

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO – UNISAGRADO

ANDRÉ HENRIQUE DE OLIVEIRA BERTHOLO

ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO  
BRASIL: IMPACTO DA NOVA TARIFA E PERSPECTIVAS FUTURAS

BAURU

2023

ANDRÉ HENRIQUE DE OLIVEIRA BERTHOLO

ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO  
BRASIL: IMPACTO DA NOVA TARIFA E PERSPECTIVAS FUTURAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Elétrica -  
Centro Universitário Sagrado Coração.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Gomes Cabana

BAURU

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

B542a	<p>Bertholo, Andre Henrique de Oliveira</p> <p>Análise do Crescimento da Geração de Energia Fotovoltaica no Brasil: Impacto da Nova Tarifa e Perspectivas Futuras / Andre Henrique de Oliveira Bertholo. -- 2023. 26f. : il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Tiago Gomes Cabana</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Energia Fotovoltaica. 2. Brasil. 3. Lei 14.300/22. 4. Energia Heliotérmica. 5. Inversão de Fluxo de Potência. I. Cabana, Tiago Gomes. II. Título.</p>
-------	--

ANDRÉ HENRIQUE DE OLIVEIRA BERTHOLO

ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO  
BRASIL: IMPACTO DA NOVA TARIFA E PERSPECTIVAS FUTURAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Elétrica -  
Centro Universitário Sagrado Coração.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Tiago Gomes Cabana (Orientador)  
Centro Universitário Sagrado Coração

---

Titulação, Nome  
Instituição

---

Titulação, Nome  
Instituição

Dedico este trabalho aos meus pais, aos amigos e a Deus, com carinho.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer imensamente aos meus pais, Angela Aparecida de Oliveira Bertholo e Edson Luis Bertholo, cujo apoio incansável e amor incondicional foram a bússola que me guiou durante esta jornada acadêmica. Suas palavras de incentivo e sacrifícios não passaram despercebidos, e este trabalho é dedicado a vocês.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Tiago Gomes Cabana, por toda paciência, orientação e expertise compartilhada ao longo deste processo de elaboração do TCC.

Agradeço também a Deus, cuja graça e orientação foram a luz que iluminou meu caminho nos desafios desses anos.

Agradeço a todos os professores, colegas e amigos que contribuíram para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Este trabalho é resultado de uma rede de apoio que tenho profunda gratidão.

“Eu colocaria meu dinheiro no sol e na energia solar. Que fonte de energia! Espero que não tenhamos que esperar até que o petróleo e o carvão acabem para fazer isso.”

Thomas Edison, 1987.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da capacidade instalada no Mundo .....	13
Figura 2 – Matriz Energética Brasileira (2019-2022) .....	14
Figura 3 – Evolução do Preço da Fonte Solar Fotovoltaica em Leilões de Energia .....	15
Figura 4 – Regra de Transição: Pagamento gradual da TUSD Fio B.....	17
Figura 5 – Principais tipos de usinas de geração heliotérmica .....	18
Figura 6 – Evolução dos custos nivelados por tecnologia (2010-2018).....	19

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
GWh	Gigawatt/hora
IRENA	Agência Internacional para Energias Renováveis
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
REN	Resolução Normativa ANEEL
SIN	Sistema Interligado Nacional

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVOS .....	11
3	METODOLOGIA .....	12
4	ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL .....	13
4.1	COMPARATIVO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA .....	14
4.2	EVOLUÇÃO DO PREÇO DA FONTE DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM LEILÕES DE ENERGIA.....	15
5	LEI 14.300/22 - MARCO LEGAL DAS POLÍTICAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA ...	16
5.1	O IMPACTO DA LEI 14.300/22 NO CRESCIMENTO DA ADOÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	17
6	NOVAS FORMAS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR RENOVÁVEL PARA O BRASIL .....	18
6.1	PERSPECTIVAS FUTURAS NO BRASIL.....	20
7	DESAFIO ATUAL: INVERSÃO DE FLUXO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	20
8	CONCLUSÃO .....	21
	REFERÊNCIAS .....	23

# **ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL: IMPACTO DA NOVA TARIFA E PERSPECTIVAS FUTURAS**

André Henrique de Oliveira Bertholo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Sagrado Coração (UNISAGRADO)  
andre.bertholo@outlook.com

## **RESUMO**

Com o Brasil desempenhando um papel significativo na matriz energética global, caracterizada em grande parte pela sua dependência de fontes renováveis, surge a necessidade de ampliar e diversificar ainda mais essa matriz para atender ao crescente consumo de energia, tendo como estratégia essencial a busca por novas alternativas sustentáveis e renováveis para garantir a resiliência do setor. Nesse contexto, a energia fotovoltaica, que aproveita a inesgotável fonte de energia solar, emergiu como um dos principais modelos de geração sustentável. O presente artigo faz uma análise do crescimento da geração de eletricidade através da energia solar fotovoltaica no Brasil, utilizando dados fornecidos pelos órgãos e associações brasileiras responsáveis pelas pesquisas e planejamentos dessa fonte de energia renovável no setor nacional. Além disso, faz uma análise sociopolítica do impacto da Lei 14.300/22 no mercado de energia. Por fim, uma perspectiva de novas utilizações do sol como fonte de energia com ênfase na tecnologia heliotérmica, e destaque a um desafio para o crescimento contínuo dessa fonte renovável no presente, relacionado à ocorrência de inversão de fluxo de potência na rede por conta dos sistemas fotovoltaicos.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica; Brasil; Lei 14.300/22; Energia Heliotérmica; Inversão de Fluxo de Potência.

## **ABSTRACT**

With Brazil playing a significant role in the global energy matrix, characterized largely by its dependence on renewable sources, there is a need to further expand and diversify this matrix to meet the growing energy consumption, having as an essential strategy the search for new sustainable and renewable alternatives to ensure the resilience of the sector. In this context, photovoltaics, which takes advantage of the inexhaustible source of solar energy, has emerged as one of the main models of sustainable generation. This article analyzes the growth of electricity generation through photovoltaic solar energy in Brazil, using data provided by Brazilian agencies and associations responsible for research and planning of this renewable energy source in the National sector. In addition, it makes a sociopolitical analysis of the impact of law 14,300/22 on the energy market. Finally, a perspective of new uses of the sun as an energy source with emphasis on heliothermal technology, and highlight a challenge for the continuous growth of this renewable source in the present, related to the occurrence of inversion of power flow in the grid due to photovoltaic systems.

Keywords: Photovoltaic Energy; Brazil; Law 14,300 / 22; Heliothermal Energy; Inversion of Power Flow.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, no contexto brasileiro, a energia solar fotovoltaica encontrava sua principal aplicação em sistemas de pequena escala, muitas vezes em áreas remotas desprovidas de acesso à rede elétrica convencional, em locais de difícil acesso ou em regiões onde a instalação de linhas de distribuição de eletricidade não era viável (SILVA, 2023 apud VILLALVA, 2015).

Embora os sistemas autônomos de energia solar fotovoltaica continuem sendo uma opção valiosa para locais desprovidos de rede elétrica, a utilização mais eficiente dessa fonte de energia ocorre quando o sistema está integrado à rede de distribuição. O potencial de aplicação dessa forma de energia é vasto, abrangendo desde sistemas de micro e minigeração até grandes parques de geração que operam de forma análoga às tradicionais usinas de eletricidade (SILVA, 2023 apud VILLALVA, 2015).

O mercado de energia fotovoltaica brasileiro teve seu primeiro grande marco em 2012 com a aprovação da Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A resolução criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, por meio da geração distribuída. Adiante, em 2015, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687, onde autorizou empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, a geração de energia compartilhada e o autoconsumo remoto (ANTONIOLLI, 2018).

Esses incentivos, juntamente com a redução dos custos de implementação do sistema (ABSOLAR, 2017) e demais fatores como o avanço da tecnologia, a conscientização ambiental e linhas de crédito que facilitaram o investimento em sistemas fotovoltaicos, culminaram na forte expansão de usinas fotovoltaicas no Brasil. (ABSOLAR, 2023).

Embora o Brasil tenha testemunhado esse crescimento nos últimos anos e o potencial da energia fotovoltaica seja inegável, é necessário entender a sua expansão e impacto no país. Diante disso, este estudo se propõe a contextualizar a relevância da energia fotovoltaica, buscando não apenas compreender o crescimento dessa tecnologia, mas também analisar o impacto da Lei 14.300/22 no mercado de energia fotovoltaica, pesquisar sobre novas formas de aproveitar a energia solar renovável e dar atenção a um desafio atual da ocorrência de inversão de fluxo em sistemas fotovoltaicos, o que está resultando em reprovações de projetos por parte das concessionárias de energia no país.

## 2 OBJETIVOS

Este artigo tem o objetivo de fornecer uma análise abrangente do panorama da energia solar fotovoltaica no país, explorando sua evolução a partir da aprovação da resolução normativa nº 482 pela Agência Nacional de Energia Elétrica em 2012, e tendo como principal propósito compreender a trajetória de crescimento dessa fonte renovável considerando os impactos da legislação subsequente, incluindo o marco legal de 2022 já vigente.

Outro ponto de destaque é a exploração de novas perspectivas para o aproveitamento da energia solar renovável, tendo foco na tecnologia heliotérmica. O estudo busca identificar

aplicações inovadoras e principais vantagens dessa tecnologia, contribuindo para diversificar as opções de utilização da energia solar no contexto brasileiro.

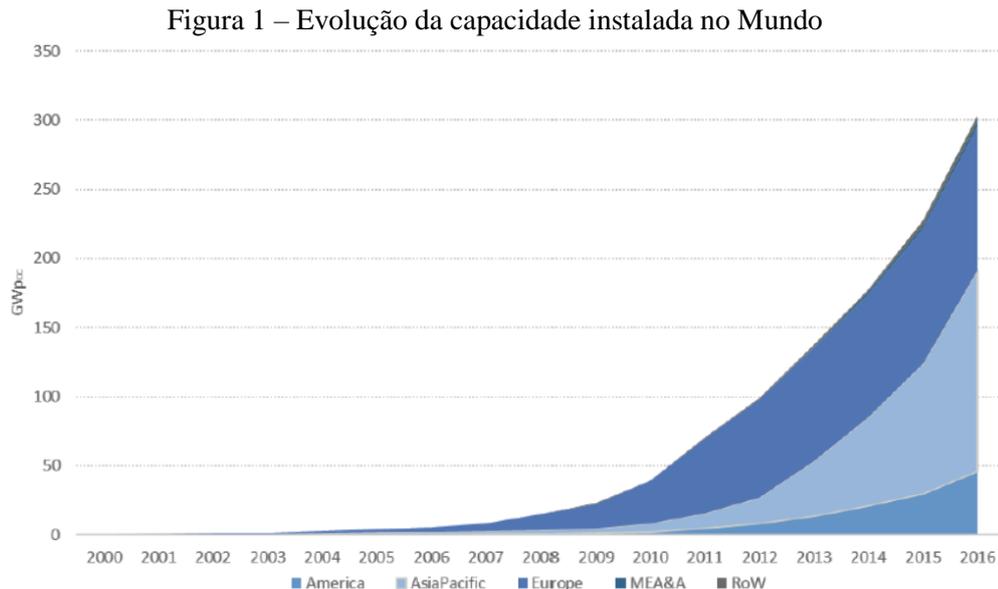
Por fim, o trabalho apresenta um desafio contemporâneo relacionado à inversão de fluxo de potência na rede causada por sistemas fotovoltaicos. A intenção é avaliar suas consequências no mercado de energia e analisar como o setor está lidando com isso.

### **3 METODOLOGIA**

O método empregado nesta pesquisa foi o de revisão bibliográfica, comumente utilizado nos mais diversos ramos científicos. Os levantamentos dos dados aqui expostos foram obtidos através de periódicos, relatórios e fontes institucionais do governo com foco em artigos relacionados à produção de energia fotovoltaica e energia solar. As pesquisas foram conduzidas no período entre setembro e outubro de 2023. Após reunir todas as informações provenientes das pesquisas, estas foram organizadas para proporcionar uma explicação mais abrangente e detalhada no artigo. Houve um planejamento para determinar quais conteúdos seriam abordados e onde as informações pertinentes ao tema seriam obtidas. Por último, as informações coletadas, organizadas e analisadas foram incorporadas no artigo final.

#### 4 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O mercado fotovoltaico mundial testemunhou uma explosão de investimentos na energia solar fotovoltaica, impulsionada pelo crescente interesse dos consumidores e pela capacidade de escolha direta de fontes de energia (SAUAIA, 2018). A evolução da capacidade instalada no mundo é apresentada no gráfico da Fig.1 onde é possível ver o crescimento até o ano de 2016.



Fonte: (SAUAIA, 2018)

Sabe-se que o mundo se encaminha para uma transição energética mais sustentável, de modo que o Brasil tem desempenhado um papel significativo nesse avanço, trabalhando com uma matriz elétrica mais renovável em comparação ao restante do mundo, tendo a fonte de energia hídrica como principal geradora elétrica no país, com participação de 61,9% da matriz nacional no último ano (EPE, 2022).

A introdução das Resoluções Normativas nº 482 e nº 687 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012 e 2015, respectivamente, marcou um momento crucial com o estabelecimento do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, autorizando empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, promovendo a geração compartilhada e o autoconsumo remoto. Antes desses marcos regulatórios, o Brasil enfrentava um déficit regulamentar na produção de energia solar, o que o deixava significativamente atrás de países mais desenvolvidos nesse setor (DA SILVA, 2021). Com a Resolução 482 da ANEEL, a partir de 17 de abril de 2012, os consumidores ativos obtiveram a liberdade de conectar seus próprios sistemas de geração de energia, provenientes de fontes renováveis, às redes de distribuição das concessionárias. Esse passo foi determinante para o crescimento do número de sistemas instalados no Brasil.

De fato, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2012, o Brasil contava apenas com sete sistemas solares fotovoltaicos em operação. No entanto, ao final do ano de 2019, já haviam sido instalados um total de 138.086 sistemas conectados à

rede em todo o país, conforme informações da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Essa evolução ganhou ainda mais relevância em 2020, culminando na impressionante marca de 353.052 sistemas solares fotovoltaicos em funcionamento (ABSOLAR, 2020), representando um notável avanço no aproveitamento da energia solar no Brasil.

Os números tornam-se ainda mais expressivos em 2023, tomando novos patamares com os 2.146.189 sistemas conectados à rede, beneficiando 3.109.847 unidades consumidoras que estão recebendo créditos por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Esse número representa aproximadamente 3,39% do total de unidades consumidoras no Brasil (ABSOLAR, 2023).

Também em 2023, o ápice do desempenho dos sistemas ocorreu em 23 de setembro de 2023, quando a geração solar atingiu um pico impressionante de 23.930 MW, registrados às 11 horas daquele dia. Esse valor equivalia a uma parcela notável de 30,4% da demanda nacional de eletricidade naquele momento, demonstrando a contribuição substancial da energia solar fotovoltaica para atender às necessidades energéticas do país (ABSOLAR, 2023).

Hoje a energia solar fotovoltaica é uma das principais fontes da matriz energética nacional, tendo participação da geração total de 4,4% no último ano (EPE, 2023).

#### 4.1 COMPARATIVO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A transformação na matriz energética brasileira é notável ao compararmos os dados de 2019 e 2022. A separação por tipo de fonte nos oferece uma visão clara do impacto da energia solar fotovoltaica:

Figura 2 – Matriz Energética Brasileira (2019-2022)

Fonte Energética	Participação (%)	
	2019	2022
Biomassa	8,4%	8,0%
Carvão e Derivados	3,3%	2,1%
Derivados de Petróleo	2,0%	1,8%
Eólica	8,6%	11,8%
Gás Natural	9,3%	6,1%
Hidráulica	64,9%	61,9%
Nuclear	2,5%	2,1%
Solar	1,0%	4,4%

Fonte: Autoria própria. Dados (EPE, 2020 e 2023)

Na Fig. 2 fica evidente que a energia solar fotovoltaica se destaca como uma fonte de energia em ascensão, com um crescimento notável da sua participação, representando 4,4% da matriz energética em 2022, em comparação com apenas 1% da participação em 2019. Além

disso, segundo a EPE, em 2021 a fonte solar fotovoltaica gerou 16.752 GWh, o que foi superado em 2022 chegando a 30.126 GWh, uma variação de 79,8% que mais uma vez evidencia o crescimento da fonte (EPE, 2020 e 2023).

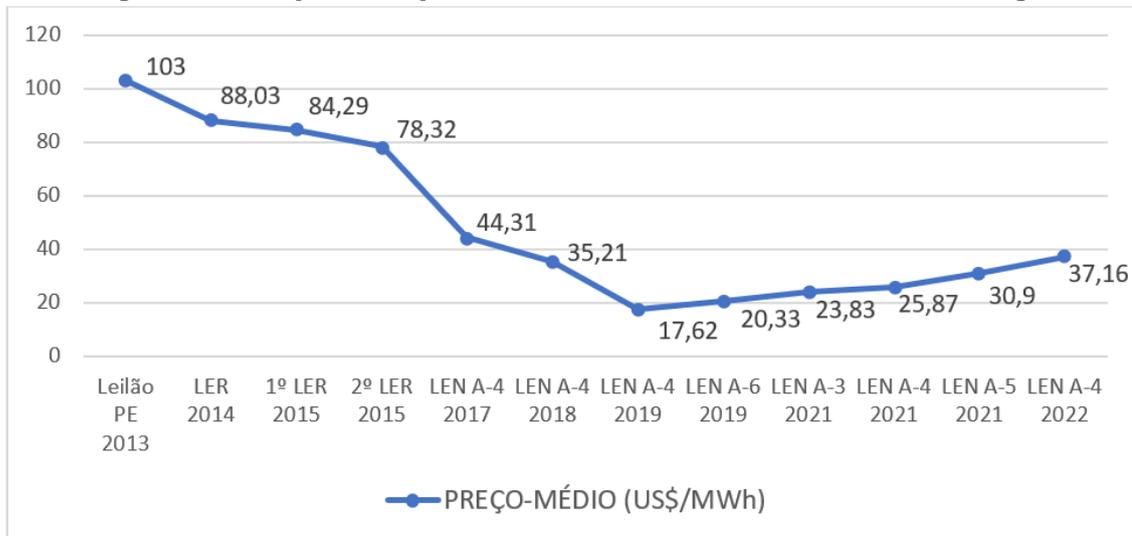
#### 4.2 EVOLUÇÃO DO PREÇO DA FONTE DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM LEILÕES DE ENERGIA

A viabilidade de projetos em geração de energia fotovoltaica compartilhada depende, primariamente, da existência de incentivos substanciais por parte dos governos para promover a geração de energia a partir de fontes renováveis. Além de ser necessário uma avaliação minuciosa do custo associado e da complexidade inerente à fase de inicialização dos projetos de geração compartilhada. (ANTONIOLLI, 2018).

A geração compartilhada deve ser atrativa para diversas partes interessadas, incluindo concessionárias de energia, investidores, consumidores e desenvolvedores. Ela proporciona vantagens significativas para os consumidores, como ganhos financeiros e proteção contra aumentos nos custos de eletricidade (ANTONIOLLI, 2018).

O modelo de negócio para o mercado fotovoltaico evoluiu juntamente com a tecnologia dos sistemas fotovoltaicos após as aprovadas normas regulatórias da ANEEL já citadas e, com o impacto do mercado de geração compartilhada, desde 2019 a energia solar fotovoltaica tem sido uma das fontes mais competitivas nos leilões de energia do mercado regulado no Brasil conforme apresentado na Fig. 3, o que demonstra a sua viabilidade econômica e atratividade para investidores.

Figura 3 – Evolução do Preço da Fonte Solar Fotovoltaica em Leilões de Energia



Fonte: Autoria própria. Dados (CCEE/ABSOLAR, 2022)

## **5 LEI 14.300/22 - MARCO LEGAL DAS POLÍTICAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

O momento de crescente aumento da quantidade de sistemas de geração de energia fotovoltaica evidenciou a necessidade de estabelecer legalmente o mercado de micro e minigeração distribuída por meio de uma lei federal.

No dia 7 de janeiro de 2022, a Lei nº 14.300/2022 foi oficialmente publicada no Diário Oficial da União abordando assuntos como o regime legal, o sistema de compensação para microgeração distribuída e produção de energia em pequena escala. Além disso, ela introduziu modificações nas normas sociais no contexto da Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2012; BRASIL, 2022).

A Lei apresentou uma série de definições e disposições relevantes no contexto da micro e minigeração distribuída de energia elétrica que já estão vigentes.

A microgeração distribuída, conforme estabelecido no Artigo 1º, Item XI, é caracterizada como uma central geradora de energia elétrica com potência instalada de até 75 kW, que faz uso de cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica. Esta central é conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (BRASIL, 2022).

Já a minigeração distribuída, conforme definido no Artigo 1º, Item XIII, compreende uma central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada, com potência instalada superior a 75 kW, mas não excedendo 5 MW para fontes despacháveis e 3 MW para fontes não despacháveis. Assim como a microgeração, ela é conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (BRASIL, 2022).

Uma das inovações trazidas pela lei é a introdução do conceito de Geração Compartilhada, descrito na seção de definições. Esse modelo permite a aglutinação de consumidores por meio de consórcios, cooperativas ou outras formas de associação, para formar uma minigeração em que todas as unidades consumidoras são atendidas pela mesma distribuidora (BRASIL, 2022).

O Sistema de Compensação de Energia (SCEE), conforme delineado no Artigo 1º, Item XIV, é um sistema em que a energia ativa produzida por unidades consumidoras com micro ou minigeração distribuída é injetada na rede da distribuidora local, sendo posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia (BRASIL, 2022).

A lei também estabeleceu as condições e requisitos para adesão ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica, detalhando critérios para consumidores com micro ou minigeração distribuída, membros de empresas com múltiplas unidades consumidoras, participantes de geração compartilhada e aqueles caracterizados pelo consumo próprio de maneira remota (BRASIL, 2022).

Essas disposições são cruciais para compreender o contexto legal que impactou no grande aumento da adoção de sistemas fotovoltaicos no Brasil.

### 5.1 O IMPACTO DA LEI 14.300/22 NO CRESCIMENTO DA ADOÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A Lei 14.300/22 estabeleceu três períodos distintos para a transição das unidades consumidoras que aderiram à micro e minigeração distribuída. No primeiro período, as unidades que protocolaram solicitação de acesso até 12 meses após a publicação da lei, além das unidades já participantes do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), permanecerão reguladas pela REN 482/2012 até 31 de dezembro de 2045, garantindo o direito adquirido. O faturamento dessas unidades será determinado pela incidência das componentes tarifárias apenas na diferença positiva entre a energia consumida e a injetada no mês (BRASIL, 2022).

Dentro do direito adquirido, a legislação estabeleceu prazos para iniciar a injeção de energia pela central geradora, variando de 120 dias para microgeração a 30 meses para minigeração de outras fontes, a contar da data de emissão do parecer de acesso. A lei também previu hipóteses de perda do direito adquirido após 12 meses da publicação, incluindo o encerramento da relação contratual entre consumidor e concessionária, comprovação de irregularidade no sistema de medição e aumento de potência instalada após o período estipulado. A partir do 13º ao 18º mês, iniciou-se a regra de transição, sujeitando as unidades participantes do SCEE às tarifas estabelecidas pela Aneel a partir de 2031 (BRASIL, 2022).

Consumidores que solicitaram acesso após a entrada em vigor da regra também se beneficiaram-se de um período de transição de seis anos conforme apresentado na Fig. 4. Nesse intervalo, está tendo uma gradual incidência sobre a energia ativa compensada de percentuais específicos das componentes tarifárias da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) Fio B, relacionadas aos ativos do serviço de distribuição, à quota de reintegração regulatória e aos custos operacionais e de manutenção do serviço de distribuição.

Figura 4 – Regra de Transição: Pagamento gradual da TUSD Fio B



Fonte: (GREENER, 2022)

Com a intenção de adquirir o direito de permanecer sendo regulado pela REN 482/2012 até 31 de dezembro de 2045 e se utilizar de um maior payback financeiro do investimento, principalmente para unidades que pretendiam exportar energia, os consumidores buscaram adquirir sistemas de energia solar fotovoltaica antes do dia 7 de janeiro de 2023, o que fermentou o mercado e resultou em um grande aumento da quantidade total de geradores fotovoltaicos nesse período no Brasil, sendo utilizado como estratégia de venda no mercado a obtenção desse direito.

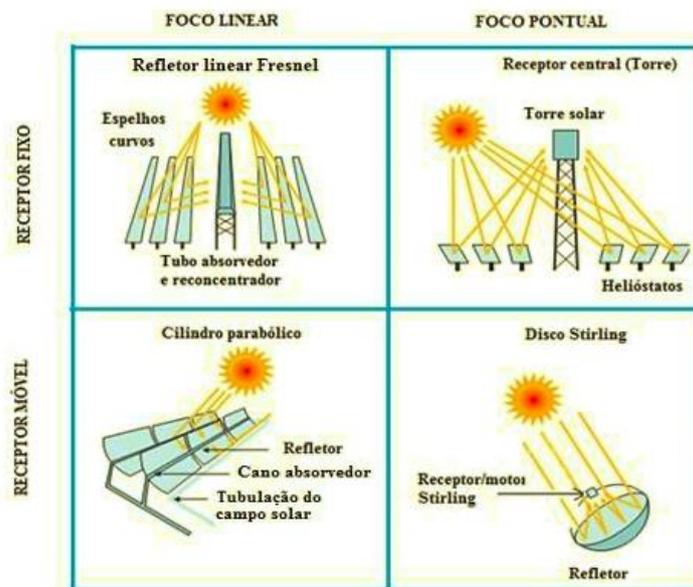
## 6 NOVAS FORMAS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR RENOVÁVEL PARA O BRASIL

A energia fotovoltaica não é a única fonte solar no horizonte e, diversificando o tipo de geração renovável e apresentando novos benefícios para a demanda mundial, a energia heliotérmica, também chamada pela sigla CSP, “Concentrated Solar Power”, vem ganhando destaque como uma das principais variações solar que temos como perspectiva futura.

Segundo Müller et al. (2014), as tecnologias heliotérmicas são caracterizadas pelo direcionamento da radiação solar direta para um receptor, o qual aquece um fluido de trabalho denominado "Heat Transfer Fluid" (HTF). Esse fluido pode ser conduzido de forma imediata para um bloco de potência, com o intuito de gerar eletricidade instantaneamente, ou redirecionado para um sistema de armazenamento térmico. Este sistema de armazenamento possibilita a posterior condução do fluido ao bloco de potência em momentos intermitentes ou durante períodos em que a irradiação solar é ausente. Essa abordagem flexível e eficiente destaca a capacidade das tecnologias heliotérmicas de proporcionar uma geração elétrica contínua, mesmo em condições variáveis de irradiação solar.

Existem diferentes tipos de usinas de geração de energia heliotérmica como apresentado na Fig. 5.

Figura 5 – Principais tipos de usinas de geração heliotérmica

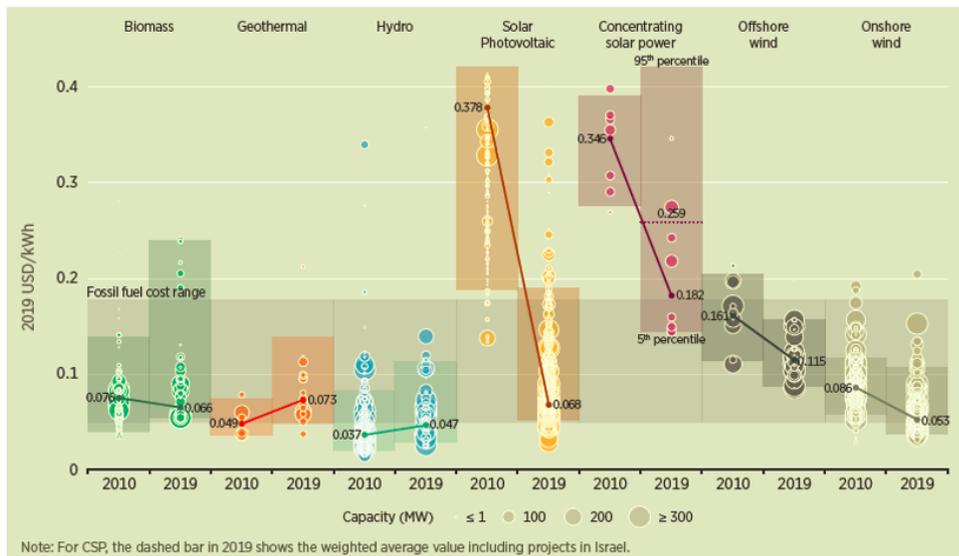


Fonte: (CUNHA et al, 2021 apud SORIA, 2011)

Historicamente, as tecnologias fotovoltaica e heliotérmica acompanharam um desenvolvimento semelhante, com a última apresentando-se ligeiramente mais competitiva. Segundo IRENA (2020), em 2010 as duas fontes de energia solar apresentavam um custo nivelado onde o valor médio da energia solar fotovoltaica era de 0,378 USD/kWh, enquanto a heliotérmica registrava 0,346 USD/kWh. Contudo, ao longo dos anos, a tecnologia fotovoltaica conquistou maior competitividade, atingindo, em 2019, um custo médio de 0,068

USD/kWh, enquanto a heliotérmica permanecia aproximadamente três vezes mais cara conforme apresentado na Fig. 6.

Figura 6 – Evolução dos custos nivelados por tecnologia (2010-2018)



Fonte: (CUNHA et al, 2021 apud IRENA, 2020)

A calha parabólica, entre as tecnologias heliotérmicas conforme Fig. 5, destaca-se como uma opção reconhecida desse tipo de fonte de energia. Fundamentada na concentração de radiação direta em um tubo receptor longitudinal, essa tecnologia pode ser integrada a sistemas de armazenamento térmico para ampliar suas horas operacionais (CARVALHO, 2023).

O aumento na produção de eletricidade proveniente de fontes renováveis, com elevada variabilidade, destaca a necessidade do desenvolvimento de métodos eficazes para o armazenamento de energia (EPE, 2021). Nesse contexto, a capacidade de armazenar energia na forma de calor destaca-se como uma das principais vantagens da tecnologia heliotérmica em comparação com a tecnologia fotovoltaica. Essa abordagem possibilita o armazenamento eficaz de quantidades substanciais de calor por até 16 horas, demonstrando custos consideravelmente inferiores em relação à abordagem fotovoltaica, que é dependente de baterias para armazenamento. Assim, a tecnologia heliotérmica revela sua eficiência ao atender à demanda de eletricidade durante os períodos de pico ou em momentos de alta volatilidade ao longo do dia (CUNHA et al., apud WORLD BANK, 2020).

Além disso, destaca-se que a tecnologia heliotérmica pode ser empregada na geração de calor de processo para uso industrial, proporcionando vantagens na substituição de combustíveis fósseis. Essa alternativa, operando com faixas de temperatura mais reduzidas, em torno de 250°C, demanda menor sofisticação nos manejos, ampliando seu potencial de aplicação e consolidando seu papel como uma fonte versátil e inovadora de energia renovável (CUNHA, 2021).

Esses atributos confere a fonte de energia heliotérmica uma posição vantajosa no panorama energético, contribuindo para a flexibilidade operacional e a resiliência diante das flutuações na demanda elétrica.

## 6.1 PERSPECTIVAS FUTURAS NO BRASIL

A tecnologia heliotérmica apresenta sua capacidade instalada, ainda que limitada, centralizada em nações como Estados Unidos, Espanha, Marrocos, China e África do Sul, somando aproximadamente 9,3 GW em projetos heliotérmicos globalmente, dos quais cerca de 6,0 GW já se encontram em operação (CUNHA, 2021).

Uma pesquisa conduzida pela FGV Energia em colaboração com o SENAI/RJ na indústria brasileira evidenciou que a tecnologia heliotérmica possui um substancial potencial de nacionalização, promovendo, assim, a criação de empregos e o aumento da renda no cenário nacional (CUNHA, 2021).

Com o propósito de explorar o potencial solar brasileiro, a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ implementou um projeto de difusão da tecnologia heliotérmica no Brasil. Este projeto visava integrar a tecnologia com processos existentes, avaliar viabilidade e identificar parceiros para fabricação de componentes no país. Realizado em colaboração com universidades brasileiras, como as federais do Ceará, Pernambuco e Minas Gerais, o projeto influenciou decisores no Brasil. Entre 2013 e 2014, buscou-se viabilizar plantas heliotérmicas por meio dos Leilões de Fontes Alternativas – LFA, embora nenhum dos 28 projetos inscritos tenha sido contratado nesse período (CUNHA, 2021).

Até o ano de 2020, não havia instalações heliotérmicas na América Latina. Entretanto, atualmente está em andamento a construção da usina Cerro Dominador, localizada no deserto do Atacama. Esta infraestrutura integrará 100 MW de energia solar fotovoltaica já em operação, juntamente com 110 MW de energia solar heliotérmica, equipada com um sistema de armazenamento em sais fundidos de 17,5 horas. Ademais, é importante ressaltar que o Chile está atualmente em processo de desenvolvimento de uma capacidade adicional de 1,1 GW nessa modalidade de energia (CUNHA, 2021).

## 7 DESAFIO ATUAL: INVERSÃO DE FLUXO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O aumento significativo no número de sistemas de geração distribuída no Brasil tem apresentado desafios operacionais para as redes de energia, sendo a inversão de fluxo o principal obstáculo enfrentado no último ano.

A inversão de fluxo de potência ocorre quando a quantidade de energia injetada pelos sistemas de geração distribuída supera a demanda dos consumidores conectados, potencialmente ultrapassando os limites operacionais da rede. Um desafio recorrente associado a esse fenômeno é o aumento significativo dos níveis de tensão em pontos específicos do sistema elétrico (ANEEL, 2011).

Distribuidoras, sob a justificativa de mitigar possíveis impactos, têm imposto restrições na conexão de novos projetos fotovoltaicos causando receio no setor de energia solar, que passou a contabilizar prejuízos por conta da não aprovação dos pedidos de conexão de seus clientes (NERIS, 2023).

Em estados como São Paulo e Minas Gerais, a ocorrência deste fenômeno levou às concessionárias emitirem orçamentos de conexão com a imposição de uma limitação de injeção de energia elétrica na rede para algumas unidades geradoras, o que compromete o payback do investimento. A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) registrou, em outubro de 2023, uma coleta de dados sobre reprovações de projetos de geração distribuída devido à inversão de fluxo.

A inversão, embora não seja intimamente prejudicial, torna-se problemática quando ultrapassa limites operacionais, elevando níveis de tensão e violando carregamentos de equipamentos elétricos. A Resolução Normativa REN 1000 recomenda estudos para identificar alternativas viáveis em caso de inversão, sendo necessário um aprofundamento técnico para avaliar seus reais impactos (NERIS, 2023).

Diante desse desafio, iniciativas para alinhar tecnicamente concessionárias e investidores do setor têm ocorrido, buscando evitar reprovações. Contudo, soluções eficazes ainda estão em discussão. Estratégias como geração grid-zero, o uso de TAPs automáticos em redes de distribuição e normativas atualizadas, juntamente com equipamentos como transformadores de corrente, limitadores de potência e controladores de energia, são apontadas como possíveis caminhos para contornar esse cenário complexo (HEIN, 2023).

## 8 CONCLUSÃO

O presente artigo buscou proporcionar uma análise abrangente do desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil, especialmente seu crescimento que foi afetado com as mudanças em que o setor sofreu no período de 2012 até o presente, onde foi impactado pela integração à rede de distribuição, com o estabelecimento do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, a possibilidade de múltiplas unidades consumidoras, da geração de energia compartilhada e o autoconsumo remoto. Todas providas dos incentivos das resoluções normativas nº482 e nº687 que foram um dos pilares do desenvolvimento do setor e evolução da viabilidade financeira do negócio.

Os dados apresentados revelaram um notável avanço na capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos, com números expressivos de unidades consumidoras beneficiadas pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica e impulsionadas também pelo marco legal da lei nº 14.300/2022 que, mesmo com a taxação, trouxe outros benefícios que amenizam os impactos que teriam nas contas de energia. A evolução do cenário do país onde haviam apenas sete sistemas em 2012 para mais de dois milhões em 2023 destaca não apenas a popularidade, mas a efetividade desses sistemas na matriz energética nacional.

Visando a crescente demanda por armazenamento de energia, o artigo também apresentou uma nova fonte solar que vem ganhando importância no mercado global, a energia heliotérmica que, apesar da sua limitada capacidade instalada até o momento, apresenta vantagens sólidas para o armazenamento de energia pelo calor, contribuindo para a

flexibilidade operacional e resiliência diante das flutuações na demanda elétrica, sendo de grande valia a nacionalização dessa tecnologia.

No entanto, foi ressaltado um desafio considerável para o cenário atual do mercado fotovoltaico devido a reprovações de projetos de geração distribuída e limitações de injeção de energia pelas concessionárias de energia devido à ocorrência de inversão de fluxo de potência vindos do grande número de sistemas fotovoltaicos ligados a rede. A busca por soluções técnicas e regulatórias continua.

Visando aprimorar o presente tema, é sugerido os seguintes trabalhos: Análise da qualidade de energia elétrica tendo foco nos sistemas fotovoltaicos e aprofundamento no tema de inversão de fluxo de potência na rede. Também é sugerido um estudo de viabilidade da fonte de energia heliotérmica e seus desafios.

## REFERÊNCIAS

**ABSOLAR**, 2019. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR nº 14. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/arquivos/>> Acesso em 28 nov. 2023.

**ABSOLAR**, 2020. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR nº 26. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/arquivos/>> Acesso em 28 nov. 2023.

**ABSOLAR**, 2022. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR nº 47. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/arquivos/>> Acesso em 28 nov. 2023.

**ABSOLAR**, 2023. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR nº 60. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>> Acesso em 28 nov. 2023.

**ANEEL**, 2011. Norma Técnica nº 0025/2011. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/>> Acesso em 28 nov. 2023.

**ANEEL**, 2012. Resolução Normativa Nº 482. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasil. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 28 nov. 2023.

**ANEEL**, 2015. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas - PROINFA. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasil. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em 28 nov. 2023.

**ANTONIOLLI**, Andriago Fillipo et al. - Revista Empreender e Inovar, v. 1. n. 1. p. 104-116, 2018

**BRASIL**, 2004. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM)>. Acesso em: 28 out. 2023.

**BRASIL**, 2022. LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em: 28 out. 2023.

**CARVALHO**, Renan de Souza; **BEZERRA**, Pedro Henrique Silva; **COLLAÇO**, Alcir Monteiro; **OLIVEIRA**, Celso Eduardo Lins de - Impactos de Incentivos Públicos no Custo de Geração de um

Sistema de Concentração Solar (Heliotérmico) - Automação, Robótica, Metrologia e Energia: estudos e tendências - ISBN 978-65-5360-278-6 - Vol. 1 - Ano 2023

**CUNHA**, Paulo; **WEISS**, Mariana. Energia Heliotérmica: Uma Nova Aposta. Cenários Solar, 2021. Disponível em: <<https://cenariossolar.editorabrasilenergia.com.br/energia-heliotermica-uma-nova-aposta/>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

**DA SILVA**, M.; **ROCHA LANA**, T.; **SILVA JÚNIOR**, J. A.; **G. TALARICO**, M. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRAFICA. Revista Mythos, v. 14, n. 2, p. 51-61, 25 jun. 2021.

**EPE**, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

**EPE**, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

**EPE**, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

**GREENER**. Análise do marco Legal da Geração Distribuída: Sancionado o PL 5.829/2019 que institui o marco legal da MMGD. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudo/analise-do-marco-legal-da-geracao-distribuida-lei-14-300-2022/>>. Acesso em: 02 nov. 2023.

**HEIN**, Henrique; **BADRA**, Mateus. Como amenizar o problema da inversão de fluxo em sistemas fotovoltaicos?, 2023. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/como-amenizar-o-problema-da-inversao-de-fluxo-em-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

**MÜLLER**, C.; **RAU**, C.; **SCHRÜFER**, J. CSP in Non-Electrical Application. Brasília: [s.n.]. Disponível em: [http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/system/files/papers/2014\\_muller\\_csp\\_in\\_non-electrical\\_application\\_1.pdf](http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/system/files/papers/2014_muller_csp_in_non-electrical_application_1.pdf). Acesso em: 02 nov. 2023.

**NERIS**, Alessandra. Entenda tudo sobre Inversão de Fluxo, 2023. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/blog/inversao-de-fluxo/>>. Acesso em: 8 nov. 2023.

**SAUAIA, Rodrigo Lopes.** Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios – Seminário Energia Solar – Câmara Municipal de São Paulo. Disponível em: <[https://eliseugabriel.com.br/imagens/seminarios/2018/seminario\\_energia\\_solar/2018.03.19%20ABS%20OLAR%20-%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20-%20Dr.%20Rodrigo%20Lopes%20Sauaia%20-%20Final.pdf](https://eliseugabriel.com.br/imagens/seminarios/2018/seminario_energia_solar/2018.03.19%20ABS%20OLAR%20-%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20-%20Dr.%20Rodrigo%20Lopes%20Sauaia%20-%20Final.pdf)> Acesso em 14 nov. 2023

**SILVA, Igor Queiroga Soares da.** Análise da viabilidade econômica do projeto de um sistema fotovoltaico residencial considerando as disposições da Lei nº 14.300/2022. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/31573>> Acesso em 14 nov. 2023.

**VILLALVA, M.G.** Energia Solar Fotovoltaica. 2015. 223 p. Conceitos e Aplicações.