023.

ANEEL. Sítio da Agência Nacional de Energia Elétrica–Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em:<<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 30 jan.2023.

BEZERRA, Francisco Diniz. Agropecuária: micro e Minigeração Distribuída e suas Perspectivas com a Lei 14.300/2022. Fortaleza: BNB, ano 7, n.234, ago. 2022. (Caderno Setorial Etene). Disponível em: < s1dsp01.dmz.bnb:8443/s482-dspace/handle/123456789/1342>. Acesso em: 11 mar. 2023.

BRASIL ENERGIA. SCEE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://energiahoje.editorabrasilenergia.com.br/glossario/scee-sistema-de-compensacao-de-energia-eletrica/>>. Editora Brasil Energia. Acesso em: 15 fev. 2023.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2050 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2023.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno_MMGD_Baterias.pdf>. Acesso em 29 mar.2023.

BRASIL. Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); Disponível em: <

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm>. Acesso em: 16 mar. 2023.

CANAL ENERGIA. Solar cresce 83% em um ano e atinge 26 GW no Brasil. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53240031/solar-cresce-83-em-um-ano-e-atinge-26-gw-no-brasil>>. Acesso em: 9 mar. 2023.

CARVALHO, E. F. A.; CALVETE, M. J. F. (2009). Evolução da energia solar fotovoltaica. Revista Virtual Química, 2(3), 192-203. Disponível em: <<http://www.rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v2n3a13.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2023.

CRESESB. Energia Solar – princípios e Aplicação. Centro de Referência para energia solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2006.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Nota Técnica EPE – Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Maio. 2012. Disponível em: <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/242/1/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2023.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética; MME, Ministério de Minas e Energia. BEN, Balanço Energético Nacional 2022. Relatório Síntese | Ano base 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2023.

EPE. LEILÃO DE ENERGIA NOVA A-5 DE 2022. Disponível em: <<https://cutt.ly/iHNYB3I>>. Acesso: Acesso em: 11 mar. 2023.

GOMES GÉLIO, L.; IGNÁCIO GIOCONDO CÉSAR, F. ENERGIA SOLAR - UM ESTUDO SOBRE O FUTURO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE - ISSN 2763-8928, [S. l.], v. 1, n. 5, p. e1534, 2021. DOI: 10.47820/acertte.v1i5.34. Disponível em: <https://acertte.org/index.php/acertte/article/view/34>. Acesso em: 9 mar. 2023.

GRENNER. Regulamentação da Lei no 14.300/2022 pela ANEEL: quais as principais alterações? Disponível em: <https://www.greener.com.br/greener_artigos/regulamentacao-da-lei-no-14-300-2022-pela-aneel-quais-as-principais-alteracoes/?utm_campaign=artigo_regulamentacao_da_14300_principais_alteracoes&utm_medium=email&utm_source=RD+Station>. Acesso em: 9 mar. 2023.

HERNANDEZ, R. R.; EASTER, S. B.; MURPHY-MARISCAL, M. L.; MAESTRE, F. T.

Instituto Superior Técnico, UNIVERSIDADE DE LISBOA. "Breve história da energia solar". Instituto Superior Técnico, 2004. Última atualização: 28 outubro, 2019. Disponível em: <<http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MACHADO, C. T., MIRANDA, F. S. (2015). Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. Revista Virtual de Química, 7(1), 126–143.

NASCIMENTO, M. A. (2013). Avaliação de qualidade de energia de um sistema fotovoltaico. Tese (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação, Lisboa.

NEOENERGIA INAUGURA PROJETO HÍBRIDO DE GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA DE R\$ 3,5 BILHÕES EM PLENO SERTÃO DA PARAÍBA | PetroNotícias. Disponível em: <<https://petronoticias.com.br/neoenergia-inaugura-projeto-hibrido-de-geracao-solar-e-eolica-de-r-35-bilhoes-em-pleno-sertao-da-paraiba/>>. Acesso em: 30 mar. 2023.

OLIVEIRA, A. T. E. de; SOBREIRA, A. A.; COSTA, H. F. da; FERREIRA, J. dos S.; PEREZ, C. A. S. Photovoltaic solar energy: transformation, evolution, environmental aspects and approaches in the classrooms. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 9, p. e25811932533, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i9.32533. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/32533>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PEREIRA, Naron Xavier. Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Geração Distribuída VS Geração Centralizada. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181288/pereira_nx_me_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 11 mar. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, v. 1, p. 47-499, 2014.

PORTAL SOLAR. Origem da Energia Solar - História e Desenvolvimento. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>>. Acesso em: 30 jan. 2023.

PORTAL SOLAR. Regulamentação da Lei 14.300 é aprovada pela Aneel. Publicado em: 08/02/2023, por Vanessa Loiola. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/politica/regulacao/regulamentacao-da-lei-14-300-e-aprovada-pela-aneel>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

REN21. (2022). Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Disponível: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2023.